

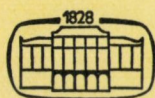
MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

52. KÖTET

1-2. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1976

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

<i>Verő József—Prohászka János: A kétalkotós ötvözetek állapotábrái</i>	1
<i>Szalai Kálmán: A hajlékonyság szerepe a vasbeton oszlop teherbírásában</i>	27
<i>Antal Kálmán—Bolla István—Tanos Ervin: MHD generátorkutatás helyzete és az ahhoz kapcsolódó hazai plazmadiagnosztikai vizsgálatok</i>	53
<i>Prohászka János—Tassy Betz Éva: Általános metallográfiai módszer a köbös kristályok orientációmeghatározására</i>	79
<i>Molnár Károly: Kétrétegű anyagok szakaszos, konvenciószárítása</i>	93
<i>Ecsedi István: Közelítő módszer a rugalmasságtan síkbeli feladatainak megoldására</i>	113
<i>Mistéth Endre: Többcélú létesítmények optimális biztonságának rendszerszemléletű vizsgálata</i>	135
<i>Petró Bálint: A korszerű rendszerszemléletű épület- és szervezéstervezési módszerek tudatos alkalmazása. Az építészmérnökök változó szerepe az iparosított építési eljárások tervezésében</i>	159
<i>Visy Zoltán: Épületszerkezetek komplex értékelésének és méretezésének módszere</i> ...	169
<i>Kolonits Ferenc: Fogaskerék-villámhőmérséklet II.</i>	183
<i>Bondy Pál: Egyik végükön befogott, másik végükön terhelt prizmatikus rudak rugalmas nagy alakváltozása</i>	199
<i>Bosznay Ádám: Változó keresztmetszetű, egyenes rudakból álló térbeli rúdszerkezet rezgési sajátfrekvenciáinak javítható közrefogása III. rész</i>	207
<i>Terplán Zénó: Az International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms (IFTOMM) és a Magyar Nemzeti Bizottságának (MNB) működéséről</i>	215
<i>Milyen legyen a szakdolgozatok kézirata?</i>	219

KÖNYVISMERTETÉS

<i>Benedikt Outó: Beiträge zur Weiterentwicklung der Theorie der Gleichstrommaschine I. II. (Retter, Gy.)</i>	239
<i>Bogárdi János: Környezetvédelem-vízgazdálkodás (Starosolszky Ö.)</i>	240
<i>W. H. Duda: Cement Data Book (Beke, B)</i>	242
<i>M. G. Müller: A szilárdtestfizika kísérleti módszereinek jelenlegi helyzete és várható fejlődése (Barta, E.)</i>	243
<i>S. S. Penner—L. Icerman: Energy (Szendy, K.)</i>	244
<i>H. Rüschi—D. Jungwirth: Stahlbeton-Spannbeton, Band 2. (Lenkei, P.)</i>	245

INHALTSVERZEICHNIS

<i>Verő, J.—Prohászka, J.</i> : Die Zustandsdiagramme der binären Legierungen	1
<i>Szalai, K.</i> : Rolle der Flexibilität in der Tragfähigkeit des Stahlbetonmastes	27
<i>Antal, K.—Bolla, I.—Tanos, E.—Pilinyi, A.</i> : MHD-Generatorforschung und die daran anschließenden ungarischen plasmadiagnostischen Untersuchungen	53
<i>Prohászka, J.—Mrs. É. Tassy-Betz</i> : Allgemeine metallographische Methode zur Bestimmung der Orientierung von kubischen Kristallen	79
<i>Molnár, K.</i> : Abschnittsweise konvektive Trocknung von zweischichtigen Stoffen	93
<i>Ecsedi, I.</i> : Ein Annäherungsverfahren zur Lösung zweiachsiger Aufgaben der Elastizitätslehre	113
<i>Mistéth, E.</i> : Systematische Untersuchung der optimalen Sicherheit von Mehrzweckbauwerken	135
<i>Petró, B.</i> : Systemtechnische Planung von Baukonstruktionen und die veränderte Funktion des Architekten als Konstrukteurs	159
<i>Visy, Z.</i> : Methode der komplexen Wertung und Dimensionierung von Baukonstruktionen	169
<i>Kolonits, F.</i> : Blitztemperaturen von Zahnrädern II. Der Einfluß der veränderlichen Eingriffsverhältnisse	183
<i>Bondy, P.</i> : Große elastische Formänderung von einseitig eingespannten, am freien Ende belasteten prismatischen Stäben	199
<i>Bosznay, Á.</i> : Verbesserungsfähige Einschließung der Eigenfrequenz der Schwingungen von räumlichen Fachwerken aus geraden Stäben mit veränderlichem Querschnitt. III. Teil	207
<i>Terplán, Z.</i> : Über die International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms (IFTOMM) und die Aktivität der Ungarischen National Kommission (MNB) ...	215
Wie sollen die technischen Manuskripte ausgestattet werden?	219

BUCHBESPRECHUNG

<i>Benedikt, O.</i> : Beiträge zur Weiterentwicklung der Theorie der Gleichstrommaschine (Retter, Gy.)	239
<i>Bogárdi, J.</i> : Környezetvédelem-vízgazdálkodás (Starosolszky, Ö.)	240
<i>Duda, W. H.</i> : Cement Data Book (Beke, B.)	242
<i>Franz, G.</i> : Beton-Kalender 1976. (Csonka, P.)	242
<i>Müller, G. O.</i> : A szilárdtestfizika kísérleti módszereinek jelenlegi helyzete és várható fejlődése (Barta, E.)	243
<i>Penner, S. S.—Icermann, L.</i> : Energy (Szendy, K.)	244
<i>Rüsch, H.—Jungwirth, D.</i> : Stahlbeton-Spannbeton Band 2. (Lenkei, P.)	245

CONTENTS

<i>Verő, J.—Prohászka, J.</i> : The Phase Diagram of Binary Alloys	1
<i>Szalai, K.</i> : Role of Flexibility in Load Bearing Capacity of R. C. Columns	27
<i>Antal, K.—Bolla, I.—Tanos, E.</i> : MHD-Generator Research and Related Hungarian Plasmadiagnostic Investigations	53
<i>Prohászka, J.—Tassy, Betz, É.</i> : General Metallographical Method for the Determination of the Orientation of Cubic Crystals	79
<i>Molnár, K.</i> : Intermittent Convective Drying of Two-Layer Materials	93
<i>Ecsedi, I.</i> : An Approximate Method for the Solution of Planar Problems of the Theory of Elasticity	113
<i>Mistéth, E.</i> : Systematic Investigation of the Optimum Safety of Multipurpose Construc- tions	135
<i>Petró, B.</i> : Systems-Engineering Design of Building Structures and the Changed Function of the Designing Architect	159
<i>Visy, Z.</i> : Method of the Complex Evaluation and Dimensioning of Building Structures	169
<i>Kolonits, F.</i> : The Flash Temperature of Gears II. The Influence of the Varying Engage- ment Conditions	183
<i>Bondy, P.</i> : Large Elastic Deformation of Prismatic Cantilever Bars with Loads Applied at the Free End	199
<i>Bosznyai, Á.</i> : Improvable Bracketing of the Eigenfrequency of a Space Frame Structure Consisting of Rods with Varying Cross Section, Part III.	207
<i>Terplán, Z.</i> : On the International Federation for the Theory of Machines and Mechanisms (IFTOMM) and the Activity of the Hungarian National Committee	215
How to make out the Technical Manuscripts?	219

BOOK REVIEWS

<i>Benedikt, O.</i> : Beiträge zur Weiterentwicklung der Theorie der Gleichstrommaschine (Retter, Gy.)	239
<i>Bogárdi, J.</i> : Környezetvédelem-vízgazdálkodás (Starosolszky, Ö.)	240
<i>Duda, W. H.</i> : Cement Data Book (Beke, B.)	242
<i>Franz, G.</i> : Beton-Kalender 1976. (Csonka, P.)	242
<i>Müller, G. O.</i> : A szilárdtestfizika kísérleti módszereinek jelenlegi helyzete és várható fejlődése (Barta, E.)	243
<i>Penner, S. S.—Icermann, L.</i> : Energy (Szendy, K.)	244
<i>Rüsch, H.—Jungwirth, D.</i> : Stahlbeton-Spannbeton Band 2. (Lenkei, P.)	245

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Й. Верз, Я. Прохаска</i> : Диаграммы состояния двучленных слагающих	1
<i>К. Салаи</i> : Роль гибкости в отношении макс. допустимой нагрузки железобетонной колонны	27
<i>К. Антал, И. Болла, Э. Танош</i> : Положение в области исследований по МГД генераторам и связанные с этими исследованиями венгерские исследования по плазменной диагностике	53
<i>Я. Прохаска, Е. Ташиш Бетц</i> : Общий металлографический метод определения ориентации кубических кристаллов	79
<i>И. Эчеди</i> : Приближенный метод для решения плоскостных задач теории упругости	113
<i>Э. Миштет</i> : Исследование в отношении теории систем оптимальной прочности многоцелевых сооружений	135
<i>Б. Петро</i> : Сознательное применение методов по планированию, организации и проектированию зданий, опирающихся на современную теорию систем. Изменяющаяся роль инженеров-строителей при проектировании индустриализованных методов строительства	159
<i>З. Виши</i> : Метод комплексной оценки и комплексного расчета конструкций зданий	169
<i>Ф. Колонич</i> : Температура молнии зубчатых колес, II	183
<i>П. Бонди</i> : Упругая деформация призматических стержней, зажатых на одном конце и работающих под с нагрузкой на другом	199
<i>А. Боснаи</i> : Улучшимый захват собственной частоты колебаний пространственной стержневой конструкции, состоящей из прямых стержней переменного сечения, III	207
<i>З. Терплан</i> : О работе Международной Федерации по теории машин и механизмов (IFТОММ) и ее Венгерской Национальной Комиссии	215
Каким образом следует оформлять рукописи статей? (П. Чонка)	219

ОБЗОР КНИГ

<i>О. Бенедикт</i> : К дальнейшему развитию теории машин постоянного тока, I. II. (Д. Ретгер)	239
<i>Я. Богарди</i> : Охрана окружающей среды — водное хозяйство (Э. Старошольски)	240
<i>В. Х. Дуда</i> : Справочник по цементу (Б. Беке)	242
<i>М. Г. Мюллер</i> : Теперешнее положение и ожидаемое развитие экспериментальных методов физики твердых тел (Е. Барта)	243
<i>Ш. Ш. Пеннер, Л. Икерман</i> : Энергия (К. Сенди)	244
<i>Г. Рюш, Д. Юнгвирт</i> : Железобетон — направленный бетон, том 2 (П. Ленкеи)	245

A KÉTALKOTÓS ÖTVÖZETEK ÁLLAPOTÁBRÁI

VERŐ JÓZSEF*
AZ MTA RENDES TAGJA

és

PROHÁSZKA JÁNOS*
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

(Beérkezett 1976. április 13-án)

I.

Az ötvözetrendszerek megbízhatóan felderített egyensúlyi diagramjaiból fontos következtetéseket vonhatunk le az ötvözetek fázisainak természetét illetően, de ezenkívül azok tulajdonságaira vonatkozóan is. Ezért ma is szünet nélkül folyik az a munka, amelynek célja a korábban már megvizsgált ötvözetrendszerek tökéletesebb eszközökkel és módszerekkel való részletesebb megismerése, továbbá a még ismeretlen, de az újabb időben jelentőssé vált rendszerek diagramjának megszerkesztése. A kétalkotós ötvözetrendszerek közül ma talán mindazoknak egyensúlyi diagramja ismeretes, amelyeknek valamilyen szempontból gyakorlati jelentőségük is van; ezek között két teljesen egyforma nem akad, azok tehát mind egyediek. A jellegüket, típusaikat tekintve viszont kevésbé változatosak: valamennyi ismert egyensúlyi diagramot nem nagy számú típusba sorolhatjuk.

A kétalkotós ötvözetrendszerek N száma

$$N = \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2}, \quad (1)$$

ahol n az ötvözetalkotónak minősíthető elemek száma. n számértékét mintegy 50 és 90 között választhatjuk, aszerint, hogy mely elemeket fogadjuk el ötvözetalkotóként. Ennek megfelelően a kétalkotós ötvözetrendszerek száma 1200–4000-re tehető. Ezek sorolhatók a néhány, például TAMMANN G. szerint nyolc típusba. Feltételezhető, hogy a típusokat és azok számát némi önkényvel állapították meg és hogy azokon kívül még további típusok is lehetségesek.

Azt a feladatot tűztük magunk elé, hogy megvizsgáljuk a jelenleg még nem ismert ötvözetrendszerek egyensúlyi diagramjaiban számíthatunk-e a már elfogadott típusokon kívül újabb típusok megjelenésére és hogy mennyi a lehetséges típusok összes száma.

* Prof. Dr. Verő József
Prof. Dr. Prohászka János

II.

Az egyensúlyi diagram valamennyi vonalának helyét és alakját a termodinamikai egyensúly törvényei szabják meg, ezt az egyensúlyt pedig a szabad energia minimuma jellemzi. Kétalkotós ötvözetrendszerben a szabad energia értékét kétféleképpen szokás értelmezni:

$$F = U - T \cdot S, \quad (2)$$

vagy

$$G = U - T \cdot S + P \cdot V \quad (3)$$

Az F függvény a Helmholtz-féle, a G függvény pedig Gibbs-féle szabad energia néven ismert; az utóbbit gyakran termodinamikai potenciálnak vagy szabad entalpiának is nevezik. Az ötvözetek állapotát meghatározó tényezők közül azonban, nem számítva különleges körülményeket a P nyomás, valamint a V térfogat nagyon kis mértékben változik, a szorzatuk megközelítően állandó. Ezért az F szabad energia értékének felhasználása lényegében ugyanarra az eredményre vezet, mint a Gibbs-féle értéké.

A (2) és (3) kifejezésben U a belső energiát, T a K -ban mért hőmérsékletet, S pedig az entrópiát jelenti. Első lépésként azt kell meghatároznunk, hogyan függ össze az F szabad energia a koncentrációval. Jelöljük U_0 -val a belső energiát 0 K -en; T K -en akkor a belső energia

$$U_T = U_0 + \int_0^T C_p dT \quad (4)$$

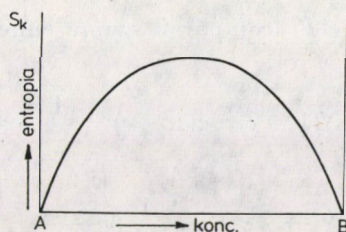
Az S entrópiának is két része van; az egyik rész a T hőmérséklet változásának a következménye, értéke pedig

$$S_T = \int_0^T \frac{C_p}{T} dT. \quad (5)$$

C_p a (4) és (5) kifejezésben a hőmérséklettel változó molhő állandó nyomáson.

Az entrópia másik része abból származik, hogy közös kristályrácsban kétféle atom különböző konfigurációban illeszkedhetik egymás mellé. Feltételezve, hogy a kétféle atom helyzete a kristályrácsban statisztikailag rendezetlen, az úgynevezett konfigurációs entrópia értéke

$$S_k = k \ln \frac{N!}{(N-n)!n!} \quad (6)$$



1. ábra

ahol k az $1,380 \cdot 10^{-23}$ J/fok értékű Boltzmann-állandó. n a B atomok, $N-n$ az A atomok száma, N tehát az összes atomok száma. A kifejezésben jelölt műveletek elvégzésével az

$$S_k = -kN [c \ln c + (1 - c) \ln (1 - c)] \quad (7)$$

kifejezéshez jutunk, amelyben a c a B atomok, $1 - c$ pedig az A atomok koncentrációját jelöli. Mivel a termodinamikai számítások molnyi mennyiségre vonatkoznak, $N = 6,03 \cdot 10^{23}$ (az Avogadro szám) és ennek megfelelően $kN = R$ az egyetemes gázállandó. Ebből a kifejezésből kitűnik, hogy S_k értéke a hőmérséklettel nem változik, csak a koncentráció függvénye, amelyet az 1. ábrán megrajzolt görbe tüntet fel. Az így meghatározott S_k érték, figyelembe véve a kiindulásként használt feltételezést, a statisztikailag rendezetlen oldat konfigurációs entrópiája.

A szabad energia U_0 részének megközelítése céljából abból az egyszerű feltételezésből indulunk ki, hogy az ötvözet közös rácsában a különböző atomok kölcsönhatása háromféle lehet:

- a) az azonos fajtájú atomok vonzzák egymást,
- b) a különböző fajtájú atomok vonzzák egymást és
- c) mindkét atomfajta egyformán vonzza egymást.

Az U_0 energia nem egyéb, mint a különböző $A-A$, $B-B$ és $A-B$ atompárok kölcsönhatását kifejező energiák összege. Feltételezhetjük ugyanis, hogy az U_0 energia, csak a rácsban egymáshoz legközelebb elhelyezkedő atomok kölcsönhatásának tulajdonítható energiák összege és hogy az összegezendő energiarészletek csak a párt alkotó atomok milyenségétől függenek, de függetlenek az egyes atom szomszédságában elhelyezkedő atomok eloszlásától és az eloszlás típusától. Továbbra is statisztikailag rendezetlen eloszlást feltételezve, bármelyik atomnak $z \cdot c$ számú B atom és $z(1 - c)$ számú A atom lehet a legközelebbi szomszédja, ha z -vel a rácsszerkezet koordinációs számát jelöljük. Ez a z szám azt jelenti, hogy a kristályrácsban valamely atomnak hány közvetlen szomszédja van; felületen középpontos, szabályos rendszerbeli rácsban $z = 12$, térben középpontos, rácsban pedig $z = 8$. Az N számú atom alkotta ötvözetben a B atomok száma $N \cdot c$, az A atomoké pedig

$N(1 - c)$. Az AA , BB és AB atompárok száma ennek megfelelően

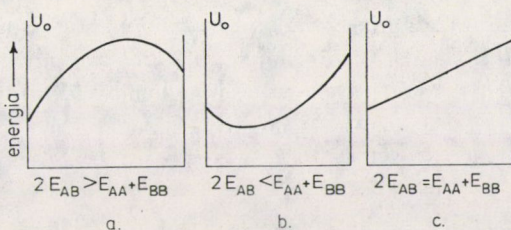
$$\begin{aligned} N_{AA} &= \frac{1}{2} N(1 - c) \cdot z(1 - c) = \frac{1}{2} Nz(1 - c)^2, \\ N_{BB} &= \frac{1}{2} N \cdot c \cdot z \cdot c = \frac{1}{2} Nzc^2, \\ N_{AB} &= N(1 - c)z \cdot c = Nzc(1 - c). \end{aligned} \quad (8)$$

N_{AA} és N_{BB} kifejezésében az $1/2$ szorzó azért kell, mert a jobboldal két tényezőjével minden A és B atomot kétszer vettünk számításba.

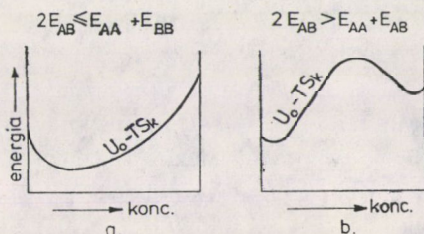
Ha az AA , BB és AB atompárok vonzási energiáját rendre E_{AA} , E_{BB} és E_{AB} -vel jelöljük, akkor

$$\begin{aligned} U_0 &= N_{AA} \cdot E_{AA} + N_{BB} \cdot E_{BB} + N_{AB} \cdot E_{AB} = \\ &= \frac{1}{2} Nz[(1 - c)^2 E_{AA} + c^2 E_{BB} + 2c(1 - c)E_{AB}] = \\ &= \frac{1}{2} Nz[(1 - c)E_{AA} + cE_{BB} + c(1 - c)(2E_{AB} - E_{AA} - E_{BB})] \end{aligned} \quad (9)$$

A (9) kifejezés első két tagja az AA , valamint a BB atompárok, vagyis az A és a B színtém energiáját jelenti 0 K-en; a harmadik tag $2E_{AB} - E_{AA} - E_{BB}$ tényezőjének az előjele határozza meg, hogy a feltételezést kielégítő szilárd oldat belső energiája 0 K-en kisebb, vagy nagyobb-e, mint a két színtém kristályainak belső energiája. Ha $2E_{AB} > E_{AA} + E_{BB}$, akkor az AA és BB párokat helyettesítő AB atompárok jelenléte növeli az U_0 energiát. Ez azonban azt jelentené, hogy 0 K közelében, ahol $F \cong U_0$ -val, az AB atompárokat is tartalmazó szilárd oldat szabad energiája nagyobb volna, mint a két színtém megfelelő mennyiségű kristályának együttes szabad energiája, a szilárd oldat tehát nem lehet stabilis nagy koncentráció közben. Ha viszont $2E_{AB} < E_{AA} + E_{BB}$ akkor alacsony hőmérsékleteken az ötvözet hajlamos rendezett rácsú szilárd oldat, vagy intermetallikus vegyület képzésre, mert ezekre jellemző az AB párok léte. Statisztikailag rendezetlen rácsú szilárd oldat létrejöttének ezek szerint az a feltétele, hogy $2E_{AB} = E_{AA} + E_{BB}$ legyen; a (9) egyenlet jobb oldalán a harmadik tagnak tehát el kell tűnnie, U_0 pedig a koncentráció lineáris függvénye lesz. A tárgyalt három esetre vonatkozóan U_0 értékét a koncentráció függvényeként a 2. ábrában szemléltetjük.



2. ábra



3. ábra

Ismerve most már a szabad energia kifejezésében szereplő összes értékeket, kétalkotós ötvözetek kristályos fázisainak szabad energiája

$$\begin{aligned}
 F &= U_0 + \int_0^T C_p dT - T \int_0^T \frac{C_p}{T} dT + T k N [c \ln c + (1-c) \ln (1-c)] = \\
 &= \frac{1}{2} N z [(1-c) E_{AA} + c E_{BB} + c(1-c)(2E_{AB} - E_{AA} - E_{BB})] + \\
 &+ \int_0^T C_p dT - T \int_0^T \frac{C_p}{T} dT + T k N [c \ln c + (1-c) \ln (1-c)]. \quad (10)
 \end{aligned}$$

Ebben a (10) egyenletben C_p -t a Neumann–Kopp-féle szabály értelmében a koncentrációval lineárisan változónak tekinthetjük; ez a szabály azt mondja, hogy az ötvözetek molhője az alkotók molhőjének súlyozott átlagával egyenlő. Ennek következtében a szabad energiának az A - B ötvözetrendszerbeli változását feltüntetető görbéje függőleges irányban eltolódik ugyan, de a görbének a jellegzetes alakján ez nem változtat. A szabad energia görbéjének az alakját az U_0 és az S_k függvények szabják meg. 0 K közelében az U_0 belső energia dominál, nagyobb hőmérsékleten pedig a $T \cdot S_k$ szorzat.

U_0 -nak a koncentrációval való összefüggésének lehetséges eseteit ismerve, megrajzolhatjuk az F szabad energia és a koncentráció összefüggését bemutató görbéket is. Ha a 2 b és c ábra szerint U_0 a koncentrációval minimumos görbe, vagy egyenes vonalat követve változik, akkor ennek és a mindig minimumos görbe szerint változó $T \cdot S_k$ szorzat különbségét is sima minimumos görbe tünteti fel a 3a ábra szerint. Ha azonban U_0 görbéjének nincs minimuma,

hanem a 2a ábra szerint függ össze a koncentrációval, akkor F görbéje hullám-alakú lesz, a görbületi sugara tehát előjelet vált; ezt az alakot tünteti fel a 3b ábra, olyan ötvözetekre vonatkozóan, amelyekben a különböző atomok alkotta párok kötési energiája U_0 értéket növeli; ha tehát $2E_{AB} > E_{AA} + E_{BB}$, az F szabad energiája más alakú görbe szerint változik a koncentrációval, mint egyébként.

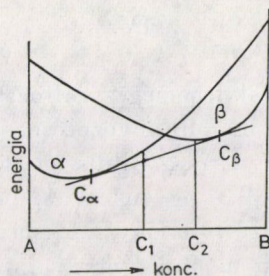
A szabad energia görbéjének alakja a hőmérséklettel is változik. A hőmérséklet emelkedésével ugyanis U_0 helyett egyre inkább a S_k entrópia szabja meg a szabad energia görbéjének alakját. Ennek következtében a 3b ábra szerinti hullámos görbe a hőmérséklet emelkedésével átmegy a 3a ábrában feltüntetett, egyetlen minimumot magába foglaló alakba. Az E kötési energiáktól függ, hogy az átmenet milyen hőmérsékleten következik be. Az F alakjának megváltozása az egyensúlyi diagramokban is jelentős következményekkel jár, bizonyos folyamatok megindulását okozza.

A szabad energia görbéinek az alakja az ötvözetek egyensúlyi állapotának és ennek az állapotnak lényeges körülményeit összefoglaló egyensúlyi diagramok kialakulását szabályozza. Ismert dolog, hogy bármely anyagmennyiség alkotta rendszer akkor van egyensúlyban, ha a szabad energiája a legkisebb. Az egyensúly feltételeit tehát a szabad energia minimális értékét megteremtő körülmények jelentik.

III.

Az eddigiekben egyfázisú ötvözetek energiájával foglalkoztunk. Két-fázisú ötvözetek természetesen szintén akkor vannak egyensúlyban, ha a szabad energiájuk, vagyis a két fázis szabad energiájának összege, minimális. A két fázis szabad energiájának görbét valamilyen adott hőmérsékleten a 4. ábra szerint rajzolhatjuk fel. Rátekintve az ábrára, azonnal világos, hogy az A komponenshez közelálló koncentrációjú ötvözetben a β -fázis nem jelenhetik meg, hiszen itt az α -fázis szabad energiája jóval kisebb. Ugyanebből az okból a B alkotóhoz közel eső koncentrációjú ötvözetekben az α -fázisnak kell hiányoznia. Ha a két fázis kristályszerkezete különbözik egymástól, nem is mehetnek át egymásba, hanem közbül okvetlenül kétfázisú területnek kell lennie. Ennek a területnek baloldali határa azt a koncentrációt jelenti, amelynél az α -fázis mellett a β -fázis kezd megjelenni, a másik oldalon pedig azt a koncentrációt, amelyiknél az α -fázis eltűnik az ötvözetből. Ezt a két koncentrációt kell kijelölnünk annak a feltételnek kielégítésével, hogy a két fázis szabad energiájának összege minimális legyen.

A 4. ábra két görbéjének metszéspontjától jobbra és balra eső C_1 és C_2 koncentrációjú fázisok szabad energiájának összege szemmel láthatóan kisebb, mint a metszéspontnak megfelelő összetételű ötvözet hasonló adata, hiszen mindkét összeadandó kisebb.



4. ábra

A szabad energia extenzív (additív) mennyiség, ezért a kétfázisú ötvözet $F_{\bar{\sigma}}$ szabad energiáját

$$F_{\bar{\sigma}} = xF_{\alpha} + (1 - x)F_{\beta} \quad (11)$$

alakban fejezhetjük ki; x az α -fázis mennyisége, F_{α} a szabad energiája, $1 - x$ a β -fázis mennyisége és F_{β} annak szabad energiája. F_{α} és F_{β} értéke egyelőre még ismeretlen. A (11) egyenletben szereplő három ismeretlen kiszámítása céljából további összefüggések egyenletei kellenek. Második egyenletként felírhatjuk, hogy az ötvözet B tartalma a két fázis B fémtartalmának összegével egyenlő:

$$1 \cdot C_{\bar{\sigma}} = x \cdot C_{\alpha} + (1 - x)C_{\beta}, \quad (12)$$

ha $C_{\bar{\sigma}}$, C_{α} és C_{β} az indexben megnevezett fázisok, ill. az ötvözet B fémkoncentrációja, x és $1 - x$ pedig a két fázis mennyisége. Kifejezve x értéket, behelyettesítjük a (11) egyenletbe. Ezáltal az

$$F_{\bar{\sigma}} = (F_{\alpha} - F_{\beta}) \frac{C_{\bar{\sigma}} - C_{\beta}}{C_{\alpha} - C_{\beta}} + F_{\beta} \quad (13)$$

összefüggéshez jutunk. Ez azonban azt fejezi ki, hogy az ötvözet szabad energiája lineárisan függ össze a $C_{\bar{\sigma}}$ koncentrációval. Evvel el is jutottunk a kitűzött feladat megoldásához: a két fázis szabad energiája összegének minimumát csak az az egyenes rögzítheti, amely mindkét fázis együttes szabad energiájának minimumát jelentő pontokon megy át. Az egymással az adott hőmérsékleten egyensúlyt tartó α - és β -fázis koncentrációját tehát úgy kapjuk meg, hogy a szabad energiájuk változását ábrázoló két görbe közös érintőjét megrajzoljuk; a két érintési pont adja meg a két fázis egyensúlyi összetételét, C_{α} és C_{β} értékeit.

A (12) összefüggés egyébként a kétfázisú ötvözetekre érvényes emelőszabálynak külön indoklását nem kívánó alakja; az emelőszabály ismert alakjához úgy jutunk, hogy a (12) összefüggésből kifejezzük x -et és $1 - x$ -et és a két értéket viszonyba állítjuk.

IV.

Az egyensúlyi diagramok lehetséges változatainak megállapítása céljából még egy tisztázandó kérdés marad, nevezetesen az, hogy hány fázis egyidejű jelenlétével kell számolnunk. Erre a Gibbs-féle fázisszabály ad útbaigazítást. Ez a szabály a termodinamikai egyensúlyban levő rendszer alkotói, fázisai és a szabadságok száma között teremt kapcsolatot. Az, hogy mit jelent az alkotók és fázisok száma, nem kíván magyarázatot. Nem egészen egységes azonban a szabadságok számának értelmezése és értékelése, ezért erről szólnunk kell.

A szabadságok száma elvben avval a különbséggel egyenlő, amely a termodinamikai egyensúlyban levő rendszer összes változója és a rendszerre vonatkozóan felírható egyenletek száma között fennáll. Ha egy rendszer szabadságainak száma 0, akkor az állapotát meghatározó tényezők egyike sem változhatik az egyensúly megváltozása nélkül. Annak feltétele, hogy az egyensúly ne változzék, ha az egyensúlyt meghatározó tényezőt változtatunk, az, hogy változhasson legalább egy termodinamikai jellemző.

Ha egy rendszer alkotóinak száma k , a fázisok száma pedig f , akkor annak változóit az összes fázisok koncentráció adatainak $f \cdot k$ szorzata és ezenkívül a hőmérséklet és a nyomás jelenti, tehát a változók száma összesen:

$$f \cdot k + 2.$$

Minden fázisra érvényes, hogy tömege a benne levő alkotók tömegének, illetve koncentrációjának összegével egyenlő:

$$1 = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_k.$$

Ilyen egyenlet annyi írható fel, ahány fázis van, tehát f számú. További egyenlet-sereg következik abból a már tárgyalt összefüggésből, amely szerint az egymással egyensúlyt tartó fázisok szabad energia görbéinek közös érintője van. Ezt matematikai alakban a

$$\frac{dF_\alpha}{dC_1} = \frac{dF_\beta}{dC_1}$$

összefüggés fejezi ki, általánosított alakban pedig f számú fázissal számítva

$$\frac{dF_\alpha}{dC_1} = \frac{dF_\beta}{dC_1} = \frac{dF_\gamma}{dC_1} = \dots = \frac{dF_f}{dC_1}.$$

Az utóbbi összefüggés $f - 1$ számú egyenletet szolgáltat. Ilyen egyenletsort annyit írhatunk fel, ahány alkotója van a rendszernek, összesen tehát $k - (f - 1)$ egyenletet. Az összes egyenlet száma tehát $f + k(f - 1)$. A sza-

badságok sz száma a definíció értelmében tehát

$$sz = k \cdot f + 2 - k(f - 1) - f,$$

azaz

$$sz + f = k + 2 .$$

A jobboldalon a 2 szám a nyomást és a hőmérsékletet jelenti; ha a nyomásnak az egyensúlyra elhanyagolható hatása van, akkor a nyomást a változók közül el lehet hagyni, vagyis ekkor

$$sz + f = k + 1.$$

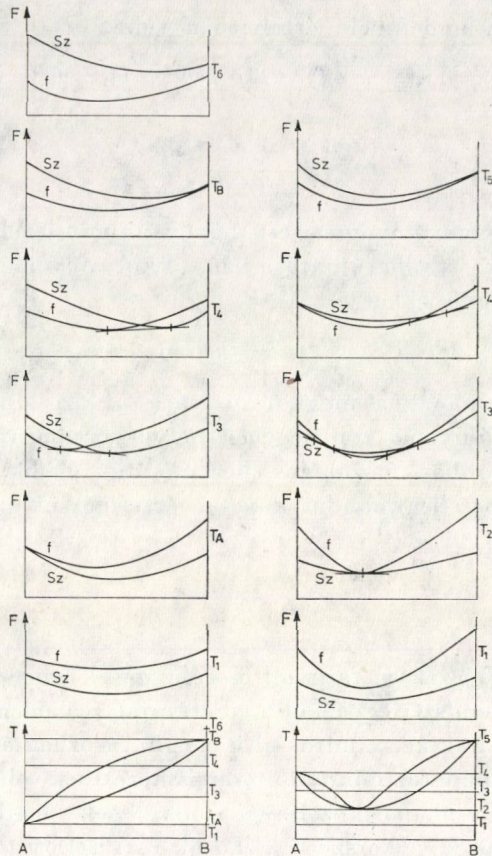
A szabadságok számának a meghatározására a fázis-szabály e két utóbbi alakja az esetek túlnyomó többségében helyes eredményre vezet. Egy-egy speciális esetben azonban látszólagos ellentmondás adódik. A későbbiek során egy ilyen látszólagos ellentmondás kapcsán értelmezzük az eredményt.

V.

A II. és III. fejezetben tárgyalt összefüggések felhasználásával bármely kétalkotós ötvözetrendszer egyensúlyi diagramját, valamennyi lényeges vonalának helyzetét és alakját számítással is meghatározhatnánk, ha a szükséges termodinamikai alapadatok mind pontosan ismeretesek volnának. Az utóbbiak azonban többnyire csak megközelítően ismeretesek, pontos számításra csak kivételesen alkalmasak. A korszerű eszközök és kísérleti technika pontosabb, megbízhatóbb eredményhez vezet, ezért a konkrét ötvözetrendszerek egyensúlyi viszonyait ma is rendszerint kísérletekkel szokás felderíteni. A termodinamikai összefüggések adják azonban meg annak lehetőségét, hogy az egyensúlyi diagramok valamennyi típusának általános alakját megszerkesszük.

A IV. fejezetben tárgyalt fázisszabály a következőkben sorra kerülő kétalkotós ötvözetrendszerekre vonatkozóan, amikor $k = 2$, az egymással egyensúlyban levő fázisok legnagyobb számát háromra korlátozza; ekkor a szabadságok száma 0. A továbbiakban ezért a kétalkotós ötvözeteknek egy-, két- és háromfázisú egyensúlyi állapotával lehet dolgunk.

Annak bemutatása céljából, hogy a szabad energia görbék felhasználásával miként szerkeszthető meg az egyensúlyi diagram, az 5. ábrában egy kétalkotós ötvözetrendszernek különböző hőmérsékleten érvényes szabad energia görbéit rajzoltuk meg. Mindaddig, amíg ezek a görbék nem találkoznak, vagy nem keresztezik egymást csak a kisebb szabad energiájú fázis egymagában jelentheti az egyensúlyi állapotot. Amint az az 5. ábrán látható, a két fázis (olv. és szilárd) szabad energiájának görbéi a T_A és T_B értékek közé eső hőmérsékleteken metszik egymást. Ebben a $T_A \dots T_B$ hőmérséklet közben minden



5-6. ábra

ötvözet kétfázisú. T_B -ben, T_A -ban a két fázis F görbéje még csak találkozik, de nem keresztezi egymást. A $T_B > T > T_A$ hőmérsékleten azonban a két F görbe metszi egymást, közös érintőjük érintési pontjai jelentik a T hőmérsékleten egymással egyensúlyban levő folyékony és kristályos fázis összetételét. Ezt a műveletet kell elegendő számú hőmérséklethez tartozó szabad energia görbék felhasználásával megismételni. Az egymással egyensúlyban levő fázisok koncentrációját ezután az egyensúlyi diagram koncentráció-hőmérséklet koordináta rendszerében a megfelelő hőmérsékleten ponttal megjelöljük. Végül az összetartozó fázispárok koncentrációját ábrázoló pontokat görbével kötjük össze és evvel meg is szerkesztettük a kérdéses ötvözetrendszer egyensúlyi diagramját.

Az eredetileg célul kitűzött kérdés, hogy vajon az általában elfogadott Tammann-féle nyole típuson kívül a még nem ismert kétalkotós ötvözetrendszerek között lehetséges-e további változatok megjelenése. A kérdésre

adandó válaszhoz nyilván úgy juthatunk el, hogy tisztázzuk, hogy a szabad energia görbéinek kétféle alakja, minden lehetséges módon kombinálva egymással, a kereszteződések révén milyen egyensúlyi diagramot határoz meg. A lehetséges kombinációkat két csoportra bontva tárgyaljuk; az első csoportba azokat az ötvözetrendszereket soroljuk, amelyeknek két komponense egyforma kristályszerkezetű, a második csoportba pedig a különböző kristályszerkezetű fémek alkotta ötvözetrendszereket.

Az első csoportba tartozó ötvözetrendszerek szabad energia görbéinek csupán négyféle kombinációja lehetséges. A 3. ábra jelöléseit megtartva — *a*-val jelölve az egy minimumos U-alakú szabad energia görbét, *b*-vel pedig a hullámos alakút — a figyelembe veendő kombinációkat az I. táblázatban állíthatjuk össze:

I. táblázat

A szabad energia görbéjének típusa a 3. ábra jelöléseivel

Olvadék	a	a	b	b
Kristályos	a	b	a	b

A szabad energia görbék alakjainak a meghatározásakor a szilárd oldatokat használtuk modellként. Az ott követett gondolatmenet a folyadékokra is hasonló eredményekre vezet. Az egyetlen lényeges különbség, hogy az olvadék koordinációs száma a *z* nem olyan egyetlen számérték, mint a kristályokban. Az olvadáspont közelében az olvadék koordinációs száma alig tér el attól a számtól, mely azt a kristályt jellemzi, melyből megolvadt. A hőmérséklet növelésével azonban ez a szám folyamatosan csökken. Csak *z* értékének a bizonytalansága a lényeges különbség, egyébként a folyékony oldatok szabad energia görbéi is a már korábbiakból ismert kétféle alakúak lehetnek.

a-a változat. A szabad energia mindkét görbéje U-alakú, egyetlen minimummal. Ha a két komponens olvadáspontja eléggé különböző, akkor az ötvözetrendszer egyensúlyi diagramja az 5. ábrához hasonló lesz. Ha a két komponens megközelítően egyforma hőmérsékleten olvad, akkor az egyensúlyi diagram alakja attól függ, hogy a szabad energiának az olvadt, vagy a kristályos állapotra vonatkozó görbéjének nagyobb-e a görbületi sugara a minimum táján.

A nagyobb hőmérsékleten stabilis fázisok, pl. az olvadék szabad energiája a hőmérséklet süllyedése közben általában gyorsabban növekszik, mint a kisebb hőmérsékleten stabiloké. Ezért a hőmérséklet valamilyen értékénél az olvadék szabad energia görbét a kristályos fázis érinti, illetve egy vagy két helyen metszi. Ha az olvadékfázis szabad energia görbéjének görbületi sugara kisebb, mint a kristályos fázis görbéjéé, akkor a két görbe először találkozik, majd metszi egymást először csak az egyik alkotó oldalán, majd mindkét oldalon és végül már csak egy pontban érintkeznek valahol a közepes

koncentráció táján. Ilyenkor a 6. ábrában feltüntetett olvadáspont minimumos egyensúlyi diagram adódik. Ha viszont a kristályos fázis szabad energia görbéjének görbületi sugara kisebb az olvadék fázis görbéjénél, akkor a hőmérséklet süllyedésével a két görbe először egy pontban, valahol a közepes koncentráció táján csak érintkezik egymással és csak a hőmérséklet további süllyedésekor metszik egymást. Ilyenkor a 7. ábrában bemutatott egyensúlyi diagramhoz jutunk; erre a típusra az olvadáspont maximum jellemző.

A szabad energia görbék *a-a* változatából további diagramtípus nem számítható.

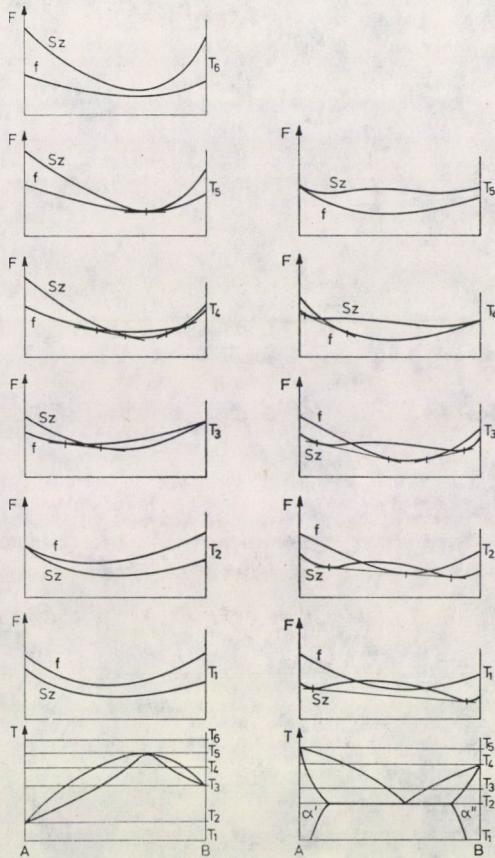
A fázisszabály értelmezésénél tett korábbi kijelentésünkkel kapcsolatban egy érdekességre most hívjuk fel a figyelmet. Ha a 6. és 7. egyensúlyi diagram szerint a szolidusz és a likvidusz görbék érintkezési pontjához tartozó koncentrációjú ötvözeteknek a lehülési görbéjét megrajzoljuk, abból egyértelműen kiderül, hogy ezek az ötvözetek egyetlen hőmérsékleten dermednek meg. Ez bizonyítéka annak, hogy a rendszer szabadságainak a száma 0. A lehülési görbén a vízszintes egyenes szakasz éppen azt fejezi ki, hogy a rendszer szabadságainak a száma 0 mindaddig, míg a rendszerből az egyik fázis el nem tűnik. Csak akkor lehet a rendszer hőmérsékletét változtatni.

Ezzel szemben, ha a fázisszabály korábban leírt alakját használjuk a szabadságok számának a meghatározására, abból, mivel a komponensek és a fázisok száma kettő, 1 értéket kapunk. Ez korántsem jelenti azt, hogy a fázisszabály nem jó. Csupán azt jelenti, hogy a jelenlegi modell nem felel meg annak, amiből a fázisszabályt levezettük. E két ötvözetre ugyanis a kristályosodás során érvényes az az összefüggés is, hogy $C_{sz} = C_{olv}$. Így a felírható egyenletek száma eggyel több, mint az általános esetekben. Ennek megfelelően a szabadságok száma 1-gyel csökken, összhangban a tapasztalati ténnyel.

a-b változat. Az olvadék fázis szabad energia görbéjének egyetlen minimuma van, a kristályos fázis hasonló görbéje pedig hullámos, a rajta jelentkező két hullámvölgyet közös egyenes érinti. A szabad energia görbéinek ilyen párosításából két különböző alakú egyensúlyi diagram származik. Az egyik fajta diagram akkor adódik, ha az olvadék fázis minimumos görbéje a kristályos fázisok hullámos görbéjével, pontosabban a két hullámvölgyhöz húzott érintővel valahol a két érintési pont között kerül érintkezésbe. A kristályosodás ilyenkor eutektikus, az egyensúlyi diagram pedig a 8. ábrában megrajzolt alakú.

Ha viszont az olvadék fázis szabad energia görbéje az imént leírt két érintési ponton kívül kerül érintkezésbe az érintővel, akkor a kristályosodás peritektikus folyamattal megy végbe, az egyensúlyi diagram pedig a 9. ábrának megfelelő alakú.

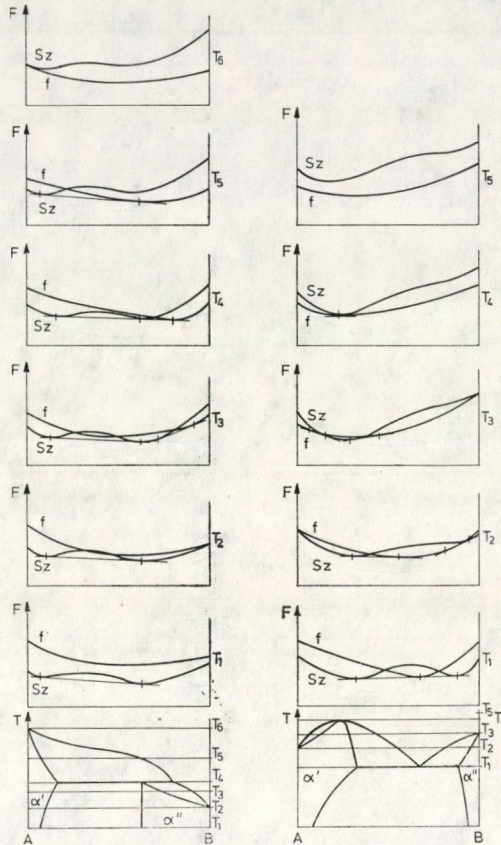
A szóban elmondottak szemléltetése céljából a 8. és 9. ábrában a szabad energia görbéket arra a hőmérsékletre vonatkozóan is megrajzoltuk, amelyek közös érintőre illeszkednek.



7-8. ábra

A 8. és 9. ábráktól kismértékben eltérő diagram is kialakulhat abban az esetben, ha az ömledék szabad energia görbét a szilárd fázis szabad energia görbéje nem a tiszta alkotók függőlegesén metszi először. Ebben az esetben olyan maximum keletkezik az egyensúlyi diagramon, amelyet a 10. ábra mutat. Ezt természetesen nem kell új típusnak tekinteni, mivel ilyen részletet már a 7. ábrán láttunk. Ez természetesen mindkét oldalon is előfordulhat és ilyen részletet a peritektikus egyensúlyi diagram is tartalmazhat.

A szabad energia görbéinek *a-b* kombinációjából még további diagram típusok is származnak. Ha ugyanis a kristályos fázis szabad energiájának görbéje csak olyan kis hőmérsékleten válik *b* jellegűvé, vagyis hullámossá, amelyen az olvadék szabad energiájának görbét már nem metszi és nem is érinti, akkor az olvadék kristályosodása az 5., 6. vagy 7. ábra diagramjából következő módon megy végbe. A szolidusz görbe alatt elhelyezkedő területen egy maximumos görbe jelenik meg (11. és 12. ábra). A görbe maximuma arra



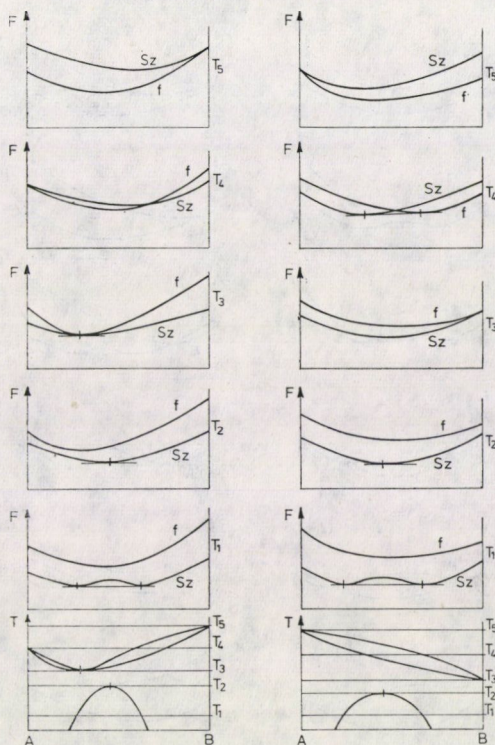
9-10. ábra

a hőmérsékletre esik, amelyen a kristályos fázis szabad energiájának görbéjén a hullámosság megjelenik, a maximumos görbe pontjait a hullámos görbéhez húzott érintő érintési pontjai határozzák meg. Az ötvözet szerkezetében a maximumos görbe olyan változásra utal, hogy a szoliduszt megközelítő hőmérsékleten homogén ötvözet két különböző összetételű, de egyforma rács-szerkezetű kristályos fázissá esik szét, amelyeknek összetételét minden hőmérsékleten a maximumos görbe megfelelő két pontja jelenti.

Ha a kristályos fázis szabad energiájának görbéje már aránylag nagy hőmérsékleten kezd hullámos lenni, akkor a szilárd oldat szétesése a kristályosodás folyamatával is egyesülhet; ilyenkor a 11. ábra diagramja a 8., a 12. ábráé pedig a 9. ábrában megrajzolt alakba megy át.

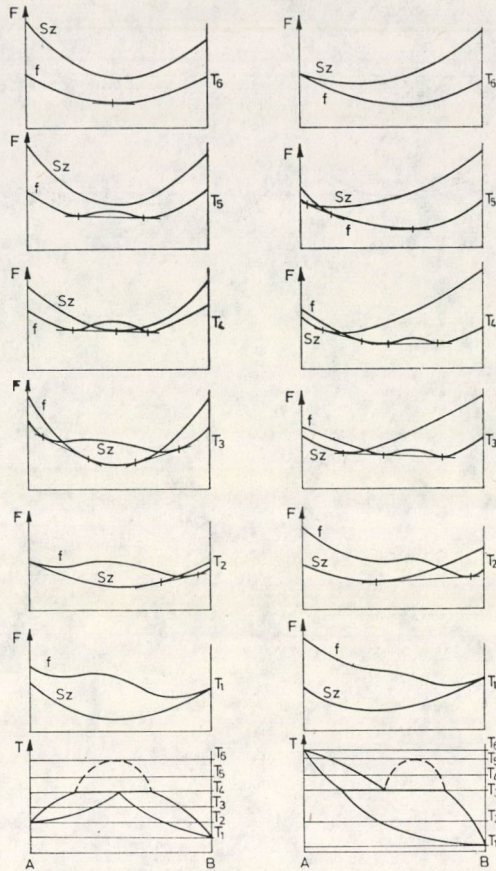
A szabad energia görbéinek az *a-b* változat szerinti párosításából a bemutatottaknál több egyensúlyi diagram nem származtatható.

b-a változat. Az olvadék fázis szabad energia görbéje hullámos, tehát adott hőmérsékleten van olyan érintője, amelyhez két érintési pont tartozik; a kris-



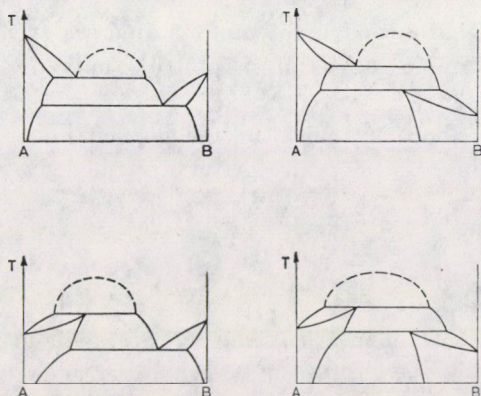
11-12. ábra

tályos fázis szabad energiája U-alakú minimumos görbe szerint változik. Az olvadék fázis hullámos görbéje, követve az általános szabályt, a hőmérséklet emelkedésével szintén U-alakú lesz; ilyen és még nagyobb hőmérsékleten az ilyen rendszer valamennyi ötvözete homogén olvadék; azon a hőmérsékleten, ahol a szabad energia görbéje hullámos alakúvá válik, a homogén olvadék két különböző olvadékká esik szét. Az egyensúlyi diagramnak ilyen feltételeknél két alakja származtatható. Az egyik típus akkor adódik, ha a kristályos fázis szabad energiájának görbéje a háromfázisú folyamat hőmérsékletén az olvadékfázis két érintési pontját magába foglaló érintőhöz e két érintési pont között illeszkedik, a másik pedig akkor, ha ez az illeszkedés a két érintési ponton kívül következik be. Az egyensúlyi diagramnak erre a két esetre vonatkozó alakját a 13. és 14. ábrában rajzolhatjuk meg. A szabad energia görbéinek a $b-a$ változat szerinti kombinációjából további egyensúlyi diagram nem származtatható. Nem tekintjük ugyanis annak azt, ha a 10. ábrához hasonlóan valahol az egyensúlyi diagramban egy olyan speciális részlet kialakul, melyre a szolidusz és a likvidusz görbék egy pontbeli érintkezése valósul meg. A továbbiakban az ilyen részlet megjelenésének a lehetőségét már meg sem említjük



13-14. ábra

A b - a változat tárgyalásakor találkoztunk először az olvadék szabad energiagörbéjének hűlés közben bekövetkező alakváltozásával: bizonyos hőmérsékleten az egyszerű U-alakot a hullámos alak váltja fel. Ugyanazon a hőmérsékleten kezdődik meg az addig homogén olvadéknak két különböző folyékony fázissá való elkülönülése. A 13. és 14. ábrában megrajzolt egyensúlyi diagramok a termodinamika szempontjából feltétlenül lehetségesek, kétséges azonban, hogy a reális diagramok között akad-e majd rájuk példa. Ha nem is szigorú törvényeknek, de bizonyos tapasztalati szabályoknak ugyanis ellentmondanak. Az egyik ilyen szabály, hogy az ötvözetek szabad energiájának görbéje inkább kisebb hőmérsékleten hullámos, a hőmérséklet emelkedésével megy át az U-alakúba; az adott esetben viszont kristályos állapotban, tehát kisebb hőmérsékleten U-alakú, az olvadás hőmérsékletén előbb hullámos, majd a hőmérséklet további emelkedésekor ismét U-alakú. A másik szabály, amelynek a görbék b - a változata ellentmond, az elemek kölcsönös oldékony-



15-18. ábra

ságának a hőmérséklet emelkedésével járó növekedése, valamilyen A fém a B fémből a hőmérséklet emelkedésével szilárd állapotban általában egyre többet old, olvadt állapotban pedig többet, mint kristályos állapotban. Ez alól a szabály alól például a réz ötvözeteiben számos kivételt ismerünk. Nehéz azonban képet alkotnunk annak a folyamatnak végbemeneteléről, amelyre a 13. ábra vízszintese vonatkozik: melegítés közben a homogén kristályos fázisnak két különböző összetételű, folyékony fázissá kellene megolvadnia, hűlés közben pedig két különböző olvadékból kellene homogén kristályos fázisnak, szilárd oldatnak létrejönnie. A 14. ábra diagramja szerinti kristályosodási és olvadási folyamatokról inkább feltételezhető, hogy azok valami reális ötvözetrendszerben valóban végbemennek.

b-b változat. A szabad energiát a koncentráció függvényeként feltüntetett mindkét görbe hullámos, mind a kettőnek van két ponthoz tartozó érintője. A kristályosodás hőmérsékletén a két hullámos görbe közel kerül egymáshoz. Valamilyen hőmérsékleten a kristályos fázis hullámos görbéje ráilleszkedik az olvadék hullámos görbéjének két pontját összekötő érintőre. Ha ez az illeszkedés az olvadék görbéjének két érintési pontja közé esik, akkor a kristályosodás első szakasza eutektikus (15. és 16. ábra), ha pedig a megnevezett két ponton kívül következik be, akkor peritektikus (17. és 18. ábra). További hűléskor a szabad energia két görbéje nem egyforma mértékben változtatja a helyzetét. Valamilyen hőmérsékleten a kristályos állapotra vonatkozó hullámos görbe két minimumán átmenő érintőre illeszkedik az olvadék görbéjének egyik minimuma. Azon a hőmérsékleten, amelyen ez bekövetkezik, újabb háromfázisú folyamatra kerül sor. Amikor ez már végbement, vagy az olvadék tűnik el az ötvözetből eutektikus szövetelem képződésével (15. és 17. ábra), vagy pedig a korábban létrejött kristályos fázist emészti fel az olvadékkal való peritektikus reakció (16. és 18. ábra). Azt, hogy a kristályosodásnak ez a második szakasza eutektikus-e vagy peritektikus, természetesen szintén

az dönti el, hogy a háromfázisú folyamat hőmérsékletén a szabad energia görbéinek közös érintőjén az érintési pontok milyen sorrendben helyezkednek el.

A 15.–18. ábrákban a szabad energia görbéit már nem rajzoltuk meg, mert a korábbi ábrákhoz képest lényegesen újat nem mutatnak.

VI.

A kétalkotós ötvözetek másik csoportjára az jellemző, hogy a két alkotójuk kristályszerkezete különböző. Ilyen ötvözetrendszerekben nem lehetséges, hogy kristályos állapotukban csak egyetlen fázis jelenjék meg minden koncentrációban, hanem legalább két, az α és a β fázissal kell számolnunk, az egyensúlyi diagram lehetséges változatainak megszerkesztésekor tehát összesen három fázisnak — az olvadéknak és a két kristályos fázisnak szabad energia görbéit kell figyelembe vennünk. Ezeknek a görbéknek mindegyike a 3. ábrában megrajzolt a , vagy b alakú lehet. A három görbe összes lehetséges és eltérő egyensúlyi diagramra vezető kombinációit a II. táblázat foglalja össze.

II. táblázat

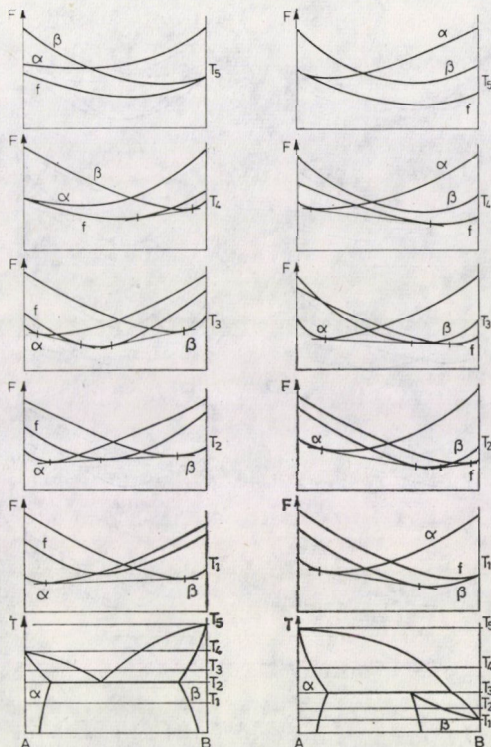
A szabad energia görbéinek kombinációi a második-csoport ötvözetrendszereiben

Fázis	Az F energia görbéjének típusa					
Olvadék	a	a	a	b	b	b
α (A)	a	a	b	a	b	b
γ (B)	a	b	b	a	a	b

a-a-a változat. Mind a három fázis szabad energiájának görbéjén egyetlen minimum van. Ebből a kombinációból két olyan egyensúlyi diagram származik, amilyeneket a 8. és 9. ábrában már bemutattunk. Bár az $a-a-a$ változathoz származó egyensúlyi diagram ugyanolyan, mint a 8. és 9. ábrában feltüntetett, a kristályosodási folyamata pedig a kétféle rendszerben ugyanaz, az ötvözetek szerkezetében mégis van különbség, hiszen a most tárgyalt esetben az α és a β rácsszerkezete különböző, míg a korábban tárgyalt esetben a két kristályos fázisnak csak az összetétele lehetett különböző, a rácsszerkezete azonban nem.

A 19. és 20. ábrában az $a-a-a$ változathoz tartozó szabad energia görbéket tüntettük fel az egyensúlyi diagram megszerkesztéséhez szükséges hőmérsékletekre. Az ábrából világosan kitűnik, hogy a három egyszerű minimumos szabad energia görbe miért szolgáltatja a 8. és 9. ábrához hasonló diagramot.

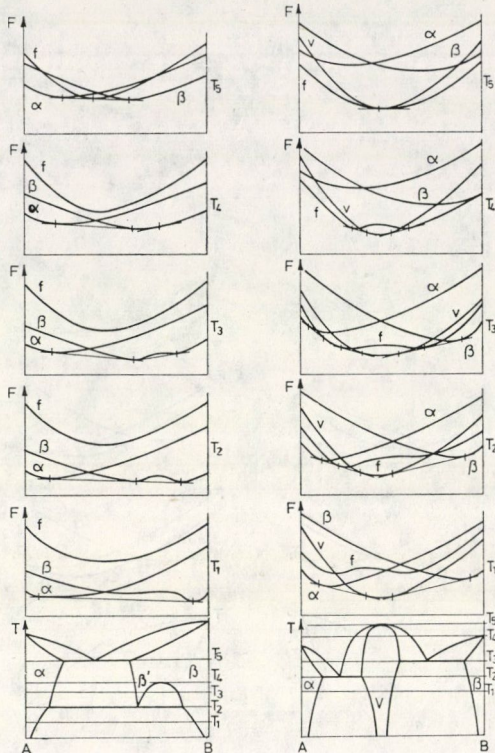
a-a-b változat. Az egyensúlyi diagramnak a kristályosodásra vonatkozó része ugyanolyan, mint az előző esetben, lehet eutektikus, vagy peritektikus jellegű. A kristályosodás folyamatát azonban a további hűtés során a β fázisban végbemenő változás követi. Ez a változás a szabad energia görbéinek közös



19-20. ábra

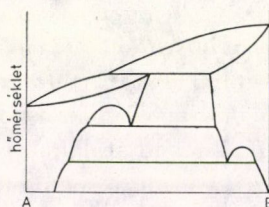
érintőre való illeszkedésének következménye és abban nyilvánul meg, hogy a β fázis a maximumos vonal szerinti hőmérsékleten két különböző összetételű kristályos fázissá bomlik. A több B -t tartalmazó fázisnak a továbbiakban már csak az összetétele változik a másik bomlástermék egy részének azonban a vízszintes hőmérsékletén α -fázissá kell átalakulnia, tehát a kristályszerkezetének is meg kell változnia. Az egyensúlyi diagramnak csak eutektikus típusát rajzoltuk meg a 21. ábrában; a peritektikus diagram újat nem adna, mert a 21. ábrában csak a β -fázisban végbemenő folyamat új. A 21. ábrához hasonló egyensúlyi diagramja van például az Al-Zn rendszernek.

a-b-b változat. Az egyensúlyi diagramnak a kristályosodásra vonatkozó része ismét a 8. és 9. ábrának megfelelő lehet, eutektikus vagy peritektikus. Most azonban mind az α -, mind a β -fázis szabad energiájának görbéje hullámos lévén, mind a kettőn megjelenik a két érintési ponthoz tartozó érintő. Ennek következtében most mind az α -, mind a β -fázisban hűlés közben olyan bomlási folyamat mehet végbe, amilyent a 21. ábrával kapcsolatban már tárgyaltunk. Az *a-b-b* változatnak megfelelő egyensúlyi diagramot a 22. ábra tünteti fel; a már ismertekhez képest voltaképpen új vonása nincs is, ezért nem is tekintjük új típusnak. Még az is eléggé valószínűtlen, hogy ilyen típus a reális ötvözet-



21. ábra

23. ábra



22. ábra

rendszerekben egyáltalán előfordul-e. Az U_0 energiának ugyanis 50% közelében van a maximuma; annak, hogy a hatása érvényesülhessen, 50%-ot megközelítő, tehát nagymértékű oldhatóság szükséges szilárd állapotban; idegen rács-szerkezetű fémek oldékonysága azonban többnyire jóval csekélyebb, — mindkét oldalon pedig nem is nagyon lehetséges.

b-a-a változat. Evvel a kombinációval potosann ugyanolyan egyensúlyi diagramok szerkeszthetők, mint a már tárgyalt *b-a* változat szerinti szabad energia görbékkel és amelyeket a 15., 16., 17. és 18. ábrában már bemutattunk. Új típusú egyensúlyi diagram tehát ebből a változathoz nem származik. Az ide

tartozó ötvözetrendszerre természetesen szintén az a jellemző, hogy a két kristályos fázisuk rácsszerkezete nem egyforma.

b-a-b változat. Ha a β -fázis szabad energia görbéjének két érintési ponton átmenő érintőire az α -fázis szabad energiájának görbéje egyetlen hőmérsékleten sem illeszkedik, akkor a 15., 16., 17. és 18. ábrában már bemutatottakhoz hasonló egyensúlyi diagramok származnak, új típus tehát nem jelentkezik. Ha az α -fázis szabad energiájának görbéje valamilyen hőmérsékleten a β -fázis görbéjének említett érintőjével érintkezik, a 21. ábra szerinti egyensúlyi diagramrészlet származik.

b-b-b változat. A b típusú szabad energia görbék felhasználásával származtatható egyensúlyi diagramoknak a kristályosodásra vonatkozó részét a 15., 16., 17. és 18. ábrában már megismertük; ilyen szempontból új típusú diagram nem adódik. Lehetséges azonban, hogy további hűlés közben mindkét szilárd oldatban olyan változás mehet végbe, amilyent az előző változat tárgyalásakor a β -fázisra korlátozottan már megismertünk. Ennek bekövetkezésére azonban ugyanazok az érvek az irányadók, amiket az $a-b-b$ változat tárgyalásakor már leírtunk. Hasonló jellegű diagramrészlet a $b-b-b$ változat esetében mindkét szilárd oldat körzetében megjelenik, mint ahogy a 22. ábrán már láttuk, azzal a különbséggel, hogy a kristályosodás a 15.–18. ábrák szerint megy végbe.

Most már az egyforma, valamint a különböző rácsszerkezetű fémek kétalkotós ötvözetrendszereire vonatkozóan minden elképzelhető változatot sorra vettünk. Ha elfogadjuk, hogy a folyékony és kristályos fázisok szabad energiája a koncentrációval csak a 3. ábra szerinti kétféle görbe szerint változik, az 5.–19. ábrában a kétalkotós ötvözetrendszerek minden — termodinamikailag — lehetséges egyensúlyi diagramját is bemutattuk.

VII.

Az V. és VI. fejezetben sorra vettük az összes lehetőségeket, amelyek olyan ötvözetrendszerre vonatkoznak, amelyekben csupán a két alkotó kristályos fázisa jelenik meg szilárd állapotban. Ezek a kristályos fázisok nem színfémek, hanem mindig szilárd oldatnak a kristályai. Egymásban teljesen oldhatatlan fém ugyanis nincsen, a kölcsönös oldékonyságuk lehet számottevő, de lehet nagyon csekély, ezred százalék, vagy ennél is kisebb mértékű, esetleg minden gyakorlati következmény nélkül. Ezért nem is szükséges a színfémek kristályosodásának lehetőségével foglalkoznunk, az egyensúlyi diagramnak új típusához nem vezetne.

Az egyensúlyi diagramok leírt változatain kívül azoktól különböző típust a reális ötvözetek diagramjai között sem találtunk. A termodinamikailag lehetséges típusok közül a 13. és 14. ábrával egyező reális diagramról nincsen tudomásunk. Valószínű, hogy a szabad energia görbéinek a hőmérséklettel

való szokatlan változása és a szilárd állapotban egymást korlátlanul oldó fémeknek olvadt állapotban korlátozottá váló oldékonysága, amely a 13. és 14. ábrának megfelelő egyensúlyi diagramokban kifejezésre jut, a reális fémek esetében nagyon ritka, esetleg elő sem fordul. A 13. ábra szerinti diagramnak a kristályosodásra vonatkozó részének alakja hasonlít ugyan az 15. és 16. ábrához, csak hogy a két alkotó különböző kristályszerkezetű.

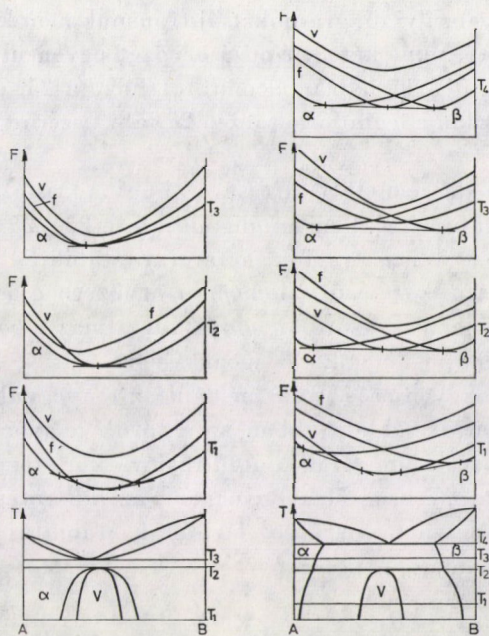
Most még azokról az ötvözetrendszerekről kell szólnunk, amelyekben a két alkotónak az olvadékból kristályosodó szilárd oldatain kívül egyéb fázisok is megjelennek. Evvel a lehetőséggel akkor találkozunk, ha egyik, vagy mindkét alkotónak allotróp átalakulása van, valamint akkor, ha a két alkotó vegyülete jelenik meg.

Minden allotróp átalakulás a rácsszerkezet megváltozásával jár, minden módosulat úgy tekintendő, mintha más fém volna. Amikor tehát egy ötvözetrendszer egyik alkotója átalakul, az addigi ötvözetrendszer helyébe egy másik lép. Ebben a másik ötvözetrendszerben természetesen mindazok a folyamatok lehetségesek, amelyekről az 5.—22. ábrák adnak tájékoztatást, csupán avval a különbséggel, hogy az allotrópiával járó folyamatok nem olvadékfázisban kezdődnek, hanem már kristályos állapotban. Újszerű diagramtípus az allotrópia következményeként nem jöhet létre.

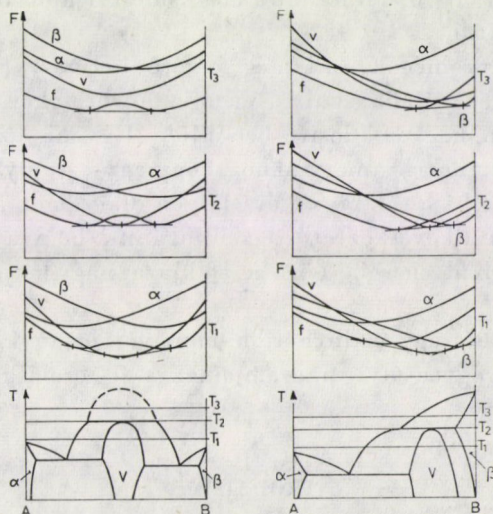
Az intermetallikus vegyületek képződésének termodinamikai feltétele úgy fogalmazható meg, hogy az AB vagy a vegyületre jellemző atompárok stabilisabbak az AA vagy BB pároknál; ennek következtében egy új, szabad energia görbe is megjelenik, a kémiai összetételnek megfelelő koncentrációnál egy nagyon kis görbületi sugárral. Ennek értékétől függ ugyanis a vegyület létezési tartománya. Aszerint, hogy ez melyik hőmérsékleten valósul meg, a vegyület jellegű fázis képződése kezdődhetik.

- i. az ötvözet egyfázisú vagy szilárd oldat-állapotában, vagy
- i.i. az ötvözet kétfázisú állapotában, amikor a két fázis
 - a) szilárd
 - b) olvadék
 - c) szilárd + olvadék

Ha a vegyület olvadékból közvetlenül kristályosodik, akkor az olvadás-pontok görbéjén, a likviduszgörbén maximum jelentkezik, amint azt a 23. ábra szemlélteti. Ugyancsak maximumos görbe (görbepár) árulja el a vegyület (rendezett rácsú szilárd oldat) képződésének körülményeit, ha ez a folyamat az ötvözeteknek már szilárd állapotában kezdődik meg; ezt a változatot a 24. ábra szemlélteti. Ha a vegyület két fázis reakciója útján képződik, és pedig két szilárd fázis reakciójaként, akkor a 25. ábra jellemzi az egyensúlyi viszonyokat. Ha a két reagáló fázis olvadék, akkor a 26. ábra szerinti egyensúlyi diagram valósul meg és végül a szilárd-olvadék reakció eredményeképp keletkező intermetallikus vegyületképződés egyensúlyi ábrája a 27. képen látható.



24-25. ábra



26-27. ábra

Ez utóbbi egyensúlyi diagramokat új típusnak nem kell tekinteni, hiszen a 23. ábra felfogható mint két 8. típusú ötvözet egyensúlyi diagramja. A 24. típus nagyon hasonlít a 11. ábrán bemutatotthoz, a 25. és 26. típus pedig a 13. típushoz. Még talán a legindokoltabb a 27. ábra szerinti viszonyokat újabb típusként kezelni.

Annak az elvnek szem előtt tartásával, hogy a kristályos fázisok egymást kisebb vagy nagyobb mértékben mindig oldják, a 23–25. ábrákban a vegyületfázisnak bizonyos koncentrációk határolta stabilitás területet jelöltünk meg. A terület határai közé eső valamennyi ötvözetben csak a vegyület kristályos fázisa van jelen, az azonban oldva tartalmaz a vegyület egyik vagy másik komponenséből is megfelelő mennyiséget. Ha a vegyületben a AB atompárok kötése nagyon erős, mint például az ionvegyületekben, amilyenek a Mg_2Si -ot tekinthetjük, akkor abban az alkotók nagyon kevésbé oldódnak, a vegyület fázisa a stöchiometriai koncentrációra korlátozódik, és nehezebben is olvad, mint a komponensei. Minél gyengébb az AB kötések energiája, annál szélesebb lehet a vegyület kristályos fázisának stabilitás területe és egyben annál kisebb az olvadáspontja is.

VIII.

Összefoglalva az előbbieken elmondottakat arra a következtetésre kell jutnunk, hogy amennyiben az a feltevés, miszerint az ötvözetek szabad energiájának görbéi csak a két változatot mutatják, melyeket a 3a és b ábrák vázolnak, a kétalkotós ötvözetrendszer valamennyi egyensúlyi diagramját felsoroltuk. Ezekből eltérő alakúakat a még ismeretlen ötvözetek felderítésénél sem fognak kimutatni.

Az egyetlen probléma, ami még felvetődhet az, hogy a felhasznált közelítések finomítása újabb szabad energia görbealakokra vezethet. Ezt a lehetőséget azonban nagyon kicsire becsüljük. Ugyanis az eddig ismert kétalkotós ötvözetek száma elég nagy ahhoz, hogy egy-egy olyan eset is adódjék, amikor a közelítés hibája túl nagy, Mivel ilyen diagramot az ismertek között nem találtunk, arra a következtetésre kell jutnunk, hogy a korábban említett közelítéseket a szabad energia görbék alakjára nagyon jó közelítésnek kell tartanunk.

A fentieket tehát úgy tekinthetjük, mint valamennyi kétalkotós ötvözetrendszer lehetséges egyensúlyi diagramjainak a felsorolását.

IRODALOM

1. TAMMAN G.: Lehrbuch der Metallographie, Leipzig 1923, L. Voss
2. COTTRELL A. H.: Theoretical Structural Metallurgy.. London 1965, Edward Arnold

The Phase Diagrams of Binary Alloys. — On the base of thermodynamical considerations the authors enumerate the possible types of binary phase diagrams. Two characteristic forms of the free energy curves, and consideration of the phase rule prove, that although the number of the still unknown binary alloys is several thousand, amongst the phase diagrams of the unknown alloy systems there can be no such types which are not described in the paper. According to the laws of thermodynamics, the limited number of shapes of the free energy curves and the phase rule, there are no further possibilities above the phase diagrams involved in the paper.

Die Zustandsdiagramme der binären Legierungen. — Aufgrund von thermodynamischen Erwägungen führen die Verfasser die möglichen Typen der binären Legierungen an. Unter Berücksichtigung der zwei charakteristischen Formen der Kurven freier Energie und der Phasenregel wird nachgewiesen, daß unter den Zustandsdiagrammen der noch unbekannt binären Legierungen keine Typen sein können, welche die Arbeit nicht beschreibt, obwohl die Zahl der noch unbekannt binären Legierungen mehrere Tausend beträgt. Gemäß den thermodynamischen Gesetzen gibt es wegen der beschränkten Anzahl von Formen der Kurven freier Energie und weil die Phasenregel zur Geltung kommt, keine weitere Möglichkeiten.

A HAJLÉKONYSÁG SZEREPE A VASBETONOSZLOP TEHERBÍRÁSÁBAN

SZALAI KÁLMÁN*

[Beérkezett 1975. november 22-én]

A dolgozat az oszlop hajlékonyságának teherbírásra gyakorolt hatását vizsgálja elméleti úton. A stabilitási problémát szilárdsági feladattá alakítja át. Eszerint a mértékadó külpontosság egy számítás szerinti külpontosságból és egy kiegészítő külpontosságból tevődik össze. A kapott eredményeket a dolgozat összehasonlítja a KGST és a hazai szabvány előírásaival, és azt találja, hogy a javasolt eljárás pontosabb megoldást eredményez.

1. Előzmények

A vasbeton oszlop teherbírásának számításakor — egyéb szerkezeti elemektől eltérően — általában nem hanyagolható el a teher okozta alakváltozás, ill. a másodrendű igénybevételek hatása. A vasbetonelmélet, ill. tervezési gyakorlat régi törekvése, hogy a nyomott elem stabilitási feladatát szilárdságtani problémává alakítsa át [3], [4]. A másodrendű hatások figyelembevételére szolgáló eljárások közül mi az alábbi két megoldást emeljük ki.

a) *A rugalmas vonal differenciálegyenletének megoldásával nyerhető eljárás*

Ekkor a mértékadó külpontosság

$$e_M = \eta \cdot e_0. \quad (1)$$

Az (1)-ben

$e_0 = e_k + e_{sz}$ — az e_k kezdeti véletlen jellegű, és az e_{sz} — a statikai számításból kapott külpontosság összege;

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{kr}}} \quad \text{— külpontosságnövelő tényező.} \quad (2)$$

Ezt az eljárást alkalmazza többek között az 1974. évi KGST szabvány, továbbá a szovjet, és lényegét tekintve a korábbi magyar szabvány is. A (2)-ben levő N_{kr} az Euler-féle erő kísérleti tapasztalatok figyelembevételével

* Prof. Dr. Szalai Kálmán 1117 Budapest Bogdánffy u. 3.

módosított értéke [1]:

$$N_{kr} = \frac{6,4E_b}{l_0^2} \left[\frac{I_b}{k_d} \left(\frac{0,11}{0,10 + \frac{\beta}{k_v}} + 0,10 \right) + I_{ap} \right], \quad (3)$$

ahol

- N — a mértékadó normálerő;
 E_b — a beton alakváltozási tényezője;
 I_b — a beton keresztmetszet inercianyomatéka;
 I_{ap} — az acél $n \cdot F_a$ ideális keresztmetszetének szemleges tengelyre vett inercianyomatéka;
 $k_d = 1,0 + 0,5(M_d/M)\varphi_p$ — a tartósan működő teher hatását figyelembe vevő tényező (M_d — a tartós, M — a teljes teher okozta igénybevétel);
 φ_p — a beton lassú alakváltozási tényezője ($\varphi_p \approx 2$)
 $\beta = e_0/h \geq \beta_{\min} = 0,6 - 0,01L/h - 0,0008R_b$, de legalább 0,05 — a külpontosság relatív értéke;
 $k_v = 1,0$ (nem feszített szerkezet esetében);
 l_0 — a rúd kihajlási hossza.

b) *A törési állapot létrejöttéig kialakuló Δe_T külpontossági növekmény figyelembevételére épülő eljárás*

Ezen módszernél a mértékadó külpontosság

$$e_M = \overbrace{e_{sz} + e_{k0} + e_{kg}}^{e_0} + \Delta e_T \quad (4)$$

formában számítható, ahol (az MSz 15022/1—71 számértékeivel)

- e_{sz} — a statikai számításból nyert külpontosság;
 $e_{k0} = 0,03h$ — a feltételezett kezdeti véletlen jellegű külpontosság;
 $e_{kg} = 0,01[l_0/10h]^2h$ — az oszlop feltételezett kezdeti görbesége mint véletlen jellegű külpontosság;
 h — a keresztmetszet dolgozó magassága;
 l_0 — a rúd kihajlási hossza;
 $\Delta e_T = k_d \cdot 0,035[l_0/10h]^2h$ — a teher okozta külpontossági növekmény;
 $k_d = 1,0 + 0,3M_d/M$ — az M_d tartósan működő teher hatásának figyelembevétele (M — a teljes teher értéke). $M_d = 0,5M$ feltétel esetén $k_d = 1,15$; ezen értéket vették alapul az (5) kifejezés szabályzati megfelelőjénél.

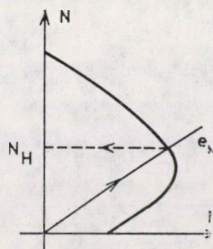
Ez utóbbi módszert az Európai Beton Bizottságban kialakult ajánlás továbbfejlesztésének eredményeként az új magyar tervezési szabvány tartalmazza [2]. Az (5) szerinti kifejezés a gyakorlatilag előforduló eseteket a biztonság oldaláról megközelítő helyettesítést jelent [5].

c) *A két eljárás összehasonlítása*

A keresztmetszet teherbírási vonalának [6] ismeretében valamely e_M mértékadó külpontossághoz

- (1) esetben fokozatos közelítéssel,
- (4) esetben közvetlenül

határozható meg a határerő értéke (1. ábra).



1. ábra

A fent ismertetett két eljárás a kísérleti tapasztalatok szerint egyaránt helyes eredményt szolgáltat, és mindkét eljárás tartalmaz előnyöket és hátrányokat.

Az (1) szerinti eljárásnak — több előnye mellett — hátránya elsősorban az, hogy a teherbírás csupán fokozatos közelítéssel és időigényesen határozható meg. Problémát jelent az is, hogy a törési állapot megítéléséhez rugalmasságtani alapon értelmezett megoldást alkalmaz. Továbbá az e_M mértékadó különponthoz kimutatható határerő és az N_{kr} erő viszonyának értelmezése elvi nehézségekbe ütközik (ugyanis $N_H \approx N_{kr}$).

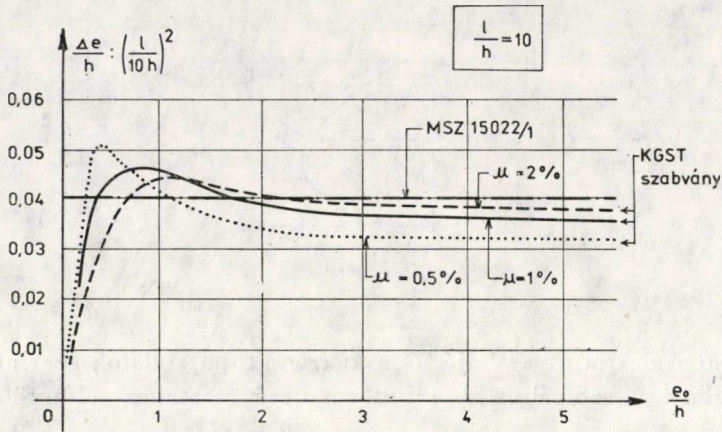
A (4) szerinti megoldásnak hátránya — a fokozatos közelítés szükségességét kiküszöbölő előnye mellett —, hogy a kidolgozásnál figyelembe vett alapfeltevések nem általánosak, ugyanis előre megadott alakzatú kigörbült rúddal és nyomott vasbetét nélküli esettel számol.

Az (1) és (4) eljárásban figyelembe vett különponthoz növekmények összehasonlítására számításokat végeztünk. A számítások eredményének jellemzésére közöljük a 2. ábrát. Az ábra $l/h = 10$ oszlop-hajlékonysághoz tartozik (l = az oszlop számítási hossza; h — a keresztmetszeti dolgozó magasság). Az (1) szerinti számítást a vashányadtól és a hajlékonyságtól függően összesen 17 oszlop-esetre végeztük el. A kapott eredmények jellemzéseként ezen ábrán $\mu = 0,5, 1,0$ és $2,0$ vasszázalékhoz tartozó görbék adjuk meg. Az ábrán bejelöltük a magyar szabvány szerinti Δe_T értéket is.

A 2. ábra alapján, amely a különponthoz növekmény $[l/(10 h)]^2$ -al osztott értékeit tartalmazza az e_0/h függvényében, olyan megállapítás tehető, hogy

- az (1) és (4) szerinti számítható különponthoz növekmények egymásnak nagyságrendileg megfelelő értékűek; eltérés a kis különponthoz nyomás egy szakaszán van;
- a magyar szabvány előírása általában a kis és nagy különponthoz közötti átmeneti szakasztól eltekintve, a biztonság oldaláról közelíti meg az (1) eredményeit.

Az (1) szerinti eljárással kapcsolatban felmerül az a probléma, hogy az egészen kis különponthoz ($e_0 < 0,3 h$) esetén szilárdsági tönkremenetel feltevése a biztonság kárára történik.



2. ábra

A magyar előírások tökéletesítése céljából e kutatást abban az irányban folytattuk tovább, hogy a Δe_T értékeit $e_0/h < 2$ külpontossági tartományban pontosítsuk.

2. A hajlékonyság figyelembevételére szolgáló eljárás továbbfejlesztésének indokolttsága

A nyomott-hajlított rúd hajlékonyságának hatását figyelembe vevő eljárások közül a gyakorlati tervezés során jól használhatónak mutatkozik a (4) kifejezés szerinti Δe_T külpontossági növekmény alapján álló számítás. Ezen eljárás továbbfejlesztésének igénye azért merült fel, mert az elméleti vizsgálat alapfeltevéseivel kapcsolatban észrevételek hangzottak el. A magyar előírásokban szereplő Δe_T külpontossági növekmény bevezetésénél [5] tanulmány szerint kiindulási alapként feltételezték, hogy

- a beton σ – ε diagramja trapéz alakú;
- a keresztmetszetben csak húzott betétek vannak;
- a törésállapotig létrejött kigömbülés szinus alakú.

A különböző alapesetekre eredményül kapott Δe értéksort a biztonság javára egy $\Delta e_T = \text{const}$ értékkel közelítették, amely átlagosan helyes értéket, de a vasalásereőség, az acélbetét szilárdsága, a hajlékonyság és a külpontosság mértékétől függően bizonyos mértékű egyenlőtlen biztonságot eredményez. Az eljárásnak előnyére szolgál az alkalmazás egyszerűsége.

A [7] tanulmány a keresztmetszet teherbírási és alakváltozási képességeinek vizsgálata során kapott eredményeket ismerteti. E cikkben a keresztmetszetre kapott eredményeket általánosítjuk az l/h hajlékonyságú oszlop teherbírási és alakváltozási viszonyaira.

A Δe_T külpontossági növekményre épülő módszer továbbfejlesztésével kapcsolatban e cikkben megvizsgáljuk a [7]-ben ismertetett alapfeltevésekből kiindulva a végén ideálisan és részlegesen megfogott oszlop teherbírási és alakváltozási tulajdonságait.

Kiterjesztjük vizsgálatainkat a végein megtámasztott, de szabadon elforduló oszlopokra is. A vizsgálat célja olyan általános eljárás kidolgozása, amelynek segítségével a különböző kialakítású és igénybevételű oszlopok szempontjából a biztonsági szint megközelítően azonosra tehető.

3. A vizsgálati eljárás ismertetése

a) *Alapfeltevések*

Az oszlop elméleti vizsgálatánál az alábbi alapfeltevésekből indulunk ki:

- A sík keresztmetszet elve érvényes.
- A nyírásból származó deformációk elhanyagolhatók.
- A csomópontban csatlakozó rudak véglapjai azonos elmozdulásokat végeznek a teherhordó erők hatására.
- A beton $\sigma-\varepsilon$ nyomó diagramja szinusz vonalat helyettesítő polinom (ennek részletei a [7]-ben található.)
- A betonnak húzószilárdsága nincs.
- A betonacél $\sigma-\varepsilon$ diagramja az ideálisan rugalmas-képlékeny tulajdonságú anyagnak megfelelő törtvonal, a [7]-ben közölt részletekkel.
- A terhelő erők az alakváltozások lejátszódása után a szerkezet ugyanazon pontjára ugyanolyan irányban hatnak, mint a deformációk létrejötte előtti pillanatban (az erő konzervatív).
- A vizsgált keresztmetszet derékszögű négyszög alakú és szimmetrikusan vasalt.

b) *A keresztmetszeti igénybevételek meghatározásának elve*

Az alapfeltevéseknek megfelelően a keresztmetszetre ható igénybevételek két részből tehetők össze, azaz

$$\begin{aligned} N &= N_b + N_a, \\ M &= M_b + M_a. \end{aligned} \tag{6}$$

Az igénybevételek felírásához a 3. ábra szerinti koordinátarendszert alkalmazzuk.

A rúd keresztmetszetének u függőleges, v vízszintes elmozdulásai, valamint ε_0 és φ deformációk között a következő összefüggések állnak fenn:

$$\varepsilon_0 = -\frac{du}{dz}$$

$$\varphi = -\frac{d^2v}{dz^2}.$$
(7)

A betonra jutó igénybevételek ($\sigma_0 = (\sqrt{3}/2) \sigma_{bt}$ jelöléssel):

$$N_b = \int_{-h/2}^{+h/2} b \cdot \sigma_0 \left\{ (\varepsilon_0 + \varphi \cdot x) - \frac{1}{9} (\varepsilon_0 + \varphi \cdot x)^3 \right\} dx,$$

$$M_b = \int_{-h/2}^{+h/2} b \cdot \sigma_0 \left\{ x(\varepsilon_0 + \varphi \cdot x) - \frac{1}{9} x(\varepsilon_0 + \varphi \cdot x)^3 \right\} dx.$$
(8)

Az acélrészre háruló igénybevételek:

$$N_a = bh\mu(\sigma_{af} + \sigma_{aa})$$

$$M_a = bh^2\mu \left(\frac{1}{2} \sigma_{af} - \frac{1}{2} \sigma_{aa} \right)$$
(9)

A (8) és a (9) kijelentések az

$$n = \frac{N}{bh \cdot \sigma_{bt}}; \quad m = \frac{M}{bh^2 \cdot \sigma_{bt}};$$

$$\varphi^* = \varphi \cdot h; \quad \xi = xh; \quad \xi_a = \frac{x_a}{h}; \quad \xi_f = \frac{x_f}{h}$$

jelölések bevezetésével és az integrálás elvégzésével az alábbi formában állíthatók elő:

$$\left. \begin{aligned} n_b &= \frac{\sqrt{3}}{2} \left\{ \sum_{s=1}^4 a_i (\xi_f^s - \xi_a^s) \right\} \\ m_b &= \frac{\sqrt{3}}{2} \left\{ \sum_{s=1}^4 b_i (\xi_f^{s+1} - \xi_a^{s+1}) \right\} \end{aligned} \right\}$$
(10)

$$\left. \begin{aligned} n_a &= \frac{\mu}{\sigma_{bt}} (\sigma_{af} + \sigma_{aa}) \\ m_a &= \frac{1}{2} \frac{\mu}{\sigma_{bt}} (\sigma_{af} - \sigma_{aa}) \end{aligned} \right\}$$
(11)

A (10) és (11) kifejezések érvényességi tartománya:

$$\xi_f = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2}; \quad 0 < \varepsilon_{f1} \leq \varepsilon_{bt} \\ \frac{\varepsilon_f - \varepsilon_0}{\varphi^*}; \quad \begin{cases} \varepsilon_{f1} > \varepsilon_{bt} \\ \varepsilon_{f1} < \varepsilon_{bt} \end{cases} \end{array} \right\} \quad (12)$$

$$\xi_a = \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2}; \quad 0 \leq \varepsilon_{a1} \leq \varepsilon_{bt} \\ \frac{\varepsilon_a - \varepsilon_0}{\varphi^*}; \quad \begin{cases} \varepsilon_{a1} > \varepsilon_{bt} \\ \varepsilon_{a1} < 0 \end{cases} \end{array} \right\} \quad (13)$$

$$\sigma_{af} = \left\{ \begin{array}{l} 0; \quad |\varepsilon_{f1}| > \varepsilon_{asz} \\ \sigma_{aH}; \quad \varepsilon_{aF} < \varepsilon_{f1} \leq \varepsilon_{aF} \\ E_a \cdot \varepsilon_{f1}; \quad -\varepsilon_{aF} < \varepsilon_{f1} \leq \varepsilon_{aF} \\ -\sigma_{aH}; \quad -\varepsilon_{asz} \leq \varepsilon_{f1} < -\varepsilon_{aF} \end{array} \right\} \quad (14)$$

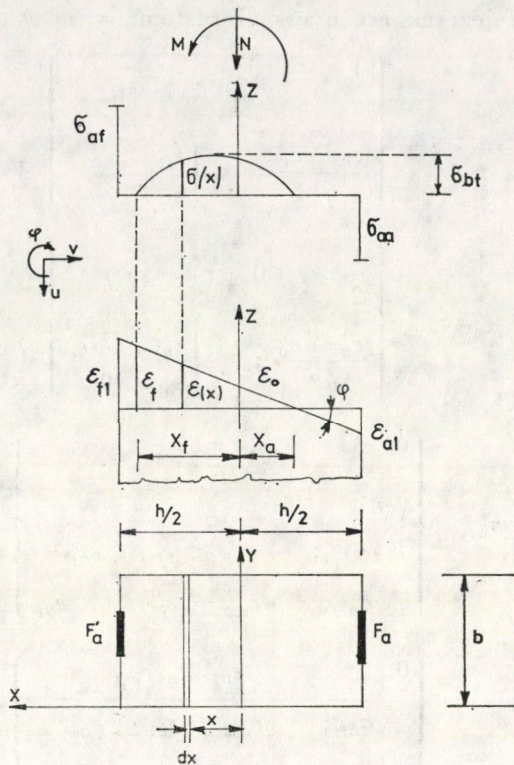
$$\sigma_{aa} = \left\{ \begin{array}{l} 0; \quad |\varepsilon_{a1}| > \varepsilon_{asz} \\ -\sigma_{aH}; \quad \varepsilon_{asz} \leq \varepsilon_{a1} \leq \varepsilon_{aF} \\ E_a \cdot \varepsilon_{a1}; \quad -\varepsilon_{aF} < \varepsilon_{a1} \leq \varepsilon_{aF} \\ \sigma_{aH}; \quad \varepsilon_{aF} < \varepsilon_{a1} \leq \varepsilon_{asz} \end{array} \right\} \quad (15)$$

A (10) és (11) kifejezésekben levő tényezők

$$\left. \begin{array}{l} a_1 = \varepsilon_0 \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{9} \right) \\ a_2 = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{3} \right) \varphi^* \\ a_3 = -\frac{1}{9} \varepsilon_0 \cdot \varphi^{*2} \\ a_4 = -\frac{1}{36} \varphi^{*3} \end{array} \right\} \quad (16) \quad \left. \begin{array}{l} b_1 = \frac{1}{2} \varepsilon_0 \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{9} \right) \\ b_2 = \frac{1}{3} \left(1 - \frac{\varepsilon_0^2}{3} \right) \varphi^* \\ b_3 = -\frac{1}{12} \varepsilon_0 \cdot \varphi^{*2} \\ b_4 = -\frac{1}{45} \varphi^{*2} \end{array} \right\} \quad (17)$$

c) Az alakváltozási függvény felvételének alapelve

A (7), (10) és (11) kifejezések alapján bevezethető $u(z)$; $v(z)$ deformáció függvény segítségével a rúd igénybevételei meghatározhatók volnának. A deformáció függvények azonban egyelőre nem ismeretesek.



3. ábra

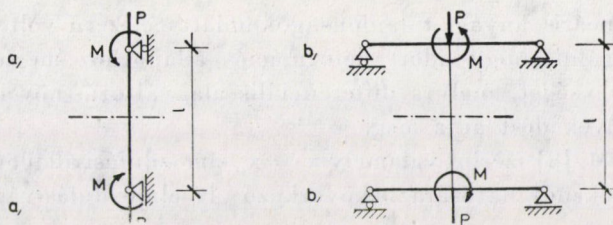
A numerikus tárgyalhatóság előfeltételeként biztosítani kell, hogy az alakváltozási függvények minél egyszerűbb felépítésűek legyenek. Ezért olyan statikai modelleket kellett kiválasztani, amelyekkel jól jellemezhetők a tényleges szerkezetek, de egyben elég egyszerűek ahhoz, hogy számítástechnikailag könnyen kezelhetők legyenek.

Így a következő két típust oldottuk meg különböző terhelési esetekre (4. ábra):

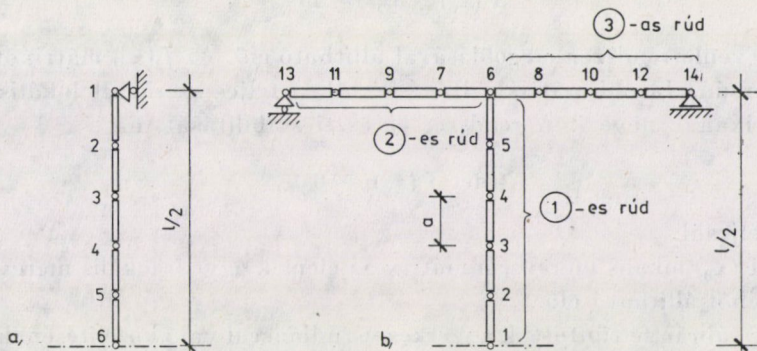
- két végén csuklós rúd esete;
- végén részlegesen befogott rúd esete, ahol a befogás mértéke a kapcsolódó rudak geometriai kialakításának függvénye.

Mivel mindkét statikai váz és a reájuk ható teher egy szimmetriatengellyel rendelkezik, ezért a program gépi futtatásánál végül is az 5. ábrában feltüntetett szerkezetek igénybevételeit és alakváltozásait határoztuk meg.

Célszerűnek mutatkozott a keret egyes rúdjait végesen kicsiny rúddarabokra bontani, s a véges elemek módszerét alkalmazni. A részletes vizsgálatok alapján az x , y , z , koordináta-rendszerben (3. ábra) az alkalmazott



4. ábra



5. ábra

alakváltozási függvények az alábbiak lettek [8]:

$$\begin{aligned}
 u(z) &= \beta_1 + \beta_2 \cdot z, \\
 v(z) &= \alpha_1 + \alpha_2 \cdot z + \alpha_3 \cdot z^2 + \alpha_4 \cdot z^3.
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

A $\kappa = dv/dz$ és $\zeta = a/z$ jelölés bevezetésével az a hosszúságú elemi darabok véglapjainak elmozdulására vonatkozó kifejezések

$$\begin{aligned}
 u &= (1 - \zeta)u_1 + \zeta \cdot u_a \\
 v &= (1 - 3\zeta^2 + 2\zeta^3)v_1 + a(\zeta - 2\zeta^2 + \zeta^3)\kappa_1 + \\
 &+ (3\zeta^2 - 2\zeta^3)v_2 + a(\zeta - \zeta^2 + \zeta^3)\kappa_2
 \end{aligned}
 \tag{19}$$

alakúak.

A (19)-ben u_1, v_1, κ_1 , illetve u_2, v_2, κ_2 , a $z = 0$, ill. $z = a$ helyen az alakváltozási függvények értékei (3. és 5. ábra).

d) *A gépi program felépítésének alapelve*

Az alkalmazott eljárás alapelve a külső N, M igénybevételeknek az alakváltozások okozta többlet-igénybevételek figyelembevételével való, fokozatos növelése az indifferens állapot eléréséig úgy, hogy lépésenként biztosítva legyen az igénybevételek és az alakváltozások egyensúlya.

A nem lineáris anyagi tulajdonságok miatt célszerű volt a szerkezetet oly módon vizsgálni, hogy adott deformációs állapothoz meghatározzuk az ún. lokális merevséget, mely a differenciális alakváltozás-növeléshez tartozó igénybevétel-növekedést adja meg.

BERÉNYI M. [8] szerint valamely $\mathbf{x} = \mathbf{x}_0$ elmozdulási állapotból kiindulva $\Delta \mathbf{b}$ terhelésnövekedés hatására bekövetkező $\Delta \mathbf{x}$ elmozdulás-változás lineáris megközelítése

$$\mathbf{f}'(\mathbf{x}_0) \cdot \Delta \mathbf{x} = \Delta \mathbf{b} \quad (20)$$

lineáris egyenletrendszer megoldásával állítható elő. Az $\mathbf{f}'_2(\mathbf{x}_0)$ mátrixot, amely a rendszer ún. Jacobi-mátrixa, BERÉNYI M. a teljes szerkezet lokális merevségi mátrixának nevezi. A rendszer elveszti stabilitását, ha

$$\det \mathbf{f}'(\mathbf{x}_0) \approx 0 \quad (21)$$

feltétel teljesül.

Az $\mathbf{f}'(\mathbf{x}_0)$ lokális merevségi mátrix az elemek egyedi lokális merevségének összességéből állítható elő.

Az 5. ábrán feltüntettük a szerkezet rúdlánccal való közelítésének módját a rudak, illetve a csomópontok beszámozásával, valamint jelöltük a megtámasztás módját is. Az egyes szerkezeteket a következő bemenő adatokkal határoztuk meg:

1. Geometriai adatok:

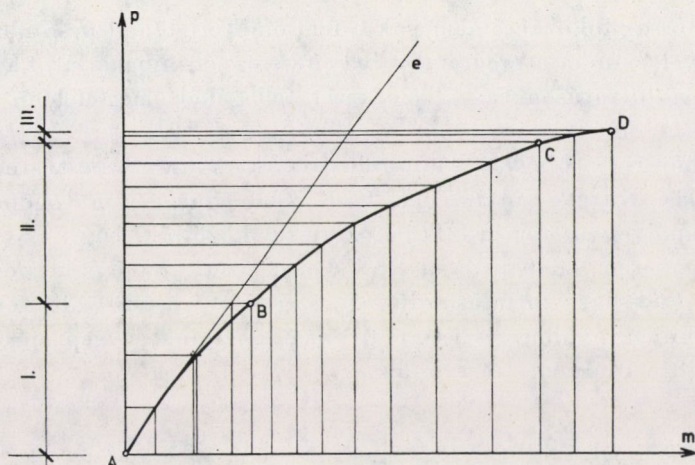
- μ/R_b — ahol R_b a beton nyomóhatárfeszültsége, μ pedig az acélbetét hányad;
- R_a — az alkalmazott acélbetét határfeszültsége;
- l/h — ahol l az egyes rudak hálózati hossza, h pedig a rúd keresztmetszetében a húzott acélbetét és a nyomott beton szélső szálának távolsága.

2. Terhelési adatok:

- n — fajlagos nyomóigénybevétel,
- m — fajlagos hajlítóigénybevétel.

A BERÉNYI Miklós és KISBÁN Sándor közreműködésével készült gépi program futtatásai során mind a terhelési, mind a geometriai adatokat változtattuk. Így az l/h -t, mellyel a rúd hajlékonyságának, a μ/R_b -t, mellyel a keresztmetszeti acélhányad és szilárdság változásának a törés módjára gyakorolt hatását kísérhettük figyelemmel. Az $e/h = m/n$ külpontosság változtatásával a kis- és nagykülpontosságú nyomás tartományában, de különösen az átmeneti szakasz vizsgálatát kívántuk elvégezni. A rúdvégi befogás nagyságának a törésre való hatását az

$$\alpha = \frac{\sum l_i/h_i}{l/h}$$



6. ábra

tényező változtatásával érték el, ahol $1/h$ a fentiekben már értelmezett és a vizsgált rúdra (oszlopra) vonatkozik, míg a $\sum l_i/h_i$ a kapcsolódó rudak geometriájából határozható meg.

A teherbírás kimerülését akkor tekintettük bekövetkezettnek, amikor az újabb teherlépcsőre a szilárdsági, ill. alakváltozási egyensúly megtalálására a teherlépcső mértékének fokozatos csökkentésével sem volt lehetőség. Ekkor az egész szerkezet rúdlánc-elemeihez tartozó rúdelemvégeken a normálerő, a nyíróerő, a nyomaték, a szélsőszál-nyúlások és a véglap-elmozdulások nyomtatásra kerültek, s így az egész szerkezet törési erőjátékát figyelemmel kísérhettük.

A terhelés felhordását egy adott szerkezetre a következőképpen szemléltetjük (6. ábra):

— Az I. terhelési szakasz (A-B szakasz), ahol a szerkezet terhelés hatására merevebben viselkedik, mint később, a törés előtt közvetlenül. Számításgyorsítás miatt célszerű e szakaszban csak 2–3 terhelési lépcsőt alkalmazni.

— A II. terhelési szakaszban (B-C szakasz), ahol a terhelés felhordása során a szerkezet alakváltozása s így a halmozódó igénybevételek az I. szakaszhoz képest egyre nőnek, célszerű kisebb terhelési lépcsőket választani.

— A III. terhelési szakasz (C-D szakasz), ahol a törés környezetében az eljárás konvergenciájának biztosítása miatt szükséges az előzőekhez képest jobb numerikus közelítés. A szélsőszál-nyúlások változásának függvényében a program automatikusan meghatározza a vizsgálat alatt álló szerkezeti rész „C” pontját, s a BC szakaszon alkalmazott teherlépcső negyedével növeli tovább a terhet. A „D” pont a törés pontja. Így a törés vizsgálatához a numerikus közelítés ellenére elegendő pontosságú számítás áll rendelkezésünkre.

A pontosság fokozható nemcsak a fent említett teherlépcső nagyságának csökkentésével, hanem a programba beépített egyéb hibakorlátokkal is. Ezek természetesen futtatásonként a szerkezet jellegének megfelelően változtathatók.

A számítás a Magyar Tudományos Akadémia Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetének CDC 3300 típusú számítógépén FORT-RAN programnyelven történt. Tájékoztatásul közöljük, hogy az „a” típusú statikai váz esetén $\approx 3,0$ perc, a „b” típusú szerkezet esetén pedig $\approx 20,0$ perc volt a szükséges futtatási idő egy szerkezet törésig való terheléséhez. A gépi számítás további részleteit itt nem közöljük, a gépi program elvi sémáját a [8] tanulmány tartalmazza.

4. A vizsgálat eredményei

4.1 *A két végén megtámasztott, de szabadon elforduló oszlop*

A probléma első megközelítéseként először a két végén megtámasztott, de szabadon elforduló oszlop vizsgálatát végeztük el (5/a ábra). A kapott eredményeket az alábbiakban foglaljuk össze.

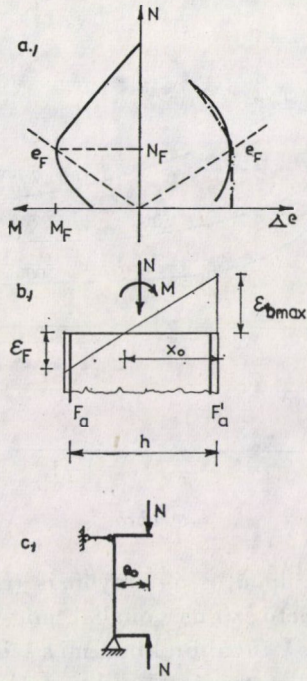
a) *A külpontossági növekmény jellege*

A gépi számítás egyik legfontosabb eredménye a 7. ábrán található. Eszerint a külpontossági növekmény legnagyobb értéke az e_F külpontosságnál (a kis- és a nagykülpontosságú nyomás határán) van. Egyéb helyen a Δe külpontossági növekmény kisebb. A külpontossági növekmény ezen jellege bármely szimmetrikusan vasalt $1/h$ hajlékonyság és μ/R_b , ill. R_a értékek esetén is érvényesül.

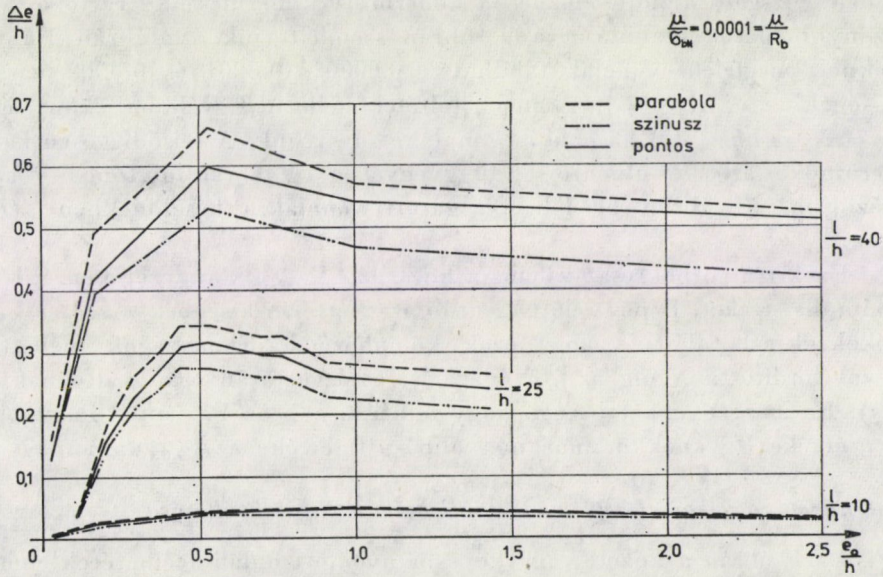
A Δe növekmény jelentősége a kiskülpontossági tartományban nagyságrendileg fontosabb. Ezért a továbbiakban a 7/a ábrán eredményvonallal megadott polinómot fogjuk felhasználni. A Δe vonalának ezen megközelítését a saját kutatási eredményeinken túl igazolják a 2. ábrában bemutatott — széles körű laboratóriumi kísérleteken alapuló KGST ajánlás szerint nyerhető — görbék is.

b) *A kigömbült rúd alakja*

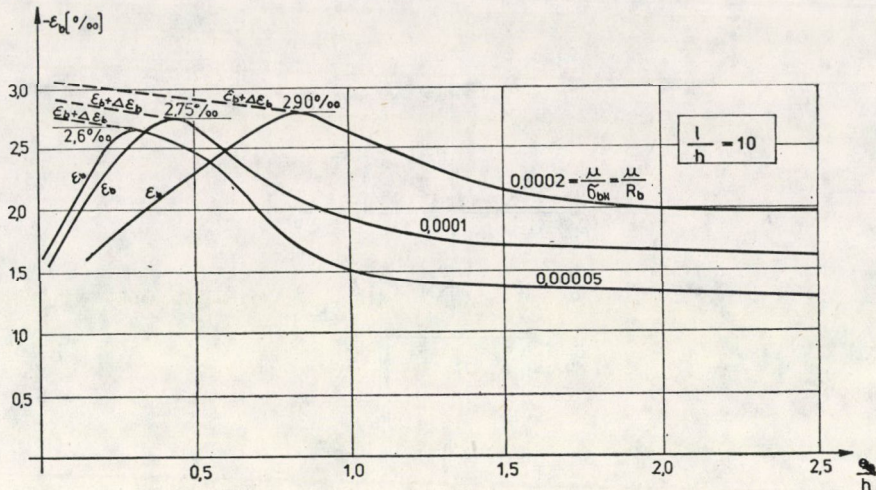
Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a teherbírás kimerülésének állapotához tartozó pontos rúdalakváltozás a szinus és a parabola alakzat között helyezkedik el (8. ábra). Az ábrán feltüntetettük $1/h = 10; 25; 40$ hajlékonysági eseteket a $\mu/R_b = 0,0001$ értékhez. A többi 0,00005 és 0,0002 vasalásereőség esetében tökéletesen azonos ábrákat nyertünk. Az ábrából az is



7. ábra



8. ábra



9. ábra

megállapítható, hogy kiskülpontosságú nyomás ($e_0 < e_F$) esetén a kigörcbült rúd alakja jobban közelíthető szinusz vonallal, míg nagykülpontosságú esetekben ($e_0 > e_F$) parabolával. A továbbiakban mi a szinuszos megközelítést alkalmazzuk, ugyanis a kiskülpontosság tartományában ez pontosabb és a Δe növekmény jelentősége e külpontossági tartományban nagyobb.

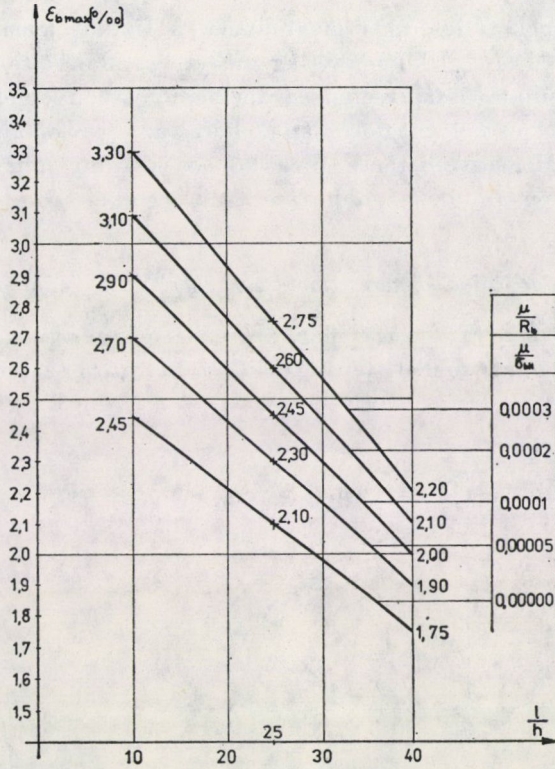
c) *A keresztmetszet erősebben nyomott szélső beton szálának összenyomódása*

A vizsgált oszlopeseteknél a teherbírás kimerüléséhez tartozó törési összenyomódások alakulását a 9. ábrán szemléltetjük. Az ábrán $l/h = 10$ értéknek megfelelő vonalak találhatóak 0,00005; 0,0001 és 0,0002 vasalás-erősségekhez és $R_a \leq 3400$ kp/cm² feltétel mellett. Egyéb hajlékonysághoz ($l/h = 25$ és $l/h = 40$) hasonló ε_b vonalakat nyertünk. Az elsődlegesen kapott diagramokat az e_0/h külpontosság függvényében a 9. ábrán folytonos vonallal ábrázoljuk. Az ábrán bejelölt szaggatott vonalakra későbbiekben térünk vissza.

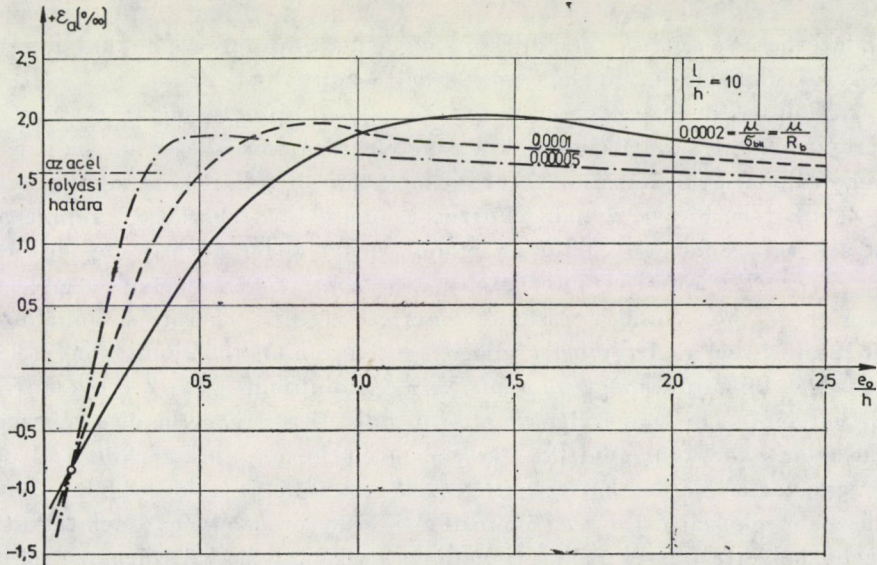
Ezekre a görbékre az jellemző, hogy az $e_0 = e_F$ környezetében érik el a maximális értéket. E pont előtt és után az ε_b értékei kisebbek. Az $\varepsilon_b = \varepsilon_b \max$ értékekről azt találtuk, hogy ezek különböző hajlékonyságok mellett az l/h -val fordítottan, míg az μ/R_b vasalás-erősséggel arányosan változnak (10. ábra). Ez más szóval azt jelenti, hogy minél kisebb az l/h , annál nagyobb az $\varepsilon_b \max$ értéke. Ugyanekkor minél nagyobb a μ/R_b értéke, az $\varepsilon_b \max$ annál nagyobb.

d) *A húzott vagy kevésbé nyomott oldali acélbetétek alakváltozása*

A 11. ábrán a húzott vagy kevésbé nyomott oldali acélbetétek elméleti úton nyert alakváltozását mutatjuk be az e_0/h és a μ/R_b függvényében. Az



10. ábra

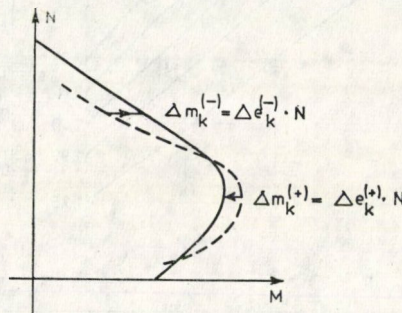


11. ábra

ábrán látható görbék teljességgel megfelelnek a fizikai jelenségnek, amennyiben bizonyos ($e_0 = e_{a0}$) külpontosság mellett az alakváltozás zérus. Ennél kisebb $e_0 < e_{a0}$ külpontosság esetén az acélbetét összenyomódást, egyébként húzást szenved. A betétek megfolyásának helye az $e_0 = e_F$ külpontosság környezetében van. Megfigyelhető az ábrákból az is, hogy minél nagyobb μ/R_b érték, természetesen annál nagyobb az $e_0 = e_F$ értéke.

e) Az ε_b vonal módosítása a keresztmetszeti teherbírasi vonal alapján

A 12. ábrában a [7] szerint meghatározható keresztmetszeti teherbírasi vonal (folytonos vonal) mellett feltüntetjük a 7/c. ábra szerinti igénybevétel-



12. ábra

elrendezéshez valamely $1/h$ hajlékonysághoz a gépi programokkal nyerhető teherbírasi alakhelyes vonalát $[(m + \Delta m)$ vonal].

A két vonal érdekessége, hogy a kicsiny külpontosság tartományában a keresztmetszet szilárdsági tönkremenetele nem következik be, míg a kis- és nagykülpontosság határának környezetében az $1/h$ hajlékonysághoz tartozó $(m + \Delta m)$ teherbírasi vonal rendszerint nagyobb teherbírasi reprezentál, mint a keresztmetszeti teherbírasi vonal. A két görbe közötti Δm_k eltérésekből $\Delta m_k = \Delta e_k \cdot P$ alapján kimutathatók a Δe_k azon értékei, amelyek segítségével a gépi $(m + \Delta m)$ vonalat a keresztmetszet szerinti teherbírasi vonalhoz át lehet rakni. Ezzel az áttétellel a szilárdsági tönkremenetel számításbavételének lehetőségét kívánjuk megteremteni. Vizsgálatainkban a $\Delta e_k^{(+)}$ értékek figyelembevételétől a biztonság javára eltekintünk. Ettől függetlenül a teherbírasi vonal azon szakaszán, ahol $\Delta e_k^{(+)}$ értékek jelentkeznek, a kigömbült rúd parabola alakzattal volna helyettesíthető. A további javaslatunkban szereplő szinuszos megközelítést a $\Delta e_k^{(+)}$ előfordulási területére is érvényesnek tekintjük, s ezzel a helyettesítéssel a $\Delta e_k^{(+)}$ figyelmen kívül hagyásával származó többlet-teherbírasi lényegében számításba vesszük.

A fentiek szerint kiadódó $\Delta e_k^{(-)}$ alapján $\varepsilon_a = 0$ feltételezéssel és szinusz alakú kigömbült rúddal számolva egy $\Delta \varepsilon_b$ többlet-összenyomódás határozható meg a

$$\frac{\Delta e_k^{(-)}}{h} = \frac{\Delta \varepsilon_b}{100} \left(\frac{1}{10h} \right)^2 \quad (22)$$

kifejezéssel. Innen

$$\Delta \varepsilon_b = \frac{\Delta e_k^{(-)} \cdot 100}{h} \left(\frac{10h}{1} \right)^2.$$

A beton szélsőszál ezen kiegészítő összenyomódását figyelembe véve rajzoltuk meg az ε_b változását mutató 9. ábra szaggatott vonalát. Az ábrából látható, hogy itt ($l/h = 10$ esetben) a $\Delta e_k^{(-)}$ kiegészítésekkel nyert vonalak maximális értéke némileg módosul.

Az $l/h = 25$ és $l/h = 40$ hajlékonyságokhoz meghatározott ε_b értékek hasonlóak a 9. ábrában bemutatott esethez, azzal a különbséggel, hogy a $\Delta \varepsilon_b$ értékekkel növelt ε_b görbe maximális értékei ennél kisebb mértékkel módosulnak.

A nagyságrendet megvizsgálva megállapítható, hogy a $\Delta e_k^{(-)}$ -val történő módosulás mellett is az $e_0 \leq e_F$ külpontossági tartományban gyakorlatilag az $\varepsilon_b = \varepsilon_{b \max} = \text{konst}$ feltétellel lehet számolni.

f) Következtetések

A két végén megtámasztott, de szabadon elforduló oszlop hajlékonyságának hatásával kapcsolatos kutatási eredmények alapján az alábbi alapfeltevések tekinthetők érvényesnek:

— a törési állapotban levő rúd alakja szinusz-vonalnak tekinthető, azaz

$$y = \Delta e \sin \frac{\pi}{l} x, \quad (23)$$

a görbület $x = l/2$ helyen

($1 + y'^2 \approx 1$ figyelembevételével)

$$y'' = \Delta e \frac{\pi^2}{l^2} \approx \Delta e \frac{100}{l^2}; \quad (24)$$

— keresztmetszet nyomott szélső szálának mértékadó $\varepsilon_{b \max}$ összenyomódása a 10. ábra szerint vehető fel az l/h hajlékonyság és a μR_b vasalás-erősség függvényében;

— a szélső beton szál összenyomódásának ezen $\varepsilon_{b \max}$ értékét a [7] szerint módosítani kell a keresztmetszet alakjának és a teher tartósságának mértékétől függően;

— a külpontossági növekmény a (13) ábra szerinti törtvonallal jellemezhető.

g) *Az ideálisan megtámasztott és igénybevett oszlop külpontossági növekményének számítása*

A fenti kutatási eredmények és az ezek alapján tett következtetések szerint a két végén megtámasztott, de szabadon elforduló oszlop teherbírásának számításánál az l/h hajlékonyság hatásaként az alábbi Δe külpontossági növekményt kell figyelembe venni. A Δe külpontossági növekmény vonalának általános alakja a 13. ábra szerint adható meg. E törtvonal két pont segítségével jellemezhető:

$$(e_{a0}, \Delta e_{a0}),$$

$$(e_F, \Delta e_F).$$

Valamely l/h hajlékonysággal és μ/R_b vasaláserősséggel rendelkező oszlop Δe külpontossági növekménye:

$$\Delta e = \Delta e_{a0} + \frac{\Delta e_F - \Delta e_{a0}}{e_F - e_{a0}} (e_0 - e_{a0}) \leq \Delta e_F. \quad (25)$$

A (25) kifejezésben

- $e_0 = e_k + e_{sz}$ — a kezdeti véletlen e_k külpontosság és a statikai számítás alapján adódó e_{sz} külpontosság összege;
 e_{a0} — a $\sigma_a = 0$ feszültségi állapotnak megfelelő külpontosság (14/a ábra), mely $x' = 1,25x$ arány és a 3. ábra szerinti elhelyezéssel szimmetrikusan vasalt négyszögkeresztmetszet esetében

$$e_{a0} = \frac{0,08 + 0,5\mu \frac{R_a}{R_b}}{0,80 + \mu \frac{R_a}{R_b}} h \quad (26)$$

- μ — az egyik oldali vashányad;
 e_F — az $x = x_0$ semleges tengely helyzetének megfelelő külpontosság (14/b ábra), melynek értéke négyszögkeresztmetszet és szimmetrikus vasalás esetében

$$e_F = \left(0,25 + 2\mu \frac{R_a}{R_b}\right) h; \quad (27)$$

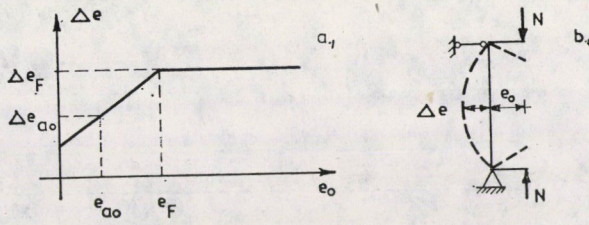
- Δe_{a0} — az e_{a0} külpontossághoz tartozó külpontossági növekmény, és értéke

$$\Delta e_{a0} = \frac{\varepsilon_b}{100} \left(\frac{l}{10h}\right)^2 \cdot h; \quad (28)$$

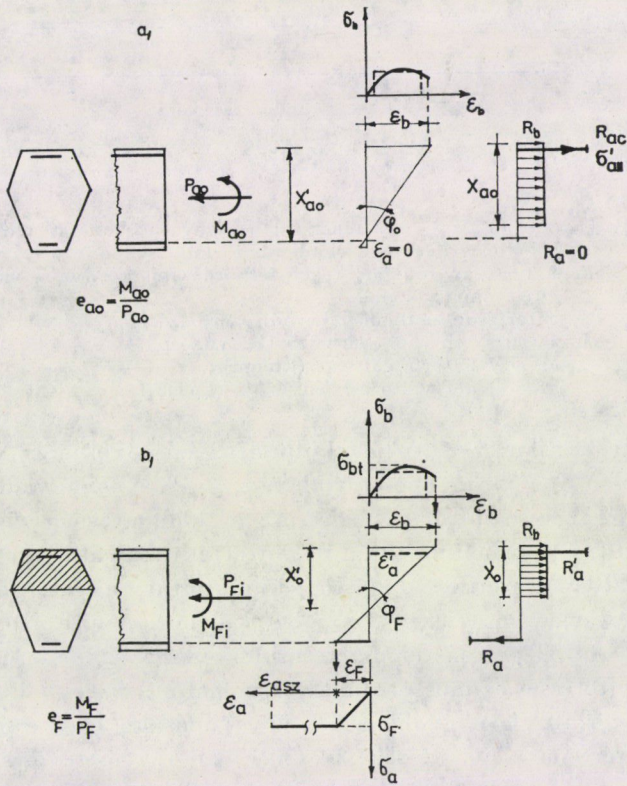
- Δe_F — az e_F külpontossághoz tartozó külpontossági növekmény és értéke

$$\Delta e_F = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_F}{100} \left(\frac{l}{10h}\right)^2 \cdot h; \quad (29)$$

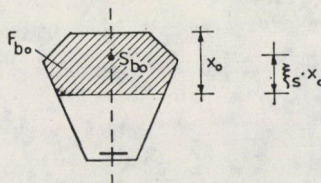
- $\varepsilon_b = \varepsilon_b \max 0,5/\xi_s \cdot k_d$ — a beton szélső szálának összenyomódásának fiktív értéke ‰-ben;
 $\varepsilon_b \max$ — a 10. ábrából l/h és μ/R_b értékek függvényében nyerhető összenyomódás ‰-ben;
 $\varepsilon_F = (R_a/E_a)1000$ — az acél megfolyásához tartozó nyúlás értéke ‰-ben;
 ξ_s — az x_0 nyomott öv magasságának megfelelő F_{b0} terület súlypontjának ezen semleges tengelytől mért távolságának relatív értéke (15. ábra);



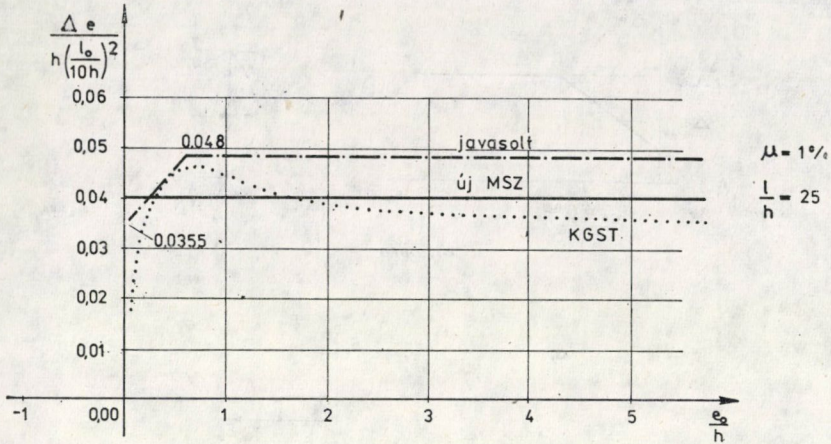
13. ábra



14. ábra



15. ábra



16. ábra

- $k_d = 1,0 + \varphi_l(1 - e^{-0,02t})(Y_d/Y_t)$ — a teher tartósságával összefüggő tényező (5) szerint;
 φ_l — a beton szilárdsági jelétől függő kúszási tényező $t = \infty$ időpontban;
 t — a tartósan működő teher felhordásától kezdve a vizsgálat időpontjáig eltelt napok száma;
 Y_d — a tartósan működő teherből származó igénybevétel;
 Y_t — a teljes teherből származó igénybevétel;
 R_a — az acél határfeszültsége (kp/cm²);
 E_a — az acél alakváltozási tényezője (kp/cm²).

A fenti javaslat szerinti $\Delta e/h$ külpontossági növekmény minőségi jellemzése céljából a 16. ábrán bemutatjuk a $\mu = 1\text{‰}$ vashányadhoz és $l/h = 25$ hajlékonysághoz kiszámított vonalat az e_0 külpontosság függvényében. Az összehasonlítás érdekében az ábrán feltüntetjük az új MSZ 15022/1 és a KGST vasbeton szabvány szerint adódó Δe külpontossági növekményeket is. A 16. ábra azt mutatja, hogy a $0 \leq e = 1,0$ külpontossági tartományban az új javaslat és a KGST ajánlás módszere minőségileg és számszerűségében azonos, ill. kicsiny eltéréssel azonos eredményt szolgáltat. Az $e > 1,0$ tartományban a javaslat szerinti Δe nagyobb a KGST ajánlásban levő értékekhez képest. Ennek az eltérésnek a jelentősége azonban nem számottevő. A nagyságrendet megvizsgálva azt találtuk, hogy az eltérés a kisebb vasaláserőségek esetén némileg nagyobb és a hajlékonyság növelésével növekszik. A legkedvezőtlenebb esetet ($\mu/R_b = 0,00005$) alapul véve, az eltérés $e_0/h \cong 1,00$ külpontosságnál a legnagyobb és maximális értéke

$$l/h = 10 \text{ esetében } 1 \div 2\%,$$

$$l/h = 25 \text{ esetében } 3 \div 4\%,$$

$$l/h = 40 \text{ esetében } 10 \div 14\%.$$

4.2 Végein különböző nyomatékmal terhelt oszlop

α) A vizsgálat eredménye

A nyomott-hajlított oszlop 3. pontban ismertetett számítási programjával megvizsgáltuk 1 és 2 végén eltérő nyomatékmal igénybevett rúd teherbírási és alakváltozási tulajdonságait (17. ábra). A vizsgálat célja volt a szimmetrikus nyomatéki eloszlás ($e_1 = e_2$) esetéhez képest jelentkező eltérés kiutatása, éspedig

- a kihajlási hossz értelmezése;
- a legnagyobb kigörbülés helyének meghatározása.

A vizsgált eseteket bemutató 17. ábrán az

- a) ábra sor a lefuttatott eseteket;
- b) ábra sor az eltolódási ábrákat;
- c) ábra vonala az L kihajlási hossz számításához szükséges $v_e = L/l$ tényezőket;
- d) ábra vonala a maximális külpontossági növekmény helyére vonatkozó v_x tényezőket szolgáltatja.

β) Két végén különböző nyomatékmal igénybevett oszlop külpontossági növekményének számítása

Végein szabadon elfordulóan megfogott és különböző nyomatékmal igénybevett oszlop-esetek részletes vizsgálata alapján az alábbi javaslat fogalmazható meg.

A Δe külpontossági növekmény meghatározását a 4.1 g) pont szerint kell végrehajtani, azzal az eltéréssel, hogy

— az oszlopvégi nyomatékok arányában az 1 hálózati hosszat a 17. ábrából nyerhető v_e tényezővel módosítani kell, tehát a kihajlási hossz:

$$L = v_e \cdot l \quad (30)$$

— az oszlop legnagyobb eltolódásának helye a 17. ábra segítségével nyerhető α_x tényező figyelembevételével határozható meg, tehát a mértékadó keresztmetszet:

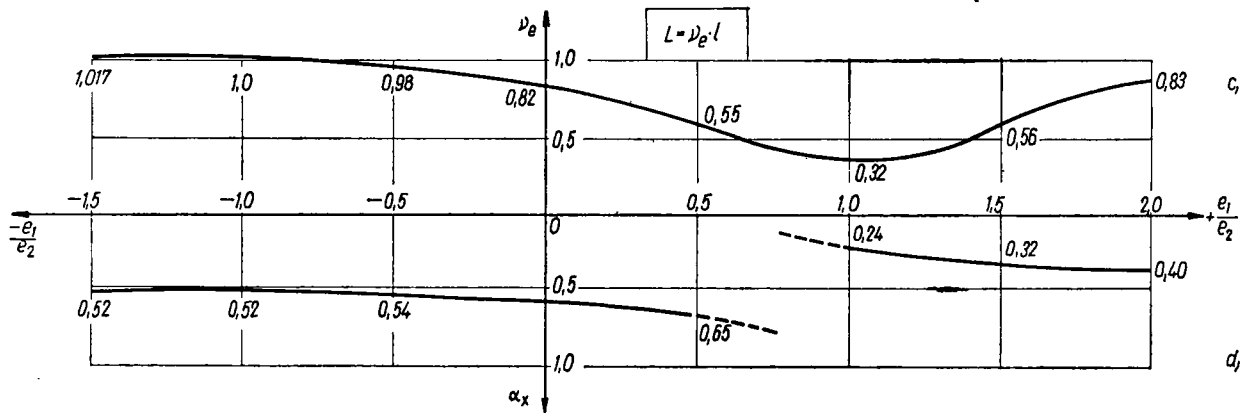
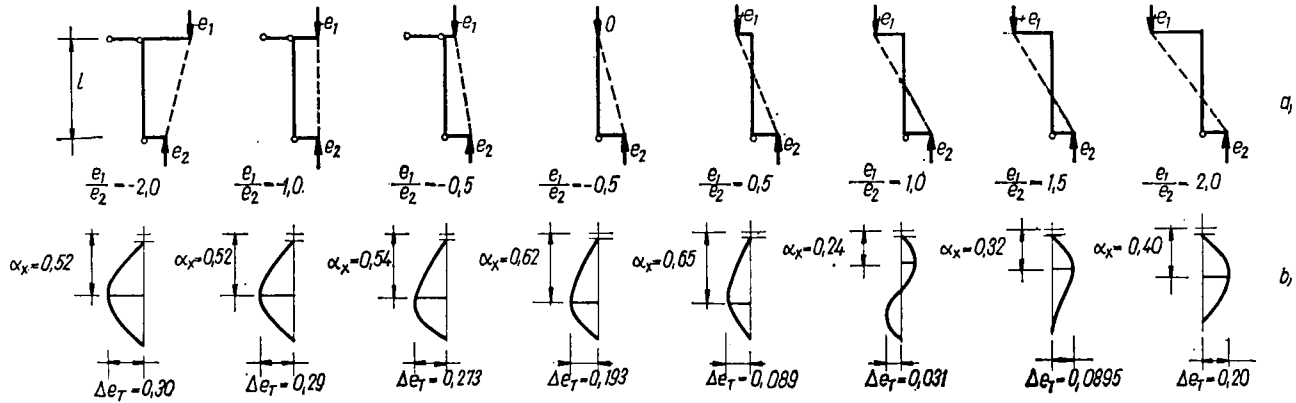
$$l_x = \alpha_x \cdot l \quad (31)$$

helyen található. Megjegyezzük, hogy az ábrán az α_r értékekkel kijelölt hely az eredeti hálózati helyzethez képest adja meg a legnagyobb eltolódási helyet.

4.3 A két végén részlegesen megfogott oszlop

α) A vizsgált esetek ismertetése

El nem mozduló csomópontú kerettel végein részlegesen megfogott oszlop (5/b ábra) vizsgálatát a számítási program segítségével végrehajtottuk.



17. ábra

A vizsgált esetek

$$l/h = 10; 25; 40;$$

$$\mu/R_b = 0,00005; 0,0001; 0,0002$$

értékek variációi voltak.

A vizsgálat célja a végein részletesen megfogott és eltolódás ellen megtámasztott keret-oszlop L kihajlási hosszának megállapítása.

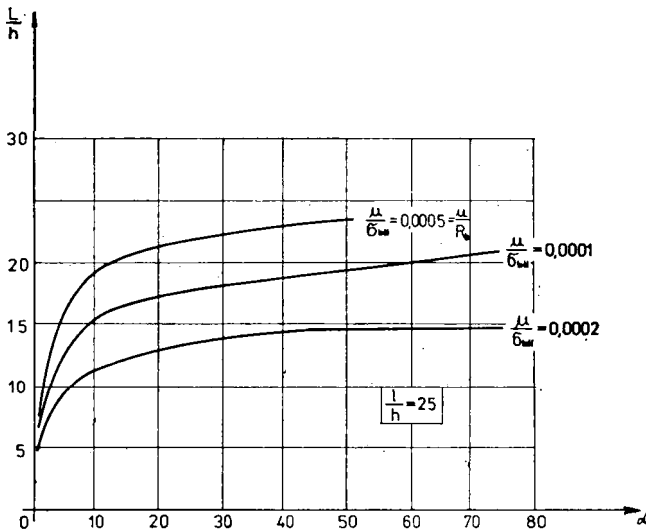
β) A vizsgálat eredményei

A vizsgálatot olyan e_0 külpontosság mellett végeztük, amely a húzott oldali acélbetétben zérushoz közeli feszültséget eredményezett. A kapott v_{\max} legnagyobb külpontossági növekményeket ezen külpontossági esetnek általában megfelelő

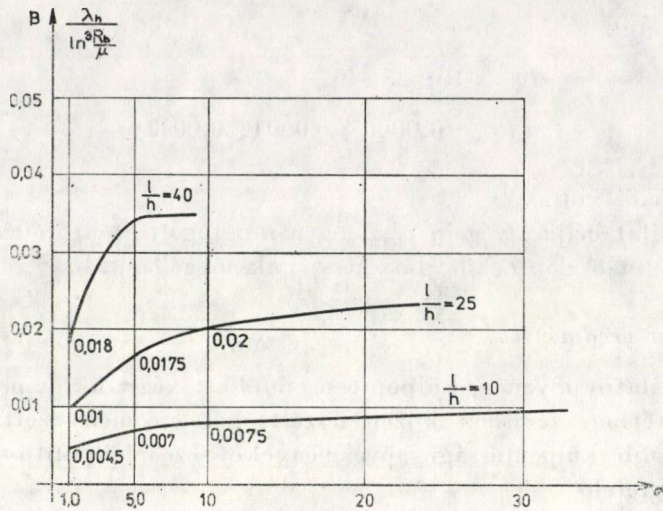
$$\frac{v_{\max}}{h} = \frac{e}{h} = 0,035 \left(\frac{l}{10h} \right)^2$$

külpontossági növekményre mint alapszintre redukáltuk. Ennek alapján a számításba vehető (képzett) λ_h hajlékonyság

$$\lambda_h = \frac{L}{h} = 10 \sqrt{\frac{v_{\max}}{h \cdot 0,035}} \quad (32)$$



18. ábra



19. ábra

kifejezéssel állapítottuk meg. Az így kapott eredmények jellemzésére a 18. ábrát közöljük. Az ábrákon e képzett $\lambda_h = L/h$ kihajlási hosszakat az

$$\alpha = \frac{\sum l_i/h_i}{l/h}$$

arány és a μ/R_a értékeinek megfelelően ábrázoljuk. A fentiekben $\sum l_i/h_i$ az oszlopvégekhez csatlakozó gerendák l_i/h_i hajlékonyságának összegét, az l/h a vizsgált oszlop hajlékonyságát jelenti. Az ábrák adatait részletesen tanulmányozva azt találjuk, hogy a λ_h képzett kihajlási hossz a μ/R_b vasalásereőséggel

$$\ln^3 \frac{R_b}{\mu}$$

módon változik (19. ábra).

γ) Részlegesen megfogott oszlop külpontossági növekményének számítása

A mindkét végén részlegesen megfogott és eltolódás ellen megtámasztott oszlop külpontossági növekményének kimutatását a 4.1 és 4.2 pont alapján lehet végrehajtani azzal az eltéréssel, hogy az L kihajlási hossz számítását az alábbiak szerint kell elvégezni:

A $\lambda_h = L/h$ képzett kihajlási hossza:

$$\lambda_h = B \cdot \ln^3 R_b/\mu \quad (33)$$

kifejezéssel számítható. A (33)-ban szereplő B tényező a 19. ábrából az l/h és

$$\alpha = \frac{\sum l_i/h_i}{l_0/h_0}$$

függvényében nyerhető tényező.

4.4 Az oszlop teherbírásának számítása

Az előzőekben ismertetett oszlop-eseteknél az oszlop teherbírását

$$e_M = e_0 + \Delta e \quad (34)$$

mértékadó külpontossághoz kell kimutatni.

A (34) kifejezésben

Δe — külpontossági növekmény a (25) szerint a (30), (33) kifejezések figyelembevételével;
 $e_0 = e_k + e_{sz}$ — a külpontossági összeg, ahol
 e_k — a kezdeti külpontosság mértéke;
 e_{sz} — a statikai számítás alapján nyert igénybevételeknek megfelelő külpontosság.

A mértékadó külpontosság ismeretében az oszlop teherbírását a keresztmetszeti teherbírási vonal felhasználásával (1. ábra) vagy elemi úton, a szilárd-ságtani módszerekkel lehet megállapítani.

IRODALOM

1. PC-119-74 Бетонные и железобетонные конструкции. Руководство по проектированию.
2. MSZ 15022/1-71 Építmények teherhordó szerkezetei. Vasbetonszerkezetek
3. BÖLCSKEI Elemér: A nyomott rúd statikai kérdései. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 34 (1964)
4. PALOTÁS László: A vasbeton elmélete. Akadémiai Kiadó, Budapest 1973
5. SZALAI Kálmán: A nyomott vasbeton rúd teherbírása. *Mélyépités-tudományi Szemle.* (1967). 241—251
6. SZALAI Kálmán: Négyszögkeresztmetszetű vasbeton oszlop határteherbírása a folyamatos teherbírási görbe alapján. *ÉKME Tudományos Közlemények* 9, 271—289
7. SZALAI Kálmán: A vasbeton keresztmetszet szilárdsági-alakváltozási jellemzői. *Mélyépités-tudományi Szemle* (1975) 547—555
8. BERÉNYI Miklós—SZALAI Kálmán: Vasbeton rúdszerkezetek állékonyságának vizsgálata a nemlineáris fizikai tulajdonságok figyelembevételével. MTA jelentés 1971—72. évi kutatásról. Vasbetonszerkezetek Tanszéke
9. SZALAI Kálmán: A nyomott-hajlított vasbeton rúd. A KGST 5.5 témában 1972—75. években végzett kutatások eredményeként készült tanulmány. BME Vasbetonszerkezetek Tanszéke, 1975

Role of Flexibility in Load Bearing Capacity of R. C. Columns — The effect of the flexibility of a column on its load capacity is theoretically investigated. The stability problem is transformed into a strength problem. Followingly, the critical eccentricity is composed of a calculated eccentricity and a complementary eccentricity depending on the former. The results obtained are compared with the prescriptions of the Comecon and the Hungarian standards, and it is found that the method proposed results in a more precise solution.

Rolle der Flexibilität in der Tragfähigkeit der Stahlbetonsäulen. — Die Auswirkung der Flexibilität einer Säule auf ihre Tragfähigkeit wird theoretisch untersucht. Das Stabilitätsproblem wird in eine Festigkeitsaufgabe umgewandelt. Demnach ist die maßgebende Exzentrizität aus einer gerechneten Exzentrizität und aus einer von ihr abhängigen zusätzlichen Exzentrizität zusammengesetzt. Die erhaltenen Resultate wurden mit den Vorschriften des Rates für Gegenseitige Wirtschaftshilfe und den heimischen Normen verglichen und es wurde festgestellt, daß das vorgeschlagene Verfahren ein genaueres Resultat ergibt.

MHD GENERÁTORKUTATÁS HELYZETE ÉS AZ AHHOZ KAPCSOLÓDÓ HAZAI PLAZMADIAGNOSZTIKAI VIZSGÁLATOK HELYZETKÉP

ANTAL KÁLMÁN*—BOLLA ISTVÁN**—TANOS ERVIN***—PILINYI ANDRÁS****

(Beérkezett 1976. január 15-én]

Az alábbi helyzetelemzés a közvetlen villamosenergia átalakítás egyik perspektivikus ágazatával, a fosszilis tüzelőanyagot használó mágneses hidrodinamikai (MHD) úton történő nyitott ciklusú, munkagázzal működő, közhasznú, nagy teljesítményű (1000 MW és nagyobb) villamosenergia termeléssel foglalkozik. Nem tárgyalja a zárt-ciklusú munkagáz üzemű általában atomreaktorral összehangolható és a folyadék munkaközegű MHD generátorok kutatási munkáit. Áttekinti a legjelentősebb szovjet és amerikai kísérleti MHD-berendezéseken elért legfontosabb eredményeket, az alkalmazott diagnosztikai módszereket, a nemzetközi együttműködés helyzetét, s ezen belül a magyar—szovjet MHD-együttműködést.

I. Bevezetés

A mágneses hidrodinamikai úton történő energia átalakítással kapcsolatos kutatási és fejlesztési munkák az elmúlt években jelentősen felgyorsultak, mondhatni minőségi változáson mentek keresztül. Amíg a 60-as években az alapvető problémát az elméleti kérdések tisztázása és a kutatási főirányok meghatározása jelentette, addig ma már a főhangsúly a komplex, 1000 MW nagyságrendű művek részegységeinek kifejlesztésén és a rendszertechnikai kérdések megoldásán van.

A kutatási-fejlesztési munkákban a fordulópontot az 1971-es müncheni MHD-konferencia jelentette, ahol az MHD kutatásban élenjáró ország — a Szovjetunió — U-25-ös egységén elért eredményei világossá tették, hogy az MHD generátorokkal történő közvetlen energia átalakítás a megvalósítás stádiumába lépett. Az U-25 egységen ugyanis először nyílt lehetőség arra, hogy a korábban elért részeredmények szintézise alapján egy komoly anyagi ráfordítást igénylő, kis teljesítményű MHD-erőműben tanulmányozzák, s fogalmazzák meg az ipari méretű berendezések létrehozásához még feltétlenül megoldandó feladatokat. Ez egyben megnyitotta az utat a széles körű nemzetközi együttműködés előtt is, mivel ma már deduktív úton konkrétan megfogalmazhatók az egyes országok műszaki felkészültségének megfelelő, megoldásra

* Antal Kálmán 1204 Bp. Ritka u. 3.

** Bolla István 1036 Bp. Korvin O. u. 47.

*** Tanos Ervin 1163 Bp. Bányai u. 3.

**** Pilinyi András 1133 Bp. Pozsonyi út 50.

váró feladatok. Ily módon minimálisra lehet csökkenteni a korábbi szerteágazó kutatásokkal járó kockázatvállalást, amely a 60-as évek végén több fejlett ipari országot is, mint Anglia, Franciaország vagy a Német Szövetségi Köztársaság, arra készítetett, hogy leállítsa vagy erősen mérsékelte MHD kutatásait. Az MHD kutatás általános helyzetét ma már a kutatási irányok szerinti bontásban nehéz lenne átfogóan értékelni. Célszerűnek láttuk a téma áttekintésekor a szovjet és amerikai nagy MHD berendezéseknél felmerült kérdések köré csoportosítani az MHD kutatással kapcsolatos jelenlegi műszaki feladatokat.

Az alábbiakban értékeljük a Szovjetunióban üzemelő U-02 és U-25-ös, valamint az Egyesült Államokban felépített Mark VI és Mark VII kísérleti egységeken kapott legújabb eredményeket, elemezzük az ipari méretű MHD erőművek felépítésére és alapvető üzemi paramétereire vonatkozó legújabb elképzeléseket s kiterünk a már meglévő, s a jelenleg kialakuló nemzetközi együttműködések keretében folyó kutatási és fejlesztési munkákra.

Végezetül körvonalazzuk a Magyarországon folyó MHD kutatásokat, amelyek ma már szerves részét képezik az MHD erőművek létrehozására irányuló nemzetközi erőfeszítéseknek.

A tanulmány összeállításakor a szerzők az „Irodalomjegyzék”-ben megadott forrásmunkákon túlmenően a szovjet MHD berendezések látogatásakor szerzett tapasztalataikat, valamint a vezető szovjet szakemberekkel folytatott személyes diskusziók során kapott információkat használták fel.

2. Kísérleti eredmények a magnetohidrodinamikussal üzemeltetett villamosenergia előállítás területén

A Szovjetunióban, az Egyesült Államokban és több fejlett ipari országban számos intézmény foglalkozik az MHD villamosenergia előállítással kapcsolatos műszaki problémák megoldásával. Az így születő eredmények azonban a hasznosíthatóság szempontjából csak olyan nagyméretű, komplex kísérleti berendezésekben ítélték meg, amelyek már folyamatos villamosenergia termelésre alkalmasak és modellezik az 1000 MW nagyságrendű ipari méretű erőművek műszaki problémáit.

Ebből a szempontból jelenleg csak a Szovjetunió U-02-es, U-25-ös és az Egyesült Államok Mark VI és Mark VII kísérleti egységei (és az ott létrejött kísérleti eredmények) tarthatnak számot fokozottabb érdeklődésre.

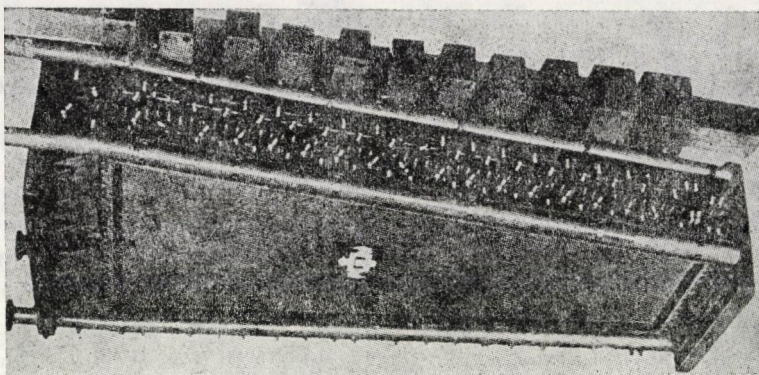
Az alábbiakban összegezzük a fenti kísérleti berendezéseken az elmúlt években született, műszaki tudományos eredményeket tükröző, fontosabb konstrukciós jellemzőket, s röviden kitérünk az MHD csatornában uralkodó viszonyok tanulmányozására szolgáló diagnosztikai egységekre és módszerekre.

Az U-02 egység

Az elsőnek elkészült U-02 kísérleti MHD erőmű már minden lényeges elemet tartalmaz, ami egy tényleges MHD erőmű működéséhez szükséges. A kísérleti egység speciális készülékek, valamint a termofizikai és elektrodfizikai alapfolyamatok vizsgálatára készült. Legfontosabb alkotó elemei az 1800–2300 K hőmérsékleten működő levegő előmelegítő, az égőkamra, az MHD csatorna, egy hagyományos felépítésű 1,8 T térerősségű mágnes, inverter, gőzfejlesztő, sózóanyag visszanyerő és néhány kiegészítő berendezés. A modellegységen már több mint 20 különböző generátor csatornát vizsgáltak. Ezek között volt kerámia és vízű szegmentált fém szigetelőfalú, és kipróbáltak különböző elektródákat is. A generátor által leadott maximális teljesítmény 75 kW volt. A csatorna elektródái közötti üresjárású feszültség 250 V, míg a zárlati áram 30–50 A elektródánként. A leghosszabb futási idő meghaladta a 300 órát. A csatornán belül vizsgálták az elektromágneses tér struktúráját, az elektródák elektromos és leépülési jelenségeit stb. Különleges konstrukciót készítettek a levegő előmelegítőhöz és az égőkamrához. A sózóanyag visszanyerésére szolgáló rendszer hatásfoka több mint 90%. Azonkívül elsőként itt készült el egy automatikus üzemviteli ellenőrző és jelző rendszer. Vizsgáljuk most meg az U-02 berendezés néhány alkotóelemét részletesebben is. Az égőkamra fala ZrO_2 kerámia és felépítése megfelel a hagyományos égőkamra konstrukciónak. A kamrában metán - levegő keveréket égetnek, kis-mértékű oxigén dúsítással. A levegőt 1800–2000 K-ra melegítik elő, a tüzelőanyag (gáz) nyomása 1,6–2,5 atm, mennyisége 1 kg/s. Ebben az összetételben a munkaközeg minimális hőmérséklete 2300 K, míg a maximális hőmérséklet 2900 K. Sózóanyagként K_2CO_3 vizes oldatát használják, amelyet 0,5–1,5 atm nyomással juttatnak be az égőkamrába. Az így elérhető elektronsűrűség 10^{12} – $10^{14}/cm^3$. A munkaközeg vezetőképessége az égőkamrában a csatorna belépő nyílása felé tartva nő és eléri a 3–15 S/m-t.

A levegő előmelegítő ún. kavicságyas előmelegítő rendszer. Két külön tartályból áll, melyeknek saját égésterük van. A hőszigetelő köpeny ZrO_2 , ill. Al_2O_3 . Az előmelegítő két tartálya ciklikus üzemmódban üzemel. Az itt felhasznált tüzelőanyag mennyisége 20 gr/s metán és 100 gr/s levegő.

A csatorna téglalap keresztmetszetű, melynek hosszabbik oldala 200 mm szigetelő, míg rövidebbik oldala 60–80 mm elektróda fal. A hűtött fém szigetelő falon 40–50 W/cm² hőáramlás indult meg kifelé, ezért ma már MgO szigetelőfalakat használnak, amelyben a MgO téglák alatt vízű szegmentált réz tartólábak vannak. A vízű hűtési fém elektródákon meglehetősen nagy a feszültesítés, ezt idáig még nem tudták kiküszöbölni. A kerámia szigetelő anyaga újabban inkább ZrO_2 és Y_2O_3 keveréke. A „FIAN” intézetben előállítottak $LaCrO_3$ szigetelőket is. SiC elektródafalakat is kipróbáltak, de ez csak 1700 K^oig volt megfelelő. Egy csatorna képe látható az 1. ábrán.



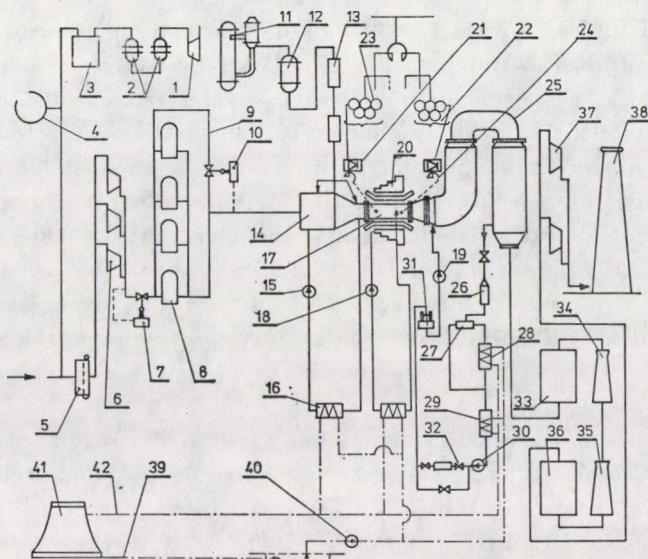
1/a ábra. Az U-02 egység egy csatornájának képe

A vízhűtésű réz elektródák élettartama elérte az 1000 órát, míg a Zr alapú anyagok élettartama mindössze 100 óra (eltörnek). Kellemetlen tapasztalat, hogy a szigetelőkre pár 100 óra működés után kiül a K és ez a csatornán belül söntöli a generátort. A sózás 50%-os folyadék oldat bepermetezésével történik. A konstrukció lehetővé teszi, hogy 1,5 m-re a csatorna bemenettől mind az áramlásra merőlegesen, mind vele párhuzamosan be lehet permetezni a sózóoldatot. A feltevések szerint az ionizáció 100%-os. A hőcserélőben lerakódó sózóanyagot vízfürdővel lemosják és kémiai úton visszanyerik. Az eltávozó égéstermékben levő sózóanyag leválasztására kidolgoztak egy rendszert, amely lehetővé teszi a sózóanyag 95%-ának visszanyerését. Jelenleg kísérletek folynak 75%-os sózóoldattal, amelyet 80 atm nyomáson és 420 K hőmérsékleten juttatnak a csatornába.

Az U-02 egység tapasztalatait felhasználva hozták létre a szovjet szakemberek az U-25 kísérleti MHD egységet, amely már alkalmas a nagy teljesítményű ipari méretű erőművek alapvető rendszertechnikai problémáinak modellezésére is. Az U-02 egység jelenleg elsősorban a nagy teljesítményű MHD csatornákhöz kidolgozott szerkezeti elemek élettartam vizsgálatára szolgál.

Az U-25 egység

Az addig elért eredmények felhasználásával 1966-ban kezdték tervezni az U-25 modell MHD erőművet és 1971-ben már üzembe helyezték. A tervzet szerint ez a modell közbenső lépés az ipari méretű erőművek felépítéséhez vezető úton. 20–25 MW összeteljesítményre tervezték, s már tartalmaz minden lényeges elemet, amely egy jövőbeni MHD erőműben előreláthatóan szükséges lesz. A főbb szerkezeti elemek megegyeznek az U-02 berendezés elemeivel. Az U-25 berendezés felépítési sémája az 1. ábrán látható. Az ábrán feltüntetett szerkezeti elemek a következők: 1 — kompresszor, 2 — hűtőrend-



1. ábra.

szer, 3 — levegőelosztó, 4 — gáztartály, 5 — szűrőkammera, 6 — kompresszor, 7 — automata szabályzó, 8 — levegő előmelegítő, 9 — keverő, 10 — automata szabályzó, 11 — elpárologtató, 12 — adagoló, 13 — elosztó, 14 — égéskamra, 15 — kondenz szivattyúk, 16 — hőcserélők, 17 — MHD csatorna, 18 — kondenz szivattyúk, 19 — hőcserélő, 20 — mágnespólusok, 21 — inverterek, 22 — áramkivezető egységek, 23 — transzformátor, 24 — reaktor, 25 — gőzfejlesztő, 26 — gőzredukáló egység, 27 — szeparátor, 28 — kondenzátor, 29 — vízhűtő, 30 — vízszivattyú, 31 — atmoszférikus gáztalanító, 32 — tápszivattyúk, 33 — habkiválasztó egység, 34–35 — kétlépcsős turbulens gázmosó, 36 — cseppleválasztó ciklon, 37 — centrifugál ventilátor, 38 — kémény, 39 — meleg hűtővíz, 40 — hűtővíz szivattyúk, 41 — hűtőtorony, 42 — hideg hűtővíz.

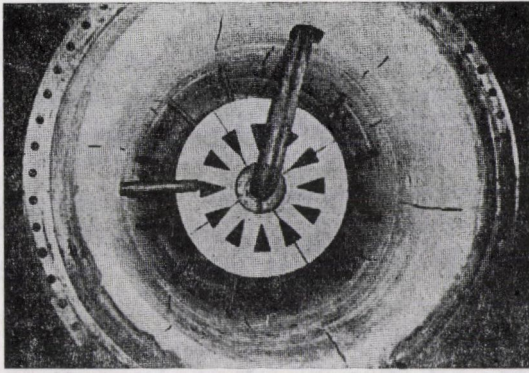
A levegő előmelegítőben atmoszférikus nyomású levegőt 40% oxigénnel dúsítanak, majd ezt sűrítik. Az előmelegítő, működési üzemmódját tekintve, regeneratív típusú. Az itt levő égőkamrában is földgáz üzemanyagot használnak, az előmelegített levegő hőmérséklete eléri az 1500 K-ot.

Az MHD generátor csatornája szegmentált Faraday-típusú. A jelenlegi mágnes hagyományos tekercselésű, 2 T erősségű mágneses tér előállítására alkalmas.

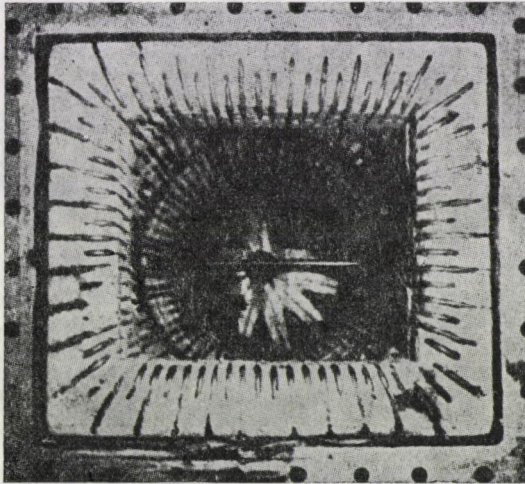
A hálózatra történő kapcsoláshoz kidolgoztak egy sokelemes invertert. A rendszer másik energiatermelő egysége egy nagyjából szabványos gőzfejlesztő. A hidromechanikus tisztítórendszerrel a sózóanyag több mint 99%-a visszanyerhető. Az elektródák és szigetelők rendszere modulált, vízhűtésű fémrendszer, ami természetesen nagy feszültségést és nagy hőveszteséget

okoz. Az első futások során $20 \div 30$ kg/s-os tüzelőanyag felhasználás és $30 \div 35\%$ -os oxigén dúsítás mellett $1 - 1,5$ MW teljesítményt tudnak kinyerni a csatornából. Az egység üzemmódjának megválasztásánál elsősorban a megbízható üzemvitelre fektették a fő hangsúlyt, emellett természetesen méréseket végeztek a rendszer fizikai paramétereire vonatkozóan is. Jelentős problémát okozott a magas hőmérsékleten működő gőzfejlesztőben a nagymértékű sózóanyag lerakódás, de ezt a problémát már megoldották. A 2000 V körüli üzemi feszültség miatt a magas hőmérsékletű falaknál szigetelési problémák jelentkeztek, ezért 1972 -ben újra méretezték a csatornát és az égéskamrát. Ezzel 3 órás folytonos üzemben $4,5$ MW maximális teljesítményt értek el. Javították a gázdinamikai áramlás paramétereit, figyelembe véve a mágneses térrel való kölcsönhatást is.

Az 1974 -ben használt csatorna a következő fontosabb paraméterekkel jellemezhető: tüzelőanyag felhasználás 40 kg/s; levegő előmelegítés 1550 K; oxigén dúsítás 40 súly%; Hall-feszültség 3 kV; üzemi feszültség $1200 \div 1500$ V; feszültségesés az elektródák mentén $6 \div 700$ V. A következőkben részletesen ismertetjük az U-25 berendezés legfontosabb adatait és az itt alkalmazott fontosabb mérési módszereket. Mint már említettük, az U-25 berendezést 1966 -ban kezdték tervezni. A szabványos részeket a leningrádi kutatóintézetekben tervezték, de azokat is az IVTAN-ban készítették el. A tervezet szerint a csatorna munkahőmérséklete 3300 K, amivel 10 S/m vezetőképesség érhető el. Atmoszférikus nyomású levegőben történő elégetéssel csak kb. 2300 K hőmérséklet érhető el, ezért alkalmaznak 40% oxigén dúsítást. A tüzelőanyagként felhasznált földgáz mennyisége 20 kg/s és ezt szintén előmelegítik. Ezután a $4,5$ atm nyomásra komprimált levegőt és az ugyanilyen nyomású földgázt összekeverik. Gyújtóegységre nincs szükség, mivel ezen a hőmérsékleten már öngyulladás lép fel. A felhasznált levegő előmelegítő a kohóknál szokásossal megegyezőek. 4 db levegő előmelegítő van, amelyek sorosan és párhuzamosan is üzemeltethetők. Az előmelegítő felhevítése kb. $2,5$ órát vesz igénybe és 1 óráig tart, amíg a felhevítendő levegő áthalad rajta. Az áthaladás után a hideg adalékok (sózóanyag) kb. 50 K-kal lehűtik a levegőt. A sózóanyagot, amely a szokásos K_2CO_3 oldat, 3 különböző helyen juttathatják be a munkagázba: a levegő előmelegítőben, az égőtérben és a csatornában. Az öngyulladás után az égőkamrában 2800 K-on megy végbe az égés. Az égéstermékek $0,9$ Mach sebességgel áramlanak be a csatornába, amely kb. 950 m/s sebességnek felel meg. Az égéskamrának két fajtáját próbálták ki: a hidegfalú és a melegfalú változatot. A hidegfalú változatban a fal hőmérséklete kb. 900 K, a konstrukció stabil égést biztosít. Az égőtér több pontján lehetséges a sózóanyag bevitele. A hőveszteség $5 \div 6\%$. 50 kg/s tüzelőanyag felhasználás esetén $2,75$ atm nyomáson 300 MW-os hőtéljesítmény érhető el. Ez a típusú égőkamra nem IVTAN konstrukció, ma már nem használják. A melegfalú változatot az IVTAN-ban tervezték és készítették el. A szigetelő kerámia-

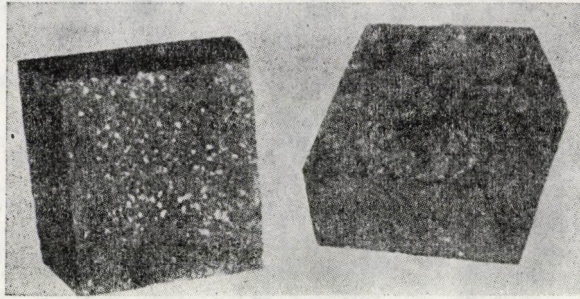


2. ábra. Az U-25 egység égőkamrája

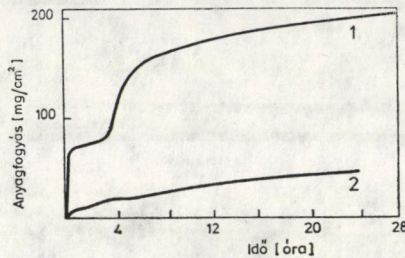


3. ábra. Az U-25 egység égőkamrájának fúvókája

téglák 3300 K üzemi hőmérsékletre készültek, anyaguk ZrO_2 . Az égőkamra hengeres keresztmetszetű, külső átmérője 1700 mm, míg a kiáramló nyílás előtti belső átmérő 1100 mm. A kiáramló nyílás szintén téglalap keresztmetszetű és a csatornához illeszkedő. Az égőkamra belsejéről készült fényképfelvétel a 2. ábrán látható. A levegő és a gáz áramlása egymásra merőleges, így az elrendezés jó keveredést biztosít. A sózóanyagot az áramlásra merőlegesen juttatják be az égőfejbe. Szintén 50 kg/s-os tüzelőanyag felhasználás esetében, de 5 atm nyomáson 300 MW-os hőteljesítmény érhető el, a hővesztés azonban mindössze 3%. A fúvókában lehetőség van optikai mérések végzésére és a nyomás-pulzálás vizsgálatára. Az égőtér kimenete 380×760 mm-es téglalap keresztmetszetű szűkület. A fúvóka képe a 3. ábrán látható.



4. ábra. $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Nd}_2\text{O}_3$ egykristály alapanyagú meleg elektródák



5. ábra

A csatorna szekcionált Faraday-típusú generátor. Az elektródák közötti feszültség 1000 V nagyságrendű, de a csatorna eleje és vége között 5000 V-os feszültségekülönbség is felléphet. (A csatorna kimenete földelt.) Ezt az egyenfeszültséget tirisztoros inverterekkel 10 kV-os, háromfázisú, váltakozó feszültséggé alakítják, ami már a hálózatra csatlakoztatható. A csatornában 48 elektródapár van, míg a továbbfejlesztett csatornaváltozatban lényegesen több elektróda kerül beépítésre. A 4. ábrán két $\text{ZrO}_2\text{-Y}_2\text{O}_3\text{-Nd}_2\text{O}_3$ egykristály alapanyagú meleg elektróda látható. A meleg elektródákat különböző technológiával állítják elő. A tapasztalat szerint a robbantással sajtolt elektródák tulajdonságait a sajtolás utáni hőkezelés nagymértékben javítja. Az 5. ábrán a hőkezelt és hőkezeletlen elektródák anyagfogyása hasonlítható össze (1. görbe hőkezeletlen, 2. görbe hőkezelt elektródák). A szigetelők vízhűtésű fém modulok, amelyek egyesével is cserélhetők. A legnagyobb, jelenleg kivitelezés alatt álló csatornát 25 MW-ra méretezték. Az ezen átáramló tüzelőanyag mennyisége el fogja érni az $50 \div 60 \text{ kg/s}$ -ot is. Az 1974-ben üzemeltetett csatorna méretei: a belépő keresztmetszet $383 \times 766 \text{ mm}$, a kilépő keresztmetszet $1413 \times 383 \text{ mm}$, hosszúság 6,3 m. A számítások szerint a csatorna keresztmetszetében a gáz áramlási sebessége állandó, míg a hossz mentén a mérések szerint a bemenetnél 2,75 atm nyomáson 900 m/s, közepén 600 m/s, a kilépésnél kb. 1 atm nyomáson 800 m/s a sebesség. A teljes generátoregység átmérője (mágnessel együtt) 8 m. A mágnes teljesítményfelvétele 5 MW, segítségével 2 T erős-

ségű homogén mágneses tér hozható létre a csatorna teljes hosszában. Az egységben már több csatornát próbáltak ki. A 4 MW teljesítményt adó csatorna tüzelőanyag fogyasztása 30 kg/s, míg a 7 MW teljesítményt adó csatorna tüzelőanyag fogyasztása 40 kg/s volt. Ez utóbbi csatornát egyébként 9 MW-ra tervezték. A futási idő összesen több száz óra volt. Az eltávozó munkagáz hőmérséklete eléri a 2000 °C-ot. A benne levő hőmennyiséget egy hagyományos gőzfejlesztőben hasznosítják. A gőzgenerátorban a víz nyomása 230 atm, mennyisége 250 t/óra, ezt alakítja át 100 atm nyomású, 840 K-os hőmérsékletű gőzzé. A sózóanyag visszanyerését ellenáramú rendszerrel biztosítják. Ebben a K-t hideg levegővel csapatják ki. Ezenkívül alkalmaznak egy speciális fémsörétes tisztítórendszert, amely segítségével a végül is kb. 400 K-ra lehűlt égéstermékekből a K visszanyerése 99,9%-os.

Látható tehát, hogy a szovjet MHD egységek segítségével a kutatók elértek az ipari méretű erőművek megvalósításában jelentkező problémákhoz. Ezek megoldása után sor kerülhet az első nagy teljesítményű MHD erőmű felépítésére.

MARK VI—VII egységek

Az Amerikai Egyesült Államokban az MHD generátorokkal kapcsolatos kutató és fejlesztő munkálatokat elsősorban az Avco Everett Corp. kutató laboratóriumaiban végzik, a Mark VI—Mark VII elnevezésű generátorokon, amelyek az U-25-ös után a legnagyobb teljesítményű ilyen típusú kísérleti berendezések. A Mark VII egység méreteit tekintve, hasonló a Mark VI-hoz, sőt a mágneses rendszer és a vízűtés is azonos. Az eltérés inkább a kutatási célkitűzésben van: amíg a Mark VI a szerkezeti elemek élettartam vizsgálatára készült, addig a Mark VII egységen elsősorban a viszonylag rövid ideig működő nagy teljesítményű kompakt MHD-generátorok aerodinamikai és villamosgáztani problémáit kívánják tanulmányozni. Az alábbiakban elsősorban a Mark VI egység ismertetésére korlátozódunk.

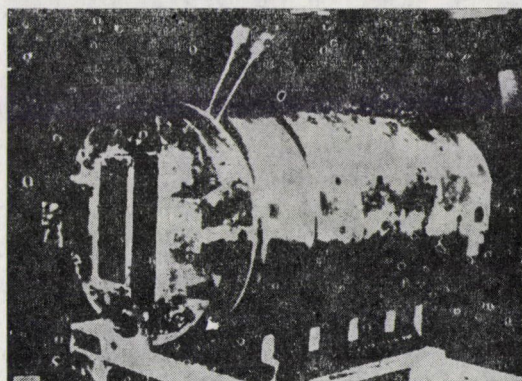
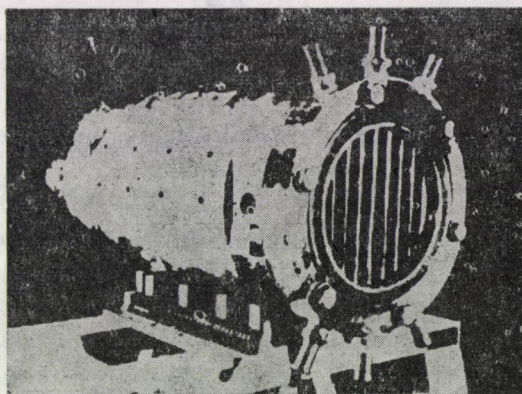
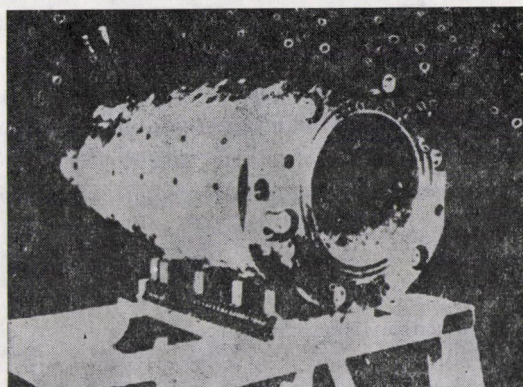
A Mark VI generátor kb. 3 kg/s gázfogyasztás mellett kb. 500 kW villamos teljesítmény termelésére alkalmas, s elsősorban a csatorna kritikus elemeinek — az elektródák — élettartam vizsgálatára, valamint az MHD áramlási viszonyok tanulmányozására szolgál. A csatorna méretei ugyanakkor lehetővé teszik, hogy az ott kapott eredmények az ipari méretű berendezésekben is felhasználhatók legyenek.

A Mark VI generátor munkaközege az égéskamrába juttatott könnyű fajsúlyú kőolaj, amelynek elégetése N_2O_2 közegben történik. Mivel a gáz keveréket külön O_2 és N_2 tartályokból adagolják, így a kísérletek során folyamatosan változtatni lehet az N_2/O_2 arányt. A jelenlegi körülmények között az egység a tervezett paraméterek biztosítása mellett 8 órás üzemeltetési idő alatt 11 tonna tüzelőanyagot és oxidáló közeget fogyaszt.

A megfelelő vezetőképesség biztosítására a füstgázhoz egy súlyszázalék káliumot adagolnak vagy 50%-os vizes oldatban, vagy pedig porított állapotban. A folyékony oldatot az égéskamrába való bejuttatás előtt keverik össze a tüzelőanyaggal. A kísérletek során azonban bebizonyosodott, hogy a vizes oldat formájában történő bejuttatás hátrányos a disszociációs és párolgási veszteségek miatt, s így a későbbiek során egy vibrátoros, száraz por formájában adagoló rendszer mellett döntöttek. A száraz adagoló 10% nitrogén segítségével juttatja be a rendszerbe a kálium sózanyagot. A kísérletek során kiderült, hogy a száraz adagoló rendszer kb. 50%-kal növelte meg a füstgáz vezetőképességét az oldat formájában történő sózáshoz képest. De még így is csak felét lehetett elérni a megfelelő hatásokhoz szükséges vezetőképességnek.

Az egységénél az egyik legnagyobb problémát a megfelelő égőkamra-konstrukció kialakítása jelenti. Mivel a vezetőképesség elsősorban a gázhőmérséklettől függ, így 100 K gázhőmérséklet csökkenés már 50%-kal csökkenti a Mark VI egységben a munkaközeg vezetőképességét. A Mark VI kísérletek során egy rakétahajtóműből kifejlesztett égőkamrát alkalmaztak. Az égőkamra képe a 6a, b, c ábrán látható. Az oxidáló szert és a tüzelőanyagot az ipari égőfejeknél szokásos expanziós fúvókák segítségével juttatták be. Itt a legnagyobb problémát az jelenti, hogy a radiális irányban befecskendezett tüzelőanyag az expandáló gázba jut be, s ennek következtében a széleken egy feldúsult zóna alakul ki, közepén pedig elszegényedés lép fel. A rossz keverési viszonyok miatt ily módon hosszú, 1720 mm-es égéskamrát kellett kialakítani, amelynek következtében természetesen megnövekednek a hőveszteségek. Kísérletek történtek az injektor konstrukciójának megváltoztatására, valamint az égőtérbe szinterelt cirkónium terelőlapok beillesztésére. Ennek eredményeként a generátor kimenő teljesítménye közel 600 kW-ra emelkedett (a jó tüzelőanyag-oxidálószer keveredés és a fajlagos fali veszteségek csökkenése következtében). A későbbiek során azonban ez a megoldás nem nyert alkalmazást, mivel a cirkónium kerámia terelők élettartama csak néhány ciklusra volt elegendő. A további kísérletek során az AVCO által kifejlesztett égőkamra konstrukciót alkalmazták, amely 10 cm széles, vízzel hűtött berillium-réz gyűrűkből állt. Ily módon az égőtér hossza 60 cm-re volt csökkenthető, s ugyanakkor egyes gyűrűk kivételével, ill. beépítésével lehetőség nyílt az optimális üzemi tartomány kis lépésekben történő beállítására. Az új konstrukcióval végzett vizsgálatok során kiderült, hogy a kálium-karbonáttal sózott gáz vezetőképessége az égéskamrában 10–12 S/m között változott s az égés majdnem tökéletes volt — szénmonoxid nem alakult ki.

A Mark VI-os egység jelenleg két csatornával rendelkezik, amelyek főbb paramétereit tekintve, hasonlóak egymáshoz. Közepes keresztmetszetük 232 cm², hosszúságuk 203 cm (165 cm-es aktív hossz). Felépítésüket tekintve Faraday-rendszerűek, s a négy egymástól elszigetelt fal alkotja a csatornát. A cserélhető falakon 180 db 1 cm átmérőjű, rúd alakú elektróda van elhelyezve,



6. ábra

az elektródák közötti távolság 1,5 mm, s a vízzel hűtött elektródok között szigetelő kerámia betétek vannak. Az elektródok munkafelülete a rendelkezésre álló információk szerint kalciummal doppolt cirkóniumoxid kerámia réteg, amely 1400 ÷ 1900 K hőmérsékleti tartományban üzemel optimálisan, mivel ezeken a hőmérsékleteken a cirkónium viszonylag jó vezetőképességgel rendelkezik, s az elektróda leépülési folyamatok mértéke is elviselhető. A fém-kerámia átmenetnél 1400 K hőmérsékletnél adódik a minimális átmeneti ellenállás.

Az eredeti, A jelzésű, és az újabban kidolgozott B jelzésű csatornaváltozat között két alapvető különbség van:

a) A hűtővíz és a villamos csatlakozások a B csatornánál minden egyes elektródához külön vezetéken történtek, s csak külső összeköttetéseket alkalmaztak, míg az A csatornában közös volt az elektródák vízhűtő rendszere.

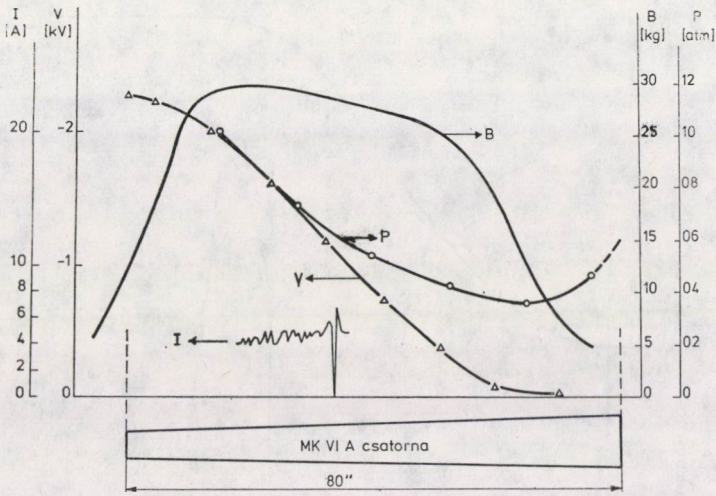
b) A B csatornánál a bemenő Mach-számot a korábbi 2-ről 1,5-re csökkentették.

A Mark VI-os egység mágnesének két nyereg alakú gerjesztőtekercesze vízűtősű vörösréz csövekből van tekerceselve. A mágnes pólusok között kialakuló maximális térerősség 3 T. A közelmúltban készült el egy 5 T térerősségű szupravezető mágnes, amely jelenleg még a próbaüzemeltetés stádiumában van.

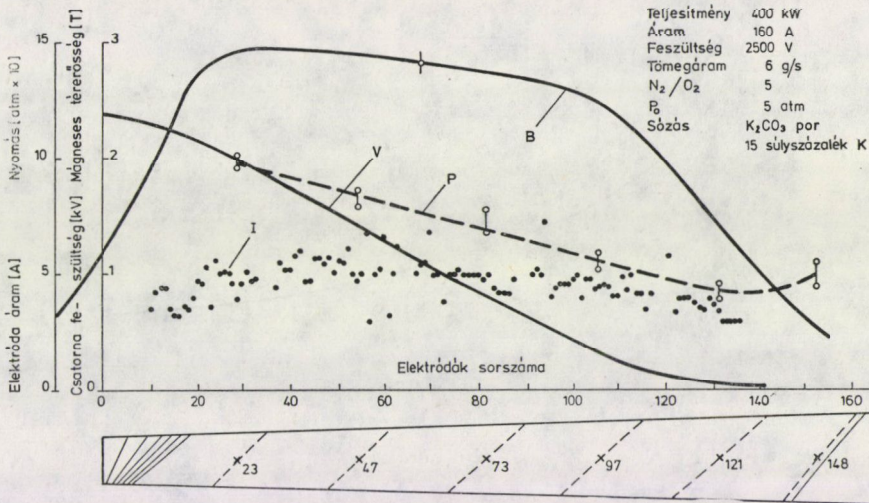
A kísérleteket folytató AVCO-Everett Research Laboratories lakott területen való elhelyezkedése és a levegőszennyezéssel kapcsolatos problémák egyébként is növekvő fontossága miatt az amerikai kutatók nagy figyelmet szenteltek a szóanyag visszanyerésére és az égéskamrából, valamint az elektróda porlódásból származó kerámiaport tartalmazó égéstermékek tisztítására. Az égéstermékek először egy diszpergáló düzni és diafragmarendszeren haladnak át, majd egy hagyományos ciklonba jutnak, ezt követi egy cseppleválasztó, majd egy második centrifuga, mielőtt a füstgáz egy venturicsövön keresztül a szabad kevegőbe jut.

A központi vezérlőteremben elhelyezett berendezések segítségével folyamatosan ellenőrizhető a tüzelőanyag és az oxidáló szer mennyisége, az égés folyamata, a nitrogén – oxigén és a szóási arány, valamint a mágneses térerősség értéke. A mérőműszerek ezenkívül folyamatosan vagy szakaszosan kijelzik a csatornában és a diffuzorban uralkodó nyomáseloszlást, a csatorna falának, az égőnek, a fűvőkának, valamint a diffuzornak a hűtésére szolgáló víz hőmérsékletét, az egyes elektródák áramát, az elektródok közötti feszültségkülönbségeket, a kimenő feszültséget és a terhelési áramot, továbbá az axiális feszültségeloszlást.

A rendelkezésre álló adatok szerint a Mark VI A csatornája 1973-ban 116 órát üzemelt, s ebből 65 óráig átlagosan 250 kW villamos teljesítményt szolgáltatott, a B jelzésű csatorna pedig 39 óráig működött, s ebből 20 óráig átlagosan 350 kW villamosteljesítménnyel. Ez egyben azt is jelenti, hogy



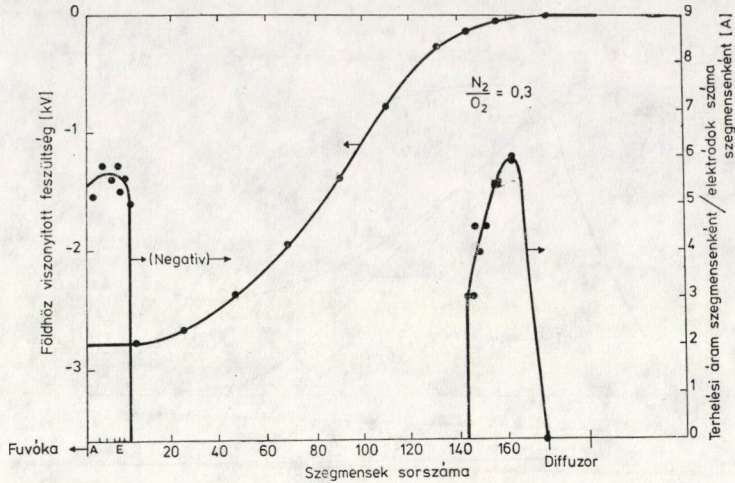
7. ábra



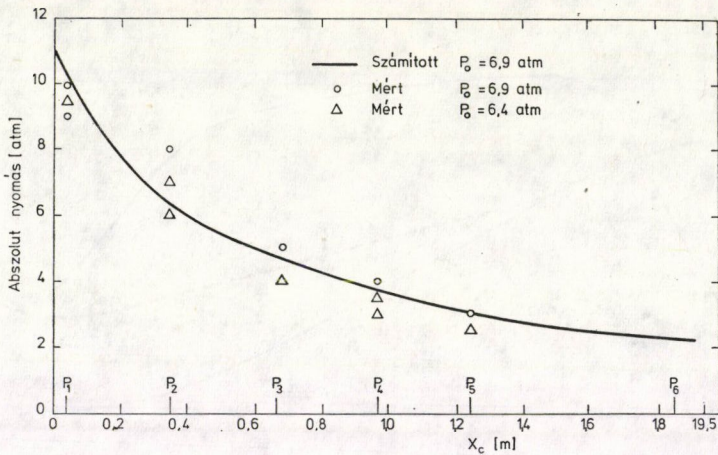
8. ábra

a Mark VI kísérleti MHD rendszer 23 000 kW ó össz villamos energiát szolgáltatott 1973-ban.

Az A és B csatorna működési körülményeit a 7. és 8. ábra segítségével illusztráljuk. A 7. ábrán 310 kW villamos teljesítmény mellett mutatjuk be az A csatorna hosszában uralkodó nyomás, térerősség, feszültség és áram eloszlásokat. A 8. ábrán láthatók a B csatornában — 400 kW villamos teljesítmény mellett — fellépő hasonló paraméterek. Az elméleti számítások és



9. ábra



10. ábra

a kísérleti úton mért értékek kielégítő egyezését jól illusztrálja a 9. és 10. ábra. A 9. ábra az *A* csatorna számított és mért áram- és feszültségeloszlását, míg a 10. ábra a csatornában uralkodó nyomás eloszlásának számított görbéjét és a mért nyomásértékeket mutatja be.

A csatorna üzemeltetése során az anód környezetében fellépő ívkialakulási jelenségek jelentették az alapvető problémát. Az anódnál ugyanis az áram és a mágneses tér vektorszorzatával megadható Lorentz-erő az elektronáramot a fal felé hajtja, így elősegíti az ív kialakulását. Az *A* jelzésű csatorna kezdeti üzemeltetési stádiumában a vízhűtés gyakori meghibásodása következtében

nem lehetett elkülöníteni a hűtőrendszerrel és az ívkialakulással kapcsolatos problémákat. Éppen ez tette indokolttá a B jelzésű csatorna konstrukciójának kialakításakor a külső, független vízű rendszer alkalmazását. Ezen változtatással egyidőben tökéletesítették a falak szigetelését (epoxi-üveg szigetelőlapokról áttértek teflon és G7-es jelzésű szilícium-üveg kombinációra) s az árameloszlás homogenizálása érdekében aszimmetrikusan szegmentált anód konfigurációt vezették be, sőt a Joule-veszteségek egyenletesebb disszipálása miatt növelték az áram kollektorok méretét is.

A fenti munkáknak és kísérleti eredményeknek elsősorban az MHD-erőművek létrehozásához szükséges új konstrukciós anyagok kidolgozása szempontjából van igen fontos jelentősége. Figyelembe véve, hogy az USA-ban létrehozott konstrukciós anyagok és megoldások iránt támasztott követelmények az ipari méretű erőművekben várhatóan módosulnak, ezért az eredmények végleges értékelése csak a min 25–50 MW teljesítményű berendezésekben történő kipróbálás után végezhető el.

Mérési és ellenőrzési módszerek

A komplex MHD rendszerek paramétereinek folyamatos követése és regisztrálása jelentős mérés technikai problémákat vet fel, amely egyrészt a már meglévő diagnosztikai módszerek speciális körülményekre (magas hőmérsékletek, nagy mágneses és villamos térerősségek, nagy geometriai méretek stb.) történő alkalmazásában, másrészt pedig a mért paraméterek egyidejű folyamatos regisztrálásában, feldolgozásában és az automatikus visszacsatolás megvalósításában rejlik. Ebből a szempontból is élenjárónak tekinthető a SZU Magashőmérsékletű Intézetében megépített U-25-ös kísérleti egység, ahol már komoly eredmények születtek a különböző mérőberendezések komplex rendszerbe történő integrálása terén. Ebben a rendszerben az egyes mérőegységek által szolgáltatott adatokat nagy teljesítményű számítógépek segítségével dolgozzák fel, s a kísérleti erőmű vezérlőtermében jól áttekinthető formában már a származtatott „erőmű paraméterek” kerülnek kijelzésre.

Az alábbiakban röviden áttekintjük a korábbiakban ismertetett MHD berendezéseken alkalmazott fontosabb mérési módszereket és utalunk néhány kidolgozás alatt álló, érdeklődésre számot tartó módszerre is.

Az U-25-ös csatornájában az áramló plazma hőmérsékletét spektrográffal vagy UM-2 monokromátorral mérik. A mérés távirányítható és egy analóg-digitál átalakító segítségével az adatok közvetlenül számítógépre vihetők. A mérést három lépésben végzik. Első lépésként wolfram etalon lámpával felveszik az alap színeképet egy fotomultiplier segítségével. Ezután külön felveszik a plazma színeképet, majd a plazma és az etalonlámpa együttes színeképet. Az így kapott színeképeket, ill. a színeképek megfelelő vonalát analóg számítógéppel értékeli ki, ez egy közvetlen kijelzőn keresztül mutatja a

csatorna pillanatnyi hőmérsékletét. Meg kell jegyezni, hogy a módszer csak átlaghőmérsékletre ad felvilágosítást. A szovjet kutatók számításai szerint egy igen vékony határrétegtől eltekintve a hőmérséklet a csatorna keresztmetszetében állandó, így az átlaghőmérséklet megegyezik a valóságos hőmérséklettel. A csatorna bemeneténél és kimeneténél állandóan mérik a gáz hőmérsékletét, míg a csatorna középső szakaszán időszakosan végeznek méréseket. Az optikai ablakok kvarcüvegből készülnek és átmérőjük 100 mm.

A szóanyag — a kálium — koncentrációját a kálium színkép-vonalainak öninverziójából számítják. A kálium koncentráció és a hőmérséklet ismeretében — valamint a statikus nyomás mérésével — számítják az elektronkoncentrációt és a vezetőképességet. 10 s-onként végeznek egy mérést, amely 50 Å-ös sávokban tapogatja le a színképet. A megfelelő időfelbontás eléréséhez nagy sebességű filmkamera is rendelkezésre áll. Elméleti próbálkozások folynak az égéstermékek fizikai és fizikokémiai folyamatainak hőmérsékletre és vezetőképességre gyakorolt hatásának leírására.

A csatorna szerkezetének vizsgálatára piezoelektromos mérőfejekkel pulzációra és vibrációra vonatkozó méréseket végeznek. A mérőfejek kalibrálása után a jeleket oszcillográfon rögzítik.

A plazma vezetőképességnek mérésére nagyfrekvenciás vezetőképességmérő szondákat alkalmaznak. A módszer azon alapszik, hogy egy 2 MHz-es rezgőkör plazma által történő elhangolását oszcillográffal detektálják. Az elmélet szerint a rezgőkör jósági tényezőjéből megállapítható a plazma vezetőképessége. A mérőfej hosszanti és spirális tekercselésű kivitelben készül, teflon bevonattal, amely 20—25 mérést bír ki. A mérőfejet elektrolit oldatban hitelesítik. A mérés az égőkamra és a csatorna plazmájában egyszerre több helyen végezhető, a mérőfej bemerítését haidraulikus működtetésű mechanizmus végzi, amely 0,5 s alatt 250 mm-re meríti be a szondát.

Az elektrosztatikus szondákkal történő mérés kísérleti stádiumban van. Jelenleg kisátmérőjű gázlángon végeznek méréseket, amelyet megfelelő arányban káliummal sóznak. A szondát kör alakú pályán mozgatják, amely így egy sík metszetben keresztülhalad a lángon. A feltevések szerint a szonda áthaladási sebessége kisebb, mint az elektronok sebessége. Az áthaladás időtartama alatt egy szinkronizált impulzusadó néhány tized mikroszekundumos háromszög alakú impulzust ad a szondára. A létrejövő V—A karakterisztikát a szokásos módon a diffúziós elmélet egyik változata alapján értékeli ki s a mérést spektrográffal ellenőrzik. A tapasztalatok szerint a kialakuló szonda-karakterisztikára jelentős befolyással van a szonda áthaladási sebessége (amely analóg a plazmaáramlási sebességének befolyásával), az ionok becsapódási sebessége a szondára, a lebegő potenciál stb. A karakterisztika elektron szakaszából a hőmérséklet állapítható meg, míg az ionszakaszából az elektronkoncentráció. Ez utóbbi meghatározására a diffúziós és a diffúziómentes elmélet alkalmazása esetén más és más számítási módszert kell követni. A jelenlegi

eredmények szerint a módszer elvben alkalmazható a nagyobb tömegű, nagyobb kiterjedésű MHD plazmákra is, azonban a végleges alkalmazáshoz még igen sok technikai és elméleti problémát kell megoldani.

Laboratóriumi mérések stádiumában vannak a hőmérséklet és más plazma paraméterek meghatározásának egyéb spektroszkópiai módszerei is. A szovjet kutatók mérései szerint az MHD csatorna plazmájában a színkép-vonalakra 100 Å nagyságrendű vonalkiszélesedés jellemző. Ez a jelenség ma még elméletileg nem tárgyalt. Feltehető, hogy a kiszélesedés okainak feltárása megoldja a plazma paraméterek mérésének legfőbb problémáit. Hasonlóan új típusú mérés az MHD csatorna plazmájában levő kálium atomok és ionok színkép-vonalainál az elnyelési tényező hullámhossz függésének vizsgálata. A mérések jó kézben tarthatóságának érdekében atmoszférikus nyomású védett fáklyában végeznek etalon méréseket. Ezzel a módszerrel biztosítani tudják, hogy a mérendő színkép-vonalak hullámhosszának megfelelő fény homogén optikai vékonyrétegen haladjon át. A fáklyában $10^{11} \div 10^{14}/\text{cm}^3$ elektronsűrűséget tudnak beállítani. Ezek a mérési módszerek ma még nem alkalmasak üzemviteli ellenőrző módszerként.

Az IVTAN más kutatórészlegeiben is jelentős kutatásokat végeznek az MHD generátorokkal kapcsolatos fizikai folyamatok és tulajdonságok mérésére vonatkozólag. A gázok és folyadékok fizikájával két-két laboratórium foglalkozik, melyek a termodinamikai állandókat és a transzportfolyamatokat vizsgálják. Itt elsősorban a folyadék állapotú alkáli fémek sűrűségének, entalpiájának, vezetőképességének, fajhőjének, hővezető képességének és más tulajdonságainak mérését említjük meg. Ezenkívül a folyékony szerves anyagok, elsősorban a $10 \div 20$ H atomnál többet tartalmazó szénhidrogének vizsgálata fontos még, amelynek az MHD generátorok új típusú tüzelőanyaga szempontjából van jelentősége.

Az MHD villamos energiaátalakítással foglalkozó amerikai intézmények ugyancsak nagy figyelmet fordítanak az MHD csatorna optimalizálásához elengedhetetlenül szükséges olyan diagnosztikai módszerek kifejlesztésére, amelyek lehetővé teszik a csatornában uralkodó hőmérsékleti, nyomás és áramlási viszonyok, valamint térerősség eloszlások meghatározását. A számos diagnosztikai módszer közül a Stanford Egyetemen alkalmazott spektrális hőmérséklet és elektronsűrűség eloszlás mérési módszert emeljük ki, amely a kidolgozó szakemberek szerint egyensúlyi és nem egyensúlyi plazmákra egyaránt alkalmazható.

A módszer alapját HONSTREITER egy korábbi munkája képezi és lényegében a K rezonanciavonalak inverziójának abszolút mérésén alapul. 19 kálium vonalra írták fel a sugárzási transzport egyenletet és megadták a numerikus kiértékelési módszert is, lehetőséget teremtve arra, hogy a méréseket a korábbiakban alapvetően befolyásoló hideg határrétegek torzító hatását kiküszöböljék a detektor által érzékelt vonal mentén mért össz sugárzásból. A módszer

lehetővé teszi ugyan a csatorna belsejében fennálló integrált hőmérsékleti viszonyok korábbiaknál pontosabb meghatározását, alapvető hátránya azonban az, hogy nem alkalmazható az elektród a leépülés szempontjából fontos szerepet játszó határretegek vizsgálatára. Az elektronhőmérséklet mérésnél előnyösen alkalmazható az a feltételezés, hogy a magasan fekvő kálium energiaszintek betöltöttsége egyensúlyban van a szabad elektronok energiaeloszlásával, s ily módon a Saha-egyenlet felhasználásával a hőmérséklet mérésen keresztül meghatározható a sűrűségeloszlás is. Nem egyensúlyi esetben a felállított modell alapján az egyes vonalakra felírt sugárzási transzport egyenletek numerikus megoldásával kiválaszthatók azon energiaszintek, amelyek egyensúlyban vannak a szabad elektronokkal, s ily módon felhasználhatók a sűrűség meghatározására is. A mérés gyakorlati kivitelezése scanning monochromátorral és kvantitatív fotometriával történik, közelítő mérésekhez azonban elegendőnek tűnik a monochromátornak egyszerű interferencia szűrőkkel történő helyettesítése is.

Mint már a fentiekben is említettük, a gázdinamikai határreteknek és az elektromágneses tér határretekre gyakorolt hatásának rendkívül fontos jelentősége van az MHD csatorna konstrukciós kialakítása szempontjából. A turbulens határreteg struktúrája határozza meg ugyanis a fali súrlódás és a hőátadás mértékét és ezen keresztül pedig az elektróda leépülési folyamatok sebességét, amely jelenleg még a legnagyobb problémát jelenti az ipari méretű erőművek megvalósítása útján. Az amerikai szakemberek a határreteg sebesség-profil és a turbulencia intenzitás meghatározására, és a számítógépes eredmények ellenőrzésére egy komplex Doppler-elven alapuló lézeres sebesség-mérő berendezést fejlesztettek ki. A berendezés kipróbálása jelenleg folyik, elsősorban modell közegeken, mivel az MHD csatorna munkaközegében történő méréshez még számos lényeges problémát kell megoldani, amelyek közül csak néhányat említünk: nehéz optikai hozzáférhetőség; nagy sebességek (500 m/s); magas hőmérséklet (2700 K); nagy térfelbontási igény (0,1 mm); a turbulens határreteg törésmutató inhomogenitása; valamint a határfelület közvetlen közelében a szóródásból eredő interferencia jelenségek; továbbá a mikroszkopikus szóanyag jelenlétéből következő szórási jelenségek (kb. 1 μ -os szemcsék).

Sugárforrásként egy 5145 Å hullámhosszra hangolt, egymódusú argonion lézer szolgál. A frekvencia eltolódás mérésére egy piezoelektromos hangolású konfokális Fabri—Perot-interferométert alkalmaznak.

225 m/s-os számított szabad áramlási sebesség mellett vizsgálták a 0÷20 mm-es határreteg tartományt; a faltól 12,3 mm távolságra az áramlási sebesség már jól megközelíti az elméleti úton számított szabad áramlási sebességértéket.

A kísérleti MHD egységeknél alkalmazott mérés technikai módszerek áttekintése és az U-02 kísérleti MHD egységeken szerzett tapasztalatok alap-

ján megállapíthatjuk, hogy jelenleg még nincsenek teljes részletességgel kidolgozva olyan mérési módszerek, amelyek segítségével folyamatosan követni lehet az ipari méretű MHD erőművek csatornájában lejátszódó folyamatokat és ezen keresztül a villamosenergia termelés szempontjából alapvetően fontos üzemi paramétereiket.

3. Ipari méretű MHD erőművek

Az MHD kutatás jelenlegi szakaszában — az ipari méretű villamos erőművek kezdeti tervezési stádiumában — már igen fontos szerep jut a különböző rendszeranalitikai munkálatoknak és számításoknak, ezek eredményeként születnek meg a konkrét erőmű elképzelések. A legtöbb ilyen jellegű munka az előmelegített levegő jelenlétében elégett szénnel üzemelő MHD-erőművekre vonatkozik.

Jelenleg és előreláthatólag még hosszabb ideig az alapvető energiatermelő egységek a hagyományos tüzelőanyaggal működő hőerőművek lesznek. Ezek fejlesztésében a fő problémát a környezetbe kiáramló hőveszteség csökkentése révén az erőmű hatásfokának növelése jelenti. Gazdasági számítások szerint az MHD generátorok a fajlagos energiaköltség tekintetében is felveszik a versenyt a hagyományos erőművekkel. E szerint az MHD erőművek elkészítendő első generációjában a hatásfok eléri és túlhaladja az 50%-ot, miközben a fajlagos tüzelőanyag fogyasztást 20 ÷ 25%-kal lehet redukálni. A második generáció hatásfoka eléri és túlhaladja a 60%-ot, miközben a fajlagos hűtővízfogyasztás 2/3-ra csökken. Ezen szempontok figyelembevételével a fajlagos tüzelőanyagköltség az MHD erőműveknél jóval alacsonyabb lesz. További előnye az MHD erőműveknek, hogy egy nagy teljesítményű blokknak a felépítése a hasonló teljesítményű hagyományos hőerőművéknél egyszerűbb. Amennyiben regeneratív előmelegítő helyett oxigén dúsítót alkalmazunk az MHD erőműben és elhagyjuk a kiegészítő gőzerőművet, akkor egy igen gyors felfutású csúcserőművet kapunk. Bár az MHD erőművek csúcsüzemű erőműként való használata esetén a hatásfok valamelyest csökken, a hagyományos csúcserőművekhez képest, így is jobb hatásfokot érhetünk el. Egy ilyen csúcserőmű jellemzője, hogy igen jól illeszthető a hálózathoz, viszonylag kevés speciális berendezést igényel. Jellemzői alapján a közepes méretű energia-termelő egységek közé tartozhat.

A rendszertechnikai problémákon túlmenően a nyitott ciklusú MHD erőműben a hatásfok erősen függ az elérhető munkagáz hőmérséklettől, az égőkamra, a csatorna konstrukciójától, a szórendszerrel stb.

A munkagáz hőmérsékletének növelésére megoldás is kínálkozik: megfelelően magas hőmérsékletre előmelegíteni az égéshez szükséges levegőt, oxigénnel dúsítani a levegőt, valamint kihasználni a magas hőmérsékleten lejátszódó termokémiai folyamatokat. Természetesen ezen módszerek kombi-

nációja adja a legmegfelelőbb hatást. Ha a levegő előmelegítőben a levegőt minimálisan 1800 K-ra sikerült felmelegíteni, mintegy 5–10 atm nyomáson, akkor az MHD csatornában elérhető az 1 atm nyomás és 3300 K hőmérséklet. Az előmelegítő után következő fontos építőeleme az MHD erőműveknek az égőkamra. Ebben játszódik le az üzemanyag elégetése és rendszerint itt adagolják a szóanyagot, amely megfelelően alacsony ionizációs potenciállal rendelkezvén biztosítja a munkagáz szükséges vezetőképességét. Az égőkamra alapvető funkciói közé tartozik ezek szerint a tüzelőanyag lehetőleg 100%-os elégetése, az egyensúlyi ionizáció beállítása és az MHD csatorna elején a homogen áramlás biztosítása. A leglényegesebb eleme az MHD erőművek természetesen a generátor csatorna. Ebben alakul át a munkagáz kinetikus és kémiai energiája elektromos energiává. Ennek a berendezésnek az elkészítésénél a legnagyobb problémát a tartós, jó hatásfokú struktúra kialakítása jelenti. Ezen belül részprobléma az elektródák és a szigetelőfalak anyagának megválasztása, az elektródák optimális eloszlása a csatorna mentén stb. Elektródának mind hűtött fém, mind meleg kerámiaanyag megfelel.

A szigetelőfalak problémája lényegében megoldottnak tekinthető. A legelterjedtebb a kerámia szigetelőkből álló szegmentált struktúra. További fontos alkotóelem a mágneses tér előállításához szükséges mágnes. Ez lehet hagyományos vasmagos mágnes, és lehet szupravezető mágnes is. Ez utóbbi sokkal gazdaságosabb, de ipari méretű kísérleti MHD egységekben még nem használnak nagyméretű szupravezető mágneseket.

Az általánosan használt szóanyag K_2CO_3 , melyet vizes oldatban viznek be az égőkamrába. A szóanyag visszanyerésére szolgáló műveleteket az égéstermék lehűtése után hajtják végre. Már kidolgoztak a szóanyag visszanyerésére egy 98–99%-os hatásfokú technikát, az ún. csapadék technikát. A rendszerben venturi cső, ciklon, mosó, üledékszűrő található.

A Szovjetunió nyitottciklusú MHD berendezéseinek tervezése 1960–1961-ben kezdődött. Ebben az időszakban elméleti fizikai és gazdasági – műszaki felméréseket végeztek. 1964–65-ben elkészült az első kísérleti modell, az U-02 egység, amelyen a legalapvetőbb vizsgálatokat el tudták végezni. 1970–71-ben Kijevben is elkészült egy kísérleti MHD berendezés, amelynek azonban kisebb a jelentősége. Az U-02 tapasztalataira támaszkodva, 1971-ben elkészítették az U-25 kísérleti MHD erőművet, amelyet az első fázisban 3 ÷ 5 MW-os teljesítményre méreteztek. A jelenlegi legnagyobb teljesítményű MHD generátor az U-25 erőműben 7 MW-os volt, de a járulékos berendezések 5 MW teljesítményre készültek. A kutatómunka következő fázisában az U-25 egységet már a névleges 25 MW villamos teljesítményre tervezett új típusú szekcionált fém-kerámia elektródokkal ellátott külső vízűtésű csatornával kívánják üzemeltetni.

A Szovjetunió programjában az elkövetkezendő 15 ÷ 20 évre mindhárom alapvető MHD erőmű típus – a csúcsüzemű, félsúcsüzemű és alapüzemű –

1. táblázat

Az MHD erőmű típusa	Csúcsüzemű	Félcúcsüzemű	Alapüzemű
Netto teljesítmény (MW)	400 ÷ 800	800 ÷ 1200	1000 ÷ 2000
Átlagos évi üzemidő (óra)	500 ÷ 1000	2500 ÷ 3500	5000
Tüzelőanyag megtakarítás a hagyományos típusra vonatkoztatva	azonos termikus hatások mellett pakurával cserélhető fel a speciális turbina üzemanyagok	25%	25%
Az MHD generátorhoz kapcsolható kiegészítő egység	forróvízkazán	gőzturbina	gőzturbina
MHD/gőzturbina villamos teljesítményarány	—	1 : 1	1 : 1
Mágneses típus	szupravezető gáz,	mágneses rendszer	
Tüzelőanyag	pakura	gáz, pakura	gáz, pakura, szén
Oxigéndúsítás (%)	100%	50 ÷ 100%	50 ÷ 60%

egyenlő súllyal szerepel. Az erre vonatkozó elképzeléseket az 1. táblázatban foglaljuk össze.

A műszaki ismeretek jelenlegi színvonalán a viszonylag rövidebb csatorna-élettartam igényeket támasztó csúcsüzemű erőművek tervezési munkálatai vannak a legelőrehaladottabb állapotban. Ezen változatnál a szakemberek már elvégezték a részletes rendszeranalízist, s lerögzítették egy 700 MW-os, manőverező csúcsüzemű generátor alapvető műszaki paramétereit, amelyet a 2. táblázatban foglalunk össze.

A félcúcsüzemű erőműveknél végzett műszaki-gazdasági elemzés első stádiumában a szovjet szakemberek a 3. táblázatban összefoglalt fontosabb műszaki és gazdasági paraméterekeket tekintik irányadónak.

2. táblázat

700 MW-os MHD csúcserőmű tervezett főbb paramétereit

Paraméter	Névleges érték
Tüzelőanyag-fogyasztás	440 kg/s
Oxigéntartalom az oxidáló közegben	50 súlyszázalék
Oxidálószer előmelegítés	800 K
MHD generátor teljesítmény	696 MW
A turbógenerátor teljesítménye	500 MW
Égőkammera hőmérséklet	3140 K
Égőkammera nyomás	13 atm
Gázhőmérséklet a csatorna kimenetén	2385 K
Nyomás a gőzfejlesztő kimeneténél	1,05 atm
Az oxidáló szer kompresszorának teljesítménye	101,2 MW

3. táblázat

1000 MW-os MHD félcsúcsumű tervezett műszaki és gazdasági jellemzői

Az erőmű kiadott teljesítménye	1000 MW
MHD generátor teljesítmény	750 MW
Turbina teljesítmény	413 MW
Az oxigénelőállító és kompresszor- rendszer teljesítménye	157 MW
Erőmű hatásfok	50%
Fajlagos beruházási költségek:	
Mágnes rendszer	16 Rb/kW
Inverter	6 Rb/kW
Oxigénelőállító- és kompresszor- rendszer	26 Rb/kW
Gőzturbina	32 Rb/kW
Tüzelőanyag adagoló, égéskamra, szóóanyag adagoló és visszanyerő rendszer, kémény	5 Rb/kW
Építkezési költségek	35 Rb/kW
Előre nem látható költségek	6 Rb/kW
Eredő fajlagos beruházási költség	126 Rb/kW

Intenzív munkálatok folynak az alapüzemű MHD erőművek tervezése és fejlesztése területén is. Itt első lépésben földgáz és fűtőolaj tüzelésű erőművek jelentik a fejlesztési munka alapvető célkitűzését, de nagy jelentőséget tulajdonítanak a szén felhasználásának is.

Az alapüzemű erőművek kivitelezésében ma még a fő problémát az U-25-nél már említett központi feladatok jelentik: a csatorna struktúrának hosszú élettartamúnak kell lennie — a gazdaságos üzemeltetéshez minimum 5000 óra élettartam szükséges —, ki kell fejleszteni a nagyméretű, legalább 5 T térerősséget biztosító szupravezető mágnest, meg kell oldani az oxigénelőállítás és dúsítás alapvető problémáit, nagy teljesítményű, hosszú élettartamú, szén elégetésére is alkalmas égőkamra rendszert kell kidolgozni stb.

A tervezési munkák a rendelkezésre álló információk szerint már előrehaladott állapotban vannak, számszerűen publikált adatok azonban nem állnak rendelkezésre.

Az *Egyesült Államokban* az MHD programot részben a szövetségi kormány, részben pedig a különböző villamosenergia-ipari cégek finanszírozzák évente kb. 10÷11 millió dolláros összbefektetéssel (1974-es adat). A jelenlegi elképzelések szerint 1985-re várják az olyan erőművek kifejlesztését, amelyek alapüzemben villamos energiát képesek termelni az országos hálózatba. A fejlesztési kutatási tervek szerint az MHD villamos energiatermeléssel kapcsolatos problémákat két lépcsőben kívánják megoldani: (1) az egyes erőműegységek kifejlesztése és kipróbálása (csatorna, égéskamra, szeparátor, előmelegítő, stb.); (2) a rendszertechnikai problémák tanulmányozása különböző szén felhasználása mellett. Az amerikai szakemberek — a szovjet tapasztalatokat

4. táblázat

Nagyteljesítményű MHD alaperőművek tervezett jellemzői

		I.	II.
Levegő előmelegítési hőmérséklet	K	1370	1920
Égőkamra			
Nyomás	atm	5,5	14
Hőmérséklet	K	2670	2940
Hővesztesség	MW	46	25
MHD generátor			
Mágneses térerősség	T	6,0 ÷ 3,6	8,0 ÷ 4,5
Hall térerősség	kV/m	1,6 ÷ 2,9	1,2 ÷ 3,5
Kilépő gáz hőmérséklet	K	2230	2280
Kilépő gáznyomás	atm	1,15	1,15
Csatornahossz	m	18	16
Csatorna belépőnyílás keresztmetszete	m ²	1,8	0,8
Csatorna kilépőnyílás keresztmetszete	m ²	7,5	7,5
Izoentropikus hatásfok	%	75	74,5
Teljesítménymérleg			
MHD teljesítmény	MW	590	990
Gőzturbina-teljesítmény	MW	610	462
Összteljesítmény	MW	1200	1452
Kompresszor-teljesítmény	MW	157	220
Járulékos egységek, inverter vesztességek	MW	42	38
Összvesztesség	MW	199	258
Erőmű kiadott teljesítmény	MW	1001	1194
Eredő hatásfok	%	50	59,7

is felhasználva — ugyancsak arra a következtetésre jutottak, hogy az 1000 MW villamos teljesítményű erőműegységek létrehozása a legcélszerűbb és leggazdaságosabb. A 4. táblázatban az AERL szakemberei által kidolgozott ilyen elképzelést mutatunk be, két változatban, amelyek abban térnek el egymástól, hogy az I. változat 1100 ÷ 1400 K, a II. változat pedig 1600 ÷ 1900 K levegő előmelegítési hőmérsékletet tételez fel.

A táblázat szerinti I. és II. esetre vonatkoztatott gazdasági számítások itt azt mutatják, hogy a hagyományos, széntüzelésű, 590 K-ra előmelegített levegővel és 40%-os hatásfokkal működő erőműveknél adódó \$/kW fajlagos beépítési költség már az I. változatnál is elérhető (210 \$/kW), míg a véglegesnek tekintett II. változat már költségbefektetés szempontjából is gazdaságosabbnak ígérkezik (150 \$/kW)

Nemzetközi MHD-együtműködés és távlatai

Az elmúlt években a növekvő villamos energiafelhasználással párhuzamosan jelentős mértékben megnőtt az egész világon a gazdaságosabb villamos energia előállítás módjai iránti érdeklődés. A szocialista országokban ez

magától értetődő következménye a tervszerű energiagazdálkodásnak, a fejlett tőkés országokat pedig az ún. energiakrízis készítette az energiatartalékok gazdaságosabb kihasználására irányuló kutatási és fejlesztési munkák felgyorsítására.

Ennek a folyamatnak eredményeképpen jött létre az MHD-villamos energiaátalakítás területén vezető szerepet játszó két ország, a Szovjetunió és az Egyesült Államok közötti együttműködés.

A kormányközi megállapodást követően a Szovjetunió és az Egyesült Államok szakértői a következő munkaprogramban állapodtak meg:

amerikai gyártmányú elektróda és szigetelő anyagok tartóssági vizsgálatai a szovjet U-02 kísérleti MHD-egységen;

— az amerikai fél szupravezető mágnest és csatornát dolgoz ki az ipari méretű erőműveket modellező U-25-ös egységhez, s közösen hasznosítják a kísérleti tapasztalatokat;

— kölcsönös tájékoztatás és diszkusszió az MHD-erőművek rendszer-technikai, tervezési és konstrukciós kérdéseiről.

Jelentős együttműködési munkák folynak még a Szovjetunió és Lengyelország között a széntüzelésű, s a szén elgázosításán alapuló rendszerek, a levegő előmelegítő egységek, valamint a szóanyag visszanyerés területén.

A korábbi években együttműködés folyt a szovjet és francia intézetek között, amely ma már azonban csak a mérés-technika területére, elsősorban a lézeres diagnosztikai vizsgálatokra vonatkozik.

Növekvő érdeklődést tanúsít India a Szovjetunióval való együttműködés iránt. A közösen kialakított együttműködések szerint tervezik egy U-02 típusú kísérleti rendszer felállítását Indiában.

Az U-25-ös egység korábbiakban ismertetett sikeres üzemeltetési tapasztalatai következtében a nyugat-európai erőmű gyártó cégek is fokozott érdeklődést mutatnak az MHD együttműködés iránt, ami elsősorban az MHD erőműépítésben rejlő üzleti lehetőségek felismerésével magyarázható.

Külön ki kell emelni a Szovjetunió és a többi KGST országok közötti együttműködésben rejlő, komoly ipari potenciállal alátámasztott lehetőségeket, amelyek egyrészt a részegységekkel kapcsolatos speciális konstrukciós megoldások kidolgozásában, a mérés-technikai rendszerek megteremtésében, másrészt az MHD erőművek sorozatgyártásához szükséges ipari kapacitás létrehozásában rejlenek. A részletes munkaprogram kidolgozása jelenleg már folyik a KGST megfelelő szervezeteiben, egységes, sokoldalú rendszerbe foglalva az idáig folyó vagy most kialakuló kétoldalú együttműködési munkákat.

Itt látjuk célszerűnek körvonalazni Magyarország szerepét és helyét az MHD-villamos energiaátalakítással kapcsolatos rendkívül szerteágazó nemzetközi kutatási tevékenység területén.

Az első gyakorlati MHD csatornára vonatkozó, Karlowitz B. és Halász D. által benyújtott magyar szabadalom, valamint az energetika és a kisülés-

fizika területén folyó kutatások hagyományai alapján Magyarország a korábbi években ezen a területen elsősorban elméleti jellegű munkákat folytatott. Fordulópontot jelentett az MTA és az OMFB által kezdeményezett, kísérleti bázissal is rendelkező MHD-diagnosztikai munkák megindítása, majd 1973-ban a Szovjetunióval való kétoldalú együttműködés létrehozása.

A szovjet szakemberekkel történt diskussziók alapján a VKI laboratóriumaiban intenzív munka indult meg olyan plazmadiagnosztikai mérési módszerek kidolgozására, amelyek segítségével folyamatosan nyomon követhetők az MHD plazmában lejátszódó folyamatok. Az idáig elért eredmények röviden a következőkben foglalhatók össze:

1. Elkészült és kipróbált nyert egy modell plazmacsatorna, amely alkalmas az áramló plazma holografikus interferometriai vizsgálatára. A plazmaképző gáz argon-nitrogén keverék, amelyet plazmapisztollyal hevítenek fel $1000 \div 3000$ K-ra. A plazmasugár átmérője 80 mm. A csatorna biztonságos üzemeltetéséhez sor került egy gázszabályozó és biztonsági egység elkészítésére, amely a plazmapisztoly üzemi paramétereit szabályozza és védelmet nyújt a meghibásodások okozta tönkremenetel ellen is. A csatorna stacionaritásának mérésére egy hőmérsékletmérő egység szolgál. Ezzel 24 pontban követhető a csatorna belsejének és falának hőmérséklete. A hőmérsékleti hitelesítés biztosítására a dinamikus termoszonddákkal való mérési módszer szolgál, amelynek elmélete itt némileg módosított formában alkalmazható.

2. Elméleti előkészítő munkák folynak a hologramok kiértékelésére vonatkozóan. Az eddigi eredmények alapján várható, hogy az MHD plazmák holografikus vizsgálata kvantitatíve is lehetséges lesz. A mérések során megállapítást nyertek a jelenlegi körülmények között fennálló optimális felvételi technika feltételei.

Jelenleg transzparens tárgyak holografikus interferometriájára vonatkozó kutatások folynak modellanyagokon – kis teljesítményű MOM gyártmányú HeNe lézerrel. A kutatások végcélja olyan felvételi és rekonstrukciós technika kidolgozása, amely lehetővé teszi a transzparens közegek törésmutatójának térbeli meghatározását inverzió alkalmazása nélkül.

Összegzésként megállapítható, hogy a mágneses hidrodinamikai úton történő energiaátalakítással kapcsolatos kutatási és fejlesztési munkák az elmúlt években jelentős mértékben felgyorsultak, mondhatni minőségi változáson mentek keresztül. Amíg a 60-as években az alapvető problémát az elméleti kérdések tisztázása és a kutatási főirányok meghatározása jelentette, addig ma már az elsődleges hangsúly a komplex, 1000 MW nagyságrendű villamos energiát előállító erőművek részegységeinek kifejlesztésén és a rendszertechnikai kérdések megoldásán van, s ez a vezető MHD-szakértők véleménye szerint 1980–85 között ölthet konkrét formát ipari erőmű képében.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetüket fejezik ki SZENDY Károly akadémiai lev. tagnak és BITÓ Jánosnak a műsz. tudományok doktorának a tanulmány összeállítására nyújtott sokoldalú segítségükért, valamint az értékes diszkusszióikért.

IRODALOM

1. BITÓ—SZENDY: Az MHD generátorokkal kapcsolatos kutatások főbb irányvonalai. *Műszaki Tudomány* 46 (1973)
2. ANTAL—BOLLA: *Acta Techn. Hung.* 73 (1972)
3. TANOS—ANTAL—BOLLA: Előtanulmány az „MHD plazma vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerek és mérőkészülékek kutatása” témáról. VKI jelentés, 1973
4. MHD plazma vizsgálatára szolgáló diagnosztikai módszerek és mérőkészülékek kutatása. VKI jelentés 1—2, 1974
5. KIRILLIN—SCHEINDLIN: Research and Development in the Field of MHD-Conversion of Energy. *World Energy Conference* (1974)
6. Pervüj szovjetszko-amerikanszkij szimpozium po MGD. Moszkva 1974
7. PILINYI—TANOS—ANTAL—BOLLA: Útjelentés az IVTAN-beli tanulmányútról. Moszkva 1974
8. HAINES—MCNAB: Magnetohydrodynamic Power of Dynamics. Physics in Technology, 1974, USA
9. Beszámoló az MHD kutatásokról az Energetikai Szakbizottság ülésén, 1975
10. BOLLA: Útjelentés az 1975. február 5-i, moszkvai KGST MHD szakértői ülésről
11. ANTAL—BOLLA: Lézerholografikus plazmavizsgálatok, 1974
12. PILINYI A.: Holografikus plazmavizsgálatok. OPIAF előadás, 1975

MHD-Generator Research and Related Hungarian Plasmadiagnostical Investigations. — This situation report deals with one prospective branch of direct electrical energy production, the open-cycle working-gas MHD generation in high power (1000 MW and more) utility plants. The paper is neither concerned with research on closed-cycle working-gas operation, which can generally be combined with atom reactors, nor with liquid working medium MHD generators. It reviews the most important results attained by Soviet and American experimental MHD installations, the applied diagnostic methods, the situation of international cooperation and within this frame the Hungarian-Soviet MHD cooperation.

MHD-Generatorforschung und die daran anschließenden ungarischen plasmadiagnostischen Untersuchungen. — Dieser Situationsbericht beschäftigt sich mit einem aussichtsreichen Zweig der Elektroenergieerzeugung, derjenigen mittels offenem MHD-Zyklus mit Arbeitsgas in großen gemeinnützigen Kraftwerken (von 1000 MW und darüber). Die Arbeit berichtet weder über die Forschungsarbeit betreffend MHD-Generatoren mit geschlossenem Arbeitsgaszyklus, deren Betrieb im allgemeinen mit Atomreaktoren abgestimmt werden kann, noch über MHD-Generatoren mit flüssigem Medium. Es wird ein Überblick über die in den bedeutendsten sowjetischen und amerikanischen MHD-Versuchseinrichtungen erzielten wichtigsten Ergebnisse, die angewendeten diagnostischen Verfahren, die Lage der internationalen Zusammenarbeit — und in deren Rahmen die ungarisch—sowjetische Zusammenarbeit — geboten.

ÁLTALÁNOS METALLOGRÁFIAI MÓDSZER A KÖBÖS KRISTÁLYOK ORIENTÁCIÓMEGHATÁROZÁSÁRA

PROHÁSZKA JÁNOS*

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

és

TASSY-BETZ ÉVA**

(Beérkezett 1975. október 2-án)

A szerzők általános módszert dolgoztak ki a köbös kristályok orientációjának a meghatározására, a maratási idomok geometriájának figyelembevételével. Módszerük alkalmas az $\{100\}$ az $\{110\}$ és az $\{111\}$ síkokkal határolt maratási idomok értékelésére. Kimutatták, hogy nagyobb Miller-indexű síkokkal határolt maratási idomok gyakorlatilag alkalmatlanok a kiértékelésre. A módszer magában foglalja mindazokat az eljárásokat, melyeket eddig kidolgoztak, de az általánosítás révén azoknál többet ad, mert a megoldást nem köti speciális feltételek teljesüléséhez. A kidolgozott módszer alapgondolata alkalmas arra is, hogy a feladatot nem köbös, tetszőleges kristályrendszerre is felhasználják.

I. Bevezetés

A modern anyagvizsgálat keresi azokat az új módszereket, amelyek az anyag szerkezetének és szerkezeti változásainak mélyebb értelmezését teszik lehetővé, mint a klasszikus vizsgálatok. A metallográfiai vizsgálatok során gyakran feltűnő maratási idomok alak, gyakoriság és megjelenési helyük szerint – több tapasztalat tanúsítja, hogy – függvényei az anyag szerkezeti felépítésének, ill. állapotának. Ennek az összefüggésnek a tisztázása az anyagvizsgálat számára értékes információkkal szolgálhat.

Kísérleteink során a maratási idomok orientációfüggését tanulmányoztuk. Célunk az volt, hogy a maratási idomok felhasználásával a gyakorlat számára alkalmas, könnyen kivitelezhető és általános orientációmeghatározási módszert dolgozzunk ki.

Már 1926-ban TAMMAN és MÜLLER [1] a maratási idomokra alapozott orientációmeghatározási módszert dolgoztak ki. Optikai úton a maratási idomokat úgynevezett fényábrákká transzformálták, amikből elsősorban az alacsony indexű $\{100\}$ $\{111\}$ $\{110\}$ síkok orientációját azonosították. BARETT [2] a megfelelően maratott felületről visszaverődő fényt használta fel orientációmeghatározásra. LAUCOMBE és BEAUJARD [3] a reflektáló felületet növelték meg azáltal, hogy az egyes idomok nagyságát növelték. Néhány esetben a maratási idomok egyszerű szemrevételezésével is következtek a maratási

* Prof. Dr. Prohászka János 1016 Budapest, Tigris u. 48

** Dr. Tassy-Betz Hidvégi Éva 1118 Budapest, Villányi út 78–80, I. 6

idomhoz tartozó szemcse orientációjára. Érdemük, hogy felhívták a figyelmet az egyes idomok értékelésének lehetőségére. HERENGEL [4] olyan módszert javasol, miszerint a kartonpapírra kinagyított, kivágott maratási idomot egy plexiből készült tengelyrendszerben kell elhelyezni úgy, hogy a tengelymetszetek leolvashatóak legyenek. LAUCOMBE és BEAUJARD [5] grafikus módszert dolgoztak ki, amiben a minta maratott felületét tekintették a sztereografikus vetítés síkjának. TUCKER és MURPHY [6] ezt az eljárást továbbfejlesztve, a maratási idom szögeiből határoztak meg orientációt.

A metallográfián alapuló orientációmeghatározás történetét ILLGEN és munkatársai [7] összegezték, azzal a céllal, hogy a metallográfusoknak a gyakorlatban jól alkalmazható, gyors módszert nyújtsanak. Véleményük szerint maratási idomból csak abban az esetben lehetséges orientációt meghatározni, ha a maratási idomot $\{100\}$ síkot támadó marószert hozta létre, minden más esetben az orientációfüggés értékelése nehézségekbe ütközik.

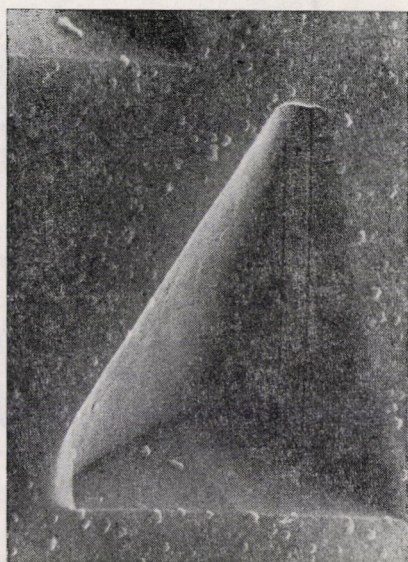
Annak ellenére, hogy metallográfián alapuló orientációmeghatározás lehetősége már régóta foglalkoztatja a kutatókat és az anyagvizsgálat is igényelné ezt a módszert, az eddig javasolt módszerek egyike sem tudott elterjedni a gyakorlatban. Sokkal általánosabb és egyszerűbben kezelhető módszer kidolgozása szükséges.

A feladatot kristálytani oldalról közelítettük meg. A maratási idom és a hozzá tartozó szemcse orientációja közötti kapcsolatot a köbös kristályrendszerre általános érvényű formában foglaltuk össze és a számítógép adta lehetőségeket kihasználva 2° -os pontossággal táblázatban rögzítettük.

2. A maratási idomok általános jellemzése

A maratási idomot létrehozó folyamat lényege az, hogy az oldódás során a kisebb szabadenergiájú felületek oldódási sebessége is kisebb. Ennek eredményeként az oldódás során kis szabadenergiájú, rendszerint sűrű illeszkedésű felületek alakulnak ki, melyek kristálytani jellege a további oldódás során már nem változik. Maratási idom képződésekor a csiszolat síkjának kitüntetett nagyobb szabadenergiájú pontjaiban meginduló oldódás az anyagban olyan „gödröket” hoz létre, melyeket meghatározott Miller-indexű síkok határolnak.

Az irodalomban általában az alacsonyindexű síkok meghatározására adnak megoldásokat. Ez nem jelenti azt, hogy kizárt annak a lehetősége, hogy általános $\{hkl\}$ síkrendszerrel képzett maratási idomok is keletkeznek. A probléma ez esetben úgy jelentkezik és teszi a kiértékelést gyakorlatilag lehetetlenné, hogy amíg az alacsonyindexű síkok rendszere kisszámú, az általános indexűeké nagy. Pontosabban szólva az $\{100\}$ síkokból mindössze három, az $\{111\}$ síkokból négy és az $\{110\}$ síkokból hat párhuzamos síkrendszer van.



1. ábra. a) Alumínium $\{4\ 10\ 15\}$ síkról $\{1\ 0\ 0\}$ síkokat felszabadító maratás után készült pásztázó elektronmikroszkópos felvétel. $N : 4350\times$. A felvételt a Fémipari Kutató Intézetben Stefániai Vilmos készítette

b) Al felületén keletkezett maratási idom jól szemlélteti, hogy a felület alatt bonyolult alakú üregek is képződhetnek, de azokat is mindig a marószernek megfelelő hkl síkok határolják. Készült a Balzers cég kutatólaboratóriumában, Metioskop-on

(Mindaz, amit állítunk, csak a köbös rendszerre igaz minden korlátozás nélkül.) Ezzel szemben már pl. az $\{112\}$ síkrendszerből tizenkettő, a $\{123\}$ síkrendszerből pedig huszonnégy létezik. Ennek megfelelően egy ilyen általános síkrendszer képezte maratási idomnak az alakja nagyon változatos lehet, és elvben semmi akadályja annak, hogy ezeket ugyanúgy kiértékeljük, mint az alacsonyindexűeket, de a vele járó fáradság olyan nagy, hogy ezt a többletmunkát nem érdemes vállalni. Azt azonban hangsúlyozni szeretnénk, hogy sem elvi, sem gyakorlati akadályja nincsen annak, hogy egy általános rendszer esetében ne lehetne elfogadható megoldást találni.

Ezekután nyilvánvaló a maratási idomoknak az az értelmezése, miszerint a maratási idomot alkotó oldalegyenesek az oldalsíkoknak és a csiszolat síkjának a metszésvonalai. Szemléltető módon támasztja ezt alá az 1. ábrán bemutatott, maratási idomról készült scanning elektronmikroszkópos felvétel.

A maratási idomok tanulmányozásához tartozó kérdés, hogy a csiszolat síkjának melyek azok a kitüntetett pontjai, ahol a maratási idomok megjelennek? Oldódási aktív hely lehet minden olyan pont, amelynek környezetében a kémiai potenciál nagyobb az átlagos értéknél vagy fordítva, ahol az oldódást megindító aktiválási energia kisebb, mint a spontán oldódási helyhez tartozó aktiválási energia. Tehát egy reális kristályfelületen mindazok a ráctorzulá-

sok, szennyezők, amelyek a helyi szabadenergia növekedést létrehozzák a maratási idomok kialakulásának kitüntetett aktív helyei lehetnek. Általános érvényűen kijelenthetjük, hogy a felület termodinamikai állapota határozza meg a maratási idomok megjelenésének a helyét.

Orientációmeghatározáshoz elsősorban fontos, hogy tökéletes geometriájú, tehát határozott egyenes vonalakkal határolt, kellően nagy maratási idomokat tudjunk értékelni. Ennek érdekében meg kell találnunk azt a speciális marószert, amelyik kitüntetett módon csak az azonos alacsony Miller-indexű síkokból, tehát vagy csak az $\{100\}$, vagy csak az $\{110\}$, illetve $\{111\}$ síkokból képez felületet. Az alkalmas marószert mellett másik követelmény az anyagállapottól, ötvöző és szennyezőtartalomtól függő maratási körülmény beállítása. A maratási idomokat létrehozó metallográfiai eljárást nevezzük szelektív maratásnak. Szelektív oldószert már igen sok színtémre, sőt ötvözetre is ismerünk az irodalomból. Vizsgálataink során alumínium, réz és wolfram felületeken hoztunk létre orientációmeghatározásra is alkalmas maratási idomokat.

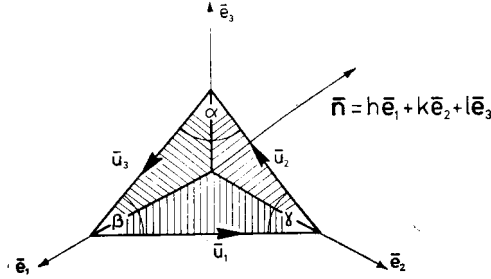
3. A maratási idomok orientációfüggése

Ha a maratási idomokat használjuk fel orientációmeghatározásra, akkor a maratási idomot tartalmazó síkot a szemcséhez kötött tengelyrendszerben definiáljuk. Általános esetben 48 egyenértékű megoldást kaphatunk, ami a köbös kristályrendszerre jellemző három egyenértékű tengely felcseréléséből adódik. Az egyértelműség biztosítására ki kell jelölni a kristálytani tengelyeket, amit kezdetben tetszőlegesen megtehetünk. Munkánkban a tengelyek kijelölésével biztosítottuk, hogy az eredményt mindig abban az egységháromszögben kapjuk, ahol mind a három Miller-index pozitív, és $h > k > l$. Az egységháromszöget megszábozó pólusok pedig: $[001]$ $[011]$ $[111]$.

A maratási idom és a hozzátartozó kristály vagy krisztallit orientációs kapcsolatának feltárásánál a számunkra legmegfelelőbb egységháromszög kijelölése után azt a köbös kristályrendszerre érvényes geometriai kapcsolatot használjuk ki, miszerint az azonos Miller-indexű síkok és irányok merőlegesek egymásra. Mint már szó volt róla, a maratási idom egy-egy oldalegyenese, a szelektív marás során létrejött meghatározott Miller-indexű síknak és a csiszolat síkjának metszészvonala. A vizsgált anyag és a választott maratási technológia összehangolása biztosítja, hogy oldódás során kialakuló „gödör” határoló síkjainak Miller-indexe mint ismert tényező szerepel az orientációs kapcsolat vizsgálatánál. Ezáltal a maratási idom oldalegyenes az ismert marási sík és a keresett sík metszészvonala. Ez érvényes a maratási idom minden oldalegyenesére.

A köbös kristály bármely tetszőleges pontját az

$$\bar{r} = \bar{r}_0 + m\bar{e}_1 + n\bar{e}_2 + p\bar{e}_3$$



2. ábra. Maratási idom orientációfüggésének meghatározását szemléltető vázlat. A példán a csiszolat síkja $\{1\ 0\ 0\}$ síkokat metsz

vektor egyértelműen megszabja, ahol \bar{r}_0 egy rögzített helyvektor, mely pontosan ugyanolyan környezetű pontra mutat, mint a V vektor, ha m , n és p egész számok, e_1 , e_2 , e_3 pedig az elemi cella élével párhuzamos — ebben az esetben egymásra merőleges — egységvektorok. Ezek szerint bármely tetszőleges kristálytani irány a

$$h\bar{e}_1 + k\bar{e}_2 + l\bar{e}_3$$

vektorral megadható. Amint azt korábban említettük, a megadott irány éppen merőleges a $\{h\ k\ l\}$ indexű síkra.

Ezek után a maratási idom oldalait felírhatjuk, mint a metszősíkok normálvektorainak vektoriális szorzatait. A maratási idom egy-egy szöge pedig két ismert vektor hajlásszöge, amit a mikroszkópiai csiszolaton lemérhetünk. A maratási idom értékelésének menetét a 2. ábra alapján mutatjuk be, fel-tételezve, hogy a metszésben részt vevő oldalsíkok $\{100\}$ Miller-indexűek.

A csiszolat $\{h\ k\ l\}$ síkjának normálvektora

$$\bar{n} = h\bar{e}_1 + k\bar{e}_2 + l\bar{e}_3$$

A maratáskor létrejött „gödör” határoló oldalsíkjainak normálvektorai:

$$\bar{s}_1 = \bar{e}_1 + 0\bar{e}_2 + 0\bar{e}_3$$

$$\bar{s}_2 = 0\bar{e}_1 + \bar{e}_2 + 0\bar{e}_3$$

$$\bar{s}_3 = 0\bar{e}_1 + 0\bar{e}_2 + \bar{e}_3$$

A maratási idom oldalvektorai a normálvektorok vektoriális szorzataként kifejezve

$$\bar{r}_1 = \bar{n} \times \bar{s}_1 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} = \{0\ l\ k\}$$

$$\bar{r}_2 = \bar{n} \times \bar{s}_2 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 0 & 1 & 0 \end{vmatrix} = \{l\ 0\ h\}$$

$$\bar{r}_3 = \bar{n} \times \bar{s}_3 = \begin{vmatrix} \bar{e}_1 & \bar{e}_2 & \bar{e}_3 \\ h & k & l \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \{k \ h \ 0\}$$

$\bar{r}_1, \bar{r}_2, \bar{r}_3$ vektorokkal a maratási idom bármelyik szöge felírható, mint a két oldal hajlásszögének koszinusza.

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{-\bar{r}_1 \cdot \bar{r}_2}{|\bar{r}_1| \cdot |\bar{r}_2|} = \frac{hk}{\sqrt{l^2 + k^2} \cdot \sqrt{l^2 + h^2}} \\ \cos \beta &= \frac{-\bar{r}_2 \cdot \bar{r}_3}{|\bar{r}_2| \cdot |\bar{r}_3|} = \frac{lk}{\sqrt{l^2 + h^2} \cdot \sqrt{h^2 + k^2}} \\ \cos \gamma &= \frac{-\bar{r}_3 \cdot \bar{r}_1}{|\bar{r}_3| \cdot |\bar{r}_1|} = \frac{l \cdot h}{\sqrt{k^2 + h^2} \cdot \sqrt{l^2 + k^2}} \end{aligned}$$

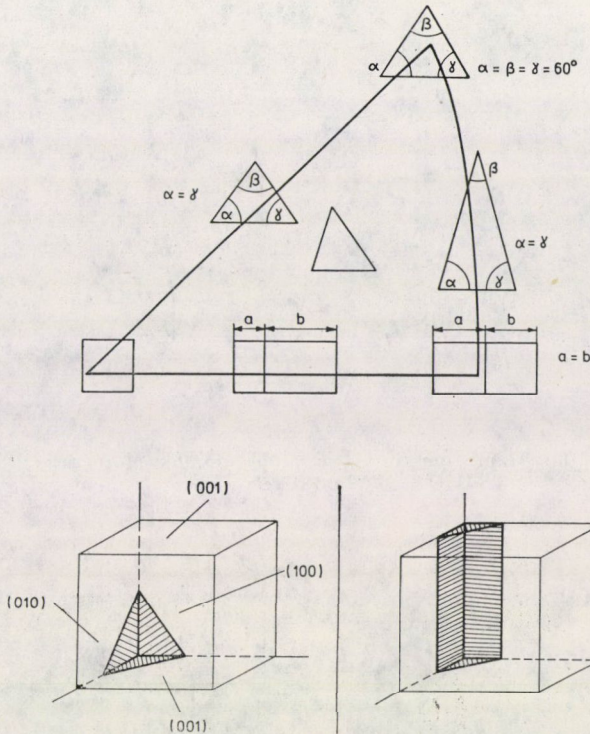
α, β, γ szögeket a metallográfiai csiszolaton lemérve elegendő adat áll rendelkezésünkre ahhoz, hogy a csiszolat síkjának három hkl indexét meghatározzuk.

Ahhoz, hogy a módszert a gyakorlat számára könnyen alkalmazhatóvá tegyük, a maratási idomok orientációfüggésének kiértékelését a számítógépre programoztuk és orientációs táblázatot készítettünk. A sztereografikus pólusábra egységháromszögében 2°-os sűrűséggel felvett merőleges főkörök mentén haladva, a metszéspontokban vettünk fel síkokat és a számítógépes program segítségével meghatároztuk az ezeket a síkokat jellemző maratási idom szögeit.

A maratási idom alapján meghatározott orientáció pontosságát úgy ellenőriztük, hogy az azonos szemcsén talált minden értékelhető — tehát egyenes oldalakkal határolt — idom szögeit lemértük. A vizsgálatot mintegy ötven szemcsénél elvégezve úgy találtuk, hogy a lemért szögek $\pm 1^\circ$ -os szórásával kell számolni. A szögmérésnek ez a hibája nem minden orientációs tartományban érinti egyformán az orientációmeghatározás pontosságát. Ha a maratási idom egy vagy két szöge 90° környezetében van, az 1° mérési hiba $10-15^\circ$ pontatlanságot jelent az orientációmeghatározásban. 90° -tól távolodva a szögmérés hibája egyre kevésbé befolyásolja az orientációmeghatározás pontosságát.

4. Orientációmeghatározás, ha a maratott „gödröt” $\{100\}$ síkok határolják

Elméleti és geometriai megfontolások szerint az $\{100\}$ síkokat felszabadító marószerszám hatására a képződő maratási idomoknak a szemcse orientációjától függően öt alaptípusa lehetséges: négyzet, téglalap, egyenlő oldalú háromszög, egyenlő szárú háromszög és végül általános háromszög. A 3. ábrán feltüntettük az egyes típusok tartományát a sztereografikus egységháromszögben.



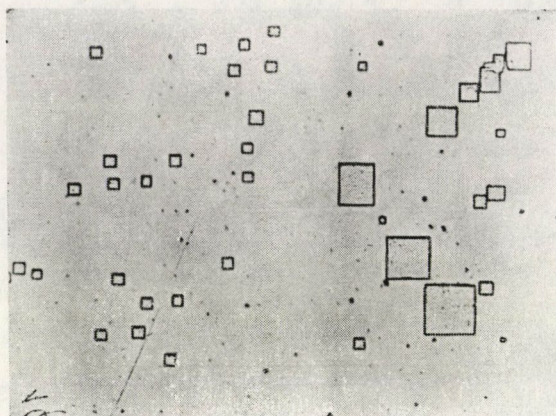
3. ábra. a) $\{100\}$ síkokkal határolt maratási idomoknak a stereografikus egységháromszög egyes tartományaira jellemző típusai; b) $\{100\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat

Az ábra alapján a szemcse durva orientálása egyszerű szemrevételezéssel is elvégezhető. A kvantitatív orientációmeghatározáshoz külön kell választani a négyszög és a háromszög geometriájú idomok értékelését.

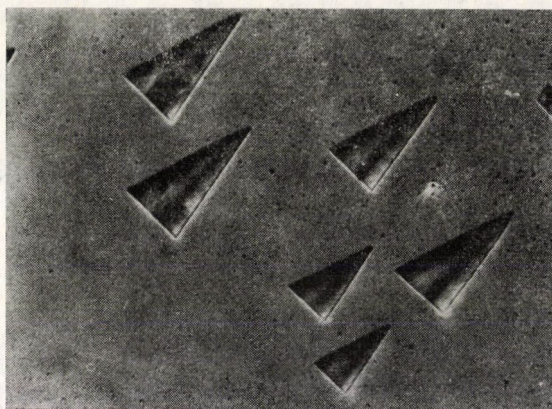
Ha a vizsgált szemcse orientációja olyan, hogy két $[100]$ irány a csiszolat síkjában fekszik, négyszög alakú maratási idomot kapunk, amiben belső osztó él sem figyelhető meg. Ebben az esetben számítás nélkül is megállapítható, hogy a csiszolat síkjának orientációja a szemcséhez kötött tengelyrendszerben $\{001\}$ (4. ábra).

Ha a csiszolat síkja csak egy $[100]$ irányt tartalmaz, a maratási idom téglalap alakú, amit egy belső él — ami két hexaéder oldal metszévonalának vetülete a csiszolat síkjában — kettéoszt. Ebben az esetben ennek az élnek az oldalakhoz viszonyított helyzetéből határozzuk meg az orientációt. A gyakorlat számára táblázat áll rendelkezésre az orientációmeghatározáshoz, de meghatározható az orientáció a megadott egyenletek segítségével is.

Amikor a csiszolat síkja $\{111\}$ orientációjú, a maratási idom egyenlő oldalú háromszög. Számításra ebben az esetben sincsen szükség.



4. ábra. Alumínium $\{100\}$ síkján megfigyelt maratási idomok. Marórszer: $\text{HNO}_3 : \text{HCl} : \text{H}_2\text{O} = 3 : 9 : 3 : 5$. $N : 500\times$



5. ábra. Alumínium $\{4\ 10\ 15\}$ síkján megfigyelt maratási idomok, $N : 500\times$

Általános esetben (5. ábra) a maratási idom alakja háromszög. Ilyenkor az orientációmeghatározást a megadott egyenletekkel vagy a rendelkezésre álló táblázatok segítségével lehet elvégezni. A táblázatból ki kell keresni a csiszolaton mért összetartozó szög-kombinációt és le kell olvasni a hozzá tartozó Miller-indexekkel jellemzett síkorientációt.

A maratási idom technikával meghatározott orientációt összehasonlítottuk Laue röntgendiffrakciós orientációmeghatározással. A maratási idom szögei az alapul választott egység háromszögnek megfelelő sorrendben: 27° , 72° , 81° (5. ábra). Az összehasonlítás eredményét az 1. táblázat tartalmazza.

Meghatározás módjra	h	k	l	l/k	k/h
Táblázatból	4	10	15	1,5	2,5
LAUE	3561	7194	10 000	1,4	2,0

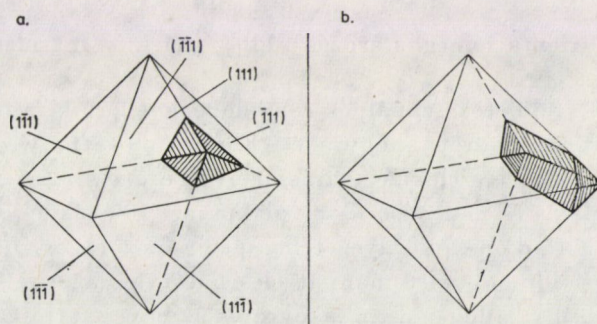
A különböző módon meghatározott orientáció 001—011 irányban 2° és 011—111 irányban $2^\circ 30'$ eltérést mutat, ami mindkét módszer hibalehetőségét figyelembe véve kielégítő.

5. Orientációmeghatározás, ha a maratott „gödrot” $\{111\}$ síkok határolják

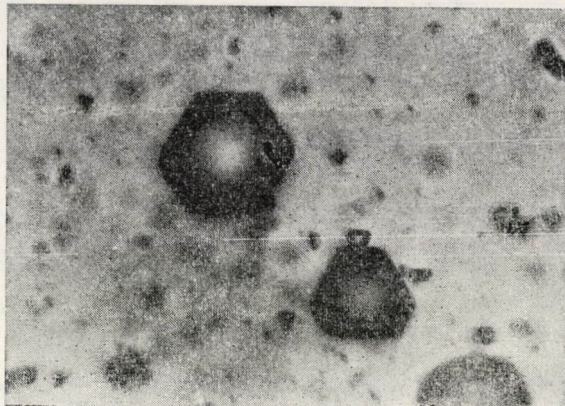
Ebben az esetben a maratási idom az esetek túlnyomó többségében egy szabályos oktaéder olyan térfogata, amit a metallográfiai csiszolat metszett el. Ilyen lehetőségeket mutat a 6. ábra. A maratási idomokat elmetsző felületdarab általános esetben egy szabálytalan négyszög. Különleges helyzetű kristallitok esetében ez szabályossá is válhat. Hatszög alakú a maratási idom-metszet abban az esetben, ha a csiszolat síkja tartalmaz egy $[110]$ irányt. Ha pedig az orientáció éppen 111, akkor a maratási idom rendszerint hatszög, méghozzá szabályos hatszög. Ebben az esetben természetesebb lenne a szabályos háromszög, de a marószerszám negatív felületeket is képez és ennek eredménye a két egymásra szuperponált szabályos háromszögből kialakult hatszög (7. ábra).

A maratási idom oldalélei a csiszolat síkjának az $\{111\}$ $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ és $\{111\}$ síkokkal alkotott metszésvonalai. Az oldaléleket két-két metszősíkhöz tartozó normálvektor vektorszorzataként kifejezve

$$\begin{aligned}\bar{r}_1 &= (k - l)\bar{e}_1 - (h - l)\bar{e}_2 + (h - k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_2 &= (k - l)\bar{e}_1 - (h + l)\bar{e}_2 + (h + k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_3 &= (k + l)\bar{e}_1 - (h + l)\bar{e}_2 + (-h + k)\bar{e}_3 \\ \bar{r}_4 &= (k + l)\bar{e}_1 - (h - l)\bar{e}_2 + (-h - k)\bar{e}_3\end{aligned}$$



6. ábra. $\{111\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat



7. ábra. Réz {111} felületen megfigyelet maratási idomok. Marószer: telített $K_2CrO_7 : H_2SO_4 = 10 : 1$, N: $500\times$

Ha a maratási idom szögeit oldalvektorok segítségével felírjuk, az alábbi egyenletrendszerhez jutunk:

$$\cos \alpha = \frac{-(h^2 - kl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk - hl - kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk + hl - kl}}$$

$$\cos \beta = \frac{-(k^2 + hl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk + hl - kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk + hl + kl}}$$

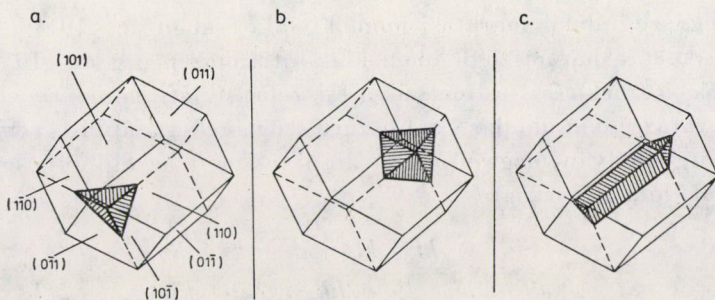
$$\cos \gamma = \frac{-(h^2 + kl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk - hl + kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk + hl + kl}}$$

$$\cos \delta = \frac{-(k^2 - hl)}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2 + hk - hl + kl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + l^2 - hk - hl - kl}}$$

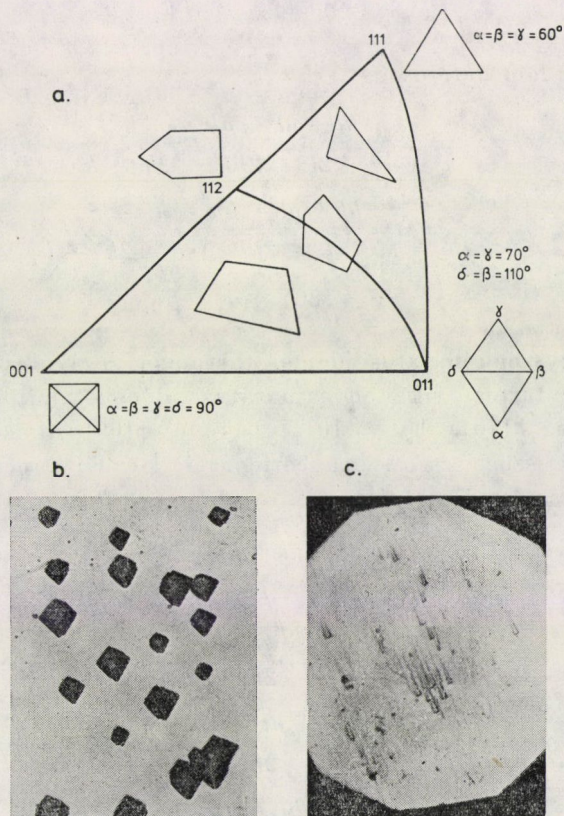
Az egyenletrendszer megoldása alapján orientációs táblázatot készítettünk, amiből a szögkombinációkhoz tartozó sík orientációja leolvasható.

6. Orientációmeghatározás {110} szelektív maratás után

Az {110} felületek szabályos rombdodeakaedert képeznek. Ez az idom alkotja a maratási gödröt, ahogy azt a 8. ábra mutatja. Geometriai megfontolás szerint az {110} szelektív marással nyerhető maratási idomok két alaptípusra oszlanak. A maratási idom alakja az 100 síkon és környezetében négyszög, az 111 síkon és környezetében pedig háromszög. A négy- és háromszögű maratási idomok tartományát éles határvonal, az 111 zóna választja ketté. Az alacsony Miller-indexű síkokra és az egyes tartományokra jellemző maratási idomalakokat a 9. ábrán mutatjuk be.



8. ábra. $\{110\}$ síkokkal határolt maratási idomok kialakulását és típusait szemléltető vázlat



9. ábra. a) $\{110\}$ síkokkal határolt maratási idomoknak a stereografikus egységsháromszög egyes tartományaira jellemző típusai; b) Wolfram $\{1\ 5\ 36\}$ síkján megfigyelt maratási idomok. Marószer: 15% telített $K_3Fe(CN)_6$ + 5% telített NaOH + 80% H_2O , N: 500×
c) Wolfram $\{10\ 15\ 18\}$ síkján megfigyelt maratási idomok, N: 500×

A négyszög alakú maratási idom kialakításában az $\{101\}$ $\{110\}$ $\{110\}$ és $\{101\}$ síkok, a háromszögű idom kialakításához pedig az $\{101\}$ $\{011\}$ és $\{110\}$ síkok vesznek részt és metszik a csiszolat síkját. Ennek figyelembevételével a maratási idom oldalai által bezárt szögekre az alábbi egyenletrendszer írható fel ugyanolyan megfontolások alapján, mint az előbbi esetekben. Ha a maratási idom négyszög:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + kh - k^2 - h^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hk} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl - hl - hk - k^2 - h^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} , \\ \cos \gamma &= \frac{-kl - hl + hk - k^2 - h^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 + 2kl}} . \\ \delta &= 360 - (\alpha + \beta + \gamma)\end{aligned}$$

Ha a maratási idom háromszög:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + hk - h^2 - l^2}{+\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2hk} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl + hl + hk - h^2 - k^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} . \\ \gamma &= 180 - (\alpha + \beta)\end{aligned}$$

A három- és négyszögű maratási idomok tartományát elválasztó határvonalában az III zónához tartozó síkokon a maratási idomok alakja ötszög, aminek kialakításához az $\{110\}$ $\{101\}$ $\{101\}$ $\{011\}$ és $\{100\}$ síkok járulnak hozzá. A maratási idom szögei és a szemcseorientáció közötti kapcsolat leírására az alábbi egyenletrendszer szolgál:

$$\begin{aligned}\cos \alpha &= \frac{kl + hl + kh - h^2 - l^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2kh} \cdot \sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl}} , \\ \cos \beta &= \frac{kl + hl + kh - h^2 - k^2}{\sqrt{2h^2 + k^2 + l^2 - 2kl} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl}} , \\ \cos \gamma &= \frac{-kl + hl - kh - k^2 - l^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 - 2hl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 + 2kh}} , \\ \cos \delta &= \frac{kl - hl - hk - l^2 - k^2}{\sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 + 2hk} \cdot \sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 + 2hl}} , \\ \cos \varepsilon &= \frac{-kl - hl + kh - l^2 - k^2}{\sqrt{h^2 + 2k^2 + l^2 + 2hl} \cdot \sqrt{h^2 + k^2 + 2l^2 - 2kh}} .\end{aligned}$$

Mindhárom egyenletrendszer alapján elkészítettük az orientációs táblázatok, amik lehetővé teszik a gyors orientálást.

Összefoglalás

Módszert ismertettünk, amelynek alkalmazásával metallográfiai úton határozhatunk meg kristályorientációt.

Egy ilyen módszer iránti igényre utal, hogy a megvalósításra már számos javaslat született. A törekvések ellenére mind ez ideig a javasolt eljárások egyikét sem vette át a gyakorlat. Ennek okait elemezve jutottunk arra a következtetésre, hogy a következő alap-problémákat kell megoldanunk:

1. A maratási idomok és krisztallográfiai orientáció kapcsolatát a köbös kristályrendszerbe tartozó minden fémre érvényes formában kell megfogalmazni.

2. Meg kell vizsgálni az értékelésre alkalmas, tökéletes geometriájú maratási idomok létrehozásának lehetőségét.

3. A gyakorlati felhasználás céljára könnyen kezelhető módszert kell adni, ami kiküszöböli, hogy az orientációmeghatározás bonyolult kiértékelő munkával járjon.

A követelmények kielégítésére a maratási idomok keletkezési körülményeit figyelembe vevő matematikai kapcsolatot határoztunk meg az idomok szögei és az idomhoz tartozó szemcse orientációja között. A gyors és egyszerű orientációmeghatározás érdekében könnyen kezelhető orientációs táblázatok állítottunk fel. Véleményünk szerint lehetősége van annak, hogy a javasolt metallográfiai orientációmeghatározási módszer az anyagvizsgálat új segéd-eszközévé váljon.

Szeretnénk kihangsúlyozni, hogy a metallográfiai orientációmeghatározást nem a röntgendiffrakciós orientációmeghatározás pótlására, hanem kiegészítésére javasoljuk. Célszerűen alkalmazhatjuk a metallográfiai orientációmeghatározást pl. olyan esetben, amikor a szemcseméret a röntgendiffrakció számára túl kicsi vagy a szemcse nehezen hozzáférhető. Értékes információt nyerhetünk több szomszédos szemcse egyidejű megfigyelésével, ami más módon nehézkesen vagy egyáltalában nem valósítható meg.

Végül megjegyezzük, hogy a leírt módszer általánosságát mi sem bizonyítja jobban, minthogy ugyanennek a megfontolásnak a segítségével kidolgoztuk valamennyi kristályrendszerre az orientációmeghatározás módját a maratási idomok alapján. A hexagonális rendszerre vonatkozó megoldást már publikáltuk.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők ezúton is szeretnének köszönetet mondani BENKŐ Hannának a metallográfiai munkában nyújtott segítségért. Köszönet illeti STEFÁNIAI Vilmost is, aki a scanning elektronmikroszkópos felvételt rendelkezésünkre bocsátotta, valamint a *Balzars* cég kutató laboratóriumát, ahol az 1.b ábrát készítették részünkre.

IRODALOM

1. TAMMAN, G.—MÜLLER, A.: *Z. Metallkunde* **18** (1926)
2. BARRETT, C.: *Structure of Metals*. New York, Mc. Grow-Hill 1943
3. LAUCOMBE, P.—BEAUJARD, L.: *J. Inst. Met.* **8** (1952—53)
4. HERENGUEL, J.: *Rev. Metall* **45** (1948)
5. LAUCOMBE, P.—BEAUJARD, L.: *J. Inst. Met.* **74** (1948)
6. TUCKER, G. E. G.—MURPHY, P. C.: *J. of the Inst. Met.* **8** (1952)
7. ILLGEN, L. és munkatársai: *Prakt. Met.* (1969), **6**, **7**, **8**

General Metallographical Method for the Determination of the Orientation of Cubic Crystals. — The authors have elaborated a general method for determining the orientation of cubic crystals, taking into account the geometry of the etching patterns. The method is suitable for evaluating the etching shapes limited by the planes {100}, {110} and {111}. The etching shapes limited by planes with higher Miller indices are practically unsuitable for evaluation. The method includes all methods elaborated so far, but due to the generalization it provides more than these, the solution not being subject to special conditions. The basic principle of the method is also suitable to use with other than cubic, arbitrary crystals.

Allgemeines metallographische Methode zur Bestimmung der Orientierung von kubischen Kristallen. — Die Verfasser haben ein allgemeines Verfahren zur Bestimmung der Orientierung von kubischen Kristallen ausgearbeitet, unter Berücksichtigung der Geometrie der Ätzfiguren. Ihr Verfahren eignet sich zur Auswertung der durch die Ebenen {100}, {110} und {111} begrenzten Ätzfiguren. Sie zeigten, daß die durch Ebenen mit höheren Miller-Indizes begrenzten Ätzfiguren für die Auswertung praktisch ungeeignet sind. Die Methode schließt alle bisher ausgearbeiteten Verfahren ein, bietet aber zufolge der Verallgemeinerung mehr, weil die Lösung nicht an die Erfüllung von speziellen Bedingungen geknüpft ist. Der Grundgedanke des ausgearbeiteten Verfahrens ist auch dazu geeignet, dasselbe auf beliebige nicht kubische Kristallsysteme anzuwenden.

KÉTRÉTEGŰ ANYAGOK SZAKASZOS, KONVEKCIÓS SZÁRÍTÁSA

MOLNÁR KÁROLY*

[Beérkezett 1975. április 25-én]

A dolgozat kétrétegű anyagok száradásának mechanizmusát vizsgálja. A vizsgálat célja, egy a száradás sebességét csökkentő száraz makrokapilláris réteg hatásának számbavétele a száradás folyamatában. A felállított matematikai modell numerikus megoldásával a száraz réteg hatása követhető. Megállapítható, hogy egy kezdeti kialakulási időszak után létrejön egy stacioner állapot. A dolgozat meghatározza a kialakuló egyensúlyi állapot jellemzőit, és az azt befolyásoló tényezőket. A számítási módszert számpélda illusztrálja.

Jelölések

a	— hőfokvezetési tényező, m^2/h
a_m	— nedvességvezetési tényező, m^2/h
c	— fajhő, $kcal/kg \text{ } ^\circ C$
D	— diffúziós tényező, m^2/h
j_m	— nedvesség anyagárama, $kg/m^2 \text{ h}$
K	— hőátbocsátási tényező, $kcal/m^2 \text{ h } ^\circ C$
K_G	— anyagátbocsátási tényező, $kg/m^2 \text{ h at}$
K_G^*	— moláris anyagátbocsátási tényező, $kmol/m^2 \text{ h at}$
k	— hővezetési tényező, $kcal/m \text{ h } ^\circ C$
k_G^*	— anyagátadási tényező, $kmol/m^2 \text{ h at}$
k_m	— anyagvezetési tényező, $kg/m \text{ h at}$
L	— vastagság, m
M	— molekulaszám, $kg/kmol$
m	— vízgőz tenziógörbéjének iránytangense, $at/^\circ C$
P	— össznyomás, at
p	— parciális nyomás, at
q	— hőáram-sűrűség, $kcal/m^2 \text{ h}$
R	— univerzális gázállandó, $at \text{ m}^3/kmol \text{ } ^\circ K$
r	— fázisváltási hő, $kcal/kg$
T	— hőmérséklet, $^\circ K$
t	— hőmérséklet, $^\circ C$
u	— nedvességtartalom, kg/kg
z	— hely koordináta, m
α	— hőátadási tényező, $kcal/m^2 \text{ h } ^\circ C$
δ	— hőmérsékletgradiens tényező, $kg/kg \text{ } ^\circ C$
ε	— fázisváltási kritérium
λ	— állandó
ξ	— vastagság, m
ϱ	— sűrűség, kg/m^3
μ_0	— diffúziós ellenállás faktor
τ	— idő, h
Θ	— fázishatárfelület hőmérséklete, $^\circ C$

* Molnár Károly, 1125 Budapest, György A. u. 13.

Indexek

AB	— A komponens B -be történő diffúziójára vonatkozó
áll	— állandósult érték
c	— koncentráció különbség hajtóerőre vonatkozó
e	— egyensúlyi érték
eff	— effektív
F	— gáz és szilárd fázis határfelületére vonatkozó
G	— gázfázis főtömegére vonatkozó
g	— gőzfázisra vonatkozó
H	— hőátadásra vonatkozó
hp	— harmatpontra vonatkozó
i	— hely koordináta
k	— idő koordináta
kr	— kritikus nedvességtartalom
kv	— konvekció
L	— levegőre vonatkozó
m	— anyagra vonatkozó
n, nL	— nedves hőmérő hőmérsékletre vonatkozó
o	— kezdeti érték
\bar{o}	— összes
p	— állandó nyomásra vonatkozó
pWG	— vízgőzre vonatkozó
t	— telítési érték
W	— vízgőzre vonatkozó
I	— I-es száraz rétegre vonatkozó
II	— II-es rétegre vonatkozó
\prime	— ekvimoláris szembediffúzióra vonatkozó
ξ	— a száraz és a nedves szilárd fázis határfelületére vonatkozó

I. Bevezetés

Az iparban előforduló szárítási feladatok egy speciális fajtája az ún. két-rétegű anyagok szárítása. Ilyen esetekben a szárítandó anyag felszíne nem érintkezik közvetlenül a szárítólevegővel, hanem egy közbülső, a szárítandó anyag és a szárítólevegő között elhelyezkedő réteg felszínével. Sok esetben mindkét réteg tartalmaz nedvességet, és a szárítás folyamán mindkettőből el kell azt távolítani. Ilyen feladat pl. a répamag-drazsés szárítása, amikor is a répamagot egy földburokkal veszik körül, és ezt a *drazsét* kell egy olyan nedvességtartalomra kiszárítani, amelynél a legkedvezőbbek a tárolási és csírázási tulajdonságok. Makroporozus ágyak szárításakor, amikor a száradó front az anyagba húzódik, szintén létrejön a szárítás folyamán ez a kettős réteg. Ilyen esetekben csak a szárítólevegővel közvetlenül nem érintkező szilárd réteg tartalmaz nedvességet. Ilyen kettős réteget létrehozhatunk abból a célból is, hogy adott szárítólevegő állapotjelzők mellett egy szárítandó anyag maximálisan megengedhető száradási sebességét egy felső száraz réteg alkalmazásával biztosítsuk, és így kíméletes szárítási viszonyokat hozunk létre.

Durva és finom szemcseméretű homokból képezett kétrétegű ágy szárítását vizsgálva LIKOV [1] megállapította, hogy ha a durva homok érintkezett a szárítólevegővel, akkor kezdetben csak a durva réteg száradt, és a finom

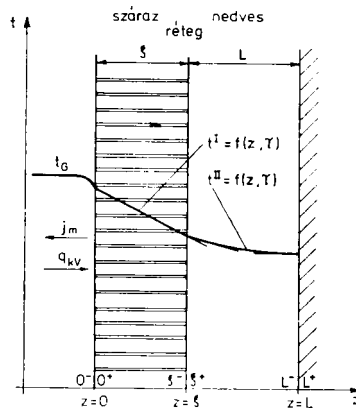
szemcseméretű réteg száradása gyakorlatilag csak a felső durva réteg száradásának befejezése után indul meg.

Ez azzal magyarázható, hogy ha a goromba homok kapilláris potenciálja lényegesen kisebb, mint a finom homoké, ezért a nedvesség nem vándorol az alsó rétegből a felsőbe. Fordított esetben a finom homokréteg állandó önfel szívással biztosítja a nedvesség utánpótlást és így nem jön létre egy száraz réteg, amely a száradás szempontjából diffúziós gátat jelent a gőz eltávolításának.

A dolgozatban olyan esettel foglalkozunk, amikor a szárítandó anyag és a szárítólevegő között egy száraz makrokapilláris réteg helyezkedik el, amelynek kapilláris potenciálja lényegesen kisebb, mint a szárítandó nedves anyagé. A nedvesség elpárolgása a két réteg határfelületén történik, az elpárolgott gőz a felső száraz réteg makrokapillárisain keresztül diffúzióval jut a szárítólevegőbe. A dolgozatban a szárítás kialakulási és ún. állandó sebességű szakaszával foglalkozunk.

2. Matematikai modell

Vizsgáljuk egy L vastagságú, végtelen felületű, alul tökéletesen szigetelt síklap száradását, ha azt egy ξ vastagságú makroporozus száraz réteg választja el a szárítólevegőtől. A szárítógáz főtömegének állapotjelzői, a t_G hőmérséklet, P össznyomás, a nedvesség pw_G parciális nyomása, és a gáz w_G áramlási sebessége állandó. A nedves anyag és a felső réteg kezdetben mindennél t_0 hőmérsékletű. A vizsgált modell az 1. ábrán látható.



1. ábra. Kétrétegű modell száradási mechanizmusa

A nedves anyagon belül az anyag hőmérsékletváltozását és nedvességtartalom változását leíró differenciálegyenlet-rendszer [2]:

$$\frac{\partial t_{II}}{\partial \tau} = a_{II} \frac{\partial^2 t_{II}}{\partial z^2} + \varepsilon \frac{r}{c_h} \frac{\partial u}{\partial \tau},$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + a_m \delta \frac{\partial^2 t_{II}}{\partial z^2}.$$

Amennyiben a nedves anyagon belül csak folyadékfázisú diffúziót tételezünk fel, úgy a fázisváltózási kritérium értéke zérus [10], azaz

$$\varepsilon = \frac{\dot{j}_{mg}}{\dot{j}_m} = 0.$$

Továbbá feltételezve, hogy a szorpciós izoterma és a kapilláris potenciál a vizsgált tartományban nem hőmérséklet függő [10], így az $a_m \delta = 0$, így a differenciálegyenlet-rendszer a következő lesz:

$$\frac{\partial t_{II}}{\partial \tau} = a_{II} \frac{\partial^2 t_{II}}{\partial z^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}. \quad (2)$$

2.1. Az egyértelműségi egyenletek

A kezdeti feltétel:

$$t_{II}(z, 0) = t_0 = \text{áll}, \quad (3)$$

$$u(z, 0) = u_0 = \text{áll}. \quad (4)$$

A nedves anyag alja tökéletesen szigetelt, ezért ott a hő- és anyagáram sebessége zérus, ezért a peremfeltétel

$z = L$ helyén:

$$\left. \frac{\partial t_{II}}{\partial z} \right|_{z=L^-} = 0, \quad (5)$$

és

$$\left. \frac{\partial u}{\partial z} \right|_{z=L^-} = 0. \quad (6)$$

A két réteg határfelületén, a $z = \xi$ helyen történik a párolgás, ezért a határfelület egységére időegység alatt belépő hőmennyiség egy része a nedvesség elpárologtatásához szükséges, további része a nedves anyag entalpiáját növeli.

Tehát a $z = \xi$ helyen:

$$k_1 \frac{\partial t_1}{\partial z} \Big|_{z=\xi^-} = k_{11} \frac{\partial t_{11}}{\partial z} \Big|_{z=\xi^+} - j_m r \quad (7)$$

és

$$k_m \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=\xi^+} = j_m. \quad (8)$$

Az I jelű száraz réteg elemi entalpiamérlegében figyelembe kell venni a két szilárdfázis határfelületén elpárolgó nedvesség entalpiájának megváltozását is, így az I szilárdfázisban

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} + \frac{c_{pwG}}{c_1 \rho_1} \frac{\partial t_1}{\partial z} j_m. \quad (9)$$

A (9) differenciálegyenlet egyértelműségi feltételei:

Kezdeti feltétel:

$$t_1(z, 0) = t_0 = \text{áll.} \quad (10)$$

A száraz réteg felszíne a szárítólevegővel érintkezik, így a határfeltétel $z = 0$ helyen:

$$\alpha_G(t_G - t_F) = -k_1 \frac{\partial t_1}{\partial z} \Big|_{z=0^+}. \quad (11)$$

A száraz és a nedves réteg határfelületén a (7) egyenlettel már megadtuk a határfeltételt.

2.2. A száradási sebesség

Száradási sebességen a száradó anyag egységnyi felületéről időegység alatt elpárolgó nedvesség tömegét értjük. A száradási sebesség a szárítólevegő állapotjelzőivel képezett hajtóerővel kifejezve:

$$j_m = k_G M_w (p_{wF} - p_{wG}). \quad (12)$$

A (12) egyenletben a p_{wF} jelenti a szárítólevegővel érintkező szilárd réteg felszínének hőmérsékletéhez tartozó egyensúlyi vízgőz parciális nyomását. Miután a felszín hőmérséklete a szárítás folyamán változik, így a szárítási sebesség is.

A (12) egyenlettel definiált vízgőz tömeg a száraz réteg kapillárisain keresztül diffúzióval jut a felszínre.

Amennyiben a molekulák szabad úthossza a makrokapilláris jellemző méreténél kisebb, akkor jelentős szerepe van a molekulák egymáshoz való ütközésének. Ebben az esetben a diffúzió az ún. molekuláris diffúzió lesz.

Kapillár-pórusos anyagokban létrejövő molekuláris diffúzió esetén a diffúzió úthossza és az áramlási keresztmetszet változik. Ezért ilyen esetekre KRISCHER [3, 4] egy effektív diffúziós tényező bevezetését javasolta,

$$D_e = \frac{D_{AB}}{\mu_D}, \quad (13)$$

ahol D_{AB} a vízgőz diffúziós tényezője levegőben szabad állapotban, és μ_D az ún. diffúziós ellenállás faktor. Hasonló módon az effektív diffúziós tényező alkalmazását javasolja számos szerző [5, 6, 7, 8].

A diffúziós anyagáram az effektív diffúziós tényező alkalmazásával

$$j_m = \frac{D_e}{RT} M_w \frac{dp_w}{dz},$$

illetve az integrált alak:

$$j_m = \frac{D_e}{RT} \frac{M_w}{\xi} (p_{w\xi} - p_{wF}). \quad (14)$$

A (12) és (14) egyenletek alapján a száradás sebessége:

$$j_m = \frac{1}{\frac{1}{k_G M_w} + \xi \frac{RT}{D_e M_w}} (p_{w\xi} - p_{wG}). \quad (15)$$

Bevezetve a következő jelölést

$$K_G = \frac{1}{\frac{1}{k_G M_w} + \xi \frac{RT}{D_e M_w}}, \quad (16)$$

a száradási sebesség

$$j_m = K_G (p_{w\xi} - p_{wG}).$$

A száradás folyamán tekintsük az egyensúlyi (tenzió-) görbét egy m iránytangensű egyenesnek, akkor

$$p_{w\xi} - p_{wG} = m(t_\xi - t_{hp}). \quad (17)$$

A (15), (16) és (17) alkalmazásával a szárítás folyamatát leíró kapcsolt, parciális differenciálegyenlet-rendszer a következő lesz:

a) az I. rész

$$\frac{\partial t_1}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1}{\partial z^2} + \frac{c_{pwG}}{c_1 \rho_1} m K_G (t_\xi - t_{hp}) \frac{\partial t_1}{\partial z}. \quad (9.a)$$

b) a II. rész

$$\frac{\partial t_{II}}{\partial \tau} = a_{II} \frac{\partial^2 t_{II}}{\partial z^2}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}. \quad (2)$$

c) az egyértelműségi feltételek kezdeti feltétel

$$\begin{aligned} t_I(z, 0) &= t_0, \\ t_{II}(z, 0) &= t_0, \\ u(z, 0) &= u_0, \end{aligned} \quad (3)$$

határfeltételek

$z = 0$ helyen (11) alapján

$$\frac{\partial t_I}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = -\frac{\alpha_G}{k_I} (t_G - t_F), \quad (11.a)$$

$z = \xi$ helyen (7) egyenlet alapján

$$\frac{\partial t_I}{\partial z} \Big|_{z=\xi^-} = \frac{k_{II}}{k_I} \frac{\partial t_{II}}{\partial z} \Big|_{z=\xi^+} - \frac{mK_G r}{k_I} (t_\xi - t_{hp}). \quad (7.a)$$

A (8) egyenlet a behelyettesítésekkel

$$\frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=\xi^+} = \frac{K_G m}{k_m} (t_\xi - t_{hp}), \quad (8.a)$$

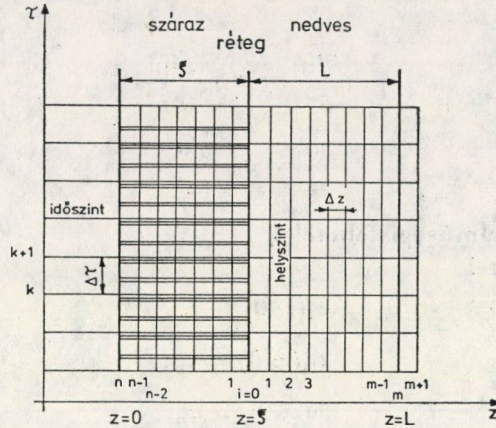
$z = L$ helyen

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_{II}}{\partial z} \Big|_{z=L^-} &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial z} \Big|_{z=L^-} &= 0. \end{aligned}$$

3. Numerikus megoldás

A (9a), (1) és (2) differenciálegyenlet-rendszert a (3), (4), (10), (11a), (7a), (8a), (5) és (6) egyértelműségi feltételekkel numerikusan oldjuk meg a véges differenciák módszerét alkalmazva. A megoldás során az explicit sémát választjuk, amikor is a határfelületekből kiindulva a numerikus megoldást lépésről lépésre állítjuk elő.

A numerikus megoldáshoz alkalmazott rács a 2. ábrán látható. A vízszintes tengely megfelel a hely, a függőleges pedig az idő koordinátának.



2. ábra. A numerikus megoldáshoz alkalmazott rács

Az (1) differenciálegyenletet differenciaegyenletté alakítva a

$$\frac{t_{i,k+1}^{\text{II}} - t_{i,k}^{\text{II}}}{\Delta\tau} = a_{\text{II}} \frac{t_{i-1,k}^{\text{II}} - 2t_{i,k}^{\text{II}} + t_{i+1,k}^{\text{II}}}{(\Delta z)^2},$$

összefüggést kapjuk. Bevezetve a

$$\lambda_{\text{II}} = \frac{\Delta\tau}{(\Delta z)^2} a_{\text{II}},$$

jelölést, az $i = 1, 2, \dots, m - 1$ helyen a keresett hőmérséklet a $k + 1$ időpillanatban:

$$t_{i,k+1}^{\text{II}} = \lambda_{\text{II}} t_{i-1,k}^{\text{II}} + (1 - 2\lambda_{\text{II}}) t_{i,k}^{\text{II}} + \lambda_{\text{II}} t_{i+1,k}^{\text{II}}. \quad (18)$$

Az $i = m$ helyen az (5) egyenlet értelmében

$$t_{m-1,k}^{\text{II}} = t_{m+1,k}^{\text{II}}$$

illetve

$$t_{m,k+1}^{\text{II}} = (1 - 2\lambda_{\text{II}}) t_{m,k}^{\text{II}} + 2\lambda_{\text{II}} t_{m-1,k}^{\text{II}}, \quad (19)$$

Hasonlóan kapjuk a nedves anyag koncentrációit a vizsgált pontokban a (2) egyenlet alapján:

$i = 1, 2, \dots, m - 1$ helyeken

$$u_{i,k+1} = \lambda_m u_{i-1,k} + (1 - 2\lambda_m) u_{i,k} + 2u_{i+1,k}, \quad (20)$$

és az $i = m$ helyen

$$u_{m,k+1} = (1 - 2\lambda_m) u_{m,k} + 2\lambda_m u_{m-1,k}, \quad (21)$$

ahol

$$\lambda_m = a_m \frac{\Delta\tau}{(\Delta z)^2}.$$

A (8) egyenlet alapján

$$u_{0,k+1} = u_{1,k+1} - \frac{K_G m \Delta z}{k_m} (\Theta_{k+1} - t_{hp}), \quad (22)$$

ahol Θ a két szilárd réteg határfelületének hőmérséklete a vizsgált időpontban,

$$t_{\xi,k+1} = \Theta_{k+1}.$$

A (9a) differenciálegyenletet differenciaegyenletté alakítva, a száraz réteg hőmérsékletét számíthatjuk:

az $i = n-1, n-2, \dots, 1$ helyeken

$$\begin{aligned} t_{i,k+1}^I = & (1 - 2\lambda_1)t_{i,k}^I + t_{i+1,k}^I \left[\lambda_1 - C_1 \frac{\Delta\tau}{2\Delta z} (\Theta_k - t_{hp}) \right] + \\ & + t_{i-1,k}^I \left[\lambda_1 + C_1 \frac{\Delta\tau}{2\Delta z} (\Theta_k - t_{hp}) \right], \end{aligned} \quad (23)$$

ahol

$$\lambda_1 = \frac{\Delta\tau}{(\Delta z)^2} a_1,$$

és

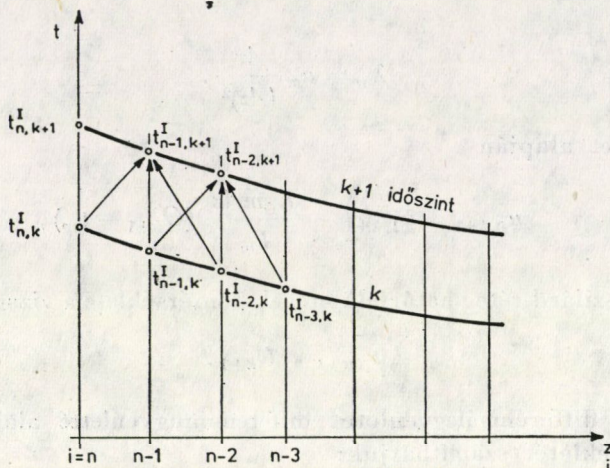
$$C_1 = - \frac{c_{pWG} m K_G}{c_1 \rho_1}.$$

A szárítólevegővel érintkező száraz réteg felszíni hőmérséklete ($i = n$ hely) a (11a) egyenlet alapján számítható. Amennyiben feltételezzük, hogy a száraz réteg hőmérsékleteloszlása a hely szerint, másodfokú görbével leírható, a 3. ábrán látható módon, akkor a hőmérsékletgradiens:

$$\frac{\partial t}{\partial z} \Big|_{z=0}^{i=n} = \frac{-3t_{m,k+1} + 4t_{m-1,k+1} - t_{m-2,k+1}}{2\Delta z}$$

Fentiek alapján a felszíni hőmérséklet (hőmérséklet $i = n$ helyen):

$$t_{n,k+1}^I = \frac{4t_{n-1,k+1}^I - t_{n-2,k+1}^I + \frac{2\Delta z}{k_1} \alpha_G t_G}{3 + \frac{2\Delta z}{k_1} \alpha_G}. \quad (24)$$



3. ábra. A feltételezett hőmérsékleteloszlás

A két szilárd fázis határhőmérséklete a (7a) peremfeltétellel definiált. Két különböző réteg határfelületére a véges differenciák módszerét alkalmazva [9], figyelembe véve a (7a) egyenletet, a határfelület hőmérséklete:

$$\Theta_{k+1} = \Theta_k + (t_{1,k}^I - \Theta_k) B \frac{2\lambda_I}{2\lambda_I - C_1(\Theta_k - t_{hp})\Delta z} - (\Theta_k - t_{1,k}^{II}) B \frac{k_{II}}{k_I} - (\Theta_k - t_{hp}) B \frac{rC_1\Delta z}{a_1c_{pwG}}, \quad (25)$$

ahol

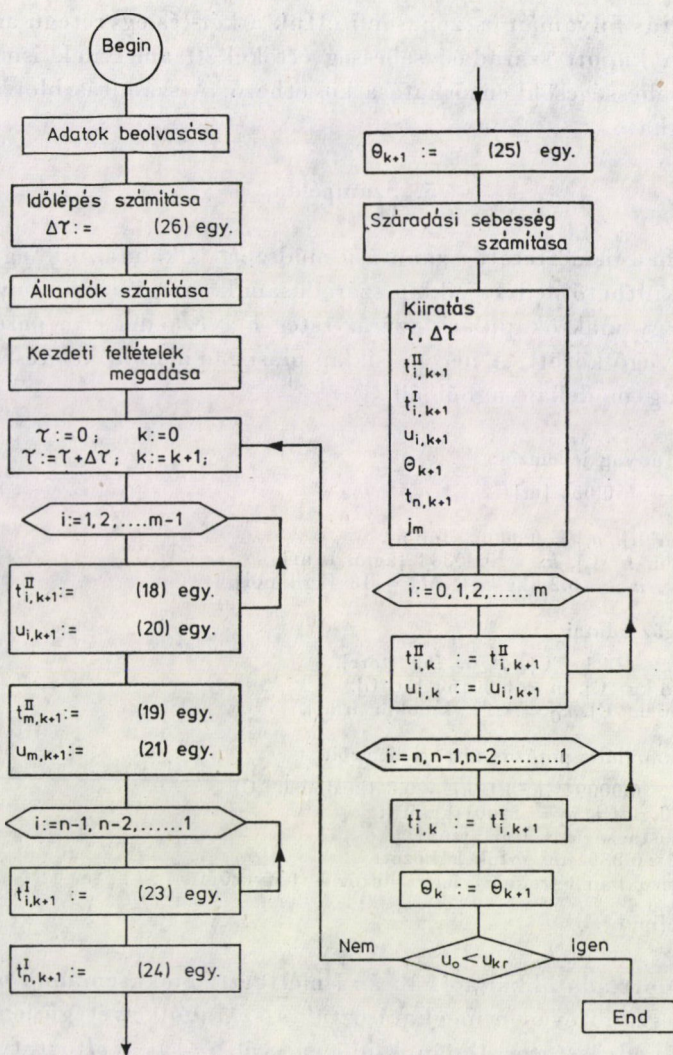
$$B = \frac{1}{\frac{1}{2\lambda_I - C_1(\Theta_k - t_{hp})\Delta z} + \frac{k_{II}}{k_I 2\lambda_{II}}}$$

A numerikus számításban a hely és időlépés nagyságát a konvergencia kritériumnak megfelelően kell megválasztani. Tetszőlegesen megválasztott Δz helylépés esetén az időlépés nagyságának ki kell elégíteni az alábbi feltételt [2]:

$$\Delta\tau \leq \min [\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_m]. \quad (26)$$

4. A számítás blokkdiagramja

A numerikus számítás során egyidejűleg számítottuk a száradó nedves anyag hőmérsékleteloszlását, száradási sebességét abban az esetben is, ha ugyanazon szárítólevegővel száraz, gátló réteg nélkül történt volna a szárítás.



4. ábra. A számítás blokkdiagramja

Erre az esetre a számítási összefüggések [2] alapján ismertek. A megoldás során feltételeztük, hogy a száradó anyag nedvességtartalma a szárítás folyamán nem éri el az anyag kritikus nedvességtartalmát és így

$$\varphi = 1$$

és

$$P_{wF} = P_{wt} \text{ (telítési érték).}$$

A számítás folyamán összehasonlítottuk a két- és egyrétegű anyag szárítása folyamán kapott száradási sebesség értékeket, amelynek ismeretében a száraz réteg sebességsökkentő hatása követhető. A számítás blokkdiagramja a 4. ábrán látható.

5. Számpélda

Fentiekben ismertetett számítási módszert alkalmazzuk egy végtelen hosszúnak tekinthető nedves síklap száradásának vizsgálatához olyan esetekben, amikor egy makrokapilláris száraz réteg helyezkedik el a párolgó felszín és a szárító levegő között. A nedves síklap másik felülete tökéletesen szigetelt, mindkét anyag modellanyagból áll.

A nedves anyag jellemzői:

$$L = \text{vastagság} = 0,036 \text{ [m]},$$

$$t_0^0 = 18 \text{ [}^\circ\text{C]},$$

$$a_{11} = 0,00152 \text{ [m}^2\text{/h]}, a_m = 0,00002 \text{ [m}^2\text{/h]},$$

$$k_{11} = 1,75 \text{ [kcal/m h }^\circ\text{C]}, k_m = 0,00333 \text{ [kg/m h at]},$$

$$u_0 = 0,5 \text{ [kg/kg]}, u_{kr} = 0,2 \text{ [kg/kg]}, M_w = 18 \text{ [kg/kmol]},$$

A szárítógáz adatai:

$$t_G = 45 \text{ [}^\circ\text{C]}, t_{hp} = 14,1 \text{ [}^\circ\text{C]}, P_\delta = 760 \text{ [torr]},$$

$$c_{pwG} = 0,46 \text{ [kcal/kg }^\circ\text{C]}, m = 0,00158 \text{ [at/}^\circ\text{C]},$$

$$\alpha_G = 9,0 \text{ [kcal/m}^2 \text{ h }^\circ\text{C]}, k_G = 1,12 \text{ [kmol/m}^2 \text{ h at]},$$

A makrokapilláris porózus réteg jellemzői:

$$t_0^0 = 18 \text{ [}^\circ\text{C]}, a_1 = 0,00094 \text{ [m}^2\text{/h]}, k_1 = 0,8 \text{ [kcal/m h }^\circ\text{C]},$$

$$c_1 = 0,355 \text{ [kcal/kg }^\circ\text{C]}, \rho_1 = 2400 \text{ [kg/m}^3\text{]}.$$

A száraz réteg vastagságát változtattuk

$$\xi = 0,012 - 0,036 \text{ [m]} \text{ értékek között.}$$

A makrokapillárisokban létrejövő vízgőz diffúziós tényezője

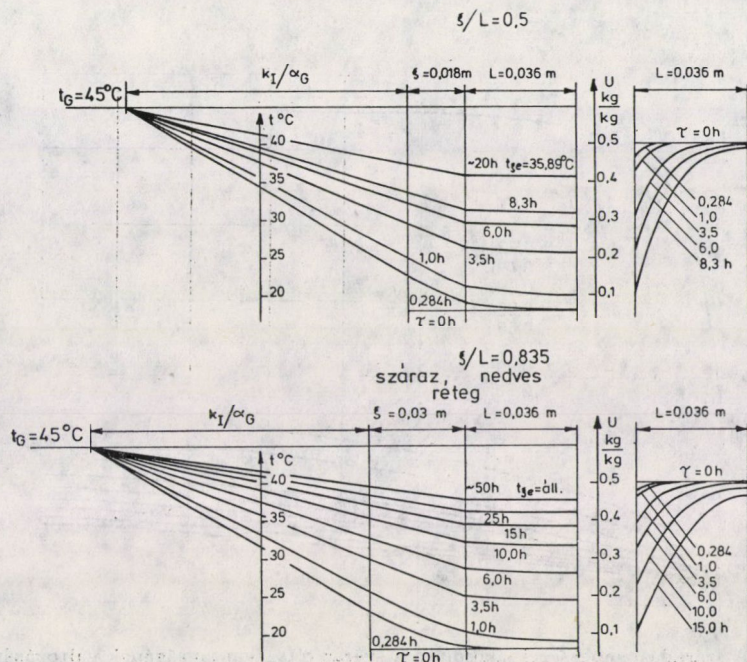
$$D_e = 0,1 \text{ [m}^2\text{/h]}.$$

A megadott adatokkal a 4. ábrán ismertetett blokk-sémának megfelelően numerikusan, számítógépen meghatároztuk a száradó kétrétegű lemez hőmérsékletének és nedvességtartalmának időbeni változását. Változtatva a száraz réteg vastagságát, különben változatlan szárítási feltételek mellett, vizsgáltuk a réteg vastagságának hatását a száradó anyag száradási sebessége szempontjából.

6. Következtetések

Az 5. ábrán két különböző ξ/L (száraz réteg vastagsága/száradó nedves anyag vastagsága) érték esetében a különböző időpillanatokhoz tartozó hőmérséklet és nedvességtartalom eloszlások láthatók.

Az ábrából kitűnik, hogy egy kezdeti kialakulási idő után a száraz réteg hőmérsékletváltozása lineáris, a nedves anyagon belül az eloszlás parabolis-

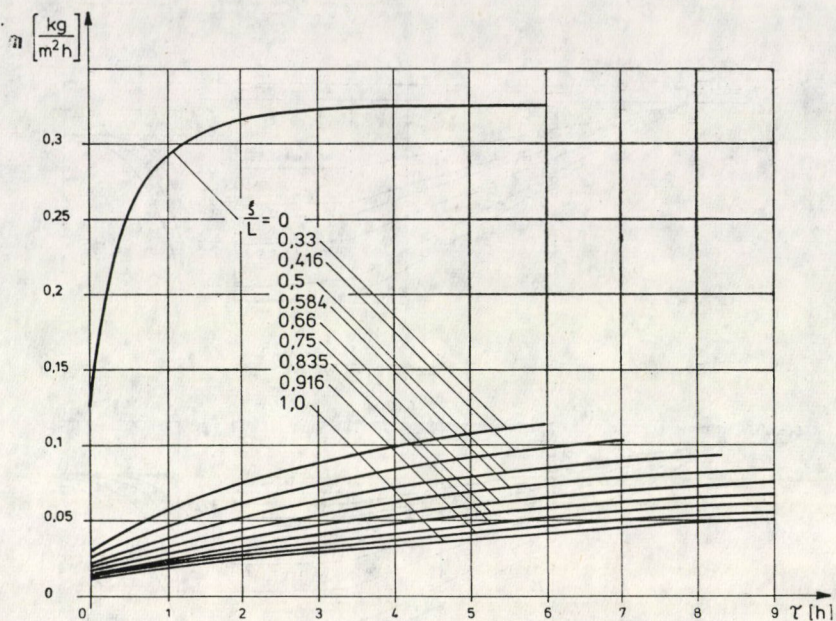


5. ábra. Kétrétegű anyagok hőmérsékletének alakulása a száradás folyamán

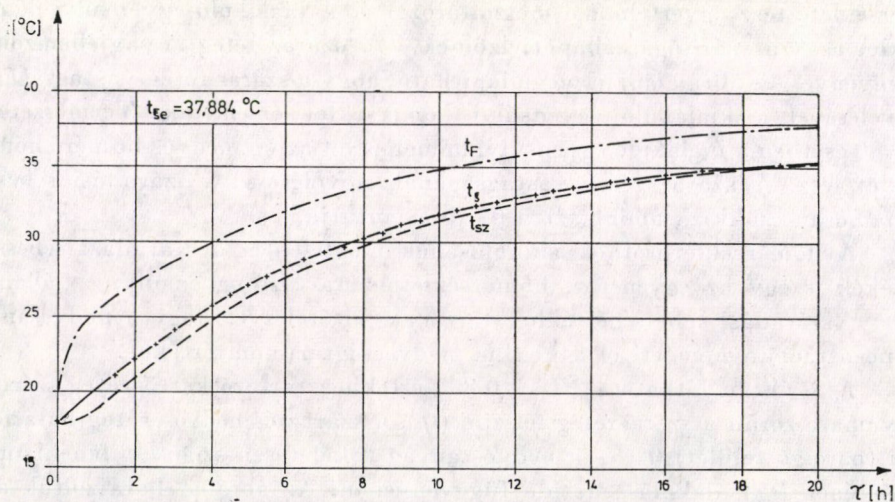
kus [10]. Mindkét esetben a szárítási idő növelésével a kettős réteg hőmérsékleteloszlása egy állandósult állapothoz tart, amely állandósult hőmérsékleteloszlás a nedves száradó anyagon belül egy állandó hőmérsékletet jelent (egyensúlyi hőmérséklet), a száradó rétegben pedig kialakul egy állandósult hőmérsékletgradiens, amelyet a póluspont és a száradó anyag egyensúlyi hőmérséklete tesz egyértelműen meghatározottá. A kialakuló egyensúlyi hőmérséklet csak a szárítógáz állapotjelzőinek és a száraz réteg anyagjellemzőinek függvénye. Az ábra alapján megállapítható, hogy a száraz réteg vastagságának növelésével a kialakuló egyensúlyi hőmérséklet emelkedik. Természetesen $\xi = 0$ esetben a kialakuló egyensúlyi hőmérséklet az ún. nedves hőmérő hőmérséklet lesz. A száraz réteg vastagságának növelésével a száradási sebesség rohamosan csökken, amint azt a 6. ábra mutatja.

A hőmérsékletprofilok alakulásának megfelelően a száradási sebességértékek is egy az egyensúlyi hőmérsékletéhez tartozó egyensúlyi — állandósult — száradási sebességértékhez tartanak feltételezve, hogy a nedvesanyag koncentrációja nem éri el a kritikus nedvességtartalom értékét.

A 7. ábrán látható a $\xi/L = 0,835$ értékhez tartozó kettősréteg szárítási folyamata során a szárazréteg felszíni (t_F), a száraz és nedves réteg határfelületi (párolgó felület) (t_ξ) és a nedves anyag tökéletesen szigetelt fenékhőmérsékletének (t_{sz}) alakulása az idő függvényében. Az ábrába berajzoltuk a $t_{\xi e}$ egyensúlyi határreteg hőmérséklet értékét is, az 5. ábra alapján.



6. ábra. A száradási sebességek alakulása a száraz réteg vastagságának változásával



7. ábra. A száradó modell jellemző hőmérsékleteinek alakulása a száradás folyamán

7. A kialakuló állandósult állapot jellemző paraméterei

A szárítási folyamat során kialakuló egyensúlyi állapot esetén a száradó anyag hőmérséklete, a száraz rétegben pedig a hőmérsékletváltozás állandó. Ekkor

$$-k_1 \frac{\partial t^I}{\partial z} \Big|_{z=0^+} = \text{áll} = -k_1 \frac{t_{\xi e} - t_F}{\xi},$$

és

$$\frac{\partial t^{II}}{\partial z} \Big|_{z=L^-} = 0.$$

A (7) határfeltétellel meghatározott belépő hőáram:

$$q_{kv} = \alpha_G(t_G - t_F) = -k_1 \frac{t_{\xi e} - t_F}{\xi},$$

Innen a belépő állandósult hőáram:

$$q_{kv} = K_H(t_G - t_{\xi e}) = j_{me}r = K_G^* M_w r (p_{w\xi e} - p_{wG}), \quad (27)$$

ahol

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_G} + \frac{\xi}{k_1}}. \quad (28)$$

A (27) egyenletből látható, hogy

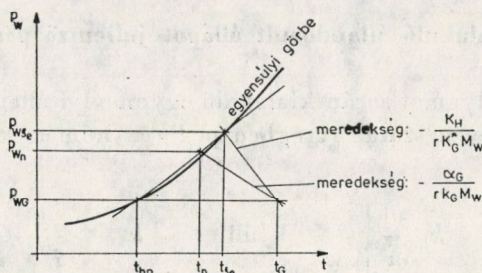
$$\frac{p_{w\xi e} - p_{wG}}{t_{\xi e} - t_G} = - \frac{K_H}{r K_G^* M_w} \quad (29)$$

az egyensúlyi határhőmérsékletet egyértelműen meghatározza a t_G , p_{wG} ponton átmenő ($-K_H/rK_G^*M_w$) iránytangensű egyenes és az egyensúlyi görbe metszéspontja (8. ábra). Az egyensúlyi hőmérséklet értéke adott párolgó közeg esetén a szárítógáz hőfokán, nedvességtartalmán, a hő- és anyagátadási tényezőkön kívül jelentősen függ a száraz réteg vastagságától, ill. annak anyagjellemzőitől is.

Abban az esetben, ha a száraz réteg vastagsága zérus, $\xi = 0$, (27) alapján kapjuk, ha a kialakuló állandósult értékeket t_n és p_{wn} -el jelöljük:

$$\frac{p_{wn} - p_{wG}}{t_n - t_G} = - \frac{\alpha_G}{rk_G M_w}.$$

Az állandósult hőmérséklet ekkor az ún. nedves hőmérő hőmérséklet lesz, amely értéket fentiekhez hasonló módon határozhatunk meg, ha a szárító-



8. ábra. Az egyensúlyi határhőmérséklet meghatározása víz tenziógörbéjén

gázt meghatározó t_G , p_{wG} ponton átmenő $(-\alpha_G/rk_G M_w)$ iránytangensű egyenes és az egyensúlyi görbe metszéspontját megkeressük (8. ábra).

A (29) egyenletet átrendezve azt kapjuk, hogy

$$\frac{P_{w\xi e} - P_{wG}}{t_G - t_{\xi e}} = \frac{\alpha_G}{rk_G M_w} T,$$

ahol

$$T = \frac{1 + \xi \frac{k_G RT}{D_e}}{1 + \xi \frac{\alpha_G}{k_1}}.$$

Amennyiben $T > 1$, az egyensúlyi $t_{\xi e}$ hőmérséklet nagyobb, mint a nedves hőmérő hőmérséklet. Ez akkor lehetséges, ha

$$\frac{\xi k_G RT}{D_e} > \frac{\xi \alpha_G}{k_1}.$$

Miután $k_G RT \approx k'_c$ [11], átrendezve kapjuk:

$$\frac{k_1}{D_e} > \frac{\alpha_G}{k'_c} = c_{pL} \varrho_L L e^z \approx c_{pL} \varrho_L L. \quad (30)$$

A (30) egyenlőtlenség a legtöbb gyakorlati esetben igaz és így a kialakuló egyensúlyi hőmérséklet $t_{\xi e} > t_{nL}$.

A 8. ábra alapján, ha az egyensúlyi görbét a vizsgált intervallumban m iránytangensű egyenesnek tekintjük, akkor

$$P_{w\xi e} - P_{wG} = m(t_{\xi e} - t_{hp}),$$

(29) egyenletbe helyettesítve és rendezve az egyensúlyi hőmérséklet

$$t_{\xi e} = \frac{t_{hp} + t_G \frac{K_H}{rm K_G^* M_w}}{1 + \frac{K_H}{rm K_G^* M_w}}. \quad (31)$$

Ugyanakkor $\xi = 0$ esetben a nedves hőmérő hőmérséklet:

$$t_{nL} = \frac{t_{hp} + t_G \frac{\alpha_G}{rmk_G M_w}}{1 + \frac{\alpha_G}{rmk_G M_w}}. \quad (32)$$

Kettős réteg esetén az állandósult száradási sebesség

$$j_{m \text{ áll}} = K_G^* M_w m (t_{\xi e} - t_{hp}), \quad (33)$$

egyrétegű anyag felszíni száradása esetében:

$$N_{\text{áll}} = k_G M_w m (t_{nL} - t_{hp}). \quad (34)$$

A száraz réteg hatása a száradás sebességére meghatározható, ha a (33) egyenletet elosztjuk (34) egyenlettel:

$$\frac{j_{m \text{ áll}}}{N_{\text{áll}}} = \frac{K_G^*}{k_G} \frac{t_{\xi e} - t_{hp}}{t_{nL} - t_{hp}}. \quad (35)$$

A (16) egyenlet alapján látható, hogy

$$\frac{K_G^*}{k_G} = \frac{1}{1 + \xi \frac{RT}{D_e} k_G}.$$

A 9. ábra alapján belátható, hogy

$$\frac{t_{\xi e} - t_{hp}}{t_{nL} - t_{hp}} = \frac{K_H k_G}{K_G^* \alpha_G} \frac{t_G - t_{\xi e}}{t_G - t_{nL}}.$$

Behelyettesítve (35) egyenletbe és rendezve, a

$$\frac{j_{m \text{ áll}}}{N_{\text{áll}}} = \frac{1}{K_H} \frac{t_G - t_{\xi e}}{\alpha_G t_G - t_{nL}}.$$

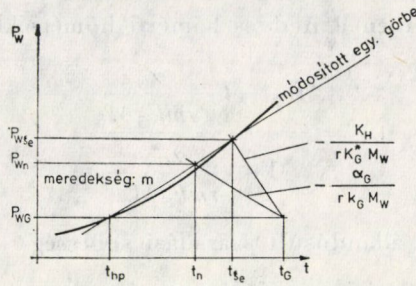
összefüggést kapjuk. Az előzőekben láttuk, hogy $t_{\xi e} \geq t_{nL}$ és minthogy $\alpha_G \geq K_H$, ezért

$$\frac{j_{m \text{ áll}}}{N_{\text{áll}}} \leq 1.$$

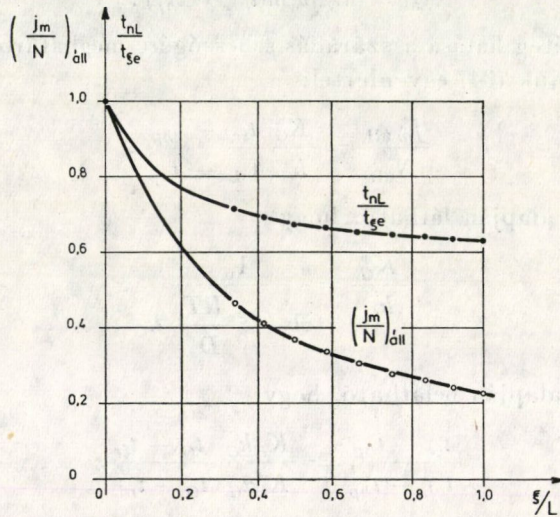
$\xi = 0$ esetben (száraz réteg nincs):

$$j_{m \text{ áll}} = N_{\text{áll}}.$$

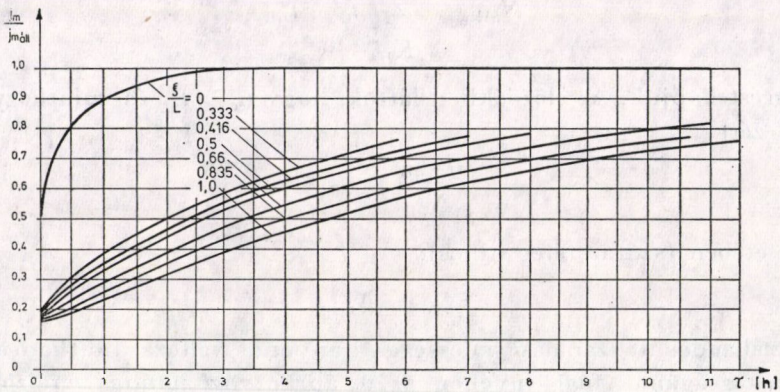
Az állandósult száradási sebességek arányának változása látható a száraz réteg vastagságának függvényében a 10. ábrán. Az ábrába berajzoltuk az állandósult hőmérsékletek arányának változását is.



9. ábra. Az egyensúlyi, a harmatponti és a nedves hőmérő hőmérsékletének kapcsolata



10. ábra. Az állandó száradási sebesség arány változása a száraz réteg vastagságával



11. ábra. A száradási sebességviszony alakulása az idő függvényében

A szárítás szempontjából fontos az az idő is, amely alatt a száradási sebesség értéke eléri az állandósult — melegedve száradás esetén a maximális — száradási sebességértéket. A száraz réteg vastagságának növelése növeli ezt a kialakulási időt.

A (15) és (33) egyenletet elosztva egymással, megkapjuk a mindenkor pillanatnyi száradási sebesség és az állandósult száradási sebesség értékének hányadosát, tehát az alábbi függvényt:

$$\frac{j_m}{j_{m\text{ áll}}} = f(\tau).$$

A 11. ábrán látható a száraz réteg vastagságának hatása a száradási sebesség viszony alakulására.

IRODALOM

1. LIKOV, A. V.: A szárítás elmélete. Nehézipari Könyvkiadó, Budapest 1952
2. IMRE L.: Szárítási Kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974
3. KRISCHER, O.: Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Springer-Verlag, Berlin 1963
4. KEYEY, R. B.: Drying Principles and Practice. Pergamon Press, Oxford 1972
5. HENRY, J. P.—CUNNINGHAM, R. S.—GEANKOPLIS, C. J.: Diffusion of Gases in Porous Solids over a Thousand-fold Pressure Range. *Chemical Engineering Science* 22 (1967), 11—20
6. ROTHFELD, L.: Gaseous Counterdiffusion in Catalyst Pellets. *A. I. Ch. E. Journal* 9 (1963), 1
7. DULLIEN, F. A.—SCOTT, S. C.: The Flux-ratio for Binary Counterdiffusion of Ideal Gases. *Chemical Engineering Science* 17 (1962), 771—775
8. SCOTT, S. C.—DULLIEN F. A.: Diffusion of Ideal Gases in Capillaries and Porous solids. *A. I. Ch. E. Journal* 8 (1962), 1
9. CARNAHAN, B.—LUTHER, H.—WILKES, J.: Applied Numerical Methods. John Wiley & Sons, Inc. New York 1969
10. SZENTGYÖRGYI S.—MOLNÁR K.: A fázisváltozási kritérium értékének hatása a szárítás folyamatára a szabad nedvesség párolgásának időszakában. *Gép* 26 (1974), 3
11. SZENTGYÖRGYI S.: Vegyipari Gépek I. 2. Tankönyvkiadó, Budapest 1966. (Egyetemi jegyzet J4—448.)

KÖZELÍTŐ MÓDSZER A RUGALMASSÁGTAN SÍKBELI FELADATAINAK MEGOLDÁSÁRA

ECSEDI ISTVÁN*

[Beérkezett 1975. január 13-án]

A tanulmány a rugalmasságtan síkbeli feladatainak megoldására alkalmas közelítő módszert ismertet. A közelítő módszer alapja az elmozdulásvektorra felírt Navier-féle parciális differenciálegyenlet megoldása egyváltozóban diszkrét argumentumú függvények alkalmazásával.

Jelölések

r, φ, z	hengerkoordináták
$\tilde{e}_r, \tilde{e}_\varphi, \tilde{e}_z$	az r, φ, z hengerkoordinátarendszer egységvektorai
$\tilde{i} = u(r, \varphi) \tilde{e}_r + v(r, \varphi) \tilde{e}_\varphi$	elmozdulásvektor
$\nabla = \frac{\partial}{\partial r} \tilde{e}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \varphi} \tilde{e}_\varphi$	Hamilton-féle differenciáloperátor
$\nabla \cdot \nabla = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}$	Laplace-operátor
\cdot	vektorok skaláris szorzatának jele
\times	vektorok vektoriális szorzatának a jele
\tilde{q}	a térfogaton megoszló erőrendszer intenzitása
\tilde{G}	a csúsztató rugalmassági modulus
ν	Poisson szám
$\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$	fajlagos nyúlások
$\gamma_{r\varphi}$	szögváltozás
$\sigma_r, \sigma_\varphi, \sigma_z$	normál feszültségek
$\tau_{r\varphi}$	csúsztató feszültség
\mathbf{A}	alakváltozási tenzor
\mathbf{F}	feszültségi tenzor
$\mathbf{f} = f_r \tilde{e}_r + f_\varphi \tilde{e}_\varphi$	felületi terhelés
$\left. \begin{matrix} \gamma_1 \\ \gamma_2 \end{matrix} \right\}$	a keresztmetszet határgörbéi
$r = k_1(\varphi)$	a γ_1 görbe egyenlete
$r = k_2(\varphi)$	a γ_2 görbe egyenlete
$\tilde{n} = n_r \tilde{e}_r + n_\varphi \tilde{e}_\varphi$	a $\gamma_1 + \gamma_2 = \gamma$ határgörbe „kifelé” irányított normális egységvektora
$\varphi_i = ih, h = \frac{\pi}{N} \quad i = 0, 1, 2, \dots, 2N-1, 2N$	
$u_i = u_i(r), v_i = v_i(r), \sigma_r(\varphi), \sigma_\varphi(\varphi)$	φ -ben diszkrét argumentumú függvények
$\left. \begin{matrix} a_k(r), b_k(r) \\ c_k(r), d_k(r) \end{matrix} \right\}$	együttható függvények
$\lambda_k = 2/h \sin kh/2 \quad (k = 1, 2, \dots, N-1, N)$	
$\mu_{k1}, \mu_{k2}, \mu_{k3}, \mu_{k4}$	a (2.31) karakterisztikus egyenlet gyökei
$\mu_{k1}^x, \mu_{k2}^x, \mu_{k3}^x, \mu_{k4}^x$	a (2.34) karakterisztikus egyenlet gyökei
$\left. \begin{matrix} A_{ki}, B_{ki} \\ C_{ki}, D_{ki} \end{matrix} \right\}$	integrációs állandók
A^T, B^T	sorvektorok
A, B	oszlopvektorok
Egyéb mennyiségeket, változókat a szövegben értelmezzük.	

* Dr. Ecsedi István, 3531 Miskolc, Vászonfahévíz u. 24. IV/1.

1. Bevezetés, rugalmasságtani alapok

Jelen dolgozat tárgya az 1.1 ábrán vázolt z tengely irányában végtelen kiterjedésű, legfeljebb kétszeresen összefüggő keresztmetszetű hengeres test síkalakváltozásával kapcsolatos rugalmasságtani peremértékproblémák megoldására alkalmas módszer ismertetése.

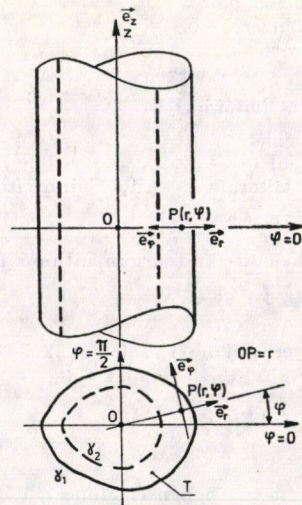
Legyen az 1.1 ábrán vázolt z tengelyű hengeres test síkalakváltozás állapotában. Ekkor az alkalmasan megválasztott r, φ, z hengerkoordináta-rendszerben a vizsgált test egy P pontjának elmozdulásvektora

$$\vec{i} = u(r, \varphi) \vec{e}_r + v(r, \varphi) \vec{e}_\varphi \quad (1.1)$$

alakú lesz. Ennek következménye — homogén, izotrop, lineárisan rugalmas anyagot és kis alakváltozást feltételezve, — hogy a P pontbeli alakváltozási és feszültségi tenzor mátrixai az r, φ, z hengerkoordináta-rendszerben az alábbiak

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \varepsilon_r & \frac{1}{2} \gamma_{r\varphi} & 0 \\ \frac{1}{2} \gamma_{\varphi r} & \varepsilon_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (1.2)$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} \sigma_r & \tau_{r\varphi} & 0 \\ \tau_{\varphi r} & \sigma_\varphi & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_z \end{bmatrix}, \quad (1.3)$$



1.1. ábra. Síkalakváltozási állapotban levő z tengelyű hengeres test

ahol

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial r}, \quad \varepsilon_\varphi = \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{u}{r}, \quad (1.4-1.5)$$

$$\gamma_{r\varphi} = \gamma_{\varphi r} = \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r}, \quad (1.6)$$

$$\sigma_r = \frac{2G}{1-2\nu} \left[(1-\nu) \frac{\partial u}{\partial r} + \nu \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} \right) \right], \quad (1.7)$$

$$\sigma_\varphi = \frac{2G}{1-2\nu} \left[(1-\nu) \left(\frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} \right) + \nu \frac{\partial u}{\partial r} \right], \quad (1.8)$$

$$\sigma_z = \nu(\sigma_r + \sigma_\varphi) = \frac{2G\nu}{1-2\nu} \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi} \right), \quad (1.9)$$

$$\tau_{r\varphi} = \tau_{\varphi r} = G \left(\frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial \varphi} + \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r} \right). \quad (1.10)$$

A rugalmasságtan $\vec{i} = u(r, \varphi)\vec{e}_r + v(r, \varphi)\vec{e}_\varphi$ elmozdulásvektorra felírt

$$\Delta \vec{i} + \frac{1}{1-2\nu} \nabla(\nabla \cdot \vec{i}) + \frac{\vec{q}}{G} = \vec{0} \quad (1.11)$$

alapegyenletéből az $u = u(r, \varphi)$, $v = v(r, \varphi)$ skalárkoordinátákra a következő kapcsolt parciális differenciálegyenlet-rendszert kapjuk (lásd pl. [2]):

$$\Delta u - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \varphi} - \frac{u}{r^2} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{\partial A_1}{\partial r} + \frac{q_r}{G} = 0, \quad (1.12)$$

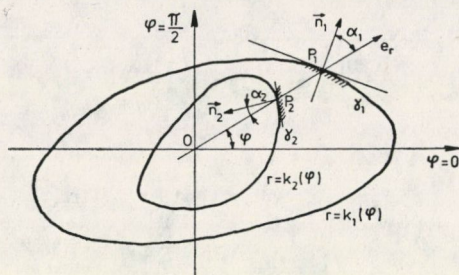
$$\Delta v + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \varphi} - \frac{v}{r^2} + \frac{1}{1-2\nu} \frac{1}{r} \frac{\partial A_1}{\partial \varphi} + \frac{q_\varphi}{G} = 0. \quad (1.13)$$

Itt az A_1 az A alakváltozási tenzor első skalárinvariánsát jelöli,

$$A_1 = \varepsilon_r + \varepsilon_\varphi = \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \varphi}. \quad (1.14)$$

Az (1.12), (1.13) Navier-egyenletek megoldására alkalmazott közelítő módszer — a φ változóban való diszkretizálás — megköveteli, hogy a vizsgált hengeres testek keresztmetszetének γ_1 és γ_2 határgörbéi (l. 1.2 ábrát) az alábbi tulajdonságokkal rendelkezzenek:

a) létezik a keresztmetszet síkjában legalább egy olyan 0 pont, hogy bármely 0 kezdőpontú félegyenes — 0 az r, φ, z hengerkoordináta-rendszer kezdőpontja — egy pontban metszse a γ_1 és γ_2 határgörbéket;



1.2. ábra. A hengeres test keresztmetszetének γ_1 és γ_2 határgörbéi

b) kis φ változás esetén r és α_i ($i = 1, 2$) — α_i a γ_i görbe P_i pontbeli normálisa és az \vec{e}_r vektor által meghatározott szög (lásd 1.2 ábrát) — is kicsit változzék a γ_i ($i = 1, 2$) görbe mentén.

A b) feltétel biztosan teljesül, ha a γ_i görbe szakaszonként vagy teljes egészében Jordan-féle görbe.

2. Navier-egyenlet megoldása polárkoordinátarendszerben φ szerinti parciális diszkretizálás módszerével

A továbbiakban feltesszük, hogy a vizsgált testet térfogaton megoszló erőrendszer nem terheli, azaz $\vec{q} = q_r \vec{e}_r + q_\varphi \vec{e}_\varphi = \vec{0}$. Ez esetben az (1.12), (1.13) egyenletek a következő alakban is felírhatók:

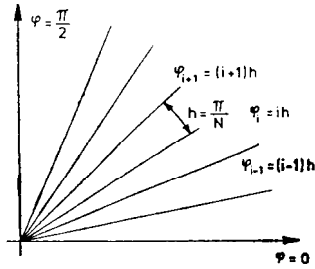
$$(2 - 2\nu) \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + (2 - 2\nu) \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} + (1 - 2\nu) \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2} - (2 - 2\nu) \frac{u}{r^2} - \\ - \frac{3 - 4\nu}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \varphi} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial r \partial \varphi} = 0, \quad (2.1)$$

$$(1 - 2\nu) \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + (1 - 2\nu) \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + (2 - 2\nu) \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2} - (1 - 2\nu) \frac{v}{r^2} + \\ + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 u}{\partial r \partial \varphi} + \frac{3 - 4\nu}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \varphi} = 0. \quad (2.2)$$

Fedjük le az r, φ síkot ($z = 0$) az 0 pontra illeszkedő

$$\varphi_j = jh \quad h = \frac{\pi}{N} \quad 0 \leq r < \infty$$

$$(j = 0, 1, 2, \dots, 2N-1, 2N)$$



2.1. ábra. A keresztmetszet síkjának lefedése 0 kezdőpontú félegyenesekkel

egyenletű félegyenes-sereggel (lásd 2.1 ábrát!) és vezessük be az alábbi jelöléseket:

$$\begin{aligned}
 u_i &= u_i(r, \varphi_i) = u_i(r), \\
 v_i &= v(r, \varphi_i) = v_i(r), \\
 u_i' &= \frac{\partial u(r, \varphi_i)}{\partial r} = u_i'(r) \\
 v_i' &= \frac{\partial v(r, \varphi_i)}{\partial r} = v_i'(r), \\
 u_i'' &= \frac{\partial^2 u(r, \varphi_i)}{\partial r^2} = u_i''(r), \\
 v_i'' &= \frac{\partial^2 v(r, \varphi_i)}{\partial r^2} = v_i''(r),
 \end{aligned} \tag{2.3}$$

$(i = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1, 2N).$

A (2.1) és a (2.2) φ -ben parciálisan diszkretizált változatát a

$$\begin{aligned}
 (2 - 2\nu)u_i'' + (2 - 2\nu)\frac{u_i'}{r} + (1 - 2\nu)\left(\frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}\right)_{\varphi=\varphi_i} - (2 - 2\nu)\frac{u_i}{r^2} - \\
 - \frac{3 - 4\nu}{r^2}\left(\frac{\partial v}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial v}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} = 0,
 \end{aligned} \tag{2.4}$$

$$\begin{aligned}
 (1 - 2\nu)v_i'' + (1 - 2\nu)\frac{v_i'}{r} + (2 - 2\nu)\frac{1}{r^2}\left(\frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2}\right)_{\varphi=\varphi_i} - \frac{1 - 2\nu}{r^2}v_i' + \\
 + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial u}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} + \frac{3 - 4\nu}{r^2}\left(\frac{\partial u}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} = 0,
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

$$(\varphi_i = ih, k_1(\varphi_i) \leq r \leq k_2(\varphi_i); i = 1, 2, \dots, 2N)$$

egyenletrendszerből kapjuk a φ szerinti differenciálhányadosoknak differenciálhányadosokkal való közelítése útján. A differenciálhányadosok differenciálhányadosal való közelítését [4] a

$$\left(\frac{\partial u}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h}, \quad \left(\frac{\partial v}{\partial \varphi}\right)_{\varphi=\varphi_i} = \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2h}, \quad (2.6-2.7)$$

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial \varphi^2}\right)_{\varphi=\varphi_i} = \frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2}, \quad (2.8)$$

$$\left(\frac{\partial^2 v}{\partial \varphi^2}\right)_{\varphi=\varphi_i} = \frac{v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}}{h^2}, \quad (2.9)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 2N)$$

egyenletek alapján végezzük. A fenti $0(h^2)$ nagyságrendű közelítést tartalmazó approximációs egyenletek (2.4) és (2.5)-be való helyettesítése a következő differencia-differenciálegyenlet-rendszert adja:

$$(2 - 2\nu)u_i'' + (2 - 2\nu)\frac{u_i'}{r} + (1 - 2\nu)\frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2} - (2 - 2\nu)\frac{u_i}{r^2} - \frac{3 - 4\nu}{r^2}\frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2h} + \frac{1}{r}\frac{v_{i+1}' - v_{i-1}'}{2h} = 0, \quad (2.10)$$

$$(1 - 2\nu)v_i'' + (1 - 2\nu)\frac{v_i'}{r} + (2 - 2\nu)\frac{v_{i+1} - 2v_i + v_{i-1}}{h^2} - (1 - 2\nu)\frac{v_i}{r^2} + \frac{1}{r}\frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} + \frac{3 - 4\nu}{r^2}\frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} = 0, \quad (2.11)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 2N - 1, 2N).$$

A (2.11), (2.12) egyenletrendszer megoldásával a φ változóban diszkrét argumentum értékeknél közvetlenül megkapjuk az elmozdulásvektor-mezőt.

Keressük a (2.10) és (2.11) egyenletek megoldását

$$u_i = u_i(r) = a_0(r) + \sum_{k=1}^{N-1} [a_k(r) \cos khi + b_k(r) \sin khi] + a_N(r) \cos \pi i, \quad (2.12)$$

$$v_i = v_i(r) = c_0(r) + \sum_{k=1}^{N-1} [c_k(r) \cos khi + d(r) \sin kh] + c_N(r) \cos \pi i, \quad (2.13)$$

$$\left(h = \frac{\pi}{N}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1\right)$$

alakban.

A fenti alak megválasztását jelen esetben az u, v elmozdulásvektor koordináták egyértékűsége indokolja. A (2.12) és (2.13) alakú megoldások (2.10)-be

és (2.11)-be való helyettesítésével, valamint a *Függelékben* foglaltak alkalmazásával az $a_0(r)$, $a_k(r)$, $b_k(r)$, $a_N(r)$, $c_0(r)$, $c_k(r)$, $d_k(r)$, $c_N(r)$, ($k = 1, 2, \dots, N-1$) együtthatófüggvényekre a következő közönséges változó együtthatójú, homogén lineáris differenciálegyenlet-rendszert vezethetjük le:

$$a_0'' + \frac{a_0'}{r} - \frac{a_0}{r^2} = 0, \quad (2.14)$$

$$c_0'' + \frac{c_0'}{r} - \frac{c_0}{r^2} = 0, \quad (2.15)$$

$$(2-2\nu)a_k'' + (2-2\nu)\frac{a_k'}{r} - \frac{1-2\nu}{r^2}\lambda_k^2 a_k - (2-2\nu)\frac{a_k}{r} - \\ - \frac{3-4\nu}{r^2}\frac{\sin kh}{h}d_k + \frac{1}{r}\frac{\sin kh}{h}d_k' = 0, \quad (2.16)$$

$$(1-2\nu)d_k'' + (1-2\nu)\frac{d_k'}{r} - (2-2\nu)\lambda_k^2 d_k - (1-2\nu)\frac{d_k}{r^2} - \\ - \frac{1}{r}\frac{\sin kh}{h}a_k' - \frac{3-4\nu}{r^2}\frac{\sin kh}{h}a_k = 0, \quad (2.17)$$

$$(2-2\nu)b_k'' + (2-2\nu)\frac{b_k'}{r} - \frac{1-2\nu}{r^2}\lambda_k^2 b_k - (2-2\nu)\frac{b_k}{r^2} + \\ + \frac{3-4\nu}{r^2}\frac{\sin kh}{h}c_k - \frac{1}{r}\frac{\sin kh}{h}c_k' = 0, \quad (2.18)$$

$$(1-2\nu)c_k'' + (1-2\nu)\frac{c_k'}{r} - \frac{2-2\nu}{r^2}\lambda_k^2 c_k - \frac{1-2\nu}{r^2}c_k + \\ + \frac{1}{r}\frac{\sin kh}{h}b_k' - \frac{3-4\nu}{r^2}\frac{\sin kh}{h}b_k = 0, \quad (2.19)$$

$$a_N'' + \frac{a_N'}{r} + \left(1 - \frac{1-2\nu}{1-2\nu}\right)\frac{a_N}{r^2} = 0, \quad (2.20)$$

$$c_N'' + \frac{c_N'}{r} + \left(1 - \frac{2-2\nu}{1-2\nu}\right)\frac{c_N}{r^2} = 0, \quad (2.21)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N-1).$$

Itt bevezettük a

$$\lambda_k = \frac{2}{h}\sin kh, \quad (2.22)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N-1, N)$$

jelölést. A (2.14), (2.15), (2.20), (2.21) közönséges differenciálegyenletek általános megoldásai az alábbi függvények:

$$a_0(r) = A_{01}r + A_{02}r^{-1} \quad (2.23)$$

$$c_0(r) = C_{01}r + C_{02}r^{-1}, \quad (2.24)$$

$$a_N(r) = A_{N1}'r^{\mu_N} + A_{N2}'r^{-\mu_N} \quad (2.25)$$

$$c_N(r) = C_{N1}'r^{\mu_N^*} + C_{N2}'r^{-\mu_N^*}, \quad (2.26)$$

ahol

$$\mu_N = \sqrt{1 - \frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu} \lambda_N^2}, \quad (2.27)$$

$$\mu_N^* = \sqrt{1 - \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} \lambda_N^2}. \quad (2.28)$$

A (2.16), (2.17) kapcsolt differenciálegyenletek megoldását

$$a_k(r) = A_k r^{\mu_k}, \quad (2.29)$$

$$d_k(r) = D_k r^{\mu_k}, \quad (2.30)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1)$$

alakban keresve, μ_k -ra az alábbi karakterisztikus egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} & (1 - 2\nu)(2 - 2\nu)\mu_k^4 + \mu_k^2 \left\{ \frac{\sin^2 kh}{h^2} - (2 - 2\nu)^2 + (1 - 2\nu)^2 \right\} \lambda_k^2 - \\ & - 2(1 - 2\nu)(2 - 2\nu) \} + (1 - 2\nu)(2 - 2\nu)\lambda_k^4 + \lambda_k^2 [(1 - 2\nu)^2 + \\ & + (2 - 2\nu)^2] + (1 - 2\nu)(2 - 2\nu) - (3 - 4\nu)^2 \frac{\sin^2 kh}{h^2} = 0, \end{aligned} \quad (2.31)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1).$$

Hasonlóan eljárva a (2.18), (2.19) egyenletekből felépülő differenciálegyenletrendszer megoldásával kapcsolatosan, feltesszük, hogy

$$b_k(r) = B_k r^{\mu_k^*}, \quad (2.32)$$

$$C_k(r) = C_k r^{\mu_k^*} \quad (2.33)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1).$$

A fenti alakú megoldások az itt szereplő μ_k^* -ra a következő karakterisztikus egyenletet adják:

$$\begin{aligned} & (1 - 2\nu)(2 - 2\nu)(\mu_k^*)^4 - (\mu_k^*)^2 \left\{ \frac{\sin^2 kh}{h^2} + [(2 - 2\nu)^2 + (1 - 2\nu)^2] \lambda_k^2 + \right. \\ & \quad \left. + 2(1 - 2\nu)(2 - 2\nu) \right\} + (1 - 2\nu)(2 - 2\nu) \lambda_k^4 + \\ & + \lambda_k^2 [(1 - 2\nu)^2 + (2 - 2\nu)^2] + (1 - 2\nu)(2 - 2\nu) + (3 - 4\nu)^2 \frac{\sin^2 kh}{h^2} = 0, \quad (2.34) \end{aligned}$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1).$$

Legyen

$$\alpha_k = \frac{1}{(1 - 2\nu)(2 - 2\nu)} \left\{ \frac{\sin^2 kh}{h^2} - [(2 - 2\nu)^2 + (1 - 2\nu)^2] \lambda_k^2 \right\} - 2, \quad (2.35)$$

$$\beta_k = \lambda_k^4 + \left(\frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu} + \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} \right) \lambda_k^2 - \frac{3 - 4\nu}{(1 - 2\nu)(2 - 2\nu)} \frac{\sin^2 kh}{h^2} + 1, \quad (2.36)$$

$$\alpha_k^* = \frac{1}{(1 - 2\nu)(2 - 2\nu)} \left\{ \frac{\sin^2 kh}{h^2} + [(2 - 2\nu)^2 + (1 - 2\nu)^2] \lambda_k^2 \right\} - 2, \quad (2.37)$$

$$\beta_k^* = \lambda_k^4 + \left(\frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu} + \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} \right) \lambda_k^2 + \frac{3 - 4\nu}{(1 - 2\nu)(2 - 2\nu)} \frac{\sin^2 kh}{h^2} + 1 \quad (2.38)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1)$$

A fenti jelölések alkalmazásával a (2.31) és a (2.34) karakterisztikus egyenlet gyökei az alábbi alakban fejezhetők ki:

$$\mu_{k1} = \sqrt{\frac{-\alpha_k + \sqrt{\alpha_k^2 - 4\beta_k}}{2}}, \quad \mu_{k2} = -\sqrt{\frac{-\alpha_k + \sqrt{\alpha_k^2 - 4\beta_k}}{2}}, \quad (2.39-2.40)$$

$$\mu_{k3} = \sqrt{\frac{-\alpha_k - \sqrt{\alpha_k^2 - 4\beta_k}}{2}}, \quad \mu_{k4} = -\sqrt{\frac{-\alpha_k - \sqrt{\alpha_k^2 - 4\beta_k}}{2}}, \quad (2.41-2.42)$$

$$\mu_{k1}^* = \sqrt{\frac{\alpha_k^* + \sqrt{(\alpha_k^*)^2 - 4\beta_k^*}}{2}}, \quad \mu_{k2}^* = -\sqrt{\frac{\alpha_k^* + \sqrt{(\alpha_k^*)^2 - 4\beta_k^*}}{2}}, \quad (2.43-2.44)$$

$$\mu_{k3}^* = \sqrt{\frac{\alpha_k^* - \sqrt{(\alpha_k^*)^2 - 4\beta_k^*}}{2}}, \quad \mu_{k4}^* = -\sqrt{\frac{\alpha_k^* - \sqrt{(\alpha_k^*)^2 - 4\beta_k^*}}{2}}, \quad (2.45-2.46)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1).$$

Abban az esetben, ha

$$\delta_k = \alpha_k^2 - 4\beta_k = 0, \quad (k = 1, 2, \dots, N - 1) \quad (2.47)$$

akkor a (2.31), illetve ha

$$\delta_k^* = \alpha_k^* - 4\beta_k^* = 0, \quad (k = 1, 2, \dots, N - 1), \quad (2.48)$$

akkor a (2.34) karakterisztikus egyenlet kétszeres gyökökkel rendelkezik, azaz

$$\mu_{k1} = \mu_{k3} \quad \text{és} \quad \mu_{k2} = \mu_{k4}, \quad (2.49)$$

illetve

$$\mu_{k1}^* = \mu_{k3}^* \quad \text{és} \quad \mu_{k2}^* = \mu_{k4}^*, \quad (2.50)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1).$$

Ilyen esetben a (2.16), (2.17), (2.18), (2.19) differenciálegyenletekből felépülő differenciálegyenlet-rendszer általános megoldása az

$$r^{\mu_{k1}}, r^{\mu_{k2}}, r^{\mu_{k1}} \ln r, r^{\mu_{k2}} \ln r,$$

$$r^{\mu_{k1}^*}, r^{\mu_{k2}^*}, r^{\mu_{k1}^*} \ln r, r^{\mu_{k2}^*} \ln r$$

lineárisan független alrendszerből fog állni.

Így a fentiek szerint az $a_k(r)$, $b_k(r)$, $c_k(r)$, $d_k(r)$ együttható függvények explicit alakja — ha a karakterisztikus egyenletek egyszeres gyökökkel rendelkeznek, akkor

$$a_k(r) = \sum_{i=1}^4 A_{ki} r^{\mu_{ki}}, \quad d_k(r) = \sum_{i=1}^4 B_{ki} r^{\mu_{ki}}, \quad (2.51 - 2.52)$$

$$b_k(r) = \sum_{i=1}^4 B_{ki} r^{\mu_{ki}^*}, \quad c_k(r) = \sum_{i=1}^4 C_{ki} r^{\mu_{ki}^*}, \quad (2.53 - 2.54)$$

Ha pedig a karakterisztikus egyenleteknek kétszeres gyökei vannak, akkor

$$a_k(r) = \sum_{i=1}^2 [A_{ki} + A_{k(i+2)} \ln r] r^{\mu_{ki}}, \quad (2.55)$$

$$d_k(r) = \sum_{i=1}^2 [D_{ki} + D_{k(i+2)} \ln r] r^{\mu_{ki}}; \quad (2.56)$$

$$b_k(r) = \sum_{i=1}^2 [B_{ki} + B_{k(i+2)} \ln r] r^{\mu_{ki}^*}, \quad (2.57)$$

$$c_k(r) = \sum_{i=1}^2 [C_{ki} + C_{k(i+2)} \ln r] r^{\mu_{ki}^*}. \quad (2.58)$$

Tehát egy rögzített N -nél az $a_k(r)$, $b_k(r)$, $c_k(r)$, $d_k(r)$, ($k = 1, 2, \dots, N - 1$) együttható függvények alakja (2.51–2.54), illetve a (2.55–2.58) egyenletek által adott, attól függően, hogy a (2.31), (2.34) karakterisztikus egyenleteknek a megfelelő k értékeknél ($k = 1, 2, \dots, N - 1$) egyszeres vagy kétszeres gyökei vannak. $\nu = 1/3$ és $N = 5, 6, 7, 8, 9, 10$ esetére a (2.31) és (2.34) karakterisztikus egyenlet gyökeit az *I. és II. táblázatok* tartalmazzák. A fenti esetben minden gyök valós és egyszeres.

Az A_{ki} , B_{ki} , C_{ki} , D_{ki} ($k = 1, 2, \dots, N - 1$; $i = 1, 2, 3, 4$) integrációs állandók — feltéve, hogy a (2.31) és (2.34) karakterisztikus egyenletek gyökei egyszeresek — a következő kapcsolatban vannak egymással:

$$A_{ki} = \frac{\sin kh}{h} \frac{3 - 4\nu - \mu_{ki}}{(2 - 2\nu)\mu_{ki}^2 - (1 - 2\nu)\lambda_k^2 - (2 - 2\nu)} D_{ki}, \quad (2.59)$$

$$B_{ki} = -\frac{\sin kh}{h} \frac{3 - 4\nu - \mu_{ki}^*}{(2 - 2\nu)(\mu_k^*)^2 - (1 - 2\nu)\lambda_k^2 - (2 - 2\nu)} C_{ki}, \quad (2.60)$$

A feszültségi tenzor r , φ , z hengerkoordináta-rendszerbeli skalárkoordinátáit az (1.7)–(1.10) egyenletek φ változóban való finitizálása útján felírható φ -ben diszkrét argumentum értékekre vonatkozó egyenletekből tudjuk számítani:

$$\sigma_r(r, \varphi_i) = \frac{2G}{1 - 2\nu} \left[(1 - \nu)u'_i + \nu \left(\frac{u'_i}{r} + \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2hr} \right) \right], \quad (2.61)$$

$$\sigma_\varphi(r, \varphi_i) = \frac{2G}{1 - 2\nu} \left[(1 - \nu) \left(\frac{\mu'_i}{r} + \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2hr} \right) + \nu u'_i \right], \quad (2.62)$$

$$\sigma_z(r, \varphi_i) = \nu[\sigma_r(r, \varphi_i) + \sigma_\varphi(r, \varphi_i)], \quad (2.63)$$

$$\tau_{r\varphi}(r, \varphi_i) = G \left[\frac{\mu_{i+1} - u_{i-1}}{2hr} - v'_i - \frac{v_i}{r} \right], \quad (2.64)$$

$$(i = 1, 2, \dots, 2N - 1, 2N).$$

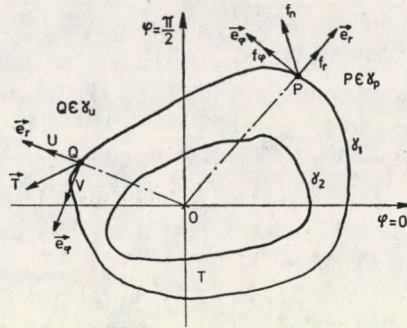
3. Az integrációs állandók meghatározása

Legyen adott a $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ peremgörbe γ_u szakaszán az elmozdulásvektor:

$$u = U, \quad (3.1)$$

$$v = V, \quad (3.2)$$

$$(P(r, \varphi) \in \gamma_u).$$



3.1. ábra. Geometriai és statikai peremfeltételek a $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ határgörbén

A $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ peremgörbe γ_p szakaszán pedig legyen előírt a felületi terhelés:

$$\vec{f} = F\vec{n}, \quad (3.3)$$

azaz

$$f_r = \sigma_r n_r + \tau_{r\varphi} n_\varphi, \quad (3.4)$$

$$f_\varphi = \tau_{r\varphi} n_r + \sigma_\varphi n_\varphi, \quad (3.5)$$

$$(P(r, \varphi) \in \gamma_p),$$

ahol

$$\vec{f} = f_r \vec{e}_r + f_\varphi \vec{e}_\varphi \quad (3.6)$$

a γ_p görbeszakasz P pontjában a felületi terhelés intenzitása és

$$\vec{n} = n_r \vec{e}_r + n_\varphi \vec{e}_\varphi \quad (3.7)$$

a γ_p görbeszakasz P pontbeli „anyagból” kifelé irányított normális egységvektora (3.1 ábra). A γ_u és γ_p komplementer görbék, $\gamma = \gamma_u + \gamma_p$. Az $r = k_i(\varphi)$ egyenletű γ_i ($i = 1, 2$) görbe P pontbeli „test anyagából kifelé irányított” normális egységvektora

$$\begin{aligned} \vec{n} = n_r \vec{e}_r + n_\varphi \vec{e}_\varphi &= \frac{k_i(\varphi)}{\{[k_i(\varphi)]^2 + [k'_i(\varphi)]^2\}^{1/2}} \vec{e}_r - \\ &- \frac{k'_i(\varphi)}{\{[k_i(\varphi)]^2 + [k'_i(\varphi)]^2\}^{1/2}} \vec{e}_\varphi, \quad (3.8) \\ (0 \leq \varphi \leq 2\pi, \quad i = 1, 2). \end{aligned}$$

A következőkben a γ_p görbe P pontjára vonatkozó (3.4), (3.5) statikai jellegű kerületi feltételek átalakításával foglalkozunk. Ismeretes, hogy a γ_i görbe mentén

$$\frac{ds}{d\varphi} = \{[k_i(\varphi)]^2 + [k'_i(\varphi)]^2\}^{1/2}, \quad (3.9)$$

valamint

$$\Delta s = \frac{ds}{d\varphi} \Delta\varphi. \quad (3.10)$$

Tekintettel a (3.8), (3.9), (3.10) egyenletekre a (3.4) és (3.5) összefüggések felírhatók

$$f_r \Delta s = (r\sigma_r - r'\tau_{r\varphi}) \Delta\varphi, \quad (3.11)$$

$$f_\varphi \Delta s = (r\tau_{r\varphi} - r'\sigma_\varphi) \Delta\varphi, \quad (3.12)$$

$$\left(r' = \frac{dr}{d\varphi} \right)$$

alakban is. A fenti egyenleteket a γ_p görbe $P_j(k_j(\varphi_j)\varphi_j)$, ($i = 1, 2$) vonatkoztatva, írhatjuk, hogy

$$F_r[k_j(\varphi_i), \varphi_i] = \frac{2 - 2\nu}{1 - 2\nu} k_j(\varphi_i) u_i' + \frac{2\nu}{1 - 2\nu} u_i + \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2h} - k_j'(\varphi_i) \left[\frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2hk_j(\varphi_j)} - v_i' - \frac{v_i}{k_j(\varphi_i)} \right], \quad (3.13)$$

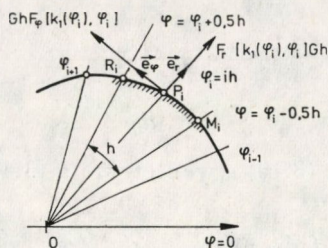
$$F_\varphi[k_j(\varphi_i), \varphi_i] = \frac{u_{i+1} - u_{i-1}}{2h} - k_j(\varphi_i) v_i' - v_i - k_j'(\varphi_i) \left[\frac{1 - \nu}{1 - 2\nu} \left(\frac{u_i}{k_j(\varphi_i)} + \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2hk_j(\varphi_i)} \right) + \frac{\nu}{1 - 2\nu} u_i' \right], \quad (3.14)$$

ahol

$$F_r[k_j(\varphi_i), \varphi_i] = \frac{f_r \Delta s}{Gh} \quad (3.15)$$

$$F_\varphi[k_j(\varphi_i), \varphi_i] = \frac{f_\varphi \Delta s}{Gh} \quad (3.16)$$

a γ_p görbeszakaszon a $\varphi = \varphi_i + 0,5h$ és a $\varphi = \varphi_i - 0,5h$ ($0 \leq r < \infty$) egyenletű sugarak által kijelölt $M_i P_i R_i$ íven megoszló terhelés eredőjének a P_i pontbeli \tilde{e}_r és \tilde{e}_φ irányú koordinátájával arányos mennyiség, ennek megfelelően Δs az $M P_i R_i$ görbeszakasz hosszát jelöli (3.2 ábra). Nyilvánvaló, hogy az F_r és F_φ függvény a γ_p görbeszakasz egy diszkrét pontthalmaza felett értelmezett, e tényt az $F_r[k_j(\varphi_i), \varphi_i]$, $F_\varphi[k_j(\varphi_i), \varphi_i]$, ($j = 1, 2$) jelöléssel igyekeztünk kiemelni. A $\gamma = \gamma_1 + \gamma_2$ határgörbe pontjaira előírt geometriai peremfeltételeknek — (3.1), (3.2) egyenleteknek — valamint a statikai jellegű peremfeltételeknek — (3.4), (3.5) egyenleteknek — diszkrét argumentum értékeknél való kielégítésével általános esetben egy 8N egyenletből álló 16N — 8 ismer-



3.2. ábra. F_r és F_φ értelmezése a γ_p görbe $P_j(k_j(\varphi_i), \varphi_i)$, ($j = 1, 2$) pontjaiban

retlent — az A_{0i} , C_{0i} , A_{Ni} , C_{Ni} , $i = 1, 2$; A_{ki} , B_{ki} , C_{ki} , D_{ki} , $i = 1, 2, 3, 4$; $k = 1, 2, \dots, N - 1$ integrációs állandókat — tartalmazó inhomogén lineáris egyenletrendszer kapunk. Az ismeretlenek egyértelmű meghatározásához még szükséges $8N - 8$ darab lineáris egyenletet a (2.59), (2.60) egyenletek jelentik. Így tehát a kitűzött rugalmasságtani feladat egy lineáris egyenletrendszer felállítására és megoldására redukálódott. Legyen

$$A_0 = [A_{01}, A_{02}]^T, \quad A_N = [A_{N1}, A_{N2}]^T$$

$$C_0 = [C_{01}, C_{02}]^T, \quad C_N = [C_{N1}, C_{N2}]^T,$$

$$A_k = [A_{k1}, A_{k2}, A_{k3}, A_{k4}]^T,$$

$$B_k = [B_{k1}, B_{k2}, B_{k3}, B_{k4}]^T,$$

$$C_k = [C_{k1}, C_{k2}, C_{k3}, C_{k4}]^T,$$

$$D_k = [D_{k1}, D_{k2}, D_{k3}, D_{k4}]^T,$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1),$$

és

$$A = \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_{N-1} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ \vdots \\ B_{N-1} \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_{N-1} \end{bmatrix}, \quad D = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_{N-1} \end{bmatrix}.$$

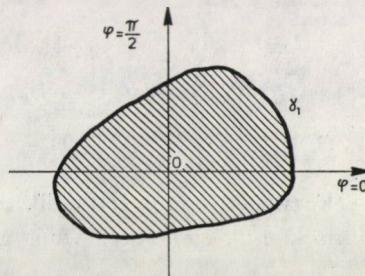
E jelölésekkel az integrációs állandók meghatározására szolgáló egyenletrendszer a vázolt felépítésű lesz:

$$P \cdot x = g \quad (3.17)$$

$$(16N - 8) \times (16N - 8) \cdot (16N - 8) \times 1 \quad (16N - 8) \times 1$$

Itt α_0 , α , α_N , β , γ_0 , γ , γ_N , δ , ϵ (3.3 ábra) a $8N$ darab $P_j[k_j(\varphi_i), \varphi_i]$ ($j = 1, 2$; $k = 1, 2, \dots, 2N$) kerületi pontra felírt peremfeltételekkel kapcsolatos mátrixok, O megfelelő méretű zérus mátrix, E $8N - 8$ -as méretű egységmátrix,

$\underline{\alpha}_0$ $8N \times 2$	$\underline{\alpha}$ $8N \times (4N-4)$	$\underline{\alpha}_N$ $8N \times 2$	$\underline{\beta}$ $8N \times (4N-4)$	$\underline{\beta}_0$ $8N \times 2$	$\underline{\beta}$ $8N \times (4N-4)$	$\underline{\beta}_N$ $8N \times 2$	$\underline{\delta}$ $8N \times (4N-4)$	\underline{A}_0 2×1	\underline{C} $8N \times 1$
\underline{O} $8N \times 2$	\underline{E} $(4N-4) \times (4N-4)$	\underline{O} $8N \times 2$	\underline{O} $(4N-4) \times (4N-4)$	\underline{O} $8N \times 2$	\underline{O} $(4N-4) \times (4N-4)$	\underline{O} $8N \times 2$	\underline{L} $(4N-4) \times (4N-4)$	\underline{A} $(4N-4) \times 1$	
	\underline{O} $(4N-4) \times (4N-4)$	\underline{E} $(4N-4) \times (4N-4)$		\underline{I} $(4N-4) \times (4N-4)$		\underline{O} $(4N-4) \times (4N-4)$		\underline{B} $(4N-4) \times 1$	\underline{O} $8N \times 1$
								\underline{C}_0 2×1	
								\underline{C} $(4N-4) \times 1$	
								\underline{C}_N 2×1	
								\underline{D} $(4N-4) \times 1$	

3.3. ábra. A $Px = g$ egyenletrendszer „szerkezete”

3.4. ábra. Tömör keresztmetszetű hengeres test

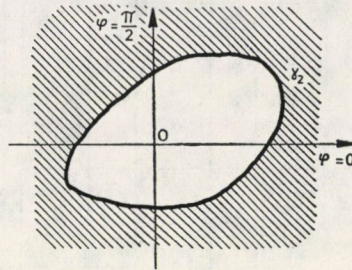
L és L^* pedig olyan diagonál mátrixokat jelölnek, melyek elemeit a (2.59), (2.60) egyenletek alapján lehet képezni. Olyan esetben, amikor a vizsgált test tömör, tehát tartalmazza az r, φ, z hengerkoordináta-rendszer kezdőpontját (3.4 ábra), az u, v elmozdulásvektor koordináták $r = 0$ helyen való korlátos voltából az integrációs állandókra

$$A_{02} = A_{N2} = C_{02} = C_{N2} = 0, \quad (3.18)$$

$$A_{k2} = A_{k4} = B_{k2} = B_{k4} = C_{k2} = C_{k4} = D_{k2} = D_{k4} = 0, \quad (3.19)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N-1)$$

egyenletek következnek, feltéve, hogy a (2.31) és (2.34) karakterisztikus egyenletek gyökei valóságosak és egyszeresek. Abban az esetben pedig, ha a keresztmetszet végtelen kiterjedésű tartomány, tartalmazza az xy sík vég-



3.5. ábra. Üreges keresztmetszetű test

telen távoli pontját, — ilyen esetet ábrázol a 3.5 ábra — az elmozdulásvektor u, v koordinátáival kapcsolatos

$$\lim_{r \rightarrow \infty} u(r, \varphi), \quad \lim_{r \rightarrow \infty} v(r, \varphi)$$

határértékek véges voltából az integrációs állandókra az

$$A_{01} = A_{N1} = C_{01} = C_{N1} = 0, \quad (3.20)$$

$$A_{k1} = A_{k3} = B_{k1} = B_{k3} = C_{k1} = C_{k3} = D_{k1} = D_{k3} \quad (3.21)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1)$$

egyenletek fennállása következik. Itt ismét feltettük, hogy a (2.31) és a (2.34) karakterisztikus egyenleteknek csak egyszeres valós gyökei vannak.

4. Egy példa az elmozdulásvektormező meghatározására

Legyen feladatunk a 4.1 ábrán vázolt tömör körkeresztmetszetű hengeres test elmozdulás-vektormezejének előállításása, ha adott a test palástján levő pontok elmozdulása:

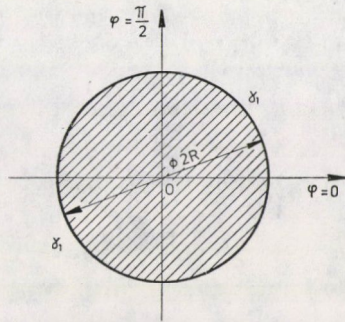
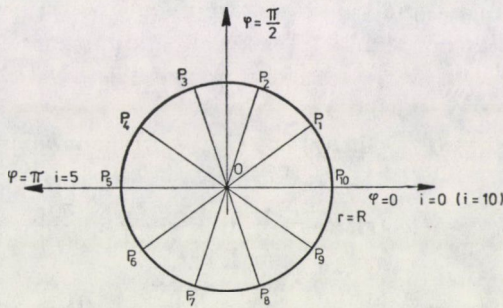
$$u(R, \varphi) = \frac{R}{100} \left(\varphi - \frac{\pi}{5} \right)^2, \quad \text{ha} \quad -\frac{\pi}{5} \leq \varphi \leq \frac{\pi}{5},$$

$$u(R, \varphi) = 0, \quad \text{ha} \quad \frac{\pi}{5} < \varphi < \frac{9\pi}{5},$$

$$v(R, \varphi) = 0, \quad 0 \leq \varphi \leq 2\pi.$$

Legyen $\nu = 1/3 = 0,3333$ és $N = 5$. A keresztmetszet síkjának $\varphi_i = ih/h = \pi/5, i = 1, 2, \dots, 10$ $0 \leq r < \infty$ egyenletű félegyenesekkel való lefedését a 4.2 ábrán szemléltetjük. Mivel a vizsgált test tömör, az integrációs állandók egy részét azonnal megadhatjuk:

$$A_{02} = A_{52} = C_{02} = C_{52} = A_{12} = A_{22} = A_{32} = A_{42} = A_{14} = A_{24} = A_{34} = A_{44} = B_{12} = B_{22} = B_{32} = B_{42} = B_{14} = B_{24} = B_{34} = B_{44} = C_{12} = C_{22} = C_{32} = C_{42} = C_{14} = C_{23} = C_{34} = C_{44} = D_{12} = D_{22} = D_{32} = D_{42} = D_{14} = D_{24} = D_{34} = D_{44} = 0.$$

4.1. ábra R sugarú tömör körhenger4.2. ábra. Az R sugarú körkeresztmetszet lefedése 0 kezdőpontú félegyenésekkel

A továbbiakban $R = 1$ m-el számolva a hiányzó integrációs állandókra a P_i ($i = 1, 2, \dots, 10$) kerületi pontokra vonatkozó geometriai peremfeltételek és (2.59), (2.60) egyenletek kielégítésével az alábbi végeredményt kapjuk:

$$\begin{aligned}
 B_{11} &= B_{13} = B_{21} = B_{23} = B_{31} = B_{33} = B_{41} = B_{43} = 0, \\
 C_{41} &= C_{13} = C_{21} = C_{23} = C_{31} = C_{33} = C_{41} = C_{43} = 0, \\
 A_{01} &= 3,9476 \cdot 10^{-4}, \\
 A_{11} &= -1,027 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,9956}, \\
 A_{13} &= 8,9228 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{0,61963}, \\
 A_{21} &= -1,927 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2,2238}, \\
 A_{23} &= 9,8223 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,1528}, \\
 A_{31} &= -8,2429 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-3,7331}, \\
 A_{33} &= 8,702 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,6207}, \\
 A_{41} &= -1,2566 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-4,97174}, \\
 A_{43} &= 8,0206 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,8227}, \\
 A_{51} &= 3,9476 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2,183}, \\
 D_{11} &= 1,27903 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,9956}, \\
 D_{13} &= -1,27903 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{0,61063}, \\
 D_{21} &= 9,1881 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-2,2238}, \\
 D_{23} &= -9,1881 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,1528}, \\
 D_{31} &= 4,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-3,7331}, \\
 D_{33} &= -4,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,6207}, \\
 D_{41} &= 1,3454 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-4,9714}, \\
 D_{43} &= -1,3454 \cdot 10^{-4} \text{ m}^{-0,8227}.
 \end{aligned}$$

A megoldás explicit alakja pedig

$$u_i = u_i(r) = A_{01}r + (A_{11}r^{\mu_{11}} + A_{13}r^{\mu_{13}}) \cos \pi/5 t + (A_{21}r^{\mu_{21}} + A_{23}r^{\mu_{23}}) \cos 2\pi/5 i + (A_{31}r^{\mu_{31}} + A_{33}r^{\mu_{33}}) \cdot \cos 3\pi/5 i + (A_{41}r^{\mu_{41}} + A_{43}r^{\mu_{43}}) \cos 4\pi/5 + A_{51}r^{\lambda_5} \cos \pi i,$$

$$v_i(r) = (D_{11}r^{\mu_{11}} + D_{13}r^{\mu_{13}}) \sin \pi/5 i + (D_{21}r^{\mu_{21}} + D_{23}r^{\mu_{23}}) \sin 2\pi/5 i + (D_{31}r^{\mu_{31}} + D_{33}r^{\mu_{33}}) \cdot \sin 3\pi/5 i + D_{41}r^{\mu_{41}} + D_{43}r^{\mu_{43}} \sin 4\pi/5 i,$$

($i = 1, 2, \dots, 9, 10$; $0 \leq r \leq R$, $R = 1$ m)
 lesz, ahol $\lambda_5 = 3,183$ és

$$\begin{array}{ll} \mu_{11} = 1,9956, & \mu_{13} = 0,38037, \\ \mu_{12} = 3,2238, & \mu_{23} = 1,1528, \\ \mu_{31} = 4,7331, & \mu_{33} = 1,6207, \\ \mu_{41} = 5,9714, & \mu_{43} = 1,8227. \end{array}$$

5. Függelék

A dolgozatban használt diszkrét argumentumú trigonometrikus függvényekkel kapcsolatban az alábbi tétel került alkalmazásra.

Ha

$$\alpha_0(r) + \sum_{k=1}^{N-1} [\alpha_k(r) \cos khi + \beta_k(r) \sin khi] + \alpha_N(r) \cos \pi i = 0, \quad \left(h = \frac{\pi}{N} \right) \quad (5.1)$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, 2N - 1),$$

akkor

$$\alpha_0(r) = 0, \quad (5.2)$$

$$\alpha_k(r) = 0, \quad (5.3)$$

$$\beta_k(r) = 0, \quad (5.4)$$

$$(k = 1, 2, \dots, N - 1),$$

$$\alpha_N(r) = 0. \quad (5.5)$$

A fenti tétel bizonyításához adjuk össze - i szerint - az (5.1) egyenletrendszer egyenleteit, és alkalmazzuk a trigonometria jól ismert [1]

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \cos khi = \sum_{i=0}^{2N-1} \sin khi = \sum_{i=0}^{2N-1} \cos \pi i = 0 \quad (5.6)$$

azonosságait. Ezáltal a következő egyenletet kapjuk:

$$2N\alpha_0(r) = 0, \quad (5.7)$$

azaz

$$\alpha_0(r) = 0. \quad (5.8)$$

Szorozzuk meg az (5.1) egyenlet mindkét oldalát $\cos \pi i$ -vel, a kapott egyenleteket adjuk össze i szerint, továbbá alkalmazzuk a trigonometria [1]

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \cos khi \cos \pi i = \sum_{i=0}^{2N-1} \sin khi \cos \pi i = \sum_{i=0}^{2N-1} \cos \pi i = 0, \quad (5.9)$$

azonosságait. Ily módon eljárva az alábbi eredményt kapjuk:

$$2N\alpha_N(r) = 0, \quad (5.11)$$

azaz

$$\alpha_N(r) = 0. \quad (5.12)$$

Ha az (5.1) egyenlet mindkét oldalát $\cos lhi$ -vel megszorozzuk, majd a kapott egyenleteket i szerint összegezzük, akkor a trigonometria [1]

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \sin khi \cos khi = 0, \quad (5.13)$$

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \cos khi \cos lhi = \begin{cases} 0, & \text{ha } k \neq l, \\ N, & \text{ha } k = l, \end{cases} \quad (5.14)$$

$$(1 \leq k \leq N-1, \quad 1 \leq l \leq N-1)$$

azonosságainak a felhasználásával a bizonyítandó (5.3) egyenletet kapjuk. Végül teljesen hasonlóan az (6.1) egyenletből $\sin lhi$ -vel való átszorzásból kapott egyenletek i szerinti összegezésével előállított egyenletből, a

$$\sum_{i=0}^{2N-1} \sin lhi \sin khi = \begin{cases} 0, & \text{ha } k \neq l \\ N, & \text{ha } k = l \end{cases} \quad (5.15)$$

azonosság alkalmazásával az (5.4) egyenletet tudjuk levezetni.

I. táblázat

A (2.31)-es karakterisztikus egyenlet gyökei

$$\left(\nu = \frac{1}{3}; N = 5, 6, 7, 8, 9, 10 \right)$$

$N = 5$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	1,99956	0,38037
2	3,22388	1,15277
3	4,73312	1,62068
4	5,97144	1,82274

$N = 8$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	2,00006	0,24376
2	3,11136	1,0803
3	4,51781	1,77808
4	6,13568	2,20951
5	7,72355	2,47083
6	9,04985	2,62652
7	9,92789	2,70963

$N = 6$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	1,99990	0,320057
2	3,17599	1,12247
3	4,68548	1,68627
4	6,20045	1,97624
5	7,30285	2,11456

$N = 9$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	2,00007	0,216012
2	3,09075	1,06692
3	4,44427	1,81079
4	6,03695	2,30049
5	7,68944	2,61471
6	9,21166	2,81700
7	10,4359	2,94305
8	11,2285	3,01223

$N = 7$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	2,00002	0,275947
2	3,13896	1,09890
3	4,60149	1,73740
4	6,20901	2,10271
5	7,63970	2,30618
6	8,62029	2,41020

$N = 10$

k	μ_{k1}	μ_{k2}
1	2,00007	1,94776
2	3,07513	1,05611
3	4,38228	1,83734
4	5,93572	2,37834
5	7,60335	2,74131
6	9,23007	2,98696
7	10,6718	3,15207
8	11,8028	3,20321
9	12,5239	3,31739

$$\mu_{k1} = -\mu_{k3} \quad \mu_{k2} = -\mu_{k4}$$

II. táblázat

A (2.34)-es karakterisztikus egyenlet gyökei

$$\left(\nu = \frac{1}{3}; N = 5, 6, 7, 8, 9, 10 \right)$$

N = 5

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,4966	1,35933
2	4,46085	1,46058
3	5,71496	1,63661
4	6,29724	1,80647

N = 8

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,54122	1,36914
2	4,81717	1,49461
3	6,74857	1,71348
4	8,23425	1,97639
5	9,25218	2,25001
6	9,85679	2,49649
7	10,1509	2,67176

N = 6

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,51879	1,36428
2	4,63390	1,47796
3	6,19662	1,67725
4	7,14497	1,90028
5	7,58723	2,08338

N = 9

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,54735	1,37048
2	4,86860	1,49899
3	6,91103	1,72247
4	8,57797	1,99334
5	9,82679	2,28396
6	10,6725	2,56658
7	11,1776	2,80881
8	11,4290	2,97486

N = 7

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,53234	1,36724
2	4,74368	1,48814
3	6,52213	1,69976
4	7,77240	1,94885
5	8,51690	2,19141
6	8,87075	2,37364

N = 10

k	μ_{k1}^*	μ_{k2}^*
1	2,55175	1,37138
2	4,90592	1,50210
3	7,03092	1,72868
4	8,83809	2,00449
5	10,2705	2,30499
6	11,3381	2,60842
7	12,0544	2,89097
8	12,4863	3,12496
9	12,7059	3,28130

$$\mu_{k1}^* = -\mu_{k2}^*, \quad \mu_{k3}^* = -\mu_{k4}^*$$

IRODALOM

1. JORDAN, CH.: Calculus of Finite Differences. Budapest 1939
2. MALVERN, L. E.: Introduction to the Mechanics of a Continuous Medium. Prentice-Hall, Inc. Engewood Cliffs, New Jersey 1967
- Лурье, А. И.: Теория упругости, Издательство Наука, Москва 1970
4. MICHLIN, S. G.—SMOLICZKI, H. L.: Näherungsmethoden zur Lösung von Differential- und Integralgleichungen. Leipzig 1969

An Approximate Method for the Solution of Planar Problems of the Theory of Elasticity. — An approximate method to be applied for solving inplane problems of the theory of elasticity is described. The principle of the approximate procedure is the solution for Navier's partial differential equation established for the displacement vector by applying functions of discret arguments with one single variable.

Ein Annäherungsverfahren zur Lösung zweiachsiger Aufgaben der Elastizitätslehre. — Behandelt wird eine Annäherungsmethode zur Lösung zweiachsiger Aufgaben der Elastizitätslehre. Das Prinzip des Verfahrens ist die Lösung der für den Verschiebungsvektor aufgeschriebenen Navierschen Partialdifferentialgleichung durch Anwendung von Funktionen einer Veränderlichen diskreten Argumentes.

TÖBBCÉLÚ LÉTESÍTMÉNYEK OPTIMÁLIS BIZTONSÁGÁNAK RENDSZERSZEMLELETŰ VIZSGÁLATA*

MISTÉTH ENDRE**

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1976. január 23-án]

A tanulmány általánosságban foglalkozik a méretezéssel. Kimutatható, hogy az erőtani méretezésnél alkalmazott alapösszefüggés az épület hidraulikai, technológiai és hőellátási méretezéseinél is alkalmazható. Ha a vállalt kockázatokat meghatározták, akkor az egymástól független alrendszerek is méretezhetők. A vállalt kockázatokat, amelyek a különböző alrendszereknél már nem függetlenek egymástól, a teljes költség optimalizálása alapján lehet meghatározni.

Jelölések

R	a létesítmény szakágazat szerinti kapacitása
S	a szakágazat szerinti műszaki igény
$Y = R - S$	a szakágazat szerinti méretezési tartalék
ξ, η, ζ	valószínűségi változók
$\xi(t), \eta(t)$	sztochasztikus folyamatok
$a = E(\xi) = \bar{R}$	várható érték
$s = D(\xi)$	szórás
$v = s/a$	variációs tényező
$\mu_i = E\{[\xi - E(\xi)]^i\}$	i -ed rendű centrális momentum
$\mu_f = \mu_3/s^3$	ferdeség
$\mu_c = \mu_4/s^4 - 3$	csúcosság
$1/k, 1/r$	vállalt kockázat
$P(\xi < x) = F(x)$	valószínűségi eloszlásfüggvény
$f(x) = dF(x)/dx$	valószínűségi sűrűségfüggvény
t, τ	idő
T	tervezett élettartam
C	a létesítmény újrалétesítési költsége
F	a létesítmény fenntartási költsége
B	a létesítmény üzemköltsége
E	az üzem részleges ki nem elégítettsége miatti károk
D	az tönkremenetelkor (meghibásodáskor) keletkező károk
K	összes költség
q	kamattényező
$h = (q-1)q^t/(q^t-1)$	leírási hányad
l	geometriai méret
$g = g(l)$	geometriai méretfüggvény
c, f, b, e, d	állandók

* A Műszaki-Gazdasági Rendszertechnikai Albizottság 1975. XI. 24-i kibővített ülésén megvitatott előadás.

** Dr. Mistéth Endre, 1085 Budapest VIII., Csepreghy u. 2.

1. Bevezetés

Az építőmérnök feladata a tér elhatárolása, hogy benne egy társadalmi vagy egy természet átalakításával kapcsolatos folyamatot gazdaságosan lehessen végrehajtani. A műszaki tudományok feladata ennek a tevékenységnek az alapjait részben a természettudományokból átvenni, részben önállóan biztosítani. A tervezés feladata tulajdonképpen a műszaki tudományok alkalmazása egy-egy egyedi konkrét feladatra.

Az építőmérnöki létesítmények tervezése öt részre bontható:

a) A technológiai tervezés, ami térben és időben megoldja a természet átalakítási vagy társadalomátalakítási folyamatot.

b) A technológiai berendezések tervezése, ami az átalakítással kapcsolatos gépek vagy létesítmények tervezése, vagy gyártmányok adaptálása.

c) Építési tervezés, ami a technológiai berendezések térbeli lehatárolása.

d) Üzemviteli tervezés, ami a technológiai folyamatot időben megoldja és biztosítja.

e) Fenntartási tervezés, ami a tervezett élettartamra figyelemmel a beruházott létesítmények karbantartását és felújítását szolgálja.

Minden a fentiekben felsorolt tervezési részben öt fázis különböztethető meg.

A) Előkészítés, ami az adatgyűjtésből és az előtanulmányokból áll.

B) Konceptió kialakítás, ami a fizikai folyamat meghatározását, a berendezések megválasztását, a hidraulikai, a hőtani, a szerkezeti stb. rendszer kiválasztását, az energia és létszámigényt, a fenntartási módszerek meghatározását jelenti.

C) Méretezés az előbb felsorolt tervezési részek geometriai méreteinek meghatározása, a B) pontban elképzelt konceptió alapján.

D) Tervkészítés, az előbbieken meghatározott konceptió és méretek ismeretében az elképzelés műszaki realizálása.

E) Gazdasági tervezés, a költségek meghatározása és azok optimalizálása.

A tervezés harmadik fázisa a méretezés, ami minden tervezési szinten mint a tervezés kísérője azonnal fellép. A méretezés alatt nemcsak az erőtani méretezést értve, abban bizonyos sorrendiséget kell tartani. Az első a technológiai igények kielégítése, ami miatt első a technológiai méretezés. Minden egyéb méretezés, erőtani, hidraulikai, hőtani stb. méretezés ezt követi.

A méretezésnél az igényeket sohasem lehet teljesen kielégíteni, bármilyen nagy kapacitására tervezzük a létesítményt, a ki nem elégíthető igények miatt mindig kell egy bizonyos kockázatot vállalni. Természetesen ez a kockázatvállalás attól függ, hogy — a ki nem elégített igények miatt milyen károk keletkeznek, — mennyivel kerül többre a nagyobb kapacitású létesítmény.

Ez a tanulmány részletesen foglalkozik a kockázatvállalás, vagy ami ugyanaz, a biztonság mértékével. A méretezés a műszaki igények kielégítésén

kívül mindig egy gazdasági számítás, egy optimum keresés is. A méretezés tulajdonképpen a beruházási költségek a fenntartási költségek, az üzemviteli költségek, a nem kellő kapacitás miatti károk és a létesítmény esetleges tönkremenetele (meghibásodása) miatti károk műszaki és gazdasági optimumának a keresése. [3]

Az alábbiakban részletesen ismertetésre kerülő méretezési kérdések természetesen nemcsak erőtani vagy hidraulikai méretezésre vonatkoznak, hanem értelemszerűen felhasználhatók a technológiai méretezésekre is.

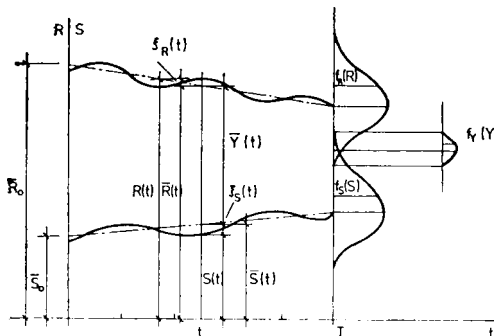
2. A létesítmény kapacitása

A méretezés valószínűségelméleti alapösszefüggése általában

$$P\{[R(t) - S(t)] \geq 0\} \geq \begin{cases} 1 - \frac{1}{k} \\ 1 - \frac{1}{r} \end{cases} \quad (1)$$

$$0 < t \leq T$$

Az (1) kifejezésben $R(t)$ a tervezett létesítmény kapacitása, ami az időben tervszerűen csökkenő is lehet (1. ábra). Ez a kapacitás szakágak szerint más és más: lehet teherbírás, ha erőtani méretezésről van szó; lehet vízhozam, ha hidraulikai méretezésről van szó; lehet hőtermelő képesség, ha hőtani méretezésről van szó. Általában minden szakág többféle méretezést ismer és így a tervezett létesítménnyel kapcsolatban többféle kapacitásról is beszélhetünk (R_1, R_2, \dots, R_m). A kapacitás egy valószínűségi változó, ami idősort alkot. Ez általában két részből tevődik össze, egy trend jellegű rész, ami időben determinisztikusan csökkenő és egy véletlen jellegű rész, aminek az időbeni változása sztohasztikus folyamatot képez.



1. ábra

Azt, hogy a kapacitás valószínűségi változó bővebb magyarázatot nem igényel, hiszen az erőtani teherbírásban a tartószerkezet anyagának szakítószilárdsága valószínűségi változó [4], a létesítmény vízemésztőképességében a vízhozamtényező valószínűségi változó [5], a kazán hőtermelőképesége a tüzelőanyag kalóriatartalmától, a tüzelés módjától függ, amik mind valószínűségi változók. R_1, R_2, \dots, R_m kapacitások meghatározása az illető szakágazat feladata. A folyamat ismert, ha eloszlásfüggvénye illetőleg eloszlásfüggvény rendszere meg van adva. Egyetlen kapacitás eloszlásfüggvénye

$$P(X^{(1)} < x^{(1)} \mid \tau_1 = t_1) = F_{R^{(1)}}(x^{(1)}, t_1) \quad (2a)$$

illetőleg

$$P(X^{(1)} < x^{(1)} \mid \tau_1 = t_1, X^{(2)} < x^{(2)} \mid \tau_2 = t_2, \dots, X^{(j)} < x \mid \tau_j = t_j) = F_{R^{(j)}}(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(j)}, t_1, t_2, \dots, t_j) \quad (2b)$$

Ha a (2) kifejezés adott, akkor a folyamatot első rendben illetőleg j -edrendben ismerjük. Több realizáció feldolgozása árán megismerhetjük minden „ t ” időpontban a folyamat várható értékét, szórását, ferdeségét, csúcosságát stb. Ezek $a_R(t)$, $s_R(t)$, $\mu_{jR}(t)$, $\mu_{cR}(t)$. A szakágak szerinti kapacitásokról feltételezhetők, hogy azok egymástól függetlenek.

3. A műszaki igény

$S(t)$ az a műszaki igény, ami a megrendelő részéről, mint kíváncsi elő van írva. Ez a műszaki igény, szakágak szerint más és más és időben trendszerűen növekvő is lehet (1. ábra).

Erőotani méretezésnél a műszaki igény pl. egy hangversenyteremben a főáthidaló tartóban ébresztett hajlítói igénybevétel, ami természetesen időben változó [4].

Hidraulikai méretezésnél pl. igény vízzel kell ellátni egy kórháztelepet. A vízigény időben változik [6].

Hőotani méretezésnél a megrendelő előírása, hogy egy színház fűtéséről kell gondoskodni. Ez időben változó hőszükségletet jelent. Általában a műszaki igény többféle (S_1, S_2, \dots, S_m) és mindegyik egy valószínűségi változó, aminek véletlen jellegű része ugyancsak sztochasztikus folyamatot alkot. A műszaki igény véletlen jellegű változása bővebb magyarázatra nem szorul.

A szakágak szerinti műszaki igények első közelítésben egymástól függetlenek tekinthetők; az igények meghatározására támpontot az illető szakágak adnak.

A folyamat j -edrendben ismert, ha az alábbi eloszlásfüggvény adott

$$P(X^{(1)} < x^{(1)} \mid \tau_1 = t_1, X^{(2)} < x^{(2)} \mid \tau_2 = t_2, \dots, X^{(j)} < x^{(j)} \mid \tau_j = t_j) = F_{S^{(j)}}(x^{(1)}, x^{(2)}, \dots, x^{(j)}, t_1, t_2, \dots, t_j). \quad (3)$$

A (3) kifejezés előállítására nehéz és bonyolult. A valószínűségi jellemzők előállítására egyszerűbb. Ezek $a_s(t)$ várható érték $s_s(t)$ szórás $\mu_{js}(t)$ ferdeség és $\mu_{cs}(t)$ csúcosság.

4. Méretezési tartalék

$Y_i(t) = R_i(t) - S_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$) „a méretezési tartalék” amit erőtani méretezésnél teherbírási tartaléknak, hidraulikai méretezésnél víz-emésztési tartaléknak, hőtani méretezésnél hőtartaléknak nevezhetünk; $Y_i(t)$ természetesen szintén valószínűségi változó. Az időben való változás miatt idősort alkot, ami két részből áll, egy általában trendszerűen csökkenő rész és egy véletlen jellegű rész, ami ugyancsak sztohasztikus folyamatot alkot (1. ábra). Rögzített időpontban Y_i sűrűségfüggvényét R_i és S_i konvolúciójaként lehet meghatározni:

$$f_{Y_i}(Y_i) = f_{R_i}(R_i) * f_{S_i}(S_i) = \int_{-\infty}^{\infty} f_{R_i}(R_i) f_{S_i}(R_i - Y_i) dR_i \quad (4)$$

$$(i = 1, 2, \dots, m)$$

A „méretezési tartalék” valószínűségi jellemzői is előállíthatók ha R_i és S_i valószínűségi változók egymástól függetlenek.

$$a_{Y_i}(t) = a_{R_i}(t) - a_{S_i}(t)$$

$$[s_{Y_i}(t)]^2 = [s_{R_i}(t)]^2 + [s_{S_i}(t)]^2$$

$$\mu_{fY_i}(t) = \mu_{fR_i}(t) \left[\frac{s_{R_i}(t)}{s_{Y_i}(t)} \right]^3 - \mu_{fS_i}(t) \left[\frac{s_{S_i}(t)}{s_{Y_i}(t)} \right]^3$$

$$\mu_{cY_i}(t) = \mu_{cR_i}(t) \left[\frac{s_{R_i}(t)}{s_{Y_i}(t)} \right]^4 + \mu_{cS_i}(t) \left[\frac{s_{S_i}(t)}{s_{Y_i}(t)} \right]^4$$

$$(i = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

Ha R_i és S_i nem függetlenek, akkor létezik a két változó kovarianciája $K_{R_i S_i} = E(R_i - a_{R_i})(S_i - a_{S_i})$. Ebben az esetben $s_{Y_i}^2 = s_{R_i}^2 + s_{S_i}^2 - 2K_{R_i S_i}$; $K_{R_i S_i} \geq 0$ általában, mert növekvő kapacitás (R_i) növekvő igényt (S_i) ébreszt így $K_{R_i S_i}$ elhanyagolása növeli a szórás, tehát a biztonságot is. (Pl. Nagyobb sajtószáraz tartónak, nagyobb a teherbírása, nagyobb csőátmérő esetén nagyobb az átfolyó vízmennyiség stb.)

Ez az $Y_i(t)$ jelenti a biztonságot, aminek mértékét szakáganként és létesítmény fajtánként a szabályzatok előírják. Felvetődik a kérdés, hogy helyesek-e ezek az előírások, nem túlzott-e a biztonság, ami gazdaságtalan; vagy elégséges-e a biztonság, nincs-e gyakori műszaki kielégítetlenség, ami végső soron ugyancsak gazdaságtalan. Felvetődik továbbá az a kérdés is, hogy a különböző szakágaknál milyen módon válik a méretezési tartalék $Y(t)$ zérussá.

A méretezési tartalék zérussá válása két alapesetre vezethető vissza:

Először is a méretezési tartalék akkor válik zérussá, ha az építmény a tervezett élettartam alatt egy-két szempontból meghibásodik, más szempontból üzemképes. Ilyenkor a létesítmény általában kijavítható.

$$\begin{aligned} Y_i(t) &= 0 \\ t &< T & (i = 1, 2, \dots, u) \quad u \leq m \\ D &> 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Pl. olyan hőtani létesítményrésznel, ahol a berendezésnek a tervezett élettartam alatti tönkremenetelek, a létesítmény más része kijavítható módon meghibásodik.

Ide tartozik az az eset is, amikor az építmény a tervezett élettartam alatt teljesen tönkrement. Ebben az esetben a létesítmény rendesen minden szakág szerinti szempontból használhatatlanná vált.

Pl. ha a tervezett élettartam alatt az építmény főtartórendszere tönkrement, akkor általában az összes szakágak szerinti funkció is megszűnik, vagyis a méretezési tartalék minden szakágára nézve zérussá vált. Ebben az esetben az okozott károk jelentősek.

Másodszor, ha a létesítmény a tervezett élettartam alatt a szakág szerint nem megy tönkre és a méretezési tartalék zérus volta csak az igények részleges ki nem elégítettségéből fakad. Ez általában technológiai méretezéseknél fordul elő:

$$\begin{aligned} Y_i(t) &= 0 \\ t &\leq T & i = i_1 \\ E &\geq 0 \end{aligned} \quad (7)$$

Pl. egy szálloda kapacitása (férőhelyeinek száma) a tervezett élettartam alatt csúcsidőben nagy valószínűséggel egy bizonyos ideig elégtelen. Ebben az esetben az okozott kár a ki nem elégített igényekből keletkezik (elmaradt haszon) és a fenntartási költségekhez hasonlóan évente visszatérőnek kezelhető.

Ide tartoznak azok az esetek is, amikor a meghibásodott alkatrész nem okoz kárt, mert a párhuzamosan kapcsolt alkatrész azonnal üzembe lép, ami alatt mód van az eredeti alkatrészt kijavítani és kicserélni. Ez az eset főleg gépszerkezetekre vonatkozik, de vonatkozik bármely szakág cserélhető berendezéseire is. Ebben az esetben $E = 0$.

5. Vállalt kockázat

Minden méretezésnél $1/r_i$ vagy $1/k_i$ kockázatot kell vállalni. A vállalt kockázat mértéke minden esetben attól függ, hogy az okozott károk (D) vagy a ki nem elégített igények (E) mekkorák. Mindkét esetben az elmaradt haszon is hozzá számítandó. Tulajdonképpen az első esetben a tervezett élettartamra is figyelemmel az okozott károk esetleges bekövetkezésének a valószínűsége ($1/r$), a vállalt kockázat. A második esetben, amikor bizonyos ideig az igények kielégítése csak részleges, a vállalt kockázat ($1/k$) az az időtartam százalék, amikor ez bekövetkezik (a méretezési tartalék zérusra csökkenésének a tartóssága). Mivel ennek bekövetkezési idejéről és tartameloszlásáról semmit sem lehet tudni, ezért a tervezett élettartamra vetített részleges kielégítettségi időtartamot egyenletes eloszlásúnak tételezzük fel és — a fenntartási költségekhez hasonlóan — évente egyenlő mértékkel (E) ismétlődőnek vesszük fel.

Az első esetben a vállalt kockázat ($1/r$) mértéke, ha a létesítmény teljes tönkremenetele lehetséges és emberélet veszteséggel is számolni kell (Pl. a főtartórendszer pusztulása) az okozott kártól függően 10^{-3} – $5 \cdot 10^{-5}$ közt változó. Ha a meghibásodás csak jelentéktelen kárt okoz és emberélettel is csak véletlen jelleggel lehet számolni, akkor a vállalt kockázat $5 \cdot 10^{-2}$ – 10^{-3} között változik.

A második esetben, amikor a ki nem elégített igények tartóssága ($1/k$) a vállalt kockázat, vagy amikor a párhuzamosan kapcsolt alkatrészek miatt az egyik meghibásodásáról át lehet kapcsolni a másodikra, a vállalt kockázat ($1/k$) mértéke (a meghibásodás tartóssága) $2 \cdot 10^{-1}$ – 10^{-2} közt változó.

Ezekután felvetődik a kérdés, mekkora legyen $1/r$ illetőleg $1/k$ mértéke; erre lehet szabályzatokban egy bizonyos mértéket megadni, de meghatározható csak gazdasági alapon is.

Az alapkérdés tehát: szakágak szerint milyen kapacitására kell megtervezni egy létesítményt, hogy a megadott műszaki igényeket egy bizonyos valószínűségi szinten kielégítse?

Válasz: olyan kapacitására kell a létesítményt tervezni, hogy a ki nem elégített igények miatt keletkezett kár különbözet kisebb vagy legfeljebb egyenlő legyen a nagyobb kapacitású létesítmény beruházási költségtöbbleténél.

A méretezés tehát a műszaki tervezésnek az a része, amelynek feladata a létesítmény rendeltetésszerű használatánál az előírt élettartam alatt, a szakágzatnak megfelelő kapacitás, összes ellentmondás nélküli műszaki és gazdasági, minőségi és mennyiségi jellemzőinek, optimális valószínűséggel való meghatározása.

6. Tervezett élettartam

T a létesítmény tervezett élettartama, ami nélkül a méretezés nem egyértelmű, mert a mű kapacitása $R(t)$ az élettartam folyamán változik, általában csökkenő. A műszaki igény $S(t)$ változása az élettartam alatt, vagy trendszerűen növekvő, vagy véletlen jellegűen változó, de elmondható, hogy növekvő élettartam alatt a nagyobb hatások bekövetkezésének nagyobb a valószínűsége, mint kisebb élettartamú létesítményeknél [5]. Ha

$$P[S(T_1) \leq X_1] = P[S(T_2) \leq X_2]$$

és

$$T_1 > T_2, \quad (8)$$

akkor

$$X_1 > X_2$$

7. Beruházási költségek

Az (1) kifejezés alapján (5) képlet segítségével az építmény szakágak szerinti kapacitása

$$R(t, m) = \bar{S}(t) + m \sqrt{[s_R(t)]^2 + [s_S(t)]^2},$$

$$m = m_Y(\mu_f, \mu_c, r) \quad (9)$$

kell legyen. A (9) kifejezés azt mondja, hogy a létesítmény kapacitása „ m ”-ben lineárisan változó: rögzített eloszlás mellett „ m ” értéke csak a vállalt kockázattól függ. „ m ” értékeinek változása tetszésszerűen $F(x) = 1 - \exp[-h(x)] = 1/r$ típusú eloszlásfüggvényénél rögzített μ_f és μ_c mellett $m = \beta_0 + \beta_1 \ln r$ (pl. normális eloszlásnál a $4 < \ln r < 12$ között maximálisan 3% hibával $\beta_0 = 1,22$, $\beta_1 = 0,26$. Ennek oka az, hogy az eloszlások $1/r < 0,01$ értékeknél általában aszimptotikusan tartanak a zérushoz és ez a zérushoz való simulás jól közelíthető egyenes darabokkal. Az eloszlások nagy családjánál $h(x)$ racionális egészfüggvény, amikor is $\ln r$ -ben különösen jól lehet az aszimptotikus zérushoz tartást egyenessel közelíteni.

Kis határok között a létesítmény beruházási költségei a kapacitásával arányosan nőnek: $C = A_0 + A_1(Rt)$. Ezeket a kifejezéseket egymásba helyettesítve

$$C = \{A_0 + A_1 \bar{S}(t) + A_1 \beta_0 \sqrt{[s_R(t)]^2 + [s_S(t)]^2}\} +$$

$$+ A_1 \beta_1 \sqrt{[s_R(t)]^2 + [s_S(t)]^2} \ln r. \quad (10)$$

Az előbbi kifejezésben

$$A_1 \bar{S}(t) + A_1 \beta_0 \sqrt{[s_R(t)]^2 + [s_S(t)]^2} = cg \quad (11)$$

$g = g(l)$ a geometriai méretektől illetőleg technológiai paramétereiktől függő mennyiség (pl. erőtan méretezésnél a szelvény keresztmetszeti területe, hidraulikai méretezésnél a cső keresztmetszet területe stb.) vagyis felírható, hogy

$$C = C_0(c_0 + c_1 \ln r + c_2 \ln k + c_3 g). \quad (12)$$

A (12) kifejezés számpéldák alapján elvégzett regresszió számításával, akár erőtan [4], akár hidraulikai méretezésről [5] legyen szó, 3% pontossággal igaz. A (12) kifejezésben C_0 az optimális geometriai méretek mellett, az optimálisan vállalt kockázatokhoz tartozó beruházási költség.

8. Fenntartási költségek

A létesítmény fenntartási költsége az előbb felsorolt indokok alapján ugyancsak $\ln k$, $\ln r$ és $g(l)$ függvényei. Ez az állítás nem bizonyított, de a valószínűségszámítás összefüggéseiben kézenfekvőnek látszik, hogy mint a beruházási költségek $\ln k$ és $\ln r$ lineáris függvényei a fenntartási költségek nőnek, ha az esetleges tönkremenetellel szemben ($1/r$) a vállalt kockázat csökken. Ez regressziószámításal igazolva van [8]. A ki nem elégített igények növekedésével a vállalt kockázat $1/k$ is növekszik, így a tervezett létesítmény kisebb kapacitású lesz a fenntartási költségek pedig csökkennek. A geometriai méretek illetőleg technológiai paraméterek függvényének $[g(l)]$ növekedésével a fenntartási költségek ugyancsak növekszenek:

$$F = F_0 \left[f_0 + \frac{f_1}{\ln r} + f_2 \ln k + f_3 g \right]. \quad (13)$$

F_0 az optimálisan vállalt kockázatu és geometriai méretű létesítmény fenntartási költsége. Általában igaz, hogy

$$F = F \left[\frac{1}{\ln r}, \ln k, g \right]. \quad (14)$$

9. Üzemköltségek

Az üzemköltségekre lényegében hasonlót lehet mondani, mint a fenntartási költségekre, vagyis $\ln k$ és $g(l)$ függvényei. Az üzemköltségek függetlenek az esetleges tönkremenetellel szemben vállalt kockázattól ($1/r$). Az üzemköltség a kapacitás növekedésével, — amikor a ki nem elégített igények mértéke csökken — növekszenek.

A geometriai méretekből illetőleg technológiai paramétereiből alkotott függvény $[g(l)]$ növekedésével az üzemköltségek csökkennek. Tehát

$$B = B \left[\frac{1}{g}, \ln k \right]. \quad (15)$$

A legegyszerűbb esetekben ez a (15) összefüggés így alakul:

$$B = B_0 \left[b_0 + b_1 \ln k + \frac{b_2}{g} \right]. \quad (16)$$

A (16) kifejezésben B_0 az optimális kockázatvállalású és az optimális geometriai méretekből alkotott létesítmény éves üzemköltsége. Mindig elérhető, hogy B , $\ln k$ -ban és $1/g$ -ben racionális egészfüggvény legyen.

10. Az okozott károk

A tervezett élettartam alatt az esetleges tönkremenetelkor keletkező kár az elmaradt hasznot is beszámítva az előbb elmondottakra figyelemmel, ugyancsak $\ln r$ függvénye. Ez az összefüggés olyan, hogy ha a vállalt kockázat növekszik, akkor az esetleges tönkremenetelkor nagyobb károk keletkeznek. Az esetleges tönkremenetelkor keletkezett kár független a geometriai méretek illetőleg technológiai paraméterek $g(l)$ függvényétől és független a ki nem elégített igények tartósságától is. Vagyis

$$D = D \left(\frac{1}{\ln r} \right). \quad (17)$$

A legegyszerűbb esetekben ez a fordított arányosság így alakul:

$$D = D_0 \left(d_0 + \frac{d_1}{\ln r} \right) \quad (18)$$

A (18) kifejezésben D_0 az optimális kockázatú létesítmény esetleges tönkremenetelkor okozott kár összege. Mindig elérhető, hogy (17) kifejezés $1/\ln r$ -ben racionális egész függvény legyen.

11. A ki nem elégített igények miatt keletkező kár

A tervezett élettartam alatt számolni kell azzal, hogy az igények kielégítése csak részleges. Ez a körülmény technológiai igények kielégítésénél fordul elő. Egy szálloda kapacitása évenként néhány napig nem tudja kielégíteni az igényeket. Egy vízművel hasonló a helyzet, számolni kell azzal, hogy a legmelegebb száraz nyár néhány napján nem áll korlátlan mértékben víz rendelkezésre. Az így kielégítetlen igények miatti károk mivel azokról semmit sem

lehet tudni, egyenletes eloszlásúnak vehetők fel. Ezek a károk mivel évente ismétlődnek a fenntartási költségekhez hasonlóan lépnek fel, azzal a különbséggel, hogy a károk függetlenek a geometriai méretek illetőleg technológiai paraméterek $g(l)$ függvényétől és függetlenek az esetleges tönkremenetellel szemben vállalt $1/r$ kockázattól is. Az eddigiekhez hasonlóan a független változó, k helyett célszerűen $\ln k$ kell legyen. Növekvő vállalt kockázat $1/k$ növekvő kielégítetlen igényeket ébreszt:

$$E = E \left(\frac{1}{\ln k} \right). \quad (19)$$

A legegyszerűbb esetekben ez a fordított arányosság így alakul

$$E = E_0 \left(e_0 + \frac{e_1}{\ln k} \right). \quad (20)$$

A (20) kifejezésben E_0 az optimális kockázatú létesítmény ki nem elégített igények miatti kára. Regresszió számítással mindig elérhető, hogy a (19) összefüggés a ki nem elégített igények miatti kár függvénye $1/\ln k$ -ban racionális egész függvény legyen.

11. Költségoptimum

Az összes költségek, ha a létesítmény $t < T$ időpontban esetleg tönkremegy és újra megépül, a következők:

$$K(t, g, k, r) = C + \frac{1}{h} (F + B + E) + \\ + \frac{1}{r} \left[C \frac{q^T - q^t}{q^T - 1} - (F + B + E) \frac{q^T - q^t}{q^T (q - 1)} + D \right]. \quad (21)$$

A (21) kifejezésben az első tag (C) a létesítmény újralétesítési költsége, a második tag a tervezett élettartam alatt fizetendő fenntartási és üzemköltségek, továbbá a ki nem elégített igények miatti esetleg évente jelentkező károk összege a használatba vétel időpontjára tőkésítve.

A harmadik tag az esetleges tönkremenetelkor okozott károknak a vállalt kockázattal szorzott értéke. Ez a harmadik tag is három részből áll: az első rész az idő előtt (t) tönkrement létesítménynek a még hátralevő leírás részeinek a tönkremenetel időpontjára tőkésített hányada; a második rész, amit természetesen nem kell kifizetni a $(T - t)$ időpontra eső fenntartási- és éves üzemviteli költségeknek, továbbá a ki nem elégített igények miatti éves károknak az esetleges tönkremenetel (t) időpontjára tőkésített értéke; végül a harmadik rész az esetleges tönkremenetelkor keletkezett kár, az újralétesítés az elmaradt hasznot is beszámítva.

A létesítmény hozama mint haszon a (21) összefüggésben nem szerepel, mert a technológiai méretezésnél a mű kapacitását (R) a (9) kifejezés szerint, a vállalt kockázattól függően állapítjuk meg. Az így kiszámított kapacitás, vagyis a létesítmény hozama optimális. Az első két tag tulajdonképpen a „teljes költség”-et adja, csak nem éves viszonylatban, hanem a tervezett élettartamra összegezve és a használatbavétel időpontjára tőkésítve [7], [3].

A (21) kifejezésnek szélső értéke ott lehet, ahol az első deriváltak zérussal egyenlők. Először t szerint deriválva:

$$\frac{\partial K}{\partial t} \equiv -\frac{1}{r} C \frac{q^t}{q^T - 1} \ln q + \frac{1}{r} (F + B + E) \frac{q}{q^T (q - 1)} \ln q = 0.$$

Az előző egyenletből

$$F + B + E = \frac{(q - 1)q^T}{q^T - 1} C. \quad (22)$$

Ha a (22) kifejezés igaz, vagyis a fenntartási és üzemköltségek továbbá a ki nem elégített igények miatti költségek éppen a létesítési költségek éves leírási hányadával egyenlők, akkor a szélső érték „ t ”-től független lehet. Azt, hogy a (22) feltétel kielégítésekor van-e szélső érték a második deriváltból tudjuk meg:

$$\frac{\partial^2 K}{\partial t^2} \equiv \frac{q}{r} (\ln q)^2 \left[\frac{C}{q^T - 1} - \frac{F + B + E}{q^T (q - 1)} \right] = 0.$$

Az előző kifejezésből látható, hogy (22) feltétel teljesülése esetén

$$\frac{\partial^2 K}{\partial t^2} = \frac{\partial^n K}{\partial t^n} = 0$$

tehát nincs szélső érték. Általában $F + B + E < hC$ ezért a legnagyobb a kár, ha $t = 0$ vagyis ha a létesítmény éppen a használatbavétel időpontjában tönkremegy, ha $F + B + E > hC$, akkor $t = T$ időpontban a legnagyobb a kár. Az első esetben a (21) kifejezés a következőképpen módosul:

$$K(g, h, r) = C + \frac{1}{h} (F + B + E) + \frac{1}{r} \left[C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D \right]. \quad (23)$$

A (23) kifejezést g szerint deriválva:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial g} &\equiv \frac{\partial C}{\partial g} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial F}{\partial g} - \frac{\partial B}{\partial \left(\frac{1}{g} \right)} \frac{1}{g^2} \right] + \\ &+ \frac{1}{r} \left[\frac{\partial C}{\partial g} - \frac{1}{h} \frac{\partial F}{\partial g} + \frac{1}{h} \frac{\partial B}{\partial \left(\frac{1}{g} \right)} \frac{1}{g^2} \right] = 0. \end{aligned}$$

Az előző egyenletet $g(l)$ -re megoldva feltételezve, hogy $g''(l) \neq 0$:

$$g = \sqrt{\frac{\frac{\partial B}{\partial(1/g)}}{h \frac{\partial C}{\partial g} \frac{r+1}{r-1} + \frac{\partial F}{\partial g}}}$$

A (24) kifejezésben általában $r \geq 30$ így $(r+1)/(r-1) < 1,07$ és ha a (12) kifejezés is igaz, akkor

$$g \sim \sqrt{\frac{\frac{\partial B}{\partial(1/g)}}{hC_0c_3 + \frac{\partial F}{\partial g}}}$$

Ha a (24) vagy (25) kifejezések jobb oldala is tartalmaz g -s tagokat, akkor csak fokozatos közelítéssel lehet g értékét meghatározni. A (25) kifejezés tovább egyszerűsödik ha (13) és (16) összefüggések is fennállnak:

$$g \sim \sqrt{\frac{B_0b_2}{hC_0c_3 + F_0f_3}} \quad (26)$$

A (26) kifejezésből látható, hogy g értéke független k és r -től a vállalt kockázatoktól.

A (26) kifejezés minimum, mert általában

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 K}{\partial g^2} &\equiv \frac{\partial^2 C}{\partial g^2} \frac{r+1}{r} + \frac{\partial^2 F}{\partial g^2} \frac{r-1}{rh} + \frac{\partial^2 B}{\partial(1/g)^2} \frac{r-1}{rh} \frac{1}{g^4} + \\ &+ \frac{\partial B}{\partial(1/g)} \frac{r-1}{rh} \frac{2}{g^3}. \end{aligned}$$

Ha (12), (13), (16) és (20) kifejezések is fennállnak, akkor

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial^2 K}{\partial g^2} \right]_{g_{opt}} &= B_0b_2 \frac{r-1}{rh} \frac{hC_0c_3 + F_0f_3}{B_0b_2} \sqrt{\frac{B_0b_2}{hC_0c_3 + F_0f_3}} = \\ &= \frac{r-1}{r} \left(C_0c_3 + F_0f_3 \frac{1}{h} \right) \sqrt{\frac{B_0b_2}{hC_0c_3 + F_0f_3}} > 0, \end{aligned}$$

mert

$$\left[\frac{\partial^2 K}{\partial g^2} \right]_{g_{\text{opt}}}$$

kifejezés minden betűje pozitív. Ha (12), (13) és (16) kifejezések nem igazak, akkor a szélső érték meghatározására az adott esetben további vizsgálat szükséges.

Ha olyan létesítményről van szó, ahol az üzemköltség a geometriai mérettől független $\partial B/\partial g = 0$, akkor a (24), (25) és (26) kifejezések szerint $g = \text{const}$. Ezekben az esetekben pl. erőtanú méretezésnél az optimális magasság vagy az optimális vasszálék stb. meghatározását a leggazdaságosabb $R(t, m)$ érték meghatározása után kell valamilyen ismert módszer szerint kiszámítani.

A (23) kifejezést k szerint deriválva:

$$\begin{aligned} \frac{\partial K}{\partial k} = & \frac{\partial C}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial B}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} + \frac{\partial F}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} - \frac{\partial E}{\partial(1/\ln k)} \frac{1}{(\ln k)^2} \frac{1}{k} \right] + \\ & + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial C}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} - \frac{1}{h} \left[\frac{\partial B}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} + \frac{\partial F}{\partial(\ln k)} \frac{1}{k} - \frac{\partial E}{\partial(1/\ln k)} \frac{1}{(\ln k)^2} \frac{1}{k} \right] \right] = 0. \end{aligned}$$

Az előző egyenletet k -ra megoldva:

$$k = \exp \sqrt{\frac{\frac{\partial E}{\partial(1/\ln k)}}{h \frac{\partial C}{\partial(\ln k)} \frac{r+1}{r-1} + \frac{\partial B}{\partial(\ln k)} + \frac{\partial F}{\partial(\ln k)}} \quad (27)$$

A (27) kifejezés $r \geq 0$ értékeknél, ha a (12) kifejezés is igaz, akkor

$$k \sim \exp \sqrt{\frac{\frac{\partial E}{\partial(1/\ln k)}}{h C_0 c_2 + \frac{\partial B}{\partial(\ln k)} + \frac{\partial F}{\partial(\ln k)}}} \quad (28)$$

Ha a (27) és (28) kifejezések jobb oldala is tartalmaz k -s tagokat, akkor csak fokozatos közelítéssel lehet k értékét meghatározni.

A (28) kifejezés tovább egyszerűsödik, ha a (13), (16) és (20) kifejezések is igazak:

$$k \sim \exp \sqrt{\frac{E_0 e_1}{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}} \quad (29)$$

A (29) kifejezésből látható, hogy k értéke független a geometriai méretektől és független a tönkremenetellel szemben vállalt kockázattól.

A (29) kifejezés minimum, mert általában

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 K}{\partial k^2} &\equiv \frac{1}{k^2} \left[\left[\frac{\partial^2 C}{\partial (\ln k)^2} - \frac{\partial C}{\partial (\ln k)} \right] \left(1 + \frac{1}{r} \right) + \right. \\ &+ \frac{1}{h} \left[\frac{\partial^2 B}{\partial (\ln k)^2} - \frac{\partial B}{\partial (\ln k)} + \frac{\partial^2 F}{\partial (\ln k)^2} - \frac{\partial F}{\partial (\ln k)} \right] \left(1 - \frac{1}{r} \right) \left. \right] + \\ &+ \frac{1}{k^2} \frac{1}{h} \left[\frac{\partial^2 E}{\partial \left(\frac{1}{\ln k} \right)^2} \frac{1}{(\ln k)^2} + \frac{\partial E}{\partial \left(\frac{1}{\ln k} \right)} \frac{2}{(\ln k)} \right] \frac{1}{(\ln k)^2} \left(1 - \frac{1}{r} \right). \end{aligned}$$

Ha a (12), (13), (16) és (20) kifejezések is fennállnak, akkor

$$\begin{aligned} \left[\frac{\partial^2 K}{\partial k^2} \right]_{k_{\text{opt}}} &= \exp \left[-2 \sqrt{\frac{E_0 e_1}{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}} \right] \times \\ &\times \left\{ -C_0 c_2 \left(1 + \frac{1}{r} \right) - \frac{1}{h} \left(1 - \frac{1}{r} \right) [B_0 b_1 + F_0 f_2] \right\} + \\ &+ \exp \left[-2 \sqrt{\frac{E_0 e_1}{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}} \right] \times \\ &\times \frac{1}{h} \left(1 - \frac{1}{r} \right) \frac{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}{E_0 e_1} \left(E_0 e_1 + 2 E_0 e_1 \sqrt{\frac{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}{E_0 e_1}} \right) = \\ &= \exp \left[-2 \sqrt{\frac{E_0 e_1}{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}} \right] \times \\ &\times \left[-C_0 c_2 \frac{2}{r} + \frac{2}{h} \left(1 - \frac{1}{r} \right) (h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2) \sqrt{\frac{h C_0 c_2 + B_0 b_1 + F_0 f_2}{E_0 e_1}} \right] > 0, \end{aligned}$$

mert a

$$\left[\frac{\partial^2 K}{\partial k^2} \right]_{k_{\text{opt}}}$$

kifejezés minden betűje pozitív. Az első tényező exponenciális kifejezés, ami mindig pozitív, a második tényező lényegesen pozitív, bár az első tag negatív, de az osztó $r > 30$ így az első tag értéke közel zérus.

Ha a (12), (13), (16) és (20) kifejezések nem igazak, akkor a szélső érték meghatározására az adott esetben további vizsgálat szükséges.

A (23) kifejezést r szerint deriválva:

$$\frac{\partial K}{\partial r} \equiv \frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r} - \frac{1}{r^2} \left[C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D \right] + \\ + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r} - \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2} \frac{1}{r} \right] = 0.$$

Az előző egyenletet r -re megoldva:

$$r = \frac{C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D - \frac{\partial C}{\partial(\ln r)} + \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2}}{\frac{\partial C}{\partial(\ln r)}}. \quad (30)$$

Ha a (12) kifejezés igaz, akkor

$$r = \frac{C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D - C_0 c_1 + \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2}}{C_0 c_1}. \quad (31)$$

Mivel a (30) és (31) kifejezés jobb oldala is tartalmaz r -s tagokat, akkor csak fokozatos közelítéssel lehet r értékét meghatározni. A (31) kifejezés tovább egyszerűsödik, ha a (18) kifejezés is igaz, akkor ti.

$$r = \frac{C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D - C_0 c_1 + D_0 d_1 \frac{1}{(\ln r)^2}}{C_0 c_1}. \quad (32)$$

A (32) kifejezés minimum, mert általában

$$\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} \equiv \frac{\partial^2 C}{\partial(\ln r)^2} \frac{1}{r^2} - \frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r^2} + \frac{2}{r^3} \left[C - \frac{1}{h} (F + B + E) + D \right] + \\ + \frac{1}{r} \left[\frac{\partial^2 C}{\partial(\ln r)^2} \frac{1}{r^2} - \frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r^2} + \frac{\partial^2 D}{\partial(1/\ln r)^2} \frac{1}{(\ln r)^4} \frac{1}{r^2} + \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{2}{(\ln r)^3} \frac{1}{r^2} + \right. \\ \left. + \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2} \frac{1}{r^2} \right] - \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r} - \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2} \frac{1}{r} \right] - \\ - \frac{1}{r^2} \left[\frac{\partial C}{\partial(\ln r)} \frac{1}{r} - \frac{\partial D}{\partial(1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2} \frac{1}{r} \right]$$

$$\equiv \frac{1}{r^3} \left\{ \left[\frac{\partial^2 C}{\partial (\ln r)^2} - \frac{\partial C}{\partial (\ln r)} \right] (r+1) - 2 \frac{\partial C}{\partial (\ln r)} + 2 \left[C - \frac{1}{h} (F+B+E) + D \right] + \right. \\ \left. + \frac{\partial^2 D}{\partial (1/\ln r)^2} \frac{1}{(\ln r)^4} + \frac{\partial D}{\partial (1/\ln r)} \frac{1}{(\ln r)^2} \left(\frac{2}{\ln r} + 3 \right) \right\}.$$

Ha a (12) és (18) kifejezések is fennállnak, akkor

$$\left[\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} \right]_{r_{\text{opt}}} = \frac{1}{r_{\text{opt}}^3} \left\{ -C_0 c_1 (r_{\text{opt}} + 3) + 2 \left[C - \frac{1}{h} (F+B+E) + D \right] + \right. \\ \left. + \frac{D_0 d_1}{(\ln r)^2} \left(\frac{2}{\ln r} + 3 \right) \right\}.$$

Az r_{opt} helyébe a (32) kifejezést beírva,

$$\left[\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} \right]_{r_{\text{opt}}} = \frac{(C_0 c_1)^3}{\left[C - \frac{1}{h} (F+B+E) + D - C_0 c_1 + \frac{D_0 d_1}{(\ln r)^2} \right]^3} \times \\ \times \left[-C + \frac{1}{h} (F+B+E) - D + C_0 c_1 - \frac{D_0 d_1}{(\ln r)^2} - 3C_0 c_1 + 2C - \right. \\ \left. - \frac{2}{h} (F+B+E) + 2D + \frac{D_0 d_1}{(\ln r)^2} \left(\frac{2}{\ln r} + 3 \right) \right] \\ \left[\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} \right]_{r_{\text{opt}}} = \frac{(C_0 c_1)^3}{\left[C - \frac{1}{h} (F+B+E) + D - C_0 c_1 + \frac{D_0 d_1}{(\ln r)^2} \right]^3} \times \\ \times \left[(C - 2C_0 c_1) - \frac{1}{h} (F+B+E) + D + \frac{2D_0 d_1}{(\ln r)^2} \left(\frac{1}{\ln r} + 1 \right) \right] > 0,$$

mert a

$$\left[\frac{\partial^2 K}{\partial r^2} \right]_{r_{\text{opt}}}$$

kifejezés minden betűje pozitív. Az első tényező pozitív, mert $1/r_{\text{opt}}^3$; a második tényező is pozitív, mert lényegében a kár összeget tartalmazza. Ha a (12) és (18) kifejezések nem igazak, akkor a második derivált pozitív voltának bizonyítására külön vizsgálat szükséges.

12. Többcélú létesítmények méretezése

Vannak olyan létesítmények, amelyek több célt szolgálnak (pl. vízlépcső) [2] vagy olyanok, amelyek technológiai szempontból csak egyféle rendeltetésűek ugyan, de több alrendszerből vannak felépítve. Pl. egy szálloda áll: egy technológiai — egy tartószerkezeti-, egy vízellátási-, egy csatornázási-, egy fűtési-, egy gázszolgáltatási stb. alrendszerből [3]. Általában egy létesítmény „ m ” alrendszerből áll. Az i -dik alrendszer beruházási költsége:

$$C_i = C_i(g_1, g_2, \dots, g_m, \ln k_1, \ln k_2, \dots, \ln k_m, \ln r_1, \ln r_2, \dots, \ln r_m), \quad (33a)$$

fenntartási költsége

$$F_i = F_i(g_1, g_2, \dots, g_m, \ln k_1, \ln k_2, \dots, \ln k_m, \frac{1}{\ln r_1}, \frac{1}{\ln r_2}, \dots, \frac{1}{\ln r_m}), \quad (33b)$$

üzemköltsége

$$B_i = B_i\left(\frac{1}{g_1}, \frac{1}{g_2}, \dots, \frac{1}{g_m}, \ln k_1, \ln k_2, \dots, \ln k_m\right), \quad (33c)$$

a ki nem elégített igények miatti kár

$$E_{ij} = E_{ij}\left(\frac{1}{\ln k_1}, \frac{1}{\ln k_2}, \dots, \frac{1}{\ln k_m}\right), \quad (33d)$$

az esetleges tönkremenetelkor okozott károk

$$D_{ij} = D_{ij}\left(\frac{1}{\ln r_1}, \frac{1}{\ln r_2}, \dots, \frac{1}{\ln r_m}\right). \quad (33e)$$

$$(i = j = 1, 2, \dots, m)$$

E_{ij} az i -dik létesítményrészénél (alrendszerénél) keletkező kár, a j -dik részlétesítmény évenként ismétlődhető műszaki igény kielégítetlenségéből.

D_{ij} az i -dik részlétesítménynél (alrendszerénél) keletkező kár a j -dik részlétesítmény esetleges tönkremenetelkor, vagy meghibásodásakor.

Az E_{ij} ill. D_{ij} károkról feltételezhető, hogy azok egymástól és az esetleges meghibásodásból, vagy az előző évenként megismétlődő műszaki igény kielégítetlenségéből keletkező károktól függetlenek.

Feladatul tűztük ki g_i , k_i és r_i paraméterek meghatározását, azzal a feltétellel, hogy a létesítmények a tervezett élettartamra vonatkozó költsége [7]

minimum legyen:

$$\begin{aligned}
 K(t, g_1, g_2, \dots, g_m, k_1, k_2, \dots, k_m, r_1, r_2, \dots, r_m) = \\
 = \sum_{i=1}^m C_i + \sum_{i=1}^m \frac{1}{h_i} (F_i + B_i + E_i^*) + \\
 + \sum_{i=1}^m \frac{1}{r_i} \left[C_i \frac{q^{T_i} - q^t}{q^{T_i} - 1} - (F_i + B_i + E_i^*) \frac{q^{T_i} - q^t}{q^{T_i}(q - 1)} + D_i^* \right]. \quad (34)
 \end{aligned}$$

A (34) kifejezésben C_i az i -edik létesítményrész újralétesítési költsége, ami a (12) kifejezés analógiájára a következő módon írható le:

$$\begin{aligned}
 C_i = C_{i0}(c_{i0} + c_{i1}g_1 + \dots + c_{im}g_{im} + c_{i1}^{(k)} \ln k_1 + \dots + c_{im}^{(k)} \ln k_m + \\
 + c_{i1}^{(r)} \ln r_1 + \dots + c_{im}^{(r)} \ln r_m), \\
 (i = 1, 2, \dots, m) \quad (35)
 \end{aligned}$$

A (34) összefüggésben levő E_i^* és D_i^* kifejezések a következők:

$$\begin{aligned}
 E_i^* = E_{ij} + \frac{E_{i,j+1}}{\ln k_{j+1}} + \frac{E_{i,j+2}}{\ln k_{j+1} \cdot \ln k_{j+2}} + \dots + \\
 + \frac{E_{im}}{\ln k_1 \cdot \ln k_2 \dots \ln k_{j-1} \cdot \ln k_{j+1} \dots \ln k_m} \quad (36a)
 \end{aligned}$$

és

$$\begin{aligned}
 D_i^* = D_{ij} + \frac{D_{i,j+1}}{\ln r_{j+1}} + \frac{D_{i,j+2}}{\ln r_{j+1} \ln r_{j+2}} + \dots + \\
 + \frac{D_{im}}{\ln r_1 \ln r_2 \dots \ln r_{j-1} \ln r_{j+1} \dots \ln r_m} \quad (36b) \\
 (i = j = 1, 2, \dots, m)
 \end{aligned}$$

E_{ij} és D_{ij} a legnagyobb kárt jelentik az i -dik létesítményrészénél ($j = 1, 2, \dots, m$) $E_{i,j+1}/\ln k_{j+1}$ és $D_{i,j+1}/\ln r_{j+1}$ az $E/\ln k$ és $D/\ln r$ -es tagok közül a legnagyobb és $E_{i,j+2}/(\ln k_{j+1} \ln k_{j+2})$ és $D_{i,j+2}/(\ln r_{j+1} \ln r_{j+2})$ az $E/(\ln k \ln k')$ és $D/(\ln r, \ln r')$ -s tagok közül a legnagyobb stb. Mivel k illetőleg r értékei 20 és 10^4 közt változnak, ezért a (36) kifejezésből csak az első két taggal érdemes tovább számolni. A (36) kifejezés nevezőjében levő $\ln k$ illetőleg $\ln r$ a károknek a biztonság javára való túlértékelése [1]. A (34) kifejezés szélső értékeinek meghatározásához a (21) illetőleg (23) kifejezés analógiájára kell eljárni. A 11. fejezetben elmondottak a 12. fejezetre értelemszerűen átvihetők. Ezek alapján a végeredmények a következők:

A (22) egyenlet helyébe a

$$\sum_{i=1}^m \frac{1}{r_i} \frac{C_i}{q^{T_i} - 1} = \sum_{i=1}^m \frac{1}{r_i} (F_i + B_i + E_i^*) \frac{1}{q^{T_i}(q - 1)} \quad (37)$$

összefüggés lép. Ez az összefüggés azt mondja, hogy a (37) feltétel teljesülése esetében a tönkremenetel idejétől független lehet a szélső érték, tehát nincs szélső érték. „K” legnagyobb értéke, ha a (37) kifejezés bal oldala a nagyobb, általában $t = 0$ időben, ha a jobb oldala a nagyobb akkor $t = T$ időben következik be.

A (24) kifejezés helyett, ha $g'_j(l_j) \neq 0$, a

$$g_j = \sqrt{\frac{\frac{\partial B_i}{\partial(1/g_j)}}{\sum_{i=1}^m \frac{h_i}{\partial g_j} \frac{\partial C_i}{r_i - 1} + \frac{\partial F_i}{\partial g_j}}} \quad (38)$$

$(j = 1, 2, \dots, m)$

kifejezés lép. Ha a (38) kifejezés jobb oldala is tartalmazza a g_j -s tagokat, akkor a fenti egyenletrendszer csak fokozatos közelítéssel próbálgatással lehet megoldani.

A (27) összefüggés helyébe a

$$k_j = \exp \sqrt{\frac{\frac{\partial E_i^*}{\partial(\ln k_j)}}{\sum_{i=0}^m \frac{h_i}{\partial(\ln k_j)} \frac{\partial C_i}{r_i - 1} + \frac{\partial B_i}{\partial(\ln k_j)} + \frac{\partial F_i}{\partial(\ln k_j)}}} \quad (39)$$

$(j = 1, 2, \dots, m)$

kifejezés lép. Ha a (39) kifejezés jobb oldala is tartalmaz k -s tagokat, akkor az m db egyenletből álló egyenletrendszert fokozatos közelítéssel kell megoldani.

A (32) kifejezés helyébe az

$$r_j = \frac{C_j - \frac{1}{h_j} (F_j + B_j + E_j^*) + D_j^* - \frac{\partial C_i}{\partial(\ln r_j)} + \frac{\partial D_j^*}{\partial(1/\ln r_j)} \cdot \frac{1}{(\ln r_j)^2}}{\sum_{i=1}^m \frac{\partial C_i}{\partial(\ln r_j)} + \sum_{i=1}^{j-1} \frac{1}{r_i} \left[\frac{\partial C_i}{\partial(\ln r_j)} - \frac{\partial D_i^*}{\partial(1/\ln r_j)} \frac{1}{(\ln r_j)^2} \right]} \quad (40)$$

$(j = 1, 2, \dots, m)$

összefüggés lép. A (40) kifejezés alapján r_j értékei csak fokozatos közelítéssel határozhatók meg. A jobboldalon $1/r_i$ értékeit előzetesen becsülni kell. Ezenkívül D_i^* értékeit is először meg kell becsülni.

Ha a (35) kifejezésen túlmenően még feltételezhető, hogy

$$F_i = F_{i0} \left(f_{i0} + \frac{f_{i1}^{(r)}}{\ln r_1} + \dots + \frac{f_{im}^{(r)}}{\ln r_m} + f_{i1}^{(k)} \ln k_1 + \dots + \right. \\ \left. + f_{im}^{(k)} \ln k_m + f_{i1} g_1 + \dots + f_{im} g_m \right), \\ B_i = B_{i0} \left[b_{i0} + b_{i1}^{(k)} \ln k_1 + \dots + b_{im}^{(k)} \ln k_m + \frac{b_{i1}}{g_1} + \dots + \frac{b_{im}}{g_m} \right], \quad (41) \\ E_i^* = E_{i0}^* \left[e_{i0}^* + \frac{e_{i1}^*}{\ln k_1} + \dots + \frac{e_{im}^*}{\ln k_m} \right], \\ D_i^* = D_{i0}^* \left[d_{i0}^* + \frac{d_{i1}^*}{\ln r_1} + \dots + \frac{d_{im}^*}{\ln r_m} \right].$$

A (41) összefüggésben levő *-os kifejezések az alábbiak:

$$E_{i0}^* = E_{ij0} + \frac{E_{i,j+1,0}}{\ln k_{j+1}} + \dots + \frac{E_{im0}}{\ln k_1 \cdot \ln k_2 \dots \ln k_{j-1} \ln k_{j+1} \dots \ln k_m}, \\ e_{ik}^* = e_{ijh} + \frac{\ln k_{j+1}}{l_{ij+1h}} + \dots + \frac{e_{imh}}{\ln k_1 \cdot \ln k_2 \dots \ln k_{j-1} \ln k_{j+1} \dots \ln k_m}, \\ (i = j = 1, 2, \dots, m) \\ (h = 0, 1, 2, \dots, m)$$

és

$$D_{i0}^* = D_{ij0} + \frac{D_{i,j+1,0}}{\ln r_{j+1}} + \dots + \frac{D_{im0}}{\ln r_1 \cdot \ln r_2 \dots \ln r_{j-1} \ln r_{j+1} \dots \ln r_m}, \\ d_{ih}^* = d_{ijh} + \frac{d_{i,j+1,h}}{\ln r_{j+1}} + \dots + \frac{d_{imh}}{\ln r_1 \cdot \ln r_2 \dots \ln r_{j-1} \ln r_{j+1} \dots \ln r_m}. \\ (i = j = 1, 2, \dots, m) \\ (h = 0, 1, 2, \dots, m)$$

A *-os kifejezések meghatározásához k és r értékeit közelítőleg előre fel kell venni. Ha a (42) kifejezésből lényegesen eltérő k és r értékek jönnek ki, akkor a számítást meg kell ismételni. Ebben az esetben a (38), (39) és (40) kifejezések

a következőképpen egyszerűsödnek:

$$g_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{B_{i0} b_{ij}}{h_i C_{i0} c_{ij} (r_i + 1) / (r_i - 1) + F_{i0} f_{ij}}}, \quad (43)$$

($j = 1, 2, \dots, m$)

$$k_j = \exp \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{E_{i0}^* e_{ij}^*}{h_i C_{i0} c_{ij}^{(k)} (r_i + 1) / (r_i - 1) + B_{i0} b_{ij}^{(k)} + F_{i0} f_{ij}^{(k)}}$$

$$r_j = \frac{C_j - \frac{1}{h_j} (F_j + B_j + E_j^*) + D_j^* - C_{j0} c_{jj}^{(r)} + \frac{D_{j0}^* d_{jj}^*}{(\ln r_j)^2}}{\sum_{i=1}^m C_{i0} c_{ij}^{(r)} + \sum_{\substack{i=1 \\ j+1}}^m \frac{1}{r_j} \left[C_{i0} c_{ij}^{(r)} - D_{i0}^* \frac{d_{ij}^*}{(\ln r_j)^2} \right]} \quad (44)$$

($j = 1, 2, \dots, m$)

Ha képezzük a (34) kifejezés második deriváltjait és azokba a (44) kifejezést behelyettesítjük, akkor azok valamennyien pozitívak, ezért a (44) összefüggés minimumot ad. A (38), (39), (40) és a (42) kifejezésekből az is látható, hogy g_j , k_j és r_j értékei lényegében egymástól függetlenek.

13. A teljes létesítmény méretezésének gyakorlati menete

a) Első lépés meghatározni a műszaki igény és a kapacitás valószínűségi jellemzőit [$a_{si}(t)$, $s_{si}(t)$, $\mu_{fsi}(t)$, $\mu_{csi}(t)$ és $a_{Ri}(t)$, $s_{Ri}(t)$, $\mu_{fRi}(t)$, $\mu_{cRi}(t)$ ($i = 1, 2, \dots, m$)]

b) Második lépés, meg kell határozni a létesítmény részek beruházási költségeit (C_i) különböző geometriai méretek illetőleg technológiai paraméterek és különböző vállalt kockázat figyelembevételével. Elő kell állítani a (35) kifejezést.

c) Harmadik lépésben meg kell határozni a fenntartási (F_i) és az üzemköltségeket (B_i). Ezek, vagy a (41) kifejezés szerinti egyszerű arányosságot tartalmazó függvények, vagy a magasabb rendű tagokat is tartalmazó racionális tört függvények.

d) Negyedik lépésként meg kell határozni a kárfüggvényeket (E_i^* és D_i^*). Ezek a függvények, vagy a (41) összefüggés szerinti fordított arányosságok vagy még magasabb rendű tagokat is tartalmazó racionális tört függvények.

e) Ötödik lépésben meg kell határozni a (34) kifejezés szerinti költségfüggvényt (K).

f) Hatodik lépésként ki kell számítani az optimális geometriai méretek illetőleg technológiai paraméterek függvényét [$g_i = g_i(l_i)$] és az optimálisan vállalt kockázatot (k_i , r_i) a (38), (39), (40), vagy a (42) összefüggés szerint.

g) Hetedik lépésben ki kell számítani az optimálisan vállalt kockázat alapján, az (5) és (9) összefüggések szerint, az i -edik részlétesítmény vagy alrendszer kapacitását $[R_i(t)]$.

h) A nyolcadik lépésben az $[R_i(t)]$ kapacitás birtokában meg kell határozni a geometriai méreteket illetőleg technológiai paramétereket $[g_i = g_i(l_i)]$ függvény figyelembevételével.

IRODALOM

1. BENEDIKT Szeptelana: A New Optimization Criterion for Games Against Nature Conference on Operations Research. Eger Hungary, 1974. August
2. DÉGEN Imre: Vízgazdálkodás I. A vízgazdálkodás közgazdasági alapjai. Tankönyvkiadó, Budapest 1972
3. JÁNDY Géza: Rendszerelemzés és irányítás. Statisztikai Kiadó Vállalat, Budapest 1975
4. MISTÉTH Endre: Some Safety Problems. Published by the Secretariat of IABSE. Zürich 1968. Eighth Congress, New York
5. MISTÉTH Endre: Dimensioning of Structures for Flood Discharge According to the Theory of Probability. *Acta Techn. Hung.* 76 (1974), 107–127
6. MISTÉTH Endre: Kockázatvállalás a vízgazdálkodásban. *Vizdok* 1975
7. ST. JAMES, L. N.: Economics Dictates Reliability. *IEEE Transactions on Reliability R-14* köt. (1965)
8. SZÁSZ György: A műszaki megbízhatóság. *Szabványügyi Közlemények* (1965), 10 12

Systematic Investigation of the Optimum Safety of Multipurpose Constructions. — Dimensioning is in general treated of. It can be proved that the basic relationship used in dynamic dimensioning calculations may also be applied in dimensioning hydraulic, technologic an heating facilities of a building. Should the risks undertaken to be determined, so the subsystems independent of each other also can be dimensioned. However, the risks undertaken which are at the different subsystems not independent of each other, can be determined by optimization of the total costs.

Systematische Untersuchung der optimalen Sicherheit von Mehrzweckbauwerken. — Der Aufsatz befaßt sich mit der Dimensionierung im allgemeinen. Es kann nachgewiesen werden, daß die bei dynamischer Dimensionierung gebräuchliche Grundformel auch bei der Dimensionierung von hydraulischen, technologischen und Heizanlagen des Gebäudes angewandt werden kann. Sind die übernommenen Risiken einmal ermittelt worden, so können auch die voneinander unabhängigen Teilsysteme dimensioniert werden. Die übernommenen Risiken jedoch, die bei den unterschiedlichen Teilsystemen nicht mehr voneinander unabhängig sind, können durch die Optimalisierung der Gesamtkosten ermittelt werden.

A KORSZERŰ RENDSZERSZEMLÉLETŰ ÉPÜLET- ÉS SZERKEZETTERVEZÉSI MÓDSZEREK TUDATOS ALKALMAZÁSA*

AZ ÉPÍTÉSZMÉRNÖKÖK VÁLTOZÓ SZEREPE AZ IPAROSÍTOTT ÉPÍTÉSI ELJÁRÁSOK TERVEZÉSÉBEN

PETRÓ BÁLINT**

[Beérkezett 1976. január 23-án]

Az épületszerkezetek tervezése napjainkban már hagyományos intuitív módon nem valósítható gazdaságosan, ugyanis a sokrétű és bonyolult összefüggéseket még a gyakorlott szakemberek sem képesek egyidőben objektíven mérlegelni. Ezért van szükség a rendszerszemléletű tervezés bevezetésére, amely feltárja az összefüggéseket, mérlegeli a kapcsolatok súlyát, majd az algoritmusok, a heurisztikus tervezési módszer és a szerkezhierarchiák segítségével, egy tudatos szerkezetfejlesztési folyamaton keresztül, az optimális vagy közel optimális megoldás lehetőségét biztosítja. Természetes, hogy az újszerű szerkezettervezés, az iparosított építési eljárások alkalmazása újszerű szakember gárdát igényel és hoz létre, így alakul ki a „konkrét építész” (vagy épülettervező építész) és az „absztrakt építész” (akinek feladata az építési rendszerek, illetve rendszer komponensek kifejlesztése).

1. Bevezetés

Az építés folyamata az ipari háttér megváltoztatásával, az új építés anyagok bevezetésével, a félkész termékek számának növekedésével, a különféle tudományterületek (épületfizika, humánökológia, környezetvédelem stb.) térhódításával, bonyolult, összetett, sokrétű, a feladatok sokszor áttekinthetetlen szövevényévé vált, amely napjainkban már nem teszi lehetővé a hagyományos tervezés-szemlélet alkalmazását, míg az operációkutatás, a rendszerelmélet, a kibernetika mind nagyobb mértékű térhódítása, lehetőséget teremt egy új, korszerű szerkezettervezési szemlélet érvényesítésére, a nagy objektumok létesítése során. A felsorolt tényezők és lehetőségek hatására a korábban egységes építész tevékenység is megváltozik, polarizálódik.

E változás lényegében a kor természetes igénye, mert az építész hivatása, tevékenysége az idők folyamán állandóan változik;

- A XIX. századig az építésznek művész a jelzője,
- a XX. században már a technika embere és a szociológia reformere,
- az 1950-es években elsődlegesen a műszaki koordinátor szerepét tölti be, míg

* A Műszaki-Gazdasági Rendszertechnikai Albizottság 1975. XI. 24-i kibővített ülésén megvitattott előadás.

** Dr. Petró Bálint,

— jelenleg az építész fő feladata az ember számára a *komplex környezet megteremtése*, (mely magában foglalja a külső-belső terek viszonyait, azok műszaki-gazdasági jellemzőivel és az esztétikai megjelenítő formával).

E megváltozott feladatkör természetszerűen sokrétű *építész tevékenységet* (az építész szakemberek polarizálódását és együtt dolgozását) továbbá újszerű *tervezés-szemléletet* (heurisztikus tervezési módszerek alkalmazását és hierarchikus szerkezet tervezési metodikát igényel).

A továbbiak e két gondolatot kívánják részletesen elemezni.

2. A megváltozott tervezés-szemlélet fogalma

Régebben és jelenleg is általában, egy adott funkcióra a létesítendő épületet (annak formáját és szerkezetét) a tervező építész határozza meg (több-kevesebb szaktudása, szakmai gyakorlata és józan ítélőképessége alapján). E módszer lényegében az alkotó művész tevékenységének felelt meg, de a jelenleg szükséges komplex környezettervező feladatát az építész e módon megvalósítani már nem képes (1. ábra).

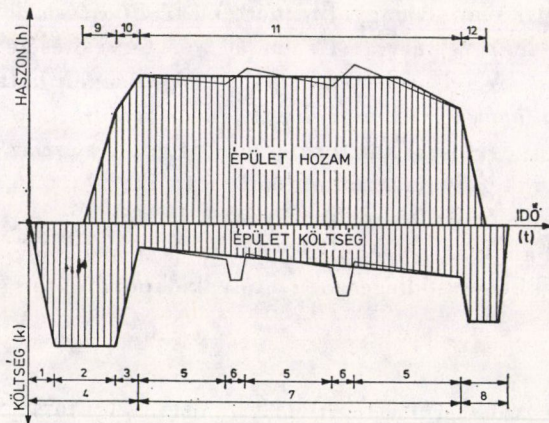
A nagy, bonyolult objektumok létesítéséhez szükséges tervező munka két fő szakaszra bontható:

a) a „tervezés” folyamatára, amely egy meghatározott rendszerszemlélet alapján végrehajtott tudatos tervezési folyamatot jelent, megelőzve és alapját képezve,

b) a „megtervezés” folyamatának, azaz a konkrét épület kialakításának.

Az eddigi és jelenleg is szokásos tervezési tevékenység legtöbbször csupán a „megtervezés” folyamatára, a létesítendő új épület kialakítására korlátozódik, jóllehet komplex környezettervezést, jelentős költségmegtaka-

$$W = \int \frac{hdt}{kdt}$$



1. ábra

rítást (hiszen az összköltség tényezőknek mintegy kétharmadáról a „tervezés” folyamatában kell dönten) csak a „tervezés” folyamatának *tudatos bevezetésével* és annak alkalmazásával lehet megvalósítani.

A heurisztikus* tudományos „tervezés” általában egy cselekvési séma (algorithmus) felállítását, egy megfelelő módszer megtalálását, majd a fejlesztés és a döntés időszakában az objektum kialakítását jelenti.

A tervezés folyamatának részletezése

A cselekvési séma kialakításának első lépése a *célok tisztázása*, azok tudatos és részletes elemzése, csak e részletes elemzés alapján lehetséges a második lépésben a *körülményeket, problémákat* a zavaró tényezőket feltárni, *megfogalmazni*, majd e lépések után kell a *megoldási variációkat* kidolgozni, és e megoldási variációkból a megtervezés alapját képező *egyetlen* programot *kiválasztani* (analízis, szintézis, döntés).

E meggondolásból következik, hogy a jelen-kor környettervező építészének feladata lényegében megváltozik, bővül, többé nem koncentrálnak csupán az épület megtervezésére, hanem a tervezés során, legalább olyan súllyal kell a helyes „döntésekkel” azok elemző előkészítésével foglalkozni, mint a megtervezés során a konkrét épülettel.

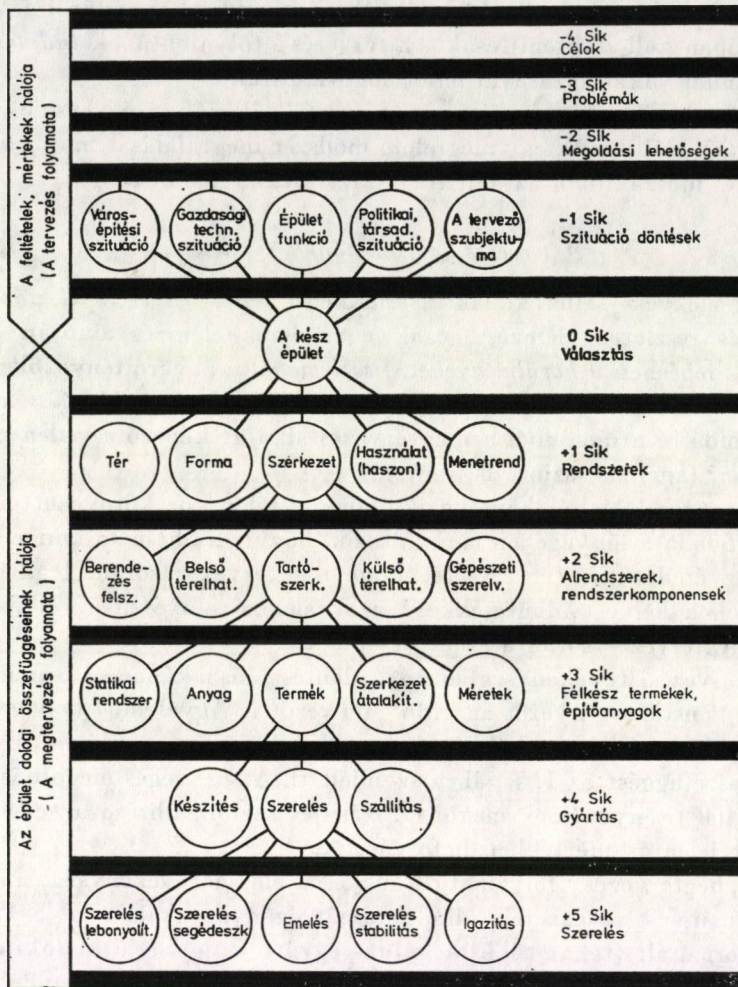
A tervezési tevékenység során a döntés időszakában és annak alapjául egy „új” konstans tényezőt az „idő” tényezőt is figyelembe kell venni, mégpedig az idő során ható költségtényezőkkel közösen szemlélve. E tényezők közötti összefüggést az 1. sz. ábra szemlélteti. Az egységes megoldások gazdaságossági (W) tényezőinek meghatározása és szembeállítása a tervezés során a döntést jelentős mértékben befolyásolja.

A „megtervezés” folyamata ugyancsak elemzőtevékenység, amely tudatos tudományos módszerek alkalmazását igényli, csak míg a „tervezés” folyamatorientált (tehát több megoldás együttes, egyidejű kialakítását eredményezi), addig a „megtervezés” elsődlegesen célorientált (egy meghatározott épület kialakítását eredményezi) tevékenységet tételez fel.

A megtervezés folyamata, célszerűen és logikusan, szerkezhierarchiák képzésével és kialakításával, azok megoldásával valósítható meg optimálisan.

E szerkezhierarchiák képzése lehetővé teszi és elősegíti a korszerű szerkezetek tervezését; a szerkezeti rendszerek és alrendszerek, ún. rendszerkomponensek alkalmazását; a döntést, a döntési folyamatok részdöntésekre bontását, mert így a rendszerkomponensek választása egyenként is értékelhető, továbbá lehetőség van arra is, hogy a tervező team egyes tagjai, vagy csoportjai meghatározott síkon egyeztessék tevékenységüket az optimális cél elérése érdekében (2. ábra).

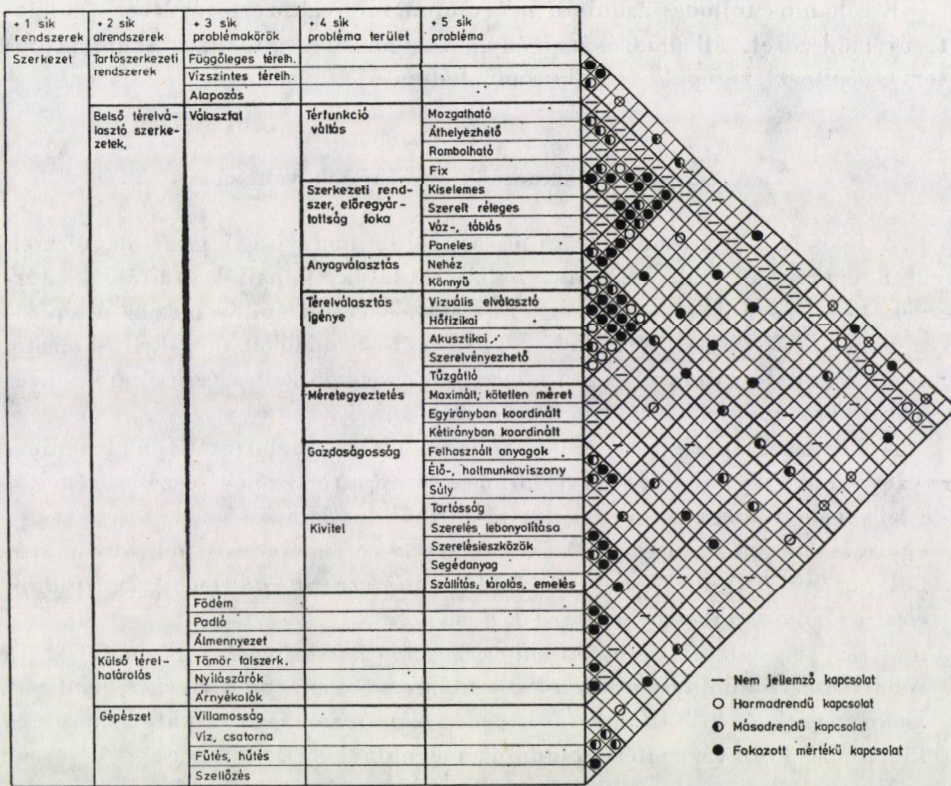
* A „heuréka” (— megvan) napjainkban már nem jelenti a felfedezés, újat alkotás célravezető módszerét, mert minden új kialakításához, felfedezéséhez tudatos, folyamatos, tudományos tevékenységre van szükség.



2. ábra

A szerkezetanalízis és a döntés területén jelenleg már számos módszer ismert (sőt használatos is az építőipar egyes területein), míg az alkotás technikája még csupán a rendszerezésnél tart, elsődlegesen és lényegében az alkotó építész képességeitől függ (bár a javasolt algoritmusok sok tekintetben ki-küszöbölik a hibás megoldások létrejöttét). Az optimális megoldást az alkotás folyamatában egyértelműen a funkció-értékelméleten alapuló tervezés szemlélet biztosítja, azaz egy folyamatos

cél — eszköz
 költség — haszon,



3. ábra

lánccolat alkalmazásával lehetőség van arra, hogy a tervezés minden síkján a célnak legmegfelelőbb megoldás, viszonylag kis költségráfordítással, viszonylag magas hozamot biztosítson, tehát egy optimális megoldást eredményezzen.

A tervezés és megtervezés folyamatának egy példáját a 2. ábra tünteti fel. Az áttekinthetőség és az egyértelmű döntés lehetőségét a tervező építésznek számára az nehezíti, hogy a kapcsolatok nem csupán a „fa” ágai irányában, hanem egyazon síkon egymással, sőt különböző síkokban is létrejöhetnek, így egy szabálytalan háló diagramot alkotnak, ahol a kapcsolatok súlya sem azonos értékű, viszont e háló diagram felrajzolása tisztázza minden esetben a megvizsgálandó, értékelendő kapcsolatokat az egyes rendszereken belül és a rendszerek között is. Egyszerűsítést jelent, ha e kapcsolatokat, azok erősségét tervezési mátrix tünteti fel (3. ábra).

A korszerű környezettervező tevékenység az építészetben még nem általános jelenség, de bevezetését és mielőbbi széleskörű elterjedést mind a gazdaságosság, mind pedig a rohamosan fejlődő technika és technológia szükségessé teszi.

E rohamos fejlődés azonban nem csupán megváltozott tervezésszemléletet, új módszerek alkalmazását igényli, hanem megváltozik a szubjektum, a tervezőépítész szerepe is az alkotómunkában.

3. A tervezőépítész-mérnök szerepének változása

A fokozódó iparosodással mind nagyobb mennyiségű gyártott termék kerül a piacra (pl. falazóelemek, nyílásáthidalók, falpallók, faltáblák, térclemek, kész csarnoképületek szerkezete stb.) ezért az építésznek az új építőanyagokat, az újfajta építőelemeket, az új építési módokat meg kell ismernie, rendszerbe kell foglalnia és e rendszerek segítségével kell a rendeltetésnek és az igényeknek megfelelő épületeket megalkotnia.

A korszerű iparosított építési eljárás által létrehozott épület, „megtervezés”-ének folyamata és ezzel párhuzamosan a tervező építészek tevékenysége lényegében megváltozik és két fő részből tevődik össze:

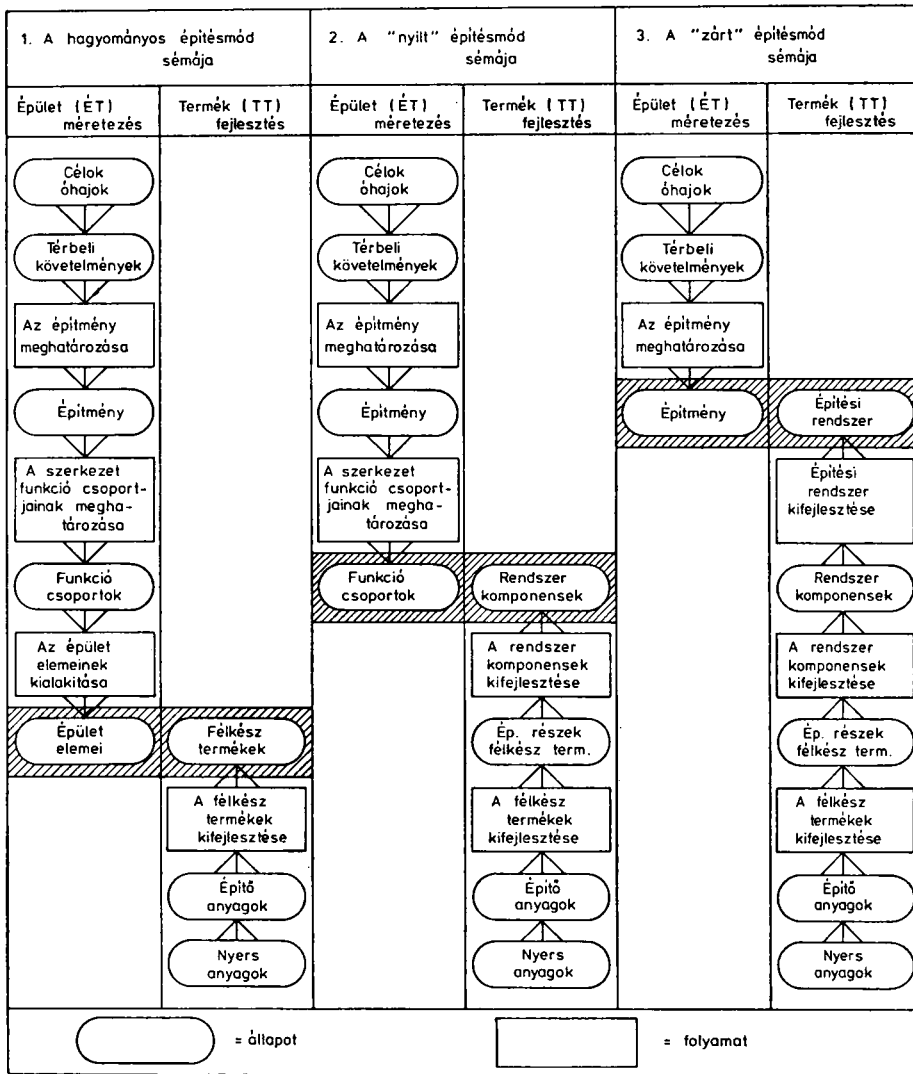
- egyrészt, az *épület megtervezésének* és szerkezeti méretezésének folyamatából, (az épület funkciójának megfelelően *megtervezett épületet szerkezeti alapelemeire, rendszerkomponenseire kell bontani*),
- másrészt a gyártott *szerkezeti alapelemek megtervezésének* folyamatából, (a rendelkezésre álló nyersanyagokat építőanyagokká, *építőelemekké, rendszerkomponensekké* kell átalakítani, amelyek variabilisan alkalmazhatók a különböző konkrét építési feladatok megoldásakor).

E tényből következik tehát, hogy jelenleg, az alapvetően különböző kétféle tervezési feladatnak megfelelően, kétféle tervező építész létezik, mégpedig: épülettervező építész, (továbbiakban ÉT) akinek tevékenységi helye a különböző tervezőirodák és terméktervező építész, (továbbiakban TT), akinek tevékenységi helye a különböző termékgyártó vállalatok és üzemek.*

Minél magasabb fokon iparosított az alkalmazott építési mód, annál nagyobb jelentősége és szerepe van a terméktervező építésznek az építés, az épületkialakítás területén.

Természetszerű, — különösen hazánkban, amely viszonylag kis ország — hogy az általános építésznek mindkét feladatkörhöz értenie kell, legalábbis horizontálisan (a választékismeret és a szerkezet-, teljesítmény vonatkozásában), míg vertikálisan (tehát egyes építőelemek, rendszerkomponensek kifejlesztésében) fokozott mértékű szakember specializálódásra van szükség

* Az épülettervező építész feladatköre a konkrét épület megtervezés az adott helyszínrre, az adott körülményekhez igazodva (tehát konkrét építész), míg a terméktervező építész feladatköre a rendszerkomponensek, komplett szerkezeti rendszerek megtervezése fiktív helyszínrre és körülményekhez igazodva (tehát absztrakt építész).



Az ÉT és TT kapcsolata a különböző fejlettségű építésmódok viszonylatában.

4. ábra

(de feltétlenül sürgető és fokozott igény mutatkozik, e témakörökkel foglalkozó építésszakaszi szakemberi közreműködésére a különféle terméktermelő vállalatok és üzemek területén.)

Mind a hagyományos, mind pedig a korszerű épülettervezés során e kétféle tervezői tevékenység valahol, valamilyen szinten találkozhat, mégpedig: a hagyományos építésmódoknál az épülettervező (ÉT) és a terméktervező

(*TT*) az építőanyagok és az egyszerű építőelemek szintjén találkozik; a nyílt építési rendszereknél e találkozás szintje a rendszerkomponensek vonalába kerül, a zárt építési rendszereknél csupán a meghatározott épületfunkciót kielégítő adott építési rendszer kiválasztására korlátozódik.

A fentiekből következik, hogy mindhárom építési eljárásnál az *ÉT* az adott épületfunkciónak megfelelően kidolgozza a követelményrendszert és a követelményrendszer alapján választja ki a *TT* által megtervezett elemekből azokat, amelyek az épületfunkciónak és a környezetnek optimálisan megfelelnek, tehát az *ÉT* felelős azért, hogy a kiválasztott elemek a tervben hogyan illeszkednek egymáshoz és alkotják meg az építés egységes rendszerét.

A különféle szerkezeti részletek, részletmegoldások kialakításai újabban az *ÉT* irodájából mind nagyobb mértékben a *TT* irodájába tevődnek át, így az építész hagyományos feladata és munkája gyakorlatilag átalakul, igény-szintmeghatározó és értékelemző dialógussá válik, amelyet a különféle *TT*-el folytat.

Ugyancsak átalakul a tervdokumentáció megjelenési formája és tartalma is, a gyártott termékek elemspecifikációja szükségtelemmé teszi a hagyományos jellegű komplex csomópontok megrajzolását, ehelyett az elemek csupán elhelyezési és összeépítési utasítást igényelnek.

E gondolatmenetből következik, hogy a korszerű épülettervezés során az *ÉT*-nek — a korábbi ismeretanyagon túlmenően — ismernie kell, ill. ki kell alakítania az épület funkcióját és az ebből következő valamennyi szerkezeti igény paraméterét, a piacon található termékválaszték széles körét, továbbá az értékelemzés törvényeit és menetét, amely a „cél-eszköz” és a „költség-haszon” viszonyok figyelembevételével, számára az optimális döntést lehetővé teszik; míg a *TT*-nek figyelemmel kell kísérnie a piac igényeit, hogy ehhez mindenkor ésszerűen és hasznosan csatlakozzék, továbbá képesnek kell lennie arra, hogy a termékválaszték minőségi, mennyiségi növelésével a megbízó, ill. az *ÉT* igényeit széles körben és anyag-csereszabatosan tudja elégíteni.

A fentiekből kitűnik tehát, hogy a tervező építészek polarizálódása és együttműködésének az építőipar fejlődésének szükségszerű következménye.

Összefoglalva megállapítható, hogy

- az építészek fő feladata, az ember számára szükséges komplex környezet megteremtése,

- a komplex környezettervezés során az alkotást „tervezés” és „megtervezés” folyamatára kell bontani,

- e folyamatok csak heurisztikus módszerek bevezetésével és szerkezet-hierarchiák képzésével oldhatók meg optimálisan.

- az „idő”-tényező bevezetése a „döntés”-t jelentősen modifikálja.

- a tervezési tevékenység megváltozása különösen az iparosodás fokozódásával a tervezőépítészek polarizálódásához (épülettervező építész és terméktervező építész) és fokozott mértékű együttműködéshez vezet.

— mind a megváltozott tervezésszemléletet, mind pedig a megváltozott építészeti tevékenységet az oktatás (építészképzés) és az ipari gyakorlat (tervezőirodai alkotómunka) területén tudomásul kell venni és azt mielőbb tudatosan kell alkalmazni.

IRODALOM

JOEDICKE, J.: Arbeitsberichte zur Planungsmethodik

STÖCKER, H.: Grundlagen der Optimierung

PETRÓ B.: Beitrag zur Methode der Optimierung der Baukonstruktionen

MISTÉTH E.: Többcélú létesítmények optimális biztonságának rendszerszemléletű vizsgálata (kézirat)

Systems-engineering Design of Building Structures and the Changed Function of the Designing Architect. — In our days designing building structures in an intuitive way is not an economical procedure any longer because even practised specialists cannot immediately size up objectively the multifold and intricate interconnections they have to deal with. Therefore, it is necessary to introduce the manner of designing on the basis of systemsaspect which explores interrelations, considers the weight of connections, and with the aid of the algorithms heuristic designing method and structural hierarchies, through a procedure of conscious structure development helps to find the optimum or approximately optimum solution. It is obvious that the up-to-date structural design, application of industrialized methods of construction, needs a new type of specialists' staff and also creates it; this is the way how the „concrete architect” (or building designing architect) and the „abstract architect” whose task is to design construction systems and system components, develops.

Systemtechnische Planung von Baukonstruktionen und die veränderte Funktion des Architekten als Konstrukteurs. — Baukonstruktionen können heute nicht mehr auf intuitive Art wirtschaftlich durchgeführt werden, da die mannigfaltigen und verwickelten Zusammenhänge sogar die routinierten Spezialisten nicht auf einmal objektiv auf die Etagelagen legen können. Deshalb ist es erforderlich die systemtechnische Planung einzuführen, die die Abhängigkeiten aufdeckt, das Gewicht der Beziehungen erwägt und im weiteren, mit Hilfe der Algorithmen, heuristischer Planungsmethoden und Konstruktionshierarchien, durch einen Vorgang der bewußten Konstruktionsentwicklung die optimale oder annähernd optimale Lösung sicherstellt. Es ist offensichtlich, daß die neuartige Konstruktionsplanung, die Anwendung industrialisierter Konstruktionsmethoden eine neuartige Brigade von Spezialisten erfordert und heranbildet. Auf diese Art entwickelt sich der „konkrete Architekt” (oder Bauarchitekt) und der „abstrakte Architekt”, dem die Aufgabe der Endentwicklung von Bausystemen und Systemkomponenten zuteil wird.



ÉPÜLETSZERKEZETEK KOMPLEX ÉRTÉKELÉSÉNEK ÉS MÉRETEZÉSÉNEK MÓDSZERE*

VISY ZOLTÁN**

[Beérkezett 1976. január 23-án]

A szó legtágabb jelentésében, az anyagoktól az épületekig értelmezett „épületszerkezetek” rendszerszemléletű definiálása alapján a szerző javaslatot tesz ezek teljesítőképességének (performance) számszerű kifejezésére. Valamely ismert követelményrendszer, és a szerző által bevezetett összefüggések birtokában elvégezhető adott épületszerkezetek komplex értékelése, továbbá egymáshoz viszonyított érték-sorrendjük megállapítása, végül épületszerkezeteknek a tervezés keretében megállapított követelményrendszerhez igazodó komplex méretezése.

1. Bevezetés

Az építőiparral szemben jelentkező társadalmi igények rohamos mennyiségi és minőségi növekedése világszerte előtérbe helyezte az építés iparosítását. Ez ugyanis a termelékenység növelésének és az egyenletes jó minőség biztosításának leghatékonyabb eszköze.

Az iparosítás természetes velejárója olyan gépi feldolgozásra alkalmas anyagok és szerkezeti megoldások alkalmazása, amelyekre vonatkozóan nincsenek több évtizedes, esetleg évezredes építési és használati tapasztalataink. Ugyanakkor ezek az anyagok általában drágák, a feldolgozásukhoz szükséges gyártóberendezések beruházási költségei magasak, végül egy esetlegesen elkövetett tervezési vagy gyártási hiba — a tömegtermelés következtében — hatásában megtöbbszöröződik, ezáltal a teljes építési tevékenységre számított kár értéke, még viszonylag kis hiba esetén is, jelentős lehet.

Az iparosítás említett nehézségei kiküszöbölhetők, sőt ezek tudatos felismerése napjainkban a tudományos és technikai fejlődés egyik ösztönzőjévé vált. A hagyományos építés tapasztalatait ma már jelentős részben az elméleti és kísérleti kutatás eredményei, a magas anyagárakat az ésszerű felhasználás, a drága gyártóberendezéseket azok optimális kihasználása, végül a tömegtermelés eredetileg nagyobb kockázatát a méretezési és tervezési módszerek tökéletesítése és olyan területekre történő kiterjesztése ellensúlyozzák, ahol

* A Műszaki-Gazdasági Rendszertechnikai Albizottság 1975. XI. 24-i kibővített ülésén megvitatott előadás.

** Visy Zoltán, 1027 Budapest, Mártírok útja 58. I. 4

eddig a tervező döntéseit kizárólag a korábbi építési gyakorlat tapasztalatai, illetve saját intuíciója alapozták meg.

Jelen dolgozatban a szerző ez utóbbi, tehát a műszaki tervezést érintő kérdéskörben, az épületszerkezetek teljesítőképességét (performance) kívánja rendszerszemléletű megközelítéssel megfogalmazni, majd ennek alapján javaslatot tesz komplex értékelési és méretezési eljárásra.

2. Fogalommeghatározások és jelölések

A továbbiakban „*épületszerkezetek*” képezik a vizsgálat tárgyát. A dolgozatban ez a fogalom a szokásosnál tágabb értelemben szerepel. Szintenként elkülönítve megkülönböztet a szerző:

- anyagokat és termékeket,
- szerkezeteket és szerkezetcsaládokat,
- építési rendszereket és
- épületeket.

Elképzelhető volna részletesebb felosztás is, illetőleg a szintek kiterjesztése lefelé és felfelé, azonban ennek a módszer szempontjából nincs jelentősége. Az „*épületszerkezet*” meghatározás a továbbiakban mindig egyetlen tetszőleges szintet jelent, ha valamely kitüntetett szintről van szó, ezt a szerző külön megnevezi.

Az épületszerkezet *teljesítőképessége* (performance) annak társadalmi hasznosságát fejezi ki, tehát ez a létesítési cél(ok) és megvalósítási lehetőségek szempontjából szignifikáns *tulajdonságok* valamilyen függvénye. Ennek megfelelően a figyelembe veendő tulajdonságok általában műszakiak és gazdaságiak, jelentkezési tartományuk kiterjed az épületszerkezet előállításának (gyártás, építés) és használatának (üzemeltetés, fenntartás, felújítás) teljes időtartamára, végül értékrendjüket, a velük szemben támasztott *követelményeket*, funkcionális, gazdasági és esztétikai tényezők egyaránt befolyásolják. Az eddig bevezetett fogalmak jelölése:

T : az épületszerkezet teljesítőképessége;

T_i , (ahol $i = 1, 2, \dots, n$): az épületszerkezet n számú, különböző szignifikáns tulajdonsága közül az i -edik;

K_i , (ahol $i = 1, 2, \dots, n$): az i -edik szignifikáns tulajdonságra vonatkozó követelmény.

Rendszerszemléletű megközelítésen a szerző azt érti, hogy az épületszerkezetet olyan alkotóelemek halmazából álló rendszernek tekinti, amely alkotóelemek a rendszeren belül a főcélért, tehát az optimális teljesítőképesség eléréséért működnek együtt. „A rendszerszemléletű gondolkodás — CHURCHMAN szerint [2] — nem más, mint csupán ezekről a teljes rendszerekről és alkotóelemeikről való gondolkodási módszer.”

Az együttműködés feltételét a következő összefüggés fejezi ki:

$$T_i = \Phi_i(T_1, T_2, \dots, T_{i-1}, T_{i+1}, \dots, T_n), \quad (1)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

A dolgozatban szereplő megállapítások tehát csak azokra az épületszerkezetekre vonatkoznak, amelyekre igaz, hogy bármelyik szignifikáns tulajdonságuk megváltoztatása maga után vonja több szignifikáns tulajdonságuk kisebb vagy nagyobb változását.

Komplex értékelésen a szerző olyan módszert ért, amely alkalmas arra, hogy segítségével a tervező valamely adott, az (1) feltételt kielégítő épületszerkezet alkalmasságát a K_1, K_2, \dots, K_n követelmények ismeretében — elbírálja, illetőleg az ezekből képzett követelményrendszerhez képest, az épületszerkezet teljesítőképességét bemérje, továbbá hogy több adott — azonos főcélú és az (1) feltételnek eleget tevő épületszerkezet egymáshoz viszonyított jósági sorrendjét megállapítsa.

Komplex méretezésen a szerző olyan módszert ért, amely alkalmas arra, hogy segítségével a tervező valamely az (1) feltételnek eleget tevő épületszerkezet egymástól független, szabad, p_1, p_2, \dots, p_m tervezési paramétereit úgy határozza meg, hogy az eredményként nyert egyetlen épületszerkezet, a K_1, K_2, \dots, K_n követelmények maradéktalan kielégítése mellett, az adott helyen és időben, adott célnak megfelelő optimumot megközelítse. Az épületszerkezet szignifikáns tulajdonságai és az egymástól független, szabad tervezési paraméterek kapcsolatáról — az (1) feltétellel összhangban — a szerző kiköti, hogy

$$T_i = f_i(p_1, p_2, \dots, p_m), \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

ahol m a tervezési paraméterek, n pedig a szignifikáns tulajdonságok száma.

A dolgozatban előforduló további jelölések:

- K : az épületszerkezettel szemben támasztott komplex követelmény mérőszáma, amely függvénye a K_1, K_2, \dots, K_n követelményeknek;
- w_i , (ahol: $i = 1, 2, \dots, n$): az i -edik követelmény együttthatója, amelynek célja a dimenzióátalakítás és a követelmény súlyozása;
- $B_i = T_i/K_i$, (ahol: $i = 1, 2, \dots, n$): az épületszerkezet n számú tényleges tulajdonsága közül az i -edikre vonatkozó relatív részteljesítés, egyúttal a biztonság mérőszáma.
- $v_i = w_i \cdot K_i$, (ahol: $i = 1, 2, \dots, n$): a B_1, B_2, \dots, B_n relatív részteljesítések (biztonságok) közül az i -edikhez tartozó súlyozó együtttható;
- R_j , (ahol $j = 1, 2, \dots, q$): q számú, azonos főcélú épületszerkezet közül a j -edik relatív teljesítőképessége, amely ezeknek az épületszerkezeteknek egymáshoz viszonyított jósági sorrendjére jellemző;
- T_{ij} (ahol $i = 1, 2, \dots, r$, és $j = 1, 2, \dots, q$): q számú, r -féle tulajdonsággal jellemzett épületszerkezet közül a j -ediknek i -edik tulajdonsága;
- $T_{i \min}$: az előzőekben értelmezett $T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{iq}$ (ahol $i = 1, 2, \dots, r$) tulajdonságok közül a legkedvezőtlenebb;
- u_i (ahol $i = 1, 2, \dots, r$): a T_{ij} tulajdonságok súlyozó együttthatói.
- T_l : az (1) feltételnek megfelelő épületszerkezet $T_1, T_2, \dots, T_l, \dots, T_n$ szignifikáns tulajdonságai közül, a komplex méretezés eseténként előforduló főcéljának megfelelően kiválasztott, l -edik, leglényegesebb tulajdonság.

3. Az épületszerkezet mint egy állapotú rendszer

Füzy Jenő [3] kimutatta, hogy az (1) szerinti feltétel a Bertalanffy-féle rendszertörvény [4] időben változatlan rendszerekre vonatkozó speciális esete. Ez az épületszerkezeteknél — amelyek elkészültük után általában nem változtathatók — azt jelenti, hogy a követelmények (igények) és a teljesítő-képesség (az épületszerkezet viselkedése) — egyébként ténylegesen várható — időbeli változását az értékelés vagy tervezés időpontjában és keretében kell figyelembe venni. Ebből az következik, hogy a K_1, K_2, \dots, K_n , valamint a T_1, T_2, \dots, T_n értékeket mint valószínűségi változókat kell kezelni. Ez a körülmény szükségessé teszi annak kikötését, hogy a szóbanforgó épületszerkezettel kapcsolatos megállapítások csak annak rendeltetésszerű használatára esetén és a tervezett élettartamon belül érvényesek.

A követelményeket és az azokat kielégítő tulajdonságok meghatározásának módját a szerző ismertnek tételezi fel (pl. különböző érvényben levő szakágazati méretezési előírások szerint), és csupán azt köti ki, hogy módszere keretében követelményként mindig a szóbanforgó szignifikáns tulajdonságnak eltűrhető alsó határértékét kell megadni. Ennek megfelelően pl. ha az az igény, hogy a szerkezet teherbírása legalább P kp legyen, akkor az erre vonatkozó követelmény: $K_i = P$ ha viszont az, hogy ne kerüljön többre, mint Q Ft, akkor utóbbira a követelmény:

$$K_i = \frac{1}{Q}.$$

Természetesen az előbbi feltételt következetesen érvényesíteni kell a tulajdonságok felírásánál is. Ez azt jelenti, hogy valamely T_i tulajdonság (részteljesítés) annál kedvezőbb, minél nagyobb a számértéke.

A bevezetett írásmód lehetővé teszi olyan követelmények és tulajdonságok megadását is, amelyek nem fejezhetők ki valamilyen mértékegységben. Ez esetben, ha finomabb megkülönböztetésre van szükség, úgy valamilyen pontozásos rendszer vezethető be, ügyelve arra, hogy a magasabb pontszám jelentse a kedvezőbb megoldást. Legegyszerűbb esetben szóban körülírt követelményre igen-nem válasz is adható, amikor a követelmény: $K_i = 1$, a vele kapcsolatos teljesítés pedig igen válasz esetén: $T_i = 1$, nem válasz esetén pedig, tehát amikor az épületszerkezet a követelményt nem elégíti ki, $T_i = 0$.

Előzőek alapján, valamely épületszerkezet K_i követelmény szempontjából vett megfelelésének feltétele mindig: $K_i \leq T_i$, melyet más alakban írva, és az összefüggést valamennyi (n számú) szignifikáns tulajdonságra ki-

terjesztve nyerhető az épületszerkezet megfelelőségének általános feltétele:

$$1 \leq \frac{T_i}{K_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

Miután T_i és K_i valószínűségi változók, az egyenlőtlenség jobb oldalán álló hányados valamilyen valószínűséggel mindig felvehet egynél kisebb értéket, és pedig annál nagyobb valószínűséggel, minél kisebb a hányados értéke. Ezek közül a valószínűségek közül kiemelt jelentősége van az

$$1 = \frac{T_i}{K_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (4)$$

állapothoz tartozó valószínűségnek, amelyet a különböző szakágazati szabályzatok életvédelmi, műszaki, gazdasági stb. megfontolásokkal állapítanak meg, és tesznek előírásaik alapjává.

Jelen dolgozat ezzel a kérdéscsoporttal a továbbiakban nem foglalkozik. Az érvényben levő előírásokat változatlanul elfogadja és a (3) feltétel teljesülése esetén megfelelőnek tekinti az épületszerkezetet. Az egyes tulajdonságokkal kapcsolatos biztonság mértékét pedig a

$$B_i = \frac{T_i}{K_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

relatív részteljesítések számértékével jellemzi.

A követelmények, a tulajdonságok és a biztonság előzőekben összefoglalt értelmezése alapot ad arra, hogy a szerző az épületszerkezeteket — vizsgálata keretében — egy-állapotú, időben változatlan, tehát az (1) feltételnek megfelelő rendszereknek tekintse.

4. A követelmények rendszere

Az épületszerkezetekkel szemben általában többféle, egymástól jellegükben, mértékegységükben, megadási módjukban és számértékükben eltérő követelmény áll fenn. Ezek egy része különböző szabályzatokban rögzítésre került, más részüket a konkrét értékelési vagy méretezési feladat speciális adottságai határozzák meg.

Rendszerszemléletben megfogalmazva a kérdést, a követelmények a vizsgált rendszer környezetéhez tartoznak, tehát a rendszer értékelője vagy tervezője számára olyan adottságok, amelyeket nem változtathat meg.

Miután minden rendszer — így az épületszerkezet is — alkotóeleme egy nagyobb rendszernek (pl. egy gerenda egy födémnek stb.), a követelmények jelentős részét e nagyobb rendszer főcélja határozza meg. Ezért volt szükség az épületszerkezetek különböző szintjeit bevezetni. Valamely kitüntetett

szinthez tartozó épületszerkezet (pl. fal) vizsgálatánál, a követelmények megállapításánál elengedhetetlenül szükséges az eggyel magasabb szint (pl. a falat magába foglaló épület) elemzése is.

A követelményeket a továbbiakban egyértelműen adottaknak tekinti a szerző, és halmazukat olyan értelemben teljesnek, hogy az a szóbanforgó épületszerkezet társadalmi hasznosságát, tehát az igény és lehetőség oldal teljességét reprezentálja. Ez még a legegyszerűbb esetben is műszaki és gazdasági követelmények megadását jelenti.

A továbbiak érdekében a szerző, CHESTNUT [1] nyomán, a követelményeket a következő additív összefüggésben írja fel:

$$K = w_1 \cdot K_1 + w_2 \cdot K_2 + \dots + w_n \cdot K_n, \quad (6)$$

ahol K_1, K_2, \dots, K_n a követelményeket, a w_1, w_2, \dots, w_n együtthatók pedig olyan értékeket jelentenek, amelyek a követelményeket azonos dimenzióra hozzák, vagy dimenziómentesítik, továbbá súlyozzák, a rendszerrel szemben megfogalmazott főcél (komplex követelmény) szempontjából.

Bevezetve a

$$\sum_{i=1}^n w_i \cdot K_i = 1 \quad (7)$$

feltételt, a rendszerrel szemben támasztott komplex követelmény (K) mérőszáma mindig egy.

5. A tulajdonságok rendszere

Az épületszerkezet tulajdonságait a komplex követelmény (6) és (7) szerinti összefüggéseivel összhangban felírva nyerhető a teljesítőképességet kifejező alábbi összefüggés:

$$T = w_1 \cdot T_1 + w_2 \cdot T_2 + \dots + w_n \cdot T_n, \quad (8)$$

ahol T_1, T_2, \dots, T_n az azonos indexű követelményekhez tartozó szignifikáns tulajdonságok, w_1, w_2, \dots, w_n pedig a (6) szerinti együtthatók.

Miután előzőek szerint az épületszerkezetnek valamennyi követelményi maradéktalanul ki kell elégítenie, a (8) szerint megfogalmazott teljesítőképesség csak akkor értelmezett, ha a (3) szerinti feltétel teljesül.

Az épületszerkezet T_1, T_2, \dots, T_n tulajdonságait, ezen keresztül teljesítőképességét is, alkotóelemeinek, tehát a magába foglalt kisebb rendszereknek lehetőségei határozzák meg. Ezek egy része tervezés esetén a rendszer forrása, — tehát a tervező elhatározásától függ igénybevételének módja —, más részük, illetve ellenőrzés esetén egészük adottság, azaz a vizsgált rendszer

környezetének része. Mindebből az következik, hogy valamely szinthez tartozó épületszerkezet teljesítőképességének felírásánál szükség van az eggyel alacsonyabb szint elemzésére is.

A (3), (6), (7) és (8) összefüggések átvizsgálásával megállapítható, hogy valamely épületszerkezet megfelelőségének feltétele a (3) összefüggés teljesülése, az ezt kielégítő és a követelményeknek éppen megfelelő épületszerkezet teljesítőképességének mérőszáma pedig kereken egy.

Az eddig bevezetett összefüggések legfőbb gyengéje a w_1, w_2, \dots, w_n együtthatók bizonytalansága. Ezt elsősorban azok kettős és eddig pontosan szét nem választott szerepe okozza. A következőkben mód nyílik a teljesítőképesség olyan felírására, amely ezt a bizonytalanságot — az eddigiekkel összhangban — kiküszöböli.

6. Épületszerkezetek teljesítőképessége

Bevezetve a (3), (7) és (8) összefüggésekbe a

$$v_i = w_i K_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

jelölést, a teljesítőképesség alábbi, általánosan alkalmazható kifejezése nyerhető:

$$T = v_1 \frac{T_1}{K_1} + v_2 \frac{T_2}{K_2} + \dots + v_n \cdot \frac{T_n}{K_n},$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1, \quad (10)$$

$$1 \leq \frac{T_i}{K_i},$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

A (10) összefüggésre a dolgozat valamennyi eddigi megállapítása igaz. Az újonnan bevezetett v_1, v_2, \dots, v_n együtthatók viszont tisztán súlyozó számok, ugyanis az (5) szerinti B_1, B_2, \dots, B_n relatív részteljesítések (biztonságok), természetükből és felírásmódjukból következően dimenziómentesek.

Kiindulva abból, hogy az épületszerkezetre vonatkozó követelményeket és a kielégítésükre hivatott tulajdonságok (részteljesítések) igazolásának módját ma még különböző építésügyi előírások és tervezői megfontolások egymástól eltérően szabályozzák, továbbá hogy ezekre az esetek többségében más-más tönkremeneteli (meg nem felelőségi) valószínűség előírása célszerű, az épület szerkezet valamilyen, a T teljesítőképességre vonatkoztatott, komplex biztonsága — legalábbis ezideig — nem értelmezett.

7. Épületszerkezetek komplex értékelése

Egyetlen adott épületszerkezet komplex értékelése esetén elegendő a (3) összefüggés szerinti vizsgálat, amely a megfelelést, illetve meg nem felelést egyértelműen kimutatja. A számítás keretében megjelenő (5) összefüggés szerinti biztonságot mértéke pedig egyértelműen jelzi az épületszerkezet belső tartalékainak mértékét a különböző követelményekkel szemben.

Több adott épületszerkezet egymáshoz viszonyított komplex értékelése csak akkor végezhető el, ha főcéljuk közös, tehát (6) szerinti követelményrendszerük azonos.

E vizsgálat két fajtája lehetséges, és mindkettőnek értelme van adott esetben, sőt a két vizsgálat bizonyos szempontból ki is egészíti egymást.

7.1 *A teljesítőképességek jósági sorrendjének megállapítása*

Ez esetben meg kell határozni valamennyi — a vizsgálatba bevont — épületszerkezet (10) összefüggés szerinti teljesítőképességét.

Azokat az épületszerkezeteket, amelyekre valamely követelmény nem teljesülése miatt a teljesítőképesség nem értelmezett, a további vizsgálatból ki kell zárni.

A legnagyobb számértékű teljesítőképességgel bíró szerkezet rendelkezik a legtöbb belső tartalékkal az adott követelményrendszerrel szemben. Mivel előzők szerint a követelményrendszert teljesnek — tehát valamennyi műszaki és gazdasági feltételt tartalmazónak — definiálta a dolgozat, az így kiválasztott szerkezet egyben a követelményrendszerhez viszonyított optimumot is jelenti, feltéve ha a v_1, v_2, \dots, v_n súlyozó együtthatók felvétele is helyes volt. Utóbbira a rendszertechnikai szakirodalom számos módszert ismertet [1, 6, 8, 9].

7.2 *A relatív teljesítőképességek jósági sorrendjének megállapítása*

Azonos főcélú, adott épületszerkezetek egymáshoz viszonyított jósági sorrendjének finomabb mérésére és a követelményrendszer felvételében rejlő bizonytalanságok részbeni kiküszöbölésére a 7.1 alatti vizsgálatot célszerű kiegészíteni a relatív teljesítőképesség vizsgálatával. Ez csak azokra az épületszerkezetekre értelmezett, amelyek a (3) összefüggés alapján megfelelőnek bizonyulnak.

Ez a vizsgálat olyan tulajdonságokra is kiterjeszthető, amelyekre nincsenek egyértelmű K_i követelmények, de amelyek az épületszerkezetek egymás közötti összehasonlításában jelentőséggel bírnak. Ilyen lehet pl. az anyagfelhasználás vagy energiaigény stb., amelyek minél kedvezőbb értékeinek elérése a cél, de adott esetben nem adható meg ezekre valamilyen, — kizáró feltételként bevezethető —, alsó határérték.

A relatív teljesítőképesség (R) vizsgálatakor a K_1, K_2, \dots, K_n követelmények helyett, valamint a követelményekhez nem kötött tulajdonságok viszonyítási alapjaként, a vizsgálatba bevont — és egyébként megfelelő — épületszerkezetek $T_1, T_2, \dots, T_n, \dots, T_r$ tulajdonságai (részteljesítései) közül a legkedvezőtlenebbeket kell bevezetni mint fiktív követelményeket.

Előzőek szerint, q számú, azonos főcélú, n számú követelménnyel, és további $r - n = s$ számú kívánatos tulajdonsággal (teljesítés elvárással) jellemzett épületszerkezet esetén a relatív teljesítőképességek az alábbi összefüggéssel számíthatók:

$$R_j = \sum_{i=1}^r u_i \frac{T_{ij}}{T_{i \min}},$$

$$(j = 1, 2, \dots, q)$$

$$\sum_{i=1}^r u_i = 1, \quad (11)$$

$$1 \leq \frac{T_{ij}}{K_i},$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

$$(j = 1, 2, \dots, q)$$

Fenti kifejezésben $T_{i \min}$ mindig a $T_{i1}, T_{i2}, \dots, T_{iq}$ (ahol $i = 1, 2, \dots, r$) értékek közül a legkisebb. Ezek egy részére azonban, (amelyekre van K_i követelmény), az előzőek értelmében fennáll, hogy

$$1 \leq \frac{T_{i \min}}{K_i}, \quad (i = 1, 2, \dots, n). \quad (12)$$

Amint látható, az s számú teljesítés elvárással bővített relatív teljesítőképesség meghatározása esetén új súlyozó számok (u_i) bevezetésére van szükség. Ez a követelményrendszer bővítésének természetes következménye. Feltételezve, hogy az eredeti követelményrendszerénél bevezetett v_i súlyozó együttartók felvétele helyes volt, ez új súlyozó számok megállapításánál ügyelni kell arra, hogy a következő feltétel teljesüljön:

$$\frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} = \frac{u_i}{\sum_{i=1}^n u_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

mivel (10) szerint

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1$$

$$u_i = v_i \sum_{i=1}^n u_i \quad (13)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

ami viszont természetesen semmiféle megkötést nem jelent a

$$\sum_{i=1}^n u_i \quad \text{és} \quad \sum_{i=n+1}^r u_i$$

súlyozószám-csoportok egymáshoz viszonyított arányára. A kikötés csupán az, hogy e kettő összegének (11) szerint egynek kell lenni.

A (11) összefüggés alapján megállapított relatív teljesítőképességek számértékei az épületszerkezetek egymás közötti jósági sorrendjére jellemzők. Ebben a viszonylatban a legnagyobb számértékű tekintendő legkedvezőbbnek. A fiktív követelmények figyelembevételével (11) szerint megállapított $T_{ij}/T_{i \min}$ (ahol: $i = 1, 2, \dots, r$ és $j = 1, 2, \dots, q$) hányadosok számértéke pedig egy-egy részteljesítés (tulajdonság) vonatkozásában jelzi az épületszerkezetek egymáshoz viszonyított rangsorát.

8. Épületszerkezetek komplex méretezése

MISTÉTH Endre szerint [7] „a méretezés tulajdonképpen a beruházási költségek, a fenntartási költségek, az üzemköltségek, a nem kielégítő kapacitás miatti károk és a létesítmény esetleges tönkremenetele (meghibásodása) miatti károk műszaki és gazdasági optimumának keresése”. Ennek az egy szakágazat területére megfogalmazott feltételnek az általánosításával közelíthető meg a szerző véleménye szerint is helyesen mindenfajta építési szerkezet méretezése, így a komplex méretezés is.

A méretezés jellege és a fenti meghatározás is feltételezi, hogy az eddigi vizsgálatoktól eltérően – amikor az épületszerkezetek mindig adottak voltak – az épületszerkezetnek legyen elegendő számú, egymástól független szabad tervezési paramétere. A komplex méretezés célja e paraméterek értékeinek olyan meghatározása, mely mellett az épületszerkezet a kívánt műszaki-gazdasági optimumot nyújtja. Utalva a (2) összefüggésre, az épületszerkezet teljesítőképességét kifejező (10) összefüggés e tervezési paraméterek függ-

vényeként is felírható:

$$T = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \frac{f_i(p_1, p_2, \dots, p_m)}{K_i},$$

$$\sum_{i=1}^n v_i = 1, \quad (14)$$

$$1 \leq \frac{f_i(p_1, p_2, \dots, p_m)}{K_i}$$

$$(i = 1, 2, \dots, n)$$

Ha a méretezés alapjául szolgáló követelményrendszer — beleértve a v_i súlyozó együtthatókat is — helyes, teljes és ellentmondás mentes, akkor a műszaki-gazdasági optimum a p_1, p_2, \dots, p_m paraméterek olyan értékeinél áll elő, melyek a (14) szerinti teljesítőképesség maximumához tartoznak. Az így megfogalmazott komplex méretezési feladatra a

$$T = \sum_{i=1}^n v_i \cdot \frac{f_i(p_1, p_2, \dots, p_m)}{K_i} = \max! \quad (15)$$

célfüggvény írható fel, az

$$1 \leq \frac{f_i(p_1, p_2, \dots, p_m)}{K_i} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (16)$$

korlátozó feltételekkel, amelyeket esetleg a p_1, p_2, \dots, p_m tervezési paraméterekre vonatkozó további megkötések is kiegészíthetnek.

Bár e módszer elvileg tiszta, és a (16) feltétel révén egyértelműen biztosítja azt, hogy az épületszerkezet, a súlyozó tényezők bármilyen felvétele mellett is, megfelel valamennyi szakágazati előírásnak, a mérnöki gyakorlat mégis fenntartással kezeli, épp e súlyozó tényezők vélt bizonytalansága miatt. Minthogy jelen dolgozat a követelményrendszert — beleértve a súlyozó együtthatókat is — adottnak tekinti, e kérdés további tárgyalásába nem bocsájtkozik s utal a már hivatkozott szakirodalomra.

Előbbieik alapján szükségesnek látszik azonban a komplex méretezés olyan lehetőségeinek feltárása is, melyeknél a súlyozó együtthatók eltüntethetők.

Mivel a (8) összefüggésbe eredetileg bevezetett w_1, w_2, \dots, w_n együtthatók célja az volt, hogy az egymástól eltérő tulajdonságokat azonos dimenzióra hozza, és e tulajdonságok súlyát a teljesítőképességben kifejezze, kézenfekvőnek tűnik a következő gondolat. Ha egy épületszerkezet valamennyi T_1, T_2, \dots, T_n szignifikáns tulajdonsága, illetve ezek változásának hatása negatív és pozitív költségtényezők figyelembevételével forintban egyértelműen

és helyesen, mint Q_1, Q_2, \dots, Q_n tulajdonsághalmaz volna kifejezhető, akkor e tényezők eltűnnének, mert a Q_i ($i = 1, 2, \dots, n$), tulajdonságok (részteljesítések) dimenziója azonos, és számértékük arányos volna az ugyancsak forintban kifejezett T teljesítőképességhez való hozzájárulásukkal. A feladatnak helyes, egyértelmű és teljes ilyen felírása (8) alapján a követelmények megadását is feleslegessé tenné.

A komplex méretezés célfüggvénye ekkor a

$$T = \sum_{i=1}^n \varphi_i(p_1, p_2, \dots, p_m) = \max ! \quad (17)$$

kifejezéssé fajulna, amelyben

$$Q_i = \varphi_i(p_1, p_2, \dots, p_m) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (18)$$

és

$$Q_i = w_i T_i, \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (19)$$

A célfüggvény korlátozó feltételeit ez esetben kizárólag a p_1, p_2, \dots, p_m tervezési paraméterek esetleges korlátjai jelentenék.

E módszer általános alkalmazása épületszerkezetek komplex méretezésére ma még kizárólag elvi jelentőséggel bír.

A gyakorlati alkalmazás szempontjából javasolható, harmadik eljárás azon alapszik, hogy

- a K_1, K_2, \dots, K_n elemekből álló követelmények halmaza teljes, tehát a legegyszerűbb esetben is tartalmazza az igények mellett (pl. műszaki követelmények) a lehetőségeket is (pl. gazdasági követelmények), továbbá, hogy
- a (3) szerinti feltétel valamennyi követelmény kielégítését külön-külön is biztosítja.

Elegendő számú szabad, egymástól független p_1, p_2, \dots, p_m tervezési paraméter esetén igen sok olyan épületszerkezet adható meg, amely az előzőeknek megfelel.

A kívánt műszaki-gazdasági optimumot megközelítő egyetlen épületszerkezet kiválasztása úgy történhet, hogy annak $T_1, T_2, \dots, T_l, \dots, T_n$ szignifikáns tulajdonsága közül a tervező kiválasztja az adott cél szempontjából leglényegesebb tulajdonságot (pl. az épületszerkezet összköltségét, energiaigényét, munkaerőigényét, teherbírását stb.), ennek v_l súlyozó együtthatóját egynek választja és így keresi a teljesítőképesség maximumát. Mivel ez esetben a többi súlyozó tényező értéke (10) alapján zérus, és K_l értéke konstans, a T teljesítőképesség maximálását előíró célfüggvény a következő alakú:

$$T_l = f_l(p_1, p_2, \dots, p_m) = \max ! \quad (20)$$

melynek korlátozó feltételei azonban valamennyi tulajdonság figyelembevételével ez esetben is a következők:

$$1 \leq \frac{f_i(p_1, p_2, \dots, p_m)}{K_i} \quad (i = 1, 2, \dots, l, \dots, n) \quad (21)$$

illetőleg a p_1, p_2, \dots, p_m tervezési paraméterek esetleges korlátjai.

Ez a módszer az esetek többségében kielégítő megoldást ad.

Igényesebb feladatoknál a szerző javasolja, hogy a tervező egymás után valamennyi szignifikáns tulajdonságot kiemelve írja fel a (20) szerinti cél-függvényt. Ezekre természetesen a korlátozó feltételek azonosak. Az így nyert, összetartozó tervezési paraméter-értékek egyértelműen kijelölik azt a halmazt amely a teljes optimumot nyújtó tervezési paraméter értékcsoportot tartalmazza. Ennek a halmaznak, valamint a méretezési célnak ismeretében a tervező már igen nagy biztonsággal választhatja ki az optimumot legjobban megközelítő megoldást.

IRODALOM

1. CHESTNUT, H.: Systems Engineering from an Industrial Viewpoint. Magyar nyelven megjelent a „Rendszerelmélet. Válogatott tanulmányok” c. kötetben. pp. 193/220. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1969
2. CHURCHMAN, C. W.: Rendszerelmélet. Statisztikai Kiadó Vállalat, Budapest 1974
3. FÜZY Jenő: Gyárilag előállított elemekből álló építési rendszerek rendszerelmélet szemléletű, komplex, számítógéppel segített tervezésének elvi szempontjai. Kutatási koncepció és tanulmány, készült az ÉTI Épületszerkezeti tagozatán. Budapest 1974
4. HEMPEL, Carl, G.: General Systems Theory and the Unity of Science. Magyar nyelven megjelent a „Rendszerelmélet. Válogatott tanulmányok” c. kötetben, pp. 39/51. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1969
5. JÁNDY Géza: Rendszerelmélet és irányítás. Statisztikai Kiadó Vállalat, Budapest 1975
6. KAUFMANN, A.—FAURE, R.: Bevezetés az operációkutatásba. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1969
7. MISTÉTH Endre: Töbcbélű létesítmények optimális biztonságának rendszerszemléletű vizsgálata. Kézirat, Budapest 1975
8. SZABÓ Dezső: Az értékelemzés alkalmazási lehetőségei a műszaki tervezésben. Az Építésgazdasági és Szervezési Intézet 2674. sz. jelentése. Budapest 1971
9. VDI Berichte 125: Wertanalyse. Der Weg zum Kostenminimum. VDI-Verlag GmbH. Düsseldorf 1968

Method of the Complex Evaluation and Dimensioning of Building Structures.— On the basis of systems-engineering definition of „building structures” as understood in the widest sense of this term, author suggests a method for the numerical expression of their performance. In possession of some familiar systems of requirements and relationships introduced by the author, the complex estimation of actual building structures may be carried out, as well as their value sequence may be determined and lastly, the dimensioning of building structures adjusted to the system of requirements established in the framework of designing, may be realized.

Methode der komplexen Wertung und Dimensionierung von Baukonstruktionen. — Aufgrund der systemtechnischen Definition der Baukonstruktionen, im weitesten Sinne des Ausdrucks, der von den Materialien ausgegangen bis zu den Hochbauten alles in sich einschließt, schlägt der Verfasser eine numerische Auswertungsmethode derer Leistungsvermögen (performance) vor. Bei Kenntnis irgendeines Anforderungssystems und der vom Verfasser eingeführten Abhängigkeiten kann die komplexe Auswertung von gegebenen Baukonstruktionen, Feststellung ihrer relativen Wertreihenfolge und schließlich eine sich nach dem Anforderungssystem gerichtete komplexe Dimensionierung von Baukonstruktionen durchgeführt werden.

FOGASKERÉK — VILLÁMHŐMÉRSÉKLET

II. A VÁLTOZÓ KAPCSOLÓDÁSI VISZONYOK HATÁSA

KOLONITS FERENC*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett: 1973. január hó 23-án]

A leginkább elterjedt érintkezési hőmérsékletemelkedés (villámhőmérséklet)-számítási eljárások állandó kiterjedésű, intenzitású és haladási sebességű hőforrás feltételezésén alapulnak. Jelen tanulmány ismerteti TOBE pontosabb számítási eljárását és egyszerűsített módszert javasol, amellyel a változó viszonyok közelítőleg követhetők.

Jelölések

(1. index a kiskerékre, 2. a nagykerékre utal)

$p(x)$	felületi nyomás megoszlása a nyomsávon
e_m	mechanikai hőegyenérték
μ	sűrűlási tényező
v	sebesség (cs-index: csúszási)
w	érintkezési nyomsáv fél szélessége
x	fogfelületi koordináta
t, τ	idő
ρ	sűrűség
c	fajhő
λ	hővezetési tényező
a	hődiffúziós tényező ($\lambda/\rho c$), ill. tengelytáv
b	hőbehatalási tényező ($\sqrt{\rho c \lambda}$)
ζ	kapcsolóvonalon mért relatív koordináta ($\overline{N_1 P / \overline{N_1 N_2}}$)
$N_{1,2}$	alapkörök és a kapcsolóvonal érintkezési pontjai
φ, Φ	hőmegoszlási tényező, ill. közepes értéke
Θ	villámhőmérséklet
α_g	kapcsolószög
m	modul
z	fogsorszám
p_n	vonalnyomás
u	fogszámviszony (z_2/z_1)
n	fordulatszám
β	nyomsáv orrpontjától (w szerint vett) felületi relatív koordináta
k	$a \sin \alpha_g$ jelölése
η	hőforrásintenzitás időbeli változását linearizáló tényező
$\delta, \varepsilon, \gamma$	η összetevői sebesség, w , ill. p_n megváltozásából
A, E	kapcsolódás kezdő és végpontja
B, D	egyedi kapcsolás kezdő- és végpontja
C	főpont
ν	Poisson-szám
E	rugalmassági modulus
s	sebesség fajlagos értéke (v/w)
B	Blok-szám (wv/a)
θ	segédváltozó: vizsgált időponttól visszafelé számított idő négyzetgyöke

Egyéb, ritkábban használt jelöléseket a megfelelő helyen definiáltunk.

* Dr. Kolonits Ferenc, 1112 Budapest, Cirmos u. 4

1. A villámhőmérséklet-számítás modelljei

A berágódás okainak elemzése szükségessé tette a kapcsolódás során fellépő hőmérsékletek közelebbi vizsgálatát. Ez a hőfokkép a fog kapcsolódáson kívüli hőmérséklete és egy kapcsolódási hirtelen hőmérsékletemelkedés (villámhőmérséklet) összegeződéséből jön létre.

A villámhőmérséklet számítására az idők során többféle módszert közöltek: ezek a fogat végtelen féltérrel helyettesítik, amelynek határán az érintkezési nyomsáv felett megoszló, végtelen szalagszerű hőforrás mozog [1] [2] [3].

A modellek egy része állandósult viszonyok, állandó haladási sebesség, hőforráserősség stb. mellett, egyszóval a hőforrással együtt mozgó koordináta-rendszerben kezdeti feltétel nélküli stacioner állapotot vizsgál. Ezeket egy korábbi tanulmányban áttekintettük [4]. Legújabban TOBE – KATO – TAKATSU olyan számítási eljárást dolgoztak ki, amely figyelemmel kíséri a kapcsolódás során pontról-pontra változó viszonyokat és mért dinamikus terhelésre alkalmazva a kísérletekkel jellegében, és (bár meglehetősen nagy, acél-konstantán anyagpárra 0,4 sűrűlődi tényező feltételezésével) számszerűen is egyezést mutat [3].

2. TOBE számítási eljárása

2.1. A fejlődött hő egészében az egyik fogba áramlik

A hőforrást az 1. ábra szerinti koordináta-rendszerbe helyezük. Állandónak feltételezett sűrűlődi tényező és $p(x)$ nyomásmegoszlás mellett a nyomsávon

$$q = e_m p(x) |v_{cs}|. \quad (1)$$

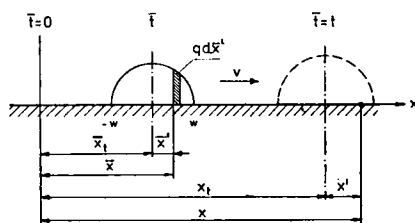
Ha \bar{x} ponton Q intenzitású vonalforrás impulzusszerűen működött, x pontban a hőmérséklet időfüggvénye (kétdimenziós hőlökés):

$$\Theta(x, t) = \frac{Q}{2\pi\lambda t} \exp \left[-\frac{(x - \bar{x})^2}{4at} \right]. \quad (2)$$

Először számoljunk úgy, hogy az összes fejlődött hő az egyik fogba áramlik. Valamely (indulástól számított) x pontban és t időpillanatban a felszíni hőmérséklet számításakor mindazon elemi hőlökéseket kell összegeznünk, amelyek a középhelyzetét 0-tól x_t -ig változtató hőforrás elemi $q \, d\bar{x}'$ vonalforrásai adnak.

$$x_t = \int_0^t v dt,$$

$$\Theta(x, t) = \frac{1}{2\pi\lambda} \int_0^t \frac{d\bar{t}}{t - \bar{t}} \int_{-w}^w q(\bar{x}', t) \exp \left[-\frac{(x - \bar{x}_t - \bar{x}')^2}{4a(t - \bar{t})} \right] d\bar{x}'. \quad (3)$$



I. ábra

Vezessük be az alábbi transzformációkat:

$$\vartheta = \sqrt{t - \bar{t}}, \quad \xi = \frac{x - \bar{x}}{\sqrt{4a\vartheta}}; \tag{4}$$

$$\Theta(x, t) = \frac{2}{\pi b} \int_0^{\sqrt{\bar{t}}} d\vartheta \int_{\xi_1}^{\xi_2} q(x - \bar{x}_t - 2\sqrt{a}\xi\vartheta, t - \vartheta^2) e^{-\xi^2} d\xi, \tag{5}$$

ahol

$$b = \sqrt{\rho c \lambda}, \quad \xi_{1,2} = \frac{x - \bar{x}_t \pm w}{\sqrt{4a\vartheta}}. \tag{6}$$

Az integrálok numerikusan értékelhetők. $\bar{t} = t$ (azaz $\vartheta = 0$) esetében szingularitás lép fel a belső integrál számításánál, de megállapítható, hogy értéke

$$I_{\vartheta=0} = \sqrt{\pi} q(x - \bar{x}_t, t). \tag{7}$$

A kapcsolódási pontok helyét a kapcsolóvonalból kiindulva értelmezzük valamely P pontra

$$\zeta = \frac{N_1 P}{N_1 N_2} \tag{8}$$

viszonylagos evolvensgörbületi sugárral. A kapcsolódó kerek geometriai sebességi és anyagi jellemzőinek ismeretében minden ζ -hez meghatározható a kapcsolódás kezdete óta eltelt idő, megtett utak, sebességek és nyomásviszonyosság. A hőforrásmegoszlást a Hertz-feszültségeknek megfelelően elliptikusnak tekintik.

2.2. A fejlődött hő megoszlásának számítása

Az érintkezés során azonban a fejlődött hő megoszlik a két fog közt. Ha az elemi hőforrás-részekből az 1. fogba hatoló részarányát a hely és idő

függvényében φ -vel jelöljük, úgy

$$\Theta_1(x', t) = \frac{2}{\pi b_1} \int_0^{\sqrt{t}} d\vartheta \int_{\xi_{i,1}}^{\xi_{i,n}} \varphi q e^{-\xi} d\xi, \quad (9)$$

$$\Theta_2(x', t) = \frac{2}{\pi b_2} \int_0^{\sqrt{t}} d\vartheta \int_{\xi_{i,1}}^{\xi_{i,n}} (1 - \varphi) q e^{-\xi} d\xi;$$

φ -t az szabja meg, hogy az érintkező felületek hőmérséklete azonos.

A közepes megoszlási tényező definíciója:

$$\Phi = \frac{\int_{-w}^w \varphi q dx'}{\int_{-w}^w q dx'}. \quad (10)$$

Közelítésként javasolják a Blok-féle, nyomsvá mentén állandó φ -t feltételező

$$\Phi = \frac{b_1 \sqrt{v_1}}{b_1 \sqrt{v_1} + b_2 \sqrt{v_2}} \quad (11)$$

közepes megoszlási tényező alkalmazását, így az (5) szerint számolt villámhőmérsékletekből

$$\Theta_1 = \Phi \Theta, \quad \Theta_2 = (1 - \Phi) \Theta. \quad (12)$$

A pontos vizsgálathoz a kapcsolódás kezdete óta eltelt időt kicsi Δt szakaszokra bontják. Legyen az aktuális időpont épp a n -ik szakasz végén, ekkor közelítőleg

$$\Theta(x', n\Delta t) = \frac{1}{\pi b} \sum_{i=1}^n \{ (K_{i-1} + K_i) [\sqrt{i\Delta t} - \sqrt{(i-1)\Delta t}] \}, \quad (13)$$

$$K_i = \int_{\xi_{i,1}}^{\xi_{i,n}} \varphi[x', (n-i)\Delta t] q[x', (n-i)\Delta t] e^{-\xi} d\xi.$$

Feltételezzük, hogy az $n-1$. időszakasz végéig a számítást már elvégeztük. Az eredményekből a K_1, \dots, n mennyiségek meghatározhatók. A (7) összefüggés alapján

$$K_0 = \sqrt{\pi} \varphi(x', n\Delta t) q(x', n\Delta t), \quad (14)$$

ez ismeretlen. Azonban hasonló egyenleteket írhatunk fel Θ_2 -re is és a hőmérsékletek azonosságának feltételéből $\varphi(x', n\Delta t)$ meghatározható.

2.3. Számszerűségek

A módszer rendkívül munkaigényes, csak számítógépen realizálható.

Részletesen megvizsgálták egy $\alpha_g = 20^\circ$, $m = 3$ mm, $z_1 = 18$, $z_2 = 30$, $p_{n,\max} = 300$ kp/cm, $n_1 = 3000$ /min elemi fogazatú fogaskerékpárt, minden hőt egy fogra számolva, ill. megoszlási tényezővel, végig maximális, ill. fog-

rugalmasság szerint megoszló vonalnyomás tekintetbevételével. A legnagyobb hőmérsékletek az A kapcsolópont környékén lépnek fel, de a Blok-féle hőmérsékletképpel ellentétben a nyomsávon fellépő Θ_{\max} a kapcsolódás kezdetén nem nő ugrásszerűen, hanem $\Theta_A = 0$ -tól kezdetben igen meredek (vízszintes tengelyű parabola csúcskörnyékéhez hasonló) emelkedés után ér el (a Blok-féle Θ_A -nál kisebb) csúcspontot. Ezután jellegében a Blok-képletnek megfelelő Θ -k adódnak, számszerűleg is jó közelítéssel.

A közepes megoszlási tényező A pontban 0,5, eztután gyorsan csökken, és a további kapcsolódás során újra növekedve a Blok-féle értéket igen jól megközelíti.

Diagramokat közölnek (az egész hőfejlődés hatását az 1. kerékre számolva, de fogrugalmasságot tekintetbe véve), ahol változó n_1 ill. m -re ábrázolják az A pont környékén kialakuló maximumot, ill. az A pontban BLOK szerint fellépő maximális értéket. Az eredmények növekvő $B = wv/a$ Blok-szám mellett közelednek egymáshoz.

A kísérletek és számítások eredményét mért dinamikus terhelések alapján vetették össze, amelyek igen eltértek a használatos (elméleti) vonalnyomás-képtől. A kísérleteknél az előbbitől eltérő kerékpárt alkalmaztak (rögzített napkerek bolygómű, a napkerék egyik foga a keréktesttől műgyantával izolált konstantán, napkerék 22, bolygókerék 14 fogú elemi fogazat, $\alpha_g = 20$ $m = 4$ mm). A két részletesen kiértékelt esetre $p_{n,\max} = 36,2$, ill. $27,2$ kp/cm, $n_2 = 705$ ill. $1450/\text{min}$ a tényleges dinamikus terhelések a fenti névleges értékektől eltérnek. További méréseket végeztek $p_{n,\max} = 18,1 \dots 68,2$ kp/cm, $n_2 = 700 \dots 1200/\text{min}$ mellett: a maximális hőmérséklet a fordulatszámmal és $p_{n,\max}$ négyzetgyökével arányos növekedést mutatott.

3. Egyszerűsített számítás

A fogfelületre merőleges egydimenziós, ill. kétdimenziós hővezetéssel számoló stacioner modell eredményeinek egybevetéséből látható, hogy az egydimenziós számítás már viszonylag kis Blok-szám mellett is elfogadható közelítést ad, különösen, ha figyelembe vesszük az alapadatok elkerülhetetlen pontatlanságát; a képletek viszont jelentősen egyszerűsödnek. Ezért megvizsgáljuk, hogyan lehet a Blok-modelt változó viszonyokra alkalmazni.

A Tobe-modellnél adott időben és pontban kialakuló hőmérsékleteket elvileg a kapcsolódás kezdetétől az aktuális pillanatig terjedő időköz ill. a hőforrás által közben megtett útszakasz minden „eseménye” befolyásolja. Ha a vizsgált pont éppen az aktuális érintkezési nyomsávon van, megállapítható, hogy a megelőző hőforráshelyzetekből eredő hatás először kevésbé, majd hirtelen csökken, utána megint kisebb ütemű csökkenés tapasztalható (végtelen távolban aszimptotikusan nullához tart). Az erős csökkenés azon helyzet kör-

nyékén következik be, amelynél korábbi időpontban a vizsgált pont az érintkezési nyomsávon még kívül van: üteme a Blok-szám növekedésével nő. Fizikai tartalma, hogy a hőforrásból közvetlen érintkezéssel betáplált hő egyre nagyobb szerepet játszik a felszíni hőmérsékletek kialakulásában B növekedtével a korábbi hőbevezetésektől vezetéssel átáramló hőmennyiséghez képest, illetve adott felszíni pont hőmérsékletét döntően azon hőforráshelyzetek hatása befolyásolja, amelyeknél a vizsgált pont az érintkezési nyomsávon belül van (megfontolásainkat egyenletes megoszlású hőforrás középpontjára végeztük (5) alapján — 1: a 4.3. részt — de a következtetés fizikailag reális más esetre is).

Hogy számításainkat lehetőleg egyszerűsítsük, a nyomsáv egy pontjának vizsgálatakor a nyomsáv szélességet és a haladási sebességet a (középpontnak megfelelő) állandó értékekkel számoljuk. A hőforrásmegoszlást parabolával közelítjük. A viszonyok változását a középponti hőforrásintenzitásnál vesszük tekintetbe: a vizsgált helyzet körül a változást a leíró függvény érintőjével helyettesítjük.

A nyomsávon relatív koordinátákat bevezetve (az orrponton $\beta = 0$, nyomsáv másik végén $\beta = 2$):

$$q = q_c(2\beta - \beta^2), \quad (15)$$

$$q_c = \frac{3}{4} e_m \mu \frac{p_n v_{cs}}{w}. \quad (16)$$

Legyen

$$-\eta = \frac{1}{q_c} \frac{dq_c}{dt} = \frac{1}{p_n} \frac{dp_n}{dt} + \frac{1}{v_{cs}} \frac{dv_{cs}}{dt} - \frac{1}{w} \frac{dw}{dt} = \gamma + \delta - \varepsilon. \quad (17)$$

Ha bevezetjük a

$$k = a \sin \alpha_g, \quad v_a = r_{a1} \omega_1 \quad (18)$$

jelöléseket, és ζ_A az A pont (8) szerinti helyzetjellemzője, az alábbi összefüggéseket írhatjuk fel:

$$\zeta = \zeta_A + \frac{v_a}{k} t, \quad (19)$$

$$w = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1,2} \frac{1 - v_i^2}{E_i} \sqrt{p_n k} \sqrt{\zeta(1 - \zeta)}}, \quad (20)$$

$$v_{cs} = \pm k \omega_2 [1 - (u + 1)\zeta], \quad (21)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{1}{\zeta} - \frac{1}{1 - \zeta} \right) \frac{v_a}{k} + \gamma \right\}, \quad (22)$$

$$\delta = \mp \frac{v_a}{k} \frac{1}{\frac{1}{u + 1} - \zeta}, \quad (23)$$

A (21) és (23) képletekben a felső előjel az \overline{AC} , az alsó pedig a \overline{CE} kapcsolószakaszra vonatkozik.

Elméleti vonalnyomásképet véve kétfogpár (pl. \overline{AB}) szakaszon, rugalmas fogak esetében

$$\gamma = \frac{v_a}{k} \frac{1}{\frac{P_{n,A}\zeta_B - P_{n,B}\zeta_A}{P_{n,B} - P_{n,A}} + \zeta}, \quad (24)$$

egyfogpár-kapcsolódáskor vagy merev fogaknál $\gamma = 0$.

Ilymódon a szükséges jellemzők meghatározhatók mind a hely, mind az idő függvényében. A hőforrásintenzitás időfüggése:

$$q_c = q_{c,0}[1 + \eta(t_0 - t)]. \quad (25)$$

Ugrásszerű intenzitásváltozás külön vizsgálatot igényel; szorítkozunk egyelőre a kapcsolódás megkezdődését követő jelenségekre.

3.1. Az összes súrlódási hő az egyik fogba áramlik

Keressük a hőmérsékletet a kapcsolódás kezdetétől számított t idő múlva, az aktuális hőforráshelyzetre értelmezett β relatív koordinátájú pontban. A Blok-féle módszert követve összegeznünk kell mindazon elemi hőforrásrészekből eredő hőlékések hatását, amelyek a vizsgált pont felett elhaladtak.

A β helyen τ idő előtt a hőforrás $\beta - \tau v/w$ helyéhez tartozó elemi hőforrás hatott, ha ez a hely egyáltalán a nyomzávon belül van. Ennek feltétele:

$$\tau \leq \frac{w}{v} \beta \quad (26)$$

(A továbbiakban a v/w értéket, mint speciális hosszegységben számított sebességet, s -el jelöljük). Hőmérsékletek (a t időpontbani hőforrásintenzitással):

$$\Theta(\beta, t) = \frac{q_{c,t}}{b\sqrt{\pi}} \int_0^f \frac{d\tau}{\sqrt{\tau}} (1 + \eta\tau)[2(\beta - s\tau) - (\beta - s\tau)^2]. \quad (27)$$

Az f felső határ t , ha ez kisebb β/s -nél; ez azon pontoknál fordul elő A környezetében, amelyek az A ponthoz tartozó nyomzávon is rajta vannak („felfutási szakasz”). Ellenkező esetben a felső határ β/s („kialakult szakasz”, már nem függ explicit a kapcsolódás kezdetétől eltelt t időtől). Elvégezve az integrálást,

$$\Theta_f = \frac{2q_{c,t}}{b\sqrt{\pi}} \left[(2\beta - \beta^2) \left(1 + \frac{\eta t}{3}\right) - 2(1 - \beta) \left(\frac{1}{3} + \frac{\eta t}{5}\right) s t - \left(\frac{1}{5} + \frac{\eta t}{7}\right) s^2 t^2 \right] \sqrt{t}, \quad (28)$$

$$\Theta_k = \frac{8q_{c,t}}{15\sqrt{\pi}} \frac{\beta\sqrt{\beta}}{b\sqrt{s}} \left[(5 - 2\beta) + \frac{\eta}{s} \beta \left(1 - \frac{2}{7} \beta\right) \right],$$

Ha a második képletben a szögletes zárójel második tagját elhagyjuk, a Blok-képletet kapjuk. Látható, hogy TOBE eredményeivel kapcsolatos megfontolásokkal összhangban a kapcsolódás kezdetén a hőmérséklet vízszintes tengelyű parabola csúcskörnyéki értékeinek megfelelően alakulnak. Szélsőértékhely

$$\beta_f = 1 + \frac{st}{5} \frac{5 + 3\eta t}{3 + \eta t}, \quad (29)$$

$$\beta_k = \frac{1}{2} \left[\sqrt{\left(5 \frac{s}{\eta} - \frac{5}{2}\right)^2 + 30 \frac{s}{\eta} + \frac{5}{2} - 5 \frac{s}{\eta}} \right] \approx \frac{3}{2} + \frac{3}{10 \frac{s}{\eta} + 1}, \quad (\eta \ll s).$$

Adott időpontban, adott nyomásvá helyzet vizsgálatakor a nyomásv elején ($0 \leq \beta \leq st$; $2 \leq st$ esetén a teljes nyomásvön) kialakult, a hátrább fekvő szakaszon ($\beta \geq st$, ha van ilyen) felfutási viszonyoknak megfelelően kell számolni a hőmérsékleteket. A két tartomány határán a hőmérséklet-eloszlás-görbék törésmentesen csatlakoznak egymáshoz. A (29) szélsőérték-helyek közül az adja a tényleges legnagyobb hőmérsékletet, amelyik a saját értelmezési tartományában van. Extrém paraméterek esetében (29) további diszkusszióra szorul, ez túlmenne jelen tanulmány keretein.

Belátható, hogy

$$\Theta_{f, \max} = \frac{2q_{c,t}}{b\sqrt{\pi}} \sqrt{t} \left[\frac{z}{3} - \frac{4}{525} (st)^2 \left(3z + 12 - \frac{28}{z} \right) \right], \quad (z = 3 + \eta t), \quad (30)$$

valamint $\eta \ll s$ esetében közelítőleg

$$\Theta_{k, \max} = \frac{4}{5} \frac{3}{2\pi} \frac{q_{c,t}}{b\sqrt{s}} \left[2 + \frac{6}{7} \frac{\eta}{s} + \frac{3}{10 + \frac{\eta}{s}} \left(\frac{\eta}{s} \right)^2 \right]. \quad (31)$$

(Az η -t tartalmazó tagokat elhagyva a Blok-féle képlet adódik.)

A képletek további értékelését a számszerű vizsgálatok kapcsán végezzük.

3.2. A fejlődött hő megoszlása a kapcsolódó fogpáron

TERAUCHI [2] tanulmányában kétdimenziós stacioner modellnél meglehetősen bonyolult numerikus módszerrel (a nyomásv kis szakaszokra bontásával, elemi hőmérlegekkel) számítja a hő megoszlását, emellett azonban egyszerűsített eljárást is javasol: a nyomásv érintkező pontjaira a teljes hőmennyiség beáramlását feltételezve meghatározza $\Theta_{1,2}$ hőmérsékletemelkedéseket; a hőmegoszlást figyelembevevő közös érték:

$$\Theta = \frac{\Theta_1 \Theta_2}{\Theta_1 + \Theta_2}. \quad (32)$$

A megoszlási tényezőt ily módon pontról-pontra időben állandó közepes értékkel veszi tekintetbe: ez, bár elvileg pontatlan, igen tág határok között végzett ellenőrző számítások szerint az előbbi módszerrel összevetve attól alig eltérő eredményeket szolgáltat.

A legnagyobb Θ közvetlen meghatározására ezen eljárás alapján egyszerű módszert szerkeszteni nem sikerült. Durva közelítésként [5] nyomán számításba jöhet a következő gondolatmenet.

A teljes hőmennyiség beáramlását feltételezve a (28)–(31) képletekkel közvetlenül meghatározhatók mindkét kerékre a legnagyobb Θ -értékek. Ha feltételezzük, hogy két keréken kialakuló hőmérsékleteloszlás alakilag nem nagyon különbözik és térben-időben állandó közepes megoszlási tényező alapján számolunk (az előbbihez hasonlóan), akkor a (32) képlet szerint az egyes kerekre számolt maximumokból számíthatjuk a kialakuló legnagyobb Θ -t.

TOBE [3] közelítésként javasolja, hogy a hőmegoszlást a módszerével az 1. kerékre adódó legnagyobb Θ -t a Blok-féle elméletből következő

$$\Phi = \frac{b_1 \sqrt{v_1}}{b_1 \sqrt{v_1} + b_2 \sqrt{v_2}} \quad (33)$$

megoszlási tényezővel szorozva vegyük figyelembe.

3.3. Elliptikus és parabolikus hőforrámegoszlás

Megfontolásainkban parabolikus hőforráseloszlást vettünk tekintetbe. Ha a hőforrásintenzitást a felületi nyomással vesszük arányosnak, a Hertz-féle félelliptikus megoszlással kellene számolnunk (TOBE elvégzett számításai ezen alapulnak). A parabola- és félellipszis-megoszlással a Blok-féle modell alapján számítható eloszlások jellegben hasonlóak, legnagyobb értékeikre azonban [4]

$$\frac{\Theta_{\max,e}}{\Theta_{\max,p}} = 0,9479. \quad (34)$$

Az eltérés tekintetbe vételére a továbbiakban a kiadódó maximális hőmérsékletemelkedéseket ezen szorzóval helyesbítjük.

4. Számszerű eredmények

Vizsgálataink célja az volt, hogy megállapítsuk, a legpontosabbnak tekinthető Tobe-féle eredmények mennyire közelíthetők meg a jelen tanulmányban vázolt módszerrel, és az elérhető közelítés hogyan viszonylik az

egyéb használatos módszerekéhez. A dinamikus terhelések esetét nem vizsgáltuk s csupán a kapcsolódás kezdetét követő időszakra szorítkoztunk.

TOBE számításaiban $z_1 = 18$, $z_2 = 30$ fogú, $\alpha_g = 20^\circ$ elemi fogazatú acél-acél kerékpárt vizsgál; $m = 3$ mm, $p_{n, \max} = 300$ kp/cm, $n_1 = 3000/\text{min}$, $b = 13,486$ kp/cmC 0,5 $^{1/2}$. A μ súrlódási tényező csupán arányossági szorzó, értékét 1-nek vesszük.

4.1. A fejlődött hő teljesen az 1. kerékbe áramlik

A számítást elvégeztük $p_n = 300$ kp/cm állandó vonalnyomás figyelembevételével (tehát mintha már a kapcsolódás kezdetén is csak egy fogpár dolgoznék) ill. a TOBE által használt kétfogpár-terhelésmegoszlás számítás alapján. Utóbbi esetben $p_{n, A} = 111,39$ kp/cm, ami az AB szakaszon $p_{n, \max}/2$ értékre szimmetrikusan és lineárisan változik. Eredmények (1. kerékre)

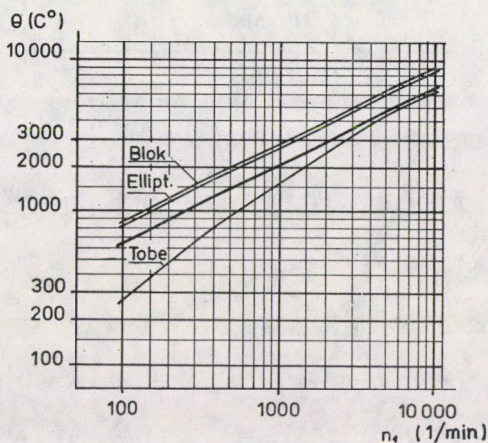
I. táblázat

Módszer	Egyfogpár				Kétfogpár			
	θ_{\max}	$\Delta\theta[\%]$	$\Delta/\Delta_{\text{jel.}}$	ζ_{\max}	θ_{\max}	$\Delta\theta[\%]$	$\Delta/\Delta_{\text{jel.}}$	ζ_{\max}
TOBE	5829	0	0	0,1217	3143	0	0	0,1154
jelen vizsg.	6545	12,3	1	0,1140	3630	15,5	1	0,1053
BLOK	10011	71,7	5,84	0,07763	4762	51,5	3,32	0,07763
ellipt.	9489	62,8	5,11	0,07763	4514	43,6	2,82	0,07763

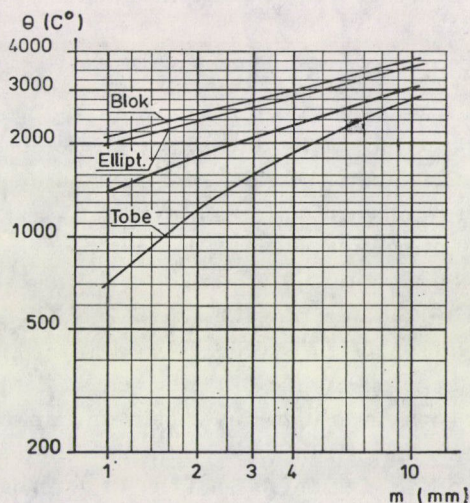
A TOBE és BLOK szerinti hőmérséklet és maximumhely [3] alapján szerepel a táblázatban (nagyreszt diagramból leolvasott értékek). Az utolsó sort (34) tényezővel számítottuk.

A táblázat oszlopai a kapcsolódás kezdeti szakaszán fellépő legnagyobb villámhőmérséklet értékét, a (legpontosabbnak tekinthető) Tobe-féle értéktől való eltérést, a hibának a jelen vizsgálat hibájához viszonyított arányát és a legnagyobb villámhőmérséklet kapcsolóvonal helyzetmutatóját tartalmazza. A maximumokat sorozatos számítással és igen közel fekvő értékek közti parabolikus interpolációval határoztuk meg.

A kétfogpár-modell alapján sorozatos számításokat végeztünk $m = 3$ mm, $n_1 = 100-10000/\text{min}$, ill. $m = 1-10$ mm, $n_1 = 1000/\text{min}$ értékek mellett (a képletek elemzésével bebizonyítható, hogy az első esetben a maximumok változása a fordulatszám négyzetgyökével arányos ugyanúgy, mint a Blok-féle formulánál). Az eredményeket a 2. és 3. ábra mutatja. A maximumok mindenkor felfutási szakaszban adódtak.



2. ábra



3. ábra

4.2. A hőmegoszlás hatása

Az előbbieken vizsgált kerékpárt vizsgáltuk ugyancsak egy- és kétfogpár-kapcsolódás feltételezésével; a táblázatba felvettük a TOBE javaslata szerint BLOK-féle Φ -vel számított, valamint a külön-külön maximumokkal (32) szerint számolt értékeket is. Az utóbbit a pontról-pontra (32)-vel történő számítással (2. sor) felderített maximumhelyen számoltuk; nem feltételezhető, hogy a durva közelítő módszer éppen ugyanitt szolgáltatja a legnagyobb értéket, de bizonyos tájékoztatást nyújt a közelítés minőségére, a többi valóban maximális értékkel csak ennek figyelembevételével vehető össze.

II. táblázat

Módszer	Egyfopár			Kétfopár		
	θ_{\max}	$\Delta\theta\%$	$\Delta/\Delta_{\text{jel.}}$	θ_{\max}	$\Delta\theta\%$	$\Delta/\Delta_{\text{jel.}}$
TOBE	2080	0	0	1070	0	0
jelen vizsg.	2072	— 0,4	1	1098	2,6	1
TOBE, Φ BLOK	1740	—16,3	42,50	940	12,1	4,64
BLOK	2730	31,3	81,25	1300	21,5	8,21
ellipt. hőforr.	2588	24,4	63,50	1232	15,1	5,79
$\Theta_{\max}(32)$	2096	0,8	2	1101	2,9	1,11

A maximumok helye ($\zeta_{\max} = 0,10557$, ill. $0,10268$) gyakorlatilag megegyezik TOBE eredményeivel.

A számításokhoz Hewlett—Packard 9100B asztali miniszámítógépet használtunk (32 rekesz, rekeszenként egy szám, vagy 14 elemi utasítás tárolható), a kézi számítás elég hosszadalmas, bár megvalósítható.

4.3. Az eredmények értékelése

A jelen vizsgálati módszer két alapvető elhanyagolást tartalmaz a Tobe-féle modellhez képest: egyrészt a változó viszonyokat csupán a hőforrás-intenzitás időben lineáris változásával veszi figyelembe, másrészt Blok-féle eljáráshoz hasonlóan a felületre merőleges hővezetést veszi számításba csupán.

Időben állandó hőforrásintenzitás, stacioner modell esetén egy korábbi tanulmányban [4] bebizonyítottuk tetszőleges hőforráseloszlásra, hogy a csupán felületre merőleges hővezetést számításba vevő képlet a kétdimenziós hővezetés mellett levezethető összefüggés aszimptotikus közelítése nagy Blok-szám mellett. A Blok-szám csökkenésével a kétdimenziós modell az egydimenziósnál egyre kisebb villámhőmérséklet-maximumokat ad, amint az TERAUCHI [2] számításaiból kitűnik. A vizsgálatokból kiadódó maximum-pontokon a Blok-számok egyfopár-modell esetében $B_1 = 5,97$, $B_2 = 30,35$, kétfopárnál $B_1 = 3,64$, $B_2 = 19,06$. A kisebb Blok-számoknál [2] szerint stacioner esetben kb. 1–2% különbség van, a nagyobbaknál az egydimenziós számítás gyakorlatilag pontos. A 4.1. számításoknál jelentkező 12–15%-os eltérést, bár értelemre megfelelő, ez a hibaforrás csak kis részben fedezi; valószínű azonban, hogy a felfutási szakaszban nagyobb a különbség az egy- és kétdimenziós hővezetés mellett számítható hőmérsékletek közt, mint kialakult, stacioner viszonyok esetében.

Vizsgáljunk egyszerűsített példát: egyenletes eloszlású hőforrás közép-pontjának viselkedését állandó jellemzők melletti felfutás esetében. TOBE szerint

$$\Theta(t) = \frac{q}{b\sqrt{\pi}} \int_0^{\sqrt{t}} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{w}{2\sqrt{a}\vartheta} + \frac{v}{2\sqrt{a}} \vartheta \right) + \operatorname{erf} \left(\frac{w}{2\sqrt{a}\vartheta} - \frac{v}{2\sqrt{a}} \vartheta \right) \right] d\vartheta; \quad (35)$$

jelen vizsgálat szerint felfutásra

$$\Theta(t) = \frac{2q}{b\sqrt{\pi}} \sqrt{t}; \quad (0 \leq t \leq w/v = aB/v^2 = \vartheta_1^2), \quad (36)$$

ehhez (töréssel) csatlakozva állandósult állapotban BLOK szerint

$$\Theta = \frac{2q}{b\sqrt{\pi}} \sqrt{\frac{w}{v}} = \frac{2qw}{\lambda\sqrt{\pi B}}; \quad (37)$$

TERAUCHI eljárását kétdimenziós hővezetés mellett ugyanerre specializálva [2], [4], ha B elég nagy (a szereplő Bessel-függvényeket aszimptotikus formulákkal helyettesítve)

$$\Theta = \frac{2qw}{\lambda\sqrt{\pi B}} \left(1 - \frac{e^{-B}}{2B} \right). \quad (38)$$

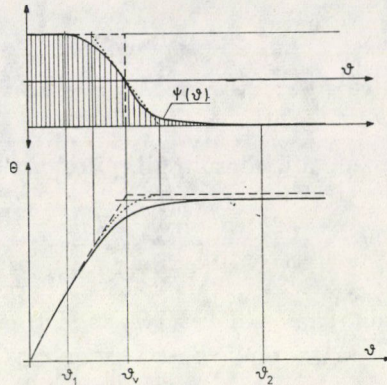
Ezen utóbbi értelemszerűen (35) aszimptotikus kifejezése nagy t esetében.

Vizsgáljuk meg (35)-ben az erf-argumentumokat. $\vartheta = \sqrt{w/v}$ -nél az elsőnek minimuma (érték \sqrt{B}), a másodiknak zérushelye van. Amennyiben $B \geq 8$, az első erf értéke a teljes integrációs tartományban egységnyinek vehető, a másodiké kis μ -nál -1 , majd a zérushely után átváltva meglehetősen gyorsan $+1$ -hez tart (gyakorlatilag a $(\sqrt{8+B} \mp 2\sqrt{2})\sqrt{a}/v$ kifejezés $\vartheta_{1,2}$ -értékek közt változik, egyebütt jó közelítéssel ± 1). A 4. ábrán fordított koordinátarendszerben ábrázoltuk a két erf kvalitatív képét: a (35) integrál a két görbe közti területként adódik. A jobb áttekinthetőség kedvéért toljuk lefelé egységgel a ϑ -t és fordítsuk szokásos helyzetbe az ordinátatengelyt (üres nyilak). A függvényt, amely így a teljes integrandus alakulását mutatja, jelöljük $\psi(\vartheta)$ -val. Ennek menetéből megfelelő módosításokkal változó viszonyokra is levonhatók a 3.-ban említett következtetések.

A Blok-féle közelítés ψ -t a szaggatottan megrajzolt ugrásszerű változással helyettesíti. A hőmérsékletek változását — ami (36) (37)-nek felel meg — a 4. ábrán szaggatott vonallal tüntettük fel. (37) és (38) egybevetéséből belátható, hogy a kétdimenziós modellből számítható állandósult hőmérséklet kisebb, mint az egydimenziós (Blok-féle) közelítés. A (35) görbéje ϑ_1 után válik el (36)-tól (egyre csökkenő differenciálhányadossal) és az eltérés növekszik. ϑ_v után az eltérés csökken, ϑ_2 után jó közelítéssel beáll az állandósult állapot. Belátható, hogy ϑ_v -nél jelentkezik a legnagyobb eltérés, amely az állandósult hőmérsékletek különbségénél nagyobb.

A ψ függvény inflexiós pontja ϑ_v -től jobbra helyezkedik el, de B növekedtével ϑ_v -hez tart. A ϑ_v -nél vont érintő, amelynek meredeksége

$$\left. \frac{d\psi}{d\vartheta} \right|_{\vartheta_v} = - \frac{2v}{\sqrt{a\pi}}, \quad (39)$$



4. ábra

B növekedésével határhelyzetben inflexiós érintő lesz. Ha ψ -t az átmenetben ezen érintővel helyettesítjük, ennek Θ -ban ϑ szerint parabolikus szakasz felel meg (pontosított vonal), az állandósult érték (37)-el egyezik, ami viszont nagy B -re (38)-al egyező eredményt ad. Így jobb közelítő eljárást szerkeszthetünk, ezzel azonban részleteiben nem foglalkozunk.

Bár B növekedtével az átmeneti szakasz képe nem közelít minden határon túl a fenti linearizált vagy a Blok-féle elméletnek megfelelő ugrásszerű átmenethez, a (35) integrál azon része, amelyet az átmeneti szakasz befolyásol, az egészhez, ill. még inkább a közelítő állandósult értékhez képest (elég nagy B -től kezdve) hozzávetőleg \sqrt{B} -vel fordított arányban csökken: ennek megfelelően csökken közelítésünk hibája is. A gondolatmenet alapján számszerűen is megmutatható, hogy a felfutási szakaszban az egydimenziós közelítésből adódó hiba nagyságrendileg megfelel a vizsgálatainknál tapasztalt eltéréseknek

A II. táblázat szerint az 1. keréken végzett villámhőmérsékletszámítás pontosságához képest a kölcsönhatást figyelembe vevő tulajdonképpeni végeredmény hibája kicsi. A (32) képlet alapján bizonyítható, hogy

$$\frac{\Delta\Theta}{\Theta} \simeq \frac{\Theta_2 \Delta\Theta_1 / \Theta_1 + \Theta_1 \Delta\Theta_2 / \Theta_2}{\Theta_1 + \Theta_2} \quad (40)$$

A maximális villámhőmérséklet-csúcs időpontjában és környezetében mindkét vizsgált esetben Θ_2 jóval kisebbre adódik, mint Θ_1 . Mivel a csúcs nem a felfutás legelején lép fel és a nyomsvá jó részén már kialakult viszonyok uralkodnak, közelítésként feltételezhetjük, hogy általában a (28/2) alapján becsülhetjük meg $\Theta_{1,2}$ arányát: a sebességviszonyoknak megfelelően ebből $\Theta_1 > \Theta_2$. Viszont $B_1 < B_2$, tehát a kisebb Θ_2 -nél módszerünk kisebb hibát jelent. És mivel (40) szerint az eredő hibában a nagyobb Θ -val a kisebbik részhiba, ill. viszont súlyozódik, indokolt az említett pontosságnövekedés. A kétfogpár-kapcsolódásra kapott nagyobb eltérés a kisebb Blok-számok

következménye, mégpedig $\Theta_{1,2}$ nagyobb pontatlanságán túl azért is, mert a (32) kölcsönhatás-számító képlet végső soron a Blok-féle elméletnek felel meg, várható, hogy kisebb B -knél rosszabb közelítést ad.

A 2. és 3. ábrán feltüntettük TOBE nyomán az ő eljárásából adódó eredményeket is. Amennyire a leolvasási pontatlanságok mellett meg lehet ítélni, azonos Blok-féle számhoz a két ábrán nagyjából azonos eltérések tartoznak és alakulásuk mutat valamelyes kapcsolatot \sqrt{B} -vel (bár ez utóbbi a nagy szórás és a viszonylag kis B -k miatt eléggé bizonytalanul ítéltető meg).

Összefoglalóan: úgy tűnik, hogy a kapott eltéréseket -- legalábbis nagy részben -- az egydimenziós modell hibája indokolja. A változások linearizálásával hatását az adott terhelési viszonyok és rendelkezésre álló eredmények mellett nem lehetett elkülöníteni. BLOK -- részben és egyszerűsített modellen -- megvizsgálta a változások elhanyagolásának hatását kialakult viszonyok közt és nem találta jelentősnek. Valószínű tehát, hogy esetünkben sem okoz nagy eltérést.

Ebből azonban következik, hogy B növekedtével a Tobe-féle eredmények aszimptotikus értéke viszonylag kevésbé tér el jelen vizsgálat eredményeitől. Ezen utóbbiak viszont (2. ábra) nem szükségképp tartanak a Blok-féle (vagy akár az elliptikus megoszlással számítható) villámhőmérséklet-csúcsokhoz. A felfutási szakasz figyelmen kívül hagyása még a Blok-féle szám igen nagy értéke mellett is okozhat -- adott esetben tetemes -- hibát, amelynek nagysága a fogazat egyéb jellemzőitől függően alakul.

Az eredményekből látható, hogy a pontos Tobe-féle számítás eredményeit jelen eljárás valamennyi tekintetbe vett egyéb módszernél jobban közelíti meg. Meg kell azonban említeni, hogy TOBE a kísérletekkel összevetett eredményeit mért, dinamikus terhelésekre alapozta: bizonyos, hogy ilyen, az elvi vonalnyomáslefutástól eltérően erősen változó terheléskép mellett a változások linearizálása nagyobb hibával jár.

5. Áttekintés

TOBE és munkatársai a kapcsolódás lefutása során fellépő jelenségek igen részletes analizésével minden eddigénél kisebb elhanyagolással határozták meg a villámhőmérsékletek alakulását. Adott keréken elvégzett számításaik általában a Blok-féle elmülethez közelálló érrékeket adtak, kivéve a (hirtelen terhelésváltozást jelentő) belépő kapcsolópont környezetét. (Nyilvánvaló, hogy más fogazat esetén a belépő egyedi kapcsolóponton is minőségileg hasonló a helyzet).

Jelen tanulmányban a Blok-féle modellt kiterjesztettük a bekapcsolási jelenségekre, a változásokat linearizáltuk, a fejlődött hő megoszlását pedig TERAUCHI javaslata szerint számoltuk. Ily módon minőségileg megfelelő, B

növekedésével javuló közelítést kaptunk. Megfontolásainkat a belépő kapcsolópont környékére végeztük, elvi vonalnyomáslefutás mellett. Az egyedi kapcsolópontok körzetét megfelelő szuperpozícióval vizsgálhatjuk, valóságos dinamikus terhelésképre az általánosítás valószínűleg a hiba növekedésével jár. A felfutási szakasz hatása a villámhőmérsékletek alakulására B növekedtével nem tűnik el szükségszerűen.

TOBE és a jelen vizsgálat eredményeiből kitűnik, hogy adott kerékpárnál a villámhőmérsékletek a forgásiránytól is függenek. A két- és egyfogpárkapcsolás elején a bekapcsolási jelenségek befolyásolják az adódó maximumokat, a kilépő pontokon azonban nem.

IRODALOM

1. BLOK, H.: *The Surface Temperatures under Extreme Pressure Lubricating Conditions*, Szerző kiadása, 1937, Delft.
2. TERAUCHI, Y.—HAMAMOTO, T.: On the Surface Temperature Rise Caused by Frictional Heating, *Journal of JSLE*, 15 (1970), 133—138.
3. TOBE, T.—KATO, M.—TAKATSU, N.: Surface Temperatures on Gear Teeth, MTA IV. Korszerű Méretezési Konferencia B. szekció, 1971. okt. 5—7. Budapest.
4. KOLONITS F.: Fogaskerék-villámhőmérséklet (1. közlemény) sajtó alatt.
5. TERAUCHI, Y.—MIYAO, Y.—NADANO, H.: On the Seizure Caused by Pure Sliding and Rolling-Sliding Motion, *Trans. JSME*, 36, No. 281, (Jan. 1970), 119—125.

The Flash Temperature of Gears. II. The Influence of the Varying Engagement Conditions. The most commonly used methods for calculating the flash temperature of gears are based on the assumption of a heat source having a constant size, intensity and velocity. In the paper the author presents the more exact calculation method of TOBE and proposes a simplified method for the approximate evaluation of the changing conditions.

Blitztemperaturen von Zahnrädern. II. Der Einfluß der veränderlichen Eingriffsverhältnisse. Die am meisten verbreiteten Berechnungsmethoden für die Kontakttemperaturerhöhung (Blitztemperatur) beruhen auf der Voraussetzung einer Wärmequelle mit konstanter Ausdehnung, Intensität und Geschwindigkeit. In der vorliegenden Arbeit wird die genauere Methode von TOBE dargelegt und ein vereinfachtes Verfahren vorgeschlagen nach dem die veränderlichen Verhältnisse näherungsweise verfolgt werden können.

EGYIK VÉGÜKÖN BEFOGOTT, MÁSIK VÉGÜKÖN TERHELT PRIZMATIKUS RUDAK RUGALMAS NAGY ALAKVÁLTOZÁSA

BONDY PÁL*

[Beérkezett 1975. június 6-án]

Egyik végén befogott, a szabad végén síkbeli erővel és erőpárral terhelt egyenes rúd (rugó) nagy hajlítási alakváltozását vizsgálva, a szerző levezeti hatványsorok alakjában az alakváltozás képleteit, a rugalmas vonal differenciálegyenletének kis alakváltozásoknál jogos egyszerűsítése nélkül.

Szimmetrikus keresztmetszetű prizmatikus rudak rugalmas alakváltozásának számítása a szimmetriasík működő erők esetében a rugalmas vonal ismert differenciálegyenletéből indul ki:

$$\frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} = \frac{M(x)}{EI}. \quad (1)$$

Kis alakváltozások esetében $y' \approx 0$, miért is ilyenkor a fenti képlet helyett az

$$y'' = \frac{M(x)}{EI} \quad (1a)$$

képlet alkalmazható.

Nagyobb alakváltozások esetében az (1a) képlet helyett az (1) képlethez kell folyamodni, mely — kivételektől eltekintve — elliptikus integrálokra vagy elliptikus függvényekre vezet [1–5, 8]. Az ezekkel járó nehézségek kiküszöbölésére célszerűnek látszik egyszerűen kezelhető közelítő képleteket felállítani, amelyek a szokásos, kis alakváltozásokra érvényes képletek bővítései. Ezek a képletek hatványsorok; több szerző is foglalkozik velük, pl. [6, 7, 8]. További előnyük e képleteknek, hogy az alakváltozást a terhelés függvényében adják meg, és nem fordítva. Itt most a [7] szerinti módszer továbbfejlesztéseként arra az esetre vezetünk le képleteket, amikor a szimmetrikus keresztmetszetű prizmatikus rúd egyik vége befogott, másik vége pedig a szimmetriasíkban terhelt. A nyíróerők hatását, valamint a rúdtengelynek az axiális erők hatására bekövetkező hosszváltozását nem vesszük figyelembe.

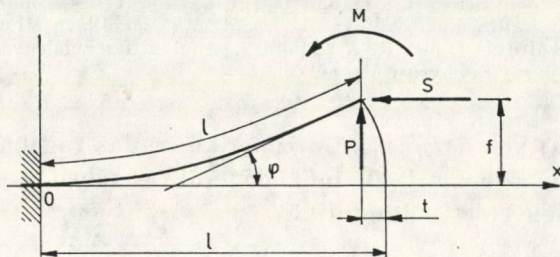
* Bondy Pál, Általános Géptervező Iroda, 1253 Budapest, Pf. 10.

Az ábra szerinti koordinátarendszerrel és jelölésekkel a rugalmas vonal egyenlete

$$\frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} = \frac{M + P(l - t - x) + S(f - y)}{EI}. \quad (2)$$

A bal oldal nevezőjének sorbafejtése és átrendezés után

$$y'' = \frac{1}{EI} \left(1 + \frac{3}{2} y'^2 + \frac{3}{8} y'^4 + \dots \right) [M + P(l - t - x) + S(f - y)]. \quad (3)$$



I. ábra

Bevezetjük a rugalmas vonal egyenletének megközelítéseként az

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + \dots + a_n x^n \quad (4)$$

hatványsort. Ebből

$$y' = a_1 + 2a_2 x + 3a_3 x^2 + 4a_4 x^3 + \dots + n a_n x^{n-1}, \quad (5)$$

$$y'' = 2a_2 + 6a_3 x + 12a_4 x^2 + \dots + n(n-1)a_n x^{n-2}, \quad (6)$$

$$y'^2 = a_1^2 + 4a_1 a_2 x + (4a_2^2 + 6a_1 a_3) x^2 + \dots + \left[\sum_{i=1}^{n-1} i(n-i) a_i a_{n-i} \right] x^{n-2}. \quad (7)$$

Behelyettesítjük a (4), (6) és (7) sorokat a (3) egyenletbe. Rendezés után, az

$$x = 0, y = 0, y' = 0$$

peremfeltételekkel, x hatványai együtthatóinak egyeztetése alapján

$$a_0 = 0, \quad a_1 = 0, \quad a_2 = \frac{M + P(l - t) + Sf}{2EI}, \quad a_3 = -\frac{P}{6EI}, \quad \text{stb.}$$

Az

$$EI = H \quad (8)$$

jelöléssel a rugalmas vonal egyenlete

$$\begin{aligned}
 y = & \frac{M + P(l-t) + Sf}{2H} x^2 - \frac{P}{6H} x^3 + \left\{ \frac{[M + P(l-t) + Sf]^3}{8H^3} - \right. \\
 & - \left. \frac{[M + P(l-t) + Sf]S}{24H^2} \right\} x^4 + \left\{ - \frac{3[M + P(l-t) + Sf]^2 P}{20H^3} + \right. \\
 & + \left. \frac{PS}{120H^2} \right\} x^5 + \left\{ \frac{[M + P(l-t) + Sf]P^2}{16H^3} + \frac{[M + P(l-t) + Sf]^5}{16H^5} - \right. \\
 & - \left. \frac{11[M + P(l-t) + Sf]^3 S}{240H^4} + \frac{[M + P(l-t) + Sf]S^2}{720H^3} \right\} x^6 + \\
 & + \left\{ - \frac{15[M + P(l-t) + Sf]^4 P}{112H^5} + \frac{27[M + P(l-t) + Sf]^2 PS}{560H^4} - \right. \\
 & - \left. \frac{P^3}{112H^3} - \frac{PS^2}{5040H^3} \right\} x^7 + \dots
 \end{aligned} \quad (9)$$

A rúdvégi lehajlás

$$y_{x=l-t} = f = \frac{M + P(l-t) + Sf}{2H} (l-t)^2 - \frac{P}{6H} (l-t)^3 + \dots \quad (10)$$

(a (9) egyenletben l helyett az $l-t$ kifejezést is írva).A rúd végének elfordulása (5) és (9) alapján, az $x = l-t$ helyen,

$$\begin{aligned}
 y'_{x=l-t} = \operatorname{tg} \varphi = & \frac{M + P(l-t) + Sf}{H} (l-t) - \frac{P}{2H} (l-t)^2 + \left\{ \frac{[M + P(l-t) + Sf]^3}{2H^3} - \right. \\
 & - \left. \frac{[M + P(l-t) + Sf]S}{6H^2} \right\} (l-t)^3 + \left\{ - \frac{3[M + P(l-t) + Sf]^2 P}{4H^2} + \right. \\
 & + \left. \frac{PS}{24H^2} \right\} (l-t)^4 + \left\{ \frac{3[M + P(l-t) + Sf]P^2}{8H^3} + \frac{3[M + P(l-t) + Sf]^5}{8H^5} - \right. \\
 & - \left. \frac{11[M + P(l-t) + Sf]^3 S}{40H^4} + \frac{[M + P(l-t) + Sf]S^2}{120H^3} \right\} (l-t)^5 + \\
 & + \left\{ - \frac{15[M + P(l-t) + Sf]^4 P}{16H^5} + \frac{27[M + P(l-t) + Sf]^2 PS}{80H^3} - \right. \\
 & - \left. \frac{P^3}{16H^3} - \frac{PS^2}{720H^3} \right\} (l-t)^6 + \dots
 \end{aligned} \quad (11)$$

A rúd végének x -irányú elmozdulását az a feltétel adja meg, hogy a rugalmas vonal l hossza az alakváltozás során nem változik. Akkor

$$l = \int_0^{l-t} \sqrt{1 + y'^2} dx = \int_0^{l-t} \left(1 + \frac{y'^2}{2} - \frac{y'^4}{8} + \dots \right) dx, \quad (12)$$

$$t = \int_0^{l-t} \left(\frac{y'^2}{2} - \frac{y'^4}{8} + \dots \right) dx.$$

A t az egyenlet mindkét oldalán előfordul. A probléma iterációval oldható meg: az integrál felső határát először l értékkel közelítjük meg. Ily módon első közelítésben

$$t^* = \frac{1}{2} \int_0^l y'^2 dx - \frac{1}{8} \int_0^l y'^4 dx + \dots \quad (13)$$

$$t^* = \frac{l^3}{6H^2} M^2 + \frac{l^5}{15H^2} P^2 + \frac{5l^4}{24H^2} MP + \frac{l^3}{3H^2} MSf + \dots$$

A (13) sor csak azokat a tagokat tartalmazza, amelyek P , S , M és f -ben együttesen harmadfokúnál nem magasabb fokúak, feltételezve, hogy a gyakorlat részére ez elegendő. A t^* érték bevezetése t iterációs számítása során már negyedfokú tagokat adna, ezért nem is kell tovább menni, az itteni pontossági szinten

$$t^* = t. \quad (14)$$

t értékét behelyettesítve (10)-be, a lehajlás

$$f = \frac{l^2}{2H} M + \frac{l^3}{3H} P - \frac{l^4}{24H^2} MS - \frac{l^5}{30H^2} PS + \frac{l^2}{2H} Sf -$$

$$- \frac{l^4}{24H^3} M^3 - \frac{4l^7}{105H^3} P^3 - \frac{11l^6}{80H^3} MP^2 - \frac{3l^5}{20H^3} M^2P + \quad (15)$$

$$+ \frac{l^6}{720H^3} MS^2 + \frac{l^7}{840H^3} PS^2 - \frac{l^4}{24H^2} S^2f + \dots,$$

és az elfordulás

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{H} M + \frac{l^2}{2H} P - \frac{l^3}{6H^2} MS - \frac{l^4}{8H^2} PS + \frac{l}{H} Sf +$$

$$+ \frac{l^3}{3H^3} M^3 - \frac{l^6}{240H^3} P^3 + \frac{3l^4}{3H^3} M^2P + \frac{l^5}{10H^3} MP^2 + \quad (16)$$

$$+ \frac{l^5}{120H^3} MS^2 + \frac{l^6}{144H^3} PS^2 - \frac{l^3}{6H^2} S^2f + \dots$$

A (13), (15) és (16) egyenletek még a jobb oldalon is tartalmazzák az f lehajlást. Alkalmazásuk kényelmesebb lesz, ha további átalakítással explicit alakra hozzuk. A módszert röviden a (13) egyenleten mutatjuk be.

Felírjuk f egyenletét MacLaurin-sor alakjában:

$$f(M, P, S) = \left(\frac{\partial f}{\partial M}\right)_0 M + \left(\frac{\partial f}{\partial P}\right)_0 P + \left(\frac{\partial f}{\partial S}\right)_0 S + \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial^2 f}{\partial M^2}\right)_0 M^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial P^2}\right)_0 P^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial S^2}\right)_0 S^2 + \left(\frac{\partial^2 f}{\partial M \partial P}\right)_0 MP + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial M \partial S}\right)_0 MS + \right. \\ \left. + 2 \left(\frac{\partial^2 f}{\partial P \partial S}\right)_0 PS \right] + \dots \quad (17)$$

A sor együtthatói (13) differenciálásával és az

$$M = P = S = 0, f = 0$$

peremfeltételek alapján kiszámíthatók. Ezekkel f sora végül

$$j = \frac{l^2}{2H} M + \frac{l^3}{3H} P - \frac{4l^7}{105H^3} P^3 - \frac{l^4}{24H^3} M^3 + \frac{2l^5}{15H^2} PS + \\ + \frac{5l^4}{24H^2} MS - \frac{3l^5}{20H^3} M^2P - \frac{11l^6}{80H^3} MP^2 + \frac{17l^7}{315H^3} PS^2 + \\ + \frac{6l^6}{720H^3} MS^2 + \dots \quad (18)$$

Hasonlóképpen eljárva, végeredményként

$$t = \frac{l^5}{15H^2} P^2 + \frac{l^3}{6H^2} M^2 + \frac{97}{5040} P^2S + \frac{5l^4}{24H^2} MP + \\ + \frac{2l^5}{15H^3} M^2S - \frac{11l^4}{240H^3} MPS + \dots, \quad (19)$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{l^2}{2H} P - \frac{l^6}{240H^3} P^3 + \frac{l}{H} M + \frac{l^3}{3H^3} M^3 + \frac{3l^4}{8H^3} M^2P + \\ + \frac{l^5}{10H^3} MP^2 - \frac{l^4}{8H^2} PS + \frac{47l^6}{240H^3} PS^2 + \frac{2l^3}{3H^2} MS + \\ + \frac{2l^5}{15H^3} MS^2 + \dots, \quad (20)$$

és a rugalmas vonal egyenlete

$$\begin{aligned}
 y = & \left[\frac{1}{2H} M + \frac{l}{2H} P - \frac{l^5}{30H^3} P^3 - \frac{l^3}{12H^3} M^2P - \frac{5l^4}{48H^3} MP^2 + \right. \\
 & \left. + \frac{l^3}{6H^2} PS + \frac{l^2}{4H^2} MS + \frac{l^5}{15H^2} PS^2 + \frac{5l^4}{48H^3} MS^2 \right] x^2 - \frac{1}{6H} Px^3 + \\
 & + \left[\frac{1}{8H^3} M^3 + \frac{3l}{8H^3} M^2P + \frac{3l^2}{8} MP^2 + l^3P^3 - \frac{1}{24H^2} MS - \right. \\
 & \left. - \frac{l}{24H^3} PS - \frac{l^3}{72H^3} PS^2 - \frac{l^2}{48H^3} MS^2 \right] x^4 + \left[-\frac{3}{20H^3} M^2P - \frac{3l}{10H^3} MP^2 + \right. \\
 & \left. + \frac{3l^2}{20H^3} P^3 + \frac{1}{120H^2} PS \right] x^5 + \left[\frac{1}{16H^3} MP^2 + \frac{l}{16H^3} P^3 + \right. \\
 & \left. + \frac{1}{720H^3} MS^2 + \frac{l}{720H^3} PS^2 \right] x^6 + \left[-\frac{1}{112H^3} P^3 - \right. \\
 & \left. - \frac{1}{5040H^3} PS^2 \right] x^7 + \dots
 \end{aligned} \tag{21}$$

Fáradtságos, de elvi nehézségekkel nem járó számítási munka árán még a sorok magasabb hatványú tagjai is kiszámíthatók.

A (18), (19) és (20) sorok az

$$m = \frac{Ml}{H}, \quad p = \frac{Pl^2}{H} \quad \text{és} \quad s = \frac{Sl^2}{H}$$

kifejezések bevezetésével dimenzió nélküli, jobban áttekinthető alakra hozhatók. Ez megkönnyítheti az alkalmazásukat, mert mindjárt a numerikus számítás kezdetekor el lehet dönteni, elhanyagolhatók-e egyes tagok. Tehát

$$\begin{aligned}
 f/l = & 0,500 m + 0,333 p - 0,038 p^3 - 0,042 m^3 + 0,133 ps + 0,208 ms - \\
 & - 0,150 m^2p - 0,138 mp^2 + 0,054 ps^2 + 0,085 ms^2 + \dots
 \end{aligned} \tag{22}$$

$$\begin{aligned}
 t/l = & 0,067 p^2 + 0,167 m^2 + 0,019 p^2s + 0,208 mp + 0,133 m^2s - \\
 & - 0,046 mps + \dots
 \end{aligned} \tag{23}$$

$$\begin{aligned}
 \text{tg } \varphi = & 0,500 p - 0,004 p^3 + m + 0,333 m^3 + 0,375 pm^2 + 0,100 p^2m - \\
 & - 0,125 ps + 0,196 ps^2 + 0,667 ms + 0,133 ms^2 + \dots
 \end{aligned}$$

Az

$$(1 + y'^2)^{3/2}$$

sorbafejtés csak $y'^2 = 1$ -ig konvergens, az alkalmazott

$$1 + \frac{3}{2} y'^2 + \frac{3}{8} y'^4$$

közelítés még $y'^2 = 1$ -nél is csak 1,7% hibával jár. Ha a rúdvég elfordulása ennek megfelelően $\varphi = 45^\circ$, a rugalmas vonal mentén az emelkedés mindenhol kisebb és a szóban forgó hiba hatása még az említettnél is kisebb.

$y, f, \operatorname{tg} \varphi$ és t sorainak konvergenciáját nem sikerült bebizonyítani, de a [7]-ben $M = \text{const}$, $P = S = 0$ terhelésre közölt vizsgálatok, valamint néhány számpélda valószínűsíti, hogy a sorok hibája a matematikailag exakt megoldáshoz viszonyítva csak néhány százalék, ameddig el nem érik az

$$f/l = 1/3, \varphi = 50^\circ$$

határok egyikét.

Mellékesen megjegyezzük, hogy hibaforrások az E fizikai állandó és a méretek bizonytalanságában is rejlenek [10], úgyhogy a képletekkel szemben túlzott pontossági igényeknek nincs gyakorlati jelentőségük.

IRODALOM

1. SAALSCHÜTZ, L.: Der belastete Stab unter Einwirkung einer seitlichen Kraft, Leipzig 1880
2. BARTEN, H. J.: On the Deflection of a Cantilever Beam. *Quarterly of Appl. Math.* 2 (1944), 3, 1945
3. BISSHOPP, K. E. — DRUCKER, D. C.: Large Deflections of Cantilever Beams. *Quarterly of Appl. Math.* 3 (1945)
4. CONWAY, H. D., Large Deflections of Simply Supported Beams. *Philos. Magazine* 38 (1947)
5. HARINGX, J. A.: The Cross Spring Pivot as a Constructional Element. *Appl. Scient. Research*, A 1, (1949) No. 4
6. AVIENGNE, J.: Intégration sous forme de série de l'équation fondamentale et complète de la flexion plane par une méthode de récurrence. *La Technique des Travaux* 36 (1960), Mars-Avril
7. BONDY, P.: Egyenes rugók nagyobb alakváltozásának számítása hajlítás esetén. *GÉP* 12 (1960) 8. sz.
8. FRISCH-FAY, R.: Flexible Bars, London 1960
9. LÖBEL, G.: Große Biegeverformungen bei schlanken geraden und kreisförmigen Trägern. *ZAMM* 43 (1963), Nr. 1/2.
10. BONDY, P.: Hibaszámítás a tervezésben — a csavarrugó mint példa. *GÉP* 14 (1963) 4. sz.

Large Elastic Deformation of Prismatic Cantilever Bars with Loads Applied at the Free End. The author investigates the large deflections of a cantilever bar (or a straight spring) to which at the free end a force and a couple are applied. Without recourse to the usual neglects justified in the theory of small deformations, he deduces power series yielding the equations of the elastica, the end slope and the end displacements.

Große elastische Formänderung von einseitig eingespannten, am freien Ende belasteten prismatischen Stäben. Für die Berechnung der großen Biegeverformung eines einseitig eingespannten, am freien Ende durch eine Kraft und ein Kräftepaar belasteten geraden Stabes (oder einer geraden Feder) werden Potenzreihen für die Formänderungen abgeleitet, wobei die bei kleinen Formänderungen übliche und berechnete Vereinfachung der D. Gl. der elastischen Linie nicht benutzt wird.



VÁLTOZÓ KERESZTMESZETŰ, EGYENES RUDAKBÓL ÁLLÓ TÉRBELI RÚDSZERKEZET REZGÉSI SAJÁTFREKVENCIÁINAK JAVÍTHATÓ KÖZREFOGÁSA

III. RÉSZ

BOSZNAY ÁDÁM*
A MŰSZ. TUD. DOKTORA

[Beérkezett 1975. május 19-én]

A dolgozat e folyóiratban megjelent első két részét e harmadik rész kiegészíti — az ismertett elmélet gyakorlati alkalmazásának előmozdítására — a követendő számítás pontokba szedett vezérfonalával, továbbá ismertet egy számpéldát, és ismerteti annak eredményeit.

Bevezetés

A dolgozatnak ebben a folyóiratban megjelent első két része a tárgyalt elméletet állította a gondolatmenet középpontjába. Ez a befejező rész az ismertett elmélet gyakorlati alkalmazása során követendő lépéseket foglalja össze, továbbá egy számpéldával illusztrálja az elméletnek a jelenleg rendelkezésünkre álló számítógép(ek)re való programozhatóságát. Az I. illetve a II. rész egyenleteire úgy hivatkozunk, hogy a megfelelő egyenletszám elé I- illetve II-t írunk.

A számítógépi programokat szerző irányításával CZEGLÉDI Gyula, RICHLIK György, KÁLMÁN Sándor és SZERVÁNSZKY György tervezték meg; a számpéldával kapcsolatos futtatásokat ellenőrizték és kiértékeltek. E fáradságos és nagy szakértelmet igénylő munkáért, valamint elvi kérdésekben való tanácskozásokért szerző köszönetét fejezi ki.

2. A gyakorlati alkalmazás vezérfonala

A dolgozat előző két részében bemutatott elmélet gyakorlati alkalmazása során az alábbiak szerint célszerű haladni.

Az egyes pontok után zárójelben hivatkozunk a megfelelő egyenletekre, illetve pontokra. Felhívjuk a figyelmet arra, hogy az elméleti rész általában csak az alsó korlátok számítását részletezi.

2.1. A rúdszerkezet operátoros amplitúdó-eloszlási egyenletét, valamint mellékfeltételi egyenletrendszerét elő kell állítani. E munka során mind a

* Prof. Dr. Bosznay Ádám, 1111 Budapest, Goldmann György tér 3.

I. táblázat

Az I. ábra szerinti rúdszerkezet sajátfrekvenciáinak korlátai sec^{-1} -ben

	„a” feladat	Javított alsó korlátok			
		m = 13	m = 14	m = 15	m = 16
1	186,1068	200,8565	208,2323	223,0863	267,8347
2	251,3877	275,7092	287,9766	312,6816	387,1067
3	393,7116	416,0206	427,4496	450,4664	519,8053
4	409,0567	433,8951	446,2548	471,1457	546,1307
5	420,7336	451,4326	467,0379	498,4652	593,1413
6	532,4764	564,6564	580,8693	613,5203	711,8827
7	541,0250	584,5781	606,2132	649,7840	781,0427
8	716,6454	792,6218	830,6621	907,2711	1138,0587
9	1008,7316	1083,3670	1120,7843	1196,1387	1423,1467
10	1078,1547	1154,8077	1192,9403	1269,7352	1501,0827
11	1238,4590	1323,9478	1366,6182	1452,5516	1711,4293
12	1276,6659	1362,3196	1405,1745	1491,4797	1719,6914
13	1384,9676	1427,3463	1520,3844	1611,5066	1751,4773
14	1427,3463	1475,1375	1639,9145	1713,6870	1886,0160
15	1639,9145	1639,9145	1640,8613	1783,7480	2214,2000
16	1713,6870	1713,6870	1713,6870	2041,2648	2526,6373
Javított felső korlátok					„f” feladat
	m = 16	m = 15	m = 14	m = 13	
	326,3614	366,7493	421,6067	497,6147	1145,9299
	484,6141	551,6205	642,8589	769,2747	1846,3355
	610,6493	673,0765	758,0798	875,8565	1879,0114
	644,3717	711,8822	803,8070	931,1739	2016,8646
	717,1806	802,4595	918,4838	1079,2974	2449,7309
	840,7514	929,3091	1049,8925	1216,9674	2640,6721
	953,0103	1071,1853	1232,0965	1455,0480	3354,8628
	1440,4234	1648,2063	1931,1310	2323,1389	5662,7891
	1720,5596	1924,9397	2203,2309	2588,8190	5873,8224
	1804,1810	1012,4680	2296,0791	2689,0381	6036,8251
	2050,5963	2283,6694	2601,0301	3040,7510	6786,3225
	2092,1115	2326,1928	2644,9264	3086,5495	6848,4779
	2245,6626	2492,8091	2829,3327	3295,6049	7267,5646
	2778,1537	3165,6986	3693,3937	10652,7595	10652,7595
	3162,5448	3599,5358	12041,8853	12041,8853	12041,8853
	12140,2383	12093,9298	12093,9298	12093,9298	12093,9298

közös, mind az egyes rudakra vonatkozó koordinátarendszerek kijelölésre kerülnek. (I(1b), I(3a).)

2. Az „I” és „u” rúdszerkezetek kiválasztása, operátoros amplitúdó-eloszlási egyenletük, továbbá a mellékfeltételeket tartalmazó egyenletrendszerek felírása. (I(16l), I(16u), I(17l), I(17u), I(1b).)

2.3. Meg kell határozni a „lényeges” mellékfeltételeket. (I. Függelék.)

2.4. Mind az „I”, mind az „u” feladathoz tartozó R^{adj} operátorokkal kapcsolatos „lényeges” mellékfeltételeket elő kell állítani. (II(27), I. Függelék.)

2.5. Fel kell írni az „ l ” és „ u ” feladathoz tartozó karakterisztikus egyenletrendszereket. (I.4. záró része.)

2.6. Az „ l ” feladat első n_l számú sajátértékét és (nem feltétlenül normált) sajátvektorát, valamint az „ u ” feladat első n_u számú sajátértékét és (nem feltétlenül normált) sajátvektorát számítógéppel meg kell határozni. A sajátértékeket léptetési technikával, a sajátvektorokat a homogén lineáris algebrai egyenletrendszerek megoldására szolgáló valamelyik módszerrel számítathatjuk. Célszerű az $n_l = n_u = n_0$ választás. m -et úgy kell felvenni, hogy $m < n_0$ legyen. (I.4. záró része, II(16), II(17), II(24).)

2.7. Előállítjuk mind az „ l ”, mind az „ u ” feladathoz tartozó projektoroperátorokat felépítő vektorokat, ahol a görög betűs mennyiségeket kivéve az összes többi mennyiség — az előzőek alapján — már számszerűen ismert:

$$p_{jl} = \sum_{k=1}^m \beta_{jkl} (\mathbf{R}_l^{\text{adj}})^{-1} \mathbf{B}_l \mathbf{u}_{lk},$$

$$s_{jl} = \sum_{k=1}^m \varepsilon_{jkl} \mathbf{T}_l^{-1} \mathbf{B}_l \mathbf{u}_{lk},$$

és ezek analógiájára:

$$p_{ju} = \sum_{k=1}^m \beta_{jku} (\mathbf{R}_u^{\text{adj}})^{-1} \mathbf{B}_u \mathbf{u}_{uk},$$

$$s_{ju} = \sum_{k=1}^m \varepsilon_{jku} \mathbf{T}_u^{-1} \mathbf{B}_u \mathbf{u}_{uk}.$$

(II(25), II(26), II(32).)

2.8. A görög betűvel jelölt állandók kiszámítására szolgáló egyenleteket előállítjuk. Az előállítás azon az alapon történik, hogy az előbb felírt projektorfelépítő vektorok különböző mellékfeltételeket kell, hogy kielégítsenek. Részletesen:

$$\mathbf{K}_{le}^{\text{adj}} p_{jl} = \mathbf{0},$$

$$\mathbf{K}_{le} s_{jl} = \mathbf{0},$$

és ezek analógiájára:

$$\mathbf{K}_{ue}^{\text{adj}} p_{ju} = \mathbf{0},$$

$$\mathbf{K}_{ue} s_{ju} = \mathbf{0}.$$

(II(30), II(35).)

2.9. A 2.8.-ban kijelölt homogén lineáris algebrai egyenletrendszerek ismeretlen vektorai sorrendben:

$$\beta_l \doteq [\beta_{j1l}, \dots, \beta_{jml}],$$

$$\varepsilon_l \doteq [\varepsilon_{j1l}, \dots, \varepsilon_{jml}],$$

$$\beta_u \doteq [\beta_{j1u}, \dots, \beta_{jmu}],$$

$$\varepsilon_u \doteq [\varepsilon_{j1u}, \dots, \varepsilon_{jmu}].$$

Számítógéppel meg kell határozatni a szóban forgó négy egyenletrendszer együtthatómátrixainak rangját, legyenek ezek

$$r_{1l}, r_{2l}, r_{3u}, r_{4u}.$$

2.10. Az

$$r_{1l} = m - k_1,$$

$$r_{2l} = m - k_2,$$

$$r_{3u} = m - k_3,$$

$$r_{4u} = m - k_4$$

egyenletekből kiszámítjuk k_1 -, k_2 -, k_3 - és k_4 -et, majd a 2.8. alatt kijelölt egyenletrendszerekből

- a k_1 számú, lineárisan független β_l ,
- k_2 számú, lineárisan független ε_l ,
- k_3 számú, lineárisan független β_u ,
- k_4 számú, lineárisan független ε_u vektorokat.

(II(33), II(36).)

2.11. A 2.10. alattiakat felhasználva előállítjuk a 2.7. szerinti projektorbázisokat.

2.12. Formálisan előállítjuk a

$$(p_{il}, p_{jl}), (p_{iu}, p_{ju}), (s_{il}, s_{jl}), (s_{iu}, s_{ju})$$

skalárszorzatokat az összes szóbjövő i -re és j -re, majd számértéküket numerikus integrálással kiszámítjuk. (II.3.)

2.13. A 2.12. alatt nyert skalárszorzatokból felépített négy mátrix invertálható. (II.3.)

2.14. A 2.6. és a 2.13. alatt nyert számértékekből előállítjuk az alsó, valamint a felső közbenső operátorpárokna megfelelő algebrai sajátértékfeladatokat mátrixpárjait. (II.(24).)

2.15. Kiszámítatjuk a 2.14. alatt nyert alsó és felső közbenső algebrai sajátértékfeladatokat sajátértékeit.

2.16. Az „ l ” feladat 2.6. alatt nyert sajátértékei közül az $(m+1)$ -, $(m+2)$ -...-, n_0 -adikból álló halmazt egyesítjük a 2.15-ben kiszámított, m számú alsó közbenső sajátértékből álló halmazzal, majd az egyesített halmazt nagyság szerint rendezzük.

2.17. Az „ u ” feladat 2.6. alatt nyert sajátértékei közül az $(m+1)$ -, $(m+2)$ -,...-, n_0 -adikból álló halmazt egyesítjük a 2.15-beli, m számú felső közbenső sajátértékből álló halmazzal, majd az egyesített halmazt nagyság szerint rendezzük.

2.18. A 2.16. és 2.17. alatt nyert rendezett számsorozatok adják a keresett alsó és felső sajátérték-korlátokat.

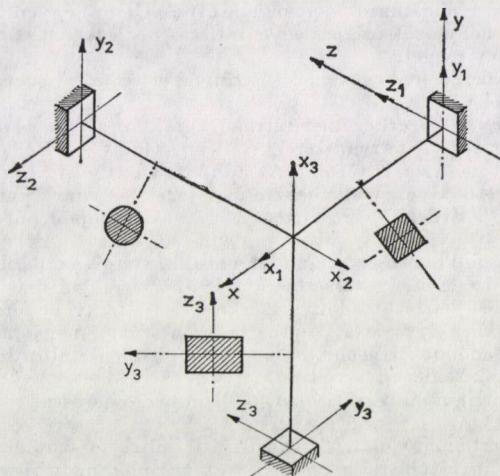
2.19. m növelésével a korlátok szűkíthetők. Nagyobb m választása során n_0 növelése is szükségessé válhatik, m és n_0 növelése esetében a számítás a 2.6. ponttal kezdődően megismétlődő.

3. Számpélda

A példa céljaira választott rúdszerkezet vázlatát az 1. ábra mutatja

A szerkezet három, egymásra merőleges tengelyű, változó keresztmetszetű egyenes rúdból áll. Mindhárom rúd hosszúsága:

$$l_1 = l_2 = l_3 = 1 \text{ m.}$$



1. ábra

Mindegyik rúdnak egy-egy vége befogott, a másik három vég elfordulás- és eltolódás-tartóan csatlakozik egymással.

Az ábra feltünteti az egyes rudak koordináta-rendszereit, és a közös koordináta-rendszert is.

A rúdkeresztmetszetek alakja: négyzet, kör illetve téglalap. A keresztmetszetek jellemző méretei így változnak a rúdhosszak mentén:

a négyzet élhosszúsága: $a_1(x_1) = 10^{-2}(4 - x_1)$ méter,
 a kör átmérője: $d_2(x_2) = 10^{-3}(4 - x_2)$ méter,
 a téglalap élhosszai:

$$a_3 = 10^{-2}(2,5 - x_3) \text{ méter,}$$

$$b_3 = 10^{-2}(3,5 - x_3) \text{ méter.}$$

A két nem körkeresztmetszetű rúd csavarási merevségére jellemző I_i ($i = 1, 3$) mennyiségek számításánál figyelembe vettük, hogy azt az

$$I_i = \frac{16}{3} b_i^3 \left\{ a_i - b_i \left(0,6302488761 - \frac{192}{\pi^5} \right) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1 - \text{th} \left[\frac{(2k-1)}{2b_i} \pi a_i \right]}{k^5} \right\}$$

képlettel ([1], 71.o. 9,4 összefüggés) kell számítani; a fenti formula akkor érvényes, ha $a_i < b_i$.

A rúdanyagok rugalmassági modulusait az alábbiak szerint választottuk:

$$\begin{aligned} E_1 &= 2,19 \cdot 10^{10} \text{ kp m}^{-2}, & G_1 &= 8,3 \cdot 10^9 \text{ kp m}^{-2}, \\ E_2 &= 7,4 \cdot 10^9 \text{ kp m}^{-2}, & G_2 &= 2,7 \cdot 10^9 \text{ kp m}^{-2}, \\ E_3 &= 1 \cdot 10^{10} \text{ kp m}^{-2}, & G_3 &= 5 \cdot 10^9 \text{ kp m}^{-2}. \end{aligned}$$

Az 1. rúd anyaga tehát pl. ötvözött acél, a 2. rúdé pl. vörösréz, a 3. rúdé cinkötvözet lehetne; a számítási módszer kipróbálása kedvéért választottunk ilyen számértékeket.

A továbbiakban a számításokat az előző pontban leírt vezérfonálnak megfelelően hajtottuk végre. A vezérfonal egyes pontjaira hivatkozva néhány megjegyzést teszünk a konkrét példával kapcsolatos sajátosságoknál. Számításainkat Fortran nyelven programoztuk, és dupla pontossággal dolgoztunk.

Ad 2.2. Az „l” és „u” feladatok kijelölésénél nincs annak akadálya, hogy e rúdszerkezetek anyagának sűrűségét, rugalmassági modulusát olyan (pozitív) számértékűre vegyük fel, ami a gyakorlatban nem realizálható. Csupán II(16l) és II(16u) egyenlőtlenségeket kell kielégíteni, és arra vigyázni, hogy azok szigorú egyenlőtlenségek legyenek. Számpéldánk megoldása során éltünk ezzel a lehetőséggel.

Ad 2.3. Esetünkben a lényeges mellékfeltételeket egyszerű szemrevételezéssel lehetett kiválasztani az összesből.

Ad 2.5. Az „l” és „u” szerkezethez tartozó karakterisztikus egyenletek felírása elvben a közönséges differenciálegyenletrendszerrel kapcsolatos sajátértékproblémák kapcsán szokásos, i.4.-ben vázolt módszerrel történt. Az adott feladattípusra CZEGLÉDI Gyula, továbbá CZEGLÉDI Gyula és RICHLIK György alkalmazta az eljárást, és ennek kapcsán figyelemre méltó eredményt ért el [2], [3]. Érdeklődésre tarthat számot e szempontból SZERVÁNSZKY György dolgozata [4].

Ad 2.6. Számításainkban $n_0 = 20$ -al dolgoztunk, s m -re az alábbi négy értéket választottuk: $m = 13, 14, 15, 16$. E négy választás a 2.19.-ben írtakkal összhangban négy javított alsó, és négy javított felső korlátot adott a szerkezet sajátfrekvenciáira.

Ad 2.10. Esetünkben $k_1 = k_2$ -at kaptuk, s ez a szám a négy m értéknek megfelelően rendre 10-, 9-, 8-, 7-nek adódott. Hasonlatosan $k_2 = k_3$ -et tapasztaltunk, s ez a szám a négy m értéknek megfelelően 4, 3, 2 illetve 1 volt.

Ad 2.12. A numerikus integrálásokat a Romberg-eljárással rokon eljárással végeztettük.

Ad 2.13. Az invertálandó mátrixok pozitív definiték és szimmetrikusak. A pontosság fokozása érdekében az invertálásra a fent írt két tulajdonságot figyelembevevő módszert alkalmaztunk.

Ad 2.18,

2.19. Az előbbi I. táblázat az eredményeknek azt a részét mutatja, amelynek az első tizenhat sajátkörfrekvencia durva alsó és felső korlátait, valamint az $m = 13$ -, 14-, 15- és 16-tal számított javított alsó és javított felső korlátait szolgáltatják.

A táblázat számértékei az elmélettel összhangban vannak. Megállapítható még, hogy az alsó és felső korlátok közötti különbség $m = 16$ -nál az alsó és felső korlát számtnai középértékének kb. 25%-a. Nagyobb n_0 és m választásával a szűkítés lehetősége fennáll.

IRODALOM

1. WEBER, C.—GÜNTHER, W.: Torsionstheorie. F. Vieweg et Sohn, Braunschweig, Akademie Verlag Berlin, 1958
2. CZEGLÉDI, Gy.: Näherungsverfahren zur Bestimmung der Eigenfrequenzen von Stabwerken, *Periodica Polytechnica, Electrical Engineering* 18 (1974), 191—202
3. CZEGLÉDI, Gy.—RICHLIK, Gy.: Prizmatikus rudakból felépített térbeli szerkezetek sajátkörfrekvenciáinak meghatározása a gépi számítástechnika felhasználásával, *MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösség Tudományos ülésszak* (1974. okt. 9—10) *Tanulmányok*, Budapest 1974, 192—197. old.
4. SZERVÁNSZKY, Gy.: Néhány megjegyzés rugalmas kontinuumok sajátfrekvenciáinak számításáról, *MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösség Tudományos Ülésszak* (1974. okt. 9—10) *Tanulmányok*, Budapest 1974, 215—220. old.

Improvable Bracketing of the Eigenfrequencies of a Space Frame Structure Consisting of Rods with Varying Cross Section, Part III. The paper completes the first two parts published in this review — in order to further the practical application of the presented theory — by arranging into points the calculation procedure. Furthermore a numerical example and its results are presented.

Verbesserungsfähige Einschließung der Eigenfrequenzen der Schwingungen von räumlichen Fachwerken aus geraden Stäben mit veränderlichem Querschnitt. III. Teil. Die Arbeitergänzt die in dieser Zeitschrift erschienenen ersten zwei Teile — zwecks Hilfe bei der praktischen Anwendung der dargelegten Theorie — durch einen in Punkte zusammengefassten Leitfaden für den Ablauf der Berechnung. Ferner werden ein Zahlenbeispiel und dessen Ergebnisse dargestellt.

AZ INTERNATIONAL FEDERATION FOR THE THEORY OF MACHINES
AND MECHANISMS (IFTOMM) ÉS A MAGYAR NEMZETI
BIZOTTSÁGÁNAK (MNB) MŰKÖDÉSÉRŐL

1. AZ IFTOMM LÉTREJÖTTÉNEK ELŐZMÉNYEI

Gépekkel és azon belül mechanizmus szerkezetekkel azóta foglalkoznak a tudományos kutatók, amióta gépiparról egyáltalán szó van. A nagy gépipari találmányok lezárása után a tudományos rendszerezés igénye tömörítette egy-egy iparilag fejlett országon belül a szakembereket. Az utóbbi két évtizedben ez az országon belüli nemzeti vagy nemzetközi tudományos ülésszakokban csúcsosodott ki első sorban Európában és az Amerikai Egyesült Államokban. Hazánkban megemlíthető a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen (NME) és a Gépipari Tudományos Egyesület (GTE) miskolci szervezetében rendezett „Mechanizmusok és hajtóművek” tárgy körű néhány tudományos ülésszak 1960-ban, 1961-ben, 1963-ban, 1966-ban és 1972-ben külföldi résztvevőkkel.

1975-ben a bulgáriai Várna melletti Druzba tengerparti fürdőhelyen tartott I. nemzetközi világkonferencián javasolták a bolgár szakemberek egy nemzetközi szövetség felállítását. Ezt a javaslatot a résztvevők lelkesen támogatták. Ideiglenes előkészítő és szervező bizottság létesült, amelynek munkájában magyar részről ifj. SÁLYI István és TERPLÁN Zénó kaptak szerepet.

Néhány évi előkészítő munka után (a Szovjetunióbeli Szuhumi, az NDK-beli Drezda, a bolgár Várna volt egy-egy megbeszélés székhelye, amelyeken magyar részről is résztvettek az előkészítő bizottság tagjai) 1969. szept. 27-én 13 ország (köztük Magyarország) képviselői aláírhatták az IFTOMM alapító oklevelét, a lengyel Zakopané-ban, az IFTOMM II. világkongresszusán.

Több ország (így Magyarország) képviselője ideiglenesen írta alá az okmányt, mert azt jóvá kellett hagyatnia saját országa illetékes főhatóságával.

Az 1969 végén megszűnt Kinetikai és Kinematikai Akadémiai Bizottság (a Gépszerkezettani Akadémiai Bizottság jogelődje) 1969. okt. 13-án úgy döntött, hogy hazánkban — a Szovjetunióhoz hasonlóan — a Magyar Tudományos Akadémia lenne illetékes az IFTOMM Magyar Nemzeti Bizottságának felügyeletére. Miután mind az MTA Gépészeti-Kohászati Tudományok Szakcsoportja, mind az MTA Műszaki Tudományok Osztálya kedvezően fogadta az előterjesztést, az MTA Elnökség Külügyi Titkársága 1970. jan. 29-én jóváhagyta az IFTOMM-hoz való magyar belépést, és vállalta az évi 250 US dolláros tagdíjat. Ugyanakkor az MTA Műszaki Tudományok Osztálya az IFTOMM Magyar Nemzeti Bizottság (MNB) feladatainak ellátásával a Gépszerkezettani Akadémiai Bizottságot (GAB-ot) bízta meg 3 éves időtartamra, amelyet 1973. és 1976. év során újabb 3–3 évre meghosszabbított.

2. Az IFTOMM célja és vezető testületei

Az IFTOMM eredeti alapszabálya 1969-es keltezésű, amely 1971-ben, majd 1975-ben kissé módosult. Az alapszabályzat szerint az IFTOMM célja a gépek és mechanizmusok tudományának fejlődését támogatni, az elméleti és tapasztalati kutatás, továbbá a gyakorlati alkalmazás területén.

Az IFTOMM végrehajtó bizottságának elnöke 1969–1975 között I. I. ARTOBOLEVSZKIJ (SZU), alelnöke: F. E. CROSSLEY (USA), főtitkára 1969–1972 között M. KONSTANTINOV (Bulgária), 1972–1975 között E. SZTANCSEV (Bulgária) volt.

Az 1975-ös IV. világkongresszus tiszttűjtés után a végrehajtó bizottság vezető tisztségeit a következők töltik be. Díszelnök: I. I. ARTOBOLEVSZKIJ (SZU), elnök: L. MAUNDER (Egyesült Királyság), főtitkár: A. MORECKI (Lengyelország).

A végrehajtóbizottság 1969-től 7 tagból, 1971-től 10 tagból, 1975-től 11 tagból áll.

Az IFTOMM 1971. szept. 13–20 között tartotta III. világkongresszusát a jugoszláviai Dubrovnik-Kupari-ban, majd 1975. szept. 8–13 között IV. világkongresszusát az angliai Newcastle upon Tyne-ban. Az 1979-re tervezett V. világkongresszus tervezett helye a canadai Montreal.

Az IFTOMM munkásságát a világkongresszusok között állandó bizottságain és a végrehajtó bizottságon keresztül folytatja. A végrehajtó bizottságon kívül kiemelt szerepe van a jelölő bizottságnak, amelynek taglétszámát a legutóbbi világkongresszuson korlátozták.

1975-ben az alapszabályzatba a következő állandó bizottságok kerültek:

- Commission for Education;
- Commission for Cooperation with Industry;
- Commission for Standardization of Terminology;
- Commission for the History of T.M.M.;
- Commission for Conferences;
- Commission for Publications.

Egy-egy állandó bizottságba nemzeti bizottságonként 3–3 tag delegálható.

3. Az IFTOMM Magyar Nemzeti Bizottságának szervezete

Amint már említve volt, az IFTOMM MNB feladatkörét a GAB látja el. A feladatok ellátására a GAB-on belül négy albizottság alakult. Ezek vezetői — kiegészülve a GAB titkárával — alkotják az IFTOMM MNB vezetőségét is, vagyis elnök: TERPLÁN Zénó, titkár: MAGYAR József, tagok: BOSZNAV Ádám, ifj. SÁLYI István és TAJNAFŐI József.

A négy albizottság a következő:

- Mechanizmusok analízise és szintézise (elnök: ifj. SÁLYI István, titkár: DARÓCZY Levente);
- Gépek dinamikája (elnök: BOSZNAV Ádám, titkár: CZEGLÉDI Gyula);
- Gépek automatikus berendezései (elnök: TAJNAFŐI József, titkár: SZITYA Ottó);
- Hajtóművek (elnök: TERPLÁN Zénó, titkár: DROBNI József).

Mivel az IFTOMM állandó bizottságai már 1971-ben megkezdték működésüket, az IFTOMM MNB a következőket delegálta az egyes állandó bizottságokba:

- A jelölő ill. a koordinációs bizottságba: ifj. SÁLYI Istvánt;
- A terminológiákat szabványosító bizottságba: MAGYAR Józsefet;
- Az oktatási bizottságba TAJNAFŐI Józsefet;
- Az ipari kapcsolatok, ill. a tudománytörténeti bizottságba TERPLÁN Zénót;
- A kiadvány-bizottságba DROBNI Józsefet.

Ezek az állandó bizottságok természetesen a legaktívabban az eddig megtartott világkongresszusokon működtek. Az eredeti terv az volt, hogy az állandó bizottságok évente tartanak ülést különböző tagországokban. A legrendszeresebben eddig az ipari kapcsolatokkal foglalkozó állandó bizottság ülésezett: 1971-ben tartotta alakuló ülését Dubrovnik-Kupari-ban, 1972-ben Miskolcon, 1973-ban Bukarestben, 1975-ben Newcastle upon Tyne-ben ülésezett. A magyar delegátus mindegyik ülésen részt tudott venni. Ez az állandó bizottság azt szorgalmazza, hogy mindegyik nemzeti bizottság tartson külön tudományos ülésszakot az elméleti eredményeknek a gyakorlatba való átvitele szorgalmazása érdekében. Az IFTOMM MNB ilyen jellegű tudományos ülésszaknak tekinti a GTE által már két ízben, 1973-ban és 1975-ben Miskolcon megrendezett „Vezető Konstruktorok Szemináriumát”, továbbá az 1975. okt. 8–9-én az MTA Elméleti Technológiai Akadémiai Bizottsága és a Gépészkeresztani Akadémiai Bizottsága által Budapesten közösen rendezett „A korszerű konstrukció és technológia kölcsönhatása” tárgyú tudományos ülésszakot.

A terminológiákat szabványosító állandó bizottság 1975-ben Varsóban tartott ülést, amelyen ugyancsak résztvett a magyar delegátus.

A jelölő ill. a koordinációs bizottság levelező úton végezte munkáját. A többi állandó bizottság még nem fejtett ki annyira aktív munkát. Legfeljebb az oktatási állandó bizottság emelhető még ki, amely 1975. jan.-ban tartott ülést Pamporovó-ban (Bulgária), amelyen a magyar delegátus nem tudott résztvenni.

4. Az IFTOMM nagyobb rendezvényei

Az IFTOMM nagyobb rendezvényei az eredetileg négy évenként megrendezendő világkongresszusok tudományos előadásaival kapcsolatosak. Eddig a következő világkongresszusokra került sor: 1965 Várna-Druzsba, 1969 Zakopane, 1971 Dubrovnik-Kupari, 1975 Newcastle upon Tyne. Meg kell jegyezni, hogy 1971-ben azért került sor egy rendkívüli világkongresszusra, hogy az IFTOMM munkája az elején gyorsabban fejlődjék.

A világtudományos ülésszak, az állandó bizottsági előkészítő ülések, és az IFTOMM plenáris ülése, amelyen a tagországok delegátusai szótöbbséggel hozzák meg határozataikat.

Az 1965-ös *várnai I.* és az 1969-es *zakopanei II. világtudományos fő munkája az IFTOMM megalapítása ill. a tudományos ülésszak előadás-sorozata volt.*

Már operatívabb jellegű volt az 1971-es *dubrovniki-kupari-i III. világtudományos kongresszus*, amikor az állandó bizottságok legtöbbje megalakult és megkezdte munkáját. Erről a világtudományos kongresszusról MAKHULT Mihály, a GAB tagja készített részletes elemzést. Ebből az elemzésből a következők emelhetők ki:

„A III. világtudományos méretei már valóban tükrözték is az IFTOMM szervezeti nagyságát. A kongresszuson több, mint 30 ország volt képviselve közel négyszáz résztvevővel, akiknek 40%-a külföldi, 60%-a jugoszláv szakember volt.

A résztvevők közel kétszáz előadást tartottak. Az előadások tárgyát tekintve az IFTOMM szakterületei nem voltak harmonikus súlyarányban képviselve: a tiszta elmélet és a csuklós mechanizmusok feltűnő túlsúlyban voltak, legalábbis hazai szemmel nézve. E kérdésben mindazonáltal megbízható ítéletet mondani számunkra nehéz, mivel a magyar iparból több olyan iparág szinte teljesen hiányzik, amelyben a csuklós mechanizmusoknak nagy a jelentősége (pl. textilipari, nyomdaipari, csomagolótechnikai gépgyártás stb.).”

A *newcastle-i IV. világtudományos kongresszus* már egy a kezdeti nehézségeken túl levő nemzetközi szervezet képét mutatta. A taglétszám újabb kettővel gyarapodott, és a 30 résztvevő ország azt jelzi, hogy sok olyan állam küldte el delegátusát, amely még nem tagja az IFTOMM-nak, viszont figyelemmel kívánja kísérni annak munkáját.

A résztvevők száma közel 300 volt, akik közül az Egyesült Királyság, mint házigazda adta a résztvevők kb. egyharmadát. A várnai kongresszus 4, a kupari-i 7 kötetéhez viszonyítva, a newcastle-i kongresszus előadásainak anyaga 5 kötetben jelent meg. Összesen 231 előadást nyújtottak be előre. Ezeknek ismertetésére az előadók 10–10 percet kaptak. Voltak azonban kiemelt előadók, akik 1–1 órát kaptak témájuk kifejtésére. I. I. ARTOBOLEVSZKIJ akadémikus professzor pl. a gépek és mechanizmusok múltjáról, jelenéről és jövőjéről, R. KENEDI professzor (Egyesült Királyság) az emberi test mechanizmusáról, J. ODERFELD professzor (Lengyelország) a mechanizmus-szintézisek optimumáról, F. FREUDENSTEIN professzor (USA) a Kardán-mozgásról, K. HUNT (Ausztrália) a geometriáról, mint a mechanikai mozgás kulcsáról tartott előadást, végül az ugyancsak neves J. P. den HARTOG professzor (USA) fiatalkori szakmai élményeiről számolt be.

A tudományos ülésszak három szekcióban folyó előadásaival párhuzamosan egy-egy délután összeültek pl. a bio-mechanizmusokkal foglalkozó szakemberek, a fogaskerék-szakemberek, a robotok és manipulátorok elméletével-gyakorlatával foglalkozó szakemberek, hogy a jelenlegi legegésőbb kérdésekről véleményt cseréljenek.

A világtudományos kongresszusokkal egyidőben megrendezett tudományos ülésszakok között módja van mindegyik nemzeti bizottságnak külön is tudományos ülésszakokat rendezni nemzetközi vagy nemzeti jelleggel, de meghívott külföldi résztvevőkkel. Mindkét formát adott esetben az IFTOMM támogathatja.

Az elmúlt években két ilyen rendezvényen vett részt az IFTOMM MNB elnöke. 1973-ban Bukarestben került sor az „IFTOMM International Symposium on Linkages and Computer Design Methods” tárgyú rendezvényre, 1974-ben pedig New Yorkban az „IFTOMM-ASME 13th Mechanism Conference” megrendezésére.

A GAB tagjai ezen kívül az utóbbi évek 26 hazai és külföldi rendezvényén vettek részt, tartottak előadásokat, vezettek vitákat, és vettek részt a rendezés és lebonyolítás munkájában.

Az MTA három éves rendezvény tervezetében szerepel az IFTOMM MNB 1977-ben esedékes „Gépek és mechanizmusok elmélete” tárgykörű nemzetközi tudományos ülésszaka, amelynek előkészületei már megkezdődtek.

Az elmúlt években az IFTOMM több külföldi nemzeti bizottságának tagja járt hazánkban, mint pl. Sz. N. KOZSEVNIKOV (SZU), T. PANTELICS (Jugoszlávia), J. R. PHILLIPS (Ausztrália), M. O. M. OSMAN (Kanada), G. N. SANDOR (USA), Chr. PELECUDI (Románia), W. RÖSSNER (NDK), akiket az IFTOMM MNB nevében is méltóképpen fogadott a GAB ill. az IFTOMM MNB vezetősége.

1975. dec. 1-én G. BÖGELSACK professzor, az IFTOMM NDK-beli NB-nek tagja, az IFTOMM jelölő bizottságának tagja, az MTA-ban tartott nagysikerű előadást az IFTOMM MNB rendezésében.

5. Az IFTOMM MNB jelen feladatai

1. Az IFTOMM MNB albizottságainak fel kell dolgoznia azt a hatalmas és értékes anyagot, amelyet az utóbbi két világkongresszus tudományos ülészakán a világ szakemberei előadásaikban közreadtak.

2. Be kell fejezni e tudományág magyar terminológiáinak egységesítését, hogy nemzetközi szabványosítások során észrevételeinkkel hozzájárulhassunk e nagyon fontos munkához.

3. Törekedni kell, hogy legalább két évenként az IFTOMM MNB olyan hazai tudományos ülészak rendezésében részt vegyen, amelynek egyik célja az elméleti kutatási eredményeknek a gyakorlatba való hatékony, gyors átvitele.

4. Meg kell valósítani, hogy első sorban a GTE-n keresztül az IFTOMM MNB-nek nagyobb bázisa legyen. A GAB-nak ugyanis jelenleg 25 tagja van, amely az albizottsági tagokkal együtt sem haladja meg a 30-as létszámot.

5. Fel kell mérni, hogy milyen együttműködés alakítható ki a IUTAM MNB-vel, mivel bizonyos tudományterületen széles átfedések tapasztalhatók itthon is, nemzetközileg is.

6. Mindent el kell követni, hogy az 1978-es nemzetközi tudományos ülészak hazánkban minél eredményesebb legyen.

7. Elő kell készülni az 1979. évi kanadai V. világkongresszusra úgy, hogy ott minél több magyar szakember jelenhessék meg, vegyen részt az IFTOMM munkájában, és tartson saját kutatási munkájáról előadást.

Dr. Terplán Zénó

MILYEN LEGYEN A SZAKDOLGOZATOK KÉZIRATA?

IRÁNYELVEK AZ MTA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK FOLYÓIRATAIBAN KÖZZÉTEENDŐ
DOLGOZATOK SZERZŐI, LEKTORAI ÉS FORDÍTÓI RÉSZÉRE

E folyóirat szerkesztősége „A szakdolgozatok kéziratáról” című közleményben [*Műszaki Tudomány* 49 (1970), 233—249] összefoglalta az Osztály műszaki folyóirataiban közléteendő dolgozatok kéziratának kiállítására vonatkozó szabályait. Az azóta eltelt időszakban szerzett tapasztalatok, az időközi változások, valamint a szakkörök által közölt észrevételek szükségessé tették ezeknek a szabályoknak felülvizsgálatát és kiegészítését. Az alábbi összeállítás a szóban forgó módosított szabályokat tartalmazza.

1. Általános tudnivalók

Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának folyóiratai: az *Acta Technica*, a *Műszaki Tudomány* és az *Építés-Építészettudomány* az Osztály belső életének eseményeiről szóló tudósításokon kívül általában csak új, elvi megállapításokat tartalmazó, hazai és nemzetközi érdekű, a közvetlen műszaki gyakorlaton túlmutató tudományos jellegű tanulmányokat, könyvbírálatokat, valamint egyes szűkebb tudományterületek helyzetképét feltűntető dolgozatokat közölnek.

Az *Acta Technica* az MTA Műszaki Tudományok Osztályának idegen nyelvű folyóirata. Ez angol, német, francia, orosz vagy olasz nyelvű olyan tudományos közleményeket hoz, amelyeket a felsorolt világnyelvek egyikén sem tettek közzé.

A *Műszaki Tudomány*, valamint az *Építés-Építészettudomány* az MTA Műszaki Tudományok Osztályának magyar nyelvű folyóiratai. Ezek csak magyar nyelven még közzé nem tett dolgozatokat közölnek.

Az *Acta Technicában* és a *Műszaki Tudományban* közléteendő dolgozatokat az *Acta Technica Szerkesztőségének* címezve 1051 Budapest, Münnich Ferenc u. 7. sz. alatt, az *Építés-Építészettudomány* részére írott tanulmányokat pedig az *Építés-Építészettudomány Szerkesztőségének* címezve, 1111 Budapest, Műegyetem rakpart 3, K. II. 60 (Építészettörténeti Tanszék) kell benyújtani. A kézírathoz kísérő levelet kell mellékelni a szerzőnek arra vonatkozó nyilatkozatával, hogy a dolgozatát közölte-e már egyéb helyen vagy szándékozik-e azt a dolgozat megjelenése előtt másutt is közzétenni.

A szerkesztőség a beküldött dolgozatokat lektorokkal véleményezteti, és azok véleménye alapján dönt a közlést illetően. Azt, hogy a dolgozat az *Acta Technica*-ban, a *Műszaki Tudomány*-ban vagy az *Építés-Építésztudomány*-ban jelenjék-e meg, a Szerkesztőbizottság állapítja meg.

2. A dolgozat terjedelme és tagolása

A dolgozat szövegrésze — egy-egy tudományterület helyzetképét bemutató dolgozatoktól eltekintve — lehetőleg ne legyen 15 írógévelt oldalnál hosszabb. A terjedelmesebb dolgozatokat célszerű két vagy több részre felbontani.

A 6–8 írógévelt oldalnál hosszabb dolgozatokat bevezetéssel célszerű ellátni és megfelelő részekre (fejezetekre és cikkelyekre) kell tagolni. Az egyes részeket címmel és decimális sorszámozással kell ellátni. Az egyes cikkelyeken belül legfeljebb egyfajta további osztást (betűjelöléses, esetleg decimális alosztást) szabad alkalmazni.

3. A kézirat elrendezése

A kéziratot és mellékleteit iratgyűjtőben (tékában) kell benyújtani. Ennek homloklapján a következő adatokat kell feltüntetni:

- a dolgozat címét
- a szerző(k) nevét
- a szerző(k) tudományos fokozatát és beosztását
- a szerző(k) munkahelyét
- a szerző(k) munkahelyének, valamint lakásának címét és telefonszámát
- a vonalas ábrák és fényképábrák számát.

Az iratgyűjtőben a kézirat lapjait a következő sorrendben kell egymás után iktatni:

Címlap (külön lapon)

Tartalmi kivonatok

Jelölések (külön lapon, amennyiben az alkalmazott betűjeleket szerző nem a szöveg megfelelő helyén magyarázza)

Szöveglapok

Táblázatok (külön lapokon)

Ábrafeliratok (külön lapon)

Az esetleges ábrák vázlatait, valamint a közlendő fényképeket egy-egy külön borítékba gyűjtve kell a dolgozathoz csatolni.

4. A kézirat külalakja

A közzeéteendő dolgozatokat A4 (210×297 mm-es) méretű fényezetlen felületű, fehér színű, famentes papírra, annak csupán egyik oldalára gépelve, egy eredeti és lehetőleg egy másolati példányban kell a szerkesztőséghez benyújtani. Eredeti példányként nem fogadható el karbonmásolat, fény- vagy xeroxmásolat, stencilezett másolat, kockás vagy vonalas papírra írt, továbbá gyöngybetűs írógéppel, avagy kézzel írt szöveg.

A kézirat lapjait fent középen folytatólagos sorszámokkal kell ellátni. Ha a kézírathoz pótlás szükséges, a kézirat lapjait alszámolás mellőzésével folytatólagosan kell átszámozni. A kézirat lapjait nem szabad összehajtani, összefűzni, összefűzni vagy bekötetni.

A szöveg gépelésekor mindkét oldalon 4–4 cm széles szegélyt (margót) kell hagyni, s egy-egy oldalra 25 sort kell írni 50 leütéssel.

A gépelés ketős sortávolsággal történjék! A bekezdések első sorát 5 betűvel beljebb kell kezdeni, mint a többi sort!

A dolgozat fő- és alcímeit úgy kell gépelni, hogy az világosan fejezze ki a cím nagyságrendjét. Az egyes alcímeiken belül az esetleges további alosztások címét az azt követő szöveggel folyamatosan (tehát nem külön sorba) kell írni.

A szövegben előforduló személyneveket (de csak a vezetékneveket!) nagybetűkkel kell gépelni. Ez a rendelkezés nem vonatkozik a személynévvel megjelölt eljárásokra, képletekre stb. (pl. Vianello-féle eljárás, Euler-képlet), valamint az építészettörténeti és településtudományi cikkekben szereplő személynevekre.

A kézirat egy-egy lapján legfeljebb 5 sorban szabad utólagos változtatást eszközölni. Ebbe nem számít bele a betűhibák javítása vagy betűknek és szavaknak pótlás nélkül való törlése. A kéziratnak ráragasztott szövegrésszel való helyettesítése megengedett.

5. A dolgozat címe

A dolgozat címe rövid, de kifejező legyen. A címet kövesse külön-külön sorba gépelve a szerző(k) neve, tudományos fokozata és a kézirat benyújtásának időpontja. Ezek egyike után sem kell a kéziratban pontot tenni.

Magyar szerzők utónevét idegen nyelvű szöveg címében általában a magyar utónév kezdőbetűjével kell közölni (pl. Gy. MÁRKUS). Idegen szerzők nevét magyar szövegű dolgozat címében az illető ország írásmódja szerint kell írni (pl. Prof. Dr.-Ing. Hermann RÜHLE).

A dolgozat szerzőjének (szerzőinek) postacímét (lehetőleg lakáscímét) lábjegyzetben kell közölni.

A címrovat alakja

angol szövegben:

PROPAGATION OF ELASTIC BENDING VIBRATION

B. KIRÁLY*
CAND. OF TECHN. SCI.

[Manuscript received Mai 18, 1967]

* Dr. B. Király, Üllői-út 60–62, H-1082 Budapest, Hungary.

német szövegben:

FORTPFLANZUNG VON ELASTISCHEN BIEGESCHWINGUNGEN

B. KIRÁLY*
KANDIDAT DER TECHN. WISSENSCHAFTEN

[Eingegangen am 18. Mai 1967]

* Dr. B. Király, Üllői-út 60–62, H-1082 Budapest, Ungarn.

francia szövegben:

PROPAGATION DES OSCILLATIONS DE FLEXION ÉLASTIQUE

B. KIRÁLY*
CANDIDAT ÈS SCI. TECHN.

[Manuscrit reçu le 18 mai 1967]

* Dr. B. Király, Üllői-út 60–62, H-1082 Budapest, Hongrie.

orosz szövegben:

РАСПРОСТРАНЕНИЕ УПРУГИХ ИЗГИБАЮЩИХ
КОЛЕБАНИЙ В СТЕРЖНЯХ

Б. КИРАЙ*
КАНД. ТЕХН. НАУК

* Dr. B. Király, Üllői-út 60–62, H-1082 Budapest.

magyar szövegben:

RUGALMAS HAJLÍTÓ REZGÉSEK TOVATERJEDÉSE

KIRÁLY BÉLA**
A MŰSZ. TUD. KANDIDÁTUSA
[Beérkezett 1967 május 18-án]

* Dr. B. Király, Üllői-út 60–62, H-1082, Budapest.

** Dr. Király Béla, 1082 Budapest, Üllői út 60–62.

A tudományos fokozat megjelölése nagybetűkkel írandó, mégpedig *angol* szövegben:

REG. MEMBER OF THE HUNG. AC. OF SCI.
CORR. MEMBER OF THE HUNG. AC. OF SCI.
DOCTOR OF TECHN. SCI.
CAND. OF TECHN. SCI.

német szövegben:

ORD. MITGLIED DER UNG. AK. DER WISSENSCHAFTEN
KORR. MITGLIED DER UNG. AK. DER WISSENSCHAFTEN
DOKTOR DER TECHN. WISSENSCHAFTEN
KANDIDAT DER TECHN. WISSENSCHAFTEN

francia szövegben:

MEMBRE ORD. DU L'AC DES SCI. DE HONGRIE
MEMBRE. CORR. DU AC. DES SCI. DE HONGRIE
DOCTEUR ES SCI. TECHN.
CANDIDAT ES SCI. TECHN.

orosz szövegben:

АКАДЕМИК АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ
ЧЛЕН-КОРР. АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ
ДОКТОР ТЕЦХН. НАУК
КАНД. ТЕХН. НАУК

magyar szövegben:

AZ MTA RENDES TAGJA
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA
A MŰSZ. TUD. DOKTORA
A MŰSZ. TUD. KANDIDÁTUSA

6. A tartalmi kivonatok

Az Osztály folyóiratai minden szakdolgozat szövegrésze előtt az illető szakdolgozat nyelvén írt tartalmi kivonatot (Résumé-t) közölnek.

Ha a dolgozat címe kimerítő felvilágosítást ad a dolgozat tárgyáról, akkor a tartalmi kivonatban felesleges azt megismételni. Ha azonban a dolgozat címe csak hiányosan tünteti fel a dolgozat tárgyát, akkor a tartalmi kivonatban a hiányzó adatokat pótolni kell.

A tartalmi kivonatnak össze kell foglalnia a dolgozat érdemi megállapításait és végkövetkeztetéseit, továbbá fel kell hívnia a figyelmet a dolgozatban foglalt új eredményekre és azok jelentőségére.

A tartalmi kivonatnak a dolgozat áttekintése nélkül önmagában véve is érthetőnek kell lennie, benne nem szabad képletekre vagy ábrákra hivatkozni. *Terjedelme ne haladja meg a 15–20 gépelt sort!*

A szerkesztőség a dolgozat elején közzétett tartalmi kivonaton kívül a dolgozat végén két további tartalmi kivonatot is közöl, mégpedig
 angol nyelvű dolgozat végén: német és orosz nyelven
 német nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven
 francia nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven
 olasz nyelvű dolgozat végén: angol és orosz nyelven
 orosz nyelvű dolgozat végén: angol és német nyelven
 magyar nyelvű dolgozat végén: angol és német nyelven.

A fentiekén túlmenően az *Acta Technica* az egyes kötetek (félkötetek) végén kartotékban való megőrzésre alkalmas, színes papírra nyomott tartalmi kivonatot is hoz.

Fentiekre való tekintettel a dolgozat elejére gépelt tartalmi kivonaton kívül a tartalmi kivonat szövegét további három példányban kell a szerkesztőséghez benyújtani. Ezekben a többletlapokon fent fel kell tüntetni a dolgozat címét, lent pedig a dolgozat szerzőjének (szerzőinek) nevét, és megismételve a dolgozat címét (orosz nyelvű tartalmi kivonat esetében mindezt cirill betűvel írva).

A tartalmi kivonatot ki-bekezdés nélkül folytatólagosan kell gépelni! Az angol példányban a címben szereplő szavak kezdőbetűit (a névelők és előjárók kivételével) nagybetűvel kell írni.

7. A dolgozat fogalmazása

A tudományos dolgozat szerzője a dolgozat bevezetésében vázolja fel a tárgyalandó problémát, utaljon az illető problémakörben már megjelent munkákra és azok megállapításaira.

A dolgozat gondolatmenete legyen folyamatos és áttekinthető, fogalmazása szabatos és tömör, de érthető és követhető. A dolgozat mutasson rá arra, hogy a közölt megállapítások mennyiben újak, és miben térnek el más szerzők megállapításaitól.

Kerülni kell a bonyolult mondat szerkezeteket, főleg a beszúrásokat és közbevetett mondatokat. Sok mellékmondat használata zavarja a szöveg megértését, és megnehezíti annak fordítását. A többszörös birtokviszony használatát is mellőzni kell.

A mondatok általában ne legyenek négy gépírt sornál hosszabbak!

Mellőzni kell az ismétléseket: azt, ami az ábrákból magyarázat nélkül is kitűnik, nem kell a szövegben leírni. Ez vonatkozik a táblázatokra is. Ugyanazt a törvényszerűséget általában felesleges kétféle módon, nevezetesen táblázattal is és függvényábrán (diagramon) is bemutatni.

A dolgozatot nem szabad egyesszám első személyben fogalmazni! Helyette személytelen fogalmazást, többes szám első személyt vagy helyesebben ilyen-

szerű fogalmazást kell használni. „A szerző vizsgálatai szerint” „E sorok írója szerint” stb.

Idegen nyelvű szövegben (fordításban) lehetőleg mellőzni kell a többes szám első személy használatát is. Ehelyett inkább szenvedő alakot vagy személytelen alakot kell alkalmazni. E szabály nem vonatkozik az angolban szívesen használt „let us . . .” kifejezésmódra.

8. A transliteráció

Mint ahogy a hazai és külföldi közkönyvtárak katalógusai a cirill betűs nyomtatványokat a latin ABC-re transliterált alakban tartják nyilván, a nem orosz nyelvű közleményekben a cirill betűs forrásmunkák címét és szerzőjük (szerzőik) nevét latin betűs alakra átírva kell közölni.

A transliterációt cirill betűről latin betűre a következő táblázat szerint kell végrehajtani:

Cirill	Magyar	Angol	Német	Francia	Olasz
А а	a	a	a	a	a
Б б	b	b	b	b	b
В в	v	v	v	v	v
Г г	g	g	g	g	g
Д д	d	d	d	d	d
Е е	e	e	e	e	e
Ж ж	zs	zh	z	ž	ž
З з	z	z	z	z	z
И и	i	i	i	i	i
Й й	j	i	j	j	j
К к	k	k	k	k	k
Л л	l	l	l	l	l
М м	m	m	m	m	m
Н н	n	n	n	n	n
О о	o	o	o	o	o
П п	p	p	p	p	p
Р р	r	r	r	r	r
С с	sz	s	s	s	s
Т т	t	t	t	t	t
У у	u	u	u	u	u
Ф ф	f	f	f	f	f
Х х	h	kh	ch	h	h
Ц ц	c	ts	c	c	c
Ч ч	cs	ch	c	c	c
Ш ш	s	sh	s	s	s
Щ щ	scs	shch	sc	sc	sc
Ъ ъ	”	”	η	„ou”	
Ы ы	ü	y	y	y	y
Ь ь	,	,	,	‚ou’	,
Э э	é	e	é	e	é
Ю ю	ju	iu	ju	ju	ju
Я я	ja	ia	ja	ja	ja

9. Betűfajták nyomdai elnevezése

A nyomtatott betűket nagyságuk növekvő sorrendjében a következőképp szokás megjelölni:

nonpareille	NONPAREILLE
petit	PETIT
garmond	GARMOND
cicero	CICERO
mittel	MITTEL
tercia	TERCIA

E betűnemeken belül a kisbetűket kurrens-nek, a nagybetűket verzálisnak szokás nevezni. A szokásos tükörméret esetében garmond betűből általában 70, petitből általában 90 betű fér el egy sorban.

A betűket alakjuk, illetve vastagságuk szerint a következő jelzőkkel szokás egymástól megkülönböztetni:

antikva (álló betű)	ANTIKVA
kurzív (dőlt betű)	<i>KURZÍV</i>
fraktur (gót betű)	𝔉𝔫𝔞𝔩𝔞𝔩𝔞
félkövér	FÉLKÖVÉR
kövér	KÖVÉR
groteszk	GROTESZK

10. Az alkalmazandó betűfajták

Antikva (álló) betűvel kell szedni:

a számértékeket (a zérust is)

a képletekben előforduló zárójeleket (), [], { }

a szögfüggvények jeleit és egyéb hasonló jeleket,

sin, cos, tan, cot,

sinh, cosh, tanh, coth,

arc sin, arc cos, arc tan, arc cot,

Ar sinh, Ar cosh, Ar tanh, Ar coth,

lim, log, ln, exp,

a kémiai elemek betűjeleit

O, H, Al,

a differenciálás d műveletjelét

a mértékegységek jeleit

s (sec, Ω (ohm), MN (meganewton), kN (kilonewton))

a vektorszámítás műveletjeleit

rot, div, grad,

a képletekben az indexeket, ideértve a

max, min, krit, konst

és hasonló rövidítéseket.

Kurzív (dőlt) betűvel kell szedni (részben az MSZ szabványtól eltérően):

a fizikai fogalmak betűjeleit

az előzőekben nem említett függvényjeleket

$$f(x, y), \Phi(r, \varphi),$$

valamint a

$$\vartheta, \vartheta, \delta, \Sigma, \Pi, \mathcal{L}, \mathcal{C}$$

műveletjeleket a d műveletjel kivételével.

Félkövér betűvel kell szedni a mátrixokat és a vektorokat.

Groteszk (mindenütt azonos vastagságú) betűvel kell szedni a mátrixokat.

A kurzív (dőlt) betűvel szedendő szövegrészeket a kéziratban ceruzával egyszerű alá kell húzni. Különleges egyéb betűfajtaival (félkövér, groteszk) szedendő részeket a kéziratban meg kell jelölni és a kézirat baloldali szegélyén külön meg kell nevezni.

Fraktur (gót) betűt semmiféle dolgozatban sem szabad használni, cirill betűt pedig csak orosz nyelvű dolgozatban szabad alkalmazni. Utóbbiakban a képleteket latin betűkkel írni, s a fizikai fogalmak megjelölésére — a mértékegységek kivételével — latin betűt kell alkalmazni.

Ha a dolgozat a mátrixalgebra betűjeleit alkalmazza, a dolgozat címlapján és szövegrészeiben fel kell hívni a szedő figyelmét arra, hogy mely betűket milyen betűtípussal kell szednie. *A nem kurzívan szedendő betűjeleket színes ceruzával alá kell húzni és ennek jelentését a címlapon meg kell magyarázni!*

11. A képletek

A képleteket általában a szövegsorok közé iktatott külön sorba *szabadkézzel* kell igen gondosan berajzolni, mégpedig tintával vagy tussal. Képletet géppel írni csak akkor *szabad*, ha a gépíró ebben különlegesen jártas.

A képletek berajzolásához a sorok közt bőséges szabad helyet kell hagyni. A 2×2 soros sortávolság a képletek beírására általában elégtelen.

Fénymásolt stencilezett képleteket nem szabad a kéziratba beiktatni.

A szedő az önálló sorban levő képleteket külön utasítás nélkül is kurzív (dőlt) betűvel szedi, tehát nem szabad a képletekben a dőlten szedendő betű-

ket vagy az egész képletet aláhúzni. Ha azonban a képletben egyes részek (pl. ln, log) álló betűvel szedendők, akkor e részeket színes ceruzával alá kell húzni és ennek jelentését meg kell magyarázni. A sin, cos, . . . stb. függvényjeleket a szedő eleve álló betűvel szedi.

A szöveg soraiban levő dőlt betűvel szedendő jeleket kézírással kell a szövegbe beírni. Az ilyen kézírással beírt betűket, ha betűjel voltak nem vitás, nem kell a kurzív szedésre figyelmeztetésül semmiféle külön jellel (ceruzával történő aláhúzással) megjelölni. A szövegsorban levő géppel írt olyan betűjeleket azonban, melyeket dőlten kell szedni, ceruzával (!) alá kell húzni.

A képletek után a mondat értelmének, illetve szerkezetének megfelelő írásjelet (pontot, vesszőt, pontosvesszőt) ki kell tenni. Ettől csak akkor lehet eltekinteni, ha az félreértésre adhat alkalmat.

Táblázatszerű számoszlopok vagy felsorolások sorai után nem kell írásjelet kitenni. Nem kell pontot tenni a képletek indexeként szereplő rövidítések (pl. max) után sem.

A szövegsorok közé nem szabad oly képletet vagy olyan betűjelet beiktatni, ami sorritkítást tesz szükségessé. Ennek érdekében pl.

$$\frac{a+b}{c+d} \text{ helyett ezt kell írni: } (a+b)/(c+d),$$

$$\frac{du}{ds} \text{ helyett ezt kell írni: } du/ds \text{ vagy } u_s,$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x \cdot \partial y} \text{ helyett ezt kell írni: } \partial^2 v / (\partial x \cdot \partial y) \text{ vagy } v_{xy},$$

$$\frac{1}{a} \text{ helyett ezt kell írni: } 1/a \text{ vagy } a^{-1},$$

$$\sqrt{x^2 + y^2} \text{ helyett ezt kell írni: } (x^2 + y^2)^{1/2}.$$

Integráljel alkalmazásakor a határokat nem e jelek fölé és alá, hanem az említett jelek mellé kell írni. Pl.:

$$\int_a^b \text{ helyett ezt kell írni: } \int_a^b.$$

A képletek berajzolásakor csak annyi betűt szabad egy sorba írni, amennyi ott kényelmesen elfér. Az egy sorban kényelmesen el nem férő képleteket több sorra bontva kell írni, mégpedig a képlet szedésekor óhajtott elrendezésben. A két vagy több sorra átterjedő képletekben az egyes sorok végén, illetve a következő sorok elején a műveletjelet (szorzás esetében a \times jelet) meg kell ismételni. Pl.:

$$y = -\frac{3p}{2} \left(\frac{l^2}{4} - m^2 \right) \left[\frac{ab}{q^3} + \frac{1}{abq} (a^2 - b^2) \cos^2 \varphi \right] \times \\ \times \left[\frac{cd}{q^3} + \frac{1}{cbq} (c^2 - d^2) \sin^2 \varphi \right].$$

Ha valamely tört számlálója vagy nevezője nem fér el egy sorban, akkor a számlálót, illetve nevezőt egy-egy alkalmas betűjellel kell helyettesíteni, s a betűjelek értelmét a képletet követően kell megmagyarázni. Pl. így:

$$z = \frac{A}{B}.$$

ahol

$$\begin{aligned} A &= \int_0^1 (A + Bx + Cx^2)^m (D + Ex + Fx^2)^n dx + \\ &+ \int_0^1 (A - Bx + Cx^2)^m (D - Ex + Fx^2)^n dx, \\ B &= \int_0^1 (A + Bx + Cx^2)^n (D + Ex + Fx^2)^m dx + \\ &+ \int_0^1 (A - Bx + Cx^2)^n (D - Ex + Fx^2)^m dx. \end{aligned}$$

A képletekben és szövegben a mértékegységek jelét nem kell többes számban kitenni pl. (mm-s helyett mm írandó).

Ha valamely komplikáltabb kifejezés többször fordul elő a szövegben, helyette valamely betűjelet kell bevezetni és annak jelentését ott, ahol először előfordul, meg kell magyarázni.

12. A képletek sorszámozása

A képleteket csak akkor kell sorszámozni, ha az illető képletekre a dolgozatban hivatkozás történik vagy feltételezhető, hogy azokra később hivatkozni fognak. A felesleges sorszámozást kerülni kell.

A képletek megjelölésére a kézirat jobb szélén kerek zárójelbe foglalt arab számot (esetleg decimális számot) kell alkalmazni. A sorszám után nem kell pontot tenni:

$$c_3 = a \left(1 + \frac{4\lambda}{z} \right). \quad (1)$$

A képletek sorszámozására alkalmazandó kerek zárójel írógépellt szövegben ferde törtvonallal helyettesíthető.

Ha a képlet több sorra terjed ki, a sorszám a képlet utolsó sorának magasságába kerüljön. Képletcsoportok sorszámát kapcsolójel mellőzésével a képletcsoport közép magasságában kell kitenni. A képletek után nem szabad a képlet sorszámához vezető pontsört iktatni.

13. A szorzás jele

A szorzás jele általában a tényezők közé a sor félmagasságában iktatott pont, ezt azonban csak akkor kell kitenni,

1. ha két egymást követő tényező mindegyike tört, pl.

$$\frac{a}{b} \cdot \frac{c + mx}{d + nx}$$

2. ha ezáltal zárójelet takarítunk meg, pl.

$$\sin x \cdot \sin y,$$

3. ha számtényezőket kell egymástól elválasztani, pl.

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 3,1.$$

Egyéb esetekben a tényezőket a szorzásjel mellőzésével kell egymás mellé írni, úgy azonban, hogy az egyes tényezők közt kellő hézag (spácium) maradjon, pl.

$$a \ b \ c.$$

A tényezőknek hézag kihagyása nélkül közvetlen egymás mellé való iktatása csúnya, pl.

$$abc.$$

A számtényezők közé iktatott szorzásjel előtt és után is kellő hézagot kell hagyni, másképp ti. a képlet nehezen olvasható. Tehát

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 2,1$$

helyett ezt kell írni

$$1,2 \cdot 0,3 \cdot 2,6 \cdot 2,1.$$

14. A betűjelek

A képletekben és ábrákon betűjelként lehetőleg latin betűket kell alkalmazni. Latin betűkön felül csak görög betűk használhatók. Gót és cirill betűk mellőzendők.

A betű mellé nem szabad kettőnél több indexet iktatni. A sok index az olvasóra zavarólag hat. A betűk mellett az index lehetőleg szám vagy latin kisbetű legyen. Indexszel bíró indexnek betűjelként való alkalmazását kerülni kell.

A képleteknek a szövegbe való berajzolásakor különös gondot kell fordítani a könnyen összecserélhető következő betűk írására:

l (longitudo), l (arab egyes), I római egyes)

a és α (alfa)

α (alfa) és x (iksz)

κ (kappa) és x (iksz)

ω (omega) és w (dupla wé)

v (nü) és n vagy v

ξ (kszi) és ζ (dzéta)

g és q

k és K

z és Z

I és J

j és J

0 (zérus) és O (Ottó).

Tévedések elkerülése végett a képletekbe az l (longitudo) betűt gép helyett kézzel kell beírni. A görög betűket színes ceruzával alá kell húzni, s ha félreírhatók, a kézirat baloldali szegélyén név szerint is meg kell nevezni. Pl.

(α = alfa), (κ = kappa).

A tehetetlenségi nyomatékot a képletekben és szövegben nem I betűvel, hanem olyan J betűvel kell írni, amelynek alsó szára nem nyúlik a sor széle alá. Erre a körülményre a szedőt a kézirat bal oldali szélén a következőképp kell figyelmeztetni:

(alacsony J betű).

Ha a dolgozatban számos betűjel szerepel, célszerű az alkalmazott betűjeleket külön összefoglalva is közölni. Ezt a jelmagyarázatot

angol szövegben: Symbols

német szövegben: Bezeichnungen

francia szövegben: Notations

orosz szövegben: Исловные обозначения

magyar szövegben: Jelölések

címmel, külön lap(ok)ra gépelve, a tartalmi kivonat után kell a dolgozatba beiktatni.

15. A zárójel

A képletek berajzolásakor és szedésekor gondosan ügyelni kell a zárójel nagyságrendjére. A zárójel sohase legyen kisebb, mint az általa bezárt képletrész legmagasabb részlete. A kampós zárójel mindenkor nagyobb legyen,

mint az általa bezárt képletrészben szereplő kerekded zárójel:

$$(A + B)\{m[a + b(x + c)^2] + n[f + g(y + d)^2]\}.$$

Képleteknek írógéppel való írásakor a kerekded zárójelet nem szabad ferde törtvonallal helyettesíteni!

16. Az írásjelek

A kéziratban gondosan kell kitenni az írásjeleket, magyar szövegben azonban a géppel nem írható ékezeteket általában nem kell kézírással pótolni.

Sorszámok után mellőzni kell a félzárójel alkalmazását. A helyes írásmód tehát a következő: 1. vagy IV. stb.

Sor elején alkalmazandó betűjel után csak félzárójelet kell tenni, pont nélkül, például: a) vagy B) stb.

A kerekded zárójelet helyettesítő ferde törtjel belső oldalára nem szabad kettőspontot tenni, ügyelni kell ellenben arra, hogy a ferde törtvonások szorosan az általuk közrezárt szövegrészhez zárkózzanak, s kellő hézaggal váljanak el a zárójelen kívül levő szövegrésztől.

A gondolatjelet gépeléskor két elválasztó jellel kell pótolni: --. A szöveg gépelésekor a gondolatjel előtt és után hézagot kell hagyni. Kezdő gondolatjel nem lehet a sor végén, befejező gondolatjel nem lehet a sor elején.

A mértékek, pénzek és égtájak rövidítése után nem kell pontot tenni.

17. Az ábrák

A dolgozatot célszerű magyarázó ábrákkal kísélni, de a felesleges ábrákat mellőzni kell. Általában az ábrák száma ne legyen több mint a kézirat oldalszámának a fele. Az ábrákat úgy kell megtervezni, hogy a lapon lehetőleg álló helyzetben férjenek el, tehát szélességi méretük kicsinyítés után ne legyen 12,5 cm-nél nagyobb.

Az ábrákat (ideértve a fényképábrákat is) folytatólagos — nem decimális — számozással kell ellátni. A dolgozat szerzőjét, az ábra sorszámát és a kicsinyítés javasolt mértékét magán az ábrán — fényképábrák esetében azok hátoldalán — fel kell tüntetni.

Az ábrákat nem szabad a kézirat lapjaira rajzolni vagy felragasztani, célszerű helyüket a kézirati lap bal szegélyén (margóján) keretbe foglaltan megjelölni.

Amennyiben valamely vonalas ábra vázlatából vagy valamely fényképábrából az ábra óhajtott helyzete egyértelműen nem tűnik ki, a függélyes és vízszintes irányt, illetve az ábra felső és alsó szélét az ábralapon (fényképábra esetében annak hátoldalán) külön meg kell jelölni.

Idegen helyről átvett vonalas ábrák vagy fényképábrák esetében az ábrafeliratban pontosan meg kell nevezni azt a forrást, ahonnan a szerző az illető ábrát átvette.

A szövegben minden ábrára legalább egyszer hivatkozni kell. A hivatkozás módja

angol szövegben: (Fig. 12)

német szövegben: (Bild 12)

francia szövegben: (fig. 12)

orosz szövegben: (РИС. 12)

magyar szövegben: (12. ábra).

Minden ábrát — a fényképábrákat is — annak tárgyát magyarázó felirattal kell ellátni.

a) A *vonalas ábrák* (fototípiák). Ezek vázlatát — külön borítékba gyűjtve — a kéziratához kell csatolni. *Minden ábravázlatot 210×297 nagyságú külön papírlapra kell rajzolni*, azonban az egymás mellé nyomtatandó ábrákat az óhajtott elrendezésben közös lapon kell benyújtani. Az ábravázlatokat nem szabad bekeretezni.

A vonalas ábrákon kerülni kell minden felesleges vonalat és betűjelet. *Magába az ábrába nem szabad képleteket és szövegrészeket* (neveket, magyarázatokat) *beírni!* Ha az ábra megértéséhez ily magyarázatok szükségesek, azokat *Jelmagyarázat* vagy *Megjegyzés* címmel az ábrafeliratban kell közölni. Az ábrafeliratokban magyarázó szövegrész beiktatása megengedett.

A vonalas ábrák vázlatát átlátszó vagy fehér papírra kell rajzolni, mégpedig — kivételes esetektől eltekintve — kétszeres nagyításban. Az ábravázlatokat a szerkesztőség az egyöntetűség kedvéért átrajzoltatja, miért is a vázlatokat felesleges tussal vagy tintával kihúzni.

Az ábravázlatokon — a szabványtól eltérően — dőlt betűk helyett mindenütt álló betűket kell írni. Az alkalmazott betűjelek nagysága az ábra kicsinyítési mértékéhez igazodjék. A szokásos 1 : 2 kicsinyítést feltételezve, az ábravázlatokon a kisbetűk magassága 3 mm, a nagybetűk és számok magassága 4 mm, az indexek magassága 2 mm legyen. Az l (longitudo) betűt a szabványtól eltérően felső és alsó füllel ellátva kell rajzolni.

A függvényábrákon (diagramokon) mindenkor fel kell tüntetni a tengelyek betűjelét, a léptéket és a mértékegységeket.

Azokat a vonalas ábrákat, amelyeket túl széles voltak miatt álló helyzet helyett fekvő helyzetben kell közölni, annak figyelembevételével kell megrajzolni, hogy nyomtatáskor az ábra teteje a lap bal oldali szélére, az ábra alja pedig a lap jobb oldali szélére fog kerülni. A feliratokat ezzel összhangban kell az ábrán elrendezni.

b) A *fényképábrák* (autotípiák). Az ezek céljaira mellékelt fényképeket megfelelő felirattal ellátott külön borítékba gyűjtve kell a kéziratához csatolni.

Ezen a borítékon fel kell tüntetni a benne levő fényképek darabszámát. A fényképek lehetőleg 13×18 nagyságúak legyenek.

Fakó, homályos, kontraszt nélküli, többször átfotografált fényképek nem alkalmasak közlésre.

18. A számok írásmódja

A szövegben, képletekben és táblázatokban a számjegyeket hármas csoportokba kell foglalni. *A tizedeseket vesszővel kell az egész számtól elválasztani*, a négyjegyű számokat azonban csak akkor kell szétválasztva két csoportba írni, ha oly számoszlopban foglalnak helyet, amelyben a számjegyek hármas csoportba vannak foglalva:

27 316,022 42	3216,20
3 125,307 16	407,21
30 441,329 58	3623,41

A sok zérust tartalmazó számokat rövidített alakban kell írni. Pl. 39 200 000 helyett $39,2 \times 10^6$, 0,000 025 helyett $0,25 \times 10^{-4}$ írandó.

19. A számpéldák

Műszaki dolgozatokban általában számpéldát célszerű közölni.

A számpéldában nem szabad megismételni az alkalmazni óhajtott képletet, elegendő arra csak hivatkozni.

A számítás során általában elégséges csak a számítás kezdő lépését és a végeredményt közölni, mindenkor meg kell adni azonban a behelyettesítendő mennyiségek és a végeredmény mértékegységét (dimenzióját).

A *Számpéldá(k)* címszó megjelölése

angol szövegben: Numerical example(s)

német szövegben: Zahlenbeispiel(e)

francia szövegben: Exemple(s) numérique(s)

orosz szövegben: Числовые примеры

magyar szövegben: Számpéldá(k).

20. A mértékegységek

A szerkesztőséghez 1977 december 31-ig benyújtandó kéziratokban a tömegegységet (gramm) g, a súlyegységet (pond) p betűvel kell jelölni. Ennek megfelelően kell különbséget tenni a kilogramm (kg = 1000 g) és a kilopond (kp = 1000 p) közt. A kilopond 1000-szerese a megapond (Mp).

A feszültséget nem kg/cm^2 -ben, hanem kp/cm^2 -ben, a nyomatékot pedig nem mt -ban, hanem mMp -ban kell kifejezni.

A Szerkesztőséghez 1978. január 1-e után benyújtandó kéziratokban az SI egységeket kell használni. Az SI rendszerben 1 kpm helyett 0,01 kNm, 1 kp/m^2 helyett 0,01 kN/m^2 írandó.

21. Az irodalmi hivatkozások

Az irodalmi hivatkozások sorszámát szögletes zárójelbe kell foglalni. Pl.:

[1], [22], [5, 12], [21–26].

Írógéppel írt szövegben a szögletes zárójelet kézírással kell berajzolni.

Az irodalmi hivatkozás jelét rendszerint közvetlenül a szerző neve után kell a szövegbe beiktatni. Pl.:

A Galerkin-féle eljárás alkalmazására GIRKMANN [23] mutatott be több példát.

Ha valamely mű bizonyos fejezetére vagy oldalaira kell utalni, azt általában nem a szövegrészben, hanem az Irodalom című rovatban (építészettörténet vagy településtudományi cikkekben esetleg lábjegyzetben) kell megemlíteni. Pl.:

42. GIRKMANN, K.: Flächentragwerke. 5. Aufl., Springer-Verlag, Wien 1959, 36, 103, 175

43. DIERKS, K.: Windberechnung einer hyperbolischen Paraboloid-Schale. *Der Bauingenieur* 37 (1963), 259

22. Az Irodalomjegyzék

A dolgozat forrásmunkáit, valamint azokat a műveket, melyekre a dolgozat hivatkozik, a dolgozat Irodalom című összeállításában kell felsorolni.

Az irodalomjegyzéket külön lapra kell gépelni, s azt közvetlenül a dolgozat szövegrésze után kell a kéziratba beiktatni. Benne az egyes munkákat hivatkozási számuk sorrendjében kell felsorolni. Itt a hivatkozási számot nem kell szögletes zárójelbe tenni. A folyóirat címét (ez dőlten szedendő) egy vonallal, az évfolyam számát (ez félkövéren szedendő) két vonalkával alá kell húzni. Ha a hivatkozott dolgozat folyóiratban jelent meg, okvetlenül közölni kell a dolgozat címét, a folyóirat nevét, kötetszámát, a megjelenés évszámát, valamint azt, hogy a dolgozat a folyóirat mely oldalán található.

IRODALOM

1. DIERKS, K.: Windberechnung einer hyperbolischen Paraboloid-Schale. *Der Bauingenieur* **37** (1962), 258–262
2. BÖLCSKEI, E.—DOMJÁN, J.: Foundations with Small Settlement. *Acta Techn. Hung.* **33** (1961), 179–194
3. DULÁCSKA, E.: Vasbeton dongahéjak számítása. *VI. Oszt. Közl.* **30** (1962), 19–37
4. ZILL, W.: Vermessungskunde für Bauingenieure. 1. Aufl., B. G. Teubner Verlagsgesellschaft, Leipzig 1958
5. PELIKÁN J.: Tartószerkezetek. Tankönyvkiadó, Budapest 1951
6. BALOGH A.: Nagyteljesítményű rendszerek torziós vizsgálata. *Műsz. Tud.* **41** (1968), 94–100

Az *Irodalom* rovat megjelölése

angol nyelvű szövegben: REFERENCES

német nyelvű szövegben: SCHRIFTTUM

francia nyelvű szövegben: BIBLIOGRAPHIE

orosz nyelvű szövegben: ЛИТЕРАТУРА

magyar nyelvű szövegben: IRODALOM

23. Táblázatok

A dolgozat ne tartalmazzon túl sok táblázatot. A táblázatokat úgy kell megszerkeszteni, hogy álló helyzetben elérjenek, tehát szélességi méretük nyomtatott állapotban ne legyen 12,5 cm-nél nagyobb.

A táblázatokat római sorszámozással és rövid, de kifejező címmel kell ellátni. Pl.:

II. táblázat

A pontos és közelítő nyomatékértékek

A táblázatokat nem szabad a szöveglapokra írni, hanem minden táblázatot külön lapra kell gépelni.

A dolgozat szövegében minden táblázatra legalább egyszer hivatkozni kell. A táblázatok célszerű helyét a kézirat baloldali szegélyén (margóján) keretbe foglalva meg kell jelölni.

A táblázatban előforduló mennyiségek dimenzióját lehetőleg nem a táblázat címében, hanem a táblázat fejlővátában kell megadni.

A táblázatokat tartalmazó lapokat az *Irodalomjegyzéket* követően kell a kézírathoz csatolni.

A *Táblázat* szó megjelölése

angol nyelvű szövegben: **Table 1**

német nyelvű szövegben: **Tafel 1**

francia nyelvű szövegben: **Tableau 1**

orosz nyelvű szövegben: **Таблица 1**

magyar nyelvű szövegben: **1. Táblázat**

24. A lábjegyzetek

Műszaki tanulmányokban a lábjegyzeteket lehetőleg kerülni kell. Ez a megjegyzés nem vonatkozik a dolgozat címlapján alkalmazandó, a szerző(k) címadatait tartalmazó lábjegyzetre és, ha a dolgozat tárgya valahol előadásra került, az előadás helyét és időpontját feltüntető megjegyzésre.

25. Az ábrafeliratok

Az ábrafeliratokat az ábraszámok sorrendjében külön lapra kell összegyűjteni pl. a következőképpen:

1. *ábra.* Az (x, y, z) koordináta-rendszer

2. *ábra.* A terhelő erők diagramjai: a) állandó terhek, b) esetleges terhek

3. *ábra.* A pontos (M) és közelítő (M⁺) nyomatékértékek

Az ábrák feliratait tartalmazó lapot *Ábrafeliratok* megjelöléssel az ábralapok és táblázatlapok után kell a dolgozathoz csatolni.

26. Az idegen nyelvű fordítások

A műszaki dolgozatok szerzői dolgozatuknak idegen nyelvre való lefordításakor működjenek együtt a szakfordítókkal, és gondosan ellenőrizzék a fordítást, főként az alkalmazott szakkifejezések helyességét. Kívánatos, hogy a fordító által készített kéziratba maguk a szerzők rajzolják be a képleteket.

A dolgozat idegen nyelvű fordításában a szövegrész végén a következő rovatok legyenek:

Fordította:	Lektorálta:	Látta a szerző:
.....
cím, telefonszám	cím, telefonszám	cím, telefonszám
.....

27. A kéziratok korrektúrája

A szerkesztőség a beküldött kéziratokról a nyomdai korrektúra után általában két levonatot küld a szerzőnek: hasáblevonatot és tördelt levonatot.

A levonatokon szükséges korrekciókat a szerző haladéktalanul végezze el, és a levonatot három napon belül juttassa vissza a szerkesztőséghez. A korrekciót a 3491-59 MSZ szerint kell elvégezni.

A korrekció általában csak a szedési hibák kiigazítására szorítkozzék. A kézirattól eltérő szövegmódosítások költségét a nyomda a szerzői tiszteletdíjből levonhatja.

A szerző a szedési hibákat kék színnel korigálja, az esetleg szükséges szövegmodosításokat piros színnel tüntesse fel.

A szerző a korrektúra megtörténtét a kézirat első oldalán kézjegyével igazolja, egyúttal megjelöli a levonat visszaküldésének napját is.

A korrektúrára vonatkozó különleges megjegyzéseket, valamint azt, hogy a dolgozat nyomható, a levonat első lapjának felső szegélyén kell feltüntetni.

28. A vonatkozó irodalom

A szakdolgozatok kéziratára vonatkozólag számos hazai szabvány és kiadvány látott napvilágot. Ezek jegyzékét, Dr. TERPLÁN Zénó egyetemi tanár ide vonatkozó összeállítását felhasználva, az alábbiak tartalmazzák.

a) Magyar szabványok:

- 244—55 Fizikai és műszaki egyenletek írásmódja
- 1701—62 Klisérajz, klisékép
- 2380—57 Algebrai jelölések
- 3491—59 Nyomdai korrektúrajelek és alkalmazásuk
- 3495—56 A gépírás szabályai
- 3497—57 Bibliográfiai hivatkozás
- 4671—59 Hőtechnikai mennyiségek, elnevezése, jelölése és mértékegységei
- 4899—54 Általános matematikai jelölések
- 4900—55 Fizikai mennyiségek elnevezése és jelölése
- 9651—62 Nyomdai kézirat
- 16351—60 Képletek, egyenletek szedése
- 16352—60 Nyomatott matematikai és azokkal rokon műszaki jelek alakjai és méretei
- 23901—55 Vektor-, tenzor- és differenciálgeometriai jelölések
- 23902—55 A matematikai analízis jelölései

b) Kiadványok:

1. TARNÓCZY T.—TERPLÁN Z.: Vezérfonal műszaki előadóknak és szerzőknek. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest 1949
2. TERPLÁN Z.: A műszaki mértékrendszer, egyenletírásmódok és néhány betűjel. *A Nehézipari Műszaki Egyetem Gépelemek Tanszékének Közleményei*, 46. sz.
3. LINDE, V. V.: Milyen legyen egy tudományos cikk? *Magyar Textiltechnika* 7 (1954), 154
4. REGŐCZI E.: Lapunk kéziratainak nyelve és külalakja. *Geodézia és Kartográfia* 12 (1960), 295—298
5. DEÁK I.-né—KISMARTY L. (szerk.): Műszaki könyvek kéziratelőkészítése és korrektúrája. (Írták: GARA E., KISMARTY L., KOROM F., KULCSÁR A., ORDÓDY J., PAPP A., SZILÁGYI B. és VÁRHEGYI I.) Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961
6. ORDÓDY J.—VISSI G.: Kéziratgépelési útmutató műszaki és tudományos kiadványokhoz. 3. kiadás, Műszaki Kiadó, Budapest 1961
7. RÁNKI A.: Természettudományi és műszaki rövidítések, jelek, jelölések. Tankönyvkiadó, Budapest 1958
8. SZÉKELY A.: A korrektúrajelek alkalmazása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961
9. CSONKA P.: A szakcikkek kéziratáról. Irányelvek az Acta Technica és Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei munkatársai részére. *VI. Oszl. Közl.* 31 (1962), 471—481
10. PENTSY J. (szerk.): A műszaki könyv írása és szerkesztése. Útmutató szerzők, fordítók, lektorok és szerkesztők számára. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1963
11. RÁTZ M.—TIMKÓ Gy.: Idegen nyelvű szövegek kéziratelőkészítése, szedése és korrektúrája. Corvina Kiadó, Budapest (évszám nélkül)

A Szerkesztőség

Benedikt Ottó:

BEITRÄGE ZUR WEITERENTWICKLUNG DER THEORIE DER GLEICHSTROM-MASCHINE

A mű, amely ARNOLD könyve óta az egyenáramú gépekkel legrészletesebben foglalkozó monográfia, sok irányú célt — ezek között egyedien sajátosokat is — tűz ki. Egyrészt a szerző több évtizedes, e területen kifejtett tudományos eredményeinek és találmányainak szintézisét, valamint ezek továbbfejlesztését tartalmazza, másrésztől újfajta tudományos vizsgálati módszereket vezet be. Utóbbiak közül a legjelentősebbek a telítési viszonyok nomografikus minőségi és mennyiségi vizsgálata és az állandósult hatásvázlatok módszere — az egyenáramú gépek belső fizikájának, üzemi viselkedésének és részben konstrukciós számításának újszerű megvilágítására és áttekintésére. Ezen felül a fenti célok közé mintegy beiktatva, az egyenáramú gépek tulajdonságainak igen részletes taglalásával tankönyvet is nyújt. Ezt eredeti és úttörő módon magasabb olyan szinten teszi, amelyet a közismert PÓLYA—SZEGŐ-féle mű nyomán talán a „feltalálás iskolájának” lehetne legtalálóbban nevezni.

Ezeket a látszólag messze eső eltérő célokat és feladatokat azonban a szerző szerkezeti-leg és stílusban is tökéletes összhangban egyesíti. Módszerének lényege, hogy minden vonatkozást teljes részletességgel tisztáz és felteszi mindazokat a kérdéseket, amelyeket az olvasó is feltenne. Ezekhez teljesen újszerű, eddig fel sem tett kérdéseket tesz hozzá és valamennyire pontosan, korrekten mélyrehatóan és házagmentesen válaszol. A könyvek olyan gyakran használt „és nyilvánvaló” áthidalásait nem fogadja el és nagyon sok eddig egyszerűnek tűnő kérdésnek nemcsak bonyolultságát mutatja meg, hanem megoldásukat is. A könyv az egyenáramú gépek elméletének számos eddig megoldhatatlannak látszó problémáját oldja meg, különösen a nemlinearitásokkal kapcsolatos területeken és számtalan olyan súlyos kérdésre ad választ, amelyet eddig fel sem tettek.

A könyv terjedelmének nagyobb részében az egyenáramú gép elméletének és számításának eddig megoldatlan kérdéseivel foglalkozik. A szerző ezeket két csoportra osztja. Olyanokra, amelyeket a klasszikus elmélet ugyan feltett, de megoldani nem tudott és olyanokra, amelyek a klasszikus elmélet során fel sem merültek, ill. fel sem merülhettek. Elsősorban stacioner jelenségekkel foglalkozik, de az állandósult állapotokat összekötő tranziens jelenségek fizikáját és tulajdonságait is részletesen elemzi és különösrn sok gondot fordít a stabilitás és labilitás kérdéseinek vizsgálatára. Teljes egészében bemutatja a soros gép részletes viselkedésének eddig eléggé elhanyagolt területét, mégpedig a vastelítés figyelembevételével, majd ezeknek az eredményeknek a segítségével a vegyes gerjesztésű gép és az armaturareakció hatásának nehezen megközelíthető viszonyait is teljes részletességgel elemzi.

A kétkötetes művet talán a következő fő részekre lehetne bontani. Az első kötet első két fejezete az egyenáramú gépek alapvető felépítésének és működésének vizsgálatával a továbbiakat alapozza meg, de önmagában is megállna, mint az egyenáramú gépek tankönyve. Már ebben a részben is találunk újszerű nézőpontokat, de a következő négy fejezet már teljes egészében újszerű. A referáló ismeretei szerint első ízben sikerült az egyenáramú gépek működésének leírását a vastelítés figyelembevételével bemutatni. Ennek alapja a szerző nomografikus módszere, amely azon a felfedezésen alapszik, hogy a ferromágneses körök számításakor eddig használt két paraméteren (mágneses indukción és mágneses potenciálkülönbségen) kívül lehetséges magát a konfigurációt is harmadik, önálló paraméterként kezelni, mégpedig úgy, hogy az említett három paraméter közül bármelyik kettőhöz a harmadik egy görbeseregéből egyszerűen adódik. E módszert szerző korábbi munkáiban elsősorban a gépek tervezésére alkalmazta. Itt a módszert tervezési feladatok megoldásán túlmenően a minőségi fizikai kép teljes és részletes bemutatására az üzemi viselkedés leírására is felhasználja.

Meghatározza a fogakban a valóságos indukció eloszláshoz tartozó veszteségeket és kimutatja, hogy az eddigi idealizáló feltételek nem megengedhetők. Kiszámítja a vastelítésből,

majd a tetszőleges horony keresztfluxusból származó járulékos örvényáramokat és rézvesztéseket, valamint a kommutációval megszabott horony keresztfluxusokból, az armatura áramváltozásból származó örvényáramokat. Valamennyi esetben részletesen kidolgozott számítási példákkal illusztrálja az új eredményeket.

Az első kötet végén található öt fejezetből álló Függelék valójában önálló monográfia. A Függelék első két fejezete a nomografikus módszer bemutatásával és a könyv III. és IV. fejezeteiben található eredmények részletes igazolásával foglalkozik. A harmadik fejezet a pólussaruk telítésének számításával, a negyedik a valóságos vas- és rézvesztéseknek a szerző által kidolgozott „nomográfóanalitikus módszerével” történő számítását mutatja meg, amelyet a klasszikus elmélet ugyan megfogalmazott, de megoldani nem tudott. Az ötödik fejezet a nomografikus módszer gépi alkalmazását, digitális számítógépre való programozását ismerteti.

A második kötet terjedelmének legnagyobb részében sorra veszi a különböző gerjesztésű egyenáramú gépek üzemi tulajdonságait. Teszi ezt azonban a vastelítés, az armatura reakció, és a zavaró jelek, így pl. a terhelés visszahatásának figyelembevételével és a feltaláló szemszögéből, mindenféle eddigi konvenciók mellőzésével. Ilyen módon a használatosak mellett a legkülönbözőbb gerjesztési módokat is megvilágítja és ilyen módon számos, különleges egyenáramú gépre vagy új egyenáramú gépre jut. E feltaláló jellegű vizsgálódás alapja mindenkor a szerző által kialakított „stacioner strukturális séma”. E séma segítségével a szerző a gépek eddig nem látott teljességű és mélyrehatóan részletes vizsgálatát végzi el. A vizsgálat kiterjed a fő üzemi jellemzőkre, és zavaró jellemzőkre, az állandósult állapotokat összekötő tranziensekre, szabályozási kérdésekre, a stabilitás vizsgálatára, mégpedig valamennyi elképzelhető gerjesztési módra a generátoros és féküzemekben egyaránt. Mint érdekes példát lehet említeni a külső gerjesztésű egyenáramú gépek motor- és féküzemének területét, amelyen egyetlen egy stacioner strukturális séma segítségével fel lehet ismerni mindazon problémákat, amelyek ábrázolására eddig 9 különböző jellegzőbeseregelyre volt szükség. Ehhez hozzájárul még az a tény, hogy ugyanazon séma a fluxusváltozások következményeit is mutatja, ugyanakkor, amikor e célból az említett 9 jellegzőbesereget minden fluxusra újból kellene megrajzolni. Az utolsó fejezet az egyenáramú hegesztő generátorok üzemét és azt tárgyalja, hogyan lehet — az eddigieken túlmenően — a strukturális sémákkal továbbfejleszteni az egyenáramú gépeket, hogyan lehet segítségükkel új géptípusokat — pl. erősítő gépeket — feltalálni. Az egyenáramú erősítő gépek szabályozási pontosságáról és gyorsaságáról szóló rövidebb Függelék zárja a kötetet.

A fent felsorolt tényekből világossá válik az is, hogy ez az új, csúcsteljesítményt jelentő mű kihez szól. Egyrészt nagy hasznot hozhat az egyetemi oktatás terén olyan hallgatóknak, akik már a villamos gépek elmélete alapjainak elsajátítása után óhajtanak belemerülni gyakorlatilag fontos, de bonyolult problémák érdekes világába, és olyan oktatóknak, akik előadásaikban igyekeznek felbreszteni és továbbfejleszteni a hallgatók alkotó képességeit. Másrészt nem hiányozhatik e mű azoknak a mérnököknek könyvespolcáról, akik a villamosgépek számítása vagy szerkesztése, a kísérleti labormunka, vagy az üzemeltetés, a tudományos kutatás, vagy a műszaki fejlesztés területén elméleti tudásukat elmélyíteni óhajtják és alkotó munkájukat serkentő impulzusokat óhajtanak kapni.

Dr. Retter Gyula

Bogárdi János:

KÖRNYEZETVÉDELEM — VÍZGAZDÁLKODÁS

Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975, 152 old.

A *Korunk Tudománya* sorozatban megjelent könyv a vízgazdálkodás sokoldalú környezetvédelmi vonatkozásait foglalja össze. Az első részben a környezetvédelemről általában ír, majd a terjedelmesebb második részben 10 fő fejezetben tárgyalja a vízgazdálkodás és a környezetvédelem kapcsolatait, különös tekintettel a vízgazdálkodás környezetvédelmi feladataira. Kitér a nemzetközi együttműködésekre és vizsgálja a hazai környezetvédelem múltját, valamint a K-5 jelű környezetvédelmi célprogramot.

A Szerző szakavatottan fogalmazza meg azokat a környezeti problémákat, amelyek a vízellátás, a vízzennyezés és szennyvíztisztítás, a mezőgazdasági vízgazdálkodás, a vízminőség-szabályozás, a vízvédelem és a mérőhálózatok műszaki-közgazdasági és jogi vonatkozásában fennállnak. A problémák felvetése mellett vázolja azokat a megoldási lehetőségeket, amelyek rendelkezésre állnak. Nem feledkezik meg a környezetvédelmi oktatás feladatairól

sem. A könyv rámutat arra is, hogy a vízi környezetvédelem nem azonos a vízminőségvédelemmel, hanem annál sokkal több és a vízgazdálkodás teljes területét átfontja.

A könyv I. része négy fejezetből áll, nevezetesen

- Az ember és élővilág környezete
- Környezetvédelem
- Nemzetközi együttműködés
- A környezetvédelem hazánkban

A könyv II. része, mint már említettük, a vízgazdálkodás környezetvédelmi fontosságát húzza alá és ilyen jellegű feladatait tárgyalja.

Az emberi tevékenység jelentősen befolyásolja a hidrológiai folyamatokat, így a víz természetes körforgását, a vízháztartási egyenletet is. Már hazánkban is érződik a hatás és ez az urbanizációval, a nagyüzemi mezőgazdasággal várhatóan fokozódik. A környezetvédelem vízügyi feladatai rendkívül sokoldalúak. A lakosság és az ipar jóminőségű vízzel való ellátása felszíni vagy felszínalatti vizekből alapvetően megkívánja a vízkészletek mennyiségének és minőségének védelmét. A minőségi jellemzők sorában egyaránt fenn kell tartani a víz fizikai, kémiai és biológiai jó tulajdonságait. Ennek következtében a vizek védelme a környezeti ártalmaktól döntően szociális és gazdasági célok érdekében történik műszaki beavatkozások segítségével.

A vizek elszennyezése jórészt az iparosítás és az urbanizáció következménye. A bányászat főleg a felszínalatti vizeket befolyásolja mennyiségükben és minőségükben, az egyéb ipari tevékenység főleg a vegyipar és energiaipar a kibocsátott szennyvizek révén a víz fizikai vagy kémiai tulajdonságait változtatja meg. Az ipari szennyvizek megtisztítása zömében gyáron belüli feladatnak tekintendő és a technológiától erősen függő. A városi szennyvizek főként a víz biológiai tulajdonságainak károsak. Megtisztításuk hazánkban különösen nagy probléma a vízellátás és a közműves csatornázás ellátottsága közötti nagy különbség következtében.

A városi szennyvizeket épp oly gondosan meg kell tisztítani, mind az ipariakat, mielőtt a befogadóba eresztik, és ehhez megfelelő módszerek általában rendelkezésre állnak. Nehézséget okozhat, ha a városi szennyvíz ipari szennyvízzel keverten érkezik a szennyvíztisztító telepre. Ilyenkor a városi szennyvíz tisztítása is egyedi megoldásokat igényelhet. Foglalkozik a könyv a szennyvízből tisztítás után fennmaradó szennyvíziszapok kezelésével, ami szintén nem kis feladat.

A mezőgazdaság szennyező hatása az utóbbi években megsokszorozódott. A műtrágya és a növényvédőszeres helytelen kezelése, a mezőgazdasági üzemek elsősorban állati eredetű szennyvizei szintén komplex védelmi módszereket követelnek. A helytelen öntözés hatására a talajvíz megemelkedhetik és a felső talajszerkezet gyökeresen elromolhat, a helytelen mezőgazdasági művelés pedig az eróziót segítheti elő.

A víz minőségét ma már szabályozni szükséges, ezt szolgálják a fizikai, kémiai és biológiai paraméterek határértékei, amelyekeken megfelelő észlelőrendszerekkel kell őrködni. A vízfolyásokba kerülő szennyező anyagok ártalmas vagy ártalmatlan volta döntően függ az elkeveredéstől, az öntisztítóképtől, és ezek megszabják a vízfolyás terhelhetőségét.

Tavakban, tározókban a kérdés még súlyosabb, mert ott a szennyezőanyagok felhalmozódhatnak és az állóvíz egész ökoszisztémáját megváltoztathatják. Az intő példák egész sora mutat ilyen tendenciára.

Az elővizek szabályozása számos környezeti kérdést vet fel, amelyeket a könyv élesen tár fel. A vízfolyások életébe való beavatkozások, mint a folyószabályozás, a vízrendezés, a lecsapolás csak a környezetre gyakorolt hatások tanulmányozása után tervezhető meg.

A környezetvédelem hatékony végrehajtása jól felszerelt észlelő rendszert kíván meg, amely azonnal jelzi az ártalmakat. Ez az alapja a vízminőség előrejelzésének is, amely azonban még sok kutatást igényel.

A vízvédelemnek gazdasági alapjai vannak. A védekezés költsége arányban kell álljon a károsodás mértékével — ha az nem egészségügyi természetű —, ezért vizsgálni kell egyrészt a károsítás gazdasági következményeit, másrészt a védelmi intézkedések anyagi kihatásait.

A könyv nagyon fontos fejezete az, amely rámutat más környezeti ártalmaknak, így a levegőszennyezésnek, a talajszennyezésnek, a szeméttelhelyezésnek a vizekre gyakorolt káros hatásaira.

Vizeinket csak átgondolt és összehangolt műszaki, gazdasági és államigazgatási tevékenységgel menthetjük meg a környezeti ártalmaktól és ezek állandó és folyamatos fejlesztést igényelnek.

A környezetvédelem az anyagi erőforrások mellé természetszerűen jól képzett szakembereket kíván, továbbá a társadalmi tudat olyan alakítását, amely kedvező légkört teremt az átfogó védelmi intézkedésben. Ezért az oktatás és a tudatformálás nagyon fontos feladat.

Az átfogó mű jelentősége abban van, hogy ilyen széleskörűen először fogalmazták meg azt a feladathalmazt, amelyet a vízgazdálkodás területén meg kell oldani, vagy amelyeket a

vizkészetek mennyiségének és minőségének megóvása érdekében más területeken kell megoldani.

Érdeemes idézni a Szerző egyik megállapítását a befejezésből:

„Az emberiségnek azt az elképzelését fel kell adnia, hogy a természetet csak kihasználja, leigazza és megváltoztassa. Ehelyett a természettel együttműködő partnernek kell lennie.”

Ez a megállapítás aktív környezetvédelmünk alapja.

A könyv egyaránt ajánlható mindazoknak, akik a környezetvédelem iránt érdeklődnek és azoknak, akik a vízgazdálkodás területén érdekeltek, mert a kétoldalú megközelítés szerencsés ötvözete révén megtalálják a közös területeket.

Dr. Starosolszky Ödön

Walter H. Duda:

CEMENT DATA BOOK

Bauverlag G. m. b. H., Wiesbaden 1976. 444 oldal, 257 ábra, 110 táblázat

A világ cementtermelése az elmúlt 20 év alatt mintegy 3,5-szeresére nőtt és ez szükség-szerűen a gyártástechnológia gyors, minőségi fejlődésével járt együtt.

Régen érzett hiányt pótol ezért ez a kiadvány, amely a cementgyártás minden rész-folyamatára összegyűjtötte és áttekinthető formában rendelkezésre bocsajtott a nemzetközi irodalomban megtalálható és ipari körökből (cementgyárak, gépgyárak) sokszor igen nehezen beszerezhető adatokat. De nem csak egyszerű adatközlésről van itt szó, szinte tankönyvszerűen lehet a könyvből a cementgyártás technológiájának minden részletét, közte a legkorszerűbb megoldásokat megismerni. Nem túlzás azt mondani, hogy a cementgyárak üzemeltetői és tervezői ezt a példátlan bőségű adattárt nem nélkülözhetik.

De sok hasznos tájékoztatást nyújt a cementgyártáshoz kapcsolódó szakember részére is, így a cementek felhasználói, de még inkább az ásványlökésítés művelői részére.

Különös súlyt helyez a tárgyalásban az energiamegtakarítás lehetőségeinek feltárására. részletesen tárgyalja az újra tért nyerő széntüzeléssel kapcsolatban a szénőrlés témakörét (mindenesetre 7000 kalóriás szénre vonatkoztatva).

Külön értéke a könyvnek a kétnyelvű feldolgozás: a teljes szöveg két oszlopban egymás mellett német és angol nyelvű, még szakszótárnak is ritka értékű.

Érdeemes megemlíteni, hogy más nyugati kiadványoktól eltérően bőségesen idézi a szláv nyelvű (tehát szovjet, lengyel, csehszlovák) forrásokat.

Ha ebben valamit hibáztatni lehet: a szocialista ország eredményeinek ismertetésében nem annyira naprakész, mint a nyugatiaknál. Így pl. hiányzik az NDK-ban kifejlesztett lebegtető hőcserélő leírása, vagy az újabban gyártott malmok adatainak felsorolása (a régiek helyett).

Feltűnik a szélosztályozó rendszerek leírásánál a ciklonos (ún. Wedag) szerkezet bemutatásának hiánya.

Sajnos néhány sajtóhibára talál a figyelmes olvasó, de részére ez félreértésre nem vezet.

A könyv kitűzött célját eléri, megvesztegetően szép kiállítása pedig szinte csábítja az olvasót a részletes tanulmányozásra.

Dr. Beke Béla

G. Franz (Schriftleiter):

BETON-KALENDER 1976:

Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin—München—Düsseldorf 1976. I. rész: 1068 oldal, II. rész: 1054 oldal, tárgymutató

A *Beton-Kalender*, az építészakma immár nélkülözhetetlen zsebkönyve, 1976-ban is a régi tradícióknak megfelelően két kötetben jelent meg. Szerkesztője Dr.-Ing. Gotthard FRANZ, a karlsruhei műegyetem emeritált professzora, aki évtizedeken át kiváló szakértelemmel jelöli ki a zsebkönyvbe felveendő fejezeteket.

Az első kötet főbb fejezetei közül megemlítendő a beton és habarcs tulajdonságait tárgyaló tanulmány (J. BONZEL), az acélszerkezetek anyagi tulajdonságait és gyártmány-kollekcióját ismertető fejezet (W. SCHUHMACHER), a három és négyoldalt felfekvő, valamint több támaszú négyszöglemezek számítására közölt táblázatok (F. CZERNY), az igen részletes

szilárdságtani rész (N. DIMITROV), a rúdszerkezetek elméletét felölő fejezet (Prof. H. DUDDECK), amely e szerkezetek elektronikus statikai számítására vonatkozó ismereteket is magában foglalja. Terjedelmes fejezetek tárgyalják a vasbetonszerkezeti elemek számítását (E. GRASSER), a karcsú szerkezeti elemek méretezését (Prof. K. KORDINA—U. QUAST), valamint a feszített szerkezetek méretezési problémáit (Prof. RÜSCH—Prof. H. KUPFER).

A második kötetben, mely főleg a magasépítésszét kérdéseivel foglalkozik, H. GOFFEN 468 oldalon az NSZK építőgyakorlatában használatos legfontosabb szabályzatokat közli, utalva arra, hogy 1978. jan. 1-től kezdve az új mértékegységek (pl. RN, kN/m, kN/m²) használata lesz kötelező. A kötet további részei a rúdszerkezetek számításával (H. AHRENS—Prof. H. DUDDECK), a faszerkezeteknek építőszerkezeti alkalmazásával (Prof. K. MÖHLER), a mérnöki szerkezetek költségzámításával (A. FINK), a vasbetonszerkezetek vasalásával (Prof. F. LEONHARDT), végül a különféle födém- és tetőszerkezetekkel (C. VOIGT) foglalkoznak. A tárgyalást függeléként az angol vasbetonszabályzat ismertetése zárja be.

Mint a fenti felsorolásból is kiderül, a zsebkönyv a beton- és vasbetonépítésszét valamennyi aktuális témakörére kiterjed. Természetesen, a zsebkönyv jellegéből következik, hogy a szerzők az egyes fejezetekben ismertetett anyagot csak korlátozott terjedelemben tárgyalhatták. Ezt kiegészítendő, az egyes fejezetek igen gazdag irodalmi összeállítást tartalmaznak és az irodalmi hivatkozásokkal együtt bő lehetőséget nyújtanak arra, hogy az olvasó a tanulmányozni óhajtott tárgykörbe bővebb bepillantást szerezhesen.

Igen öröndetes, hogy a könyv évről évre változó fejezetei közt ismét helyet kapott F. LEONHARDT professzornak a vasbetonszerkezetek vasalásával foglalkozó tanulmánya, amely egy olyan témakörre világít rá, amelynek gondos tanulmányozása súlyos építési hibák elkerülésére nyújt lehetőséget.

A *Beton-Kalender*, amely immár 65 év óta híven szolgálja a beton- és vasbetonszakmát, olyan mű, mely évről évre megfiatalodva, a tudomány fejlődésével mindenkor lépést tartva kerül az olvasó kezébe. Ez vonatkozik a *Beton-Kalender* 1976-os évfolyamára is, melynek szerkesztője, a vasbetonszakma kiváló tudósa, G. FRANZ professzor szigorúan őrködött arra, hogy ez a jelen évfolyam esetében is valóban így legyen.

Dr. Csonka Pál

G. O. Müller:

A SZILÁRDTESTFIZIKA KÍSÉRLETI MÓDSZEREINEK JELENLEGI HELYZETE ÉS VÁRHATÓ FEJLŐDÉSE

Akademie-Verlag, Berlin 1975

Ez a mű „A kutatásban alkalmazott technológiákról” című tanulmányosorozat első dolgozataként jelent meg. Ennek a sorozatnak a megjelentetését az NDK Tudományos Akadémiáján működő Állandó Kutatástechnológiai Szakértőbizottság indítványozta. Célja a kutatási technológiával kapcsolatos legújabb saját és nemzetközi felismeréseknek napra kész összefoglalása és széles körű terjesztése.

Szerző a bevezetésben hangsúlyozza, hogy minden hatásos kutatómunka alapja az adott terület kísérleti technikájának pontos ismerete. Közel 70 oldalas munkájában arra törekszik, hogy a fejlődés várható irányzataira is kitérve átfogó képet nyújtson a szilárdtestfizikában használatos főbb metodikákról és ezek megvalósításának műszeripari háttéréről.

A dolgozat hét fejezetre tagolódik: 1. Bevezetés, 2. A kitűzött feladat megjelölése, 3. A szilárdtestfizika kísérleti módszereinek jelenlegi helyzetéről, 4. A műszerezettség jelenlegi helyzetéről, 5. Néhány jelentős metodika, 6. Főbb irányzatok, 7. Várható fejlődés. Ezt a hét fejezetet egy 38 újabb keletű idézetet tartalmazó irodalomjegyzék és az összefoglalás követi.

A 3. fejezetben a szerző négy tézist állít fel a szilárdtestfizika kísérleti módszerivel kapcsolatban, amelyek szerint a szilárdtestfizika igen előrehaladott elmélete mind erősebben befolyásolja a kutatásban alkalmazott metodikát („az elmélethez optimálisan illesztett módszerkoncepciók” kialakulását jósolja meg a szerző). Ezt a befolyásolást azonban csak a műszeripar igen magas színvonala teszi lehetővé. Továbbá az egymást kiegészítő kísérleti módszerek alkalmazásával egyre megbízhatóbbakká és egyértelműbbekké válnak a kísérleti eredmények. A kutatás határossága sokkal erősebb mértékben nőtt, mint a műszerek ára. („A kutatás csak látszólag lett drágább” — G. O. MÜLLER.) A fejezet hátralevő részében ezen tézisek helytállóságát kívánja néhány metodika, mint pl. az elektron-energia veszteséganalízise példáján igazolni.

A 4. fejezet a mai műszerkínálatot tárgyalja a teljesség igénye nélkül. Így pl. az ún. „nagyműszerek”-et szándékosan nem említi. Az egyes műszerek leírásakor röviden kitér a legújabb és várható fejlesztésekre. Érdekes adatokat találunk néhány műszerjellemzőre, mint pl. az elérhető mérési pontosság, időállandó, jel/zaj viszony, kvantumhatások stb. A szerző ebben a rövid leírásban természetesen nem vállalkozhatott arra, hogy részletesebben szóljon az egyes műszerek működési elvéről vagy alkalmazási területeiről, vagy akár hozzáférhetőségéről. Több irodalmi adat megadásával azonban az olvasó számára sokkal több hasznos információt tartalmazna ez a fejezet.

A műszereket az áttekinthetőség érdekében felhasználási területeik szerint tárgyalja. Az elektronikus és optikai műszerek közül többek között a fázisérzékeny erősítőket, boxcar-integrátorokat, analóg-digitál-konvertereket, fényforrásokat (csak laser), optikai képátalakítókat, az optikai többszatornás technikákat stb. méltatja egy-egy bekezdés erejéig. Az alacsony hőmérsékletek technikáját igen röviden érinti. Az átalakítók közül a fotodetektorokra és az akusztikus transducerekre tér ki.

Az 5. fejezetben a szilárdtestfizika egyes válogatott metodikái kapnak helyet: a moduláción és szóráson alapuló metodikák, továbbá az időbontó és a scanning módszerek. A módszerek előnyeit az irodalomból idézett eredményekkel támasztja alá.

A 6. és 7. fejezetben a szerző a következő irányzatokra hívja fel a figyelmet: Egyre inkább a feladathoz illesztett mérési módszerek kerülnek előtérbe. Az elmélet és a kísérlet kölcsönhatásában az elmélet fogja a döntő szerepet játszani. A „nemlineáris” paraméterek meghatározása előtérbe fog kerülni. Ezzel párhuzamosan azonban az ún. „Scaling-elmélet”-ek továbbfejlesztése is várható. Számítani lehet továbbá egyes módszerek tökéletesítésére, az elektronikus adatgyűjtésnek, valamint a mérések automatizálásának elterjedésére. Ez a hasznos mérési időt meghosszabbítja és a kísérleti eredmények megbízhatóságának a növeléséhez vezet. A szerző javasolja, hogy az egyetemi kísérleti fizikai előadások szenteljének több figyelmet a kísérleti módszerek terén elért újabb eredmények ismertetésének.

Összefoglalva elmondhatjuk, hogy az ismertetett mű a címek megfelelően átfogó képet nyújt és a szerző nagyfokú tájékozottságáról tanúskodik. Természettudományos közleményekben általában nem tapasztalható túlzottan igényes stílusa azonban megnehezíti a szakmailag amúgy is igényes szöveg olvashatóságát és megértését. A 70 oldalra sűrített nagy anyagot inkább röviden érintve mintsem tárgyalva közli, ezért inkább csak olyan szakemberek figyelmébe ajánlható, akik a jó összefoglalást és a jövőben várható fejlődésre vonatkozó érdekes gondolatokat az anyag kellő ismeretében hasznosítani tudják.

Barta Erzsébet

S. S. Penner—L. Icerman:

ENERGY

Addison-Wesley Publishing Co. 1974, 372 oldal

A szénhidrogén alapanyagú energiahordozók árnövekedése, valamint a világgazdaságban előállott változások következtében az energetika ágazat népgazdasági szerepe néhány év óta jelentős mértékben megnövekedett. Az Addison-Wesley Publishing Co. kiadványában a Kalifornia Egyetem Energetikai Központja (San Diego, La Volla) részéről a szerzők három kötetet tartalmazó energetikai kérdésekkel foglalkozó értékes összeállítást készítenek, felhasználva a témakörben 1968–1974 között az USA-ban megjelent számos közlemény adatait. A szóban forgó 1. kötet az energiaigények, források, technológia és környezeti hatások általános kérdéseit tárgyalja. A nem nukleáris technológiával az 1975-ben megjelent 2. kötet, a nukleáris technológiával és az energiapolitikával a kiadásra 1976-ban előirányzott 3. kötet fog foglalkozni.

Az 1. kötet az USA adatokon és előirányzatokon kívül foglalkozik a többi földrész és egyes kiemelt országok energiahelyzetével és fejlesztési elképzeléseivel. Az előirányzatok a közeltávlati 1985. évre és több esetben hosszú távlatra kb. 2000-ig készültek. Az energia forrásokat a könyv teljes keretmetszetben tárgyalja, többek között megemlítve a geotermikus és szél-energiafelhasználási forrásokat is. Az energiafogyasztók között kiemelten szerepel az egyes iparágak fogyasztása mellett a szállítás, ill. közlekedés 22–23%-ot kitevő energiafogyasztása. Az energiafogyasztási adatok azonban csak az USA-ra vonatkozó 1968. ill. 1970. évi tényértékeket és 1985. évi előirányzatot tartalmaznak. A kiadvány a vízi, szárazföldi és légi szállítás energiaköltség összefüggéseit is bemutatja. Több ország adatait ismertetve foglalkozik az energiahasznosítás gazdasági értékelésével, többek között a nemzeti jövedelem

és a villamos energiafogyasztás közötti kapcsolattal, azonban részletesebben tárgyalja az USA-ra vonatkozó összefüggéseket. A primer energiaköltség emelkedésének hatását egyes USA-beli példákon keresztül mutatja be, foglalkozva a villamos energia önköltségre való kihatással. Két (5. és 6.) fejezetben foglalkozik az energiafelhasználás hatásfokának javításával, az energiaveszteségek csökkentésével, pl. épületek fűtése vonatkozásában a hőszigetelés fokozásának, valamint a környezetvédelmi szempontokkal. Ez a kötet az utolsó 8. fejezetében tartalmaz egye energiapolitikai kérdéseket is, amelyek kapcsolódnak a 7. fejezetben tárgyalt-a szénfeltárással kapcsolatos problémákhoz.

A megjelent munka értékes tájékoztatásul szolgál az energetikával foglalkozó szakemberek részére; az energetikának a gazdasági élettel való szoros kapcsolata révén általános érdeklődésre tart számot.

Dr. Szendy Károly

Herbert Rüsch Dieter Jungwirth:

STAHLBETON—SPANNBETON, BAND 2

Werner Verlag GmbH Düsseldorf, 1976. 247 oldal, 157 ábra

A kétkötetes mű első kötete 1972-ben jelent meg Rüsch professzor tollából. Az első kötet a vasbetont és feszített betont alkotó anyagok tulajdonságaival és a méretezési eljárásokkal foglalkozott. E kötetet a határállapotokon alapuló méretezési eljárást bevezető új DIN 1045-ben és a CEB-FIP Ajánlásban szereplő elvek és eljárások elvi megalapozása és a gyakorlat számára szükséges kifejtése tették indokolttá.

Míg az első kötethez hasonló, a vasbeton és feszített beton problémáival foglalkozó általános jellegű mű a nemzetközi irodalomban majd minden nyelven ismeretes, addig a jelen második kötet a maga nemében sokkal eredetibb. Szerzők e kötetben ugyanis a legújabb nemzetközi és saját kutatási eredmények alapján azokkal a speciális problémákkal foglalkoznak, amelyek a beton kúszásának és zsugorodásának, valamint az acél (feszítőhuzal) relaxációjának hatását vizsgálják a szerkezetek teherbíró képességére, a gyakorlati szerkezettervezés szempontjából.

A kötet négy részre oszlik. Az első bevezető jellegű rövid részben szerzők azokat az eseteket írják le, ahol a kúszás és zsugorodás hatását figyelembe kell venni.

A második kissé bővebb rész először a beton kúszásának és zsugorodásának kutatásában elért eredményeket ismerteti, majd foglalkozik a DIN és a CEB-FIP ajánlások vonatkozó részeivel. Ezután a beton különböző alakváltozási modulusainak meghatározási módszereit írja le, végül röviden foglalkozik a feszítő acélhuzal relaxációjával.

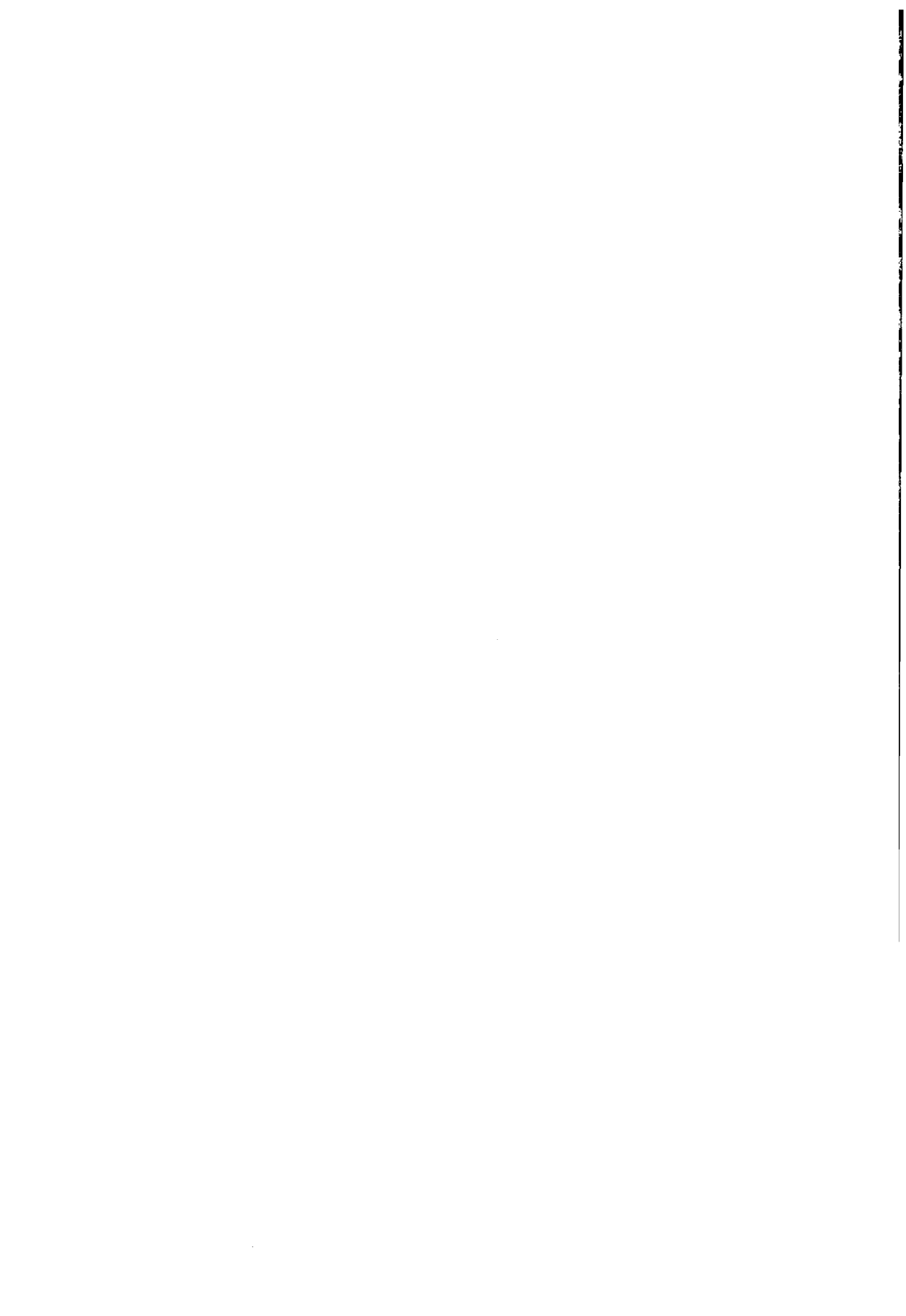
A harmadik részben a kúszás és zsugorodás hatásának figyelembevételére vonatkozó, a tervezői gyakorlatban alkalmazható számítási eljárásokat ismertetik a szerzők. Természetesen ez a rész terjedelménél fogva sem tartalmazhatja az összes eljárás részletes leírását, tehát elsősorban azok az eljárások kerültek e részbe, amelyek már részben ismeretesek a szerzők országának szakmai gyakorlatában (pl. DISCHINGER, TROST módszerei).

A kötet negyedik és egyben legfontosabb része, amely a terjedelem több mint felét teszi ki, a gyakorlati tervezési problémák megoldását, konkrét tartószerkezeti alkalmazását mutatja be. E rész első felében, valamint a példákkal párhuzamosan komoly mennyiségű számítási segédanyagot találunk táblázatok, grafikonok, képletek formájában. A továbbiakban az egyszerű statikailag határozott rudaktól kezdve a bonyolult statikailag határozatlan tartóknak különböző példák megoldását találjuk. Ki kell emelni a rugalmas alátámasztású tartókkal foglalkozó példákat és a kényszererők időbeni változásával foglalkozó gazdag diagramanyagot.

A kötet metodikailag magasra értékelhető, könnyen forgatható és érthető olyan mű, amely a magas tudományos színvonal ellenére nem téveszti szem elől az elméleti eredmények közvetlen gyakorlati felhasználhatóságát.

Dr. Lenkei Péter





A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója.

Műszaki szerkesztő: Agócs András

A kézirat nyomdába érkezett: 1976. VIII. 23. — Terjedelem: 22,05 (A/5) ív

77.3491 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

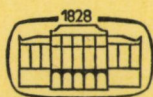
MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

52. KÖTET

3-4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1976

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.

ZORKÓCZY BÉLA

1898 — 1975

ZORKÓCZY Béla, a műszaki tudományok doktora 1950—1969 között volt a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének aktív professzora, 1950—1968 között a tanszék vezetője. Halála nagy vesztesége az egyetemnek, tágabb értelemben az egész magyar gépészeti tudományoknak és a magyar gépiparnak. Tudományos munkásságának híre túljutott Magyarország határain is.

ZORKÓCZY Béla 1898. március 27-én született Mosonmagyaróvár városában. Ugyanott érettségizett 1916-ban, és azonnal bevonult katonának. Részt kellett vennie az első világháborúban, a háború végén olasz hadifogságba esett. 1919-ben tért haza és beiratkozott a (mai nevén) Budapesti Műszaki Egyetemre. 1924-ben szerzett gépészmérnöki oklevelet. 1924—1934 között ugyanannak az egyetemnek Mechanikai Technológiai Tanszékén előbb tanársegéd, majd adjunktus.

1934—1944 között a budapesti Hubert és Sigmund Acél- és Fémárugyárnak gyárfőnöke, műszaki igazgatója, majd vezérigazgatója. Budapest felszabadulása után, 1945 kora tavaszán először a Csonka Gyárban szervezte meg a Vörös Hadsereg utánpótlása számára a könnyűfém dugattyúk gyártását, és e munkásságával párhuzamosan, átmenetileg megbízott helyettes tanárként a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékét vezette.

1945 nyaratól 1950-ig elvállalta a Magyar Gyufaipar Rt. műszaki igazgatói teendőit.

1950 januárjában meghívták az új miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Mechanikai Technológiai Tanszékének megszervezésére és a tanszék tantárgyainak (Metallográfia, Szerkezeti anyagok technológiája, Hőkezelés, Hegesztés) előadására. 1950. szeptember 15-én nevezték ki nyilvános rendes egyetemi tanárrá. Ezt az állását 1969-ben történt nyugalomba vonulásáig töltötte be.

Közben 1950. április 1-én kinevezték a budapesti Vasipari Kutató Intézet Hegesztési Osztályának vezetőjévé. 1962-ig mindkét állását, utána csak a professzorit látta el.

A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen 1960-tól megszervezte a Nehézgépészeti Akadémiai Munkaközösséget, amely több tanszék komplex

kutatási feladatait — az ő irányításával és a Magyar Tudományos Akadémia támogatásával — 1970-ig végezte.

A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Gépészmérnöki Karán 1961-ben megszervezte a hegesztő szakmérnöki szakot, amelyen okl. gépészmérnökök levelező oktatási formában képezhetik magukat tovább négy féléven át és szerezhethetnek második oklevelet.

E feladatokon túlmenően számos tudományos társadalmi megbízásnak is eleget tett. Éveken át elnöke a Gépipari Tudományos Egyesület Hegesztő Szakosztályának, kb. öt évig ugyancsak elnöke a Tudományos Minősítő Bizottság Gépészeti-Kohászati Szakbizottságának, 1951-től tagja a Magyar Tudományos Akadémiai gépészeti bizottságainak.

1963-tól az International Institut of Welding Nemzeti Bizottságának elnöke, és e nemzetközi szervezet igazgató tanácsának is tagja.

Sok hazai és külföldi tudományos előadása közül az 1965-ben Párizsban tartott „The Stress Corrosion of Welded Steelplate Stacks of Open Hearth Furnaces” című előadását kell kiemelni.

Jól beszélt angolul, németül, olaszul, fordított franciából és oroszról.

Mint egyetemi oktató és kutató, elsősorban a hegesztéssel foglalkozott és ezen a téren ért el nemzetközileg is elismert eredményeket. Rövid időn belül e tudományterületen iskolát teremtett Magyarországon. Kiváló hőkezelő és hegesztő szakemberek nőttek fel mellette, akiket ő tanított meg alkotói és tudományos munkájuk szeretetére.

Szakirodalmi munkássága 1930-tól kezdődött és szinte halála pillanatáig tartott. Már az első tanulmánya a hegesztés technológiájáról és korszerű alkalmazásáról szólt. Ezt azután csaknem 80 tanulmány, könyv vagy könyvrészlet, egyetemi vagy mérnöktovábbképző jegyzet követte.

Tudományos eredményeit 1952-ben a műszaki tudományok kandidátusa tudományos fokozattal ismerték el. A miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem 1960-ban a Dr.-techn. tudományos címet adományozta neki, majd az egyetem fennállásának 25 éves jubileumakor a honoris causa doktori címmel tüntette ki.

Oktató-nevelő, kutató-tudományos munkájának kiemelkedő eredményeit több kormány-, miniszteri és tudományos egyesületi kitüntetés ismerte el. Közülük a legmagasabb az 1956-ban kapott Kossuth-díj.

1975. október végén megbetegedett és 1975. november 18-án váratlanul elhunyt.

A Tudományos Minősítő Bizottság 1976 tavaszán, az előző évben benyújtott tudományos tézisei alapján, posztumusz, a műszaki tudományok doktorává nyilvánította.

Terplán Zénó

NÉMETH ENDRE

1891 — 1976

NÉMETH Endre nyugalmazott egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora, hosszú és súlyos betegség után, életének 85. évében eltávozott körünkből. Kimagasló eredményekben gazdag volt élete. Kiváló mérnök, oktató és kutató volt egy személyben. Halála súlyos vesztesége nemcsak a magyar, hanem az európai vízépítészetnek is.

NÉMETH Endre 1913-ban szerezte meg mérnöki oklevelét Budapesten. Ezt követően a Beszterce-völgyi Iparvasút Építő Vállalat, 1918-tól a Rimamurány—Salgótarján Vasmű mérnöke, 1922-től az FM Halászati Osztály főmérnöke, 1932-től a Budapesti Kultúrmérnöki Hivatal, 1937-től az Országos Öntözésügyi Hivatal munkatársa, majd 1941-től a Budapesti Műszaki Egyetem Vízépítéstan I. Tanszékének vezetője, 1961-ben bekövetkezett nyugdíjazásig. Tudományos munkáját nyugdíjazása után is folytatta mint a VITUKI tudományos tanácsadója.

NÉMETH Endre több mint öt évtizedes munkássága során — többek közt — élharcosa volt a magyar Alföld öntözése megszervezésének, az öntözéses mezőgazdaság elterjesztésének. Tíz év folyamán mintegy 25 tógazdaság tervét készítette el és működött közre azok megépítésében. LAMPL Hugóval és TRUMMER Árpáddal közösen 1936-ban elkészítette az Alföld öntözési kerettervét, majd irányítóan dolgozott a tiszafüredi öntözőrendszer tervezésében, a mintegy 20 000 kat. holdas öntözőhálózat, több mint 100 műtárgy megépítésében. Tervezője volt a Mátravidéki Erőmű vízellátási rendszereinek is.

Gyakorlati munkáját a legmagasabb elméleti szinten végezte. Nagy nyelvismeretét felhasználva, megismerte a külföldi kutatások eredményeit, azokat — elsősorban az öntözés területén — nemcsak hasznosította, hanem saját munkájával továbbfejlesztette.

Ilyen előzmények után nevezték ki 1941-ben egyetemi tanárrá és vette át az I. sz. Vízépítéstan Tanszék vezetését. 22 éven át végezte oktató-nevelő munkáját, amit szívügyének tekintett. A vízépítőmérnöki szaktudomány számos területét művelte: *Hidrológia* és *Hidrometria* című tankönyve úttörő jelentőségű ezen az alaptárgyi területen, amelyet igen fejlett matematikai alapok felhasználásával, a tőle megszokott szabatossággal írt meg. *Hidro-*

mechanika c. könyvében a hidraulikának érdeklődése középpontjában álló, legfontosabb elméleti kérdéseit tárgyalja.

Munkássága a tanszék minden téma területére kiterjedt. Magas színvonalú, nagy óraszámú előadásában a legkorszerűbb módon foglalkozott a mezőgazdasági vízhasznosítás, a vízellátás, a csatornázás mérnöki ismereteivel. Hallgatóival lelkiismeretesen, nagy szeretettel foglalkozott.

Nevéhez fűződik az egyetem vízépítési laboratóriumok kifejlesztése, amelyek a korszerű kísérleti kutatómunka nélkülözhetetlen létesítményeivé váltak. Személyesen irányított számos átfogó jelentőségű laboratóriumi kísérletet, mint pl. a tiszalöki duzzasztómű alapozás-hidraulikai problémáinak vizsgálatát.

A BME Építőmérnöki Kara több alkalommal 1946, 1947-ben, majd 1950-ben és 1951-ben választotta dékánná. Mint egyetemi vezető igen jól hasznosította évtizedes államigazgatási gyakorlatát, s tevékenyen vett részt az Építőmérnöki Kar felszabadulás utáni újjászervezésében, az első oktatási reformok megvalósításában, a vízimérnökképzés korszerűsítésében. E munkássága során mindig tiszteletben tartotta a hagyományokat, de örömmel, lelkesen fordult az új, a korszerű felé, s egy-egy reformtörekvést magáévá téve, annak élharcosává vált.

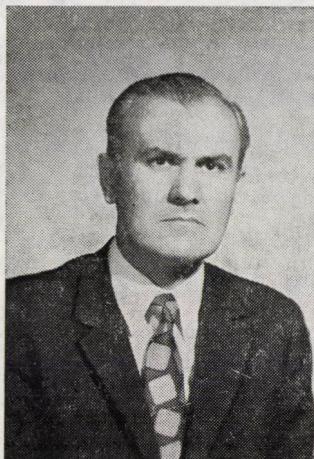
Mint szakterületének kiváló tudósa, aktívan részt vett az MTA Vízgazdálkodási, Vízépítési és Hidrológiai Bizottságának vezetésében, — hosszú ideig annak alelnöke volt; és fáradhatatlanul dolgozott a Magyar Hidrológiai Társaságban.

Munkája elismerésül két alkalommal kapta meg a Munka Érdemrend arany fokozatát, a BME majd 1966-ban díszdoktorrá avatta. De ugyanezzel a legmagasabb elismeréssel tüntette ki őt a Grenoble-i és Padovai Egyetem is, míg a Toulouse-i Tudományos Akadémiai levelező tagjává fogadta. Több kitüntető érmet kapott a Hidrológiai Társaságtól. Kiemelkedő munkájáért legutóbb a tudományos tevékenység egyik legmagasabb kitüntetésével, az Eötvös Loránd és a Vásárhelyi-díj arany fokozatával tüntették ki.

Hosszú tanári működése alatt mérnökök százait, ezreit bocsátotta útjára a legkorszerűbb tananyag átadása után. Tanítványai munkahelyükön az elmúlt évtizedek során felkészültségükkel, mérnöki munkájukkal igazolták Dr. NÉMETH Endre oktató munkájának eredményességét.

E sorok írója, mint ahogy Ő nevezte „az öregek közül a legfiatalabb, a fiatalok közül a legidősebb”, bár nem voltam már tanítványa az egyetemen, mégis nagyon sokat tanultam tőle. Sok közös kutatási, oktatási munkánk felbecsülhetetlen segítséget jelentett számomra is. „Bandi bácsi” zseniális volt és kimagaslott a vizes mérnökök népes táborából. Legtehetségesebb vizes mérnökünk most elhagyta ezt a táborát, de megmaradt szellemi öröksége. Távozása mélységes szomorúsággal s fájdalommal tölt el mindannyiunkat. Emlékét tisztelettel, hálával és kegyelettel őrizzük. Bogárdi János

CZIBERE TIBOR



Nagyon értékes szokás, hogy az MTA újonnan választott tagjait, a speciális szakterületektől távolabb állók részére is, tudományos életsorsuk és munkájuk alapján bemutassuk.

CZIBERE Tibor kollégám esetén nem tudok attól a gondolattól szabadulni, hogy ez a vázlatos kép egyben az elmúlt 25 év egyetemi és tudományos realitásainak metszete.

CZIBERE Tibor (keszthelyi gimnáziumi érettségije után közvetlen) 1949-ben az első kiképzési évfolyamát kezdő, új alapítású Miskolci Műszaki Egyetem Gépészkarára nyert felvételt.

Új felsőoktatási intézmény legelső évfolyamán — tapasztalatai szerint — mindig az átlag feletti számban akadnak kiváló hallgatók. Czibere is ezek közé tartozott. Új alapítású, tehát szükségszerűen nagyon heterogén és instabil tanszéki együttessel kezdtem a munkát, s már az első évben feltűnt nekem (többekkel együtt) CZIBERE Tibor, mint a kialakítandó stabilizáció egyik jövőbeli ígérete. Nem kis nehézségek legyőzésével sikerült elérnem, hogy az első szigorlata után a Matematika Tanszék demonstrátora, majd diplomával tanársegédje legyen. Oktatói tehetsége (ami egyben emberi magatartást is reprezentál) és a már korán megnyilvánuló kitűnő tudományos érzéke és szorgalma, a felépítésnek ebben a fázisában korántsem nyert oszthatatlan méltánylást.

Már demonstrátor korában bekapcsolódott az akkor eléggé lényeges nemlineáris hővezetés problémáinak vizsgálatába és szisztematikusan foglalkozott (a lehetőségek szerint még kísérletileg is) azokkal a kérdésekkel, amelyeknél a nagy hőmérséklet-különbségek miatt az anyag termikus jellemzői empirikus függvények. Munkája folyamán sikerült egy elméletileg igen ötletes új megoldási eljárást kidolgoznia, amelyet nemcsak az ún. hőkezelés egyes eseteiben

lehetett rögtön alkalmazni, de továbbfejlesztésében több irányúan is ígéretesnek látszott. (Később, a tanszék akadémiai céltámogatásának megszüntetése, véget vetett ennek a tanszéki „hővezetési munkaközösségnek”). CZIBERE Tibor — eredményei ellenére — szervezett aspirantúrára nem fogadták el, de az akkor nem volt egyedi eset. Viszont e hővezetési probléma képezte mégis a későbbi egyetemi doktori értekezésének témáját, amelyet 1961-ben védett meg.

Engem 1955-ben áthelyeztek Budapestre, de CZIBERE Tibor áthelyezését az új tanszékemre nem tudtam elérni. 1956-ban megvált a Miskolci Egyetemről és a Ganz-Mávag-ban helyezkedett el.

Ez az akkor nem épp kellemesnek látszó tény volt CZIBERE Tibor nagy szerencséje, mert a Ganz-Mávag technikai környezetébe kellett, előzetesen már némileg csiszolt teoretikus szemléletével, aktívan beleilleszkednie.

Egy ún. matematikus-mérnöknek (mint amilyen primer szellemi adottságainál fogva CZIBERE Tibor) nélkülözhetetlen a prakszisnak a tényleges prakszison át történő megismerése. (Ez a kérdés a kutató- vagy ha úgy tetszik: matematikus-mérnökök rendszeres „gyakorlati kinevelésének” mindig is aktuális és nehéz problémája.)

CZIBERE Tibornak, a Ganz-Mávagban kutató mérnöki beosztásban, vízgépek lapátprofiljain kialakuló áramlások elméleti vizsgálatával, a lehetőleg optimális lapátprofilok számítással történő meghatározásával kellett foglalkoznia. Ez a téma — mivel előzőleg már az akkori Alkalmazott Matematikai Intézetet is megkeresték — különösen fontos volt a nagy tradíciójú gyár (KÁRMÁN Tódor útja is innen indult ki!) vízgépi verseny-, ill. exportképességének növelése céljából. CZIBERE Tibor új főnöke TRENKA Ernő akkori főosztályvezető kolléga nemcsak a gyakorlati, hanem a kutatási nehézségeket is értékelő ember türelmével, valamint a tanulási és kutatási lehetőségek tudományos szabadságának biztosításával kezelte új munkatársát. Ez a magatartás abban az időben, felelős vezető részéről, szinguláris tudományos és emberi felelősségvállalásként fokozottan volt értékelhető.

CZIBERE Tibor ennek a valóban ösztönző tudományos érték- és felelősségrendszernek teljes mértékben megfelelt. Egy nagyon invenciózus alapötletét hosszas és kitartó munkával realizálta: megoldva a hidromechanikai szingularitások alapján történő elméleti és gyakorlati iterációs eljárásával az inkompresszibilis közeggel működő turbinák erősen ívelt (síkbeli) lapátprofiljainak modern tervezését. A profiláramlások szingularitások elméletét, amely addig csupán a nagyon kis íveltség esetére vonatkozott, evvel kiterjesztette az erősen íveltség esetére is (aminek megoldását már jó 30 éve keresték), és ezzel az elméletet lezárta, a függvénytanban a valóságnak megfelelően teljessé tette.

Ahhoz, hogy CZIBERE Tibor elmélete külföldön nem maradt jeltelenül, nagyban hozzájárult, hogy az alapozó munkáját (korántsem a tudományos, hanem) az ipari főhatóságaink támogatásával a Stresa-ban tartott X. Nemzet-

közi Alkalmazott Mechanikai Kongresszuson 1960-ban bemutathatta. Itt elmélete nemcsak a konferencia egyik tiszteletbeli elnökének, KÁRMÁN Tódonak elismerését vívta ki („furcsa jelenség, hogy egy oly kis nemzetnek, mint a magyar, mindig van egy irányt mutató hidromechanikusa”), de a tudományos szervezésben is működő, a Charlottenburgi Műegyetem (ma már emeritált) ordináriusának SZABÓ István professzornak aktív érdeklődését is kiváltotta. (Grundlehren der mathematischen Wissenschaften, VDI Kolloquium TU-Charlottenburg stb.) Ezzel az itthon még alig ismert CZIBERE Tibor, megérdemelten, a szakma nemzetközi élvonalába került.

Ily módon aztán itthon is 1962-ben a Kossuth-díj III. fokozatával és 1963-ban a kandidátusi fokozattal méltányolták munkáját és eredményeit, amelyeket a következő évek során lényegesen továbbfejlesztett. Így pl. az inkompresszibilis közegre kidolgozott eljárásának érvényességi (és gyakorlati számítási) körét kiterjesztette a féluxiális átömlésű áramlástechnikai gépek járó- és vezetőkerekeinek térbeli lapátozására. Továbbá: egy iterációs proceszszus segítségével kompresszibilis közegekre is alkalmassá tett módszerét.

Távolabb állóknak mindez nem mond sokat, de a teljesítmény érzékelhető azáltal, hogy a lényeges nemzetközi kongresszusokon meghívásra újból és újból beszámol munkáiról, amelynek sok irányt mutató részletezése a szakemberek, tekintélyes orgánumban, számos hivatkozással utalnak, sőt, hogy külföldön ezeknek az eredményeknek összességét nem egy esetben az áramlástan gépek lapátozási tervezésének „magyar iskolájaként” emlegetik.

Ez az átfogó és most már teljesen általános tudományos és műszaki eljárás és annak potenciáleméleti (komplex függvényteni) megalapozása volt akadémiai doktori értekezésének tárgya: „A hidrodinamikai rácselmélet két főfeladatának potenciáleméleti megoldása” címen. Ez alapon a műszaki tudományok doktori fokozatát 1967-ben szerezte meg.

1963-tól másodállásban, majd 1966-tól főállásban a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem „Áramlás- és hőtechnikai gépek” tanszékének vezetője és közben 1968-tól 1974-ig a Gépészmérnöki Kar dékánja is volt. Tanácsadóként azonban továbbra is közreműködik a Ganz-Mávag vízgépkutatási és fejlesztési feladatainak megoldásában, hiszen a gyakorlatban érvényesülő elméleti szakértelem egyúttal népgazdasági haszon. Ezt a Czibere-elméleti lapátozású Ganz-Mávag vízturbinák nemzetközileg versenyképessé fejlesztése — Indiától Argentínáig terjedő exporttal — igazolja.

A munka és nyereség megmondott felmérése lényeges — de ezek megítélése sokszor, sajnos, nagyon is formálissá válnak: akár gazdasági mutatókról, akár a kiképzettek számadatairól vagy magát a kiképzés minőségét jelző számadatokról, akár az ún. tudományos vagy egyéb közületi tevékenységről legyen szó. Ezért CZIBERE Tibor ténykedéseinek accesszorikus számadatait nem is részletezem. Sokkal lényegesebbnek tartom egyéniségével meghatározott munkája tartalmi hatásvonalainak kiemelését.

Konstruktív tudományos embernek tartom azt, aki az emberi magatartásokat és a tudományok szövevényeit a környezeti befolyások (társadalmi peremfeltételek) ellenére a valóság és a tudomány szervesen nőtt axiómáin át klasszifikálni és (megfelelő feltételek között) alkalmazni tudja.

Konstruktív ember pályájának ritka fordulata, hogy pályakezdésének a „szellemi befogadással” determinált kiinduló helyére térhet vissza aktív cselekvőként, hogy ott az újonnan jövő fiataloknak, megélt és feldolgozott tapasztalataival, most már ő határozza meg emberi, munkás és tudományos jövőjük lehetőségeit.

CZIBERE Tibor — nemcsak a szaktudományában —, de ily szempontokból is szerencsésnek mondható ember, akár az egyetemen belül kifejtendő sokirányú pozitív hatásának, akár a tudományos iskolájának kiterjesztési lehetőségeit tekintjük. Ez utóbbi pl. lényeges hatásává válhatott a nálunk elvileg és gyakorlatilag egyaránt nagyon is ingatag alapozású műszaki alkalmazott matematikai gépészetre irányuló szükséges kifejlesztésében. Ehhez Miskolc az alkalmazott mechanikai és az áramlástan tanszéki centrumainak eddigi munkássága révén, a szükséges technikai szemlélet érvényesítésével, nagyban hozzájárulhat.

Borbély Samu

Czibere Tibor fontosabb tudományos közleményei

1. Hengerszimmetrikus nemlineáris hővezetési folyamat közelítő vizsgálata az első peremfeltétel alapján. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.*, 24 (1959)
2. Nemlineáris hővezetési folyamat meghatározása eléggé hosszú körkeresztmetszetű rúdban a harmadik peremfeltétel alapján. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 24 (1959)
3. Berechnungsverfahren zum Entwurf gerader Flügelgitter mit stark gewölbten Pforilschaufeln I, II. *Acta Techn. Hung.* 28 (1960)
4. A nemlineáris hővezetésprobléma vizsgálata potenciáleméleti alapon. Egyetemi doktori értekezés (Miskolc 1961)
5. Iterationsverfahren zur Profilbestimmung von geraden und radialen Schaufelgittern mit Hilfe beliebiger Trägerkuven der hydrodynamischen Singularitäten. Előadás a X. Alkalmazott Mechanikai Kongresszuson, Stresa 1960. IX. 2. *Periodica Polytechnica M V/1* (1961) (E dolgozatnak teljes szövegét közlésre átvette az *Apparechiature idrauliche e pneumatiche* c. olasz folyóirat 1962)
6. Berechnungsverfahren zum Entwurf radialer Schaufelgitter *Acta Techn. Hung.* 38 (1962)
7. Über nichtlineare Wärmeleitung in einem unendlich langen Kreiszyylinder und einer Kugel *NME Idégenyelvű Közleményei* 22 (1962)
8. Méretezési eljárás erősen ívelt profilos lapátokból álló egyenes szárnyrács tervezéséhez. Kandidátusi értekezés (Budapest, 1963)
9. Über die Berechnung der Schaufelprofile von Strömungsmaschinen mit halbaxialer Durchströmung. *Acta Techn. Hung.* 44 (1963)
10. Über die Berechnung der Schaufelprofile und der Strömung um die Schaufeln von Strömungsmaschinen. *Ing. Arch.* 33 (1964)
11. Áramlástechnikai gépek lapátozásának közelítő számítása II. *Budapesti Nemzetközi Vízgépkonferencia* (1966)
12. Metoda hydrodynamicznych punktów osobliwych w zastosowaniu do projektowania wirników pomp wirowych (Dr. Gruber Józseffel közösen) LAZARKIEWICZ, S.—TROSKOŁANSKI, A. T.: Nowoczesne kierunki w konstrukcji pomp wirowych c. könyv II. fejezete (Warszawa 1966)
13. A hidrodinamikai rácselmélet két fő feladatának potenciáleméleti megoldása. Akadémiai doktori értekezés (Budapest, 1967)

14. Erfahrungen über die Anwendung zweidimensionaler Berechnungsmethoden bei der Auslegung von Radial- und Halbaxialgittern im Pumpenbau. *Pumpen und Verdichter* (Berichtsheft über das Internationale Symposium "Pumpen in der Industrie" am 8–9. März 1967. Leipzig)
15. Näherungsverfahren zum Entwurf der doppelt gekrümmten Schaufeln von Strömungsmaschinen *Simposio Internazionale sulla Fluidodinamica* (Milano, 1967) (E dolgozat kibővített változatát közlésre átvette az *Ólhydraulik und Pneumatik* c. nyugatnémet folyóirat (1968), 12. száma)
16. Über die Berechnung der ebenen Unterschallströmung von kompressiblen Medien *Acta Techn. Hung.* **79** (1974)
17. Über die Anwendung des Singularitätenverfahrens auf die kompressible Strömung um die Schaufeln von Turbomaschinen *Hydro Turbo 74 Celostatni Konferencija o Proudni ve Vodnich Strojich* (Luhacovice, 1974)
18. Félaxiális átömlésű áramlástechnikai gépek járókerekeinek számítása I. *Budapesti Nemzetközi Vízgépkonferencia* (1962)
19. Iterációs számítási eljárás az egyenes és radiális lapátrácsok lapátprofiljainak meghatározására, *Gép* **16** (1964)
20. Áramlástechnikai gépek lapátozásának közelítő számítása *GANZ-MÁVAG Közlemények* **42** (1969)
21. Nemzetközi tudományos helyzetkép az áramlástechnikai gépekkel kapcsolatos kutatásokról. *Műszaki Tudomány* **42** (1970) (társszerzőkkel)



SIMON SÁNDOR



Akadémiánknak mind ez ideig egyetlen metallurgus kohász tagja, KERPELY Antal, 1907-ben meghalt. Halálával a metallurgia, a kohászat tudományterületének ez az alapvetően fontos része, hosszú időre gazdátlanná vált. Öt évtizeden keresztül hazánkban nem volt számba vehető művelője. Ez azért volt sajnálatos, mert a metallurgia a közben eltelt idő alatt a gyakorlati megfigyelésekből leszűrt, lényegében leíró jellegű ismerethalmazból fizikai és kémiai alapokon nyugvó tudománnyá fejlődött. A több évtizedes elmaradás jóvátétele, a korszerű színvonalhoz való felzárkózás a metallurgia művelésében csak úgy sikerülhetett, ha segítő kéz nyúl felénk olyan országból, ahol ezt a tudományt korszerű színvonalon művelik. Ezt a segítő kezet a Szovjetunió nyújtotta felénk, amikor 1950-ben késznek nyilatkozott aspiránsok fogadására. Az aspiránsok első csoportjainak egyikével ment ösztöndíjas aspiránsként Moszkvába SIMON Sándor, hogy acélmetallurgiai témájú értekezését elkészítse.

SIMON Sándor munkásszülők gyermekeként Szikszón született 1923-ban. Elemi és középiskolai tanulmányai befejeztével, 1944-ben a mai Lenin Kohászati Művek szolgálatába szegődött és ott mintakészítőként az acélöntődében, majd az acélműben és a vasöntődében dolgozott. 1948-ban beiratkozott a miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem védőszárnyai alatt működő diósgyőri Állami Műszaki Főiskolába és ott 1951-ben kohómérnöki oklevelet szerzett.

Ugyanezen év őszén mehetett Moszkvába, hogy ott az Acél- és Ötvözetmetallurgiai Intézet — röviden Insztyitut Sztáli — metallurgiai tanszékének irányításával a szükséges elméleti tanulmányokat elvégezze és a kandidátusi értekezés elkészítéséhez megkívánt laboratóriumi és üzemi kísérleteket végrehajtsa. Értekezését 1955-ben megvédte és elnyerte a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot.

Értekezésének témája az olvadt acél kéntartalmának oxidálása és ezúton való csökkentése a gázfázis közvetítésével. Ez a téma akkoriban nagyon időszerű volt. Ezekben az években élénkültek meg azok a kísérletek, amelyeknek célja az acél minőségét leginkább rontó szulfid- és oxidzárványoknak, ill. az acél kén- és oxigéntartalmának csökkentése. Az értekezésben foglalt eredmények jelentőségét és értékét mutatja az a körülmény, hogy az ENSZ Európai Gazdasági Bizottsága „A vaskohászat 1956. évi vívmányai” című kiadványa azokat részletesen ismertette.

Moszkvából hazatérve, az 1955—56. tanévben politikai megbízással a Nehézipari Műszaki Egyetemre került. Oktatói feladatot ugyanakkor a vaskohászattani tanszéken kapott és 1960-ban annak vezetőjévé nevezték ki. 1968 óta az öt tanszéket magában foglaló Kohászati Akadémiai Munkaközösségnek is vezetője.

Tanszéki működése során mindenekelőtt kiegészítette, korszerűsítette annak laboratóriumait, azok hiányos és elavult felszerelését. Először minden lényeges eszközzel ellátott izotóp-laboratóriumot rendezett be, amely a továbbiakban hasznos szolgáltatásokat tett a tanszéki, de több üzemi eredetű téma kidolgozásában. A sugárzó izotópokat nem sugárzó elemekkel helyettesítve, az aktivációs elemzés módszerével sugárveszély nélkül is sikerült a keresett összefüggéseket feltárni. A laboratórium személyzete szakmai képzésben részesült fiatalokból került ki.

A korszerűsített laboratóriumi felszerelés, valamint a termelő üzemekkel létesített jó kapcsolat a metallurgia kutatás előtt szabaddá tette az utat. Sorjában munkába lehetett venni olyan témákat, mint a kén oxidálódása az oxigénes acélglyártás során, a szintetikus salakkal végezhető kéntelenítés, a folyékony acéllal érintkezésbe kerülő tűzálló anyagok eróziója és az ennek révén az acélba kerülő exogén zárványok eredete, a komplex dezoxidáló szerek hatásosságának vizsgálata. Ezeknek a témáknak eredményei egyrészt egy sor jelentős elméleti összefüggésre derítettek fényt, de felhasználhatóknak bizonyultak a gyakorlatban is, és nem csekély mértékben járultak hozzá acélglyártmányaink minőségének javításához és vaskohászatunk gazdaságosabbá tételéhez. A felsorolt témák közül került ki az 1966-ban megvédett értekezésének tárgya is; evvel szerezte meg a műszaki tudományok doktora fokozatot.

Az acél metallurgiájának köréből választott témáinak eredményeiről hazai és külföldi tanácskozásokon tartott 30 előadásban adott számot. Szakirodalmi tevékenységének 3 könyv, 22 magyar, angol, német és orosz nyelven megjelent közlemény a termése. 29 nagyobb tanulmányban — ezek nyomtatásban nem jelentek meg — további kutatási eredményekről számolt be.

A vezetése alatt álló tanszéken a korszerű kutatás anyagi eszközein kívül a személyi feltételekről is tervszerűen gondoskodott. A tanszék oktatói között a nyersvas- és acélglyártás metallurgiai kérdéseiben kitűnően felkészült szakembereket nevelt, akik megszerezték a kandidátusi fokozatot, de az üzemi

szakemberek körében is tekintélyt szereztek maguknak. A tanszék oktatói és kutatói, kiegészítve azokkal az üzemi szakemberekkel, akik SIMON Sándor irányításával készítették el doktori vagy kandidátusi értekezésüket, együttvéve akár metallurgiai témákon dolgozó tudományos iskolának is nevezhetők.

Egyetemi oktatóként a kohómérnökhallgatók vaskohászattani képzését ugyancsak korszerű szintre emelte. Az elavult, leíró jellegű tananyagot teljes egészében tudományos, fizikai-kémiai alapokon nyugvó, rendszerezett ismeretanyaggyá fejlesztette. Ez tükröződik valamennyi egyetemi jegyzetében.

1974-ben a Műszaki Könyvkiadónál megjelent, társszerzőkkel írott könyv — *Újabb technológiai megoldások az acélgéártásban* — és annak SIMON Sándor tollából származó, 120 oldal terjedelmű első fejezete, *Az acélgéártás folyamatainak fizikai és kémiai elmélete*, nem tankönyvnek készült. Ebben a fejezetben tömören, mégis minden lényeges összefüggést és adatot magában foglalóan megtalálható mindaz, amit az acélgéártás elméleti vonatkozásairól tudni kell vagy érdemes. Ezért nyilván sokszor veszik majd a kezükbe az államvizsgára készülő hallgatók, a doktori vagy kandidátusi értekezésükön dolgozó aspiránsok és a termelőüzemek mérnökei is.

Tudománypolitikai tevékenysége sokoldalú. Tagja a Tudományos Minősítő Bizottságnak, elnöke a Metallurgiai Akadémiai Bizottságnak, tagja több műszaki tudományos tanácsnak. Az utánpótlás képzésében, nevelésében mint aspiránsvezető, mint kandidátusi, doktori értekezések hivatalos bírálója és mint bírálóbizottságok elnöke, tagja működik közre.

Jó kapcsolatot teremtett több külföldi műszaki egyetemmel és ezeket mint a Nehézipari Műszaki Egyetem rektora nagy kedvvel ápolja. Különösen jó a kapcsolat a charkovi, a freibergeri és a kassai műszaki egyetemmel; közülük az első 1975-ben tiszteletbeli doktorává választotta.

SIMON Sándor 25 éve dolgozik az acélmetallurgia témakörében, 20 éve pedig a vaskohászattani tanszék oktatójaként és másfél évtizede a tanszék vezetőjeként. Ez alatt a nem túlságosan hosszú idő alatt kiemelte a vaskohászattani oktatást több évtizedes elmaradottságából. A tanszéket korszerű kutatóhellyé fejlesztette, és időszerű témákban az elméleti ismereteket gazdagító, de gyakorlatilag is hasznosított, gazdasági hasznot hozó eredményeket ért el. A tanszék oktatóiból, kutatóiból és a vezetésére bízott üzemi mérnökökből jól képzett kutatóegyüttest, metallurgiai iskolát teremtett.

SIMON Sándort 20—25 éves oktatói és kutatói tevékenysége méltóvá tette arra, hogy a Magyar Tudományos Akadémia tagjává válassza. Munkássága és annak eredményei egyben elegendő biztosítékot is jelentenek, hogy a továbbiakban a metallurgia sokáig elhanyagolt tudományágát nemcsak életben tartsa, hanem jelentős elméleti és gyakorlati eredményekkel fejleszti és gazdagítja.

Verő József

Simon Sándor tudományos közleményei

1. Vliányije processza produvki metalla kiszlorodom na udalényije szeri v gázovuju fázu. Tipográfia MISZ, Moszkva (1955), 1–7. Ugyanez magyar nyelven *NME Közl.* (1957), 129–139.
2. A sugárzó izotópok kohászati felhasználásáról. *BKL Öntöde* (1958), 42–46.
3. — BENKŐ Gyuláné: A kén oxidációjának reakciókinetikai vizsgálata acélnyersvas oxigénnel történő befúvatásakor. *Nehézipari Műszaki Egyetem VIII. Tudományos ülészek* (1962), 1–20. Ugyanez a közlemény német nyelven az *Acta Techn. Hung.* 44 (1963), Fasc. 3–4.
4. Nagy kéntartalmú olajok hasznosítása nagyolvasztóban. *BKL* (1965), 21–26.
5. — BENKŐ Gyuláné: A vas és salak kéntartalmának oxigénnel történő oxidációja. Az *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 37 (1966), 123–129
6. Vizsgálatok az oxigénes acélgégyártásban végbemenő kénoxidáció termodinamikai és reakciókinetikai törvényszerűségének feltárására. Kivonatossan megjelent *NME Közl.* 15 (1967)
7. Physikalisch-chemische Bedingungen der Stahlherstellung mit Sauerstoff. *Freiberger Forschungshefte* 151 (1969), 43–59
8. Desoxidáló anyagokból származó exogén zárványok keletkezésének vizsgálata. *BKL Kohászat* 102 (1969), 156–163
9. Ferroötvözetekből valamint komplex dezoxidáló szerekből származó zárványok mennyiségét és minőségét befolyásoló tényezők vizsgálata. *BKL Kohászat* 104 (1971) 56–60
10. — BENKŐ Gyuláné—SZARKA Gyuláné: Untersuchungen zur Herkunft exogener Oxideinschlüsse in beruhigt und unberuhigt vergossenen Stählen durch nachträglich aktivierte Markierungselemente *Neue Hütte* (1972), 40–44.
11. — SZIKLAVÁRI J.—SZŐKE L.: Újabb technológiai megoldások az acélgégyártásban című könyv első fejezete: „Az acélgégyártás fizikai és kémiai folyamatainak elmélete” Műszaki Könyvkiadó Budapest 1974, 1–120. l.

STEFÁN MIHÁLY



STEFÁN Mihály 1932-ben született Bódvaszilason. Egyetemi tanulmányait a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem Kohómérnöki Karán végezte és itt szerzett 1954-ben fémkohómérnöki oklevelet.

Szakmai tevékenységét a Csepeli Vas- és Fémművekben kezdte el és folytatja máig azon az időn kívül, amelyet aspiránsként a moszkvai Vas- és Acélötvözetek Intézetében töltött. Az ország legnagyobb ipari üzemében számos beosztásban dolgozott, jelenleg a vállalat műszaki vezérigazgatója.

Tudományos tevékenysége lényegében aspiránsmunkájával kezdődött. Azóta megszakítás nélkül olyan beosztásokban dolgozik, melyek mindegyike szoros kapcsolatban áll a tudományos kutatással vagy kutatási egységek irányításával. E kutatási tevékenység legjellegzetesebb vonása, hogy feladatának kitűzött célja mindig valamilyen ipari-termelési probléma megoldása, amelyet tudományos alapossággal hajt végre a természettudományok legújabb eredményeinek a felhasználásával.

Az újnak, a jobbnak a keresése és annak gyakorlati bevezetése nála nemcsak a kutatásban, hanem a termelésben is megmutatkozik. Mint a Csepeli Fémmű egyik vezetőjének, vitathatatlanul nagy része van abban a műszaki fejlődésben, mely a Csepeli Fémművet az utóbbi időben jellemzi. Itt olyan kutatóegységet szervezett, amely a fémek kutatásában egyik legjobban ellátott intézménye az országnak.

A tudományos kutatásban tevékenysége kétirányú. Részben a híradás- és elektrotechnika, valamint a műszeripar alapanyagainak, részben a lágymágneses ötvözeteknek tulajdonságjavító kutatására irányul. Ezeknek a kutatásoknak és a bevezetett eredményeknek megszabó szerepük van a Csepel

Fémű termelésében és gazdaságosságában. Érdeklődésének a középpontjában a fémfizika áll. E téren végzett munkáját az MTA Matematikai és Fizikai Tudományok Osztálya azzal ismerte el, hogy már évekkal ezelőtt tanácskozó tagjává választotta.

A finomkohászat hazai elterjesztőjeként jelentős szerepe van abban, hogy ma már számos olyan alapanyagot szállít a Fémű az említett iparágaknak, amelyek külföldről is csak nagy nehézséggel vagy egyáltalán nem szerezhetőek be.

A színesfémek olvasztásának elemzésével és megismerésével sikeresen fáradozott azon, hogy a Fémű gyártmányai ma már a nemzetközi piacon is keresettek legyenek. Rézalapanyaguk vetekszik a legelismertebb minőségű anyagokkal is.

Legeredményesebb területe a mikroötvözők hatásának kutatása volt. Minimális mennyiségű idegen anyagokkal sok tulajdonságot sikerült kedvezően megváltoztatnia.

A rézgyártmányokkal kapcsolatos kutatásainak leszűrt eredménye három szabadalomban valósultak meg, melyeket a Fémű jelentős műszaki és gazdasági eredménnyel hasznosít. Ezek is a meghatározott koncentrációjú anyag előállítására vonatkoznak, azzal a céllal, hogy a kémiai összetétel adta lehetőségek a megfelelő tulajdonságok elérésére legyenek felhasználhatók. A lágymágneses acél és vasnikkel ötvözetek mágneses tulajdonságai és szerkezete közötti kapcsolat kutatásával állandóan foglalkozik. Már a kandidátusi értekezésében is ezzel foglalkozott, amikor azt kutatta, hogy mi a hatása a mágnes térben végrehajtott hőkezelésnek a Mo-t tartalmazó vasnikkel ötvözetekre. Felismerte a mágnes tér hatására kialakuló reverzibilis rendeződést és meghatározta e folyamat aktiválási energiáját is.

Különös gonddal foglalkozott a lágymágneses ötvözetekben mindig jelenlevő oxigén és szénzennyezésnek a mágneses paraméterekre ható szerepével. Kimutatta, hogy ezeknek az interszticiósan oldódó elemeknek a hatása nem egészen egyértelműen negatív, ahogy azt korábban vélték, hanem adott feltételek mellett ezek szerepe pozitív is lehet. Ez volt doktori értekezésének egyik legfontosabb megállapítása.

A lágymágneses ötvözeteken végzett kutatásait érdeklődéssel fogadta a kutatói közvélemény. Azonban az érdekes tudományos megállapítások mellett a termelési eredmények is jelentősek, mert e területen is három szabadalomban hasznosulnak a kutatási eredményei.

Tudománypolitikai tevékenységet az Akadémia és a TMB különböző bizottságaiban végez. A TMB-re benyújtott dolgozatok bírálatában gyakran vesz részt. Munkatársai közül egy nagydoktori értekezést, többen kandidátusi dolgozatot nyújtottak be. A már korábban említett, a Féműben megszervezett kutató laboratóriumban a tudományos fokozatot szerzett munkatársak száma az átlag felett van, dacára a kutatóintézmény jellegzetesen ipari cél-

kitűzéseinek, bizonyítva ezzel azt, hogy az ipari tevékenység során is érhetőek el tudományos eredmények.

Eddigi munkáját több kitüntetéssel jutalmazták. Így többször kapta meg a „Kiváló Dolgozó” címet. Két ízben lett a „Kiváló Feltaláló” cím aranyérmese. 1970-ben a „Munka Érdemrend” ezüst fokozatával tüntették ki.

STEFÁN Mihályt az MTA 1976. évi CXXXVI. közgyűlése, figyelembe véve tudományos és tudománypolitikai tevékenységét, levelező taggá választotta. Ipari gyakorlata és az ország legnagyobb ipari vállalatánál betöltött vezető szerepe nagymértékben hozzájárulhat ahhoz, hogy az MTA tudománypolitikai és tudományszervezési munkája révén minél gyorsabban megtérüljenek azok az összegek, amelyeket a Magyar Népköztársaság a tudományos kutatásra fordít.

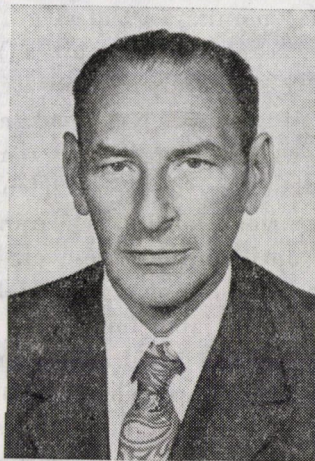
Prohászka J.

Stefán Mihály tudományos közleményei

1. Műszeripari, híradás- és elektrotechnikai fém félgyártmányok előállítása és kutatása a Csepeli Fémműben. *Csepeli Műszaki Közgazdasági Szemle* (1964), 1–10
2. —Szabó Attila: Korszerű analitikai vizsgálatok a Csepeli Fémműben. *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* 104 2. (1971), 90–93
3. Néhány iparilag fontos színesfém fizikájának időszerű kérdései. *Magyar Fizikai Folyóirat* 19 (1971), 451–464
4. —B. G. LIVSIC—M. STEFÁN—L. A. HALIN: Vremznoj Szpag pronicazmosti szplavov H79, H79M1, i H79M4 *Fiz. Metallov. Metallovedenie*, 18 (1964), 31–38
5. Lágymágneses anyagok fejlesztési lehetőségei *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* 102 (1969), 150–156
6. Az oxigéntartalom változása indukciós és elektronsugaras vákuumolvasztás során. *Bányászati és Kohászati Lapok — Kohászat* 104 (1971), 512–516
7. Mikroötvöztetés és irányított atomrendeződé. *Csepeli Műszaki Közgazdasági Szemle* (1972), 1–11
8. Influence of Oxygen Content on Magnetic Properties of Fe—Ni Alloys. *IEEE Transactions on Magnetics*, Vol. Mag-10, No. 2. (1974)



VAJDA GYÖRGY



1927-ben született Budapesten. 1949-ben szerezte meg gépészmérnöki oklevelét a Budapesti Műszaki Egyetemen, majd ugyanott a Villamosművek Tanszékén mint tanársegéd elkezdte oktatói és tudományos munkásságát, ott, ahol annak idején csak nagyfeszültségű laboratórium állt rendelkezésre. Ez hatott tudományos érdeklődési körére. A tárggyal foglalkozó kiterjedt irodalomban található ellentmondások és hézagok arra az elhatározásra készítették, hogy alapos, mélyreható elemzéssel, a dolgok lényegét kiemelve igyekezzék a nagyfeszültségű szigeteléséstechnika területén tudományos eredményeket elérni. Ez a cél a Villamosenergiaipari Kutató Intézetben a későbbiek során megvalósult.

Két munkájában, az 1964-ben megjelent „Szigetelések romlása és romlásuk vizsgálata” c. könyvben, valamint ugyancsak az MTA kiadásában 1970-ben közreadott „Szigetelések villamos terei” c. könyvben foglalta össze az önálló tudományos munkásságát, valamint az e téren végzett szintetizáló tevékenységét. Első könyvét a Szovjetunióban orosz nyelven 1968-ban is kiadták.

Tudományos tevékenységének fő iránya a szigetelőanyag tulajdonságainak vizsgálata, valamint az átütés fizikájának tisztázása volt.

A Műszaki Egyetemen elkezdett munkásságát a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályán tudománypolitikai és tudomány-szervezési munkákkal folytatta és így alkalma volt fiatalon a műszaki tudomány egészéről, valamint annak a más tudományágakba való kapcsolódásáról áttekintést nyernie. Ez az ismeretanyag, a tudomány és a társadalom igényeinek tanulmányozása formálta azt az alkotó tudós-típust, aki saját szakmai tudományterületén kívül általános tudománypolitikai szempontokat figye-

lembe véve képes a megjelenő tudományos, műszaki-társadalmi problémákkal szemben ítéletet alkotni.

1955-től 72 tudományos munkája jelent meg. Az Akadémia Méréstechnikai Intézetéből kiválva, 1955-től 1963-ig mint a VEIKI igazgatóhelyettese működött, 1963—70-ig pedig a Nehézipari Minisztérium Villamosenergiaipari Műszaki Főosztályán főosztályvezető-helyettesnek nevezték ki. Ebben az időben alakult ki a villamosenergia-szolgáltatás rendszertechnikai felépítése, amelynek kidolgozásában alkotó egyéniségének jelentős része volt. Érdeklődési köre az energetika általános vonatkozásai felé irányult, kapcsolatot keresve a villamosenergia rendszer optimális felépítésével.

1970-től kezdve mint a Villamosenergiaipari Kutató Intézet igazgatója irányítja a népgazdaság szempontjából fontos hő- és elektrotechnikai, valamint energetikai kutatásokat. Ezen kívül igen jelentős tevékenységet fejt ki tudománypolitikai vonatkozásban, így például elnöke volt az ENSZ Európai Gazdasági Villamosenergia Bizottságának, részt vett az MTA Tudományos Bizottságai, más főhatóságok és társadalmi szervezetek munkájában, tagja a CIGRE Magyar Nemzeti Bizottságának, a CIGRE Szigetelés koordinálásával foglalkozó 33-as Bizottságának, a Nehézipari Minisztérium Energiapolitikai Tanácsának, Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanácsnak, tagja a TMB-nek.

Mind nemzetközi, mind hazai szakkörökben tudományos munkássága és tudománypolitikai tevékenysége elismert.

Munkájáért az MTA 1954-ben Elnökségi Jutalomba részesítette, 1975-ben megkapta az Állami Díjat.

Kandidátusi disszertációjában, amit 1957-ben védett meg, a szigetelőanyagok átütésének néhány fontos kérdésével foglalkozott. Egy túlfeszültségvédelmi probléma megoldásáért elnyerte a METESZ Zipernowsky-díját. Az erősáramú berendezések szigeteléseinek romlásával és annak vizsgálatával foglalkozó doktori disszertációját 1965-ben védte meg.

1963—1970 között előadásokat tartott a BME-en, ennek kapcsán 1967-ben címzetes egyetemi tanári címet kapott és három éven keresztül tagja volt a BME Villamosmérnöki Kara Tanácsának.

Tevékenységében az utolsó évtizedben jelentős szerepet kaptak az energetikai problémák és azok megoldása.

1976-ban az MTA levelező tagjának választották meg.

Szendy Károly

Vajda György tudományos közleményei

Tudományos közlemények

1. A kontaktpotenciál elmélete és mérése. Intézeti tanulmány, MTA Méréstechnikai Intézet (1955), 40 oldal
2. Szilárd szigetelő anyagok átütése. *Elektrotechnika*, 49 (1956), 4—13
3. Gázok villamos szilárdsága. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 18 (1956), 277—295

4. Az elektródák anyagának befolyása az átütési feszültségre. Kandidátusi disszertáció, Budapest 1956
5. Szigetelő folyadékok villamos szilárdsága. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 21 (1957), 163—175
6. Szilárd anyagok nedvességtartalmának mérése. Intézeti tanulmány. MTA Méréstechnikai Intézet (1957), 20 oldal
7. Lökőfeszültségek eloszlásának mérése az anyalföldi 100/120 kV-os autotranszformátorokon. VILLENKI 156. sz. tanulmány (1957), 15 oldal
8. Megjegyzések az átlagos villamos szilárdsággal kapcsolatban. *Elektrotechnika*, 50 (1957), 202—204
9. Valószínűségszámítási módszerek az átütési feszültségek megállapításánál. *Mérés és Automatika* 5 (1957), 118—120
10. —TAJTHY T.-ral: Túlfeszültségeloszlási vizsgálatok 35/120 kV-os alállomáson levő szabályozó transzformátorokon. VILLENKI 181. sz. tanulmány, 55 oldal
11. —TAJTHY T.-ral: Lökőfeszültség eloszlási vizsgálatok a tiszapalkonyai, csillagponti fojtótekerccsel bíró transzformátorokon. VILLENKI 192. sz. tanulmány, (1958), 14 oldal
12. Túlfeszültségvezetők leképzése arányos elemekkel. VILLENKI 196. sz. tanulmány (1958), 17 oldal
13. The influence of the Material Properties of Electrodes upon the Breakdown Potential. *Acta Techn. Hung.* 21 (1958), 141—171
14. Lökőfeszültségek csúcsertékének gyors mérési lehetősége. *Mérés és Automatika* 6 (1958), 109—110
15. Szigetelések romlása I. Szigetelő anyagok romlása. VILLENKI 207. sz. tanulmány (1958), 94 oldal
16. Szigetelések romlása II. Szigetelő anyagok inhomogenitása. VILLENKI 215. sz. tanulmány (1958), 48 oldal
17. Szigetelések romlása III. A tekerccselrendezés szerepe villamos berendezések profilaktikus vizsgálatánál. VILLENKI 216. sz. tanulmány (1958), 17 oldal
18. —TAJTHY T.-ral: Zárlatkorlátozó fojtótekerccs befolyása a 120 kV-os hálózat túlfeszültség védelmére. *Elektrotechnika*, 51 (1958), 473—478
19. —TAJTHY T.-ral: Szabadvezetékbe épített zárlatkorlátozó fojtótekerccs túlfeszültség igénybevétele 35 kV-os állomásokban. VILLENKI 228. sz. tanulmány (1959), 34 oldal
20. Az átütő feszültségek valószínűségi jellege a szigetelés koordinációja szempontjából. VILLENKI belső tanulmány (1959), 16 oldal
21. Einige Erfahrungen in Zusammenhang mit den Durchschlag von festen Isolierstoffen. Diskussionsbeitrag. Kolloquium über inhomogene Felder in festen Dielektrika im Durchschlagsgebiet. Berlin, 1959. március
22. Tapasztalatok hazai gyártmányú prespánok átütési szilárdságával kapcsolatban. *Villamos-ság* 7 (1959), 16—18
23. —BESZE J. és TAJTHY T.-ral: Túlfeszültségeloszlási mérések a recski 35/22 kV-os állomásban. VILLENKI 254. sz. tanulmány (1959), 21 oldal
24. Dielektromos áramkörök meghatározása villamos berendezési tárgyakban. *Mérés és Automatika* 7 (1959), 173—178
25. —TAJTHY T.-ral: Egységkapcsolású generátorok igénybevétele légköri túlfeszültségek hatására. VILLENKI 262. sz. tanulmány (1959), 34 oldal
26. Szigetelő anyagok inhomogenitása, mint romlásuk egyik jellemzője. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 24 (1959), 453—488
27. Szigetelések romlása IV. Villamos áram szigetelő anyagokban. VILLENKI 261. sz. tanulmány (1959), 119 oldal
28. Szigetelő anyagok romlása. *Villamosság* 7 (1959), 225—237
29. Szigetelő anyagok öregedése. *Villamosság* 7 (1959), 353—363
30. —TAJTHY T.-ral: Vlijanyije drozselja, poszledinyennogo k nejtrali na vezdejsztvije pereznaprazsenij na nejtralj transformatora. *Acta Techn. Hung.* 27 (1959), 297—321
31. —munkaközösséggel: Villamos berendezések szigetelési állapotának időszakos ellenőrzése. NIM Vilipig 61083/1957. sz. utasítás II. része. 1959. okt.
32. Die Nachbildung des Überspannungsableiters bei Modellversuchen. *Elektrie* 14 (1960), 163—165
33. Egységkapcsolású generátorok igénybevétele légköri túlfeszültségek behatására. *Elektrotechnika* 53 (1960), 81—89
34. Szigetelések romlása V. Szigetelések polarizációja. VILLENKI 303. sz. tanulmány (1960), 60 oldal
35. Szigetelések vizsgálata egyenárammal. *Elektrotechnika* 53 (1960), 402—410
36. Szigetelések vizsgálata a feszültség függvényében egyenárammal. *Elektrotechnika* 53 (1960), 481—488

37. Absorption in mehrschichtigen Isolationen. *Acta Techn. Hung.* 31 (1960), 269—279
38. Szigetelések romlása VI. Szigetelések vesztesége. VILLENKI 335. sz. tanulmány (1961), 102 oldal
39. Szigetelések romlása VII. Belső kisülések vizsgálata. VILLENKI 353. sz. tanulmány (1961), 124 oldal
40. A kapacitív komponens jelentősége az abszorpció vizsgálatában. *MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 29 (1961), 171—190
41. Eljárás szigetelt villamos tekercsben feszültség igénybevétel hatására létrejövő belső kisülések helyének meghatározására. Szabadalom, szabadalmi okiratszám 149.930., 1961 márc. 2.
42. Kapacitásmérés a szigetelésvizsgálat szolgálatában. *Elektrotechnika* 54 (1961), 477—487
43. —CSIGA S.-ral: A 120 kV-os transzformátorok túlfeszültségvédelmének kérdései csillagpont fojtótekercs alkalmazása esetén. VILLENKI 389. sz. tanulmány (1962), 34 oldal
44. A szigetelésvizsgálat alapjai. A Mérnöktovábbképző Intézet 4017. sz. „Túlfeszültségvédelem és Szigetelésellenőrzés” c. jegyzetében a 479—522 oldalak (1962)
45. The Part Plated by the Capacitive Component in the Measurement of Absorption Current. *Acta Techn. Hung.* 40 (1962), 237—262
46. A Possible Explanation for the Influence of Temperature on Absorption. *Acta Techn. Hung.* 41 (1962), 409—413
47. —CSERNÁTONY-HOFFER A. és GESZTI P. O.-val: Some Remarks on the Volt/mikrosec Characteristics of Insulations. *Acta Techn. Hung.* 44 (1963), 379—390
48. —CSIDA S.-ral: Effect of Neutral Loosening of a 120 kV Network upon the Overvoltage Protection of Transformers. *Techn. Rep. of the IEPR*, T. 9. 1963, 19 oldal
49. Vizsgálati módszer szigetelések lököfeszültségű villamos szilárdságának meghatározására. VILLENKI 420. sz. tanulmány (1963), 84 oldal
50. Szigetelések romlása és romlásuk vizsgálata. Akadémiai Kiadó, Budapest 1964, 531 oldal
51. —Szerzői munkaközösség: Kooperációs hálózat zárlati áramának csökkentése különös tekintettel a nagybudapesti körzetre. VILLENKI 423. sz. tanulmány (1964)
52. Surge Transfer through Transformer (Generator Units. Complementary Report. Export Meeting of CIGRE Study Committee No 8. Wien 1965.
53. A szigetelésellenőrzés jelentősége. *Villamosság* 13 (1965), 225—227
54. A szigetelésvizsgálat gazdaságossága. *Elektrotechnika* 58 (1965), 321—326
55. Isolationskoordinierung von Hochspannungsanlagen. Diskussionsbeitrag, XI. Internationale Tagung der Elektrotechniker. Berlin 1965
56. Caracteristiques volts/microsecondes des isolement. *Conf. Rapp.* No. 414. CIGRE Paris 1966, 9 oldal. — angolul is megjelent —
57. Semi-automatic Recording of Volt-mikrosecond Characteristics. *Acta Techn. Hung.* 54 (1966), 261—281
58. Test Method for Determining the Impulse Withstand Strength of Electrical Insulations. *Acta Techn. Hung.* 54 (1966), 283—306
59. —CSIDA S.-ral: Effect of Neutral-loosening of a 120 kV Network upon the Overvoltage Protection of Transformers. *Acta Techn. Hung.* 54 (1966), 333—346
60. Villamos erőterek legnagyobb igénybevételének meghatározása. *Elektrotechnika* 59 (1966), 325—331
61. Szigetelőanyagok az erőáramú iparban. 1. Szigetelőtechnikai alapismeretek, 15—64 oldalak. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1966
62. Some Remarks on the Interpretation of Discharge Investigations. *Acta Techn. Hung.* 56 (1966), 305—308
63. An Approximate Method for the Determination of the Maximum Dielectric Stress in Electric Fields. *Acta Techn. Hung.* 56 (1966), 319—322
64. Исследования в области изоляции. *Izdalyel'stvo Energia*, Moszkva 1968, 400 oldal
65. Üzemkésztség ellenőrző feszültségpróbák jellemzőinek megválasztása. *Elektrotechnika* 62 (1969), 117—125
66. —LÁCZAI SZABÓ T.-ral: Az atomerőművek várható szerepe Magyarországon. *Energia és Atomtechnika* 22 (1969), 313—321
67. Selection of Test Voltage Characteristics for Cheking the Condition of Insulation in Service. *Acta Techn. Hung.* 66 (1969), 285—304
68. Szigetelések villamos erőterei. Akadémiai Kiadó, Budapest 1970, 298 oldal
69. Az energetika várható fejlődése. VEIKI 126. sz. tanulmány (1972), 66 oldal
70. A világ nyersanyag és energetikai helyzetének várható alakulása és prognosztizálható kihatásai a magyar népgazdaságra. Tanulmány az ENSZ 1974. évi rendkívüli közgyűlése alapján. NIMDOK, 1974. zártkörű terjesztése.
71. Az energetika jövője. *Energiagazdálkodás* 15 (1974), 2—9, 51—54, 109—117
72. Energia és társadalom. Akadémiai Kiadó, Korunk Tudománya sorozatban 1975.

Tudománypolitikai, iparpolitikai és egyéb közlemények

1. A tudomány a népet szolgálja. *Újítók Lapja* 4 (1952), 5
2. A Méréstechnikai és Műszerügyi Intézet feladatai. *Mérés és Automatika* 1 (1953), 108
3. A Méréstechnikai és Műszerügyi Intézetről. Akadémiai Értesítő 61 (503), 47 (1954)
4. Értekezlet az ipar automatizálásáról és távirányításáról. *Mérés és Automatika* 3 (1955), 219
5. Megjegyzések az ipari kutatóintézetek gazdasági vezetésének megváltoztatására irányuló javaslathoz. *Pénzügy és Számvitel* 3 (1959), 31
6. A villamosenergiaipar húsz éve. *Villamosság* 13 (1965), 225—227
7. A műszaki fejlesztés helyzete és feladatai a villamosenergiaiparban. NIM vezetőképző tanfolyamok anyaga, 1967
8. — munkacsoporttal: A műszaki kutatások koordinációs rendszere. OMFB 13-703 sz. tanulmány (1967)
9. Zárászó az országos erőművi konferencián *Energia és Atomtechnika* 20 (1968), 337—338
10. Feljegyzés a villamosenergiaipar fejlődését meghatározó problémákról. Személyes előterjesztés a Gazdasági Bizottság elnökének. 1968. április.
11. — munkacsoporttal: Célserű-e a villamos energia importot növelni a IV. ötéves tervben? OMFB 2064/1968. sz. tanulmány (1968)
12. Energiapolitikánk feladatai és problémái. A VII. Közgazdász Vándorgyűlés előadásai. TIT kiadás, Budapest 1969, 100—108
13. — munkacsoporttal: Villamos szigetelőanyagok hazai gyártásának fejlesztési irányai. OMFB 11-4-341/b. T. sz. tanulmány (1970)
14. — szerzői munkaközösségben: Műszaki Lexikon (villamos művek, nagyfeszültségű technika, szigetelőtechnika cikkei). Akadémiai Kiadó, Budapest 1970—1971.
15. — munkacsoporttal: Nagyfeszültségű üvegszigetelők hazai alkalmazásának és gyártási lehetőségeinek vizsgálata. OMFB 11-907 IT sz. tanulmány (1971)
16. — REMÉNYI Károlyal: A Villamosenergiaipari Kutató Intézet tevékenysége az energetikai berendezések fejlesztése és üzemeltetése területén. A II. Energetikai Gépgyártási Konferencia előadásai. GTE-ETE kiadás, Budapest 1971, 253—259
17. — munkacsoporttal: A műszaki ismeretek nemzetközi forgalma. OMFB 13—801/c-ET sz. tanulmány (1971)
18. — REMÉNYI Károlyal: A Villamosenergiaipari Kutató Intézet ötéves hőtechnikai kutatási terve. *Energia és Atomtechnika* 24 (1971), 403—410
19. — REMÉNYI Károlyal: A Villamosenergiaipari Kutató Intézet ötéves villamos kutatási terve. *Elektrotechnika* 64 (1971), 305—311
20. — munkacsoporttal: A villamosítás jelentősége az iparban, a mezőgazdaságban, a közlekedésben és a kommunális fogyasztóknál. OMFB 11-801 ET sz. tanulmány (1972)
21. Tudományirányítás — vagy az irányítás tudománya. *Magyar Tudomány* (1972), 97—103
22. A Villamosenergiaipari Kutató Intézet tevékenysége. *Energiagazdálkodás*, 13 (1972), 128—132
23. Atomerőművi vízkezelő berendezések gyártási ágának felfejlesztése. Személyes előterjesztés, 1972. április
24. A Villamosenergiaipari Kutató Intézet ötéves kutatási koncepciója. *Magyar Tudomány* (1972), 288—296
25. — munkatársakkal: A magyar ipar lehetőségei az atomerőmű primer kör vízkezelő berendezéseinek gyártásában és a részvétel célserűségének műszaki-gazdasági vizsgálata. OMFB 1-7202/2-ET. sz. tanulmány. 1972. július
26. Burkolt dotáció a hazai villamos energia árakban — beruházási döntések korszerű előkészítése a villamosenergiaiparban. *Energiagazdálkodás* 14 (1973), 390, *Energia és Atomtechnika* 26 (1973), 411
27. A kutatás szerepe a villamosenergiaipar beruházási tevékenységében. NIM Vezetőképző tanfolyam anyaga, 1973. május
28. Diskussionsbeitrag an dem Kolloquium "Überführung wissenschaftlicher Ergebnisse der Grundlagenforschung" der Akademie des Wissenschaften der DDR, Berlin 1973. V.
29. Planung und Finanzierung der Forschung. *Spektrum*, 4 11 (7) (1973), Berlin
30. The Effects of Introducing Nuclear Power Stations on the Structure and Reliability of Supply of Electricity, Generating Systems. EP/SEM 1. Report, Madrid 1973.
31. A számítástechnikai eszközök megválasztása, különös tekintettel az alkalmazás módzataira és a bővítés lehetőségeire. Számítástechnika a villamosenergiaiparban — konferencia anyaga, 65—81, MTESZ 1973, Pécs
32. Nyeobhogyimoszty vicsiszllyelnih masin v elektroenergetike. Szimposium naucno-tehnyiceszkaja revolucija i obszesztvennij progress. Moszkva 1974. jan.

33. — *munkabizottsággal* A számítógépek alkalmazása a villamos energia iparágban. OMFB tanulmány 1-7105-T, Budapest 1974.
34. Számítógépek a villamos energetikában. *Magyar Tudomány* 81 (1974), 269—275
35. Fragen zur ungarischen Elektroenergiewirtschaft und ihre Beziehungen zum Ausland. Coll. Hung. 1974. május, Wien, 16 oldal
36. A Villamosenergiaipari Kutató Intézet szerepe a magyar energiaiparban. *Elektrotechnika* 67 (1974), 140—150
37. — SZABOLCS G.-ral: A Villamosenergiaipari Kutató Intézet környezetvédelmi kutatásainak eredményei és további programjának fő irányai. Környezetvédelem az energiaiparban 439—452. NIMDOK 1974, Budapest
38. Gépesített információrendszer a vezetés szolgálatában. *Népszabadság*, 1975. május 21.
39. Villamos energia kooperáció Európában. *Elektrotechnika* 68 1975, 281—289

BESZÁMOLÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1972—1975. ÉVI TEVÉKENYSÉGÉRŐL

LÉVAI ANDRÁS
AKADÉMIKUS, OSZTÁLYELNÖK

1. Az Osztály személyi állománya

Az Osztálynak 10 rendes, 14 levelező, 8 tiszteleti és 8 tanácskozási jogú tagja van; az ide tartozó tudományágakban a tudományok doktora 58 (ebből: energetikai 13, híradástechnikai 12, gépészeti és kohászati 23, mérnöki, építészeti, közlekedési 40), kandidátus 633 (ebből: energetikai 93, híradástechnikai 127, gépészeti és kohászati 239, mérnöki, építészeti, közlekedési 174).

Az Osztály 3 szakcsoport, 21 tudományos bizottság, 14 nemzeti bizottság, 14 munkabizottság és 27 albizottság tevékenységét irányítja.

2. Az Osztály tevékenysége

Osztályülések

1973			1974			1975		
Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban
4	18	73	7	16	66	5	11	73

Az osztályülés (a szakcsoportok előkészítő munkájának, a tanácskozási jogú tagok aktív közreműködésének segítségével) következetesen érvényesítette a tudománypolitikai irányelveket, különös figyelemmel a tudomány és a gyakorlat kapcsolatának bővítésére. Ezt példázza (többek között) „A hosszútávú gazdaságfejlesztés műszaki politikájá”-nak az OMF elnökségével közösen megtartott ülésen lefolytatott vitája és az akkor tett javaslatok (pl. a műszaki politika dinamikusságára és hajlékonyságára, a prioritások felépítésére, az energiaproblémákra, a hazai gépipar fejlesztésére, a műszaki politika és a kutáspolitikára összhangjára stb.). Ezeket az OT felhasználta. Ezt követte az OT által kidolgozott, „A népgazdaság hosszútávú fejlesztésének fő irányai”-val foglalkozó koncepciótervezet megvitatása. Az Osztályülés véleményét összefoglaló állásfoglalások és javaslatok jelentős részét (amelyek egy-egy népgazda-

sági ág fejlesztésével kapcsolatos elveket és tendenciákat is érintettek) az OT a tervezet átdolgozása során felhasználta.

Az MSZMP Komárom megyei Bizottságának felkérésére az Osztály komplex bizottságot szervezett a Tatabányai Szénbányák komplex ásványvagyon-felhasználására vonatkozó koncepciótervezet véleményezésére. Ebben utalt arra, hogy a fejlesztési koncepció készítésével párhuzamosan a beruházási előírásoknak megfelelő ütemben és mélységben fokozni kell a komplex nyersanyagbázis egyes komponenseinek további feltárását. Az Akadémia elnöke a szakvéleményt megküldte az érintett országos szerveknek is, amelyek hasznosították a komplex bizottság javaslatait.

Az Osztály tájékoztatta a nehézipari minisztert a 750 kV-os nagyfeszültségű összeköttetés létesítésével kapcsolatosan kialakított állásfoglalásáról. Javaslati alapján a miniszter illetékes helyettese intézkedéseket tett. — Véleményezte és konkrét javaslatokat tett a LKM acélsőgyártásának fejlesztésével kapcsolatos sorrendi változatokat elemző ÁTB-előterjesztéshez. A magyar acélsőgyártás távlati fejlesztési koncepcióját és ezen belül a csepeli csőgyár rekonstrukciójára vonatkozó KGM-előterjesztéssel kapcsolatban rámutatott a kutatási és szellemi kapacitáshiányokra, ezek megszüntetésének indokoltságára. — Az ÉVM felkérésre az Osztály véleményezte a Ráckevei-Duna és üdülőkörzet regionális rendezési és vízgazdálkodás-fejlesztési tervét, rámutatva arra, hogy a jelenlegi helyzet további romlását mielőbb meg kell állítani. — A KPM megkeresésére megvizsgálta a budapest-ferihegyi repülőtér soron levő fejlesztési elképzeléseit, és javasolta a repülőgépzajok környezetre gyakorolt hatásának vizsgálatát. — Véleményezte a népgazdaság ötödik ötéves tervéről szóló törvénytervezetet és a végrehajtására vonatkozó minisztertanácsi határozattervezetet, kiemelve azt, hogy a műszaki színvonal növelését indokolt lett volna hangsúlyosabban kifejezésre juttatni. — A Tárcaközi Bizottsághoz észrevételeket juttatott el az Európai Biztonsági és Együttműködési Értekezlet záróokmányában levő feladatokkal kapcsolatban; utalt a magyar tudósok könyvei kiadási lehetőségeinek növelésére; a kongresszusokon való részvételi arányok emelésére; az intézmények, valamint az MTA és OM kapcsolatának erősítésére.

Az Osztály — részben az Akadémia kezdeményezésére — számos minisztériumi és országos főhatósági előterjesztést, törvényt és rendelettervezetet véleményezett. Így pl. véleményezte: az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, valamint az Igazságügyi Minisztérium által közösen készített, „Az emberi környezet védelméről” szóló törvénytervezetet; „A szellemi élet vidéki centrumainak fejlesztése az V. ötéves tervidőszakban” tárgyú, építésügyi és városfejlesztési minisztériumi előterjesztést; „A budapesti agglomeráció fejlesztésével és szabályozásával kapcsolatos feladatok” c. minisztertanácsi előterjesztést; az új mérésügyi kormányrendeletet; a budapesti szemétegetőmű létesítésére vonatkozó fővárosi tanácsi javaslatot.

Az Osztály elnöke átiratban felhívta az illetékes párt- és állami vezetők figyelmét a hazai energetikai gépgyártás területén mutatkozó bizonytalanságokra.

Az Osztály nagy súlyt helyezett az OMBF-vel való kapcsolat elmélyítésére, az 1972-ben aláírt MTA-OMFB közötti együttműködést szabályozó megállapodás hatékony érvényesítésére. — Az 1973 óta igen eredményesen munkálkodó MTA-OMFB Energetikai Tudományos Bizottság mellett megszervezte az MTA-OMFB Számítástechnika Alkalmazásai Bizottságot is. Véleményezte az OMFB 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 a beszámolási időszak alatt megküldött 357 koncepció és tanulmány közül az illetékes szakcsoportok, bizottságok, illetve a felkért szakértők segítségével 83-ról készült osztályvélemény. Az utóbbi időkből szaporodott az osztályvéleményekre adott válaszok ellenészevételének száma. — Az OMFB keretében szervezett Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanács üléseire az Osztály tudományterületileg illetékes tagjait is meghívják. Ennek megfelelően az osztály érdekelt tagjai pl. 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 a tudománypolitikai bizottsági jelentés teljesebbé tételét. — Az Osztály segítséget nyújtott az OMFB-nek a műszaki tudományok 1971—1975 közötti fejlődéséről készítendő beszámolóhoz. Az Osztály az alapozó műszaki tudományok hazai fejlődéséről, az elvárásokról, az eredményekről, a fontos feladatokról készített összeállítást.

Az osztályülés a főhatóságok kutatásirányítási tevékenységéhez közvetlenül is segítséget nyújtott. Így az OVH elnökének, az Osztály tanácskozási jogú tagjának tájékoztatása alapján megvitatta a vízgazdálkodási tudományos kutatás helyzetét, különös tekintettel a kormány által jóváhagyott vízgazdálkodási távlati fejlesztési koncepcióban foglaltakra, és megállapította, hogy a Vízgazdálkodástudományi Bizottság előző években végzett helyzetelemzéseit, javaslatait az OVH eredményesen felhasználta.

Véleményezte a NIM kutatóhálózatának fejlesztési koncepcióját, többek között rámutatott a különböző kutatóbázisok munkája összehangolásának szükségességére. — Az Osztály a BUVATI-nál folyó településtudományi kutatómunka helyzetét feltárva bizottsági jelentés alapján megkereste a Fővárosi Tanács elnökét, az MSZMP KB Területi Gazdaságfejlesztési Osztályát, és számos javaslatot tett a településtudományi kutatómunkák összpontosítására, a kutatás és a gyakorlat kapcsolatának biztosítására.

Az Osztály a kutatóintézetekben szervezett osztályüléseken tekintette át és vitatta meg azok munkáját.

Az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetéről szóló előterjesztés részletes megvitatása során az intézet munkáját eredményesnek minősítette. Többek között kívánatosnak tartotta az Osztály azt, hogy az intézet még nagyobb súlyt helyezzen az ipari igényekkel összhangban álló kutatási projektek elkészítésére; az általa kifejlesztett berendezések minél szélesebb körű és népgazdasági eredményeket hozó gyártásának elősegítésére. Javasolta, hogy az egy-egy témában elért eredményeket kerekasztal-konferenciákon rendszeresen vitassák meg. — Az MTA Műszaki Fizikai Kutatóintézetének beszámolóját (a bemutatott fontosabb műszereket és a kutatási eredményeket is megismerve) szintén megvitatta az Osztály. Javasolta egy olyan tudományos helyzetelemzés kidolgozását, amely a hazai félvezető-kutatást és -adaptációt, a technológiai és a gyártási lehetőségek mai és jövőbeli helyzetét és perspektíváit tudományos objektivitással elemzi.

Az Osztály az MTA Műszaki Mechanikai Munkaközössége tevékenységét jelentősnek ítélte, és elismerését fejezte ki az 1974. október 9—10 között rendezett tudományos ülészakért. Az Osztály fontosnak ítélte, hogy a munkaközösséget mielőbb önálló akadémiai intézetté szervezzék. Javasolta annak megvizsgálását, 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 a tervezett intézethez. Az Osztály véleménye szerint meg kell teremteni a lehetőséget a jelenleg szervezés alatt álló, nemzetközi mechanikai kutatóközpont munkájába való intenzív bekapcsolódásra.

Az Osztály — a bizottságok vitái és szakcsoportok állásfoglalásai alapján — mélyrehatóan foglalkozott az MTA által támogatott egyetemi kutatóhelyek egy részének átszervezésére vonatkozó javaslattal. Állásfoglalásában a javaslatot azzal a feltétellel fogadta el, hogy az átszervezés nem hathat kedvezőtlenül az átcsoportosított tudományos munkák anyagi támogatására és fejlődésére.

Az akadémiai kutatóhálózat fejlesztési tervét a bizottságok sorozatosan megvittatták. A szakcsoportok véleményezése után foglalkozott a témával az osztályülés, és összeállította (a központi utasítás szerint) állásfoglalását a szakigazgatás, illetve a szakterületileg érdekelt illetékes főhatóság számára. E munka keretében javasolta egy 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 területeinek az eddiginél intenzívebb fejlesztését. — 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 megvalósulni.

Az egyetemi kutatóbázisokkal és az iparral való kapcsolat elmélyítése érdekében az Osztály egyik ülését a 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 eredményeiknek gyakorlati hasznosításáért, majd javaslatokat tett a további munkára, a Budapesti Műszaki Egyetemmel és az MTA Műszaki Mechanikai Munkaközösségével való kapcsolat kiszélesítésére. Az Osztály látogatást tett a Lenin Kohászati Művekben, ahol eszmecsereét folytatott az üzem vezetőivel.

Az osztály véleményezte a szakigazgatás által kidolgozott, a természet-tudományi kutatások helyzetét elemző, a Tudománypolitikai Bizottság részére készült tájékoztatót.

A beszámolási időszakban a bizottságok 26 tudományos helyzetképet dolgoztak ki, 13-at már publikáltak is a Műszaki Tudományban. (Felsoroláskat lásd az egyes bizottságoknál.) — Az Osztály 1974 óta a tudományos helyzetképek kidolgozásában egységes metodikát érvényesít, és a munkába az illetékes főhatóság képviselőit is bevonja.

Az Osztály megvitatta, kiegészítette és az elnökség elé terjesztette „A közlekedéstudományok helyzete” c. helyzetképet. A kialakított álláspont-ról az Osztály a közlekedés- és postaügyi minisztert tájékoztatta, aki a javaslatok szellemében intézkedéseket tett.

Az országos távlati tudományos kutatási tervbe felvett, az Osztályt érintő kutatási főirányok és célprogramok előrehaladásáról készült beszámolókat, mint pl. a K7.-et („Elektronikus eszközök és alkatrészek kutatása, fejlesztése” c. országos szintű kutatási célprogram), a 10.-et („A városi közlekedési hálózat területfelhasználással összefüggő fejlesztése” KPM tárcaszintű kutatási célprogram) az illetékes bizottságok megtárgyalták, és észrevételeket tettek rájuk. Az ezt követő felülvizsgálatok során számos kiegészítő javaslatot dolgozott ki az Osztály, rámutatva egyebek között arra, hogy az atomerőművek létesítésével kapcsolatos feladatokat és az energetikai és energiagazdálkodási kutatásokat indokolt lenne országos szintű célprogramokba foglalni. — Az Osztály véleményezte a K-6. sz., „A gépgyártás-technológia 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 szorosabb kooperáció volna szükséges a kutató-fejlesztő intézetek, vállalati kutatóhelyek és egyetemi tanszékek között. Hiányolta, hogy az előalakító technológiák területén nem volt kiemelkedő eredmény, holott itt várható a legnagyobb megtakarítás. Az Osztály utalt azoknak a megállapításoknak a vitathatóságára is, hogy a várható igénynövekedés és a gépgyártás-technológiai 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. Szükségessének ítélte azt, hogy a jelentést egészítsék ki az Akadémia munkáival az ESZR és MINI-ESZR hazai hardware-fejlesztésében.

A NIM atomerőmű-beruházási 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 munkájukhoz a jövőben is nyújtson segítséget.

Az Osztály számos, a BME egyes karait érintő szervezési és tantervi javaslatot vitatott meg. Így pl. megtárgyalta a BME Villamosmérnöki 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 Gépészmérnöki Karának reformtantervét. Többek között megvizsgálandónak tartotta azt, hogy a tervezett igények kielégítésére a megfelelő szakemberek rendelkezésre állnak-e. 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 Munkaközösség továbbfejlődését is. — A BME Gépészmérnöki Karán létesítendő „Termelési rendszer szak”, valamint „Géptervező szak” tantervére vonatkozó javaslatot megvitatta, azok 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. — Vélemény készült a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen tervezett géptervezői szak létesítésére vonatkozó javaslatról, az Ybl Miklós Építőipari Műszaki Főiskolán létesítendő Városgazdasági Tanszékre vonatkozó javaslatról. Az Osztály rámutatott azokra a hiányosságokra, amelyek az egyes tantárgyak tervezett felépítésében, és a tanszék feladatkörének meghatározásában mutatkoztak. — Az Osztály a felsőoktatás KISZ-szervezeteinek munkájával kapcsolatban készülő irányelvekről is véleményt nyilvánított. Ebben többek között az alapképzés színvonalának helyzetére, a kiváló hallgatókkal való foglalkozás nem kellő mértékére, a laboratóriumi ellátottság hiányosságaira mutatott rá.

A TMB-vel való kapcsolat kifogástalan; az Osztály 55 doktori minősítési ügyben adott véleményt és 14, alkotások alapján történő tudományos fokozatszerzéssel kapcsolatban közölte állásfoglalását. — Tagjai és bizottságai útján az Osztály 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 tartalmazzák.)

Az Osztály a szovjet—magyar tudományos és műszaki együttműködés 25 éves jubileumi ülészaka előadásában, rendezvényeiben jelentős szerepet vállalt.

Megtárgyalta az Akadémiai Kiadó műszaki könyv- és folyóiratkiadását és elhatározta, hogy a vizsgálatot a műszaki könyv- és folyóiratkiadás egész területére kiterjeszti. — Elemezte az Osztályhoz tartozó nemzetközi szervezetek munkáját, jelentést készített a Nemzetközi Kapcsolatok Bizottságának, 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 egyeztetik álláspontjaikat, illetve egy-egy irányelveket alakítanak ki a soron következő feladatok megoldására.

A tudományos bizottságok az ülések napirendjére tűzött tudományos témák, ágazati fejlesztési koncepciók, javaslatok, tanulmányok, tudományos helyzetképek vitáihoz 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 tudományterületük ipari kutatóintézeteinek és egyetemi kutatásainak helyzetét, kutatási terveit, számos javaslatot tettek ezek kiegészítése, illetve koordinálása tekintetében.

Egyes bizottságok egymás területeit érintő kérdésekben együttes üléseket is tartottak. Kapcsolataik az egyesületekkel is tovább erősödtek, számos közös rendezvényt szerveztek.

Az Elektrotechnikai Tudományok Szakcsoportja

A szakcsoport nagy súlyt helyezett az OTTKT-vel kapcsolatos célprogramok, jelentések véleményezésének koordinálására, 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. — Beszámolt az osztályülésein munkájáról, módszereiről, kezdeményezéseiről, az iparral való kapcsolat tapasztalatairól.

Az *Automatizálási és Számítástechnikai Bizottság* nagy súlyt helyezett „A számítástechnika alkalmazásai” c. akadémiai kutatási főirány szervezéséről és problémáiról készített jelentés megvitatására, a kutatóbázisokkal való kapcsolat kibővítésére. — Ennek érdekében egyik ülését a SZTKAKI-ban tartotta és a helyszínen is tanulmányozta az intézet tevékenységét. Ülést tartott a

A bizottsági, al- és munkabizottsági ülések

Megnevezés	1973			1974			1975		
	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban	Ülések száma	Fontosabb témák száma	Résztevők aránya %-ban
Automatizálási és Számítástechnikai Bizottság	4	8	65	4	7	55	4	8	62
Rendszertechnikai Albizottság	1	1	70	3	3	60	3	3	65
Számítástechnikai Albizottság	—	—	—	—	—	—	2	1	70
Elektronikus Eszközök Bizottság	3	7	70	3	4	60	3	6	56
Munkabizottság	1	2	86	2	1	100	1	1	100
Albizottság	—	—	—	—	—	—	1	1	100
Elektrotechnikai Bizottság	2	2	70	7	5	80	2	2	60
Közvetlen Energiaátalakítási Bizottság	2	5	50	3	8	60	3	7	52
Távközlési Rendszerek Bizottság	2	3	62	3	4	70	2	3	62
Áramlás és Hőtechnikai Gépek és Berend. Bizottság	3	3	70	2	4	70	3	3	75
Vegyipari Gépek Albizottság	3	1	80	3	1	80	3	1	80
Hidraulika Munkabizottság	1	1	80	3	2	90	3	2	90
Pneumatikus és Fluid. Anyagmozg. Munkabizottság	3	1	80	2	1	80	3	2	80
Gőzturbina Munkabizottság	3	2	90	3	2	90	2	1	90
Áramlástechnikai Albizottság	—	—	—	1	1	70	4	4	70
Diesel-mot. Albizottság	—	—	—	1	1	80	4	3	90
Elméleti Technológiai Bizottság	1	4	75	2	4	65	4	10	70
Gépszerkeztani Bizottsággal együttes ülés	—	—	—	3	1	70	6	1	100
Szervező Bizottság ülés	—	—	—	2	1	70	—	—	—
Fémszerkeztani Bizottság	3	3	75	2	3	70	2	3	70
Munkabizottság	4	1	100	3	1	100	5	1	100

3	Gépszerkeztani Bizottság	5	7	71	5	8	70	7	9	73
	Hőenergetikai Bizottság	4	5	85	5	5	80	4	4	90
	Metallurgiai Bizottság	2	3	65	3	6	70	2	4	65
	Szál- és Rosttechnológiai Bizottság	3	10	70	3	10	70	3	10	70
	Szál- és Rostkémiai Albizottság	2	11	75	1	14	75	1	13	80
	Szál- és Rostfizikai Albizottság	1	3	70	2	3	72	1	4	75
	Építészettörténeti és Elméleti Bizottság	2	5	64	4	9	65	4	7	69
	Műemlékvédelmi Albizottság	1	3	70	1	3	75	1	4	75
	Építészettörténeti Albizottság	—	—	—	1	2	70	—	—	—
	Építészettudományi Bizottság	5	9	70	4	6	66	2	4	65
	Közlekedéstudományi Bizottság	4	8	68	6	12	60	8	15	64
	Vasúti Albizottság	2	3	65	3	4	56	3	4	56
	Közúti és Városi Közlekedési Albizottság	2	2	63	2	2	56	2	2	63
	Hajózási Albizottság	2	3	90	2	3	85	2	4	60
	Műszaki Mechanikai Bizottság	2	1	79	4	4	82	4	4	71
Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság	3	3	80	4	5	60	4	8	60	
Településtudományi Bizottság	5	7	85	3	5	85	3	8	80	
Vízgazdálkodástudományi Bizottság	3	4	70	3	4	65	3	3	55	
Vízgazdálkodástudományi Albizottság	10	11	70	10	18	60	10	15	70	
MTA-OMFB Energetikai Tudományos Bizottság	2	2	65	3	3	65	2	2	70	
MTA-OMFB Számítástechnika Alkalmazásai Bizottság	—	—	—	2	3	80	2	4	75	

BME Villamos Karának Műszer- és Méréstechnikai Tanszékén, továbbá a Műszeripari Kutatóintézetben is. A III. osztály Számítástudományi Bizottságával együttesen meglátogatta a VIDEOTON székesfehérvári gyárát (a hazai számítógépgyártás központját), a Szegedi Egyetemet és az INFELOR Rendszer-technikai Vállalatot. A kutatóintézetek és a tanszéki kutatócsoportok beszámolóinak meghallgatása és megvitatása alapján a bizottság arra következtetésre jutott, hogy a beszámolási időszakban javult a tudományos kutatás és a gyakorlat kapcsolata, az e téren elért haladás azonban még nem kielégítő.

A Számítástechnikai Albizottság a magyar számítógépgyártás egyik legaktuálisabb kérdésével, az R-10 számítógép irányítástechnikai és real-time alkalmazásának elemzésével foglalkozott, és erről részletes állásfoglalást adott.

A Műszaki-Gazdasági Rendszertechnikai Albizottság 1974 májusában termelésirányítási ankétot, 1975 júniusában számítógépes rendszerszimuláció szimpóziumot rendezett. A bizottság szoros kapcsolatot tartott a szakterület tudományos egyesületeivel, az ezek működéséről készített beszámolókat megvitatta.

Az *Elektronikus Eszközök Bizottsága* megvitatta és véleményezte a KGMTTI: „A híradás- és vákuumtechnikai ipar hosszútávú prognózisa”; az MHE: „Az elektrotechnikai ipar technológiai fejlődése”; az OMF: „Nagy integráltságú (MSI, LSI) áramkörök; az OMF: „Félvezető eszközök és integrált áramkörök fejlesztése és gyártása” c. anyagokat. Észrevételeit és javaslatait az Osztály útján az illetékeseknek eljuttatta. Munkabizottságok közreműködésével kidolgozta az „Optoelektronikai eszközök fejlődése” c. tudományos helyzetképet és az „Integrált áramkörök megbízhatósága” c. tudományos beszámolót. — Egyik ülését a Központi Fizikai Kutatóintézetben tartotta, ahol áttekintette az ott folyó félvezető- és memóriakutatásokat. A HIKI-ben tartott ülésen foglalkozott a bizottság a nem akadémiai kutatóhálózat fejlesztésével is az elektronikus eszközök kutatása területén.

Az *Elektrotechnikai Bizottság* munkáját a számítástechnika erősáramú iparban való alkalmazásának helyzetelemzésére, prognózisának kialakítására összpontosította. E program keretében megvitatta a „Számítógépek alkalmazása a villamosenergiaiparban” és a „Számítógépek alkalmazása a nagyfeszültségű technikában” c. anyagokat. „A nagy villamosvezetékek problémái, különös tekintettel a létesítendő hazai 750 kV-os vezetékekre” c. előadásra támaszkodva álláspontot alakított ki a kérdéskomplexummal kapcsolatban. Megvitatta a csőkalickás motor üzemi használhatóságának problémáit, és javaslatokat tett a csőkalickás motor gyártása körül mutatkozó nehézségek elhárítására.

A *Közvetlen Energiaátalakítási Bizottság* megvitatta a tüzelőanyag-elem, a napfényelem és a hővillamos-elem kutatásának helyzetét, az EGD-generátorokról készített helyzetképet. Irányítóan részt vett az „MHD-plazma vizsgálatára szolgáló módszerek és mérőkészülékek kifejlesztése” (a VKI-ban az

MTA—OFMB által közösen finanszírozott) kutatás vitelében, közreműködött a „Kémiai Áramforrások” c. OMFB-konceptió kialakításában és megvitatásában. — A KGST Tudományos-Műszaki Együtműködési Állandó Kormánybizottság Titkársága számára a közvetlen energiaátalakítási eljárások kutatási munkáinak témakörében a bizottság véleményt alakított ki, és a hazai kutatásra vonatkozóan javaslatokat tett. Kidolgozta „Az MHD-generátorkutatás helyzete”, „A SZUTA Magashőmérsékletű Intézetével közösen végzett hazai vizsgálatok” és a „Kémiai áramforrások és alkalmazásuk perspektívái” c. helyzetképeket. Az utóbbi megvitatásába bevonta a VII. osztályhoz tartozó Elektrokémiai Munkabizottságot is. Megállapította, hogy a kémiai áramforrások kutatásának összehangolása céljából javasolt projektumirányítás hazai viszonylatban úttörő jellegű elképzelés, tartalmi és szervezeti kérdéseit szakértői kollektívával kell kidolgozni.

A Távközlési Rendszerek Bizottsága megtárgyalta és elfogadta a „Távadattfeldolgozó hálózatok” c. tudományos helyzetképet, publikálását elindította. A KPM 14—17. sz. tárcaszintű kutatási célprogramjaival kapcsolatban a posta vezérigazgatójának részvételével egyeztető munkát végzett, majd megvitatta a posta- és távközlés-fejlesztési 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. Az iparral való kapcsolat elmélyítése érdekében a bizottság 1974-ben egyik ülését a Telefongyárban, 1975-ben pedig a Beloianisz Híradástechnikai Gyárban tartotta. A bizottság tagjai a helyszínen megismerték a gyárak fejlesztési elképzeléseit, a laboratóriumok munkáját és együtműködési (kooperációs) kapcsolatait. Az ipari kutatóintézetek munkájának közvetlen megismerése érdekében ülést tartott a bizottság a Postakísérleti Intézetben és a Híradástechnikai Ipari Kutatóintézetben is.

A Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportja

A szakcsoport a bizottságok munkájának irányítását, koordinálását és a kutatóbázisok tudományos tevékenységének folyamatos áttekintését tekintette elsőrendű feladatának. — Hathatósan elősegítette a tárcáktól irányított kutatási programok, fejlesztési koncepciók sokoldalú, koordinált megvitatását. — Javaslatot dolgozott ki az egyetemi tudományos tevékenység felülvizsgálatának módszerére.

Az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek és Berendezések Bizottsága kidolgozta és megvitatta a „Tüzelőberendezések és vegyipari léghűtő berendezések ventilátorai”, a „Hidraulikus erőátvitel”, az „Olajtüzelő berendezések”, az Ipari porleválasztással és porméréssel kapcsolatos hazai kutatások”, a „Vegyipari

léghűtőberendezések” c. tudományos helyzetképeket, melyek nagy része már megjelent a Műszaki Tudományban.

Al- és munkabizottságai bevonásával az áramlástechnikai kutatások területén megvitatta a hazai kavitáció-kutatás eredményeit; gőzturbinák szabályozó fokozatai áramlási viszonyainak vizsgálatát; ventilátor járókerekek határréteg vizsgálatát; keresztáramlású ventilátor áramlástanai sajátosságait; továbbá a vízturbinagyártás és fejlesztés időszaki kérdéseit. Áttekintette a vegyipari gépgyártás és vegyipari gépészeti kutatások helyzetét; a magyar — szovjet egységes autóbuzs család fejlesztési tervét és a kombinált feltöltés alkalmazását Diesel-motorokon, továbbá az emissziós és zajproblémákkal foglalkozó környezetvédelmi kutatások hazai eredményeit.

Az Elméleti Technológiai Bizottság folyamatosan figyelemmel kísérte a K6. „A gépgyártástechnológia kutatása-fejlesztése” c. országos szintű kutatási célprogram keretében az egyetemi tanszéki kutatóhelyeken folyó kutatásokat. Két budapesti és egy miskolci ülésen összesen hét témabeszámolót vitatott meg, javaslatokat tett ezek továbbvitelével kapcsolatban. Sok éve fennálló igényt elégített ki a Gépszerkezettani Bizottsággal közösen szervezett, „A korszerű konstrukció és technológia kölcsönhatása” c., nagy sikerrel lezajlott jubileumi ülészak megrendezése és lebonyolítása. — A bizottság megvitatta a KGM „Forgács nélküli alakító szerszámok” és „Forgácsolószerszámok” c. tanulmányát, valamint az OMFB „Teendők a magyar gyártású, számjegyes vezérlésű szerszámgépek forgalmának növelése érdekében” c. és a „Hazai gépipar technológiája” c. tanulmányát.

A Fém szerkezettani Bizottság nagy gondot fordított az egyetemi és ipari kutatóhelyekkel való kapcsolat kiszélesítésére, eredményeinek megvitatására. Üléseket tartott a Vasipari Kutatóintézetben, a NIME Fém-tani és Öntészeti Tanszékén, a BME Villamosipari Anyagtechnológiai Tanszékén. A bizottság keretében egy-egy munkabizottság kidolgozta a „Melegen dolgozó szerszám-acélok” és „A korrózióknak ellenálló acélfajták különleges korróziós jelenségei” c. tudományos helyzetképeket, amelyeket a bizottság megvitatott. A bizottság részt vett az OMBKE által Balatonszéplakon 1973-ban rendezett VII. és az 1975-ben rendezett VIII. kohászati anyagvizsgáló napok megszervezésében, programjának kidolgozásában.

A Gépszerkezettani Bizottság többek között a következő fontosabb témákat tárgyalta: a nagy sebességű rotorok dinamikai stabilitása; a tribológia és az ágyazás határproblémái; a fogaskerék bolygóművek alkalmazási problémái; a Hertz-feszültségre való méretezés gyakorlati problémái; — kontinuumok finitizálása sajátfrekvenciák számítására. Az Elméleti technológiai Bizottsággal „A korszerű konstrukció és a technológia kölcsönhatása” tárgyban kétnapos rendezvényt tartott.

Az Áramlás- és Hőtechnikai Gépek és Berendezések Bizottsággal együtt a „150 éves az MTA” jubileum keretében megemlékezett a két tudományterü-

let két jeles személyiségéről, Bánki Donát (1859—1922) és Pattantyus Á. Géza (1885—1956) akadémikus professzorokról. — Kidolgozta és több alkalommal megvitatta „A gépszerkezettan nemzetközi helyzete és fejlődési irányai a világon és hazánkban” c. tudományági helyzetképet. — A bizottság előző években végzett munkája a gépszerkezettan egyetemi oktatására is eredményes befolyást gyakorolt, és hozzájárult a BME-n és a NME-n 1974-ben meginduló gépkonstruktor-képzés kialakításához.

A Hőenergetikai Bizottság megvitatta „A világ energiagazdálkodási vonatkozásai” c. tanulmányt és „A magyar villamosenergia-rendszer távlati terve”-t. „Az energetikai folyamatok hatása a környezetre” c. helyzetkép kidolgozását egy e célra szervezett albizottság tanulmányai „Az energetikai folyamatok hatása a környezetre Magyarországon” készítették elő. Az ezek vitája után készült összefoglalót szintén megtárgyalta. Kiemelten foglalkozott a bizottság a hazai erőművi gépgyártás perspektíváival és előterjesztést tett a hazai erőművi gépgyártás jövőjének további vizsgálatára.

Az OMFB-vel való szoros kapcsolatát tükrözi „Az energiagazdálkodás komplex vizsgálata”, „A hazai szénbányászat perspektívája”, „Az energiahordozók közötti gazdaságosság irányelvei”, „A világ energiahelyzetében bekövetkezett változtatások energiagazdálkodási vonatkozásai” c. tanulmányok bizottsági vitája. Állásfoglalásaiban a bizottság többek között utalt arra, hogy az energiahordozók árának növekedése viszonylagosan elmaradt az energetikai beruházások költség szintjének növekedésétől, s az így a felbomló egyensúly a fogyasztókat helytelenül orientálja. Ez komoly zavarokat okozhat az iparági tervezés során. A bizottság folyamatosan figyelemmel kísérte a területéhez tartozó egyetemi kutatóhelyek és ipari kutatóintézetek munkáját, részletesen elemezte a miskolci Tüzeléstechnikai Kutatóintézet és a Villamosenergia-ipari Kutatóintézet tudományos tevékenységét.

A Metallurgiai Bizottság megvitatta a vasmetallurgiai tudományok hazai fejlesztési irányait determináló vaskohászati iparfejlesztés koncepcióit; elemezte a fémmetallurgia hazai fejlesztési irányait determináló alumíniumipari, színesfémkohászati és ritkafémkohászati fejlesztési lehetőségeket, a távlati kutatásokat, illetve a kapcsolódó kutatási irányokat. Felülvizsgálta és megvitatta vaskohászati nagyüzemeink (DV, LKM, ÓKÜ), illetve a Vasipari Kutatóintézet vasmetallurgiai kutatási tevékenységét, és a hazai vaskohászatra váró feladatok szem előtt tartásával javaslatokat tett a kutatómunka továbbfejlesztésére, a vaskohászat távlati fejlesztését szolgáló tárcaszintű kutatási célprogram kialakítására, a központi támogatás fokozására és koordinálására. — Üléseit a Dunai Vasműben, a Vasipari Kutatóintézetben, a Fémipari Kutatóintézetben és a Nehézipari Műszaki Egyetemen tartotta.

A Szál- és Rosttechnológiai Bizottság a Könnyűipari Minisztérium felkérésére (munkabizottság közreműködésével) tanulmányt készített „A könnyűipari kutatóhelyek személyi és anyagi követelményeinek felmérésére és

kidolgozására". Megtárgyalta az OMF B szerepét és terveit a szál- és rosttechnológiai tudományterületen; megvitatta a hazai vegyiszálgyártást; a hazai lombosfák felhasználását a cellulózgyártásban; a hazai műbőrgyártás megoldandó problémáit; meghallgatta a KipM illetékeseinek beszámolóit a tudományterületen folyó kutatásról; szorosán együttműködött velük a hazai szál- és rostkutatás ötödik öt éves tervidőszakbeli, illetve távlati kutatási terveinek, kiemelt kutatási feladatainak meghatározásában. Elkészítette a textil- és ruházati ipar helyzetképét; megkezdte a cellulóz- és papíripari, illetve bőr- és cipőipari helyzetképek elkészítését. — A bizottság és az albizottságok néhány ülését a tudományterület egyes ágazatait képviselő nagyvállalatokkal közösen szervezte (Papíripari V., Lenfonó és Szövőipari V., Magyar Selyemipari V. Magyar Viscosa Gyár). Ezek az üléseken megvitatta a vállalatok kutató-fejlesztő tevékenységét és műszaki fejlesztési problémáit is. Javaslatokat tett a kutatások koncentrálására, a főbb irányok meghatározására.

A Mérnöki, Építészeti és Közlekedési Tudományok Szakcsoportja

A szakcsoport folyamatosan egyeztetette a bizottságok munkaterveit, és felhívta őket arra, hogy a komplex kérdéseket együttes üléseken vitassák meg. Kiterjesztette a bizottságoknak azt a gyakorlatát, hogy az ágazati kutatási célprogramokhoz hasonlóan a koncepciókat is az illetékes tárca, főhatóság felelősei ismertessék. — Nagy gondot fordított az ipari kutatóintézetek kutatási tevékenységének megvitatására, az ágazati főhatóságokkal való kapcsolat kiszélesítésére.

Az Építészettörténeti és Elméleti Bizottság az építészettörténet hazai művelésének helyzetét sokrétűen elemezve javaslatokat dolgozott ki az építészettörténeti kutatások irányítására és a posztgraduális képzés megváltoztatására nézve. A Nyugati pu. csarnokszerkezetének rekonstrukciójával kapcsolatban megfelelő munkamódszerre hívta fel az ÉVM- és a KPM-miniszternek, valamint a Fővárosi Tanács elnökének figyelmét. — Rendszeresen figyelemmel kísérte a műemlékvédelmi elméletet és gyakorlatot. A vértesszentkereszti, majki, tatai, óbudai, mihályi, nagycenki, hidegségi és soproni műemlék-helyreállításokból a hazai műemlékvédelmi gyakorlat egészére hasznos megállapításokat szűrt le, s azokat az OMF B és a főváros műemlékvédelmi szakembereivel közölte. — Tudományos felmérést kezdeményezett a hazai kőtárak helyzetéről, a további vizsgálat folyamatban van, annak nyomán helyzetkép készül. — Kezdeményezte a népi műemlékek felmérésére, feldolgozására és lehető megvédésére a Népi Építészet Tárát, a legújabb kori műemlékek védelmének módszertani megvitatását. Az új műemlékjegyzékhez összeállította a budapesti 19. és 20. századi építészeti emlékek jegyzékét.

Az Építésztudományi Bizottság az ÉVM illetékeseinek jelenlétében megtárgyalta és véleményezte „Az építő- és építőanyagipar műszaki fejlesztési koncepciójának elveit az ötödik ötéves terv időszakára” és „Az építésügyi ágazat ötödik ötéves tervidőszaki műszaki fejlesztés politikai koncepcióját”-t. — Megvitatta az építésztudományról készített helyzetképet. Folyamatosan részt vesz az ÉVM tudományos kutatási koncepcióinak kidolgozásában és továbbfejlesztésében.

Megtárgyalta a bizottságból 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 tíz OMFB-tanulmányról készített véleményt, s plenáris ülésén megvitatta „A magánlakás-építés fejlesztése” c. anyagot.

A Közlekedéstudományi Bizottság az albizottságok előkészítő munkája alapján megvizsgálta a KPM kutatási-fejlesztési célprogramjait, javaslatokat tett kiegészítésükre. Több ülésen megvitatta azt a közlekedéstudományi helyzetképet, amellyel kapcsolatban (az elnökségi vita határozatait figyelembe véve) az Osztály útján a közlekedés- és postaügyi miniszternek javaslatokat tett. 1974-ben együttes ülést tartott a Településtudományi Bizottsággal, amelyen a közlekedés- és a településtudomány kapcsolódó kérdéseit vitatták meg. A két bizottság döntése alapján 1975. október 9-én a Magyar Urbanisztikai Társaság közreműködésével „Az összehangolt településfejlesztés és közlekedésfejlesztés időszerű feladatai” címmel szakmai vita folyt, ami a két területen szükséges együttműködést jelentősen elősegítheti. — A bizottság a közlekedéstudományok helyének, tartalmának és sajátosságainak tisztázására 1975-ben Gyöngyöstarjánban kerekasztal-konferenciát rendezett. Több ülésen tárgyalta a BME Közlekedéstudományi Tanszéki Munkaközösség és a Közlekedési és Távközlési Műszaki Főiskola kutatásaival kapcsolatos beszámolókat. — Tevékenyen részt vett az Osztály által rendezett 1975. évi Széchenyi-emlékülés előkészítésében.

A Vasúti Közlekedési Albizottság rendszeresen megtárgyalta a Vasúti Tudományos Kutatóintézet, valamint a BME és a KTMF egyes tanszékeinek tudományos kutatási terveit és a kutatási tervek teljesítését.

A Közúti és Városi Közlekedési Albizottság minden évben megtárgyalta a Közúti Közlekedési Tudományos Kutatóintézet tematervét és több ülésen foglalkozott a KPM 5. sz. Úthálózatfejlesztési és a 10. sz. Városi közlekedésfejlesztési célprogrammal.

A Hajózási Albizottság számos vízügyi, hajóépítési és hajózási kérdést vitatott meg.

A Műszaki Mechanikai Bizottság a következő három tudományos helyzetképet dolgozta ki és vitatta meg: „Szendvicsszerkezetek mechanikájának kutatási eredményei”; „A műszaki mechanikai kutatások hazai helyzetképe”; „Finit módszerek főbb hazai kutatási eredményei”. A helyzetképekből levont következtetéseket az illetékesek figyelmébe ajánlotta, a publikációk folyamatban vannak. — Megtárgyalta az előregyártott szerkezetek minősítését, a panelházak méretezési problémáit, valamint a beton lassú alakváltozás-hatásának számítását, és ajánlásokat tett. Az OTTKT fő irányai vonatkozásában a bizottság a műszaki mechanika területén a kutatási témák ellenőrzésében, a kutatóhelyek együttműködésében és a kutatási témák irányának megfelelő kialakításában tevékenykedett. Megvitatta a „Mechanikai mennyiségek és fogalmak jelölése és elnevezése” kérdését, javaslatot tett arra, hogy az egyetemi oktatásban bizonyos egységesítést vezessenek be ezen a területen. — Aktívan részt vett a II. Magyar Mechanikai Konferencia szervezésében.

A Talaj- és Kőzetmechanikai Bizottság több alkalommal megvitatta és javaslatokkal kiegészítette az ÉVM „Alapozások fejlesztése” tárgyú célprogram tervezetét. Irányította a geotechnikai tudományos helyzetkép kidolgozását. Több, a geotechnikai gyakorlatot érintő tudományos kérdést vitatott meg, így pl.: a szondázással való talajfeltárást; az alapozással kapcsolatos kutatások célszerű irányvonalát; egy 50 éves bibliográfia megjelentetését. — A bizottság rendezésében került sor a BME Geotechnikai Tanszékén három olyan előadásra, melyet neves szovjet professzorok tartottak talajmechanikai kérdésekről. — A bizottság szoros kapcsolatot tartott fenn a Talajmechanikai és Alapozási Nemzetközi Egyesület magyar nemzeti bizottságával, két ízben együttes ülésen vitatva meg az időszerű feladatokat.

A Településtudományi Bizottság hét alkalommal tett előterjesztést, illetve javaslatot felsőbb szerveknek, többek között „A településtudomány tudománypolitikai problémái, különös tekintettel az MSZMP KB tudománypolitikai irányelveiből tudományterületünkre, illetve bizottságunkra váró feladatok” c. témában. (A tanulmányt publikálták.) Számítástechnikai vonatkozású ajánlásokat juttatott el az ÉVM-nek, illetve az OM-nek. A „Városaink közműellátottsága, a közműrendszerek fejlesztésének problémái” c. témakörben az ÉVM-hez juttatta el álláspontját a bizottság a közműellátottság pontos meghatározását biztosító adatbázis nyilvántartási kérdéseivel, a közműfejlesztéssel összefüggő tervező és kutatómunkával, továbbá a komplex közműfejlesztéssel összefüggő szakemberképzés problémáival kapcsolatosan.

A Magyar Urbanisztikai Társasággal közösen foglalkozott a koncentrált lakástelepítés problémáival, majd a városépítés ökonómiai vetületeivel. A Közlekedéstudományi Bizottsággal 1975-ben közösen rendezett szakmai értekezleten az urbanizáció és a közlekedésfejlesztés problémáit vitatták meg. A bizottság ajánlásait megküldte az egyes témákban érdekelt kormányzati szerveknek. — Két alkalommal foglalkozott a Városépítési Tudományos és Tervező-

intézetben és a Budapest Városépítési Tervezővállalatnál folyó regionális és városrendezési tervezéssel kapcsolatos településtudományi kutatásokkal és azok problémáival. Mindkét intézménynél tartott ülésén a bizottság konkrét ajánlásokat tett a településtudományi kutatások fejlesztésére, a kutatási eredmények felhasználásának hatékonyabbá tételére és gyakorlati hasznosítására. — Figyelemmel kísérte és véleményezte a BME Városépítési Tanszékén folyó településtudományi kutatásokat. Ezek során megvitatta „A magyar városok szerkezete, jellege és kialakulása” c. kutatási feladatot, s a vele kapcsolatos opponensi véleményét publikálta a Településtudományi Közleményekben.

A Vízgazdálkodás-tudományi Bizottság sokrétű előkészítő munka után több ülésén vizsgálta meg a vízgazdálkodás-tudomány helyzetét, és tett javaslatokat az OVH részére. Kidolgozta a vízminőségvédelmi, valamint az evapotranspirációs kutatások helyzetképét, melyeket az illetékes szervek igen jól hasznosítottak. — Tevékenyen részt vett az LAHR és PIANC nemzetközi szervezet rendezvényeiben; közreműködött a Hidrológiai Társaság által rendezett, „A másodlagos szennyeződés problémája az ivóvízellátásban” c. kétnapos szemináriumon. Albizottságai 44 tudományos kérdést vitattak meg; pl.: a szivárgási tényező vizsgálatának újabb eredményei; a hasznosítható felszín alatti vízkészletek számbavétele; a harmadik szennyvíztisztítási fokozat jövője Magyarországon; a dunai és tiszai árhullámokat okozó időjárási és csapadékrendszerek; az öntözőrendszerek elemzése vízgazdálkodási szempontból; egyes vízepítési műtárgyak felülvizsgálatának tapasztalatai; a fizikai, kémiai és mikrobiológiai vízminőség alakulása és az azt befolyásoló tényezők a vízelosztó rendszerben; a Balaton vízminősége; a gépi esőztető öntözés kérdései.

A Szilárdtest-fizikai Komplex Bizottság munkájának értékelését a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályának beszámolója tartalmazza.

Az MTA—OMFB Energetikai Tudományos Bizottsága az energetikában érdekelt állami szervek (OMFB, OT, NIM, KGM, OVH) miniszterhelyettesi szintű vezetőinek, az MTA VI., III., IX., és X. osztály képviselőinek közreműködésével több, jelentős kihatású távlati energetikai kérdésben elfoglalt álláspontja jól egészítette ki az 1974 elején kormányhatározattal létrehozott, a nehézipari miniszter vezetésével működő Energiapolitikai Tanács munkáját. Így megvitatta „Az energetika fejlesztésének fő irányelvei 1990-ig” c. anyagot. Az atomerőművek részarányának növekedése a villamosenergia-termelésben nálunk is szükségyszerű tendencia, aminek következtében különös jelentőséggel kerül előtérbe az energetikai gépgyártás további fejlesztése és az atomerőmű-építés hazai ipari hátterének létrehozása. — „A VI. ötéves terv erőmű-építési programja” c. NIM-anyag megvitatása során több lehetőség megvalósításának, helyes ütemezésének kellő mélységű vizsgálatok utáni eldöntéséhez alakított ki szempontokat. — „A hazai erőművi gépgyártás perspektívái” c. előterjesztéssel kapcsolatban a bizottság egyöntetű véleménye szerint a nem-

zetközi 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. A bizottsági vita eredményeként a bizottság elnöke valamint az OMFB általános elnökhelyettese levélben fordult az Állami Tervbizottság érdekelt tagjaihoz, és tolmácsolták a bizottság vitaülésén kialakult véleményeket. Az érvelés hatást gyakorolt a hazai turbinagyártás kérdésében hozott döntésben, valamint a távlati erőműépítés egyes problémáival kapcsolatos határozatokban. — A bizottságnak egy Energetikai Kutatócsoport létesítésére vonatkozó javaslatát ez ideig nem sikerült megvalósítani.

Az MTA—OMFB Számítástechnika Alkalmazásai Bizottság tevékenységi körének megfelelően fontos szerepet töltött be a K-3-as országos szintű kutatási célprogram beszámoló jelentéseinek, közép- és hosszútávú terveinek érdemi megvitatásában. Napirendre tűzte a hazai számítástechnikai alkalmazás szempontjából egyik leglényegesebb komplex területnek, az R-10-es számítógéprendszernek működési tapasztalataival foglalkozó vizsgálatát. Ezzel kapcsolatosan tájékoztató füzetet is készítettett, amely az R-10 számítógép bemutatóján szereplő előadások összefoglalóit tartalmazta. — Szoros kapcsolatot tartott fenn a területéhez tartozó kutatási főirányokkal (szilárdtestek kutatása, MTA és EüM-főirányokkal stb.), valamint célprogramokkal (elsősorban a K-6: A gépgyártástechnológia kutatása-fejlesztése, a K-7: Elektronikai alkatrészek kutatása-fejlesztése, a K-8: Hírközlő rendszerek és berendezések kutatása-fejlesztése célprogramokkal), továbbá mintegy 10 tárca több mint 20 ilyen irányú célprogramjával.

4. Nemzetközi kapcsolatok

Az Osztály megvizsgálta és elfogadta a szakcsoportok jelentéseit a nemzetközi szervezetek magyar bizottságainak munkájáról. Javasolta, hogy a bizottságok tevékenységüket terjesszék ki a nemzetközi fórumokon felmerült fontosabb kérdések hazai ismertetésére is.

A magyar és szovjet akadémia közös kiadásában megjelenő *Problems of Control and Information Theory* c. folyóirat rendszeres megjelenése jelentős mértékben segíti a szakterületen működő szakemberek közötti rendszeresebb együttműködést.

A közeljövőben jelenik meg a szocialista országok akadémiainak közös kiadásában „*Mechanika Sikerei*” c. nemzetközi folyóirat.

A *Nemzetközi Automatika Szövetség (IFAC)* magyar nemzeti bizottsága 1974-ben rendezte meg Budapesten az IFAC Stohasztikus Irányítás szimpó-

ziumot, melynek nagy nemzetközi sikerét az is mutatja, hogy a végrehajtó bizottság határozata szerint az IFAC 1984-es világkongresszusát hazánk rendezheti meg. — Az IFAC VI. kongresszusán öt magyar előadás hangzott el. Előkészítésüket, véleményezésüket a bizottság végezte. A bizottság a nemzetközi szervezetben jelentős szerepet visz.

A Nemzetközi Világítástechnikai Szövetség (CIE) magyar nemzeti bizottsága mind a nemzetközi szervezeten belül, mind a szocialista országok CIE képviselőiteiben jelentős szerepet tölt be. — A CIE legfelső irányítószervének, a nyolc tagú Action Committee-nak magyar tagja is van. — A szövetség részére a spektrodimetria, a lumineszcencia-vizsgálatok, a színmérés és az általános világítástechnika tárgyában készített a bizottság előterjesztést. A bizottság irányításával került sorra Budapesten a TC-4.6 „Közutak világítása”; a TC-2.3 „Fénytechnikai anyagok”; a TC-3.5 „Világítás és kellemes környezet”; a TC-3.2 „Színvisszaadás” bizottságok üléseire. — Közreműködött a „Világítás jövője” címmel, 1974-ben megtartott budapesti konferencia megszervezésében.

A Nemzetközi Vákuumtechnikai Unió (IUVSTA) magyar nemzeti bizottsága arra törekedett, hogy a magyar ipar és tudomány szempontjából értékesíthető módon felmérje, és áttekinthető módon leírja a vákuumtudományok és -technika eredményeit, megismertesse a külföldön tapasztalható fejlődést. — Igen nagy nemzetközi érdeklődés mellett rendezte meg az 5. Vákuumfizikai Iskolát. Az előadások anyaga könyv formájában is megjelent.

A Nagy Villamoshálózatok Nemzetközi Konferenciája (CIGRE) magyar nemzeti bizottsága a két évenként Párizsban megtartásra kerülő plenáris ülésekre kiküldendő magyar tanulmányok megvizsgálására és a plenáris üléseken részt vevők tevékenységének koordinálására koncentrálna munkáját. A bizottság a CIGRE egyik vezető testületének, az „Administrative Council”-nak tagja. A bizottság tevékenyen részt vett az 1975-ben a 15. sz., a szigetelőanyagokkal és szigetelésekkel foglalkozó szekció permanens vezetősége és az őt, közvetlenül ez alá rendelt munkabizottság budapesti éves rendes ülésének megszervezésében.

A Nemzetközi Tudományos Rádióunió (URSI) magyar nemzeti bizottsága az URSI átszervezésével kapcsolatban végzett munkája során elkezdte a szocialista országok URSI nemzeti bizottságainak koordinálását, elkészítette a hazai tudományos eredmények összeállítását a Review of Radio Science 1972—1974 számára. Ez is elősegítette, hogy az 1975-ben lezajlott XVIII. közgyűlésen a szocialista országok részéről megfelelő számú URSI-tisztségviselő megválasztására került sor, és hazánk képviselője is be tudott kapcsolódni az URSI ideiglenes és állandó bizottságainak munkájába. A bizottság elkészítette az „IEEE Transactions on Communication” folyóirat számára a „Távközlés Európában” c. összeállítás hazai anyagát. — Összeállítást készített a villamos etalonokkal kapcsolatos hazai helyzetről. — Közreműködésével

került sor az V. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium megrendezésére Budapesten.

A Rendszerelméleti és Kibernetikai Világszervezet (WOGSC) magyar nemzeti bizottsága a rendszermechanika és gyakorlatának hazai áttekintése után első feladatának a magyar tudományos eredmények publikálásának elősegítését tekintette, amit aktuálissá tett a WOGSC-nek 1975. augusztus 25—29 között Bukarestben megrendezett harmadik nemzetközi kongresszusa. A kongresszusra beérkezett 19 előadás tematikáját felülvizsgálta, rangsorolva megküldte a szervező bizottságnak, amely nyolc előadást el is fogadott.

A Gépek és Mechanizmusok Elmélete Nemzetközi Szövetségének (IFTOMM) magyar nemzeti bizottsága a Gépszerkezettani Bizottság keretében négy albizottsága segítségével működik. Előkészítette az 1975. szeptember 8—13 között megtartott 4. IFTOMM-világkongresszuson való részvételt, több tag tevékenyen részt is vett ennek munkájában.

A Törésmechanikai Kongresszus (ICF) magyar nemzeti bizottsága arra törekedett, hogy a törésmechanika iránti hazai érdeklődést serkentse, és a problémakörrel foglalkozni kívánó szakembereket összefogja. Ennek érdekében anyagvizsgáló szakmérnöki tanfolyam indult, amelyen a törésmechanika jelenlegi helyzetét ismerték meg a résztvevők. — A bizottság szervezte meg az V. Korszerű Méretezési Konferenciát, amely igen nagy nemzetközi sikert és elismerést aratott.

Az Energia Világkonferencia (WEC) magyar nemzeti bizottsága több alkalommal foglalkozott az 1974. évi IX. Energia Világkonferencia előkészítésével, a kiküldendő anyagok véleményezésével. A WEC-től rendszeresen kapott műszaki és tudományos anyagokat tagjain keresztül juttatja el a hazai fórumoknak, amelyek hasznosítják őket.

A Nemzetközi Elméleti és Alkalmazott Mechanikai Unió (IUTAM) magyar nemzeti bizottsága bekapcsolódott az IUTAM által támogatott regionális mechanikai szervezetnek, az Európai Mechanikai Kollokviumokat Szervező Bizottságnak (EUROMECH) munkájába. Ennek eredményeként két, hazánkban megrendezendő EUROMECH nemzetközi kollokvium szervezése indult meg. — A bizottság az MTA illetékes bizottságaival, valamint a GTE-vel és az ÉTE-vel együtt 1975 őszén Miskolcon megrendezte a II. Magyar Mechanikai Konferenciát. Ez lehetővé tette a hazai mechanikai kutatások felmérését; a kutatás további legfontosabb irányainak kijelölését; alkalmat adott az 1976. évi IUTAM Nemzetközi Mechanikai Kongresszusra készülő dolgozatok kiválasztására.

A Nemzetközi Talajmechanikai és Alapozási Egyesület (ISSMFE) magyar nemzeti bizottságának a nemzetközi szervezetben betöltött jelentős szerepe folytán a hazai talajmechanikai és alapozási kutatások több évtizede folyamatosan komoly nemzetközi elismerést váltottak ki. — A bizottság részt vett az egyesület 8., Moszkvában tartott nemzetközi konferenciájának előkészítésé-

ben; kiválasztotta a konferenciára elküldendő magyar tanulmányokat; előkészítette a résztvevőket (gondolva a szóbeli felszólalásokra is); irányelveket adott a konferenciát megelőző végrehajtó bizottsági ülésen részt vevő tagjainak. A konferencia egyik ülésén a magyar nemzeti bizottság elnöke az elnöki tisztet látta el, titkára paneltagként szerepelt. A moszkvai konferencián a nemzeti bizottság elnökét a következő konferenciáig (négy évre) az egyesület európai elnökhelyettesévé választották. — A bizottság közreműködött a nemzetközi szervezet égisze alatt az 1974-ben Jugoszláviában (Bledben) megrendezett IV. Duna-Európai Talajmechanikai és Alapozási Konferenciának, illetve az 1975-ben Lengyelországban (Gdanskban) megrendezett I. Balti Talajmechanikai és Alapozási Konferenciának az előkészítésében. — Megkezdte az 1976-ban megrendezendő V. Budapesti Talajmechanikai és Alapozási Konferencia előkészítését.

A Nemzetközi Híd- és Magasépítési Egyesület (IVBH) magyar nemzeti bizottsága feladatának tartotta a hazai és külföldi eredmények ismertetését. — Részt vett az „Előregyártás a mélyépítőiparban” c., Budapesten megrendezett kollokvium szervezésében. — Az ÉVM támogatásával „Középmagas és magas építmények” címmel szimpóziumot rendezett, amely széles körű külföldi érdeklődést váltott ki.

A Nemzetközi Öntözési és Vízrendezési Szövetség (ICID) magyar nemzeti bizottsága rendezte meg 1973-ban Budapesten a szövetségnek „A többcélú folyószabályozás és vízhasznosítás” témakörű IX. Európai Regionális Konferenciáját; részt vett a IX. Öntözési és Vízrendezési Világkongresszuson Moszkvában, ahol egy-egy jelentős vitaindító összefoglaló előadást a bizottság tagjai tartották. — Közreműködött a „Több nyelvű öntözési és vízrendezési értelmező szótár” magyar kiadásában; az 1975. évi Öntözési és Vízrendezési Világkiállítás magyar részének összeállításában.

A Nemzetközi Hidraulikai Kutatási Szövetség (IAHR) magyar nemzeti bizottsága az 1973 szeptemberében Isztambulban rendezett kongresszuson és közgyűlésen hét magyar dolgozattal vett részt, s az ülések vezetésében is közreműködött. Előkészítő tevékenységének eredményeként a szövetség, a Hajózási Kongresszusok Állandó Nemzetközi Szövetségével együttműködve 1974-ben „Folyó és jég” címmel nemzetközi szimpóziumot rendezett Budapesten. — A szövetség felhívására javaslatot dolgozott ki annak belső struktúrájának újjáalakítására. Javaslatára a vízzel foglalkozó nem kormányzati nemzetközi szervezetek elnöki tanácsot hoztak létre. A bizottság tagjai a szövetség legfelső irányító testületeiben részt vesznek, alelnöki és szekcióelnöki tisztséget is betöltenek.

5. Rendezvények

1973

IFAC végrehajtó bizottsági ülés (Visegrád, április 6—9.)

PROLAMAT '73 nemzetközi szimpózium (Budapest, április 10—13.)

A „Stohasztikus folyamatok számológépes alkalmazása” c. kollokvium és a Számítástechnikai Konferencia (Székesfehérvár, május 21—26.)

IX. Európai Regionális Konferencia: „Többcélú folyószabályozás és vízhasznosítás” (Budapest, június 3—9.)

A Híradástechnikai Tudományos Egyesülettel közösen: „A megbízhatóság az elektronikában” c. szimpózium (Budapest, október 30—november 2.)

1974

Az IAHR/PIANC Nemzetközi Folyó- és Jég-szimpóziuma és az IAHRT végrehajtó bizottságának tanácsulése (Budapest, január 15—17.)

Téli iskola (A Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézet rendezésében; Mátrafüred, február 1—7.)

A valós idejű programozás IV. európai szemináriuma (Budapest, március 24—27.)

V. Mikrohullámú Összeköttetések Kollokvium (a Távközlési Kutatóintézet és a Híradástechnikai Tudományos Egyesület szervezésében; Budapest, június 14—30.)

A CIE „Színvisszaadás” Technikai Bizottságának munkabizottsági ülése (Budapest, szeptember 11—14.)

A magyar—szovjet tudományos és műszaki együttműködés 25 éves évfordulója alkalmából az Osztály tudományos ülészakot tartott (szeptember 19.)

IFAC Stohasztikus Szabályozás Szimpózium (a Bolyai Matematikai Társaság és a Neumann Társaság közös rendezésében; Budapest, szeptember 25—27.)

V. Korszerű Méretezési Konferencia (a GTE Anyagvizsgáló Kongresszussal összekötve; Budapest, október 28—november 1.)

V. Jablonna Fluidika Konferencia (a SZTAKI és a GTE közös rendezésében; Budapest, november 11—15.)

1975

Számítógépes szimulációs módszerek és alkalmazásuk a műszaki, orvosi és közgazdasági tudományokban (Pécs, szeptember 2—3.)

Számítógépes rendszerszimuláció szimpózium (Budapest, június 4—6.)

Metallurgiai konferencia (Miskolc, május 29—30.)

A korszerű technológia hatása a szerkesztésre (az Elméleti Technológiai Bizottság és a Gépszerkezettani Bizottság közös rendezésében; Budapest, október 8—9.)

V. Áramlástechnikai Gépek Konferencia (a Gépipari Tudományos Egyesülettel együttes rendezésben; Budapest, szeptember 15—20.)

A CIGRÉ 15. szekciója vezetőségének és munkabizottságainak éves rendes ülése (a Magyar Elektrotechnikai Egyesülettel közös rendezésben; Budapest, szeptember 22—28.)

II. Magyar Mechanikai Konferencia (a Gépipari és az Építőipari Tudományos Egyesületekkel közös rendezésben; Miskolc, szeptember 4—6.)

Közlekedésfejlesztés és urbanizáció. Napjaink Diesel-motorja (az MTA Hőenergetikai Bizottsága és a Gépipari Tudományos Egyesület közös rendezésében; Budapest, október 9.)

Meghívott vendégek

Az osztály az alábbi külföldi tudósokat látta vendégül:

Anton PISCHINGER, a grazi Technische Hochschule professzora, az Osztrák és a Német Tudományos Akadémia tagja 1973. szeptember 28-án „Dynamik des Misch- und Verbrennungsvorganges in Kolbenmotoren” címmel tartott előadást.

Pieter EYKHOFF, az eidhoveni University of Technology professzora 1973. október 11-én tartotta előadását „A rendszer-identifikáció modern módszerei. (Áttekintés)” címmel.

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.

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 lundi Institute of Technology professzora 1974. október 1-én a Tudományos Akadémián „On Selftuning Regulators” címmel, 1974. október 3-án pedig a BME-n „Modern Identification Methods” címmel tartott előadást.

A. WEINBERG, az Institute of Energy Analysis Oakridge USA professzora 1975. szeptember 17-én „Maturity of Nuclear Energy” címmel tartott előadást.

Ch. W. TOBIAS, az University of California (Berkeley) professzora 1975. szeptember 16-án „Incentives and Prospects for Electric Car” tárgyáról adott elő.

Ch. MASSONET, a Liège-i Egyetem professzora 1975. szeptember 17-én „First and Second Order Optimum Elastic-Plastic Design of Multi Story Steel Frames” címmel adott elő.

A. GHETTI, a padovai egyetem professzora 1975. szeptember 22-én „Tide propagation in lagoons, with special concern to the studies recently made for the Lagoon of Venice” címmel tartott előadást.

B. G. KORENYEV, a Moszkvai Építőipari Egyetem professzora 1975. október 2-án „A rezgések elleni védelem korszerű módszereiről” adott elő.

N. ABRANSON, a Hawai Egyetem professzora 1975. október 9-én „Some Experiences of Computer Networks Applications” címmel adott elő.

G. BÖGELSACK, az Ilmenai Egyetem professzora 1975. december 1-én „Antriebsprobleme der Gerätetechnik” címmel tartott előadást.

Felolvasó ülések

1973

C-C. HSIAO professzor, az USA minnesotai egyetemének tanára: „Laser Diffraction of Stressed Molecular Systems” (Budapest, június 6.)

MACSKÁSY Árpád, a műszaki tudományok doktora: „Homlokzati falpanel fűtés” (Beszámoló a Szovjetunióban szerzett tapasztalatokról)” (Budapest, szeptember 27.)

Otto, J. M. SMITH, az University of California (Berkeley) professzora „Solar Energy Conversion” (Budapest, december 28.)

1974

PALOTÁS László, a műszaki tudományok doktora, ny. egyetemi tanár: „A beton sajátfeszültségű állapota és a repedésérzékenység” (Budapest, március 28.)

P. SYMONDS (Brown University USA), a IUTAM magyar nemzeti bizottsága vendégeként: „Approximation Techniques for Large Plastic Deformations of Dynamically Loaded Structures” (Budapest, május 8.)

Aleksander S. VESIC, Prof. and Chairman Duka University Durham NC.: „Bearing Capacity of Shallow and Deep Foundations” (Budapest, május 29.)

Tereza H. MARGULOVA, a műszaki tudományok doktora, a Moszkvai Energetikai Egyetem Atomtechnikai Tanszékének professzora: „Nyomottvizes atomreaktorokkal létesített atomerőművek vízrendszerének kérdései különös tekintettel a szerkezeti anyagokra” (Budapest, május 31.)

ERDÉLYI Edward, a coloradói egyetem professzora, a BME díszdoktora: „Generátorok szubtransziens reaktanciájának számítógépes meghatározása” (Budapest, szeptember 30.)

GESZTI P. Ottó lev. tag: „Nagy villamosvezetékek problémái különös tekintettel a létesítendő hazai 750 kV-os vezetékekre” (Budapest, október 3.)

1975

LÉVAI András r. tag: „A műszaki tudományok szerepe és jelentősége a Magyar Tudományos Akadémia életében” (Budapest, május 8.)

BOGÁRDI János r. tag: „Széchenyi szerepe a hazai műszaki fejlődésben” (Budapest, május 8.)

GILLEMOT László r. tag: „Az alumíniumipar központi kutatási célprogramjának néhány kérdése” (Budapest, május 8.)

BOGNÁR Géza r. tag: „Digitális hírközlés” (Budapest, május 8.)

SZABÓ János lev. tag: „A komplex könnyűszerkezetes építési mód központi fejlesztési programjának tudományos feladatai” (Budapest, május 8.)

Székfoglalók

BOGÁRDI János r. tag: A hordalékmozgás korszerű elméleti és gyakorlati kérdései (1973. december 13.)

VÁMOS Tibor lev. tag: Felismerési kísérlet nyelvi módszerekkel (1974. január 23.)

GÁBOR László lev. tag: Az építészeti tervezés és az építési technológia szerepe, összefüggése az alkotásban (1974. április 10.)

LÉVAI András r. tag: A magenergia hasznosítás néhány időszerű kérdése (1975. június 18.)

LUKÁCS József lev. tag: Közvetlen energiaátalakítás — kontrollált égés (1975. november 11.)

6. Könyv- és folyóiratkiadás

Könyvek

Tudományág	1973	1974	1975
	ívszám	ívszám	ívszám
Automatika, energetika, híradás-technika	120,3	306,0	62,0
Gépészet-kohászat	76,2	216,8	112,0
Mérnöki, építészeti, közlekedési és településtudomány, valamint vízgazdálkodástudomány	290,5	204,4	123,0

Műfaji arányok
(1973—1975)

Tudományág	Összefoglaló művek	Tanulmány-kötetek	Értekezések, monográfiák	Szövegkiadványok, forráskiadványok, kritikai kiadások
Automatika, energetika, híradástechnika	5	5	—	—
Gépészet-kohászat	9	3	—	—
Mérnöki, építészeti, közlekedési és településtudomány, valamint vízgazdálkodástudomány	8	1	7	—
Összesen	22	9	7	—

A megjelent összesen 36 műből magyar szerzőknek 18 műve jelent meg idegen nyelven, melyek közül több külföldi megkeresés alapján más idegen nyelven is kiadásra került.

Folyóiratok

Tudományág	1973	1974	1975
	ívszám	ívszám	ívszám
Acta Technica	60	120	60
Műszaki Tudomány	45	45	30
Építés-Építészettudomány	35	35	30
Összesen	140	200	120

7. A jövő tennivalói

Az Osztály folytatja az érdemi tudományos testületi munka kiterjesztését, a kutatóhelyek munkájának a helyszínen történő tanulmányozását, az eredmények, a kutatási tervek részletes megvitatását, a tudományos munkák gyakorlati alkalmazásának elősegítését szolgáló javaslatok kidolgozását, a tudományos káderutánpótlással kapcsolatos feladatok elvégzését.

Az Osztály az eddigi tapasztalatok alapján tovább folytatva tevékenységét a szakcsoportok, bizottságok, al- és munkabizottságok, valamint alkalmi szakértőcsoportok segítségével kialakított véleményeivel alkotó módon kíván hozzájárulni az V. ötéves terv és a népgazdaság távlati terveiben foglalt cél-

kitűzések minél hatékonyabb megvalósításához. Testületi szerveit fokozottabban ösztönzi, hogy kezdeményezzék a termelés eredményességét elősegítő, összefüggő tudományos helyzetképek, javaslatok kidolgozását. Ezeket a célokat szolgálja egyebek között a bizottságok újjászervezésénél a termelést irányító szakemberek még szélesebb körének a munkába való bevonása.

Tovább fejlesztjük az interdiszciplináris kapcsolatokat a bizottságok és a társosztályok között. Erősítjük az együttműködést az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal és országos főhatóságokkal, arra törekedve, hogy a tudományos testületi munka érdemi segítséget nyújtson a népgazdaság vezető szerveinek.

KIEGÉSZÍTÉS AZ OSZTÁLYELNÖKI BESZÁMOLÓHOZ

LÉVAI ANDRÁS
AKADÉMIKUS, OSZTÁLYELNÖK

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya 1973. évi tisztújító osztályülésén kapott megtisztelő osztályelnöki megbízás lejárta-
kor, engedjék meg, hogy megkíséreljük megvizsgálni azt, hogy mennyiben
sikerült a 3 éves ciklusban az Osztály elé tűzött célokat megvalósítanunk,
megfelelő volt-e munkamódszerünk, kellően tudtuk-e aktivizálni a rendelkezésre
álló erőket, megfelelt-e munkánk az Osztállyal szemben támasztott igényeknek
és milyen következtetéseket vonhatunk le a jövőre, további tevékenységünkre.
Ezért mellőzhetőnek véljük, hogy beszámolóink során külön kitérjünk egyes
bizottságaink és szakcsoportjaink munkájára, hiszen az értékelések, valamint
a statisztikai adatok az osztálytagoknak kiosztott Fehér Könyvben, illetve
a jelenlevők nagy részének megküldött sokszorosított anyagban fellelhetők,
hanem ehelyett inkább általánosabb kérdésekkel foglalkozzunk. Nagyon
szeretnénk, ha a beszámoló utáni vita során a t. jelenlevők elmondanák véle-
ményüket a felvetett kérdésekről és természetesen szóba hoznának minden
egyéb olyan észrevételt, amellyel elő lehetne mozdítani a mai magyar műszaki
tudományos élet felvirágoztatását.

Az Osztály tevékenységi keretei, a testületi munka feladatai és módszerei
az akadémia 1970. évi közgyűlését követően megalkotott szervezetben már az
előző ciklus során kialakultak. Már ekkor elfogadottá és általánossá vált az
az alapelv, hogy a műszaki tudományok valamennyi területén olyan tudomá-
nyos célok kitűzését kell következetesen szorgalmazni, amelyek megvalósítása
a népgazdasági érdekeket szolgáló műszaki fejlődést segíti elő. Így az osztály-
elnöki feladatkör átvételekor is a már érvényesülő alapelvek és működési
keretek minél teljesebb kibontakoztatása, azok eredményes felhasználása és
fejlesztése volt az Osztály elsődleges feladata.

Ennek megfelelően következetesen arra törekedtünk, hogy az Osztály
tagjai, a szakcsoportok, bizottságok, ezek al- és munkabizottságai, valamint
az ad hoc bizottságok minél kiterjedtebben ismerjék meg a népgazdasági és
ágazati célprogramokat, a fejlesztési koncepciókat és azokkal kapcsolatban
olyan állásfoglalásokat alakítsanak ki, amelyek tudományosan megalapozot-

tak, megfelelően érvényesíthetők és elősegítik a kutatás és a népgazdasági célok közötti összhangot.

Amint ez az 1974. évi közgyűlés alkalmából tartott osztályelnöki beszámolóban már említést nyert, ugyanezen általános alapelv következetes végrehajtása érdekében *bizottságaink újjáválasztása* során 1973-ban már érvényesült az a szempont, hogy az addigiaknál nagyobb számban kerüljenek a bizottságokba az illetékes népgazdasági ágazatok, irányító szervek és termelőüzemek felelős szakemberei; ez a továbbiakban hasznosnak bizonyult, mert lehetővé tette, hogy bizottságaink többségében, az illetékes felelős vezetők vagy megbízottaik jelenlétében, jóformán rendszeressé vált a népgazdaság fejlődése szempontjából fontos koncepciók, fejlesztési programok, ágazati kutatási célprogramok megvitatása. Úgy gondoljuk, hogy ezzel az iparnak és az iparvezetésnek sokszor konkrét segítséget tudtunk nyújtani.

Azt hisszük, helyesnek bizonyult az a törekvésünk is, hogy testületi munkánkat minél *közelebb* hozzuk az *üzemek, kutatóintézetek, egyetemi tanszékek életéhez*, amire vonatkozólag már az 1974. évi beszámoló közölt néhány adatot. Tájékoztatni óhajtjuk ezúttal is a t. nyilvános osztályülést, hogy mind több olyan bizottságunk van, amely a helyszínen és folyamatosan kíséri figyelemmel akadémiai, egyetemi és ipari kutatóhelyek tudományos tevékenységét, tesz javaslatokat a kutatási irányok és arányok kialakítására, módosítására. Nem teljes felmérésből származik az az adat, miszerint negyedszáznál több ülést tartottak tudományos bizottságaink üzemi stb. telephelyen. Külön ki szeretnénk itt emelni az Automatizálási és Számítástechnikai Bizottságunkat, amely a III. Osztállyal együttműködve 3 ülést szervezett vidéki termelőüzemben, illetve egyetemen. De példamutató a Távközlési Rendszerek, a Szál- és Rosttechnológia, az Elméleti Technológia, a Fémszerkezet-tani, a Metallurgiai, a Településtudományi, az Elektronikus Eszközök Bizottsága gyakorlata is. Kívánatos, hogy a tudomány és a gyakorlat szorosabb egybekapcsolása, a gyárak fejlesztési elképzeléseinek, laboratóriumi munkájának és kooperációs kapcsolatainak megismerése érdekében bizottságaink a jövőben még többször látogassanak meg termelőüzemeket, ami, azt hisszük, az Akadémiának mint legfőbb tudományos testületnek a tekintélyét is növelhetné. Nem gondoljuk azonban, hogy az ilyen látogatások pótolhatnák bizottságainknál a folyamatos információszerezést. Maga az osztályülés is nagy gondot fordított az akadémiai kutatóintézetek és más kutatóbázisok tudományos munkáinak a helyszínen történt áttekintésére, az eredményességet szolgáló ajánlások kialakítására. Így meglátogatta az Automatizálási és Számítástechnikai, valamint a Műszaki Fizikai Kutatóintézetet, a Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetemen működő munkaközösségeket, megvitatta a Budapesti Műszaki Egyetem Műszaki Mechanikai Munkaközösség tudományos tevékenységét.

Az *osztályüléseket* igyekeztünk rendszeresen megtartani, szám szerint 1973-ban 7, 1974-ben 7, 1975-ben 5 osztályülésünk volt. Úgy véljük, hogy

talán sikerült az osztályülések és az Osztály munkájának súlypontját elsősorban a tudományos állásfoglalásokat igénylő problémák megoldására helyezni. A kiadott Fehér Könyv, illetve a sokszorosított tájékoztató ismerteti azokat a legfontosabb, népgazdasági vagy legalábbis tárcaszintű feladatokat, amelyek megoldásához testületi munkánkkal hozzá tudunk járulni, vagy akár, amelyeket Osztályunk vetett fel. Ezeket nem soroljuk fel, de példaképpen kiemeljük, hogy Osztályunk igen aktívan vett részt a *népgazdaság műszaki politikájának és a népgazdaság hosszútávú gazdaságfejlesztési koncepciójának* megvitatásában, konstruktív javaslatok kidolgozásában. Örömmel állapítható meg, hogy állásfoglalásaink, javaslataink az illetékeseknél általában kedvező visszhangra találtak, azokat többségükben figyelembe vették. Külön köszönetet kell mondani itt azoknak az osztálytagoknak és felkért egyéb szakértőknek, akik egy-egy nagyobb téma előkészítésében, annak véleményezésében akár egyénileg, akár mint ad hoc bizottsági tagok részt vettek. Tapasztalatunk szerint az ilyen alkalmi bizottságok szervezése igen hasznosan segítheti elő az Osztály állásfoglalásának kialakítását. Tapasztalható volt az is, hogy valahányszor a tudomány és a népgazdaság szempontjából fontos kérdések kerültek az osztályülések elé, a vitakészség is termékenyen bontakozott ki, és így közelebb jutottunk a testületi munka eredményességét tükröző tudományos vélemények kollektív kialakítására vonatkozó kötelezettségünk eléréséhez. Ebben igen jelentős segítséget nyújtottak az Osztály tanácskozási jogú tagjai is, akik a viták során a népgazdasági igényeket, lehetőségeket és összefüggéseket őszintén tárták fel az osztályülés előtt. Nekik ezért külön is köszönetet mondunk. Reméljük, hogy az osztálytagok egyetértenek azzal a megállapítással, hogy az osztályüléseken megközelítettük, de még nem értük el azokat a feltételeket, amelyek biztosíthatják a műszaki tudományokkal kapcsolatos népgazdasági, termelő ágazati, tudománypolitikai testületi állásfoglalások kialakítását.

Igen sok segítséget nyújtottak a bizottságok irányítása és koordinálása terén a *szakcsoportok*. Annak ellenére, hogy a szakcsoportokat igen sok feladattal terheltük meg, a feladatokat eredményesen oldották meg, gondosan mérlegelt és kiegyensúlyozott álláspontokkal és véleményekkel segítették az osztályülések és az Osztály munkáját.

A műszaki tudományok akadémiai irányításának hatékonysága szoros összefüggésben van az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal, a Természettudományi I. Főosztállyal és az Oktatási Minisztériummal való együttműködés mélységével. Egyértelműen megállapítható, hogy az OMF B-vel való kapcsolatunk jó. A bizottságainkba bevont OMF B képviselők, az OMF B-vel közös két állandó bizottságunk révén számos kérdésben egyeztetjük véleményünket, az OMF B elnöke Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanácsának üléseire az Osztály tagjai rendszeresen meghívást kapnak, az érdekeltek általában aktívan részt is vesznek azokon. Az OMF B rendszeresen igényli Osztályunk-

tól a műszaki tudományok területére vonatkozó munkáinak véleményezését és azt érvényesíti is az anyagokban. Három év alatt 357 ilyen tanulmányt, illetve koncepciót kaptunk, amelyek közül 83-hoz érdemi hozzászólást tettünk. Úgy véljük, hogy az együttműködés eddig elért fejlődése kellő biztosítékot nyújt e tevékenység további bővítésére, csupán azt kell megfontolni, hogy szükséges-e már letárgyalt, zsűrizett anyagok véleményezése, hiszen ilyen esetekben véleményünket csak az anyag esetleges átdolgozása során tudják hasznosítani. Munkamódszerként eddig az esetek kisebb hányadában kértük a bizottságok testületi állásfoglalását, többnyire egy-két általunk felkért szakértő észrevételezte a tanulmányokat. Az észrevételeket esetenként tudományos titkári, illetve osztályelnöki átfogalmazás után küldtük el az OMFB-nek. Indokolt lenne a következő időszakban e nagy tömegű feladat racionális megoldásának legkedvezőbb útját megtalálni, hogy a testületi jelleg megtartása mellett ne terheljük túl bizottságainkat.

Kapcsolatunk a *Természettudományi I. Főosztállyal* megfelelő, e tekintetben kedvező fejlődésként értékelhető az, hogy a Főosztály kutatóbázisainak osztályülésünk, illetve bizottsági üléseink előtti beszámoltatását segíti, testületi véleményeinket értékeli. Megítélésünk szerint az együttműködés továbbfejlődésében igen nagy szerepe lesz annak, hogy a kutatóhelyek 5 éves kutatási terve jelenleg folyó felülvizsgálata során milyen mélységben és megalapozottsággal tudunk állást foglalni a súlypontok meghatározásánál. Szükséges lenne az is — amire egyébként már több jó példa van —, hogy az akadémiai kutatóhelyek egyes munkáiról folyamatosan adjanak tájékoztatást a testületnek, indító, menet közbeni vagy záró zsűrizésbe való meghívásunk útján vagy akármilyen más módon. Ez igen megkönnyítené az időszakonként esedékes véleményezés munkáját és realisabbá is tenné azt. Ugyanakkor a kutatásban résztvevők szóbeli beszámolója során kialakult viták a témák pozitív fejlődését szolgálnák. Ilyen értelmű utasítás kiadása a Szakigazgatás részéről nyilván hasznos lenne, de segítene az egyetemi tanszékeknél, mert hiszen hasonló a helyzetünk az *Oktatási Minisztériummal* való kapcsolatainknál is. Az Oktatási Minisztérium a felügyelete alá tartozó kutatóhelyek tudományos tevékenységének irányításában és munkájuk értékelésében Osztályunk segítségét igényli, mert ezáltal az oktatás színvonalának fejlesztését szolgáló kutatásokon túlnövő, a tudomány alkotó előbbrevitelét szolgáló kutatások irányainak, preferálásának kérdésében tudományos testületi álláspontra támaszkodhatik.

A népgazdaság szempontjából hasznosítható kutatások előtérbe helyezése szorosan összefügg a *tudományos helyzetképek* kidolgozására vonatkozó célkitűzésekkel. A beszámolási időszak alatt a bizottságok 26 tudományos helyzetképet dolgoztak ki, ebből 13 már publikálásra is került a Műszaki Tudományban, de több tudományos helyzetképet MTESZ lapok közöltek. Amint erről a kiadott írásbeli anyag is beszámol, az egységes metodika szerint készült

helyzetképekben feldolgozott szakterületek különböző szélességűek; utolsó osztályülésünk állást foglalt olyan értelemben, hogy célszerű lenne a figyelmet nagyobb, átfogó tudományterületekre is kiterjeszteni.

Áttérve néhány, az Osztálynak kitűzött konkrét *tudományszervezési* feladat helyzetének vázolására, először az országos kutatóhálózat fejlesztési koncepcióinak kidolgozásával kapcsolatosan végzett munkáról kell szólni. Az Osztály a bizottságokat kérte fel elsősorban arra, hogy az I. Főosztály akadémiai kutatóhálózata fejlesztési koncepcióját, a tárcák kutatóbázisai fejlesztésére vonatkozó elképzeléseit, tudományterületük helyzetét, a népgazdasági célokat szem előtt tartva tekintsék át és terjesszék javaslataikat a szakcsoportok elé. Bizottságaink eleget téve kérésünknek, megkísérelték a kellő mélységű áttekintést és javaslataikat legjobb tudásuk szerint meg is tették. A feladat megoldásában azoknak a bizottságoknak volt könnyebb a helyzetük, amelyek az addigiak során is foglalkoztak rendszeresen a kutatóintézetekkel, azok kutatási tevékenységével. A bizottságok, a szakcsoportok véleményei alapot szolgáltatottak arra, hogy az osztályülés az I. Főosztály akadémiai kutatóhálózat-fejlesztési koncepciójával kapcsolatban állásfoglalását közölje. Az ipari kutatóintézetek tekintetében kialakult véleményeket az illetékes miniszterekkel közöltük, akik állásfoglalásainkat köszönettel vették. Jóllehet 1975-ben azt a gyakorlatot is bevezettük, hogy az akadémiai kutatóhelyek egy-egy témacsoportjáról adott beszámolást szakértői véleményezéssel az illetékes bizottság elé terjesztettük, mégsem hallgatható el az a vélemény, hogy — amint erre már utalás történt — állásfoglalásunk mélyrehatóbb lett volna akkor, ha azt az akadémiai intézetek meglátogatása és munkájuk részletesebb áttekintése után alakíthattuk volna ki. A nagy akadémiai kutatóintézeteknél az egyes intézetekkel kapcsolatos későbbi osztályülési állásfoglalások is hozzájárulhatnak a kutatóhálózat hatékony fejlesztéséhez.

A fentiekben vázolt és több helyütt gyakorolt folyamatos munkák eredményei elősegítették a kutatóhelyek 1972—75. évekre vonatkozó kutatási terveiről készített *beszámolók* érdemi felülvizsgálatát. Itt is meg kellett állapítani, hogy kevésbé lehetett eredményes azoknak a kutatóhelyeknek érdemi felülvizsgálata, amelyekkel a bizottságok nem foglalkoztak folyamatosan. Ezeknél szinte kizárólag a felkért szakértők véleményére voltak utalva, s így a testületi véleményezésben rejlő lehetőségek kevésbé érvényesülhettek.

Az *egyetemi tanszékek* kutatómunkájának értékelésével összefüggésben e helyütt kell szólni az 1973. évben egyes tanszékeken működő akadémiai munkaközösségek, kutatócsoportok átszervezéséről. Annak idején osztályunk következetesen képviselte azt az álláspontját, hogy az átszervezés a kutatóbázisok munkafeltételeit nem gyengítheti és sokkal inkább arra kell törekedni, hogy e bázisok fejlődésének feltételei, lehetőségei javuljanak. Az azóta eltelt idő alatt pozitív és negatív tapasztalatok is gyűltek össze. Pozitívként kell megállapítani, hogy az Akadémia 1973. évi közgyűlésén felvetett javaslat

alapján a Kormány az utóbbi két évben évente 100–100 millió forintot bocsátott központosított műszaki fejlesztési hozzájárulás címén az egyetemek rendelkezésére, amely összegnek 80%-a a műszaki egyetemeknek jutott, elsősorban nagy műszerek beszerzésére.

Ha a továbbiakban is sikerül ezt a támogatást megkapni az Oktatási Minisztérium jelenlegi éves beruházási keretén felül, akkor az érintett egyetemeken globálisan el lehet érni a nettó műszervagyon szintentartását, ami elengedhetetlen feltétele az egyetemeken folyó kutatások korszerűsítésének és fejlődésének. Ugyancsak pozitív jelenség, hogy az egyes tanszékeken a kétféle státushelyek megszűnése valamivel homogénebb szellemet alakított ki. Vannak még nem megoldott nehézségek is, így pl. annak következtében, hogy egyes volt akadémiai munkaközösségek nemzetközi közös kutatásainak folytatását a külföldön továbbra is akadémiákhoz tartozó intézményekkel gazdasági és adminisztrációs okok gátolják. Másutt egyes esetekben az átadás után az egyetemi munkaközösség helyzetének rendezésére — az új körülményeket figyelembe véve — nem történt intézkedés. Általános és régi panasz az egyetemi kutatók és oktatók részéről, hogy külföldi tanulmányutak megvalósítására nagyon kevés lehetőség áll rendelkezésükre.

Az akadémiai, egyetemi és ipari kutatóintézetek kutatási tevékenységének minél szélesebb körűen, témacsoportokra orientált folyamatos figyelemmel kísérése alapvető feltétele azon kötelezettségünk teljesítésének, amely a népgazdasági célok elérését elősegítő kutatások előtérbe helyezésére vonatkozik. Már befejezéséhez közeledik a *kutatóhelyek ötéves terveinek felülvizsgálata*, s ennek során a fenti szempont következetes érvényesítésére való törekvés. Őszintén meg kell mondani, hogy ezzel kapcsolatban nehéz feladatot kell megoldani bizottságainknak, a szakcsoportoknak és az osztályülésnek is. Bizunk azonban abban — hogyha nem is tudjuk minden tekintetben a velünk szemben támasztott követelményeket teljesíteni —, állásfoglalásaink hasznosan járulhatnak hozzá a kutatások népgazdasági igények szerinti kibontakoztatásához.

Az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv 1990-ig történő meghosszabbításával és felülvizsgálatával kapcsolatban kellő időben megadtuk javaslatainkat, véleményünket. Bizottságaink általában folyamatosan figyelemmel kísérik a célprogramok előrehaladásának helyzetét, ügyelni kell azonban arra, hogy az egyes programbizottságokkal, koordináló tanácsokkal a párhuzamosságot elkerüljük.

A műszaki kutatások eredményességének növelése érdekében célul tűztük ki az alapkutatások adott feladatokra való orientálásának és a műszaki kutatásokkal való koordinálásának elősegítését. Ezért az Elnökség elé vittük „A népgazdasági célokra irányuló műszaki kutatások koordinációja az alapvető természet- és társadalomtudományi kutatásokkal” című, szakértők bevonásával kidolgozott, problémafelvető anyagunkat. Az Elnökség az anyag-

ban rögzített elveket elfogadta és azokat a szélesebb körű tanulmányozást végző bizottság figyelmébe ajánlotta. Az anyag kidolgozása során ismételten meggyőződünk arról, hogy a műszaki kutatásoknak alapkutatásokkal való tervszerű koordinációja számos olyan komplex problémát vet fel, amelyek megoldására egymagában a Műszaki Tudományok Osztálya nem lehet illetékes és képes.

Hasonló helyzet előtt állunk a *műszaki kutatások gyakorlati hasznosításának* problémakörénél is. Jóllehet ilyen kérdésekről Osztályunk több tagja egy-egy részterületen igen értékes megállapításokat tett, ezek szintetizálásához, egységes következtetések levonásához még sok vitára és tanulmányozásra van szükség; fokozni kell az együttműködést a termelő ágazatok irányító szerveivel, és így az Osztály eddig még nem tudott számottevően előbbrelépni a kutatási eredmények gyorsabb és hatékonyabb gyakorlati alkalmazását elősegítő módszerek, elvek kialakításában. De egyes részterületeken, mint pl. az R-10-es számítógép real-time és irányítástechnikai alkalmazásának meggyorsítása terén, Osztályunk az előkészítő ad hoc, majd tudományos bizottsági tárgyalások után hasznos tapasztalatokat tudott rögzíteni; meggyőződésünk, hogy az OMFB, valamint az illetékes főhatóságok e területen is hasznosítani tudják tevékenységünket.

Az Osztály tudományszervező tevékenységének és nemzetközi kapcsolatai ápolásának egyik jellemzője a beszámolási időszak alatt tartott különféle *rendezvények* viszonylag nagy száma is. Így a 3 év alatt 22 nagyobb hazai konferenciát, szimpóziumot, kollokviumot rendeztünk nemzetközi szakemberek bevonásával, — több esetben más szervezetekkel közösen — további 8 ülészakot hazai szakemberek számára. Ezen felül 17 külföldi, 8 hazai tudós tartott előadást a beszámolási időszak alatt megtartott 5 székfoglalón kívül. A részleteket a kiadott írásbeli jelentés tartalmazza — sajnos nem hiánytalanul —, amiért a nem tudatosan mellőzöttektől ezúton is elnézést kérünk. E helyen is ki óhajtjuk emelni az Osztály tevékenységét az Akadémia alapítása 150 éves évfordulója ünnepségei kapcsán. Osztályunk RÖDÖNYI Károly miniszter, tanácskozási jogú tagunk, segítségével tevékenyen közreműködött SZÉCHENYI nagycenki sírja koszorúzási ünnepségének rendezésében, majd a jubiláris közgyűléshez csatlakozóan megrendezett tudományos ülészakon az Osztály 5 tagja tartott előadást. 1975. november 19-én az Osztály külön Széchenyi emlékülést is tartott.

Az Osztály munkájának fontos céljaként tűztük ki a következő *tudományos káderutánpótlás* elősegítését. Bizottságaink feladatává tettük, hogy tudományterületükön a tehetséges fiatal kutatókat, szakembereket ösztönözzék a tudományos fokozatok megszerzésére és kezdeményezzék a tudományos eredményeket is tükröző alkotások megvalósításának minősítését. A statisztikai adatok szerint 1973—1975 év között a műszaki tudományok területén 34-en doktori és 127-en kandidátusi fokozatot szereztek. Az Osztály a szakcsoportok javaslatai alapján 14 alkotásnak tudományos fokozatszerzéssel

kapcsolatban közölte állásfoglalását, eddig közülük 5-en kaptak alkotás alapján tudományos fokozatot. Különös súlyt helyeztünk arra, hogy a termelőüzemben dolgozó szakembereket tudományos fokozatok megszerzésére ösztönözzük, de az eddigi eredményekkel nem lehetünk elégedettek. A problémát az Akadémiai Elnökségén és a TMB-nek is felvetettük, rámutatva a fennálló nehézségek egyes okaira és a megoldást elősegítő módozatokra.

A *társosztályok* közül kapcsolatainkat elsősorban a III. a Matematikai és Fizikai Tudományok Osztályával erősítettük, több közös bizottságunk van. A VII. Kémiai Tudományok, a IX. Gazdaság és Jogtudományok, valamint X. Föld- és Bányászati Tudományok Osztályával inkább ad hoc jellegű munkakapcsolataink vannak, amelyek egyes esetekben, így pl. a Komárom megyei iparfejlesztési koncepció mélyreható felülvizsgálatánál, igen gyümölcsözőknek bizonyultak.

A *MTESZ* kötelékébe tartozó tudományos egyesületekkel kapcsolataink tovább fejlődtek, több közös rendezvényt szerveztünk, bizottságaink tagjainak zömét megtaláljuk a különféle egyesületi tisztségekben és szakbizottságokban is.

Az Osztály hároméves munkájának az 1974. évi nyilvános osztályülésen elmondott beszámolóban megjelölt célok szerint csoportosított ismertetése — úgy véljük — megalapozottá teszi annak megállapítását, hogy az Osztály következetesen — legalábbis — törekedett a rendelkezésére álló erővel e célokat a tudományos testülethez méltó módon, eredményesen elérni. Különösen hangsúlyoznánk, hogy megítélésünk szerint az Osztály népgazdasági célokat szolgáló tudományos tevékenysége intenzívebbé vált, kezdeményezőkézsége és azt hisszük, konkrét fejlesztési célokat szolgáló konstruktív véleményalkotása hasznos segítséget jelentett az érdekelt főhatóságok számára. Nem kétséges, hogy a továbbiak során még mélyrehatóbban kell figyelemmel kísérnünk a népgazdaság igényeinek alakulását és azt, hogy a tudományos kutatások eredményeiből, a tudományos szemlélethez minél több hasznos javaslatot realizáljunk. Ennek újból csak hangsúlyozott alapfeltétele az, hogy bizottságaink erősítsék kapcsolataikat a termelést irányító és befolyásoló szervekkel, továbbá az akadémiai, egyetemi és ipari kutató-fejlesztő bázisokkal, valamint a termelőüzemekkel. Különösen fontosnak ítéljük azt, hogy bizottságaink, — adott esetekben az Osztály maga is — kezdeményezzék olyan konkrét népgazdasági célokat szolgáló problémák megvitatását, amelyekhez megítélésünk szerint hasznos véleményeket adhatunk. Ehhez nagy segítséget nyújthatnak a bizottságokban dolgozó termelésirányítási szakemberek, akiknek aktív közreműködését a továbbiakban is kérjük.

A testületi munka jövőbeni alakításához kitűnő útmutatást kaptunk a tegnapi közgyűlésen Elnökünk megnyitó beszédében. Kérjük, vegyék azokat is messzemenően figyelembe.



A hároméves ciklus lejártával, bizottságaink megbízása is megszűnt. Mindenekelőtt engedjék meg, hogy a szakcsoportoknak, bizottságoknak és azok al-, illetve munkabizottságainak, a nemzeti bizottságoknak külön is köszönetet mondjunk eredményes munkájukért. Sok munkát és sokszor igen rövid határidővel kívántunk tőlük és azt, hogy ezeknek mégis eleget tettek, a tudomány iránti kötelességtudatnak köszönhetjük. Most arra kérjük az Osztály tagjait, a bizottsági elnököket, hogy az 1976. március 16-i osztályülésen elfogadott és írásban is kiadott elvek szerint segítsék a bizottságok újjászervezését, és esetleg tegyenek javaslatot a megítélésük szerint szükségesnek ítélt új bizottságok szervezésére.

Befejezésül hároméves működésünkre visszatekintve úgy érezzük, hogy az évekre visszanyúlóan kialakult irányelveket a rendelkezésre álló szervezeti és működési rendben következetesen szem előtt tartottuk és megkíséreltük azokat minél hatékonyabban érvényesíteni. Ennek természetes velejárója volt az, hogy nem egyszer az Osztály tagjait, a szakcsoportokat, a bizottságokat külön feladatok megoldására is igénybe kellett venni, egyeseket talán túl is terheltünk. Sajnos a számunkra előírt, nagy fontosságú kérdésekben történő érdemi állásfoglaláshoz sok esetben túlságosan rövid határidőkkel kapcsolatos, állandóan visszatérő jogos észrevételeknek nem tudtunk megfelelően eleget tenni, annak ellenére, hogy ezeket az illetékesek előtt őszintén feltártuk. Felelősségtudatunk és a felkért személyek, szervek elismerésre méltó magatartása erkölcsi alapot adott azonban ahhoz, hogy nagy fontosságú kérdések véleményezésétől a rövid határidők ellenére se zárkózzunk el.

Jól tudjuk, hogy munkánk nem volt hibamentes, az néha a ránk háruló, központilag kiadott utasítások tömkelege miatt jogosan a kapkodás, szervezetlenség benyomását is kelthette. Úgy érezzük, hogy e nehézségek ellenére is némileg előreléptünk az Osztály hivatásának megfelelő tevékenységének érvényesítése terén. Ebben a munkában igen nagy részt vállalt az Osztály tudományos titkársága, amely igyekezett derekasan helytállni és az elmúlt ciklusban ugrásszerűen megnövekedett feladatokat — úgy gondoljuk — sikerrel teljesítette.

Gondoljuk, hogy az Osztály tevékenységéért való, felelősségérzettel végzett — nyilván hibáktól sem mentes — munkánk a további és mind szélesebben kibontakozó feladatok megoldásához vezető utakat megfelelően karbantartotta és új utakat is igyekezett kiépíteni. Ha ezt az érzésünket a következő időszak is igazolja, fáradozásaink nem voltak hiábavalóak.

Kérjük, vitassák meg a beszámolót, ha szükségesnek tartják, szóljanak hozzá az írásbeli anyaghoz is. Minden észrevétel, javaslat, kritika az újonnan megválasztandó osztályvezetőséget a jövő nagy feladatainak sikeresebb megoldásához fogja segíteni.

HOZZÁSZÓLÁSOK AZ OSZTÁLYELNÖKI BESZÁMOLÓHOZ

PROHÁSZKA JÁNOS, LEVELEZŐ TAG:

A tudományos fokozatoknak alkotásért való odaítélésével és adományozásával kapcsolatban megfontolásra érdemes a csoportos tevékenység fokozottabb megbecsülése. A csoportos alkotások elbírálásakor hiányzik ugyanis az egyértelmű utasítás. Nincs egységesen kialakult gyakorlat és tapasztalat arra, hogy ilyen esetben mit kell tenni, holott számtalan kérdés vetődik fel egy ilyen kérés vagy ajánlás elbírálásakor. Nem tudjuk, hogy adott esetben a szerzők melyikének milyen fokozat ítélhető meg, és milyen követelmények azok, amelyek a csoportos munkában az egyének teljesítményét megszabják. Nem ismeretesek azok az adminisztratív követelmények sem, melyek egy adott alkotás elfogadása után az egyes szerzőkkel szemben támadnak. Így pl. milyen vizsgakövetelmények merülnek fel különböző képzettségű szerzőkkel szemben stb. Célszerű volna, ha a Műszaki Tudományok Osztálya e problémákkal megkereshetné a TMB-ot, hiszen elsősorban a műszaki tudományok területén mérhető le az alkotások eredményessége a legkönnyebben. Ezt a problémát annál is inkább rendezni kell, mert ma valamennyien egyetértünk abban, hogy adott műszaki és tudományos feladatot sokkal hatásosabban képes megoldani egy helyesen megszervezett csoport. Ennek ellenére a fokozatok odaítélésekor is háttérbe szorulnak a csoportos kutatások. Ennek kiküszöbölésére meg kell oldani a ma még válaszra váró kérdéseket.

Fontos probléma, mely már túl is nőtt a Műszaki Tudományok Osztályának kereteit, alapjában véve azonban mégis a műszaki tudományok egyik legfontosabbika, a technológiai tudományok és kutatások problémaköre. A probléma fontosságát nem kell igazolni, elég arra a vitathatatlan tényre hivatkozni, hogy valamennyi tudományág, melynek eredményeit a népgazdaság bármilyen módon is hasznosítja csak a technológián keresztül valósulhat meg. Ez a műszaki tevékenységben annál inkább fontos, mert minden műszaki alkotás megvalósulásának a technológia az útja.

A technológia fontossága jelenlegi adottságaink következménye. Mind az állami, mind a pártdokumentumok egyik leggyakrabban hangoztatott ténye, hogy népgazdaságunk további fejlődése csak a termelékenység fokozásával érhető el. Ugyanezt a tételt a megnyitó ülésen a kormány elnöke is

hangsúlyozta. A termelékenység és a technológiai színvonal gyakorlatilag azonos mutatók. A termelékenység, ha a munkaeő fokozottabb kihasználásától eltekintünk, csak a technológiai színvonal emelésével növelhető. Éppen ezért meglepő, hogy kutatásainkban a technológiai kutatások háttérbe szorultak.

Általában elismert tény, hogy egy népgazdaságban az öszttermelési érték egyik alapvető meghatározója a technológiai színvonal. A technológiai színvonal szabja meg még azt is, hogy az adott népgazdaság az elért új tudományos eredményeket hasznosíthatja-e vagy nem. Nyilvánvaló, hogy egy elmaradott technológiával termelő egység korszerű kutatási eredményeket nem tud közvetlenül felhasználni. Csak a korszerű kutatási eredményekkel összhangban álló technológiai feltételek megteremtésével válik lehetővé a korszerű kutatási eredmények hasznosítása.

A technológiai kutatásoknak és a technológiai ismeretanyagoknak van még egy, az összes többi tudományágazattól eltérő jellegzetessége, amely a technológiai kutatásokat elkerülhetetlenül megköveteli. Ez a jellegzetessége pedig az, hogy az ebbe a körbe tartozó ismeretanyagot a folyóirat-irodalomból nem lehet megszerezni. Minden jónak bizonyuló technológiai kutatási eredmény egy szűk körnek az ismeretanyaga marad mindaddig, amíg nem tesznek hasznosabb ismeretekre szert. A folyóiratokban található technológiai információk vagy hiányosak, hogy a hasznosítást mások számára lehetetlenné tegyék, vagy pedig olyanok, melyeknél az információt közlők számára már jobbak, hasznosabbak is ismertek. A technológiai eredményeknek ilyen zárt kezelése az oka annak, hogy egy korszerű termék gazdaságos gyártása megvalósíthatatlan sokszor még akkor is, amikor a kérdéses terméket laboratóriumban már kifogástalan minőségben elő tudják állítani. Az elyi tudományos ismeretanyagot a világ tudományos közvéleménye nagyon gyorsan megismerheti a folyóiratokból, hiszen a szerzők, a kutatók alapvető érdeke az újdonság ismertté tétele. Ezzel szemben a technológiai kutatások eredményeinek közzététele sem a kutatóknak, sem a kutatóintézményeknek nem érdeke.

A fentiek arra kell hogy készítsék a Műszaki Tudományok Osztályát, hogy felmérje ennek a problémának a fontosságát és felhívja az illetékesek figyelmét a megteendő lépésekre. Minél később tesszük meg a megfelelő lépéseket, annál inkább hátráltatjuk nemcsak a tudománypolitika irányelvek érvényre juttatását, hanem népgazdasági célkitűzéseink gyors megvalósulását is. Azt egyre többször hangoztatjuk, hogy a tudomány termelődővé válik, de arról már keveset beszélünk, hogy a tudományos eredmények termelődővé válásának egyetlen útja a technológián keresztül vezet.

EISLER JÁNOS, A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA:

Ismeretes, hogy a műszaki fejlődés egyik jellegzetessége a gyártmányok felépítésének növekvő bonyolultsága és a minőségi követelmények fokozódása.

Ennek következménye, hogy a minőségellenőrzés is bonyolultabbá válnék már akkor is, ha csak azt várnánk tőle, amit eddig, holott már gyakran elvárjuk, hogy adjon lehetőséget a várható élettartam legalább közelítő meghatározására is.

Jelenlegi ismereteink alapján úgy látszik, hogy elfogadható ráfordítással ez a feladat úgy oldható meg, ha gondos típusvizsgálattal meghatározzuk a típusra jellemző adatokat, és a rutinvizsgálatok fő feladatának azt tekintjük, hogy minél egyszerűbben, de azért még kielégítően pontos módszerekkel tegyék eldönthetővé, hogy a vizsgált egyedi gyártmány valóban megvizsgált típusú-e.

Mindezeket elsősorban a gyártásközbeni minőségellenőrzés eredményeiből tudhatjuk meg. Ezért javasolható, hogy az eddigi gyakorlatot továbbfejlesztve a kész állapotban végzett rutinpróbáknak elsősorban azokat a részeit tartsuk meg, amelyek azt mutatják, hogy a vizsgált egyedi gyártmány részben megfelel a legfontosabb követelményeknek, részben az alaposan megvizsgált típusba tartozik, így várhatóan a típus összes tulajdonságaival rendelkezik. Ezt az azonosítást a gyártás egyes mozzanataira vonatkozó, minden gyártmányon elvégzett és dokumentált gyártásközbeni ellenőrzés teszi lehetővé. Erre az ellenőrzésre viszont a minőségi gyártáshoz úgymint szükség van, felesleges ráfordítást tehát nem jelent.

Talán felesleges is megemlíteni, hogy a felhasznált anyagok vizsgálata is elengedhetetlen része a gyártásközbeni vizsgálatnak.

KALÁSZI ISTVÁN, A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA:

Az osztályelnöki beszámoló az eddigiekhez képest is sok eredményről, valóban rendszeres munkáról számol be. Az MTA bizottságai, így az Elméleti Technológiai Bizottság is, érzik, hogy a kutatás állami irányításában egyre inkább meghallgatják véleményünket és jóleső az a bizalom, mellyel az egyes tárcák támaszkodnak az MTA ily módon kialakuló javaslataira. Ez fokozza felelősségüket, de egyúttal további jobb és több munkára ösztönöz. Mindezeket a beszámoló kellőképpen kidomborította.

Az akadémiai bizottságok munkájának láthatatlan, de mégis szükséges feltétele, hogy az apparátus adminisztrációját irányító és végrehajtó szervek dolgozói hivatásuk magaslatán álljanak. Ezek a szervek sok problémával küzdenek, főleg amikor kampányszerű feladatokat kell végrehajtaniuk. A bizottságokban dolgozó kutatók és tudósok munkáját segítő, jó értelemben vett „szürke eminenciások” érdemeit jobban ki kellett volna domborítani a beszámolóban.

Ismeretes a kormány helyes döntése a „létszámstop”-ról. Ennek nyilván az az értelme, hogy azokról a helyekről, ahol a szervezetlenség miatt ma még munkanélküli belső erők is vannak, kellően és megfontoltan lehessen átcsoport-

tosítani. Az új ötéves tervünk kutatási feladatait kormányzatunk bőkezűen dotálta anyagiakkal. Ez minden vonalon, így az adminisztrációs vonalon is, az MTA szerveiben többletmunkát fog okozni vagy talán már okoz is. Az Elméleti Technológiai Bizottság ez évi legutóbbi ülése, amely a kutatóhelyek ötéves tervét vitatta és rangsorolta, három fontos kutatóhely terveivel nem tudott foglalkozni, mert a bizottság nem kapta meg az írásbeli anyagot. A titkári referátum szerint pedig ezek a kutatóhelyek határidőre megküldték az előírt anyagokat a központi szerveknek. Nem hihető, hogy hanyagság történt. Lehet, hogy egyes munkahelyeken túlterheltek az előadók. Szükséges lenne ezt a helyzetet megvizsgálni és ezekre a helyekre munkaerőket átcsoportosítani.

Az információ-robbanást elsősorban a kutatók érzik. A kutatásokban résztvevők számára az általában egyéves átfutással megjelenő cikkek ismerete is néha már késő. Nem lehet tehát eléggé aláhúzni, milyen óriási jelentősége van a közvetlen információcserének. Ezek konferenciákra kaphatók meg. Örvendetes, hogy Magyarországon is egyre gyakoribbak a nemzetközi részvétellel szervezett szimpóziumok, tanácskozások és eszmecserek. Azonban sok lényeges területen szervezik ezeket a tanácskozásokat külföldön. Egyetértve a kormány takarékosági intézkedéseivel és nem akarván ezzel kapcsolatban kiadott egyéb helyes rendeleteket módosítani, fel kell hívni az illetékesek figyelmét, hogy a rendeletek végrehajtásában ne sematikus, hanem differenciáltan döntsenek. Mint más METESZ egyesületek, a GTE is lelkes műszaki aktivisták áldozatos társadalmi munkájával devizát „termel” az országnak. Az 1975. december 31-ig érvényes rendelkezések szerint az így „kitermelt” deviza bizonyos százalékát felhasználhatjuk arra, hogy azon szakembereket külföldre küldhessünk ki. A GTE ezen kívül több tudósunk nemzetközi szervezetekben való éves részvételi díját is fedezte az így kigazdálkodott valutából. Sajnos, ennek az összegnek így megmaradt kicsi kereteire is érvényesítették az ismert százalékos csökkentési kulcsot. Pedig ez a devizatermelés csak hazai szellemi tőkét és társadalmi munkabefektetést igényelt, nem volt és nem is lesz ellenimport hányada. Nem lehet eléggé csodálkozni az ilyen jelenségeken, hiszen ez a párt tudománypolitikai irányelveivel szöges ellentétben áll. Ezért javasolható, hogy a drága valutáért behozott luxus fogyasztási cikkeket (pl. italok) csökkentjük. Azzal viszont semmiképpen nem lehet egyetérteni, hogy fiatal tehetségeink kiküldetései bármiféle csorbát szenvedjenek a rosszul alkalmazott sematikus intézkedések miatt.

ÚJ POTENCIÁLIS LEHETŐSÉGEK A VILLAMOS ENERGIA TERMELÉSÉBEN*

SZENDY KÁROLY**
MTA LEVELEZŐ TAG

A világ primer energiakészleteit és a földre érkező energia áramokat bemutattva, a szekunder energiákat villamos, kémiai és hőenergia csoportokra bontva, a tanulmány az újszerű villamos energiaátalakító berendezéseket tárgyalja. A nap- és a geotermikus energia felhasználásának nemzetközi helyzetképét ismertetve megállapítja, hogy azok nálunk villamos energiatermelésre a közeljövőben nem jönnek számításba. Ha a hazai geotermikus gradiens magas értéke miatt elkezdődő előzetes kutató fúrásokkal gazdaságosan kitermelhető magas entalpiájú geotermikus energiát találnak, javasolható a geotermikus erőmű létesítése. A jelenleg feltárt geotermikus energia azonban kis entalpiájú, hőfelhasználásra alkalmas. A kémiai energiahordozók és villamos hálózatok közötti összeköttetések létesítésével a későbbiek során számolni kell, többek között ezért is célszerű a közvetlen kémiai-villamos energiaátalakítókkal foglalkozni. Az újszerű kémiai áramforrások a villamos energia tározását megoldják, amelynek szükségessége az energiarendszer szempontjából későbbiekben fog felmerülni, továbbá ezek a jó fajlagos mutatókkal rendelkező, de még kifejlesztésre váró áramforrások a környezetvédelmi és a szénhidrogén-takarékossági szempontokat kielégítő villamos jármű hajtást is lehetővé teszik. Ehhez azonban a hazai iparnak kellő fejlesztése szükséges, és ezek között az elsősorban jelentkező igényeket kell jól kielégíteni. Az ország kutatóbázisának természetesen — anyagi és személyi erejének megfelelően — azokban a nemzetközi jelentős kutatásokban és fejlesztésekben is célszerű részt venni, amelyek a jövőben a hazai villamosenergia-termelés és ellátás szempontjából mértékadóak (pl. atomreaktor, MHD generátor).

1. Bevezetés

A szénhidrogénekben (nyersolaj, földgáz) világszerte jelentkező nehézségek a rendelkezésre álló energiaforrások és készletek felhasználásának felülvizsgálatára vezettek [1]—[3]. A hasadó magenergia készletek korlátozott volta ismert, viszont a készletek jobb kihasználására alkalmazandó tenyészreaktorok környezetvédelemmel, biztonsággal összefüggő kérdései egyes ipari országokban — pl. az USA-ban — éles vitákat váltottak ki. Hazánkban az energiahordozók szűkösebb volta a legutóbbi időben már számottevő energiaimportot igényelt. A világhelyzet és a hazai körülmények együttesen indokolják, hogy foglalkozzunk az energiahordozók kérdésével. A 2000. évre prognosztizált energiaigény kb. fele a villamos energiában jelentkezik.

* Az MTA VI. osztályának nyilvános ülésén 1976. május 4-én elhangzott előadás.

** Prof. Dr. Szendy Károly.

Az eddig kevésbé, de a jövőben felhasználható energiaforrások általában nem újak, mint pl. a nap- és a geotermikus energia már régen ismertek. A hasznosításukra szolgáló eszközök készítése a múlt század második felére nyúlik vissza. Elterjedésüket akadályozta, hogy gazdaságosan felhasználható technológiai eszközök és eljárások még nem álltak rendelkezésre. Új energiaforrásként jelentkezett a könnyű atommagok szabályozott egyesülésének felhasználása energiatermelés céljára (fúziós reaktor). Ez a felismerés a vezető ipari hatalmak — élenjáró közöttük a Szovjetunió — jelentős anyagi eszközöket és személyi feltételeket kívánó kutatómunkájának indítását eredményezte.

2. Energiaforrások és azok felhasználása általában

Sok tanulmány, többek között a Detroitban rendezett 1974. évi Energia Világkonferencián benyújtott dolgozatok [4], ezzel a kérdéssel részletesen foglalkoztak. A rendelkezésre álló anyagok alapján az energiakészleteket és a földön felhasználható energiaáramokat az 1. és 2. táblázat tartalmazza. Az energiaáram fogalmát azért célszerű az energiakészlettől elválasztani, mert amíg az energiaáram állandóan megújuló forrást képez, az energiakészlet elfogyasztása után kimerül. Az 1. táblázatból látható, hogy földünk viszonylag csekély szénhidrogénkészlettel rendelkezik, amelynek takarékosabb felhasználására a jelenlegi, viszonylag egyszerű kitermelési viszonyok mellett, az ismert okok miatt bekövetkezett áremelkedéstől függetlenül is gondolni kell. A szénkészlet lényegesen nagyobb, felhasználását viszont gyakorlati szempontok (szállíthatóság, környezetvédelem, átalakító eszközök nehezebb illeszthetősége) akadályozzák. Ezért újabban ismét foglalkoznak a szén-elgázosítással és cseppfolyósítással, tehát felhasználásra alkalmasabb szénhidrogén vegyületek készítésével. Ezt a törekvést elősegítik a nagy hőmérsékletű atomreaktorok, amelyekhez előreláthatóan gazdaságosabb (ún. harmadik generációs) kémiai átalakítókat fognak gyártani.

A hasadó magenergia a tenyészreaktorok nélkül korlátozottabb, gazdaságosan felhasználható energiakészletben jelentkezik. Lényegesen nagyobb lehetőségek nyílnak meg a fúziós energiaátalakítás megvalósítása esetén [5—6]. A tengervízben levő hidrogén izotópnak, a deutériumnak egy milliomod része a gazdaságosan kitermelhető szénkészletnek a 100-szorosát teszi ki. Ez az oka annak, hogy 1963-ban mintegy 1700, 1971-ben már 2400 kutató és mérnök foglalkozott a fúziós termonukleáris energiaátalakítás-folyamat kutatásával [7]. A folyamat fizikai megvalósíthatósága előreláthatóan 1980—85. évek között bizonyítható. Ezt követően a nagy hőmérsékletnek ellenálló, az eddigiektől eltérő különleges körülményeknek kitévő anyagok és berendezések technológiai elkészítése hosszú időt vesz igénybe, s így a fúziós energia ipari felhasználására 2000-től kezdve lehet csak számítani.

1. táblázat

Energiakészlet (10^3 GWév-ben)

10^3 GWév = $1,08 \cdot 10^9$ e. t. = $7,55 \cdot 10^{15}$ kcal

	Összesen	Gazdaságosan kitermelhető
1. Szerves energiakészlet		
1.1 szén	6400 ÷ 10 400	2500 ÷ 4000
1.2 földgáz	340 ÷ 590	300 – 500
1.3 nyersolaj	370 ÷ 690	200 – 600
2. Hasadó magenergiakészlet		
2.1 termikus reaktor	150 ÷ 12 500	500
2.2 tenyésztés reaktor	20 000	10 000
3. Fúziós magenergiakészlet a deuteriumból 10 ⁻⁶ rész elfogyasztásával	370 000	370 000
4. Geotermikus energiakészlet		
4.1 földkéregben 3 km-ig	4,10 ⁶	
4.2 földkéregben 10 km-ig	30,10 ⁶	
4.3 hidrotermikus (magasszintű)	1 500	30

2. táblázat

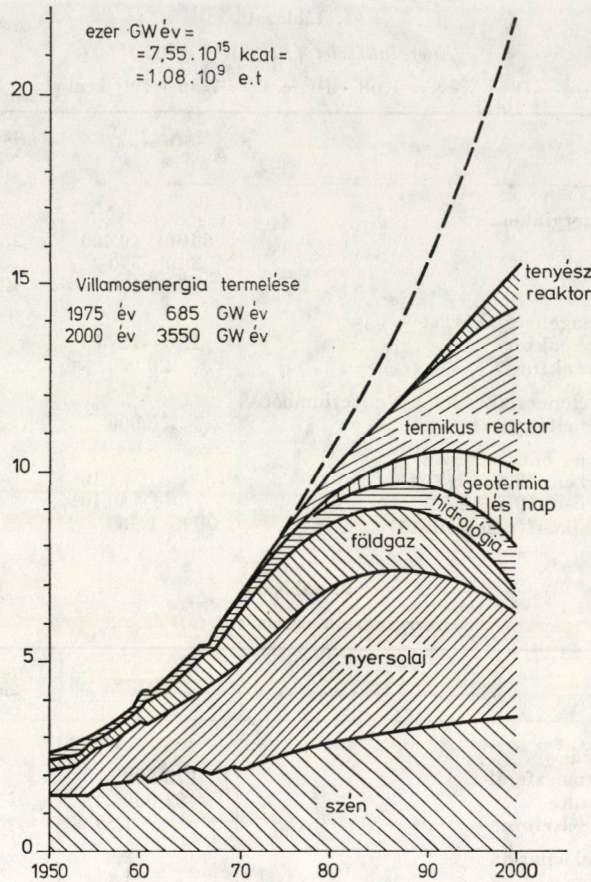
Energiáram évente 10^3 GWév

	Összesen	Gazdaságosan kitermelhető
1. Napsugárzás		
1.1 Külső atmoszférába	173 000	
1.2 Földfelszínre	81 000	
1.3 10 ⁴ km ² felszínre	1,59	
2. Hidrológiai energia	2,3	1
3. Szélenergia	1,1	
4. Árapály energia		
5. Geotermikus energia	27	

A geotermikus energia a földkéregben a felszíntől 3, illetve 10 km mélységig szintén nagy készleteket tartalmaz. A földkéregben földköpenyből feláramló, nagy hőmérsékletű aktív kőzetek, helyenként vulkanikus kitörésekbe átcsapva, nem elhanyagolható és *villamosenergia*-termelésre felhasználható, geotermikus energiaforrást képeznek.

Az energiakészletek között megemlítendő még a földkéregben a nyersolaj és földgáz előfordulásoktól elkülönült inert gáz, amely alacsony, 2200 ÷ 2800 kcal/m³ fűtőértékű, ezért szállításra nem alkalmas, de helyi felhasználása szóba kerülhet. Ilyen gázelőfordulás nálunk az ország déli területein található, használatba vételével lehetne foglalkozni.

A Földre áramló energiának legtekintélyesebb részét a Nap jelenti. A *napsugárzásból* Földünk külső atmoszférájába évente mintegy 200-szor annyi energia érkezik, mint a Föld összes szénkészlete. Ebből az energiából a Föld felszínére 40 ÷ 50% jut. A 100 × 100 km² felszínre érkező energia a Föld 1975.

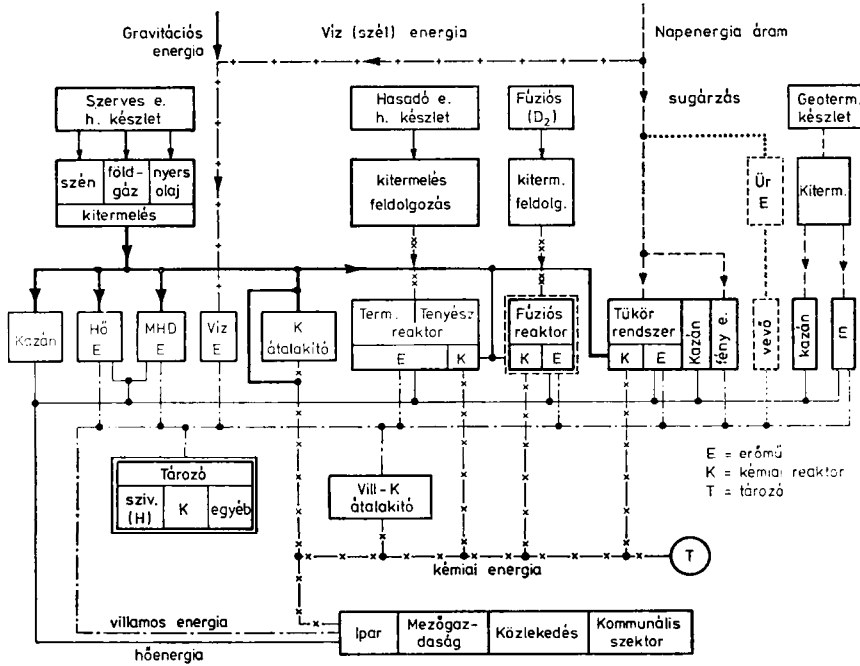


I ábra. A világ összes évi energiafelhasználása források és átalakítók között megosztva

évi energiafogyasztásának mintegy 1/5 részét képes ellátni. Hátránya, hogy a napenergia áramsűrűsége viszonylag kevés; 1000 MW teljesítményhez, amely a Dunamenti Erőmű 60%-a, kedvező viszonyok mellett 40 km² terület szükséges. Ezért a jelenlegi alkalmazásuk — a kísérleti jellegtől függetlenül — földrajzi helyhez kapcsolódnak. Csak a technológiai fejlesztés megfelelő eredményei után várható az általános bevezetésük.

A napenergia szekunder megjelenésének egyik változata a hidrológiai (víz) energia, amely többhelyütt koncentráltan a vízerőművekben hasznosítható. Másik módozat a szélenergia, amely helyi jelentőségű [8] közhasznú, nagy mennyiségű energia termelésére nem alkalmas.

Gravitációs energiaforrás az árapály energia, amely kedvező földrajzi adottságok mellett (jól lezárható öbölbejárat) felhasználható. Így pl. Franciaországban a Rance folyó torkolatánál, valamint a Szovjetunióban Murmanszk közelében létesítettek nagy teljesítményű árapály erőművet [9].



2. ábra. Energiaáramok és átalakító berendezések folyamatvázlata

Az 1. ábra mutatja a föld összes évi energiafelhasználását az 1950 ÷ 2000. évek közötti időszakban az egyes energiaforrások és átalakító berendezések között megosztva [10]. Szaggatott vonal jelzi a néhány év előtti energia-becslést, amelyhez képest a jelenlegi becslés a takarékosabb energiafelhasználást, jobb hatásfokú átalakítókat előirányozva, csökkentett mértékű (2000. évre az előző becslésnek csak 70%-a). A jobb hatásfokú energiaátalakításhoz új technológiák bevezetése és új berendezések kialakítása szükséges. Ebbe a csoportba tartozik a magnetohidrodinamikus (MHD) generátornak, mint a hőenergiából közvetlen villamos energiát termelő eszköznek, kifejlesztése, amely a jelenleg 40%-os hatásfokot 55 ÷ 60 százalékra képes megnövelni [2, 11].

A rendelkezésre álló lehetőségek közül az egyes gazdasági egységek a műszaki-gazdasági vizsgálatokat figyelembe vevő gazdaságpolitikai döntések alapján irányítják fejlődésüket. Lehetségesek azonban olyan döntések is, amelyek közvetlen gazdasági mutatókkal szemben a saját forrásokra támaszkodó, önálló energiaellátás érdekében anyagi áldozatokat képesek hozni, pl. az USA-ban. Ezért a következőkben közölt fejlődési irányok, amelyek ezeket az eddig kevésbé használt, „új potenciális”, lehetőségeket tekintve veszik, kellőképpen értékelendők. A teljesség igénye nélkül, azonban annak érdekében, hogy ezen a területeken elért előrehaladás áttekinthető legyen, a következők a nap-, a geotermikus és a kémiai energiának villamosenergia-termelésre

alkalmazását mutatják be, továbbá mivel a villamos energia gyakorlatilag közvetlen nem tárolható, különböző energiatároló és villamos energiává átalakító berendezések is szerepelni fognak. Az összefoglalás a hazai fejlesztésre ad javaslatot, amely az ipari adottságainkat, a nagyszabású kutatásokban az ország lehetőségeinek megfelelő részvételt is tekintetbe veszi.

Az áttekinthetőség érdekében az energiakészletek és áramok felhasználásait az egymásközötti átalakításokat egy leegyszerűsített folyamatvázlat mutatta be. Természetesen ez is, mint minden általánosítás, csak többé-kevésbé fogadható el, ha egy meghatározott helyre az energiafelhasználást értékeljük. Ennek megfelelően az energiakészleteknek és az energiaáramlásnak villamos, kémiai és hőenergiára való felhasználását a 2. ábra vázlatosan szemlélteti. Magas szintű energia a villamos és a kémiai energia, ezek egymás között közvetlenül is átalakíthatók. A kémiai energiának tározása a villamos energiához képest általában kisebb költséggel oldható meg. A szerves kémiai energiakészletek megfelelő finomító eljárások (pl. olajfinomítók) után mint kémiai energiaforrások felhasználhatók. A lakosság fűtési igényét, az ipar, a mezőgazdaság szükségletét kielégítő hőenergia általában alacsony szintű, amely több esetben geotermikus és napenergiából kis költséggel termelhető, de magasabb szintű energia átalakítások hulladék energiájából gazdaságosan kinyerhető, pl. villamosenergia-termeléssel összekapcsolt távfűtés esetében.

3. Napenergia felhasználása villamosenergia-termelésre

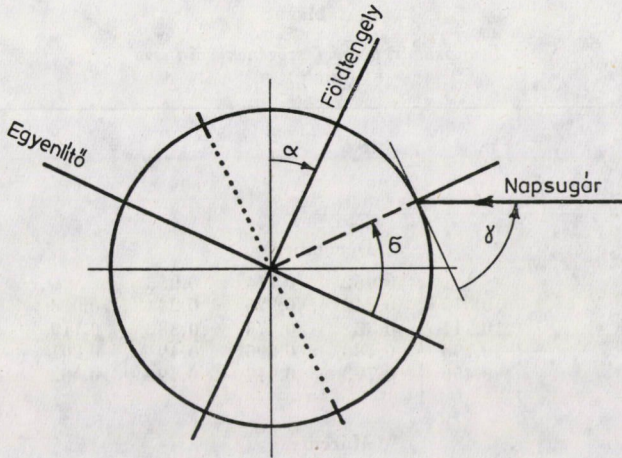
3.1 A napsugárzás mint energiaforrás

A Föld atmoszférájához érkező napsugárzást a meteorológusok az ún. szoláris állandóval határozzák meg, amely $1,94 \pm 0,7$ cal/cm²·min. [12]. A nagyobbik érték a Földnek a napközeli, a kisebbik érték a naptávoli keringési helyzetéhez tartozik. Ebből az állandóból 1 m² felszínre átszámítva az atmoszférához érkezik $1164 + 42$ kcal/h = $1,353 \pm 0,0488$ kW. A napsugárzás részben visszaverődik a világűrbe, részben az atmoszférába hatolva közvetlen sugárzásként jut a földfelszínre, melyhez még a légkörben elnyelt sugárzásnak egy része mint szórt égsugárzás hozzáadódik.

A Föld tengelyének helyzete és a deleléskor a napsugár által bezárt α szög a Föld keringésével az évszakokban változik. Ha a Föld elfordulását a deleléshez képest a napszakokban β szöggel (amely pl. 6 óraker 90°), a szélességi fokot σ szöggel jelölve a szóban forgó földrajzi helyen a napsugárnak a Föld vízszintes felületére beeső γ szöge közelítő a 3. ábra szerint a következő összefüggéssel határozható meg:

$$\sin \gamma = \sin \sigma \sin \alpha + \cos \sigma \cos \alpha \cos \beta,$$

ahol a földtengely relatív elfordulását kifejező α szöveget a 3. táblázat mutatja.



3. ábra. Napsugár és a Föld helyzete

A fentiekből Budapestre ($\sigma = 47,5^\circ$), Athénre ($\sigma = 38^\circ$) és Kairóra ($\sigma = 30^\circ$) deleléskor decemberben és júniusban a γ beesési szöget, valamint a nappalok hosszát a 4. táblázat tartalmazza. Megjegyzendő, hogy az USA-ban tervezés alatt álló, valamint a Szovjetunióban üzemben levő naptelepek a $32 \div 38$ szélességi fok között helyezkednek el. Ebből látható, hogy hazánk a napenergia felhasználása szempontjából mennyivel kedvezőtlenebb helyzet-

3. táblázat

Földtengely és a napsugár által bezárt szög átlagértéke a deleléskor az egyes hónapokban (α)

XII	I, XI	II, X	III, IX	IV, VII	V, VII	VI
-23,5	-21	-12	0	12	21	23,5

4. táblázat

Különböző földrajzi helyeken (σ szélességi fokon) a napsugár beesési szöge (γ) decemberben (XII) és júniusban (VI) deleléskor (12 h), valamint a nappalok időtartama órában

		Oslo	Budapest	Athén	Kairo, Houston
σ		60°	47,5	38	30
γ	XII	$6,5^\circ$	19	28,5	36,5
	VI	$53,5^\circ$	66	75,5	88,5
nappalok időtartama (h)	XII	5,5	8,2	9,3	10,5
	VI	18,5	15,8	14,7	13,5

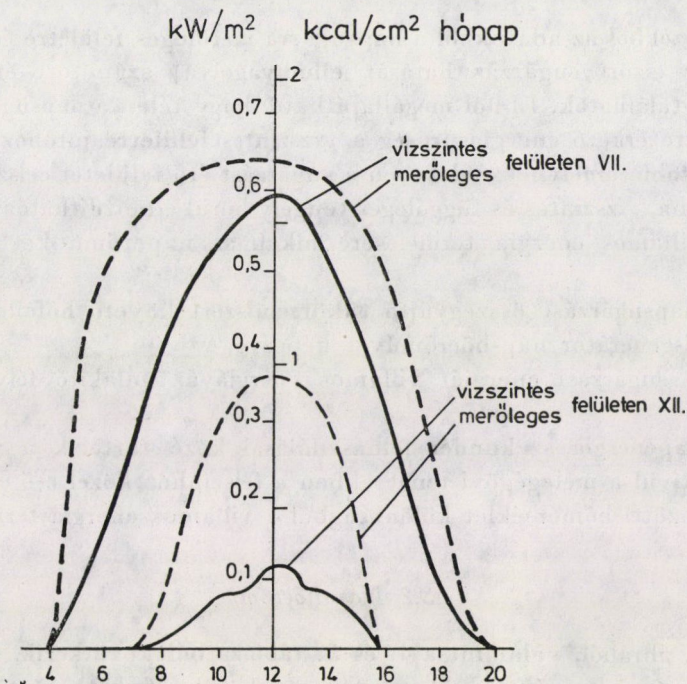
5. táblázat
A napsugár beesési szögének szinusza
 (sin γ)

Széles- ségi fok	Időpont (h)									
	4	6	8	10	12	14	16	18	20	
December										
60				0,052	0,114	0,053				
47,5			0,015	0,242	0,326	0,244	0,018			
38			0,114	0,38	0,478	0,382	0,119			
30			0,196	0,488	0,595	0,49	0,201			
0			0,456	0,793	0,917	0,796	0,462	0,004		
Március										
60			0,224	0,429	0,5	0,436	0,255	0,006		
47,5			0,33	0,581	0,675	0,589	0,345	0,008		
38			0,385	0,677	0,788	0,687	0,403	0,01		
30			0,423	0,744	0,866	0,755	0,443	0,011		
0			0,489	0,860	1	0,872	0,511	0,014		
Június										
60	0,107	0,335	0,565	0,797	0,804	0,748	0,384	0,356	0,125	
47,5		0,280	0,591	0,823	0,913	0,838	0,617	0,309		
38		0,229	0,592	0,863	0,968	0,88	0,621	0,263		
30		0,181	0,581	0,878	0,993	0,896	0,613	0,219		
0			0,44	0,783	0,917	0,804	0,478	0,022		

60° Oslo
 47,5° Budapest
 38° Athén, Melbourne
 30° Kairo, Houston, Austin

ben van, különösen ha figyelembe vesszük azt, hogy az energiaforrásra számottevőbb mértékben a villamos és fűtési energiaigény miatt télen van szűkség. Télen a Nap helyzete deleléskor megfelel a sarkvidéken a nyári naphelyzetnek. A nappalok hossza a teljes napi időtartamnak csak 1/3 részét teszi. A kedvezőtlen beesési szöget koncentrátorok (tükrök) megfelelő beállításával, mintegy a nap követésével csak bizonyos mértékig lehet ellensúlyozni, mivel a téli időszakban jelentékenyebb elnyelés és szórás már nem befolyásolható. Ezt a nehézséget csak az űr-erőmű küszöbölheti ki, ahonnan a felvett napenergiát átalakítva mikrohullámmal lehet a Föld felszínére továbbítani, viszont ez a megoldás a ma ismert technikai lehetőségek mellett igen költséges és így nem jöhet számításba [13].

Pontosabban kiszámított adatokat tartalmaz az Oslóra is kiterjesztett 5. táblázat, bár gyorsabb tájékozódás érdekében a 4. táblázat adatai is jól használhatók. A napsugárzás szempontjából kedvezőbb viszonyok miatt meg-



fontolandó, hogy ha későbbiek során technológiailag jól kifejlesztett nap-erőművek rendelkezésre állanak, azokat célszerűbb alacsonyabb szélességi fokon elhelyezni, és az átalakított villamos vagy kémiai energiát 800 ÷ 1000 km távolságra is elszállítani.

Az első naptelepet MOUCHOT 1880-ban mutatta be a Párizsi Világkiállításon. Jelenleg a Szovjetunió déli területein — az Örmény, Türkmen Köztársaságban, Üzbegisztánban — hasznosítja a napsugárzást [14]. Az USA szövetségi kormányzat Energy Research and Development Administration (ERDA) szervezetén keresztül — amelyhez az atomenergia program irányítása is tartozik — évente mintegy 120 millió \$-t fordít a napenergia gazdaságos felhasználásának kialakítására. Az NSZK-ban 20 millió DM évi összegű állami támogatással megalakult a Deutsche Gemeinschaft für Sonnenenergie. Franciaországban a C.N.E.S. és a C.N.R.S. állami kutató szervezetek összesen 20–30 millió frankot fordítanak évente napenergia kutatásra [15]. Az Ausztráliai Tudományos Akadémia is felvette kutatási témái közé a napenergia felhasználását. Magyarországon pedig a Villamosipari Kutató Intézet (VKI) készített speciális célra napfényelemet [16].

A hasznosítható napenergiát célszerű közelebről vizsgálni. A budapesti meteorológiai megfigyelések 7 évi átlagát képezve, a 4. ábra a július és december hónapokban a vízszintes felületre érkező besugárzás óra-értékeit tünteti

fel [12]. Ezekből az adatokból a napsugárra merőleges felületre érkező sugárzássűrűség (szórt sugárzás hatását elhanyagolva) számított értékei is az ábrán megtalálhatók. Ebből megállapítható, hogy télen a napsugárra merőleges felületre érkező energiasűrűség a vízszintes felületre jutóhoz képest sokkal kedvezőbb, amelynek érdekében a sugárzást érő felületet célszerű a sugárzás irányába, vízszintes és függőleges tengely körül elmozdíthatóan, beállítani.

A villamos energia termelésére alkalmas naperőmű két változatban készülhet:

— napsugárzást összegyűjtő tükörrendszert követő hőfejlesztő, tározó és turbina-generátor nap-hőerőművet képezve,

— a sugárzási energiát villamos energiává átalakító félvezetős nap-elemként.

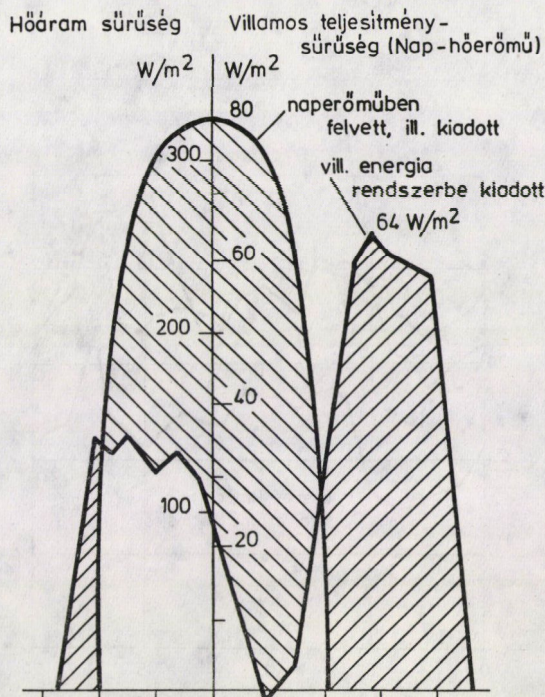
A napenergia szekunder felhasználásai közé tartozik a víz- és szél-energián kívül a melegítővi tengerekben a felszínhez közel eső és a mélyebb rétegek közötti hőmérséklet különbségből a villamos energia termelése.

3.2 Nap-hőerőmű

A 4. ábrából, valamint a 4. és 5. táblázatból következik, hogy a napsugárzást vízszintes és függőleges tengely körül elfordítható tükörrendszer (heliosztát) kis veszteséggel továbbítja a megfelelő 100÷250 méteres tornyon elhelyezett felvevő berendezéshez, amely télen a 4. ábra alapján az 5. ábrán feltüntetett és a tükörfelületre vonatkoztatott energiasűrűséget kapja. A felvevőben a sugárzási energia hőenergiává alakul, amelyet megfelelő közeg továbbít egy konvencionális turbinába.

Az 5. ábrából leolvasható a nap-hőerőműben termelhető, a tükörfelületre vonatkoztatott villamos teljesítmény is. Télen 8÷16 óráig átvehető villamos teljesítményt csak megfelelő tárolással — amely lehet hőtározóval megoldott is — lehet csúcsergia szolgáltatásra felhasználni. Ha a magyar energiarendszer napi terhelési diagramjából (6. ábra) csúcsra vonatkozó arányos részt az 5. ábrára felrajzoljuk, megállapítható, hogy 1 m² tükörfelület segítségével 64 W villamos csúcsteljesítmény szolgáltatható.

A 7. ábra a nyári, június—július hónapra mutatja a 4. ábráról a koncentrátoros nap-hőerőmű sugárzási és villamosteljesítmény-sűrűség viszonyait. Ha megfelelő energia tározóképeség rendelkezésre áll, az erőmű fél csúcüzemben 1 m² tükörfelületre számítva 140 W-ot teljesíthet. Ennek alapján hazai viszonyokra a nap-hőerőmű 1 m² tükörfelületre számítva mintegy 80 W-ra értékelhető, ily módon 50 MW-os modulhoz szükséges tükörfelület 0,60 km²-re adódik, viszont a teljes terület-igény 2,3 km²-t tesz ki. Ily módon 1000 MW teljesítményű erőmű létesítése 46 km² területet vesz igénybe. Az elvégzett közelítő számítás átlagértékekből indult ki, és nem vette figyelembe a napsugárzásnak az átlagostól eltérő ingadozásait. Ezért megfelelő bizton-



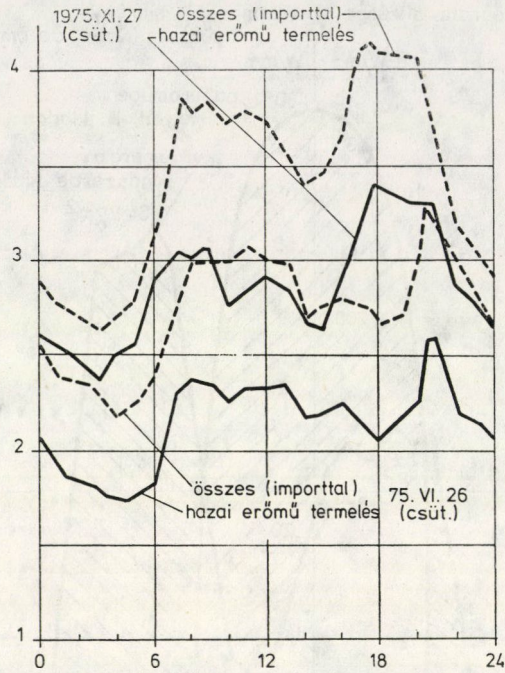
5. ábra. Télen a tükörfelületre érkező energiaáram (vill. teljesítmény)

sággal, hazai vonatkozásban mintegy $60 \text{ km}^2/1000 \text{ MW}$ területfoglalást lehet előirányozni.

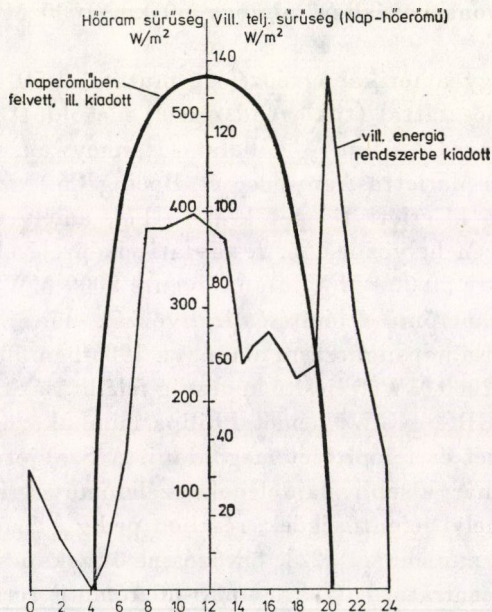
A 8. ábra egy amerikai elképzelést mutat be 50 MW-os modulrendszerű beállítható heliosztáttal (tükörrendszerrel) megoldott nap-hőerőműves berendezésre [15]. Az USA-ban 4 vállalat (Honeywell, Donnel-Douglas Astronautics, Martin-Marietta-Aerospace és Boeing Co.) az ERDA finanszírozásában 10 MW-os kísérleti telepet készít [17], amelyet az Egyesült Államok délnyugati részén helyeznek el. A távlati elképzelések szerint 1985-re $150 \div 300 \text{ MW}$, 1995-re $50\,000 \text{ MW}$, utána évente 8000 MW , ennek alapján 2020-ra $250\,000 \text{ MW}$ naperőmű felépítését irányozzák elő.

Japánban a napsugárzásra alapozva 1985-ben 50 MW teljesítő képesség, 2000-ig $1000 \div 2000 \text{ MW}$ teljesítő képesség felállítását tervezik [18]. Az NSZK-ban az AEG, BBC, RGW, német Philips munkaközösségben kívánja a naperőmű tervezését és felépítését megoldani. A Szovjetunióban ([19]—[21]) és az USA-ban már kisebb naptelepek szélenergia-erőművel kombinálva működnek. Ezek részben helyi jelentőségűek, részben pedig a Szovjetunió déli területein mezőgazdasági műveléssel [22], öntözéssel összekapcsolva üzemelnek.

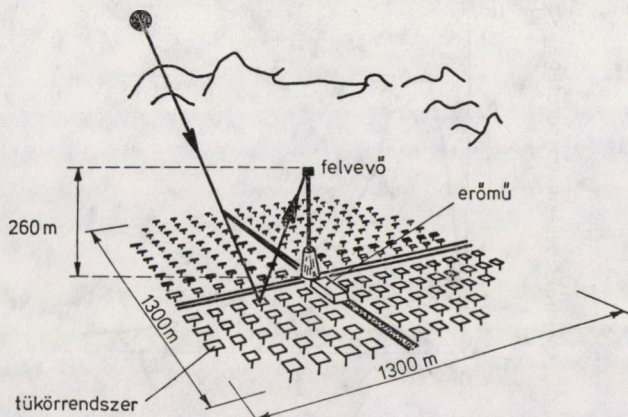
Ez a koncentrátoros (tükros) nap-hőerőmű is természetesen új technológiai fejlesztést igényel. Fémkeretre kifeszített műanyagra (mylar) porlasztott



6. ábra. Magyar villamosenergia-rendszer napi terhelésének változása (1975 jún. 26-án és nov. 27-én)



7. ábra. Télen a tükörfelületre érkező energiaáram (vill. teljesítmény)



8. ábra. Nap-hőerőmű 50 MW-os modulja

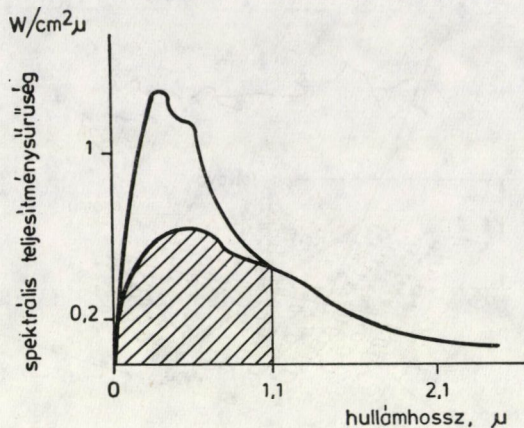
fém ráfúvásával készített tükrök kedvezőtlen időjárással szemben megfelelő elzárható burkolattal védendők. A tükröket a napsugár irányába — vízszintes és függőleges tengelyben elfordítható — beállítását számítógépes vezérléssel, megfelelő érzékelő és mozgató berendezésekkel szükséges megoldani. Ez is magyarázza, hogy a fejlesztési munkába számítógépet gyártó vállalat miért kapcsolódik be.

A magas tornyon elhelyezett felvevő berendezésnek (napkazánnak) jó sugárelnyeléssel, kismértékű visszaverődéssel, ill. hővisszasugárzó képességgel kell rendelkeznie. A hőenergia átvételére különböző megoldások találhatók, pl. egyik esetben vízgőz, másik esetben héliumgáz a munkaközeg, amely továbbítja a hőenergiát a tározóba és az energiatermelő — általában konvencionális turbina-generátor — berendezésbe.

3.3 Félvezetős napelemes erőmű

A naperőművek másik csoportja a félvezetős napelem segítségével működik. Ennek hatásfoka a foto-abszorpció, az energia- és impulzus megmaradási törvény, valamint a refrakciós hatások, a töltéshordozók szeparációja és a belső ellenállás miatt viszonylag csekély. Szilícium egykristály esetében mintegy 10–15% hatásfok érhető el. A napsugárzás spektrális teljesítmény sűrűségét a sugárzás hullámhosszának függvényében a 9. ábra tünteti fel, és ebből csak a vonalkázottan felhasználható terület értékesíthető, de a kivehető hasznos energiát az említett veszteségek tovább csökkentik.

A hazai Villamosipari Kutató Intézet (VKI) 2,5 cm \varnothing -jú, 50 cm hosszú szilícium egykristályt 0,25 mm vastag lapokra szeletelve, 6 m² felületű (74%-os kihasználással) napelemet készített [16], amelynek teljesítménye 210 W és azt az Iszkahegyen a postai URH részére szerelték fel. A napelemes erőműhöz



9. ábra. Napsugárzás spektrális teljesítménysűrűsége

villamosenergia-tározás szükséges, amelyet ebben az esetben egy 24 V-os 1000 Ah-s savas ólomakkumulátor biztosít. A teljes berendezés költsége 750 000 forint volt. Közel egy esztendeje üzemelő berendezés regisztrátumai a hazai viszonyok pontosabb értékelésére fognak adatokat szolgáltatni. A Kutatóintézet pedig tovább is foglalkozik kisebb költségű megoldások kialakításával, többek között koncentrátorral összekapcsolt napelem alkalmazásával.

A napelemek az úrhajók energiaforrását képezik, ezért a Szovjetunióban és az Egyesült Államokban azok kutatására számottevő gondot fordítanak. Újabban Tyco Laboratóriuma és a Harvard Egyetem, valamint a Texas Instrument Vállalat zafírhúzáshoz hasonlóan szilícium szalag készítésével kezd foglalkozni, amely lényegesen olcsóbb eljárásnak mutatkozik, mint a hengeres egykristály felszeletelése. Eredményként közölték, hogy 40 perc alatt 100 cm hosszú, 2 cm széles és 250 mikron vastag szilícium szalagot tudtak előállítani. Problémát jelent a pontos hőfoktartás ($\pm 1^\circ\text{C}$) a zafírhúzásnál megengedhető nagyobb hőfokhatárokkal szemben ($\pm 15^\circ\text{C}$) [24]. Úgy látszik, hogy a közeljövőben sikerülni fog 16 óra alatt 50 m hosszú, 5 cm széles és 125 mikron vastag szilícium szalagot készíteni, amely már a költségek lényeges csökkentését fogja eredményezni. Ha sikerül a költségeket 1/40 részre leszállítani, lehetséges, hogy 1 Watt előállítása 50 e-be fog kerülni, amely már elfogadható, de a cél 25 e/W fajlagos költségű fényelem 15%-os hatásfokkal. További probléma a fényelem élettartama. Egy másik lehetőség szilícium helyett CdS vagy CuS és a kettőjük kombinációjának előállítása. Egy francia csoport foglalkozik CdS anyagú napelemmel, és az eddig elért eredményei biztatóak. Szóba kerülhet még GaAs kristály is, amely jobb hatásfokot biztosíthat. Ez utóbbi kristály kialakításának kutatása a Varion, a Jet Propulsion Laboratórium és az IBM vállalatok munkaközösségében folyik.

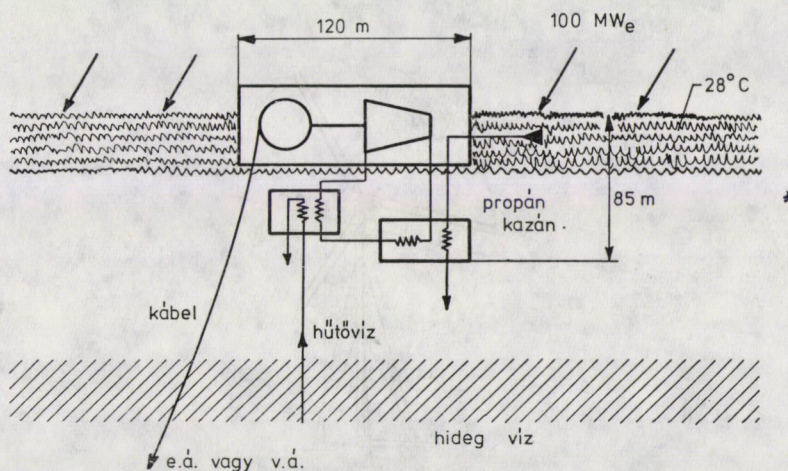
3.4 Óceáni hőenergiát felhasználó erőmű

A napsugárzás kétharmad része az óceánokat éri. Ennek megfelelően a forrógövi területeken a víz tengerfelszínen 28°C -ra felmelegszik. Ugyanott az óceán mélyebb részein a sarkvidékekről odaáramló 3–4 fokos hideg víz helyezkedik el [25]. Mintegy 25°C hőmérsékletkülönbséget speciális, tengeren elhelyezett úszóerőművekkel lehet hasznosítani, elméletileg 8, a valóságban 3%-os hatásfokkal. Az úszóerőmű egyik megoldását a 10. ábra mutatja be.

A tenger hőmérsékletkülönbségének villamosenergia-termelésre való felhasználása Georg CLAUDE-tól (francia, 1920) származik. Az USA-ban 1973-ban a National Sciences Foundation (NSF) kutatást indított el, a New Orleans-i Egyetem (University of New Orleans) és a Carnegie Mellon Institute bevonásával 100 W-os kísérleti berendezés már elkészült. Komoly problémát okoz a tengervíz okozta korrózió, a felületre rakódott algák, a mélyvízbe vezető csővezeték mechanikai állékonyságának biztosítása az áramlatokkal szemben. Ezért csak 1985-re irányozzák elő a Mexikói-öbölben egy 100 MW-os erőmű üzembehelyezését. Az úszó erőműből egyenáramú vagy váltakozó áramú, tengerben elhelyezett kábelekkel lehet a villamosenergia-átvitelt megoldani.

3.5 Szélerőmű

A szélerőműveket a Szovjetunióban Üzbegisztánban gyártják $1 \div 15$ kW teljesítménnyel. Az USA-ban, Franciaországban terveket készítettek $100 \div 1000$ kW-os egységek előállítására. Ezeknek a költsége azonban a konvencionális erőművekéhez képest $4 \div 5$ -szörös, és nem valószínű, hogy ez a költség számottevő mértékben csökkenthető. Előzetes vizsgálatok alapján New England villamosenergia-ellátására az odatartozó egész tengerparti sávot



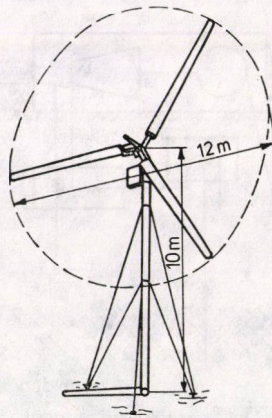
10. ábra. Tengervíz hőmérsékletgradiensére működő erőmű

szélerőművekkel kellene elfoglalni. Megállapítható azonban, hogy a szélenergia, mint a napenergiának szekunder megjelenése, olyan helyeken használható kedvezően, ahol nincs nagyobb teljesítményigény, és a szélerőmű más energiaforrástól távol esik (ritkán lakott helyek, óceáni szigetek stb.), a légköri feltételek a széljárás gyakorisága tekintetében pedig kedvezőek. Ezzel magyarázható, hogy a SZU-ban és az USA-ban bizonyos mértékű kutató és fejlesztő munkát folytatnak.

A 11. ábra bemutat [8] egy szovjet kisebb teljesítőképességű (15 kW-os) Szokol típusú szélerőművet, abban a három lapát forgási síkja a függőleges tengellyel 10° -ot zár be és a berendezés teljes súlya 1900 kg. A beállítható lapátokkal a forgatónyomaték szabályozható, a szélirányba való önműködő beállítás is biztosított. Az elhelyezés szélesség gyakoriságától és az energiafelhasználástól függően kell megfelelő energiátározóról gondoskodni. A szóban forgó berendezésnek 7 m/s közepes szélesség esetén 3500 h kihasználást is sikerült elérni, ha azonban a közepes szélesség 4 m/s, a kihasználási óraszám 1260 h-ra lecsökken.

3.6 Napenergia felhasználás egyéb célokra

Foglalkoznak továbbá koncentrátorokkal kémiai célra szolgáló energia átalakítással, pl. víz sótalánítás [23], vízbontással hidrogénfejlesztés, fémkohászat. Az utóbbira tipikus példa Franciaországban a Pireneusok északi részén, Odeillo nevű 1 MW-os telep. Az óceáni hőenergiát felhasználóban is elképzelhető elektrolízis segítségével hidrogén-termelés is. A napenergia fűtési célra [24], tehát hőenergia termelésre való felhasználását mutatja be a 12. ábra, amelyen Guilfordban (Conn. USA) egy lakóház hőellátására és légkondicionálására szolgáló napfénykollektor látható, amely megfelelően elhe-



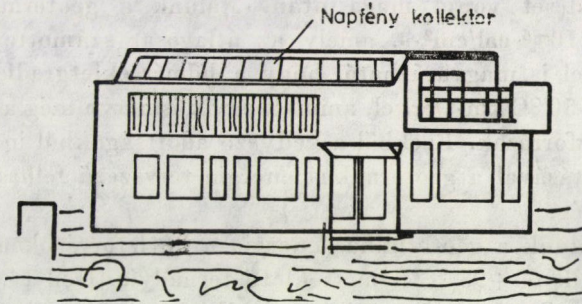
11. ábra. 15 kW-os Szokol-típusú szovjet szélerőmű

lyezve lakásonként mintegy 40 m² felületet igényel. Megkísérelnek mintegy 5000 lakóházat ezzel a fűtési rendszerrel ellátni, annak érdekében is, hogy gazdaságilag kedvezőbb megoldást találjanak. Ilyen ún. próbaberendezések létesítésével foglalkoznak Franciaországban és az NSZK-ban is, mindez a törekvés számottevően a legutóbb kialakult nagy szénhidrogén árak következményének tulajdonítható.

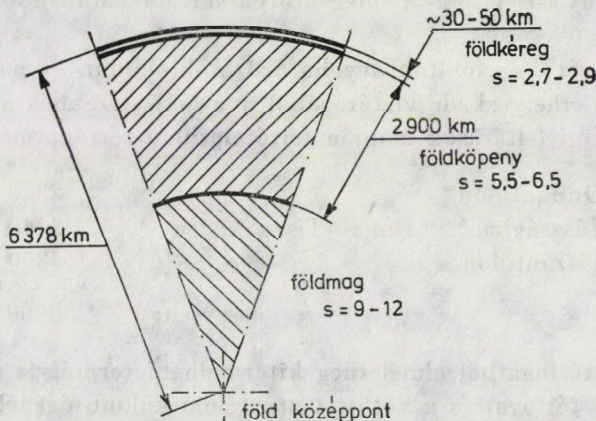
4. A geotermikus energia hasznosítása

4.1 Hasznosítás általában és hazai alkalmazás jelenleg

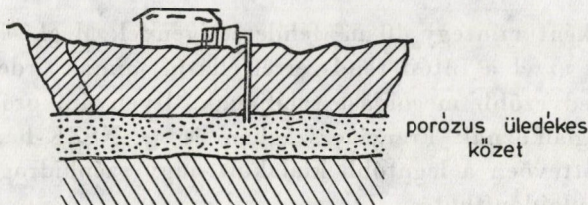
A geotermikus energia hasznosítási kérdéseivel foglalkozva ebből a szempontból nézve célszerű rövid összefoglalást adni a Föld belső szerkezetéről, amely öves felépítésű: földkéregre, földköpenyre és földmagra tagozódik. A Föld belsejében a mélységgel növekszik a hőmérséklet, amely a magban 3000 °C lehet. A 13. ábrán látható, átlagban 30 ÷ 50 km vastag földkéreg alatt helyezkedik el a 2900 km vastag földköpeny és ezen belül a földmag,



12. ábra. Lakóház hőellátása és légkondicionálása napfény-kollektorral



13. ábra. Föld belső szerkezete (vázlatosan)



14. ábra. Geotermikus energiahasznosítás termálvízzel

amelyből a földfelszín felé áramlik a geotermikus hőáram. A földkéregből a kutató és kitermelő mélyfúrások adnak információt. Ezekből, valamint a föld-rengés hullámok terjedéséről, villamos és mágneses mérésekből, mélytengeri megfigyelésekből következtetnek a földtannal foglalkozók a Föld belső szerkezetére.

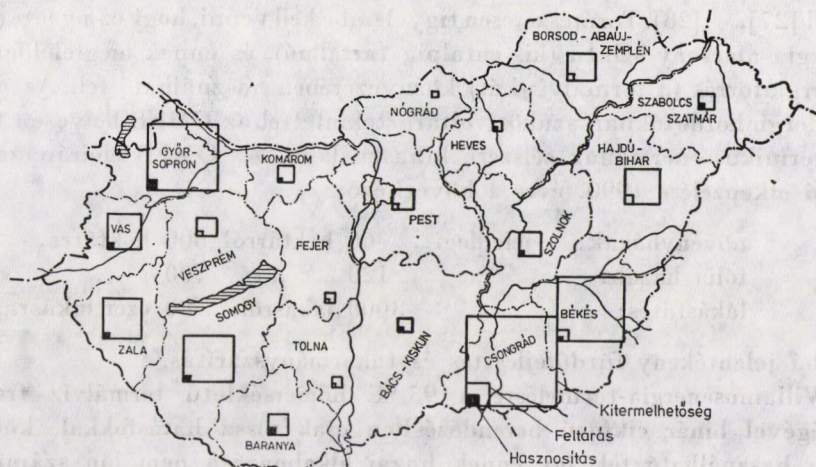
A geotermikus hőáram-sűrűség átlagosan $1,5 \cdot 10^{-6}$ cal/cm²·s, és ennek megfelelően az átlagos hőmérsékletgradiens a földkéregnek a felszínhez közeli részén $20 \div 25$ °C/km. Egyes helyeken a geotermikus hőáram, többek között a földkéreg elvékonyodása következtében, megnövekszik ez a hőmérsékletgradiens emelkedését vonja maga után. Nálunk a geotermikus hőáram-sűrűség $2 \div 3,4 \times 10^{-6}$ cal/cm²·s, amely az átlagosat számottevő mértékben meghaladja. Ezzel is magyarázható, hogy a hőmérsékletgradiens a Pannon medencében $40 \div 50$ °C/km-t éri el, aminek egyik ismérve még a római korban is használt hévízforrások. Ezekből a kedvező adottságokból indult el nálunk az OMFV irányításával a geotermikus energia tervszerű felhasználására irányuló tevékenység.

Jelenleg nálunk a geotermikus energia a hévízforrásokon túlmenően a fűtő kutakból mint $60 \div 95$ °C hőmérsékletű termálvíz (lásd 14. ábra) érkezik a Föld felszínére. Onnan csővezetékkel elszállítva növényházak, fóliaházak, lakótelepek fűtésére, a mezőgazdaságban takarmány szárítására, továbbá a lakosság igényeit kielégítő és az idegenforgalmat növelő fürdőfejlesztésre hasznosítható.

A termálvíz — a földtani meghatározások alapján — porózus, üledékes kőzetek között elhelyezkedő víztározóból nyerhető. Ezeknek a porózus üledékeknek az eddigi feltárások alapján feltételezhető térfogatmértéke

a Dunántúlon	2320 km ³
a Jászságban, a Duna—Tisza közén	2340 „
a Tiszántúlon	4300 „
összesen:	<hr/> 8960 km ³

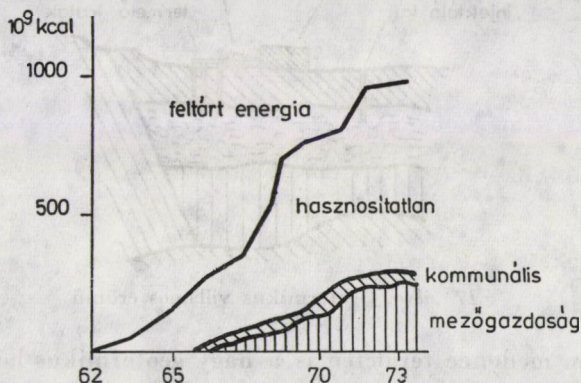
Ebből a köztérfogatból elméletileg kitermelhető termálvíz a szilárd anyag közötti szabad térfogat és a kötött víztartalom különbségéből adódik, amely 500 km³-re becsülhető. Kellő biztonsággal a különböző kutató fúrások alap-



15. ábra. Geotermikus termásvíz energiahasznosítás megoszlása hazánkban

ján a gyakorlatilag kitermelhető vízmennyiséget $50 \div 250 \text{ km}^3$ -re irányozzák elő, amelynek megfelel $300 \div 1500 \text{ GWév}$, ill. $(2 \div 10) \times 10^{15} \text{ kcal}$. Ennek alapján az évente kitermelhető reménybeli mennyiség 6200 MWév , amellyel szemben fúrásokkal már feltárt évi 200 MWév , a hasznosított pedig 1973-tól évente 48 MWév . A kitermelhetőség, a feltárás, a hasznosíthatóság mértékét megyénként megosztva a 15. ábrán lehet megtalálni. Ebből látható, hogy a kitermelhetőséghez és a feltáráshoz képest a hasznosítás terén még mennyi a tennivaló. Csongrád megyében, ahol a viszonyok a legkedvezőbbek, 1962 \div 73. évek között hasznosított hőmennyiséget felhasználási ágakra bontva a 16. ábra mutatja be.

Ennek a geotermikus hőenergiának $100 \div 125 \text{ Ft/Gcal}$ fajlagos költsége kedvező, összehasonlítva az import nyersolaj $300 \div 450 \text{ Ft/Gcal}$ fajlagos költ-



16. ábra. Geotermikus energiahasznosítás Csongrád megyében

ségével [27], — [28]. Természetesen figyelembe kell venni, hogy ez a geotermikus hőenergia alacsony szintű (kis entalpia tartalmú), és ennek megfelelően csak az energiaforrás (a termálvíz-kút) környezetében használható fel. Az országnak energiahordozókban szűkös voltára tekintettel az OMFH helyesen tűzi ki a geotermikus energiának célszerű kihasználását. Az OMFH előirányzati fejlesztési elképzelése 1990. évre a következő:

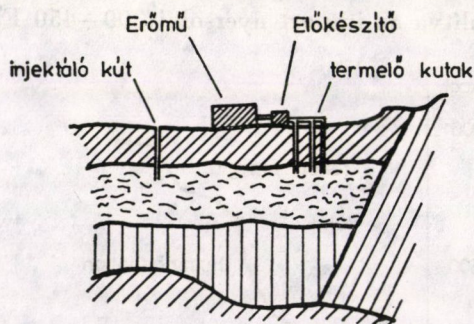
növényházak:	jelenlegi	60 hektárról	600 hektárra,
fólia házak:	„	120 „	700 „
lakásfűtés:	„	3000 lakásról	80 ezer lakásra,

továbbá jelentékeny fürdőfejlesztés és takarmányszárítás.

Villamosenergia-termelésre a 95 °C hőmérsékletű termálvíz freongáz segítségével binár ciklusú berendezésben csak rossz hatásfokkal, költséges módon használható fel, így ennek hazai alkalmazása nem jön számításba.

4.2 Geotermikus erőművek

Nagyobb hőmérsékletű (magasabb szintű), vízgőzként megjelenő geotermikus energia villamosenergia-termelésre általában gazdaságos megoldás. Ez a magasabb szintű energia található recens vulkáni területeken (Izland, Kamcsatka, Új-Zéland), de nem recens területeken is (USA, California), ahol a Föld harmadkora folyamán felfelé irányuló kőzetanyag-áramok miatt forró pontok (hot spot-ok) keletkeztek. Ilyen pl. a 17. ábrán bemutatott esetben [26], ahol injektáló kutak segítségével bevezetett víz a forró porózus kőzeten keresztül haladva elgőzölög, a száraz vagy nedves vízgőz termelő kutakból feláramolva, a közelben elhelyezett speciális hőerőműben villamosenergia-termelésre felhasználható.



17. ábra. Geotermikus villamos erőmű

A Pannon medence területén is a nagy geotermikus hőáram miatt van valószínűsége ilyen „forró pontok” létezésének. Ezeknek felderítésére a Központi Földtani Hivatal kutatási munkaprogramot alakít ki. Először nem

költséges előzetes feltárások indulnak, amelyek kedvező eredménye után lehet a további feltárási munkákat folytatni. Nagyobb entalpiájú energia-készletre azonban csak az előzetes feltáró kutatások kedvező eredményei alapján, a gazdaságos kitermelés lehetőségeit mérlegelve, lehet számítani.

Az Egyesült Nemzetek Szövetsége (ENSZ) is nagy jelentőséget tulajdonít a geotermikus energia felhasználásának, és ebből a célból Pisa mellett egy központot alapított, amely 3 millió \$-ért már 4 geotermikus energiatervet készített. Foglalkoznak további két geotermikus központ létesítésével. Ebből az egyiket Új-Zélandban, a másikat esetleg Csehszlovákiában fogják felállítani.

A geotermikus villamosenergia-termelés fejlődésére a következő évszámok jellemzők [18], [26]:

1904 P. GIONORI CONTI üzembe helyezi az első 0,5 kW-os telepet Lardarellónál (Olaszország);

1919 A japán kutatás kezdete, amelynek következménye 1964. évben 3—8 kW-os, 1951. évben 30 kW-os telep felállítása;

1958 USA California, Geysers erőmű üzembehelyezése 12,5 MW-os egységgel;

1960 Új-Zélandban Wairakei erőmű üzembehelyezése, amely 1964. évben 145 MW-ra épült ki;

1965 Kamcsatkában (SZU) Pauszetca 5 MW gépegyeség 95 °C termálvízre freon gáz binér ciklussal;

1966 Japánban Matsakawa erőműben 22 MW-os gépegyeség üzembehelyezés 147 °C-s 4,5 at-s nedves gőzzel.

Az egyes országok geotermikus villamosenergia-termelésével kapcsolatban a következők foglalhatók össze [29]:

USA: Geysers erőmű, California (PG and E) 1976-ban 12 gépegyeséggel összesen 608 MW-ra épült ki, 12 telephelyen 110 kúttal, összesen 78 millió \$ költséggel. Az erőmű 1977-ig előirányzott bővítése, további 3 gépegyeség összesen 300 MW teljesítmény beépítését jelenti, 48 millió \$ beruházási költséggel. Az Egyesült Államok nyugati részén további geotermikus villamosenergia-termelésre alkalmas terület áll rendelkezésre, sőt reménybeli területek vannak Utah, Idaho, Oregon és Arizona államban.

A geotermikus erőművekből előirányzott teljesítő képesség

1980-ig	2000 MW,
1985-ig	4000 MW,
2000-ig	40 ÷ 100 ezer MW.

Törökország: 9 geotermikus mezőt fedeztek fel. Az ország területe alkalmas geotermikus villamosenergia-termelésre. Denizli-Kizildere erőmű közeljövőben 10 MW-tal kerül üzembe.

Mexikó: Cerro Prieto 1975-ben került 75 MW-tal üzembe. További geotermikus mezők használhatók ki.

Japán: 100-nál több geotermikus mezőt tártak fel. Jelenleg 200 MW beépített teljesítő képesség van üzemben. Tervek készülnek 50 ÷ 100 GW teljesítményre. A japán gépipar összesen 940 MW-nak megfelelő berendezést szállított, ebből a Mitsubishi gyár USA-ba és Salvadorba, a Toshiba gyár Mexikóba.

Szovjetunió: 28 geotermikus mezőt tartanak üzemben kis entalpiájú hőfelhasználással, foglalkoznak azonban geotermikus erőmű létesítésével. A kamcsatkai működő vulkanikus területre, nagy entalpiájú vízgőzre telepítendő 300 MW-os geotermikus erőmű terveit az Ukrán Tudományos Akadémia a Leningrádi Bányászati Intézettel együtt készítette el [30].

Olaszország: Lardarello erőmű jelenleg 400 MW-tal üzemel. Száraz forró kőzet Lardarellótól Nápolyig 20 000 km² területen feltárt. Probléma a száraz forró kőzet repesztése, amelyet az olajbányászatból ismert módszerrel igyekeznek megoldani, amely azonban költséges. A föld alatti atomrobbantás olcsóbbnak mutatkozott, viszont környezetvédelmi szempontból (sugárzásveszély) kifogásolható.

Új-Zéland: Jelenleg Wairakei erőmű 192 MW-ra épült ki, de a reménybeli geotermikus potenciált 15 GW-ra becsülik, amelynek 15%-át kutatták fel.

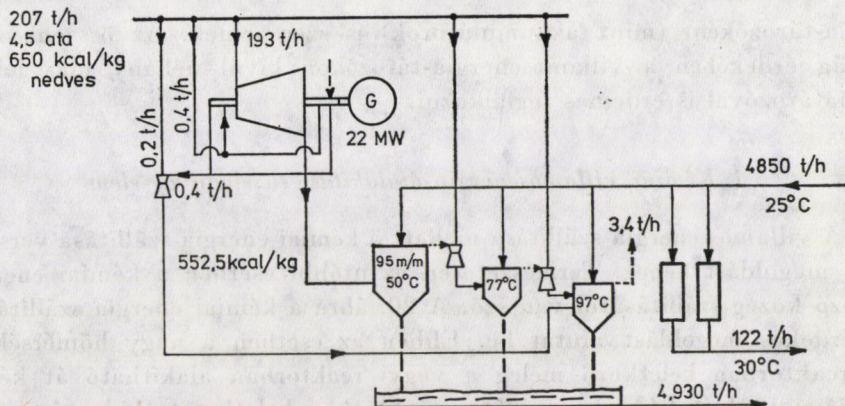
Izland: Számottevő mértékben a geotermikus energiát távfűtésre használják, Reykjavikban és Reykjanskban 76 000 lakás fűtésére. Kraflában pedig egy geotermikus erőmű működik.

Jáva: A geotermikus feltárás még a holland gyarmati uralom alatt kezdődött, majd abbamaradt. Jelenleg a mezők kutatása Új-Zélanddal megkötött műszaki tudományos együttműködés keretében készül [31].

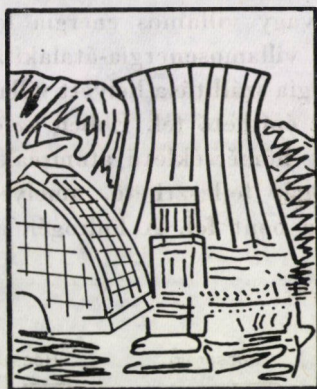
Franciaország: Az elzászi területen, a Középhegységben és a Pireneusokban 100 ÷ 130 °C gőz feltárások alapján foglalkoznak villamosenergia-termelésre való hasznosítással.

Megjegyzendő, hogy a geotermikus erőművek a környezetre figyelemre méltó hatást gyakorolnak [32]. Problémát okoznak a vízgőzben, vízben oldott arzén, higany, továbbá kénhidrogén-gáz. Mivel a geotermikus erőműnek viszonylag rossz a hatásfoka, az Új-Zélandi Wairakei Erőmű hatásfoka például 8,3%, így a vízbe kerülő hulladék-meleg a villamos teljesítmény 5,9-szerese, szemben a 42%-os hatásfokú olajerőművel, ahol csak 1,1-szeres a hulladékhő. A geotermikus erőmű környékén jelentékeny ködképződéssel kell számolni, amely a környező országutak, autópályák forgalmát akadályozza.

További hátránynak számít, hogy a geotermikus energiát szolgáltató kutak viszonylag elég nagy területet foglalnak el. Egy amerikai terv szerint 100 MW-os erőmű 20 kút száraz gőz, 26 kút nedves gőz és 13 vizet beinjektáló kút építését igényli. A kutak a vízzel átjárt kőzetek lehűtése és egyéb elhasználódás következtében azonban mindössze csak 10 évig tarthatók üzemben,



18. ábra. Matsukawa japán geotermikus erőmű hőkapcsolási vázlata



19. ábra. Matsukawa erőmű látképe

és kihasználásuk után újbabbról kell gondoskodni. Ebben a tervben a geotermikus erőmű megadott fajlagos költségei a következők:

geológiai feltárás	30 \$/kW
kutak létesítése	150 „
előkészítő berendezés	50 „
erőművi berendezés	300 ÷ 400 „

A megvalósult berendezések közül a japán 22 MW-os Matsukawa geotermikus erőmű hőkapcsolási vázlatát a 18. ábra mutatja be. Ennek az erőműnek a látképe pedig a 19. ábrán található [18].

5. Kémiai áramforrások és energiatárolók

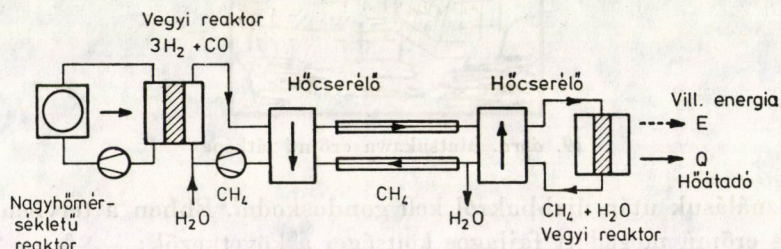
A kémiai áramforrások a kémiai átalakulásoknál felszabaduló szabad entalpiát használják fel villamos energia termelésére. Mivel a reagens anyagok tárolása sokszor egyszerűen oldható meg, a kémiai áramforrások villamos-

energia-tárolóként (mint akkumulátorok) is szerepelnek. Az összehasonlíthatóság érdekében a villamosenergia-tárolókon kívül néhány más jellegű energiatárolóval is érdemes foglalkozni.

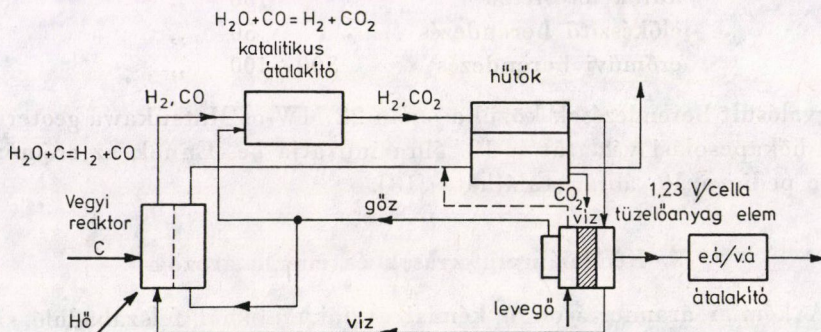
5.1 Kémiai villamosenergia-átalakítás, tüzelőanyag-elem

A villamos energia szállítása mellett a kémiai energia szállítása versenyképes megoldást képez. Természetesen ez utóbbi esetben a kémiai energiát hordozó közeg szállításáról van szó. A 20. ábra a kémiai energia szállítására egy érdekes megoldást mutat be. Ebben az esetben a nagy hőmérsékletű atomreaktorban keletkező meleg a vegyi reaktorban alakítható át kémiai energiává [33]. A kémiai energiát a reaktorban keletkezett hidrogén tartalmazza, amely csővezetéken szállítható a rendeltetési helyre, ahol a kémiai energia ismét hőenergia vagy villamos energia formájában felhasználható.

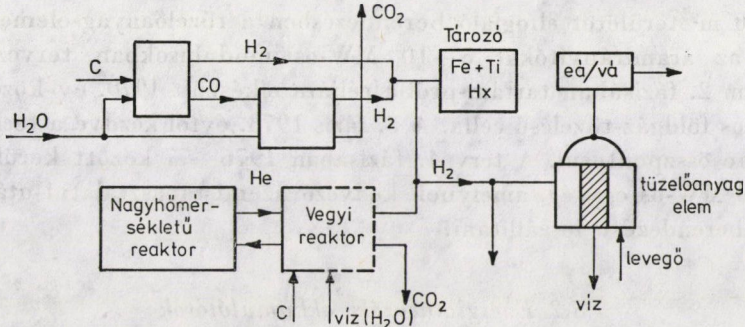
Nukleáris, kémiai és villamosenergia-átalakítás egy telephelyen is létesülhet. Ilyen a kémiai energia szállítása helyett villamos energiát szállító rendszer pl. a 21. ábra szerint építhető fel. Ebben az esetben a vegyi reaktorba szenet adagolva és a nagy hőmérsékletű atomreaktor hűtőközegének melegenergiáját bevezetve víz-gáz fejleszthető, amelyet a katalitikus átalakító hidrogénre és széndioxidra bont fel. A hidrogén a levegő oxigénjével vizet



20. ábra. Kémiai energia szállítása és energiaátalakítók



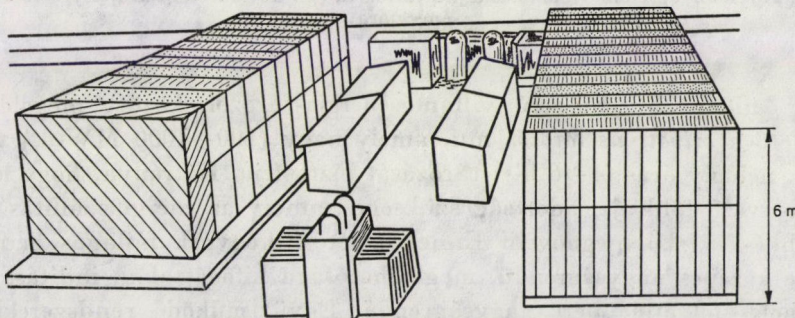
21. ábra. Kémiai villamosenergia-átalakító rendszer



22. ábra. Szénelgázosítóból és atomreaktor segítségével fejlesztett hidrogén segítségével villamos energia közvetlen termelése

képez, és az így felszabaduló kémiai energia a tüzelőanyag-elem elektródáiról mint villamos energia (1,23 V-tal) kivehető. A 22. ábra atomreaktor és szénelgázosító reaktor együttműködésével fejlesztett hidrogéngázból közvetlen villamosenergia-átalakítási rendszert vázlatosan mutat be. Az atomreaktor nagy hőmérsékletű hűtőközege héliumgáz. A vegyi reaktorban előállított hidrogén pedig vas-titán hidridképződésével tárolható [34].

Az országos villamosenergia-rendszer és a kémiai energiahordozók országos hálózata közötti, energiaátalakítóval megvalósított kapcsolat gazdaságosságát felismerve, amely az együttműködésből eredő haszon révén nyilvánvaló, a tartalékok jobb kihasználása, üzembiztonság, különböző időben fellépő terhelések stb. következményeként. Ezért az eddigi laboratórium-szintű előállítást elhagyva, USA-ban 9 közhasznú villamosenergia-szolgáltató vállalat a közvetlen kémiai villamosenergia-átalakítás kialakítását tűzte ki célul. Ennek megvalósítása érdekében tüzelőanyag-elemet tartalmazó kémiai villamosenergia-átalakítót rendeltek meg a Pratt and Whitney Aircraft cégnél. Ennek a 26 MW teljesítményű berendezésnek fejlesztése „Team to Advance Research for Gas Energy Transformation” (TARGET) nevű, 1967. évtől 1977. évig terjedő program keretében készül 42 millió \$ ráfordítással. A 23. ábrán lát-

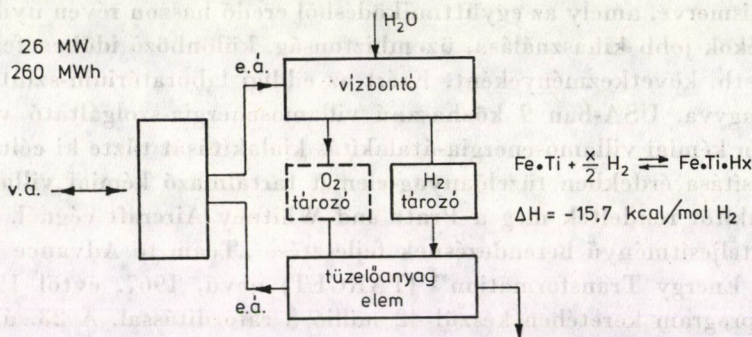


23. ábra. 26 MW-os tüzelőanyag-elemmel felépített kémiai villamosenergia-átalakító látképe

ható 2000 m² területet elfoglaló berendezésben a tüzelőanyag-elemeket 1 ÷ 5 MW-os, az áramirányítókat 5 ÷ 10 MW-os modulusokban tervezik [35]. A program 2. fázisában tartam-próba céljára elkészült 1970. év közepén egy 12,5 kW-os földgáz-tüzelésű cella. A 3. fázis 1973. évtől kezdve a technológiai fejlesztésre összpontosul. A terv 4. fázisában 1976—77 között kerül üzembe az első 10 MW-os egység, amelynek kedvező üzemi tapasztalatai után fogják a teljes berendezést leszállítani.

5.2 Energiatárolók, akkumulátorok

A tüzelőanyag-elem villamos energia tárolására is jól felhasználható a 24. ábrán bemutatott elképzelés szerint. A korszerű nagynyomású és hőmérsékletű vízbontó berendezés már 80%-os hatásfokkal működik. A vízbontó után a hidrogén 22. ábrán látható megoldáshoz hasonlóan vas-titán anyaggal megtöltött hengerekben hidridképződéssel tárolható. Pl. 300 mm Ø-jű és 2 m hosszú hengerben 400 kg vas-titán 60 kg hidrogén 10 h-s tárolására alkalmas. A 26 MW-os, 260 MWh-s tározó 5000 m² területen 40—50%-os hatásfokkal 350 \$/kW (35 \$/kWh) fajlagos beruházási költséggel létesíthető. Az ERDA e rendszerhez a tározó kifejlesztését a brookhaveni laboratóriumnál 2 MWh-s egységre rendelte meg.



24. ábra. Tüzelőanyag-elem villamosenergia-tárolásra (pl. 26 MW teljesítményre és 260 MWh energiára)

A különböző rendszerű villamosenergia-tárolók között megoldottnak tekinthető a szivattyús tározós mű, amely nagy (100 ÷ 1000 MW-os) teljesítmények néhány órás (4 ÷ 6 h-s) tárolását biztosítja. Hátránya, hogy létesítéséhez kedvező földrajzi adottság szükséges, amely az energiaszállítás költségeit többé-kevésbé megnöveli. Ennek a létesítménynek fajlagos beruházási költsége közepes nagyságrendű, megbízhatósága kifogástalan, indítása, a teljes terhelés felvétele perc nagyságrendű. Együttműködő rendszerekben az említett hatások a rendszer tulajdonságainak megfelelően értékelendők.

Foglalkoznak továbbá föld alatti üregeket kihasználó légnyomásos tározóval, de ennek megvalósítása nem ismert. Az ERDA 1981. évre 10 MWh-s szupravezető mágneses tározó kifejlesztését irányozta elő, amelynek előnye a gyors, másodpercen belüli működés volna, és ezáltal az együttműködő rendszer stabilitását kedvezően befolyásolná. Megjegyzendő, hogy az egyik legnagyobb, a CERN-ben működő, szupravezető mágnes csak mintegy 220 kWh energia tározására alkalmas [36].

A villamos energia tározásának egyik legcélszerűbb módját képezik a *kémiai áramforrások*, amelyek között a savas ólom és a lúgos nikkell-kadmium akkumulátort mint konvencionális áramforrást alkalmazzák. Mindkettőnek fajlagos mutatói kedvezőtlenek, ezért újszerű könnyebb és kisebb költségű áramforrások fejlesztését irányozzák elő. A számításba jövő kémiai áramforrások közül nevezetesebbeket a teljesség igénye nélkül a 6. táblázat tünteti fel.

6. táblázat

Kémiai áramforrások jellemzői

Elektróda	Elektrolit	Üzemi hőmérséklet	Feszültség	Fajlagos energiasűrűség reagensekre, telepre Wh/kg	
Na/S	Na—Al ₂ O ₃	360 °C	2,1 V	1143	200 ÷ 400
Li/S	LiS	450 °C	2	2451	200 ÷ 400
Li/Cl ₂ por C 5 ata	Alkálilórid	600 °C	3,4	2782	300 ÷ 350
Al/S	Na(AlCl ₄)	120—150 °C	1,2	1143	150
H ₂ /NiOOH	KOH	szoba		390	87
AgO/Zn	KOH	szoba		494	136
Pb/PbO ₂	H ₂ SO ₄	szoba	2	244	43 ÷ 50
Cd/Ni ₂ O ₃	KOH	szoba	1,4	193	28
Fe/Ni ₂ O ₃	KOH	szoba	1,4	261	27

5.3 Új típusú akkumulátorok és felhasználásuk [37]—[38]

Kedvező fajlagos mutatókkal rendelkezik a 6. táblázat 2—3. sorában szereplő *Li-Cl* és *Li-S elem*. Jelenleg még csak 200 Wh tározóképeséggel készíthető el, fajlagos energiatartalma teljesen zárt cella esetében 150 Wh/kg. E laboratóriumi telepnek a fajlagos költsége 2130 \$/kWh. A prototípus telep prognosztizált fajlagos költsége 130 \$/kWh; sorozatgyártás esetében a fajlagos költség előreláthatóan 16 ÷ 27 \$/kWh-ra fog csökkenni.

A táblázat 1. sorában szerepel *Na-S elektródájú* β-Al₂O₃ vagy β''-Al₂O₃ (MgO-val szennyezve) szilárd elektrolittal felépülő *elem*, amelynek fajlagos energiatartalma jelenleg 40 ÷ 120 Wh. A francia CGE laboratóriumban ez a telep β''-Al₂O₃ elektrolittal már 2000 Ah/cm² élettartamot ért el. A laborató-

riumi előállítási költség még igen nagy: 15 000 \$/kWh. Sorozatgyártásban ez a fajlagos költség is előreláthatóan 10 ÷ 20 \$/kWh-ra fog csökkenni. Ezekhez az új típusú akkumulátorokhoz képest a konvencionális, üzembe levő savas ólom és lúgos nikkel-kadmium akkumulátorok 30 ÷ 80 \$/kWh fajlagos költséggel készülnek az alkalmazási helynek, az élettartamot meghatározó töltés-kisütési ciklus igénynek megfelelően.

Az akkumulátor telepek jövőbeni felhasználása a jelenlegi alkalmazásokon túlmenően, amelyeknek számottevő része a *járművek indító-világító-gyújtási* szükségletét elégíti ki, a következő területeken várható:

- közhasznú villamosenergia-rendszerek terhelési csúcsának kielégítésére;
- közúti jármű villamos hajtására.

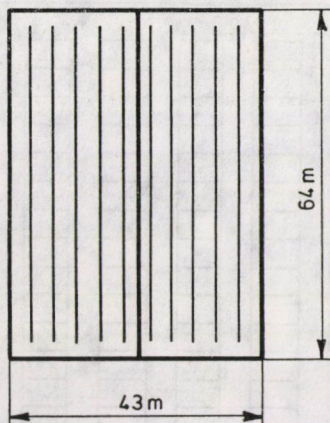
5.4 Terhelési csúcs-kiegyenlítés

5.41 A megjelölt célra az USA-ban a kutatást és fejlesztést irányító intézmények a villamosenergia-tározórendszert először konvencionális akkumulátorokkal kísérik megoldani, hogy amíg az új típusú kémiai áramforrások a gyakorlat részére rendelkezésre állanak, már megfelelő üzemi tapasztalatot lehessen ezzel a rendszerrel szerezni. Ugyanis a rendszer másik lényeges alkotóeleme az egyen—váltakozó áramú átalakító (áramirányító), továbbá a vezérlés és szabályozás. A félvezetős áramirányítók segítségével a gyors, másodpercen belüli beavatkozás megfelelő vezérléssel elérhető. Ezért, ha kedvező gazdasági mutatókkal ennek a tározórendszernek kifejlesztése sikerrel jár, a bevezetésével szükség esetén az együttműködő villamosenergia-rendszerek stabilitása jelentékeny mértékben javítható, amely üzemviteli szempontból már több helyütt bevált szivattyús tározós művekhez képest még több előnyt jelent.

Egy első generációs megoldást mutat be az ESB vállalat terve, amely az ERDA rendelkezésére készült. A jelenlegi elképzelésekre jellemző terv vázlatos ismertetése a következő:

Egy modulus VLL-45 típusú 2500—4000 töltés-kisütés ciklusú, 12,5 kAh-s savas ólom akkumulátorból 525 sorba kapcsolt elemet tartalmaz. A 100 MWh-s telep pedig 10 modulusból építhető fel, és a 25. ábra szerint elhelyezve 2752 m² területet foglal el. Egy elem alapmérete 552 × 552 mm, magassága 1435 mm, a súlya feltöltött állapotban 1020 kg, amelyben az ólomsúly 460 kg. Hasonló nagyáramú akkumulátorok készülnek az NSZK-ban is [39]. A teljes akkumulátor berendezés súlya 5300 t, amelyben az ólomsúly 2400 t. Üzemviteli adatok:

10 órás kisütés	100 kAh-ra	10 MW-tal
5 „ „	87 „	17 „
3 „ „	78 „	25 „



25. ábra. 100 MWh tározású savas ólomakkumulátor berendezés vázlatos elrendezése

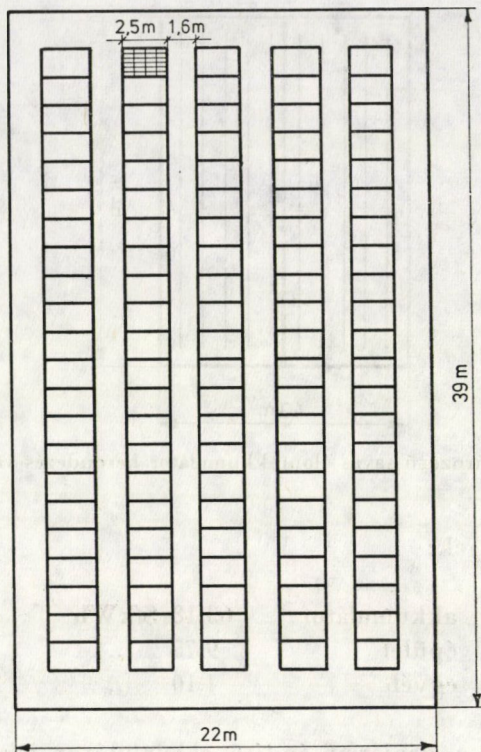
Fajlagos költségek:

akkumulátor	63,18	\$/kWh
épület	9,75	„
egyéb	4,10	„

Megjegyzendő, hogy a gépjármű indító akkumulátor jelenleg az USA-ban $20 \div 30$ \$/kWh.

5.42 Megvizsgálandó, hogy nálunk is foglalkozzanak az akkumulátoros terhelés kiegyenlítés bevezetésének kérdésével. Kiindulásképpen javasolható egy 12,5 MWh energia tározására alkalmas kísérleti berendezés felállítása, amelyhez szükséges akkumulátorok mennyisége az *ipari célú* akkumulátorok évi hazai termelésének mintegy 10%-át tenné ki. Ennek a tározónak létesítése azonban lehetővé tenné, hogy a nagy teljesítményű áramirányítókkal, azok vezérlésével kapcsolatban elegendő üzemi tapasztalatot szerezhessünk, amely a *hazai teljesítmény elektronika* fejlesztése szempontjából nagy jelentőségű és a villamosipari alkalmazást számottevő mértékben előmozdítja.

A kémiai áramforrások hazai kifejlesztésére a lehetőségek *kedvezőek*, ha tekintetbe vesszük a fejlesztés és a gyártás bevezetés közepes költségeit és az ipari alkalmazással, értékesítéssel jelentkező előnyöket. Az új típusú akkumulátoros tározók, jármű áramforrások tőkés piacon jól elhelyezhetők, szóba kerülhet villamos hajtású Ikarus autóbusz szállításával összekapcsolt értékesítés is. Szükséges azonban az új típusú kémiai áramforrások kifejlesztése előtt, hogy az ún. konvencionális kémiai áramforrások hazai gyártása — az OMFb javaslatával egyezően — a savas és lúgos akkumulátorok, valamint a szárazelemek területén megfelelő szintre kerüljön. Mint ismeretes, a savas akkumulátorokat és a szárazelemeket a VBKM Akkumulátor és Szárazelem Gyárá-



26. ábra. 12,5 MWh tározású savas ólomakkumulátor hazai berendezésről egy elképzelés

ban, a lúgos telepeket pedig a Hajdúsági Iparművekben készítik. Ezért a szóban forgó gyáregységeknek rekonstrukciója és a gyártmánynak, valamint a *gyártás technológiájának* fejlesztése szükséges, hogy elsősorban a hazai igényeket elégítsük ki mennyiségi és minőségi szempontból, elkerülve így a tőkés behozatalt és lehetővé téve további fejlesztéssel a későbbiekben az exportot is.

A hazai első generációs akkumulátoros tározó a VBKM Akkumulátor és Szárazelem Gyára P 550 típusú, 1000 töltés – kisütés ciklusszámú 2,5 kAh-s savas ólom-páncél akkumulátoraival építhető fel. Egy cella alapterülete 220×535 mm, magassága 775 mm, súlya feltöltve 225 kg, amelyben az ólom-súly 100 kg. 526 sorba kapcsolt cella képezne egy modulust. A 12,5 MWh-s tározóhoz 5 modulus szükséges, és azokat a 26. ábra szerint lehet egy 22×39 m alapterületű helyiségben elhelyezni. Elképzelhető megfelelő szabadtéri tokozott berendezés elkészítése is. A tározóból kivehető villamos teljesítmény 10 óra alatt 1,25 MW, 5 óra alatt 2 MW, 3 óra alatt 2,8 MW. Az akkumulátoros tározó berendezés összes súlya 600 t, amelyből az ólomsúly 270 t-t tesz ki. A költségek előreláthatóan a következők:

akkumulátorok és azok szerelése	34 millió Ft
áramirányító, transzformátor és egyéb villamos berendezés	10 „
épület, daru, tereprendezés, út	9 „
összesen:	<hr/> 53 millió Ft
alap- és elosztóhálózati meg- takarítás	kb. 10 „
marad:	<hr/> 43 millió Ft

A tározandó energia fajlagos költsége 4250 Ft/kWh, a hálózati megtakarítás levonása után 3450 Ft/kWh. A fajlagos teljesítmény költség 10 órás tározás esetében 34 500 Ft/kWh, 5 órás esetében 21 500 Ft/kWh a hálózati megtakarítást figyelembe véve. E költségek az amerikai ESB költségekkel összehasonlítva kedvezőknek mutatkoznak, megjegyezve, hogy az amerikai költségadatok nem térnek ki az áramirányítók és a vezérlő berendezés költségeire, azonban az amerikai akkumulátor töltés—kisütési ciklusszáma kedvezőbb.

(Megjegyzés: Az áramirányító működéséhez váltakozó áram jelenléte is feltételezett.)

5.5 Jármű villamos hajtása

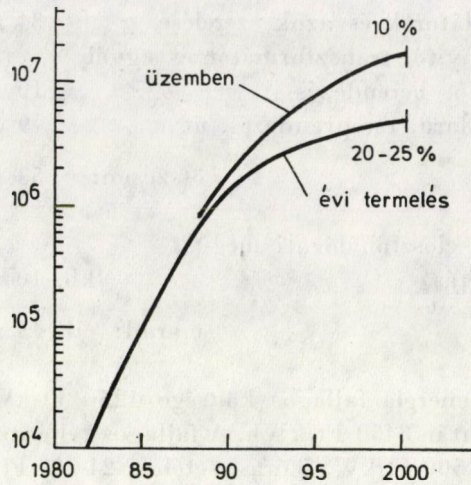
5.51 A belső égésű motorral hajtott közúti járművek környezetszennyezési hatása, zajártalma közismert. A benzin árának emelkedése világszerte előtérbe helyezte a villamos hajtású gépkocsik használatba vételét. Megjegyzendő, hogy ezeket a járműveket a század elején többhelyütt — így nálunk is — alkalmazták, azonban ezeket a belső égésű motorok abban az időben kedvezőbb feltételeikkel kiszorították. A villamos hajtású jármű előnyei a jelen viszonyok mellett a következők [37]—[40]:

- nyersolaj (benzin) takarékoság,
- kisebb üzem- és karbantartási költség,
- a környezetvédelem követelményeinek kielégítése, amelynek eredményeképpen különösen sűrűn lakott települések szempontjából a levegőszennyezés és a kellemetlen zajártalom elmarad.

Hátrányok:

- nagyobb súly az áramforrás és motor miatt,
- nagyobb beruházási költség,
- új szervizhálózat kialakítása (töltőállomások stb.).

Számítások alapján a szénből, mint primer forrásból kiindulva, belső égésű motorral 7÷11%-os, villamos hajtással 12÷18%-os eredő hatásfok érhető el. Alacsony szénhidrogén-árak mellett természetesen a belső égésű



27. ábra. Villamos hajtású gépkocsik elterjedésének előirányzata az USA-ban

motor kedvezőbb körülményeket teremthet. Az USA-ban, ahol közismerten nagy a gépjárművek száma (kb. 120 millió személygépkocsi), a 27. ábra szerint növekedő villamos hajtású jármű bevezetést irányoznak elő. Megjegyzendő, hogy a viszonylag jelentékeny növekedés mellett a villamos hajtású járművek energiafogyasztása nem számottevő, az USA összes villamosenergia-fogyasztásának 1985-ben 0,02%-át, 2000-ben 0,9%-át fogja csak kitenni.

A városi közlekedésben a villamos hajtású jármű előreláthatóan egyenáramú motorját megfelelő vezérléssel akkumulátortelep fogja táplálni. Szükséges, hogy az akkumulátor súlya a jármű hasznos-terhelésének 30 ÷ 35%-ánál ne legyen nagyobb, a másik feltétel pedig lehetőleg a 100 km-es hatótávolság, amelyet a járműnek az akkumulátor újratöltése vagy cseréje nélkül kell megtennie. A savas ólom akkumulátorok ezeket a feltételeket nem tudják maradéktalanul kielégíteni, a zink/nikkeloxid akkumulátortól közeljövőben már kedvezőbb eredményeket várnak, és csak később jöhetnek számításba az új típusú, lényegesen nagyobb energiatartalmú akkumulátorok.

5.52 Nálunk az OMFB támogatásával a VKI 1966-tól kezdve foglalkozott a középhőmérsékletű, alkálikarbonát elektrolitú tüzelőanyag-elem kifejlesztésével a közhasznú villamos energia termelése, valamint a jármű villamos hajtás érdekében [41]. Ez a munka 1972-ben egyelőre befejeződött, mivel a rendelkezésre álló anyagokkal a kívánt élettartamot biztosítani nem lehetett. Néhány éve környezeti hőmérsékleten működő tüzelőanyag-elem kutatását indították el.

A célnak megfelelő tüzelőanyag-elem vagy akkumulátor megoldása előtt a VKI villamos hajtású jármű kifejlesztését elkezdte az OMFB támogatását

igénybe véve [42], [43]. Az első generáció a használati tapasztalatok szerzése céljából elkészült és üzemben van. A legutóbb kibocsátott Elektro-Barkas áruszállító járműben 44/17 kW-os 104 kg súlyú motort és 23 kWh-s tározású 720 kg súlyú akkumulátort (fajlagos energiatározó-képesség 31 Wh/kg) építettek be, amelynek következtében a jármű átalakítás előtti hasznos terhelhetősége 500 kg-ra csökkent. Az átalakított, villamos hajtású jármű max. 55 km/h sebesség mellett 50 ÷ 70 km hatótávolságra használható.

A jelenleg kisebb fajlagos súlyú áramforrással készítenek villamos hajtású járművet, amelyben kisebb tározóképességű ólom akkumulátor mellett egy, az Intézetben kifejlesztett zink-levegő primerelemet is beépítenek. Az áramforrás-rendszer ebben az esetben a következő összetételű:

savas ólom akkumulátor	10 kWh	270 kg
zink-levegő primerelem	30 „	245 „
összesen:	40 kWh	515 kg

Ebben a rendszerben a fajlagos energiatartalom 129 Wh/kg, amely négyeszerese az előbbi értéknek. Ezzel a járművel már 100 km hatótávolságot kívánnak elérni 600 kg-ra növelt hasznos terhelés mellett. Ez a fejlődés más külföldi értékekkel összehasonlítva jelentős eredménynek számít, amely majd akkor válik realizálhatóvá, ha a könnyű akkumulátoros áramforrást is sikerül kifejleszteni. Ez indokolja az említett kémiai áramforrás fejlesztési törekvést.

6. Összefoglalás és javaslat

Az eddig szokványos villamos erőműveknek az újszerű villamosenergia-termelő berendezésekkel való összehasonlítását tartalmazza a 7. táblázat, feltüntetve a beruházási költség, területfelhasználás, a beépített vas- és fémmennyiség fajlagos értékeit. A megadott adatok az újszerű berendezésekre nézve előzetes tanulmányokból, folyóirat közleményekből származnak, és a megfelelő valuta-átszámítási értékkel becsülve tartalmazzák a fajlagos beruházási költségeket. Nagyságrendi összehasonlításra ezek a számértékek azonban alkalmasak.

Megállapítható, hogy a *naperőmű* fajlagos értékei mind beruházási költség, területigény, fémfelhasználás tekintetében kedvezőtlenekek. Ennek ellenére úgy látszik, hogy környezetvédelmi szempontból, továbbá abban a reményben, hogy a költségek esetleg még tovább fognak csökkenni, számottevő kutatási ráfordítás mellett foglalkoznak ennek a rendszernek kifejlesztésével. A *geotermikus erőmű* fajlagos értékei már azonos nagyságrendűek, mint a konvencionális berendezéséi, de létesítésük a geológiai viszonyokhoz kötött.

Összehasonlítás céljából a táblázat néhány energiaátalakító berendezés fajlagos költségét is feltünteti. A fajlagos értékek villamos energiára, ill.

7. táblázat

Konvencionális és újszerű erőművek és energiaátalakító berendezések fajlagos mutatói

Erőmű	Teljesítmény MW	Fajlagos beruházási költség Ft/kW			Fajlagos területigény m ² /kW			Fajlagos vas és fém-felh. kg/kW (erőmű)
		jelenleg	jövőben	energia- hordozó kitermelése	telep- hely	kisegítő rész	energia- hordozó kiter- melése	
<i>Erőművek</i>								
Olajerőmű	2000	10 000		5—10 000	0,5	0,1		30
Szénerőmű								
lignit	2000	16 500		9 500	0,8	2	15	90
barnaszén	2000	15 000			0,75	0,3		80
Atomerőmű (term. r.)	2000	25 000			0,7	0,3		65
Vízerőmű (dunai)	420	27 500						
Naperőmű tükrök és turbina	100	50 000	40 000		45			1700
Naperőmű fényelem- mel		3,6 × 10 ⁶	40 000		45			
Szélerőmű	0,1	80 000						100—200
Geotermikus erőmű	400	9 000— 18 000		3000— 6000	4			300—600 +200 (kutak)
<i>Átalakítók</i>								
Szénelgázosító		3—5000						
Hidrogén fejl.		15 000						
Tüzelőanyag-elem (előirányzat)			10 000					

kémiai magasszintű energiára vonatkoznak. Ebből látható, hogy a szén-elgázosítás jelenleg számottevően növeli a fajlagos beruházási költséget, technológiai javítással ún. harmadik generáció bevezetésével azonban ezek a költségek csökkenthetők.

Hasonló a helyzet a hidrogénfejlesztő berendezésekkel is. A *tüzelőanyag-elem* várható fajlagos költsége is a prognózisok szerint kedvező lesz, figyelembe véve a jelenleg e területen folyó összpontosított kutatómunkát. A várható értékek bizonytalan voltával azonban számolni kell, a kutató- és fejlesztő munka természeténél fogva ebben az esetben is bizonyos kockázattal jár.

A 8. táblázatban a jól bevált *szivattyús tározómű* költségét hasonlítottuk össze a *villamos akkumulátor* fajlagos költségével. Ebből is kitűnik, hogy a jelenlegi villamos akkumulátorok a szivattyús tározóművel szemben hátrányos helyzetben vannak, de amíg a szivattyús tározó mű fajlagos költségeit nem lehet már tovább csökkenteni, a kémiai áramforrások fejlesztése területén elvégzett tevékenység segítségével a villamos akkumulátor fajlagos költségei előreláthatóan a jelenleginek még az 1/3 részére is csökkenthetők. Ezekre a

8. táblázat
Energiatárolók fajlagos mutatói

	Tárolókapacitás MWh	Fajlagos beruházási költség Ft/kWh		Fajlagos területigény m ² /kWh	Fajlagos vas- és fémfelhasználás kg/kWh
		jelenleg	jövőben		
Szivattyús tározó Akkumulátor	2400 12,5	2500 3450	1200	0,5	300(60)

9. táblázat
Nemzetközi együttműködés

Tématerület	Hazai intézet	Külföldi intézet
Hasadó anyagú és fúziós reaktorok Geotermikus energia	MTA—KFKI MÉLYÉPTERV (OMFB)	SZUTA-Kurcsatov Atomenergia Intézet Japán Geotherm. E. R. and D. Francia. Co. Gen. de Chauffe, USA.—ERDA
Kémiai áramforrások (tüzelőa. cella is) kialakulóban	VKI, ELTE Fizikai Kémia Tsz. BME- Kémia Tsz. MTA	SZUTA-Központi Elektrokémiai Kutató Intézet
MHD generátorhoz plazma diagn. eljárás kialakulóban Szénelgázosítás	VKI (OMFB) VKI (MTA—OMFB)	Svéd Tud. Akadémia, Csehszlovák és lengyel intézetek SZUTA-Nagyhőmérsékletű Intézet
Szénelgázosítás kialakulóban	Bányászati Kutató Intézet Tatabánya Szén- bányák MTA-Műszaki Kémiai K. I.	Szilárd Tüzelőa. Kísérleti Intézet (IGI) Moszkva NDK Freibergi-Tüzelőa. Intézet LNK, NDK, SZU

kedvező értékekre azonban csak 1985—90 után lehet számítani, még azokon a helyeken is, ahol a kutatás már jelenleg is intenzív mértékben folyik.

Áttekintés céljából a 9. táblázatban bemutatjuk — a teljesség igénye nélkül — azokat a nemzetközi együttműködéseket, amelyek az új, korszerű energiatermelő-átalakító eljárások területén egyes hazai intézetekkel már kialakultak. Kiemelendő, hogy a *KGST Tudományos Műszaki Együttműködési Bizottsága* hangsúlyozottan kíván foglalkozni az új energiatermelő eljárásoknak a tagországok közötti koordinációjával. Ez a munka az elmúlt év folyamán elindult. A Nehézipari Minisztérium, mint koordináló, e munka lebonyolításával az Energiagazdálkodási Intézetet (EGI) bízta meg.

Az új energiatermelési eljárásokban való tájékozódást nagymértékben elősegíti nemzetközi konferenciákon, szimpózionokon, tudományos munka-

10. táblázat

Tudományos konferenciákon részvétel

Kémiai áramforrás: Brighton International Power Sources Symp. (9. 1974-ben, 10. 1976-ban)
 ENSZ II. Geotermikus Energia Szimpózium San Francisco (1975 máj.)
 IAEA MHD konferenciák és nemzetközi munkacsoport
 Nemzetközi Napenergia Konferencia, Toulouse (Franciaország) 1976. márc. 1–5.
 EGB Szénbizottság Szénelgázosítása és cseppfolyósítása szimpózium 1976. jan. 12–16.
 KFKI állandó kapcsolatai és tudományos munkacsoportokban való részvétel

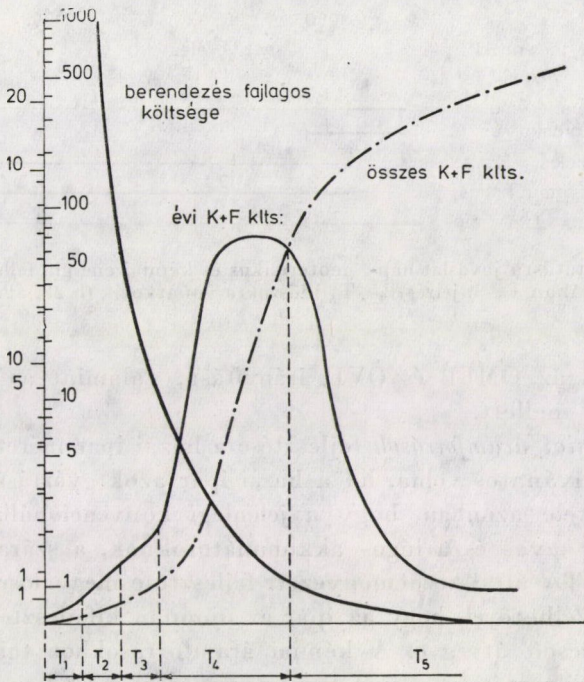
csoport értekezleteken való részvétel. Ez irányú tevékenységet a 10. táblázat tünteti fel ugyancsak a teljesség igénye nélkül.

Az új energiatermelő és -átalakító berendezések kutatási és fejlesztési munkáiban való részvételnél irányadó szempontként célszerű kitűzni, hogy e kutató- és fejlesztő munka számottevő része a hazai *ipari megvalósításhoz* kapcsolt legyen. Ellenkező esetben az elvégzett tevékenység kismértékben realizálható, ha csak előre előkészített, megfelelő megállapodásokkal nem lehet biztosítani a kutatásra és fejlesztésre fordított költségek ellenértékének visszaszolgáltatását, vagy a későbbi ipari alkalmazás miatt ezek a kutatási ráfordítások — az ország anyagi és személyi teherbírását figyelembe véve — a szükséges ismeretek megszerzése, ill. elsajátítása érdekében megtérülhetnek pl. az atomenergia területén.

A kutatási és fejlesztési munkát a következő 5 időszakra lehet felbontani:

1. kutatás az eljárás, ill. elképzelés megoldhatóságának kimutatásáig;
2. kutatás az eljárás és a kifejlesztett eszköz laboratóriumi tartam-próbájának befejezéséig;
3. kutatás és fejlesztés a berendezés prototípusának elkészítéséig, az üzembevételt is beleértve;
4. kutatás és fejlesztés a prototípus üzemi viselkedésének figyelembevétele, valamint az eszközlendő javítások érdekében, amely munka számottevő mértékben tartalmazza a *gyártási technológia fejlesztését*, a sorozatgyártás elkezdéséig;
5. fejlesztési munka a sorozatgyártásból kikerült egységek üzemi viselkedésének tapasztalatait figyelembe véve, a gyártási technológia további javítására.

A fenti időszakokban jelentkező kutatási és fejlesztési költségeket és a kumulált költségeket a 28. ábra mutatja be, feltüntetve a berendezés előállításának fajlagos költségsökkenését is. Az ábra csak tájékoztató értékeket tartalmaz. Minden egyes esetben külön meg kell vizsgálni a becsült költségek alakulását. Például szolgál, hogy az első elektronikus számítógép, az ún. ENIAC, amely 1942-ben került üzembe, ezerszeresébe került annak a mai, új technológiával, integrált félvezető áramkörökkel felépített számítógépnek, amely az ENIAC-kal azonos feladatnak ellátására alkalmas. Hasonló fejlődés

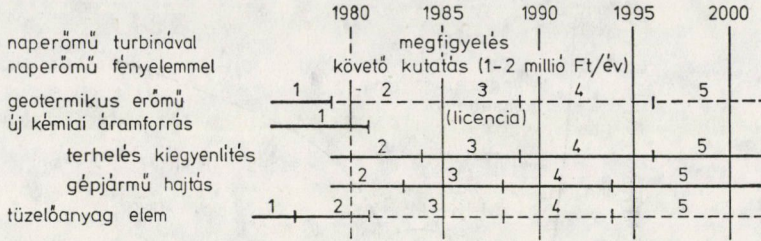


28. ábra. Kutatás és fejlesztés alakulása a különböző időszakokban; K — kutatás, F — fejlesztés

1. K a megoldhatóságig
2. K a labor. tartampróbával
3. K+F a prototípus elkészítésével
4. K+F a technológia feji.
5. F a technológia javítása

várható a félvezető (fotocellás) nap-erőműnél is, és ezzel magyarázható, hogy ennek kutatásával külföldön, állami támogatást is igénybe véve, több vállalat foglalkozik.

A fentiek alapján az új villamosenergia-termelő és átalakító berendezések hazai kutatására és fejlesztésére a 29. ábra javaslatot tartalmaz. A hazai geotermikus erőmű megoldhatósági vizsgálata alatt a kis költségigényű előzetes feltérési munkát kell érteni, és ha az kedvező eredménnyel végződik, lehet szó a részletes feltérásról. Tekintettel arra, hogy több éve működnek a földön geotermikus erőművek, célszerű kedvező feltérési eredmények után a gépi berendezéseket vagy azok gyártásának licenciáját azokból az országokból beszerezni, amelyek a geotermikus erőműveket sikeresen kifejlesztették. A megfelelő licencia vagy gépvásárlás érdekében ún. követő kutatást, ill. tájékozódást célszerű a geotermikus energia erőművi felhasználhatóságának megállapításáig eszközölni. A geotermikus energia jelenlegi (termálvizes) helyi felhasználását — az erőművitől függetlenül — az eddigiekhez mérten célszerű



29. ábra. Hazai kutatásra javaslat nap-, geotermikus és kémiai energia felhasználása vonatkozásában 1–5. jelzés T_1 – T_5 időszakra vonatkozik (l. 28. ábrát)

tovább fokozni az OMF B és OVH irányítása, valamint a MÉLYÉP TERV közreműködése mellett.

Az új kémiai áramforrások fejlesztése a hazai ipar méreteihez jól illeszthető, és ezért kívánatos volna, ha a hazai ipar azok gyártását előirányozná. Ennek előfeltétele azonban, hogy a jelenlegi konvencionális kémiai áramforrásoknak (a savas és a lúgos akkumulátoroknak, a szárazelemeknek) az OMF B és az MTA által kezdeményezett fejlesztése megvalósuljon, mert csak így módon képzelhető el, hogy az ipar az újonnan kifejlesztett berendezések gyártását sikeresen átvegye. A kémiai áramforrásokhoz tartozik a tüzelőanyag-elem kifejlesztése is. Mivel ezzel a kérdéssel a VKI már 10 éve foglalkozik, célszerű a hazai kialakítás megoldhatóságának lehetőségét meghatározni. Ha ez a vizsgálat kedvező eredménnyel végződik, lehet a kutató- és fejlesztő munkát tovább folytatni, ezt tünteti fel a 29. ábrán szaggatott vonallal jelzett 3–5 fázis.

Az MHD generátor, a termikus és tenyész reaktor, a fúziós reaktor, az elgázosító kémiai reaktor kifejlesztésében a kutatási és fejlesztési lehetőségeinkhez mérten a fentiekben vázolt módon célszerű nemzetközi (többek között szovjet, KGST) együttműködésben részt venni.

IRODALOM

1. SEINDLIN, A. E.: Az energetika fejlődése a Szovjetunióban, és általános fejlődési tendenciák a világban. *Műszaki Tudomány* **50** (1975), 65–78
2. КИРИЛЛИН В.: Энергетика — проблемы и перспективы. *Коммунист* (1975) 1., стр. 43–51
3. LANDSBERG, HANS H.: Low-Cost, Abundant Energy: Paradise Lost. 2 Science. Vol. **184**, No. 4134 (1974. ápr. 19.), valamint ebben a számban megjelent többi tanulmány 247–381
4. LÉVAI András (szerkesztésében): IX. Energia Világkonferencia Detroit 1974. szeptember 23–27. *Energiagazdálkodás* **16**. (1975), 481–576
5. SIMONYI Károly: A plazma mint energiahordozó. *Műszaki Tudomány* **46**. (1974), 119–138
6. LÉVAI András: A termionukleáris energiahasznosítás várható fejlődése I–IV rész. *Energia és Atomtechnika* (ETEI lapja) **27** (1974) 193–196, 241–250, 489–494 és **28** (1975), 49–55
7. PEASE, R. S.—WILLSON, D. R.: International Collaboration in Research on Controlled Thermonuclear Fusion. *Contemp. Phys.* **15** (1974), 179
8. Шефтер Я. И.: Использование энергии ветра. *Энергия*. (книга), Москва 1975.
9. BERNSTEIN, LEV B.: Russian Tidal Power Station is Precast Offsite, Floated into Place. *Civil-Engineering-ASCE* (1974), 46–49

10. FREMONT Felix: Where Would we be without Nuclear Energy? *Energy International* **12** (1975), 22—24
11. SZENDY Károly: Mágneses hidrodinamikus generátor (MHD generátor) kifejlesztése. *Műszaki Tudomány* **50**, 49—63
12. BACSÓ Nándor: Magyarország éghajlata. Akadémiai Kiadó 1959
13. GARDIEL, F. E.: La centrale Hélio — électrique orbitale: rêve ou solution d'avenir. *Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins* **64** (1973), 1175—1182.
14. BAUM, V. A.—MALEVSKY, Yu. N.—TARNIZHESKY, B. V.—FUGENFIROV, M. I.: Potentialities of Solar Energy Utilization for Regional Demand. *World Energy Conf.* IX. 3. 1—15.
15. VERGUESE Dominique: Le Soleil un des espoirs du XXI^e siècle (an Congrès International de Toulouse) *Le Monde* (1976) márc. 7—8. 1. és 7. 1.
16. MOLNÁR István—HORVÁTH Pál—JEDORSZKY Pálné: Szilícium bázisú napelemek és tulajdonságaik. *VKI. Közleményei* **5** (1974), 353—364
17. *Energy Report*: A study of the "Power Tower" Approach to Generating IEEE Spectrum. 1975 aug. 18. 1.
18. SHIMADA, Jin: Japan's "Sunshine Project" The Quest. for New Forms of Clean Energy. *Technocrat* **7**, No 2, 78—85
19. Лидоренко, Н.—Байрамов, Р.—Умаров, Г.—Алексенко, Г.—Малевский, Ю.—Шефтер, Я.—Шахов, А.—Иосипян, С.—Фугенфилов, М.: Возобновляющиеся источники энергии — Резерв в интенсификации народного хозяйства. *Коммунист* (1976) № 2, 62—65
20. Авезов, Р. Р.—Ким, К. М.—Умаров, Г. Я.—Джамалов, А.: Эффективность солнечной энергии в топливном энергетическом балансе. Теплоэнергетика в народном хозяйстве (1976) № 6, 60—63
21. Салнева, Р. Б.: Комплексное использование солнечной установки. *Теплотехника*. (1975), № 1, 65—71
22. Швалева, О. Л.—Захидов, Р. А.—Авезов, Р. Р.: Теплонаосно-солнечное отопление и охлаждение помещений. *Теплотехника*. (1975) № 1, 72—79
23. Байрамов, Р.—Корпеев, Н. Р.: Определение оптимального варианта регенеративных гелиоопреснителей Туркменской ССР серия физико-технических, химических и геологических наук (1972), № 6, 53—57
24. HAMMOND, Allen L.: Solar Power: Promising New Developments. *Science* **184**. (1974), 1359—1360
25. MAYER, David F.: Ocean Depths Provide Access to Abundant Solar Energy. *Energy International* (1976) febr. 24—26
26. CARTERS, Luther J.: Solar and Geothermal Energy: New Competition for the Atom. *Science* **186** (1974), 811—813
27. BALOGH Jenő: A hévíz és geotermikus energia hasznosítási eredményeinek és gazdaságosságának vizsgálata. *Műszaki Tervezés*. ÉVM Kiadvány, 1973. 9. sz. 10
28. BALOGH Jenő: Vízkő-kiválás megakadályozása a termálvízutak felső szakaszában. *Műszaki tervezés*. ÉVM Kiadvány 1975. 9. sz. 32
29. 2nd United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Researches. San Francisco 1975. Geothermal Research Council P.O.B. 1033 Davis. California 95.616. USA
30. Vulkan speist geothermisches Kraftwerk in der Sowjetunion. Stadt- und Gebäudetechnik **29** (1975)
31. SCOTT, W. E.: New Zealand Helps Indonesia's Geothermal Programme. *Energy International* **12**. (1975) dec. 22—24.
32. AXTMANN, C.: Environmental Impact of a Geothermal Power Plant. *Science* **187** (1975), 795—802
33. HÄFELE, Wolf: Energy Choices that Europe Faces: A European View of Energy. *Science* **184** (1974) 360—367
34. LUECKEL, W. J.—FARRIS, P. J.: The FCG-1 Fuel Cell Power Plant for Electric Use. IEEE Sommer Power Meeting 1974.
35. BURGER, James M.—LEWIS, Peter A.—ISLER, R. J.—SALZANO, Frank J.—KING, J. M.: Energy Storage for Utilities via Hydrogen Systems. 9th Intersociety Energy Conversion. San Francisco, 1974. aug. 26—30.
36. Energy Storage (II): Developing Advanced Technologies *Science* **184**, 884—887
37. YAO, N. P.—BIRK, J. B.: Battery Energy for Utility Load Leveling and Electrical Vehicles: A Review of Advanced Batteries IEC'75 Record 1107—1119.
38. EULER, Karl-J.: Fortschritte bei Akkumulatoren und Primärelementer *ETZ-B* **27** (1975) 92—95

39. KIEHNE, Heinz-Albert: Ortsfesten Blei- und Stahllakkumulatoren. *ETZ-B* 27 (1975), 95–97
40. RAINER-LIONEL D'ARCY: Konzepte für Fahrzeug-Antriebsbatterien *ETZ-B*. 27 (1975), 97–99
41. HORVÁTH Pál—ÁGH János—SOÓKI-TÓTH Gábor: A villamos energia közvetlen előállítási módszereinek kutatása. *VKI Közlemények*. 5 (1974), 339–352
42. BALOGH István—BENEDEK Miklós—PATAKI Eörs: Kis- és középteljesítményű villamos járművek fejlesztési kérdései. *VKI Közlemények* 5 (1974), 321–337
43. LAJTHAY Jenő: A közlekedés környezeti ártalmainak kiküszöbölése. *Járművek, Mezőgazdasági Gépek* 18 (1971), 441–447

New Possibilities for the Production of Electrical Energy. — After presenting the primary energy reserves of the world and the energy flows arriving to the earth, and dividing the secondary energies into electrical, chemical and thermal energy groups, the author discusses new kinds of electrical energy transformers. Reporting on the international situation of solar and geothermal energy utilization, it is shown that in the near future in Hungary they are not to be considered for the production of electrical energy. If at the preliminary research drillings which will begin now because of the high Hungarian geothermal gradient, economically accessible geothermal energy of high enthalpy having been discovered, the implantation of a geothermal power station might be proposed. But the geothermal energy found so far is of low enthalpy, suitable for thermal utilization only. Later on we must count with junctions between the chemical energy bearers and the electrical grids; amongst others it is for this reason useful to deal with the direct chemical-electrical energy transformers. The new chemical power sources solve the problem of electrical energy storage, the need for which will arise later on from the point of view of the energy system. Furthermore, these power sources with good specific characteristics, but still awaiting development will permit to design a drive for an electrical vehicle satisfactory for environmental protection and hydrocarbon economy. For these purposes the Hungarian industry needs suitable development and among all the needs those arising first must be well satisfied. Naturally for the research base of the country — in accordance with its material and labor capacity — it will be useful to participate in those internationally significant research and development projects, which in the future will be decisive for Hungarian energy production and energy provision (e.g. nuclear reactor, MHD generator).

Neue potentielle Möglichkeiten in der Elektrizitätserzeugung. Durch Beschreibung der primären Energievorräte der Welt und der auf die Erde eintreffenden Energieflüsse sowie Aufteilung der sekundären Energien in elektrische, chemische und Wärmeenergie, untersucht die Arbeit die neuartigen elektrischen Energiewandler. Nach einer Beschreibung der internationalen Lage in der Nutzung der Sonnen- und geothermischen Energie wird festgestellt, daß diese in Ungarn in absehbarer Zukunft für die Erzeugung von elektrischer Energie nicht in Betracht kommen. Wegen des hohen einheimischen geothermischen Gradienten sind vorläufige Versuchsbohrungen in die Wege geleitet worden und wenn hierbei auf wirtschaftlich nutzbare geothermische Energie getroffen wird, so kann der Bau eines geothermischen Kraftwerkes vorgeschlagen werden. Die derzeit erschlossene geothermische Energie ist jedoch von kleiner Enthalpie und für die wärmetechnische Nutzung ungeeignet. Im späteren Verlauf muß mit der Verbindung von chemischen Energieträgern und elektrischen Stromnetzen gerechnet werden; u. a. ist es auch deshalb zweckmäßig sich mit den direkten chemisch-elektrischen Energiewandlern zu beschäftigen. Die neuartigen chemischen Stromquellen lösen das Problem der Speicherung elektrischer Energie, deren Notwendigkeit vom Standpunkt des Energiesystems später auftreten wird. Ferner ermöglichen diese Stromquellen mit guten spezifischen Kennwerten, die aber noch auf ihre Entwicklung warten, auch den Antrieb von elektrischen Fahrzeugen, die den Forderungen des Umweltschutzes und der Einsparung an Kohlenwasserstoff entsprechen. Dazu wird aber eine entsprechende Entwicklung der einheimischen Industrie benötigt und die primär auftretenden Ansprüche müssen gut befriedigt werden. Es ist natürlich zweckmäßig, daß die Forschungsbasis des Landes auch an jenen international bedeutenden Forschungen und Entwicklungen — entsprechend ihrer materiellen und personellen Stärke — teilnimmt, welche in Zukunft vom Standpunkt der einheimischen Energieerzeugung und -verteilung maßgebend sein werden (z. B. Atomreaktor, MHD-Generator).

NEM RUGALMAS HATÁSOK A HÉJELMÉLETBEN

ALAPFELADATOK ÉS GYAKORLATI ALKALMAZÁSOK*

W. OLSZAK
AZ MTA TISZTELETBELI TAGJA

és

A. SAWCZUK
A LENGYEL TUDOMÁNYOS AKADÉMIA TAGJA

[Beérkezett 1975. május 6-án]

A héjszerkezeteknek a modern műszaki gyakorlatban való alkalmazása olyan újszerű elméletek felállítását teszi szükségessé, amelyek a klasszikus elmélettől eltérően nem feltételezik az anyagtulajdonságokat lineárisnak és az időtényezőtől függetlennek. Csak ezekkel az új elméletekkel válik lehetségessé a héjak nem rugalmas viselkedésének leírása, a képlékeny alakváltozásnak, a kúszásnak, a zsugorodásnak és hasonló egyéb jelenségek számításával való követése.

1. Bevezetés

A korszerű építészetben a héjszerkezetek bevezetése folytán az anyagtulajdonságok fizikai linearitásán és az időtényezőtől való függetlenségén alapuló klasszikus elmélet alkalmatlanná vált az ésszerű tervezésre. A héjak nem rugalmas viselkedése különleges figyelmet igényel; az anyagtulajdonságokat leíró különböző alakú egyenletek kerülnek alkalmazásra az olyan nem rugalmas jelenségek leírására, mint a kúszás, relaxáció, illetőleg plaszticitás.

Feltételezésünk szerint a nem rugalmas viselkedések két csoportba oszthatók, mégpedig a mechanikai energia szóródás forrásától függően a *viszkóz-rugalmasság* és a *plaszticitás* fogalmkörébe. A nem rugalmas viselkedés legegyszerűbb és legkönnyebben kezelhető típusai: a *lineáris viszkóz-rugalmasság*, a *tartós kúszás*, a *rugalmas-plasztikus alakváltozások* és a *plasztikus folyás*.

Ebben a tanulmányban az *izotróp*, nem rugalmas héjakat vizsgáljuk a végtelen kis alakváltozások elmélete keretében. Bemutatjuk az alapösszefüggéseket és hivatkozunk azokra az eredeti tanulmányokra, amelyek a gyakorlati feladatokra megoldási módszereket vagy megoldásokat szolgáltatnak.

* A Magyar Tudományos Akadémián 1972. január 19-én Prof. Dr. W. OLSZAK akadémikus által tartott előadás rövid változata.

2. Alapegyenletek

Az anyagalapegyenlet, vagyis az

$$f(\sigma_{ij}, \dot{\sigma}_{ij}, \dots, \varepsilon_{ij}, \dot{\varepsilon}_{ij}, \ddot{\varepsilon}_{ij}, \dots, T, t) = 0 \quad (1)$$

tenzoregyenlet az alakváltozási folyamatot írja le. Ez a dinamikai és kinematikai mennyiségek, a T hőmérséklet és a t idő között ad meg explicit alakú összefüggést, ha az időbeli folyamat hatásai is szerepelnek benne [1, 2]. Az anyag nem rugalmas voltának leírására bevezetett matematikai alapmodelleket fenomenológiai szempontból az elsősorban *viszkózus* vagy elsősorban *plasztikus* (az időtől független) viselkedés alapján két csoportba lehet sorolni.

A dinamikai vagy kinematikai tenzor összetevőkben szereplő *viszkózus-rugalmas* anyagra vonatkozó együtthatók anyagállandók. Eszerint még kis igénybevételek is hoznak létre az időtől függő irreverzibilis alakváltozásokat.

A tökéletesen *rugalmas-plasztikus* viselkedés ettől némileg eltér. A plasztikus tulajdonságú anyag felvehet bizonyos nagyságú igénybevételt minden maradó alakváltozás nélkül mindaddig, amíg a

$$\varphi(\sigma_{ij}) - k = 0,$$

folyási függvény, az igénybevétel egy skalár függvénye teljesítve van (itt k anyagállandó). Minthogy a plasztikus anyagok esetében az (1) egyenlet mellett a folyásra vonatkozó feltételt is teljesíteni kell, a tenzorösszetevőknek az együtthatói már nem anyagállandók.

A viszkózus-rugalmasság elméletében meg kell különböztetnünk (fizikailag) lineáris és nemlineáris elméletet aszerint, hogy a tenzorösszetevők az (1)-ben lineáris vagy nemlineáris alakban jelennek meg.

Az általános feszültség-alakváltozás törvény a lineárisan viszkózus-rugalmas anyagokra vonatkozóan — megegyezés szerint — a következő alakú

$$\mathbf{P}\sigma_{ij} = 2GQ\varepsilon_{ij} + \frac{1}{3}(3KP - 2GQ)\varepsilon_{kk}\delta_{ij} - 3\alpha KP_{ij}\delta_{ij}, \quad (2)$$

ahol \mathbf{P} és \mathbf{Q} lineáris differenciál operátor; $\mathbf{P} = a_0 + \sum_1^p a_k \partial^k / \partial t^k$, $\mathbf{Q} = b_0 + \sum_1^n b_k \partial^k / \partial t^k$; a_k, b_k anyagállandókat jelöl, G és K a nyíró, illetőleg fő rugalmassági modulus, T és α a hőmérséklet és a hőkiterjedési együttható. A legegyszerűbb viszkózus-rugalmassági modellek azok, amelyek a feszültség és nyúlás-tenzorokat és ezek idő szerinti első differenciálhányadosait is tartalmazzák. A *késleltetett rugalmasság* (Kelvin-féle szilárd test) és *állandó sebességű kúszás* (Maxwell-féle szilárd test) a rugalmas és a viszkózus viselkedés alapvető kombinációi [3, 4].

A viszkózus-rugalmas analízis kísérleti feladatokra vonatkozó alkalmazásainak szempontjából különösen érdekes a kúszást leíró modell. Ha a feszültség

alakváltozás törvényét Maxwell-féle szilárd testre vonatkozóan állandó feszültségnél vizsgáljuk, akkor azt találjuk, hogy az alakváltozások az idővel lineárisan növekednek. Egy ilyen kúszási mechanizmus kísérleti úton nem igazolható, ezért a szuperpozíció elvének alkalmazásával bonyolultabb modelleket hoztak javaslatba (ez a *Boltzmann-elv*). Az alakváltozás állapota t időben τ alkalommal jelentkező hatások következtében a következő kifejezéssel jellemezhető:

$$2G\varepsilon_{ij}(t) = \int_{-\infty}^t \varphi_1(t - \tau)\sigma_{ij}(\tau)d\tau + \delta_{ij} \int_{-\infty}^t \varphi_2(t - \tau)\sigma_{kk}(\tau)d\tau, \quad (3)$$

ahol φ_1 és φ_2 *elfajult függvény* [1, 2, 5]. Különböző egyszerűsített elméleteket dolgoztak ki a lineáris kúszásra φ_1 , φ_2 magfüggvények különleges matematikai alakjainak felvételével [5, 8].

A lineáris viszkóz-rugalmas szerkezetek szélsőérték feladatainak effektív megoldásait megkönnyíti az a lehetőség, hogy az időfüggést *integrál transzformációs* eljárás alkalmazásával megszüntetjük.

A *viszkóz-rugalmas analógia* [8] arra a gyakorlati eredményre vezet, hogy nem következik be feszültség-átrendeződés az idővel, tartós terhelések hatására.

A legegyszerűbb *viszkóz-rugalmassági* nemlineáris elméletek az (1)-ben csak feszültségeket, alakváltozásokat és ezek gyorsaságát tartalmazzák. A viszkózus, összenyomhatatlan anyagra vonatkozó (4) összefüggés a *nem lineáris kúszást* írja le:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{\dot{\sigma}_{ij}}{2G} - \frac{3K - 2G}{18KG} \dot{\sigma}_{kk} \delta_{ij} + f(\sigma_{ij}). \quad (4)$$

A (4) növekedési sebességétől függően három kúszási állapotot lehet megkülönböztetni: elsődleges (nem stacionárius), másodlagos (stacionárius) és harmadlagos (gyorsuló) kúszást [9—12].

A legtöbb analitikai tanulmány az állandó mértékű kúszásra vonatkozik, amikor (4) a következő alakú lesz:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = f(\sigma_{ij})[\sigma_{ij} - (1/3)\sigma_{kk}\delta_{ij}],$$

ahol $f(\sigma_{ij})$ skalár feszültségfüggvény. A gyakorlati megoldások az $\dot{\varepsilon} = k\sigma^n$, exponenciális függvények különféle általánosításain alapulnak, ahol k és n anyagállandók. Minthogy a fenti egyenlet hasonló a nemlineáris rugalmasság egyenletéhez, csak az alakváltozás helyébe kerül az alakváltozás sebessége, a *kúszási, nemlineáris rugalmas analógiának* [13] megoldásokat szolgáltatató értéke van.

A *kúszási kihajlás* jelensége a nemlineáris viszkóz-rugalmas viselkedéssel függ össze. Ezt egy minden határon túl növekvő véges időtartamon belül bekövetkező lehajlás-növekedés jellemzi [14—15].

A plasztikus tulajdonságokat tárgyaló elméletek között két elméletcsoportot lehet megkülönböztetni aszerint, hogy az alakváltozási törvények a feszültségek és alakváltozás összefüggések kifejezéseiben vannak-e leírva (*kis rugalmas alakváltozások elmélete*) vagy a feszültségek és alakváltozás sebességét kifejező összefüggésekben („*folyási elmélet*”). Nyilvánvaló, hogy mindkét esetben a folyási kritériumot kell a plasztikus alakváltozás előtt kielégíteni [16, 17].

Az *alakváltozási elmélet* alapegyenletének alakja a terhelési folyamatra vonatkozóan a következő:

$$s_{ij} = 2G(1 - \varphi/2G)e_{ij}, \quad \sigma_{ii} = 3K(\varepsilon_{ii} - 3\alpha T), \quad (5)$$

amikor a tehermentesítés tisztán rugalmas. Az (5)-ben φ a térbeli koordinátáknak egy skalárfüggvényét jelenti és pedig $\varphi > 0$ a terhelési és $\varphi = 0$ a tehermentesítési folyamatra [16–18]. Az (5) összefüggés a feszültségi és alakváltozások irányainak koaxiális voltát tételezi fel a plasztikus alakváltozás egész folyamata alatt. Ez ennek az elméletnek alapvető hátránya, minthogy csakis olyan feszültség-átrendeződéseket enged meg, amelyek változatlanul hagyják a főirányokat.

A rugalmas-plasztikus anyagok *folyási elmélete* a következő összefüggést használja:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \lambda \dot{s}_{ij} + s_{ij}/2G, \quad \sigma_{ii} = 3K(\varepsilon_{ii} - 3\alpha T), \quad (6)$$

ahol λ olyan skalár függvény, melyet a folyási kritérium alapján kell kiértékelni. A *merev-tökéletesen plasztikus* anyagokra vonatkozóan a megfelelő folyási törvény $\dot{\varepsilon}_{ij} = \lambda s_{ij}$. A tökéletesen plasztikus test modelljét a szerkezetek teherbíró képességének számítására (*törési elmélet alapján való számítás*) és az ennek megfelelő méretezésre (*méretezés a törési elmélet alapján*) használjuk fel [19–25].

3. A héjelmélet alapfeltételezései

Vékony héjak esetében a feszültségállapot akkor meghatározott, ha a *feszítőerők* ismeretesek [26], vagyis, ha az $N_{\alpha\beta}$, membránérők, az $M_{\alpha\beta}$, nyomatékok és a keresztmetszeti nyíróerő Q_α , ($\alpha, \beta = 1, 2$) ismertek. Ha a deformált középfelület nyúlásait és görbületeit $\lambda_{\alpha\beta}$ -val, illetőleg $\varkappa_{\alpha\beta}$ -val jelöljük, akkor a héjrétegek alakváltozásait az

$$\varepsilon_{\alpha\beta} = \lambda_{\alpha\beta} + \varkappa_3 \varkappa_{\alpha\beta}, \quad \varepsilon_{\alpha 3} = 0, \quad (7)$$

feltétel, vagyis *egyenes normálisok* felvétele írja le, ahol \varkappa_3 a külső normális irányát követi.

Az (1) *alapegyenletet* a héjakra vonatkozóan a következőképpen írjuk fel

$$f(N_{\alpha\beta}, \dot{N}_{\alpha\beta}, \dots, \dot{M}_{\alpha\beta}, \dots, \lambda_{\alpha\beta}, \dots, \dot{\varkappa}_{\alpha\beta}, \dots, T, t) = 0, \quad (8)$$

minthogy az egyensúlyi és elmozdulási egyenleteket a héj középfelületére kell felírni. A plasztikus tulajdonságokkal bíró héjagnál további olyan összefüggésekre van szükség, amelyek a folyási feltételt a feszítőerők kifejezéseiben adják meg [27–28]:

$$F(M_{\alpha\beta}, N_{\alpha\beta}, Q_{\alpha}) = \text{const.} \quad (9)$$

Az *energia szétszóródási sűrűsége* a héjakra vonatkozóan a következő kifejezésre egyszerűsödik (a középfelület területegységére vonatkoztatva)

$$D = k(M_{\alpha\beta}\dot{\chi}_{\alpha\beta} + N_{\alpha\beta}\dot{\lambda}_{\alpha\beta}) \quad (10)$$

ahol k a nem rugalmas viselkedéstől függő szorzótényező.

4. Lineáris viszkóz-rugalmasság

A héjelmélet feltételezései alapján a (2) alapegyenlet a $2H$ vastagságú viszkóz-rugalmas héjakra vonatkozóan a következő alakú lesz:

$$PN_{\alpha\beta} = 4HGQ(\lambda_{\alpha\beta} + A\lambda_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta}), \quad (11)$$

$$PM_{\alpha\beta} = \frac{2}{3}H^3GQ(\kappa_{\alpha\beta} + A\kappa_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta}), \quad (12)$$

ahol $A = (3KP - 2GQ)/(3KP - 4GQ)$. Látható, hogy a membránerők csak nyúlási alakváltozásokat okoznak és a nyomatékok csak a görbületekkel kapcsolatosak. Így tehát a feszültségeloszlás a héjban hasonló egy lineárisan rugalmas héjban fellépő feszültségeloszláshoz, a különbség csak a feszültség időfüggésében és az alakváltozás nagyságában van. Feszültségátrendeződés a nyomatékok és a membránerők között nem következik be. Ha a (11) és (12) egyenlet időfüggését kiküszöböljük megfelelő integrál transzformált alkalmazásával, akkor egy lineárisan viszkóz-rugalmas héj feladatát a rugalmasság lineáris elméletének egy megfelelő feladatára egyszerűsítettük. Ennek folytán, minden olyan alkalommal, amikor a rugalmas megoldás ismeretes, csak az inverz transzformált kérdésével van dolgunk. Ilyen eljárást alkalmaztunk a gömb- és hengerhéjak egyes feladatainak megoldásánál [29–33].

A viszkóz-rugalmasság egyszerűbb eseteiben közvetlen megoldási módok lehetségesek. Ha a kúszási egyenletnek egy általános alakját tekintjük, amely elfajult függvényeket tartalmaz, mint a (3) egyenlet, akkor a héj peremérték feladatának integrál-differenciálegyenlet-rendszerét kapjuk. Olyan anyagoknál, amelyeket *csak egy elfajult függvény jellemez*, számos megoldást találtak [34–41]. Tartós terhelés alatt az elmozdulások arányosak a rugalmas elmozdulásokkal, ahol $W/W_{\text{elastic}} = 1 + E\varphi(t, \tau)$, $\varphi(t, \tau)$ az anyag elfajult függvénye, E pedig a rugalmassági tényező [42–44]. A hőmérséklet befolyá-

solja az anyagtulajdonságokat, valamint a feszültség—alakváltozás összefüggéseket, ezzel kapcsolatban kísérletek történtek a héjszerkezetek hőmérséklettel kapcsolatos kérdéseinek megoldására [45—48].

5. Stacionárius kúszás

A stacionárius kúszás egyenletei lehetővé teszik a nemlineáris viszkózus rugalmasság két fontos tulajdonságának tanulmányozását, mégpedig a *feszültség-átrendeződést* a rugalmas állapothoz képest, valamint a *kúszási kihajlást*. Síkbeli feszültség és nagy kúszási alakváltozás esetére az $\dot{\varepsilon} = k(\varepsilon)\sigma^n$ exponenciális kúszási törvény a következő alakot veszi fel:

$$\sigma_{\alpha\beta} = (\dot{\varepsilon}_{\alpha\beta} + \dot{\varepsilon}_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta}) / B^n (\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij})^{\frac{n-1}{2n}}, \quad (13)$$

ahol B és n anyagállandók. A (13)-at a feszítőerők meghatározására alkalmazva a következőket kapjuk:

$$N_{\alpha\beta} = (\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta})I_1 + (\dot{\lambda}_{\alpha\beta} + \dot{\lambda}_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta})I_2, \quad (14)$$

$$M_{\alpha\beta} = (\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta})I_2 + (\dot{\lambda}_{\alpha\beta} + \dot{\lambda}_{\gamma\gamma}\delta_{\alpha\beta})I_3, \quad (15)$$

ahol

$$I_i = \int_{-H}^H \frac{x_3^{i-1}}{(\varepsilon_{ij}\varepsilon_{ij})^{\frac{n-1}{2n}}} dx_3, \quad (i = 1, 2, 3). \quad (16)$$

A membránerők és hajlító nyomatékok között a megfelelő alakváltozások adják meg az összefüggést sokkal bonyolultabb képletekkel, mint ahogyan az a hajlítási és membrán állapotok egyszerű szuperpozíciójából következne [27, 28, 49, 50]. A (13)—(15) összefüggések azt mutatják, hogy a héjakban feszültségátrendeződés nemstacionárius kúszás folytán következik be [51]. A feszültségátrendeződés hatása annál erőteljesebb, minél nagyobb fokú az alapegyenlet nemlinearitása. Az alakváltozási tartományokat zárt alakban csak a héjgeometria egyes különleges eseteiben lehet megkapni [52—63]. Ha a (13) egyenlet B tagját egy darabonként lineáris összefüggéssel helyettesítjük, ezzel megkönnyítjük a kúszási feladat megoldásának módját [64, 65].

A nemlineáris viszkózus rugalmas viselkedésnek egy feltűnő jellegzetesége észlelhető tengelyirányú terhelésnél állandó terhelésintenzitás esetében. Ha már elég hosszú idő telt el terhelés alatt, az alakváltozási sebességek minden határon túl növekednek. Ennek folytán kihajlás jön létre bármilyen értékű nyomóigénybevétel hatására egy meghatározott *kritikus időpontban* [66—73].

6. Rugalmas-plasztikus alakváltozások

A plasztikus elmélet egy alakváltozására a feszültség—alakváltozás összefüggés síkbeli feszültség esetében a következő alakú:

$$\sigma_{\alpha\beta} = \sigma_0(2/3 e_{ij} e_{ij})^{1/2} (\varepsilon_{\alpha\beta} + \varepsilon_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}). \quad (17)$$

Ha az anyag engedelmeskedik a Huber—von Mises folyási kritériumnak, akkor a feszítőerők a következők lesznek [82, 83]:

$$N_{\alpha\beta} = (\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_1 + (\varkappa_{\alpha\beta} + \varkappa_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_2, \quad (18)$$

$$M_{\alpha\beta} = (\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_2 + (\varkappa_{\alpha\beta} + \varkappa_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_3, \quad (19)$$

ahol

$$I_i = \sigma_0 \sqrt{\frac{2}{3}} \int_{-H}^H \frac{x_3^{i-1}}{\sqrt{e_{ij} e_{ij}}} dx_3, \quad (i = 1, 2, 3). \quad (20)$$

Így tehát a hajlítási és membránhatások nincsenek különválasztva. Ennélfogva általában nem lehet a héjegyeneleteket két külön csoportra szétválasztani: hogy egyik csak a membránhatásokat, a másik pedig csak a hajlítóhatásokat foglalja magában. A rugalmas-plasztikus héjegyeneletek közvetlen integrálása rendszerint nem járható út, ezért közelítő megoldási módszerekhez kell folyamodnunk. A „*rugalmas megoldások módszere*”, vagyis egy fokozatos közelítési eljárás nyert alkalmazást a henger- és gömbhéjakban [84—91], valamint vékonyfalú tartókban [92—95] meginduló plasztikus alakváltozások vizsgálataiban. Közelítő megoldást szolgáltatnak a *variációs módszerek* [82, 96, 97] is. Minthogy a plasztikus alakváltozási elmélet csak akkor alkalmazható, ha a feszültségi és alakváltozási főtengelyek a terhelés folyamata alatt változatlanok maradnak, nem szabad szem előtt téveszteni azt, hogy ez az elmélet megbízható adatokat csakis a terhelés kezdeti időszakára vonatkozóan szolgáltat. A rugalmas-plasztikus analitikai vizsgálatot, amely az alakváltozási elméletből indul ki, ritkán alkalmazhatjuk héjakra [98—101].

7. A törési elméleten alapuló analízis

Egy rugalmas-tökéletesen plasztikus szerkezetnek egy előre megadott terhelési program folyamán tanúsított viselkedésében bekövetkezik egy olyan állapot, amikor az alakváltozások minden határon túl növekedni kezdenek állandó nagyságú terhelés alatt. Az ennek az állapotnak megfelelő terhelést *határterhelésnek* vagy *törőterhelésnek* nevezzük. A törőterhelés alatt a vizsgált szerkezet legalább egy szabadságfokú szerkezetbe megy át. A törési mechanizmus plasztikus mozgását csak akkor lehet fenntartani, ha a megfelelő folyási határt elértük, olyan tartományokban, amelyekben már lehetséges a folyama-

tos alakváltozás ezeknek a tartományoknak a kiterjedése nélkül. A törőterhelés nagyságát a törési állapotra vonatkozó módszerekkel lehet meghatározni. Az analitikai vizsgálat kiinduló pontja az alakváltozás merev-tökéletesen plasztikus modellje [102—106].

A törési állapot analitikai vizsgálatához (a törési elméleten alapuló vizsgálathoz) a folyási kritérium előzetes meghatározására van szükség a feszítőerők kifejezéseiben. Ez egy zárt konvex hiperfelületet képez, amelyet *folyási hely* névvel jelölünk [83, 107, 108]. A folyás helyeinek különleges alakjai a folyási viszonyoktól függenek. A Huber—von Mises folyáskritérium feltételezése esetében

$$F = 3\sigma_{\alpha\beta} \sigma_{\alpha\beta} - \sigma_{\alpha\alpha} \sigma_{\gamma\gamma} - 2\sigma_0^2 = 0 \quad (\alpha, \beta = 1, 2),$$

a folyás $\varepsilon_{\alpha\beta} = \lambda \partial F / \partial \sigma_{\alpha\beta}$ törvényével együtt a következő összefüggéseket kapjuk:

$$N_{\alpha\beta} = \sigma_0(\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_1 + \sigma_0(\dot{\lambda}_{\alpha\beta} + \dot{\lambda}_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_2, \quad (21)$$

$$M_{\alpha\beta} = \sigma_0(\lambda_{\alpha\beta} + \lambda_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_2 + \sigma_0(\dot{\lambda}_{\alpha\beta} + \dot{\lambda}_{\gamma\gamma} \delta_{\alpha\beta}) I_3, \quad (22)$$

ahol

$$I_i = \sqrt{\frac{2}{3}} \int_{-H}^H x_3^{i-1} (\dot{\varepsilon}_{\alpha\beta} \dot{\varepsilon}_{\alpha\beta} + \dot{\varepsilon}_{\gamma\gamma} \dot{\varepsilon}_{\beta\beta})^{-\frac{1}{2}}, \quad (i = 1, 2, 3). \quad (23)$$

Ezek az összefüggések az egységes falú héjak folyási hiperfelületének egy parametrikus alakját képviselik. Szendvicsszerkezetek esetében két folyáshelyet kapunk:

$$3n_{\alpha\beta} n_{\alpha\beta} + 3m_{\alpha\beta} m_{\alpha\beta} - n_{\alpha\alpha} n_{\beta\beta} - m_{\alpha\alpha} m_{\beta\beta} = 2, \quad (24)$$

$$3m_{\alpha\beta} n_{\alpha\beta} - m_{\alpha\alpha} n_{\beta\beta} = 0, \quad (25)$$

ahol $m_{\alpha\beta}$, $n_{\alpha\beta}$ dimenzió nélküli feszítőerők (83, 109—112].

Egyenként lineáris folyási kritériumok esetében a folyási hiperfelületeket egymást metsző hiperfelület és hipersíkserreg adja meg [113—116].

A folyási hiperfelületek különböző közelítésére számos összehasonlítást végeztek [117—121], és több közelítéssel meghatározott folyási helyet hoztak javaslatba különböző különleges követelmények kielégítésére [122—130]. A nemhomogén anyagokra (mint pl. a vasbeton) a folyási hiperfelület fogalma megtartja jelentését [131—135].

A közelítő folyási helyek keresését a törési elmélet keretébe tartozó feladatok zárt alakú megoldása céljából a *törési elmélet két alaptétele igazolja*. Ezeknek a tételeknek a fontossága éppen a törési terhelés alsó és felső határainak megállapításában van.

Az *alsó határra vonatkozó tétel* lényege az, hogy a merev-plasztikus szerkezet nem megy tönkre $\mu_s p_{0i}$ terhelés alatt, ha olyan feszültségeloszlást talál

lunk, amely kielégíti az egyensúlyi és különleges kerületi feltételeket és nem mond ellent a folyás helyének. A statikailag megengedhető terheléstényező homogén (mondjuk α rendű) a feszültségekben; így tehát

$$\mu_s^\alpha = \min \left| \frac{K}{F(N_{\alpha\beta}^0 M_{\alpha\beta}^0)} \right| \quad (26)$$

jelenti a legmegfelelőbb, statikailag megengedhető tehertényezőt, ahol $N_{\alpha\beta}^0$, $M_{\alpha\beta}^0$ a statikailag megengedhető feszítőerők és K jelenti az anyag folyási modulusát.

Ezzel szemben a *felső határra vonatkozó tétel* azt állítja, hogy egy merev, tökéletesen plasztikus szerkezet tönkremegy valamely terhelés alatt, ha olyan törési módot találunk, amelynél az a sebesség, amellyel a külső erők hatnak, túllépi vagy egyenlő a belső energiaszóródás sebességével. A legmegfelelőbb, kinematikailag megengedhető terhelési tényező

$$\mu_k = \min \int_A (M_{\alpha\beta}^* \dot{\kappa}_{\alpha\beta}^* + N_{\alpha\beta}^* \dot{\lambda}_{\alpha\beta}^*) dA / \int_A p_{oi} U^* dA, \quad (27)$$

ahol U_i^* jelenti a virtuális sebességi tartományt, amelyből megkaphatjuk ezt ($\dot{\lambda}_{\alpha\beta}^*$, $\dot{\kappa}_{\alpha\beta}^*$ a geometriai viszonyokból határozható meg) és $F(M_{\alpha\beta}^*, N_{\alpha\beta}^*) = M$.

Valamely törési elméleti feladat teljes megoldása a μ_σ terheléstényező kiértékeléséből, a plasztikus tartományban bekövetkező alakváltozás terjedelmének és sebességének meghatározásából, valamint az egész szerkezetben a feszültségeloszlás meghatározásából áll. Ezek szerint a teljes megoldás a törési elmélet mindkét alaptételét kielégíti [136].

A meglevő teljes megoldásokat a forgásszimmetrikus héjakra találták, legtöbbnyire gömbkupolákra [137–139], kúphéjakra [140–145] és körhenger alakú héjakra [113, 115, 116, 146–158, 229]. Aszimmetrikus héjakra csak kevés megoldás ismeretes [159–165].

A határokra vonatkozó tételeket számos héjszerkezeti feladatra alkalmazták [166–182]. A vasbetonhéjakra vonatkozó alkalmazásban a felső határ tétele kísérleti igazolásokkal alátámasztva az *általánosított csuklóvonalak módszerének* [183–191] kidolgozására vezetett, amely gyakorlati mérnöki közelítése a törési elmélet feladatainak.

A fentiekől teljesen eltérő feladatkört jelent a *minimális súly szerinti méretezés* (méretezés a törési elmélet alapján), amelynek célja olyan szerkezet tervezése, amely a legkevesebb anyagfelhasználást igényli az előírt terhelés hordására. Ennek az eljárásnak az általános tételeit [192–195] alkalmazták egyszerűbb héjszerkezeti feladatokra [196–199], amelyek anizotrop [200–202] és inhomogén elemekre is kiterjedtek [203–205].

A tökéletes plaszticitás feltételezésétől való eltérés — így például az *újraszilárdulás* hatásainak figyelembevétele a szilárdulás különböző elméletei alap-

ján [206, 207] — a héjak folyás utáni viselkedésének egy különleges szempontjára vonatkozó vizsgálatokhoz vezetett [208—212].

A *plasztikus anizotrópia* a héjak folyási hiperfelületének változásaihoz vezet, így például a törőterhelés megváltozásához; bizonyos megoldások állnak rendelkezésre a hengerhéjakra vonatkozóan [211—221]. A *plasztikus inhomogenitást* szintén vizsgálták a héjakkal kapcsolatban [221—225].

Legújabban a hőmérsékleti hatások és az ezek által keltett kombinált viszkóz-plasztikus visszahatás vonják magukra a figyelmet [225—229].

8. Zárómegjegyzések

Az ebben a tanulmányban tárgyalt különleges elméletek területén kutatások vannak folyamatban; ehhez képest új eredmények vannak kilátásban. Számos feladat még mindig kidolgozásra vár. Ezek közé tartozik elsősorban a változó terhelési programoknak kitett héjak viselkedése és *tönkremenetele*. A geometriai hatások, ha ilyenek előfordulnak az analitikai vizsgálatok folyamán, a *nem rugalmas alakváltozási folyamatok stabilitásának kérdéseit* hozzák előtérbe. A stabilitás fogalma a jövőben elfoglalja a törési elmélet fogalmát. A különböző nem rugalmas anyagokból készült héjak termikus és dinamikus viselkedése ma még valójában nyílt területet képez.

IRODALOM

1. GOLDENBLATT, I. I.: Az alakítható testek mechanikájának néhány kérdése (oroszul), 1955
2. FREUDENTHAL, A. M.—GEIRINGER, H.: The Mathematical Theories of the Inelastic Continuum. *Handbuch der Physik* 6, 229—433, Berlin 1958
3. LEE E. H.: Stress Analysis in Visco-elastic Bodies. *Quart. Appl. Math.* 13 (1955), 183—190
4. BLAND, R.: The Theory of Linear Viscoelasticity, Oxford 1960
5. ARUTYUNJAN, N. Kh.: Some Questions of the Creep Theory (oroszul) Moszkva 1952
6. RABOTNOV, Yu. N.: Előzőleg terhelt rugalmas testek egyensúlya (oroszul), *Prikl. Mat. Mech.* 12 (1948), 53—62
7. RZHANITSYN, A. R.: Kúszó testek mechanikájának egyes kérdései (oroszul), Moszkva 1949
8. ALFREY, T.: Mechanical Behaviour of High Polymers, New York 1948
9. BAILEY, R. W.: Creep Relationships and their Applications to Pipes, Tubes and Cylindrical Parts under Internal Pressure. *Proc. Instn. Mech. Engrs.* 4 (1951), 164, 425—431
10. FINNIE, I.: Stress Analysis in the Presence of Creep *Appl. Mech. Rev.* 13 (1960), 705—712
11. KATCHANOV, L. M.: A kúszás elmélete (oroszul), Moszkva 1960
12. G. ODQVIST, F. K.—HULT, J.: Kriechfestigkeit metallischer Werkstoffe, Berlin 1962
13. HOFF, N. J.: Approximate Analysis of Structures in the Presence of Moderately Large Creep Deformations *Quart. Appl. Math.* 12 (1954), 49—55
14. HOFF, N. J.: Theories of Creep Buckling. *Proc. 3rd U.S. Natn. Congress Appl. Mech.* (Providence 1958), *ASME* New York 1959, 29—49
15. RABOTNOV, Yu. N.: The Theory of Creep and its Applications. *Proc. 2nd Symp. on Nav. Struc. Mech.* (Providence 1960), Oxford, 338—346
16. HILL, R.: Mathematical Theory of Plasticity, London 1950
17. PRAGER, W.—HODGE, P. G.: Theory of Perfectly Plastic Solids, New York 1951
18. ILGUSHIN, A. A.: Képlékenységtan (oroszul), Moszkva 1948
19. KOTTER, W. T.: General Theorems for Elastic-Plastic Solids. *Progress in Solid Mechanics* 1, Amsterdam 1960, 167—224

20. DRUCKER, D. C.: Plasticity, *Proc. 1st Symp. Naval Struct. Mech.* (Stanford 1958), Oxford 1959, 407—455
21. PRAGER, W.: Introduction to Plasticity. Reading, Mass. 1959
22. GVOZDEV, A. A.: A határegyensúly elmélete (oroszul). Moszkva 1949
23. PRAGER, W.: The General Theory of Limit Design. *Proc. 8th Int. Congr. Appl. Mech.* Istanbul (1952)
24. HODGE, P. G.: Plastic Analysis of Structures, New York 1959
25. SAWCZUK, A.—JAEGER, Th.: Grenztragfähigkeits-Theorie der Platten, Berlin 1963
26. FLÜGGE, W.: Stresses in Shells. Springer Verlag, Berlin 1960
27. GOLDENBLATT, I. I.—NIKOLAENKO, N. A.: Héjak kúszása és határteherbírása (oroszul), Moszkva
28. SAWCZUK, A.—OLSAK, W.: Inelastic Shell Problems. Groningen 1966
29. NAGHDI, P. M.—ORTHWEIN, W. C.: Response of Shallow Viscoelastic Spherical Shells to Time Dependent Axisymmetric Loads. *Quart. Appl. Math.* 18 (1960/61), 107—121
30. TUNGL, E.: Durchschlagen einer flachen Kugelschale aus viscoelastischen Material *Österreichisches Ingenieur-Archiv* 16 (1926), 280—289
31. PROKOPOVICH, I. E.: A kúszás hatása ortotróp héjakban keletkező belsőerők megoszlására (oroszul). *Inzh. Sbornik* 24 (1956), 151—164
32. DISTEFANO, J. N.—GRADOWCZYK, M. H.: Creep Behaviour of Homogeneous Anisotropic Prismatic Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* Varsó 1963, 1964
33. PISTER, K.: Axisymmetric Deformation of Orthotropic Visco-elastic Cylindrical Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* Varsó 1963, Amsterdam 1964
34. GOLDENBLATT, I. I.—NIKOLAENKO, N. A.: Szerkezeti anyagok kúszásának elmélete és annak alkalmazása (oroszul), Moszkva 1960
35. ROZOVSKY, M. I.: Az időtényező hatása belső nyomásra igénybevett gömbhéjak szilárdságára (oroszul). *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN, Mekh. mash.* (1961) 4, 124—129
36. ARUTYUNJAN, N. Kh.—MANUKYAN, M. M.: Összetett hengeres csövek kúszása (oroszul), *Izv. Akad. Nauk Arm. SSR, Ser. fiz. mat.* 10 (1957), 6, 41—58
37. GRIGORJAN, G. C.: Membránhéjak számítása a betonanyag kúszásának figyelembevételével (oroszul). *Izv. Akad. Nauk Arm. SSR, Ser. fiz. mat.* 10 (1957), 4, 67—81
38. ARUTYUNJAN, N. Kh.—MANUKYAN, M. M.: Gömbkázánok kúszása (oroszul). *Dokl. Akad. Nauk. Arm. SSR* 27 (1958), 209—218
39. FELDMAN, M. P.: Calculation of Shallow Shells Taking Account of the Creep of Material. *Nauchn. soobshch. Dnepropetr. inzh. inst.* (1960), 56
40. ZORAWSKI, M.: Determination of Stresses Generated in a Layer and a Viscoelastic Closed Spherical Shell. *Bull. Acad. Polon. Sci. Cl. IV*, 8 (1960), 537—563
41. ESTRIN, M. I.: Rugalmas-viszkózus anyagú forgásszimmetrikus lapos héjak számítása a nagy alakváltozások figyelembevételével (oroszul), *Trudy CNIISK*, Moszkva 4 (1961), 123—134
42. GLANVILLE, W. H.: The Creep and Flow of Concrete under Constant Load. *Building Res. Tech. Paper* 12, London 1930
43. MUGURUMA, H.: Two-dimensional Creep Deformation of Concrete. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
44. HOUGHTON, D. C.—ROTHWELL, A.: Measured Deflections of Concrete Folded Plate and Hyperbolic Paraboloid Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
45. HILTON, H. H.: Thermal Stresses in Thick-walled Cylinders Exhibiting Temperature-dependent Viscoelastic Properties of the Kelvin Type. *Proc. 2nd U. S. Nat. Congr. Appl. Mech.* 1954, ASME, New York 1955, 547—553
46. AGGARWALA, B. D.: Thermal Stresses in Spherical Shells of Viscoelastic Materials. *Z. Angew. Math. Mech.* 40 (1960), 482—488
47. ZADOYAN, M. A.: Hengeres csövek kúszása magas hőmérsékleten (oroszul) *Dokl. Akad. Nauk Arm. SSSR*, 31 (1960), 201—209
48. NOWACKI, W.: Thermal Stresses in Elastic and Viscoelastic Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963) North Holland, Amsterdam 1964
49. ROZENBLUM, V. I.: Turbina alkatrészek számítása a kúszási tartományban (oroszul). *Kotloturbostroenye* 4, (1951)
50. KACHANOV, L. M.: Változó falvastagságú ovális csövek kúszása (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN*, 9 (1956), 65—71
51. BIENIEK, M. P.—FREUDENTHAL, N. M.: Creep Deformation and Stresses in Pressurized Long Cylindrical Shells *J. Aero/Space Sci.* 27 (1960), 763—778
52. GEMMA, A. E.: The Creep Deformation of Symmetrically Loaded Circular Cylindrical Shells. *J. Aero/Space Sci* 27 (1960), 953—954

53. GEMMA, A. E.—WARFIELD, J. T.: The Creep Deformation of Symmetrically Loaded Shells. *J. Aero/Space Sci.* **28** (1961), 507—508
54. GEMMA, A. E.: The Steady Creep of Long Pressurized Cylinders. *Journ. Aero/Space Sci.* **29** (1962), 352—353
55. HOFF, N. J.—JAHSMAN, W. E. and NACHBAR, W.: A Study of Creep Collapse of a Long Circular Cylindrical Shell under Uniform External Pressure. *J. Aero/Space Sci.* **26** (1959) 663—669
56. ODQVIST, E. K. G.: Applicability of the Elastic Analogy to Creep Problems of Plates, Membranes and Beams. *Creep in Structures*, Berlin 1962, 137—160
57. PORITSKY, H.: Effect of Creep on Stresses in Cylindrical Shells. *Creep in Structures*, Berlin 1962, 229—244
58. CALLADINE, C. R.: The Steady Creep of Shells: a Method of Analysis. *Nuclear Reactor Containment Buildings and Pressure Vessels, Proc. Symp.* (Glasgow 1960), London 1960, 411—431
59. CALLADINE, C. R.: On the Creep of a Wrinkle. *Creep in Structures*, Berlin 1962, 245—271
60. CALLADINE, C. R.—DRUCKER, D. C.: Nesting Surfaces of Constant Rate of Energy Dissipation in Creep. *Quart. Appl. Math.* **20** (1962), 59—84
61. CALLADINE, C. R.: Upper and Lower Bound Solutions for Edge Response of Shells on Steady Creep. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963) Amsterdam 1964
62. KACHANOV, L. M.: Állandó kúszási problémák közelítő megoldása (oroszul) *Izv. Akad. Nauk OTN* (1959), 84—95
63. ROZENBLUM, V. I.: Közelítő kúszási egyenletek (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Mash.* **5** (1959), 157—160
64. WAHL, A. M.: Analysis of Creep in Rotating Discs Based on the Tresca Criterion and Associated Flow Rule. *J. Appl. Mech.* **23**, 1956, 231—234
65. ONAT, E. T.—YUKSEL, H.: On the Steady Creep of Shells. *Proc. 3rd U. S. Natl Congr. Appl. Mech.* (Providence 1958) ASME, New York 1959, 625—630
66. SUNDSTROM, E.: Creep Buckling of Cylindrical Shells. *Trans. Roy. Instit. Techn.* **115** (1957)
67. RABOTNOV, Yu. N.—SHESTERIKOV, S. A.: Kúszásnak alávetett rudak és lemezek stabilitása (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh* **21** (1957), 406—416
68. De VEUBEKE, B. F.: Creep Buckling. High Temperature Effects in Aircraft Structures AGARDograph **28**, New York 1958
69. GERARD, G.—GILBERT, A. G.: A Critical Strain Approach to Creep Buckling of Plates and Shells *J. Aero/Space Sci.* **25** (1958), 429—434, 458
70. HOFF, N. J.: On a Critical Strain Approach to Creep Buckling of Plates and Shells *J. Aero/Space Sci.* **26** (1959), 117—118
71. SHESTERIKOV, S. A.: Kúszó lehajlás (oroszul), *Prikl. Mat. Mekh.* **25** (1961), 754—755
72. KUZNETSOV, A. P.—KURSHIN, L. M.: Kúszásnak alávetett körhengerhéjak stabilitása (oroszul) *Prikl. Mekh. Tech. Fiz.* **3** (1962), 66—72
73. GERARD, G.: Theory of Creep Buckling of Perfect Plates and Shells. *J. Aero/Space Sci.* **29** (1962), 1087—1090
74. BYCHAWSKI, Z.: Creep Buckling of a Cylindrical Panel. *Proc. World Conference on Shells*, San Francisco 1962
75. ODQVIST, F. K. G.: Influence of Primary Creep on Stresses in Structural Parts. *Trans. Roy. Inst. Techn.* **66**, Stockholm 1963
76. ROZENBLUM, V. I.: Membránhéjak nem állandó kúszásáról (oroszul) *Prikl. Mekh. Techn. Fiz.* **4** (1960), 82—84
77. COZZARELLI, F. A.—PATEL, S. A.: Creep Deformations in Membrane Shells *J. Frankl. Inst.* **278** (1964), 45—61
78. DAVIS, E. A.: Creep Rupture Tests for Design of High-Pressure Steam Equipment *J. Basic Engng.* **2** (1960), 453—461
79. ELLINGTON, J. P.: Creep Collapse of Tubes under External Pressure. Developm. and Engng. Group U. K. Atomic Energy Authority Rep. **162**, 1960
80. TEIN WAH—KIRK, R.: Creep Collapse of Long Cylindrical Shells under High Temperature and External Pressure. *J. Aero/Space Sci.* **28** (1961), 177—188, 208
81. SOSIN, O. V.: Tárcsák állandó izotróp kúszása (oroszul) *Prikl. Mekh. Tech. Fiz.* **4**, (1963) 128—131
82. ILYUSHIN, A. A.: A képlékeny alakváltozások elméletének néhány kérdéséről (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* **7** (1943), 245—272
83. ILYUSHIN, A. A.: Véges összefüggések a metszeterők és nyomatékok közt és ezek alkalmazása a héjelméletben (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* **9** (1945), 101—140

84. ILYUSHIN, A. A.: Körszimmetrikus héjak elasztó-plasztikus alakváltozásának közelítő elmélete (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 8 (1944), 15–24
85. PANFEROV, V. M.: A rugalmas megoldások módszerének konvergenciája héjak elasztó-plasztikus alakváltozásának elméletében (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 13 (1949), 79–94
86. TSURKOV, I. S.: Forgásszimmetrikus kis alakváltozásnak alávetett körszimmetrikus héjak elasztó-plasztikus egyensúlya (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN* 11 (1956), 106–110
87. TSURKOV, I. S.: Ortotrop hengerhéjak elasztó-plasztikus alakváltozása (oroszul) *Izv. Akad. SSSR, OTN* 12 (1957), 50–54
88. TSURKOV, I. S.: Kis alakváltozásnak alávetett lapos héj elasztó-plasztikus egyensúlya (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN* 6 (1957), 139–142
89. TSURKOV, I. S.: Vékonyfalú körhengerhéjak elasztó-plasztikus alakváltozása gyűrűalakú borda mentén (oroszul) *Inzh. Sbornik* 28 (1960), 182–189
90. TSURKOV, I. S.: Vékonyfalú hengerhéj elasztó-plasztikus alakváltozása befogott perem mentén (oroszul) *Inzh. Sbornik* 31 (1961), 93–100
91. BABITCH, V. M.: V. M. Panferovnak az elasztó-plasztikus alakváltozások elméletébe vágó néhány dolgozata (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 20 (1956), 767–771
92. MEZHLUMYAN, R. A.: Vékonyfalú héjak hajlítása és csavarása a rugalmassági határon túli állapotban (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 14 (1950), 253–264
93. MEZHLUMYAN, R. A.: A rugalmas határon túl hajlításra és csavarásra igénybevett héjak peremfeltételeiről (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 14 (1950), 537–542
94. MEZHLUMYAN, R. A.: Vékonyfalú szerkezetek határteherbírásának meghatározása felkeményedő anyag esetében (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 15 (1954), 174–182
95. MEZHLUMYAN, R. A.: Elasztó-plasztikus héjak közelítő elmélete és ennek alkalmazása szerkezetek vizsgálatára (oroszul) *Inzh. Sbornik* 10 (1952), 35–70
96. PANFEROV, V. M.: Variációs módszerek alkalmazhatósága a kis elasztó-plasztikus alakváltozások elméletében (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 16 (1952), 319–322
97. GERASIMOV, I. S.: A zárt körhengerhéjak forgásszimmetrikus elasztó-plasztikus alakváltozásáról (oroszul) *Inzh. Sbornik* 28 (1960), 241–246
98. ANANINA, A. N.: Elasztó-plasztikus alakváltozásnak alávetett körhengerhéj forgásszimmetrikus alakváltozása (oroszul) *Inzh. Sbornik* 18 (1954), 157–160
99. HODGE, P. G.: Displacements in an Elastic Cylindrical Shell. *J. Appl. Mech.* 23 (1956), 73–79
100. CHERNINA, V. S.: Nem homogén anyagú hegesztett héjak elasztó-plasztikus alakváltozata (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN, Mekh. i Mash.* 1 (1960), 133–140
101. KLEMENT, P.: Theorie der elastisch-plastischen Zylinderschale. *Österr. Ingenieur-Archiv*, 16 (1962), 199–211
102. GVOZDEV, A. A.: Plasztikus alakváltozásnak alávetett statikailag határozatlan szerkezetek töröttestének megállapítása (oroszul) *Inter. J. Mech. Sci.* 1 (1960), 322–335
103. FEINBERG, S. M.: A határerő elvek (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* 12 (1948), *Izv. Akad. Nauk SSSR, OTN, Mekh. Mash.* 4 (1960), 101–111
104. HILL, R.: A Note on Estimating the Yield Point Loads in a Plastic-rigid Body. *Phil. Mag.* 43 (1952), 353–355
105. DRUCKER, D. C.—PRAGER, W.—GREENBERG, H. I.: Extended Limit Design Theorems for Continuous Media. *Quart. Appl. Math.*, 9 (1952), 381–389
106. DRUCKER, D. C.—GREENBERG, H. I.—PRAGER, W.: The Safety Factor of an Elastic-plastic Body in Plane Strain. *J. Appl. Mech.* 18 (1951), 371–378
107. SAWCZUK, A.—RYCHLEWSKI, J.: On Yield Surface for Plastic Shells. *Arch. Mech. Stos.*, 12 (1960), 29–53
108. SAVE, M.: On Yield Conditions in Generalized Stresses. *Quart. Appl. Math.*, 19 (1961), 259–267
109. ROZHDESTVENSKI, V. V.: Forgáshéjak kapcsolatának határegyensúlya (oroszul) *Nauchn. Soobshcs. Akad. Stroi. i Arch.*, No. 1., Moszkva 1957
110. YERCHOV, M. I.: Képlékeny alakváltozásnak alávetett héjak metszeterői és nyomatékai közt fennálló véges összefüggésekről (oroszul) *Strio. Mekh. Rasch. Sooruzh*, 3 (1959), 38–41
111. HODGE, P. G.: The Mises Yield Condition for Rotationally Symmetric Shells. *Quart. Appl. Math.*, 18 (1961), 305–311
112. SHAPIRO, G. S.: On Yield Surfaces for Ideally Plastic Shells. *Problems of Continuum Mechanics*, Soc. Ind. Appl. Math. Philadelphia 1961, 414–418
113. DRUCKER, D. C.: Limit Analysis of Cylindrical Shells under Axially-Symmetric Loading. *Proc 1st Midwest Conf. Solid Mech.* Urbana 1953, 158–163
114. ONAT, E. T.—PRAGER, W.: Limit analysis of Shells of Revolution *Proc. Ned. Akad. Wetensch. Ser. B.* 57 (1954) 534–548

115. HODGE, P. G.: Rigid-plastic Analysis of Symmetrically Loaded Cylindrical Shells. *J. Appl. Mech.*, **21** (1954), 336—342
116. ONAT, E. T.: The Plastic Collapse of Cylindrical Shells under Axially Symmetrically Loading. *Quart. Appl. Math.*, **13** (1955), 68—72
117. OLSZAK, W.—SAWCZUK, A.: Die Grenztragfähigkeit von zylindrischen Schalen bei verschiedenen Formen der Plastizitätsbedingung. *Acta Techn. Hung.* **26** (1959), 55—77
118. HODGE, P. G.: A Comparison of Yield Conditions in the Theory of Plastic Shells; *Problems in Continuum Mechanics*, Soc. for Ind. and Appl. Mathem. Philadelphia, Pa, 1961, 165—177
119. HODGE, P. G.: Yield Conditions for Rotationally Symmetric Shells under Axisymmetric Loading *J. Appl. Mech.* **27**, (1960), 323—331
120. HODGE, P. G.—PANARELLI, J.: Interaction Curves for Circular Cylindrical Shells according to the Mises or Tresca Yield Criterion *J. Appl. Mech.* **29** (1962), 375—380
121. HODGE, P. G.: Limit Analysis of Rotationally Symmetric Plates and Shells. Prentice-Hall, Englewood Cliffs N. J. 1963
122. RABOTNOV, Yu. N.: Elasztó-plasztikus héjak közelítő gyakorlati elmélete (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* **15** (1951), 167—174
123. ROZENBLUM, V. I.: Képlékeny anyagú héjak közelítő elmélete (oroszul) *Prikl. Mat. Mekh.* **18** (1954), 289—302
124. HODGE, P. G.: The Linearization of Plasticity Problems by Means of Non-homogeneous Materials. *Proc. Symp. Nonhomog. Probl* (Varsó 1958), Pergamon Press, London 1959, 147—156
125. ROZENBLUM, V. I.: Vékonyfalú héjak folyási feltételeiről (oroszul). *Prikl. Mat. Mekh.* **24** (1960), 364—366
126. On the Plastic Analysis of Sandwich Structures. *Problems of Continuum Mechanics*, Soc. Ind. Appl. Math. Philadelphia, 1961, 342—349.
127. DRUCKER, D. C.—SHIELD, R. T.: Limit Analysis of Symmetrically Loaded Thin Shells of Revolution *J. Appl. Mech.* **26** (1959), 61—68.
128. NAKAMURA, T.: Plastic Analysis of Shells of Revolution under Axi-symmetric Loads. Ph. D. Dissertation, Stanford Univ., 1961.
129. HODGE, P. G.: Piece-wise Linear Bounds on the Yieldpoint Load of Shells. *J. Mech. Phys. Solids.*, **11**, (1963), 1—12
130. LISTROVA, Yu. P.: Hengerhéjak teherbírása a legnagyobb redukált feszültség képlénységi feltételek alapján (oroszul) *Izv. Akad. Nauk SSSR, Mekh. Mash.*, **2** (1963), 173—176
131. SAWCZUK, A.—OLSZAK, W.: A Method of Limit Analysis of Reinforced Concrete Tanks. *Proc. Int. Coll. Simpl. Shell Calc. Methods*, Brussels 1961, Amsterdam, 1962. 416—437
132. SAWCZUK, A.—KÖNIG, J. A.: Hengeres vasbeton szilók határ teherbírása, (lengyelül) *Arch. Inz. Ladow.*, **8** (1962), 1612—183
133. NIELSEN, M. P.: Yield Conditions in the Membrane State of Reinforced Concrete Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Warsó 1963), Amsterdam 1964.
134. SANKARANARAYANAN, R. and OLSZAK, W.: The Load Carrying Capacities of Plates and Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Warsó 1963), Amsterdam 1964.
135. ZYCZKOWSKI, M.: Die Grenzflächen in der Anstrengungstheorie *Bull. Acad. Polk. Sci. Cl. IV*, **9** (1961), 667—676
136. ONAT, E. T.: Plastic Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems*. (Varsó 1963), Amsterdam 1964.
137. FEINBERG, S. M.: Egy vékonyfalú hég képlékeny folyása (oroszul), *Prikl. Math. Mekh.* **21** (1957), 544—549
138. HODGE, P. G.: The Collapse Load of a Spherical Cap. *Proc. 4th Midwest Conf. Solid Mech.*, Austin Texas. **1** (1959), 108—126
139. MROZ, Z.—Xu-BING-ye: The Load Carrying Capacities of Symmetrically Loaded Spherical Shells. *Arch. Mech. Stos.* **15** (1963), 245—266
140. ROZHDESTVENSKI, V. V.: Kúp- vagy gömbalakú fenéklemezzel bíró hengeres kazánok teherbírása (oroszul), Moszkva 1959
141. HADGE, P. G.: Plastic Analysis of Circular Conical Shells. *J. Appl. Mech.*, **27** (1960), 696—700
142. ONAT, E. T.: Plastic Analysis of Shallow Conical Shells *J. Engng. Mech. Div. Proc. Amer. Soc. Civ. Engrs.* **86** (1960), **6**, 1—12
143. HODGE, P. G.—LAKSHMIKANTHAM, C.: Limit Analysis of Shallow Shells of Revolution DOMIT Rep. 1—16, Chicago 1962
144. HODGE, P. G.—LAKSHMIKANTHAM, C.: Yield Point Loads of Spherical Caps with Cut-outs. *Proc. 4th U. S. Nat. Congr. Appl. Mech.*, (Berkeley, 1962) *ASME*, 1963, 951—954

145. HODGE, P. G.—de RUNTZ, J.: The Carrying Capacity of Conical Shells under Concentrated and Distributed Loads. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
146. EASON, G.—SHIELD, R. T.: The Influence of Free Ends on the Load Carrying Capacity of Cylindrical Shells *Journ. Mech. Phys. of Solids*, 4 (1955), 17—27
147. HODGE, P. G.: Piece-wise Linear Isotropic Plasticity Applied to a Circular Cylindrical Shell with Symmetrical Radial Loading *J. Franklin Inst.* 263 (1957), 13—23
148. RZHANITSYN, A. P.: Forgásszimmetrikus teherrel terhelt cső képlékeny alakváltozásai (oroszul), *Izv. Nauk. SSSR, OTN* 8 (1958), 60—65
149. PAUL, B.—HODGE, P. G.: Carrying Capacity of Elastic Plastic Shells under Hydrostatic Pressure. *Proc. 3rd. U. S. Nat. Congr. Appl. Mech.* (Providence 1958) ASME, New York (1959), 631—640
150. COHEN, A.—SHIELD, R. T.: Limit Analysis of Cylindrical Shells Using Approximate Yield Conditions, *Brown Univ. Div. Appl. Math.*, Rep. D. A. 45642, April 1958
151. PAUL, B.: Carrying Capacity of Elastic-plastic Shells with Various End Conditions under Hydrostatic Pressure. *J. Appl. Mech.* 26 (1959), 553—560
152. EASON, G.: The Load Carrying Capacity of Cylindrical Shells Subjected to a Ring of Force. *J. Mech. Phys. Solids*, (1959), 169—181
153. SHIELD, R. T.—DRUCKER, D. C.: Limit Strength of Thinwalled Pressure Vessels with an ASME Standard Torispherical Head. *Proc. 3rd. U. S. Nat. Congr. Appl. Mech.* (Providence, 1958), ASME, New York 1959, 665—672
154. SAWCZUK, A.—HODGE, P. G.: Comparison of Yield Conditions for Circular Cylindrical Shells. *J. Franklin Inst.* 269 (1960), 362—374
155. YERCHOV, M. I.: Hengeres héj forgásszimmetrikus alakváltozása a rugalmassági határon túl (oroszul), *Vopr. teorii plastichnosti i prochnosti stroi. Konstr. Trudy CNIISK. No. 4. Moszkva* 1961, 176—198
156. YERCHOV, M. I.: Söktámaszú vékonyfalú csővezeték teherbíró képessége (oroszul), *Vopr. teorii plastichnosti i prochnosti stroi. konstr. Trudy CNIISK, No. 4, Moszkva* 1961, 169—175
157. PARANELLI, J.—HODGE, P. G.: Plastic Analysis of Cylindrical Shells under Pressure, Axial Load and Torque. *Proc. 8th. Midw. Mech. Conf.* (Cleveland 1963)
158. LISTROVA, Yu. P.—RUDIS, M. A.: Gyűrű alakú héj határegyensúlya (oroszul). *Mekh. i Mashinostroenie* 3 (1963), 119—123
159. FIALKOV, M. N.: Limit Analysis of Simply Supported Circular Shell Roofs. *J. Engng. Mech. Div. Proc. ASCE* 84, 1958, Sept. 5706
160. SZMODITS, K.: A hyperbolic paraboloidal shell. *Építési és Közlekedéstudományi Közlemények* 3 (1959), 1—2
161. SAWCZUK, A.: On Experimental Foundations of the Limit Analysis of Reinforced Concrete Shells. *Shell Research, North Holland, Amsterdam* 1961, 217—231
162. JANAS, M.: Limit Analysis of a Cylindrical Shell (lengyelül) *Arch. Inz. Ladow.*, 8 (1962), 365—374
163. JANAS, M.: Limit Analysis of Non-symmetric Plastic Shells by a Generalized Yield-line Method. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems*, (Varsó 1963) Amsterdam 1964.
164. NAKAMURA, If.: Limit Analysis of Non-symmetric Sandwich Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems*. (Varsó 1963), Amsterdam 1964.
165. RYCHLEWSKI, J.: Limit Analysis of Helicoidal Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964.
166. AKHVLEDYANI, N. V.—SHAISHMELASHVILI, V. N.: Héjak törésmélete (oroszul) *Roobsch. Akad. Nauk Gruz SSSR*, 13 (1952)
167. AKHVLEDYANI, N. V.—SHAISHMELASHVILI, V. N.: Két irányban görbe héjak törésmélete (oroszul). *Trudy Inst. Stroit. Dela Akad. Nauk Gruz SSR, Tbilisi* 5 (1955), 61—71
168. KHAZALYA, G. I.: Lapos gömbhéjak törésmélete (oroszul), *Soobch. Akad. Nauk Gruz SSR*, 17 (1956), 815—822
169. MENYHARD: Die statische Berechnung von zylindrischen Stahlbeton-Behältern auf Grund der Bruchtheorie. *Vorbericht des V. Kongr. Internat. Vereinigung f. Bruckenbau u. Hochbau*, Lisboa 1956, 451—458
170. RZHANITSYN, A. R.: The Design of Plates and Shells by the Kinematical Method of Limit Equilibrium *IX Cong. Appl. Mech.* Brussels 1956, Actes, 6, 331—340
171. AKHVLEDYANI, N. V.: To the Limit Analysis of Reinforced Concrete Rotational Shells. *Sobshch. Akad. Nauk. Gruz. SSR*, 18 (1957), 209—210
172. RZHANITSYN, A. P.: Vasbetonhéjak számítása a törésmélet módszerével (oroszul) *Teoria rasch. i konstr. zhelezobet. konstr.*, Moszkva, 1958, 155—175

173. RZHANITSYN, A. R.: Héjak vizsgálata a törélelmélet szerint (oroszul) *Issl. po vopr. teorii plast. i prochn. stroj. konstr.* Moszkva 1958 7—35
174. OVECHKIN, A. M.: Equilibrium Equations of Reinforced Concrete Domes in the State of Limit Equilibrium. *Nauchn. dokl. vyssh. shkoly, stroit.* 1, (1958), 35—46
175. RZHANITSYN, A. R.: Analysis of Shallow Shells Using the Method of Limit Equilibrium *Stroi. Mekh. Rasch. Sooruzh.* 1, (1959), 5—11
176. RZHANITSYN, A. R.: Lapos és hullámos falú héjak (oroszul) *Nauchn. Soobsch. Akad. Stroi. i Arkh SSSR*, No. 14, Moszkva 1960
177. OVECHKIN, A. M.: Calculation of Reinforced Concrete Axisymmetrical Structures Shells. Moscow 1961
178. KALISZKY, S.: Untersuchung einer Kegelstumpfschale aus Stahlbeton auf Grund des Traglastverfahrens. *Acta Tech. Hung.*, 34 (1961), 159—175
179. AKHVLEDYANI, N. V.: Előgyártott vasbeton kupolák teherbírásáról (oroszul) *Stroi. Mekh. Rasch. Sooruzh.* 3 (1961), 5, 15—17
180. AKHVLEDYANI, N. V.: Két irányban görbe vasbetonhéjak határteherbírása (oroszul) *Issled. Teorii Sooruzh.* 11 (1962), 253—259
181. HAYDUKOV, G. K.: Limit Equilibrium Design of Shallow Shell Panels. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
182. KALISZKY, S.: Limit Analysis of a Reinforced Concrete Truncated-cone Shell. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
183. JOHANSEN, K. W.: Critical Notes on Calculation and Design of Cylindrical Shells. *Final Rep. 3rd. Congr. IABSF*, Liège 1948, 601—606
184. KAZINCZY, G.: The Limit Design of Shells. *Final Rep. 3rd Congr. IABSE*, Liège 1948
185. BAKER, A. L. L.: A Plastic Design Theory for Reinforced and Prestressed Concrete Shell Roots. *Mag. Concrete Research*, 4 (1950) 27—34
186. BAKER, A. L. L.: Ultimate Strength Theory for Short Reinforced-concrete Cylindrical Shell Roofs. *Mag. Congr. Research.* 10 (1952) 3—8
187. HRUBAN, K.: Csehüveg alakú héjakról (csehül) *Sbornik VUST* Brno, 20, (1951), No. 83
188. MORICE, P. B.: Research on Concrete Shell Structures. *Proc. 1st Symp. Shell Roof Constr.* (London 1952), Cem. Concr. Assoc. London 1954, 99—113
189. Van RIEL, A. C.—BERANEK, W. J.—BOUMA, A. L.: Tests on Shell Roof Models of Reinforced Concrete Mortar. *Proc. 2nd Symp. Shell Roof Constr.* (Oslo 1957), Technisk Ukeblad 1958, 315—324
190. BOUMA, A. L.—van RIEL, A. C.—van KOTENAND, H.—BERANEK, W. J.: Investigations on Models of Eleven Cylindrical Shells Made of Reinforced and Prestressed Concrete. *Proc. Symp. Shell Research* (Delft 1961), Amsterdam 1961, 79—101
191. ENAMI, A.: Some Experiments and the Mechanism Conditions of Reinforced Concrete Prismatic Folded Plate Structures. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
192. DRUCKER, D. C.—SHIELD, R. T.: Design for Minimum Weight. *Proc. 9th Int. Congr. Appl. Mech.* (Brussels 1956) Actes, 5, 212—222
193. DRUCKER, D. C.—SHIELD, R. T.: Bounds on Minimum Weight. *Quart. Appl. Math.* 15 (1957), 269—281
194. SHIELD, R. T.: Optimum Design Methods for Structures. *Proc. 2nd Symp. Naval Struc. Mech.* (Providence 1960) Oxford 1960, 580—591
195. MROZ, Z.: On a Problem of Minimum Weight Design. *Quart. Appl. Math.* 19 (1961), 127—135
196. ONAT, E. T.—PRAGER, W.: Limits of Economy of Materials in Shells; *De Ingenieur* 67 (1955) 10, 46—49
197. FREIBERGER, W.: Minimum Weight Design of Cylindrical Shells. *J. Appl. Mech.* 23 (1956), 576—580
198. FREIBERGER, W.: On the Minimum Weight Design Problem for Cylindrical Sandwich Shells. *J. Aero. Sci.* 24 (1957), 847—848
199. SHIELD, R. T.: On the Optimum Design of Shells. *J. Appl. Mech.* 27 (1960), 316—322
200. MIKELADZE, M. Sh.: Merev-plasztikus héjak teherbírás számítása (oroszul) *Arch. Mech. Stos.* 11 (1959), 17—31
201. MIKELADZE, N. Sh.: Egyenszilárdságú képlékeny anyagú héjak (oroszul) *Soobsch. Akad. Nauk. Gruz SSR.* 25 (1960), 391—398
202. MROZ, Z.: Optimal Design of Reinforced Concrete Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems.* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
203. OLSZAK, W.—SAWCZUK, A.: Some Problems of Limit Analysis and Limit Design of Non-homogeneous Axially Symmetric Shells. *Proc. Symp. Concr. Shell Roof Constr.* (Oslo 1956), Technisk Ukeblad (1957), 249—256

204. ZIEGLER, H.: Kuppeln gleicher Festigkeit. *Ing. Archiv*, **26**, (1958) 378—382
205. ISLER, W.: Eine Kuppel gleicher Festigkeit *ZAMP*, **10** (1959), 576—578
206. YISHLINSKI, A. Yu.: A képlékenység általános elmélete lineáris felkeményedés esetében (oroszul). *Ukr. Matemat. Zhurn.* **6** (1954), 314—325
207. PRAGER, W.: A New Method of Analysing Stress and Strain in Work-hardening Plastic Solids. *J. Appl. Mech.* **23** (1956), 493—496
208. HODGE, P. G.—ROMANO, F.: Deformations of an Elastic-Plastic Cylindrical Shell with Linear Strain-hardening. *J. Mech. Phys. Solids*, **4** (1956), 145—161
209. PERRONE, N.: Strain-hardening Solutions to Axisymmetric Discs and Tubes. *J. Appl. Mech.* **27** (1960) 45—53
210. PERRONE, N.—HODGE, P. G.: On Strain-hardened Circular Cylindrical Shells. *J. Appl. Mech.*, **27** (1960), 489—495
211. MIKELADZE, M. Sh.: Anizotróp héjak teherbírása (oroszul) *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, **98** (1954), 921—923
212. MIKELADZE, M. Sh.: Anizotróp héjak plasztikus folyása (oroszul) *Izv. Akad. Nauk. SSSR. OTN* **8** (1955), 67—80
213. NIEPOSTYN, D.: The Limit Analysis of an Orthotropic Circular Cylinder. *Arch. Mech. Stos.* **8** (1965), 565—580
214. MIKELADZE, M. Sh.: Rigid-plastic Analysis of Anisotropic Plates and Shells. *IX Congr. Int. Mec. Appliquée* (Brüssel 1956), Actes 8 (1957)
215. MIKELADZE, M. Sh.: Merev-plasztikus anizotróp héjak általános elmélete (oroszul), *Izv. Akad. Nauk. SSSR, OTN* **1** (1957), 85—94
216. MIKELADZE, M. Sh. Anizotróp héjak elasztó-plasztikus elmélete (oroszul), *Soobsch. Akad. Nauk Gruz. SSR*, **20** (1958), 13—20
217. SAWCZUK, A.: Piecewise Linear Theory of Anisotropic Plasticity and its Application to Limit Analysis Problems. *Arch. Mech. Stos.* **11** (1959), 541—557
218. SARCZUK, A.: Yield Condition for Anisotropic Shells. *Bull. Acad. Polon. Sci., Cl. IV*, **8** (1960), 213—277
219. MROZ, Z.: The Load Carrying Capacity of Orthotropic Shells. *Arch. Mech. Stos.* **12** (1960), 85—107
220. SAWCZUK, A.: On the Theory of Anisotropic Plates and Shells. *Arch. Mech. Stos.* **13** (1961), 355—366
221. NEMIROVSKI, Yu.—RABOTNOV, Yu.: Bordával erősített hengerháj határteherbírása (oroszul). *Mekh. i Mashinostroenie* **2** (1963), 83—94
222. OLSZAK, W.—URBANOWSKI, W.: The Plastic Potential and the Generalized Distortion Energy in the Theory of Non-homogeneous Anisotropic Elasto-plastic Bodies. *Arch. Mech. Stos.*, **8** (1956), 85—110
223. OLSZAK, W.—SAWCZUK, A.: Théorie de la capacité portante des constructions non-homogènes et orthotropes. *Ann. Inst. Techn. Bat. Trav. Publ.* **13** (1960), 517—535
224. LEPIK, Yu. R.: Nem homogén lemezek és héjak határteherbírása (oroszul) *Mekh. i Mashinostroenie* **4** (1963), 167—171
225. JAHSMAN, W. E.—HARTUNG, R. F.—EDWARDS, J. E.: Plastic Analysis of an Axisymmetrically Loaded Shell of Revolution with Meridionally Varying Limit Shells. *Proc. Symp. Non-Classical Shell Problems.* (Varsó 1963), Amsterdam 1964
226. ONAT, E. T.—YAMANTURK, S.: On Thermally Stressed Elastic Plastic Shells. *J. Appl. Mech.* **29** (1962), 108—114
227. CHINTSUN, Hwang: Thermal Stresses in an Elastic-plastic Work-hardening Sphere. *J. Appl. Mech.* **27** (1960), 629—634.
228. PRAGER, W.: Linearization in Visco-plasticity. *Öester. Ingenieur-Archiv.*, **15** (1961) 155—157
229. BALL, R. E.—LEE, S. L.: Limit Analysis of Cylindrical Shells. *J. Eng. Mech. Div., Proc. ASCE*, **89** No. EM3 (1963), 73—96

Inelastic Effects in the Shell Theory, Basic Problems and Applications. The use of shells in modern technology makes the classical theory, based on physical linearity and time independence of the material properties, inadequate for rational design. The inelastic behaviour of shells attracts attention, various forms of the material constitutive equations being used, in order to explain such types of inelastic response as creep, relaxation, or/and plasticity.

Nichtelastische Wirkungen in der Schalentheorie. Die Anwendung der Schalenkonstruktionen in der modernen Ingenieurpraxis erfordert die Aufstellung neuer Theorien, die von der klassischen Theorie abweichend die Baustoffeigenschaften als nichtlinear und von der Zeit abhängig annehmen. Das nicht elastische Verhalten der Schalenkonstruktionen kann nur mit Hilfe dieser neuen Theorien beschrieben und die plastische Verformung, Schwindung, das Kriechen und andere ähnliche Erscheinungen durch Berechnung erfaßt werden.

CSUKLYA ALAKÚ HÉJAK

BÖLCSKEI ELEMÉR*
AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

[Beérkezett 1976. március 17-én]

A csuklya alakú héjak membrán erőjátékát mind önsúlyra, mind hőteherre zárt formában viszonylag egyszerű matematikai eszközökkel meg lehet oldani körcikk, illetve körgyűrűcikk alaprajz esetében. E héjtípus a gyakorlatban jól alkalmazható. A membrán-elmélet azonban nagy feszításvolság és lapos héj esetében nem ad megbízható megoldást, és e szerkezeteket hajlított héjként kell vizsgálni. Ez elektronikus számológéppel a véges elemek módszerével történhetik, de a membránmegoldás ekkor sem nélkülözhető mint a feladat egy ismert és jól kezelhető partikuláris megoldása.

1. Bevezetés

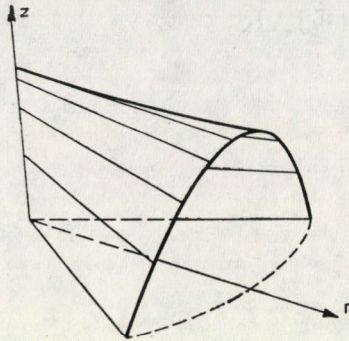
A poláris koordináta-rendszer számos olyan héjtípus erőjátékának meghatározására alkalmas, amely derékszögű koordináta-rendszerben történő vizsgálat esetében számottevő matematikai nehézséggel jár. Ilyen héjtípus az ún. csuklyás héj, melynek egyenlete

$$z = a + b(\varphi^2 - \varphi_0^2).$$

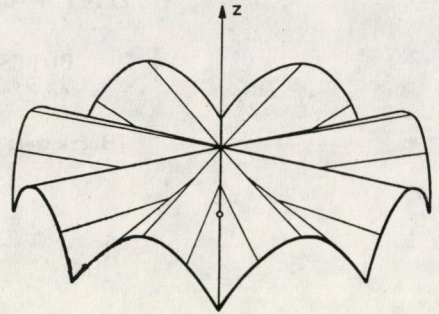
Ezt a héjfelületet a következőképpen lehet előállítani: az alapsíkkal párhuzamos egyenest a parabola alakú vezérgörbe mentén úgy mozgatjuk, hogy annak egy pontja a z forgástengelyre illeszkedjék. A felület axonometrikus képét az 1. ábra mutatja.

E felület a gyakorlatban körcikk, ill. körgyűrű cikk alaprajzú létesítmények — pl. előadótermek — lefedésére alkalmas. Ezen elemekből összerakott teljes kör, ill. körgyűrű alaprajzú építmények tetőszerkezeténél e héjtípus szintén jól alkalmazható (2., 3. ábra).

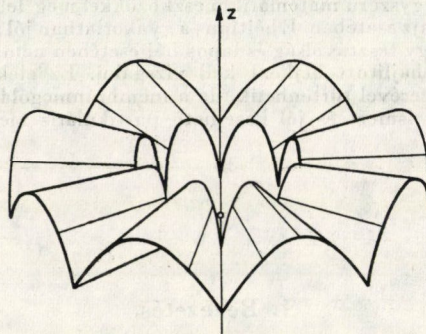
* Prof. Dr. Bölcskei Elemér, 1111 Budapest, Stoczek utca 2.



1. ábra



2. ábra



3. ábra

2. A membrán feszültségi állapotot leíró differenciálegyenlet

A membrán feszültségi állapotra vonatkozó poláris koordináta-rendszerben felírt parciális másodrendű kétváltozós differenciálegyenlet [1]:

$$\frac{1}{r} (F_r z_r)_r + \frac{1}{r^2} (F_{rr} z_{\varphi\varphi} + F_{\varphi\varphi} z_{rr}) - 2 \left(\frac{F_{\varphi}}{r} \right)_r \left(\frac{z_{\varphi}}{r} \right)_r + p(r, \varphi) = 0.$$

Ebben az egyenletben

- $F(r, \varphi)$ a feszültségfüggvény,
- $z(r, \varphi)$ a felületfüggvény,
- $p(r, \varphi)$ a terhelésfüggvény.

A felületfüggvény elsőrendű parciális deriváltjai

$$z_r = 0;$$

$$z_{\varphi} = 2b\varphi,$$

míg a másodrendűek:

$$z_{rr} = 0;$$

$$z_{\varphi\varphi} = 2b;$$

$$z_{r\varphi} = 0.$$

Ezeket behelyettesítve a differenciálegyenletbe, a

$$2b \frac{F_{rr}}{r^2} - 2 \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r \left(\frac{2b\varphi}{r} \right)_r + p(r, \varphi) = 0,$$

illetve az

$$F_{rr} - \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r \left(\frac{2\varphi}{r} \right)_r r^2 + \frac{p(r, \varphi)r^2}{2b} = 0$$

összefüggést kapjuk. Minthogy

$$\left(\frac{2\varphi}{r} \right)_r r^2 = -2\varphi,$$

tehát

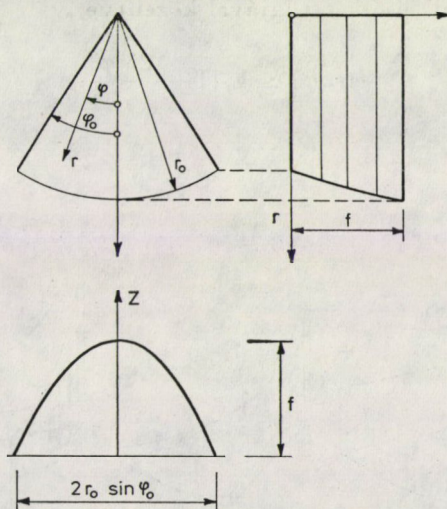
$$F_{rr} + \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r 2\varphi + \frac{p(r, \varphi)r^2}{2b} = 0.$$

A differenciálegyenletet a megfelelő kerületi feltételek mellett megoldva meghatározható az $F(r, \varphi)$ feszültségfüggvény.

A héj megtámasztása legyen olyan, hogy egy r_0 körív mentén kilépőerő nem léphet fel, és szimmetria okokból a héj tengelyében a fajlagos nyírőerő zérus (4. ábra). Ezt másképpen fogalmazva

$$\varphi = 0 \rightarrow n_{r\varphi} = 0,$$

$$r = r_0 \rightarrow n_r = 0.$$



4. ábra

E feltételek tényleges felírásához szükségünk lesz a redukált feszültség-alkotókra, amelyek poláris koordináta-rendszerben

$$n_r = \frac{F_r}{r} + \frac{F_{\varphi\varphi}}{r^2}$$

$$n_{r\varphi} = - \left(\frac{F_{\varphi}}{r} \right)_r$$

$$n_{\varphi} = F_{rr}$$

alakban írhatók fel.

3. A terhelés

A csuklyás héjfelület elsősorban tető céljaira alkalmas, és így terhelése a g_0 önsúly, és g_h egyenletesen megoszló hőteher. Egy elemi felületrészre jutó önsúlyteher a felület mentén mérve:

$$\bar{g}(r, \varphi) = g_0 \sqrt{1 + \frac{4b^2\varphi^2}{r^2}} r d\varphi dr,$$

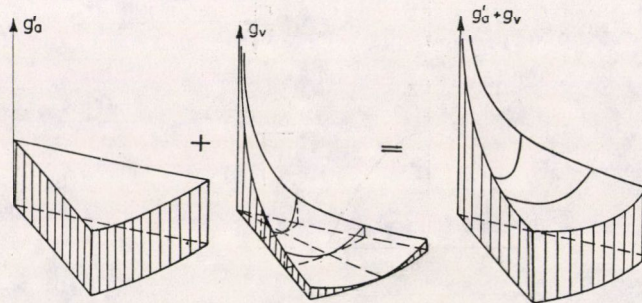
és ebből az alapsíkra számított ún. redukált érték (5. ábra)

$$g(r, \varphi) = g_0 \sqrt{1 + \frac{4b^2\varphi^2}{r^2}},$$

amely Taylor-sorának első két tagjával közelítve

$$g(r, \varphi) \simeq g_0 \left(1 + \frac{2b^2\varphi^2}{r^2} \right)$$

alakban írható.



5. ábra

Látjuk, hogy az önsúly két részből tehető össze, nevezetesen egy egyenletesen megoszló és egy változó részből. Az egyenletesen megoszló részt a hőteherrel együtt vizsgálhatjuk, és külön célszerű vizsgálni az önsúly változó részét:

$$g_a = g_h + g_0,$$

$$g_v = g_0 \frac{2b^2\varphi^2}{r^2}.$$

4. Vizsgálat állandó teherre

Az erőjátékot leíró differenciálegyenlet:

$$F_{rr} + 2\varphi \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r + \frac{g_a r^2}{2b} = 0.$$

Ezt r szerint integrálva, és rendezve, az

$$rF_r + 2\varphi F_\varphi + \frac{g_a r^4}{6b} + rc(\varphi) = 0$$

összefüggéshez jutunk, ahol $c(\varphi)$ integrálási állandó. Ezen elsőrendű parciális differenciálegyenlet normálalakja:

$$rF_r + 2\varphi F_\varphi = -\frac{g_a r^4}{6b} - rc(\varphi),$$

és így karakterisztikus egyenletei:

$$\frac{dr}{r} = \frac{d\varphi}{2\varphi} = -\frac{dF}{\frac{g_a r^4}{6b} + rc(\varphi)}.$$

Az egyenlőség első két tagjának felhasználásával

$$\frac{dr}{r} = \frac{d\varphi}{2\varphi}.$$

Ebből

$$2 \ln r + \ln c_1 = \ln \varphi,$$

$$c_1 = \frac{\varphi}{r^2}.$$

A karakterisztikus egyenletek első és harmadik tagját egyenlővé téve, a

$$\frac{dr}{r} = - \frac{dF}{\frac{g_a r^4}{6b} + rc(\varphi)}$$

összefüggést kapjuk, melyet integrálva:

$$\int dF = - \frac{1}{6b} \int [g_a r^3 + 6bc(\varphi)] dr.$$

Innen

$$F = - \frac{g_a}{24b} r^4 - rc(\varphi) + h(\varphi),$$

ahol $c(\varphi)$ és $h(\varphi)$ integrálási függvények, melyeket a kerületi feltételek figyelembevételével határozhatunk meg. Ehhez szükségünk lesz a feszültségfüggvény deriváltjaira, melyek a következők:

$$F_r = - \frac{g_a}{6b} r^3 - c(\varphi),$$

$$F_{rr} = - \frac{g_a}{2b} r^2,$$

$$F_\varphi = -rc' + h',$$

$$F_{r\varphi} = F_{\varphi r} = -c',$$

$$F_{\varphi\varphi} = -rc'' + h''.$$

Szükségünk lesz továbbá az

$$- \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r = \frac{h'}{r^2}$$

összefüggésre.

A kerületi feltételeket jelen esetben az alábbiak szerint vehetjük figyelembe:

$$\text{ha } \varphi = 0, \text{ akkor } n_{r\varphi} = 0,$$

vagyis

$$n_{r\varphi} = 0 = \frac{h'(\varphi)}{r^2}.$$

Mínt hogy

$$h' = 0,$$

így

$$h = \text{const.}$$

Ha $r = r_0$, akkor $n_r = 0$, vagyis

$$n_r = 0 = -\frac{g_a}{6b} r_0^2 - \frac{c}{r_0} - \frac{c''}{r_0} + \frac{h''}{r_0^2}.$$

Ezek szerint

$$c'' + c + \frac{g_a}{6b} r_0^3 = 0.$$

Tehát

$$c(\varphi) = k \sin \varphi + m \cos \varphi - \frac{g_a}{6b} r_0^3.$$

Ha alkotó irányú erő nem működik, s ez a gyakorlati eset, akkor $k = m = 0$, vagyis

$$c(\varphi) = -\frac{g_a}{6b} r_0^3.$$

Tehát a redukált feszültségi alkotók:

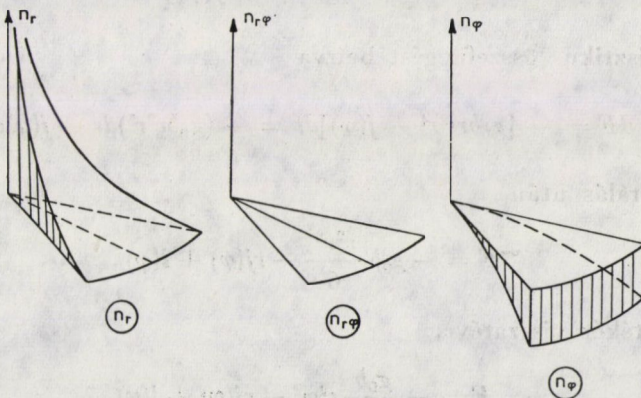
$$n_r = -\frac{g_a}{6b} \left(r^2 - \frac{r_0^3}{r} \right).$$

$$n_{r\varphi} = 0,$$

$$n_\varphi = -\frac{g_a}{2b} r^2.$$

A feszültségi alkotók axonometrikus képét a 6. ábra mutatja. Maga a feszültségfüggvény

$$F = -\frac{g_a r}{24b} (r^3 - 4r_0^3).$$



6. ábra

5. Vizsgálat az önsúlyteher változó részére

Az erőjátékot leíró differenciálegyenlet:

$$F_{rr} + 2\varphi \left(\frac{F_\varphi}{r} \right)_r + g_0 b \varphi^2 = 0.$$

Ezt r szerint egyszer integrálva az

$$rF_r + 2\varphi F_\varphi + g_0 b r^2 \varphi^2 + rj(\varphi) = 0,$$

illetve az

$$rF_r + 2\varphi F_\varphi = -g_0 b r^2 \varphi^2 - rj(\varphi).$$

összefüggést kapjuk. A karakterisztikus egyenlet tehát

$$\frac{dr}{r} = \frac{d\varphi}{2\varphi} = - \frac{dF}{g_0 b r^2 \varphi^2 + rj(\varphi)}.$$

Az első kettőből, hasonlóan az előbbiekhöz,

$$c = \frac{\varphi}{r^2}.$$

Az első és harmadik tag egyenlőségéből, azaz a

$$\frac{dr}{r} = - \frac{dF}{g_0 b r^2 \varphi^2 + rj(\varphi)},$$

egyenletből:

$$dF = - [g_0 b r \varphi^2 + j(\varphi)] dr.$$

A karakterisztikus összefüggést beírva

$$dF = - [g_0 b r c^2 r^4 + j(\varphi)] dr = - (g_0 b c^2 r^5) dr - j(\varphi) dr.$$

Innét integrálás után

$$F = -g_0 b \frac{c^2 r^6}{6} - rj(\varphi) + l(\varphi),$$

illetve c értékét visszatéve,

$$F = - \frac{g_0 b}{6} r^2 \varphi^2 - rj(\varphi) + l(\varphi).$$

A feszültségfüggvény deriváltjai:

$$F_r = -\frac{g_0 b r \varphi^2}{3} - j,$$

$$F_{rr} = -\frac{g_0 b \varphi^2}{3},$$

$$F_\varphi = -\frac{g_0 b r^2 \varphi}{3} - r j' + l',$$

$$F_{r\varphi} = F_{\varphi r} = -\frac{2g_0 b r \varphi}{3} - j'$$

$$F_{\varphi\varphi} = -\frac{g_0 b r^2}{3} - r j'' + l''.$$

Szükségünk lesz továbbá az

$$-\left(\frac{F_\varphi}{r}\right)_r = \frac{g_0 b \varphi}{3} + \frac{l'}{r^2}$$

kifejezésre.

Az $n_{r\varphi}$ nyíróerőre vonatkozó kerületi feltétel:

$$\text{ha } \varphi = 0, \text{ akkor } n_{r\varphi} = 0,$$

vagyis

$$n_{r\varphi} = 0 = \frac{g_0 b \varphi}{3} + \frac{l'}{r_0^2}.$$

Mint hogy $\varphi = 0$, $l' = 0$, így

$$l = \text{const.}$$

Az n_r derékerőre vonatkozó kerületi feltétel:

$$\text{ha } r = r_0, \text{ akkor } n_r = 0,$$

vagyis, figyelembe véve, hogy $l' = 0$,

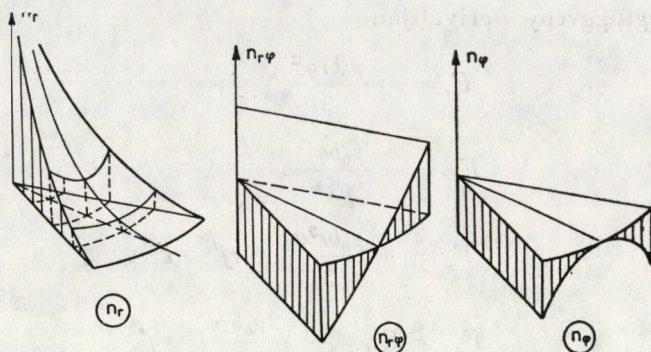
$$n_r = 0 = -\frac{g_0 b \varphi^2}{3} - \frac{j}{r_0} - \frac{g_0 b}{3} - \frac{j''}{r_0}.$$

Ezek szerint j a következő differenciálegyenletből számítható:

$$j'' + j + \frac{g_0 b r_0}{3} (1 + \varphi^2) = 0.$$

Tehát

$$j = -\frac{g_0 b r_0}{3} (\varphi^2 - 1) + k \sin \varphi + m \cos \varphi.$$



7. ábra

Ha alkotó irányú erő nem működik, s ez a gyakorlati eset, akkor $k = m = 0$, vagyis

$$j(\varphi) = -\frac{g_0 b r_0}{3} (\varphi^2 - 1).$$

Tehát a redukált feszültségi alkotók:

$$n_r = -\frac{g_0 b}{3} (\varphi^2 + 1) \left(1 - \frac{r_0}{r}\right),$$

$$n_{r\varphi} = \frac{g_0 b \varphi}{3},$$

$$n_\varphi = -\frac{g_0 b \varphi^2}{3}.$$

Ezek axonometrikus képét a 7. ábra mutatja.

Maga a feszültségfüggvény:

$$F = -\frac{g_0 b}{6} r^2 \varphi^2 - \frac{g_0 b}{3} r_0 r (1 - \varphi^2).$$

IRODALOM

CSONKA Pál: A membránhéjak differenciálegyenlete hengeres koordináta-rendszerben. *Mélyépítéstudományi Szemle* 24 (1974), 241–243

Hood-shaped Shell Structures. The membrane stress pattern of a hood-shaped shell may be determined by relatively simple mathematical means in case of a sector or annular sector base form. However, the membrane theory yields no reliable solution in case of large span and flat shells; such structures should be analysed as flexural shell structures. This may be carried out with the aid of a computer by making use of the method of finite element, but the membrane solution cannot be dispensed with either in this case as a familiar and easily treatable particular solution of the problem.

Haubenschalen. Die Membrankräfte der Haubenschalen können für Eigengewicht und Schneelast mit Verhältnismäßig einfachen mathematischen Mitteln bestimmt werden falls die Grundrißfigur der Schale ein Kreissektor, bzw. Kreisringsektor ist. Dieser Schalentyp ist in der Praxis gut anwendbar. Im Falle großer Spannweiten und flacher Schalen liefert die Membrantheorie keine verlässliche Lösung und diese Konstruktionen müssen als auf Biegung beanspruchte Schalen untersucht werden. Dies kann mit Rechenautomaten, mit der Methode der endlichen Elemente durchgeführt werden, doch kann die Membranlösung, als eine bekannte und gut brauchbare partikuläre Lösung der Aufgabe nicht entbehrt werden.



PARABOLA VEZÉRGÖRBÉJŰ ÁLLÓ KONOIDHÉJ

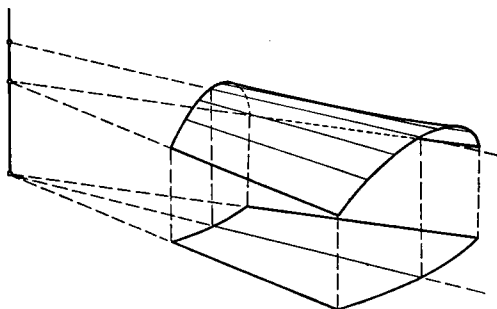
CSONKA PÁL*
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1976. június 11-én]

A dolgozat a BÖLCSKEI-féle csuklya alakú héjhoz hasonló alakú olyan konoid-héjat ismertet, amelynek vezértengelye függőleges, vezérsíkja vízszintes, vezérgörbéi pedig síkgörbék: függőleges tengelyű másodfokú parabolák. A szerző a feladat megoldása során az íves héjperemeken félmerev alátámasztást, az egyenes héjperemeken merev alátámasztást feltételez és a gyakorlatban szóba jövő egyszerű terhelési esetekre közvetlenül alkalmazható képletgyűjteményt közöl. A dolgozatot számpélda egészíti ki.

I. Bevezetés

E lap hasábjain BÖLCSKEI Elemér [1] csuklya alakú héjnak nevezett olyan konoidhéj számítását ismertette, amelynek vezértengelye függőleges, vezérsíkja vízszintes, vezérgörbéi pedig körhengerpalástra rajzolt másodfokú parabolák (1. ábra). A héj alaprajza körgyűrű cikk. Az érdekes dolgozat bemu-

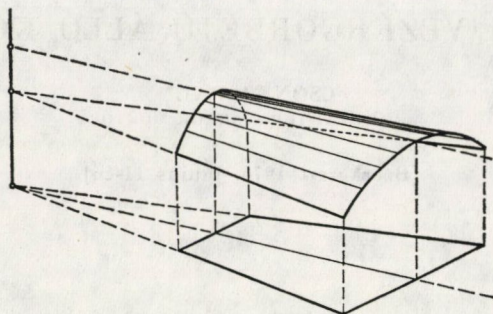


1. ábra. Bölcskei-féle csuklya alakú héj

tatta, hogy lehetséges az effajta héjakat membránerőkkel úgy egyensúlyozni, hogy legalábbis az egyik íves héjperemre semmiféle oldalirányú erő se hasson.

Szerző a jelen dolgozatban a BÖLCSKEI-féle csuklya alakú héjakhoz többé-kevésbé hasonló alakú olyan konoidhéjak számításával foglalkozik, amelyek vezértengelye függőleges, vezérsíkja vízszintes. A szóban forgó héjak — álló

* Prof. Dr. CSONKA Pál, 1114 Budapest, Bartók B. út 31.



2. ábra. Álló konoidhéj trapéz alaprajz felett

konoidhéjak — alaprajza trapéz, vezérgörbéi függőleges síkú másodfokú parabolák (2. ábra). Mindkét íves héjperemet félmerev tartó, mindkét egyenes héjperemet merev szerkezet támasztja alá.

Jelen dolgozat az említett héjak számításával a membránelmélet keretében foglalkozik és mint ilyen, a héj és perem tartóinak csatlakozásánál keletkező hajlító és csavaró erőket figyelmen kívül hagyja.

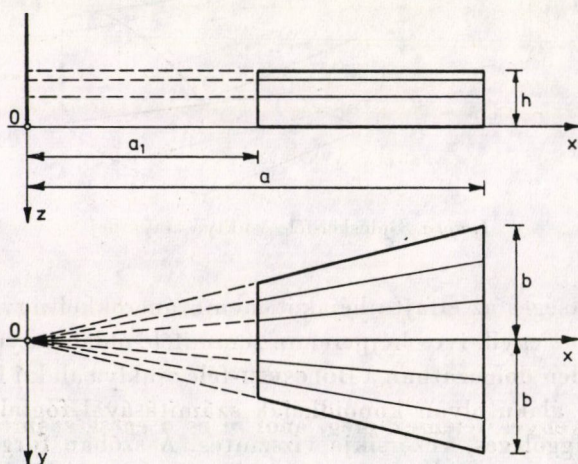
2. A feladat differenciálegyenlete

Tárgyalásunkhoz a 3. ábrán feltüntetett $O(x, y, z)$ derékszögű koordináta-rendszert vezetjük be.

Feltesszük, hogy a héjat csak függőleges megoszló erők terhelik. Ezeknek az erőknek az alaprajz területegységére vonatkoztatott fajlagos értékét a

$$\bar{p} = \bar{p}(x, y) \quad (1)$$

teherfüggvénnyel jellemezzük.

3. ábra. Az $O(x, y, z)$ derékszögű koordináta-rendszer

Az $0(x, y, z)$ koordináta-rendszerben a hég középfelületének egyenlete

$$z = -h \left(1 - \frac{a^2 y^2}{b^2} \right). \tag{2}$$

Így

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} &= 6 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{x^2}{y^4}, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial x \cdot \partial y} &= 4 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{y}{x^3}, \\ \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} &= 2 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{1}{x^2}, \end{aligned}$$

és ennek megfelelően a membránhéjak alapegyenlete, vagyis a

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 z}{\partial x \cdot \partial y} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y} + \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \bar{p} = 0$$

egyenlet esetünkben így alakul:

$$6 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{y^2}{x^4} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - 8 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{y}{x^3} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y} + 2 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \bar{p} = 0. \tag{3}$$

A hég feszítő erőinek meghatározásához ezt a differenciálegyenletet kell a feladat peremfeltételeinek figyelembevételével megoldani. Az íves peremek mentén az említett feltételek így fogalmazhatók:

$$\begin{aligned} \bar{N}_x \Big|_{x=a} &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \Big|_{x=a} = \text{konst.}, \\ \bar{N}_x \Big|_{x=a_1} &= \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \Big|_{x=a_1} = \text{konst.}, \end{aligned} \tag{4}$$

3. Egyszerű terhelési esetek

Kísérjük meg olyan

$$F_{m,n} = F_{m,n}(x, y)$$

feszültségfüggvényeket szerkeszteni, amelyeknek

$$\bar{p}_{m,n} = x^m y^n \tag{5}$$

alakú teherfüggvények felelnek meg, ahol m és n egész számok a megszorítással, hogy

$$m \leq 0, \quad n \geq 0.$$

3.1. Az általános eset ($n > 0$, $n \neq 1$)

Induljunk ki az

$$F^* = K \left[\frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} (x^s - a_1^s) - (x^t - a_1^t) \right] x^{m+4} y^n \quad (6)$$

($K = \text{konst}$)

kifejezésből mint feszültségfüggvényből. Ennek a feszültségfüggvénynek a (3) differenciálegyenlet szerint a következő teherfüggvény felel meg:

$$\bar{p}^* = -6 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{y^2}{x^4} \cdot \frac{\partial^2 F^*}{\partial y^2} + 8 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{y}{x^3} \cdot \frac{\partial^2 F^*}{\partial x \cdot \partial y} - 2 \frac{ha^2}{b^2} \cdot \frac{1}{x^2} \cdot \frac{\partial^2 F^*}{\partial x^2}. \quad (7)$$

Mint hogy az adott esetben

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 F^*}{\partial x^2} &= K \left[\frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} (s + m + 4)(s + m + 3)x^{s+m+2} - \right. \\ &\quad \left. - (t + m + 4)(t + m + 3)x^{t+m+2} \right] y^n, \\ \frac{\partial^2 F^*}{\partial x \cdot \partial y} &= K \left[\frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} (s + m + 4)nx^{s+n+3} - (t + m + 4)nx^{t+m+3} \right] y^{n-1}, \\ \frac{\partial^2 F^*}{\partial y^2} &= K \left[\frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} n(n-1)(x^{s+m+4} - a_1^s x^{m+4}) - \right. \\ &\quad \left. - n(n-1)(x^{t+m+4} - a_1^t x^{m+4}) \right] y^{n-2}, \end{aligned}$$

így

$$\begin{aligned} \bar{p}^* &= K \frac{ha^2}{b^2} \left[-2 \frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} (s + m + 4)(s + m + 3)x^{s+m} + \right. \\ &\quad \left. + 2(t + m + 4)(t + m + 3)x^{t+m} + \right. \\ &\quad \left. + 8 \frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} (s + m + 4)nx^{s+m} - 8(t + m + 4)nx^{t+m} - \right. \\ &\quad \left. - 6 \frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} n(n-1)(x^{s+m} - a_1^s x^m) + 6n(n-1)(x^{t+m} - a_1^t x^m) \right] y^n. \end{aligned}$$

Az utóbbi képletet rendezés után

$$\bar{p}^* = K \frac{ha^2}{b^2} \left[\frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s} Sx^{s+m} + Tx^{t+m} + Ux^m \right] y^n \quad (8)$$

alakban írhatjuk, ahol

$$S = -2[(s + m + 4)(s + m + 3) - 4(s + m + 4)n + 3n(n - 1)] \frac{a^t - a_1^t}{a^s - a_1^s}, \quad (9)$$

$$T = +2[(t + m + 4)(t + m + 3) - 4(t + m + 4)n + 3n(n - 1)], \quad (10)$$

$$U = 6n(n - 1) \frac{a^t a_1^s - a^s a_1^t}{a^s - a_1^s}. \quad (11)$$

Kísérreljük meg a (9) egyenletben s -nek olyan értéket tulajdonítani, hogy adott m és n esetében

$$S = 0$$

legyen. Ezt a követelményt az

$$(s + m + 4)(s + m + 3) - 4(s + m + 4)n + 3n(n - 1) = 0$$

egyenlet fejezi ki. Ha ezt s -re megoldjuk, azt találjuk, hogy

$$s = \frac{1}{2} (2m - 4n + 7 \pm \sqrt{4n^2 + 20n + 1}).$$

Mint ahogy kikötésünk szerint $n > 0$, a fenti képlet s -re két egymástól eltérő valós értéket szolgáltat. Ezek szerint lehetséges s -nek két egymástól eltérő olyan értéket tulajdonítani, amelyek esetében az $S = 0$ feltétel teljesül. Ez a két s érték:

$$s = \frac{1}{2} (2m - 4n + 7 + \sqrt{4n^2 + 20n + 1}) \equiv i, \quad (12)$$

$$s = \frac{1}{2} (2m - 4n + 7 - \sqrt{4n^2 + 20n + 1}) \equiv j.$$

Hasonló a helyzet a (10) egyenlet esetében is. Itt is lehet a t -re két olyan értéket meghatározni, amelyekkel a

$$T = 0$$

feltétel teljesül. Ez a két t érték:

$$t = \frac{1}{2} (2m - 4n + 7 + \sqrt{4n^2 + 20n + 1}) \equiv i, \quad (13)$$

$$t = \frac{1}{2} (2m - 4n + 7 - \sqrt{4n^2 + 20n + 1}) \equiv j.$$

Ha a (8) képletben s helyébe i -t, t helyébe j -t írunk, akkor $S = 0$ és $T = 0$ lesz, és így a (8) egyenlet a következőképpen egyszerűsödik:

$$\bar{p}^* = K \frac{ha^2}{b^2} 6n(n-1) \frac{a^j a_1^i - a^i a_1^j}{a^i - a_1^i} x^m y^n. \quad (14)$$

Ahhoz, hogy a teherfüggvény

$$\bar{p}^* = x^m y^n \equiv \bar{p}_{m,n} \quad (15)$$

alakban legyen kifejezhető, a (14) képletben szereplő K tényezőt a következőképpen kell felvenni:

$$K = \frac{b^2}{ha^2} \cdot \frac{1}{6n(n-1)} \cdot \frac{a^i - a_1^i}{a^j a_1^i - a^i a_1^j}.$$

Ezt a K értéket, valamint az $s = i$, $t = j$ összefüggéseket a (6) képletbe behelyettesítve, a (15) alatti teherfüggvénynek megfelelő feszültségfüggvényként az alábbi kifejezést kapjuk:

$$F^* = \frac{b^2}{ha^2} \cdot \frac{1}{6n(n-1)} \cdot \frac{a^i - a_1^i}{a^j a_1^i - a^i a_1^j} \cdot \left[\frac{a^j - a_1^j}{a^i - a_1^i} (x^i - a_1^i) - (x^j - a_1^j) \right] x^{m+4} y^n \equiv F_{m,n}.$$

Ugyanez a képlet rendezés után

$$F_{m,n} = \frac{b^2}{ha^2} \cdot \frac{1}{6n(n-1)} G(x, i, j) \cdot x^{m+4} y^n \quad (16)$$

alakban is írható, ahol

$$G(x, i, j) = \frac{(a^j - a_1^j)(x^i - a_1^i) - (a^i - a_1^i)(x^j - a_1^j)}{a^j a_1^i - a^i a_1^j}. \quad (17)$$

Mint látható, az utóbbi képletben i és j szerepének felcserélése az eredményt nem módosítja.

3.2. Kivételes esetek

A 3.1. alatt ismertetett eljárás nem alkalmazható olyankor, amidőn $n = 0$ vagy $n = 1$. Az alábbiakban, a részletszámításokat mellőzve, ezekkel az általános tárgyalásból kirekesztett esetekkel foglalkozunk.

Az $n = 1$ esetben, feltéve, hogy $m \neq -4$, a megoldás

$$F_{m,1} = -\frac{b^2}{2ha^2} \cdot \frac{1}{(m+4)(m-1)} x^{m+4}y,$$

ha viszont $m = -4$, akkor

$$F_{-4,1} = \frac{b^2}{10ha^2} y \ln x.$$

(Az $m = 1$ lehetőséget, mint érdektelent, tárgyalásainkból kirekesztettük. Ezzel tehát nem kell foglalkoznunk.)

Az $n = 0$ esetben, feltéve, hogy $m \neq -3$, $m \neq -4$, a feladat megoldása

$$F_{m,0} = -\frac{b^2}{2ha^2} \cdot \frac{1}{(m+3)(m+4)} \cdot \frac{1}{x^m},$$

ha viszont $m = -3$, akkor

$$F_{-3,0} = \frac{b^2}{2ha^2} (x \ln x + x),$$

ha pedig $m = -4$, akkor

$$F_{-4,0} = -\frac{b^2}{2ha^2} \ln x.$$

3.3. Homogén eset

A (3) differenciálegyenlet homogén alakjának, vagyis a

$$6 \frac{y^2}{x^4} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} - \frac{8y}{x^3} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y} + 2 \frac{1}{x^2} \cdot \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = 0$$

homogén differenciálegyenletnek van olyan partikuláris megoldása, amely egyúttal a (4) peremfeltételeket is kielégíti. Ez a megoldás a következő:

$$F = Cx^5y, \quad C = \text{konst.} \tag{18}$$

A (18) alatti homogén megoldás a 3.1. és 3.2. alatt ismertetett megoldások bármelyikéhez hozzáiktatható.

Olyankor, amikor a héj terhelése az $y = 0$ síkra nézve szimmetrikus, a homogén megoldás képletében szereplő C együttható szimmetria okokból zérus. Ha ellenben a héj terhelése az $y = 0$ síkra nézve antimetrikus, akkor a C tényező megfelelő felvételével a (4) peremfeltételeken túlmenőleg további peremfeltételt is módunkban van teljesíteni.

4. A feladat megoldása

Adott esetben a feladatot oly módon oldjuk meg, hogy az ismert \bar{p} teherfüggvényt $A_{m,n}x^m y^n$ alakú teherkomponensekre bontjuk vagy ilyen komponensek összegével közelítjük meg:

$$\begin{aligned} \bar{p} = & A_{0,0} + A_{0,1}y + A_{0,2}y^2 + \dots + \\ & A_{-1,0}x^{-1} + A_{-1,1}x^{-1}y + A_{-1,2}x^{-2}y^2 + \dots \\ & + A_{-2,0}x^{-2} + A_{-2,1}x^{-2}y + A_{-2,2}x^{-2}y^2 + \dots \\ & \dots \end{aligned}$$

1. Táblázat

$F_{m,n}$ feszültségfüggvények

N ^o	$p_{m,n}$	$F_{m,n}$
1	1	$-\frac{b^2}{24ha^2}x^4$
2	$\frac{1}{x}$	$-\frac{b^2}{12ha^2}x^3$
3	$\frac{1}{x^2}$	$-\frac{b^2}{4ha^2}x^2$
4	$\frac{1}{x^3}$	$-\frac{b^2}{2ha^2}(x \ln x + x)$
5	$\frac{1}{x^4}$	$+\frac{b^2}{2ha^2} \ln x$
6	$\frac{1}{x^5}$	$-\frac{b^2}{4ha^2} \cdot \frac{1}{x}$
7	$\frac{1}{x^6}$	$-\frac{b^2}{12ha^2} \cdot \frac{1}{x^2}$
8	y	$-\frac{b^2}{8ha^2}x^4y + Cx^5y$
9	$\frac{y}{x}$	$-\frac{b^2}{12ha^2}x^3y + Cx^5y$
10	$\frac{y}{x^2}$	$-\frac{b^2}{12ha^2}x^2y + Cx^5y$
11	$\frac{y}{x^3}$	$-\frac{b^2}{8ha^2}xy + Cx^5y$
12	$\frac{y}{x^4}$	$+\frac{b^2}{10ha^2}y \ln x + Cx^5y$
13	$\frac{y}{x^5}$	$-\frac{b^2}{12ha^2} \cdot \frac{y}{x} + Cx^5y$
14	$\frac{y}{x^6}$	$-\frac{b^2}{28ha^2} \frac{y}{x^2} + Cx^5y$

Ezután az egyes $A_{m,n}x^m y^n$ teherkomponenseknek megfelelő $A_{m,n}F_{m,n}$ feszültségfüggvényeket határozzuk meg, majd azokat összegezzük. Az így előállított összeg a feladat keresett feszültségfüggvénye:

$$\begin{aligned}
 F &= A_{0,0}F_{0,0} + A_{0,1}F_{0,1} + A_{0,2}F_{0,2} + \dots \\
 &+ A_{-1,0}F_{-1,0} + A_{-1,1}F_{-1,1} + A_{-1,2}F_{-1,2} + \dots \\
 &+ A_{-2,0}F_{-2,0} + A_{-2,1}F_{-2,1} + A_{-2,2}F_{-2,2} + \dots \\
 &\dots\dots\dots
 \end{aligned}$$

2. Táblázat

$F_{m,n}$ feszültségfüggvények

N°	$P_{m,n}$	$F_{m,n}$
1	y^2	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)x^4 y^2, \quad i, j = \frac{1}{2}(-1 \pm \sqrt{57})$
2	$\frac{y^2}{x}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)x^3 y^2, \quad i, j = \frac{1}{2}(-3 \pm \sqrt{57})$
3	$\frac{y^2}{x^2}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)x^2 y^2, \quad i, j = \frac{1}{2}(-5 \pm \sqrt{57})$
4	$\frac{y^2}{x^3}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)xy^2, \quad i, j = \frac{1}{2}(-7 \pm \sqrt{57})$
5	$\frac{y^2}{x^4}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)y^2, \quad i, j = \frac{1}{2}(-9 \pm \sqrt{57})$
6	$\frac{y^2}{x^5}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)\frac{y^2}{x}, \quad i, j = \frac{1}{2}(-11 \pm \sqrt{57})$
7	$\frac{y^2}{x^6}$	$\frac{b^2}{12ha^2} G(x, i, j)\frac{y^2}{x^2}, \quad i, j = \frac{1}{2}(-13 \pm \sqrt{57})$
8	y^4	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)x^4 y^4, \quad i, j = \frac{1}{2}(-9 \pm \sqrt{145})$
9	$\frac{y^4}{x}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)x^3 y^4, \quad i, j = \frac{1}{2}(-11 \pm \sqrt{145})$
10	$\frac{y^4}{x^2}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)x^2 y^4, \quad i, j = \frac{1}{2}(-13 \pm \sqrt{145})$
11	$\frac{y^4}{x^3}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)xy^4, \quad i, j = \frac{1}{2}(-15 \pm \sqrt{145})$
12	$\frac{y^4}{x^4}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)y^4, \quad i, j = \frac{1}{2}(-17 \pm \sqrt{145})$
13	$\frac{y^4}{x^5}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)\frac{y^4}{x}, \quad i, j = \frac{1}{2}(-19 \pm \sqrt{145})$
14	$\frac{y^4}{x^6}$	$\frac{b^2}{72ha^2} G(x, i, j)\frac{y^4}{x^2}, \quad i, j = \frac{1}{2}(-21 \pm \sqrt{145})$

Ugyanígy kell eljárunk az F feszültségfüggvénynek megfelelő vetületi feszítőerők számításakor is. Ezeket is úgy kapjuk meg, hogy az egyes teherkomponenseknek megfelelő vetületi feszítőerőket egyenként meghatározzuk, majd azokat összegezzük.

A fentiekben ismertetett számítások megkönnyítésére az 1. és 2. táblázatokba foglaltuk a gyakorlat szempontjából szóba jövő egyes egyszerű terhelési eseteknek megfelelő $F_{m,n}$ feszültségfüggvények képleteit.

5. Számpélda

A 4. ábrán feltüntetett csonka konoidhéj középfelületének egyenlete

$$z = -3,6 \left(1 - \frac{40,0^2 y^2}{10,0^2 x^2} \right) \text{ [m]} .$$

A héjat egyrészt a héjfal önsúlya, másrészt egyenletes hőteher terheli. Az önsúlytehernek a középfelület felszínegységére vonatkoztatott fajlagos értéke

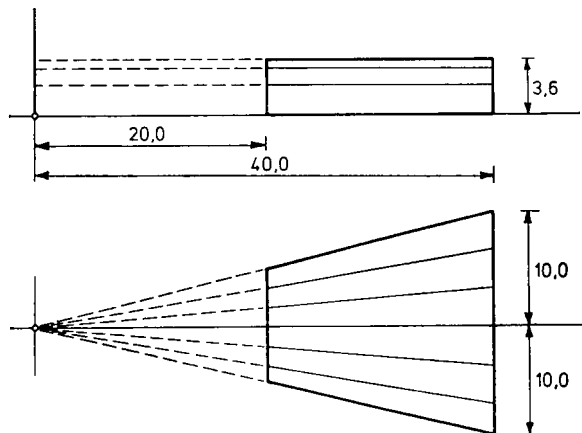
$$p_1 = 1,6 \text{ [kN/m}^2\text{]},$$

tehát az alaprajz területegységére vonatkoztatott fajlagos teherérték

$$\bar{p}_1 = 1,6 \sqrt{1 + (\partial z / \partial x)^2 + (\partial z / \partial y)^2} \text{ [kN/m}^2\text{]},$$

a hőteher pedig

$$\bar{p}_2 = 0,8 \text{ [kN/m}^2\text{]} .$$



4. ábra. Számpélda

Így a héjra ható totális teher (önsúly + hőteher) vetületi értéke

$$\begin{aligned} \bar{p} &= \bar{p}_1 + \bar{p}_2 = 1,6 \sqrt{1 + (\partial z/\partial x)^2 + (\partial z/\partial y)^2} + 0,8 = \\ &= \left[1,6 \sqrt{1 + 4 \frac{3,6^2 \cdot 40,0^2}{10,0^2} \left(\frac{y^4}{x^6} + \frac{y^2}{x^4} \right)} + 0,8 \right] [\text{kN/m}^2]. \end{aligned}$$

Feladatunk a héj vetületi feszítőerőinek meghatározása.

Számításaink során az imént felírt teherfüggvény helyett jó közelítéssel a következő teherfüggvénnyel dolgozunk:

$$\bar{p} = 1,6 \left(1 + 6600 \frac{y^2}{x^4} - 25\,000 \frac{y^4}{x^6} \right) + 0,8.$$

Az adott esetben tehát

$$\bar{p} = \left(2,4 + 10\,560 \frac{y^2}{x^4} - 40\,000 \frac{y^4}{x^6} \right) [\text{kN/m}^2], \quad (19)$$

vagyis

$$\begin{aligned} A_{0,0} &= 2,4 \text{ [kN/m}^2\text{]}, \\ A_{-4,2} &= 10\,560 \text{ [kN]}, \\ A_{-4,6} &= -40\,000 \text{ [kN]}. \end{aligned}$$

A (17) teherfüggvény első tagjának az 1. táblázat első sora szerint a

$${}^{\text{M}} A_{0,0} F_{0,0} = -2,4 \frac{10,0^2}{24 \cdot 3,6 \cdot 40,0^2} x^4 \text{ [kNm]} \quad (20)$$

feszültségfüggvény felel meg.

A (17) teherfüggvény második tagjához a 2. táblázat ötödik sora szerint a

$$A_{-4,2} F_{-4,2} = 10\,560 \frac{10,0^2 G(x, i, j)}{12 \cdot 3,6 \cdot 40,0^2} y^2 \text{ [kNm]} \quad (21)$$

feszültségfüggvény rendelhető, ahol a (17) képlet szerint

$$G(x, i, j) = \frac{(40,0^j - 20,0^j)(x^i - 20,0^i) - (40,0^i - 20,0^i)(x^j - 20,0^j)}{40,0^j \cdot 20,0^i - 40,0^i \cdot 20,0^j}$$

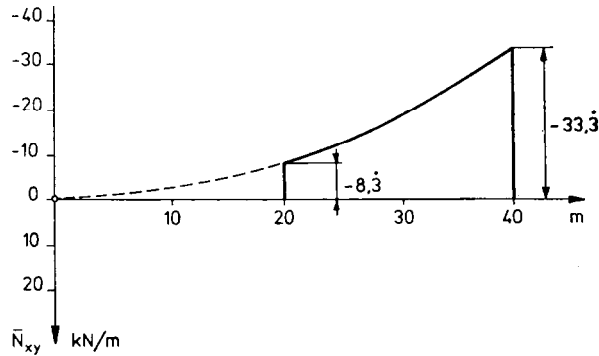
és a (12) képlet szerint

$$i = \frac{1}{2} (-9 + \sqrt{57}) = +0,7251,$$

$$j = \frac{1}{2} (-9 - \sqrt{57}) = -8,2749.$$

A (17) teherfüggvény harmadik tagjához a 2. táblázat tizennegyedik sora szerint az

$$A_{-6,4} F_{-6,4} = -40\,000 \frac{10,0^2 G(x, i, j)}{72 \cdot 3,6 \cdot 40,0^2} \cdot \frac{y^4}{x^2} \text{ [kNm]} \quad (22)$$



5. ábra. Az \bar{N}_y vetületi feszítőerők diagramfelülete [kN/m]

feszültségfüggvény tartozik, ahol a (17) képlet szerint

$$G(x, i, j) = \frac{(40,0^j - 20,0^j)(x^i - 20,0^i) - (40,0^i 20,0^i)(x^j - 20,0^j)}{40,0^j \cdot 20,0^i - 40,0^i \cdot 20,0^j}$$

és a (12) képlet szerint:

$$i = \frac{1}{2}(-21 + \sqrt{125}) = -4,9098,$$

$$j = \frac{1}{2}(-21 - \sqrt{125}) = -16,0902.$$

Végül is a keresett F függvény a (20), (21) és (22) alattiak összege. Az F feszültségfüggvény birtokában a héj vetületi feszítőerői az

$$\bar{N}_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}, \quad \bar{N}_{xy} = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \cdot \partial y}, \quad \bar{N}_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \quad (23)$$

képletek utasításai szerint számíthatók.

A három teherkomponens közül itt csak az elsőnek megfelelő vetületi feszítőerők képleteit közöljük:

$$\bar{N}_x = 0, \quad \bar{N}_{xy} = 0,$$

$$\bar{N}_y = -\frac{2,4 \cdot 10,0^2 \cdot 12}{24 \cdot 3,6 \cdot 40,0^2} x^2 = -0,02083x^2 \text{ [kN/m]}.$$

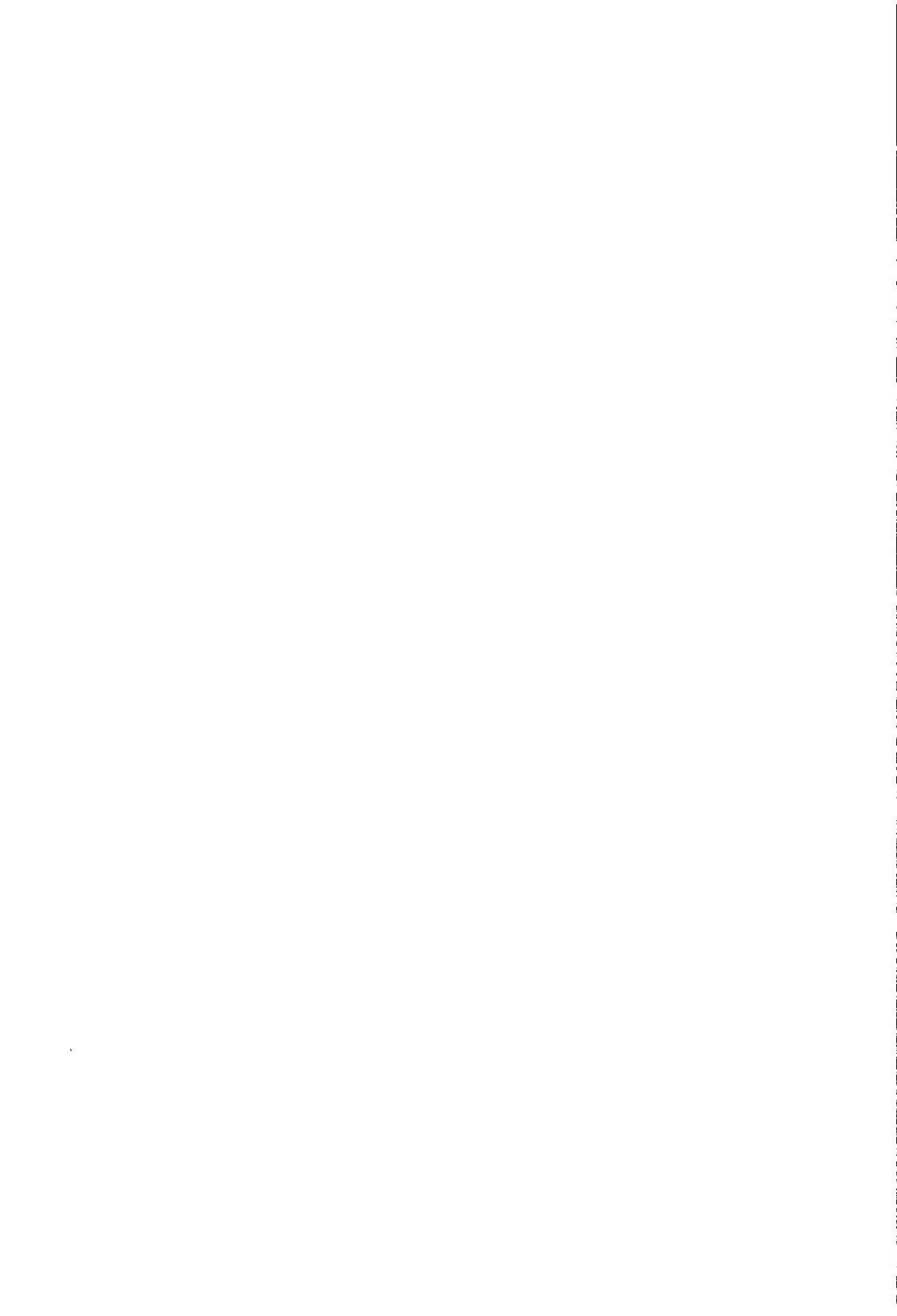
Mint látható, erre a terhelésre a héj egymás mellé helyezett egymástól független boltívek sorozataként működik. Ebben az esetben az \bar{N}_y vetületi feszítőerők megoszlását az 5. ábra szemlélteti.

IRODALOM

1. BÖLCSKEI Elemér: Csuklya alakú héj. *Műszaki Tudomány* (1976)
2. BÖLCSKEI, E.: Haubenschalen *Acta Techn. Hung.* 84 (1977)

Parabolic Conoid Shells with Vertical Director Line. Paper describes in the frame of the so-called membrane theory conoid shells similar to those named cowl-like shells by E. BÖLCSKEI. The director line of the treated shells is vertical, the director plane horizontal, the generatrices are vertical-planed parabolae of the second degree. It is assumed that these shells are supported along their curved edge lines by arches not withstanding lateral forces, whereas at the straight edge lines both shear forces and lateral normal forces can come into being. For simple loading cases occuring in the practice closed formulae of the stress function are compiled in tables. The use of these tables is explained by a practical example.

Parabolische Konoidschale mit vertikaler Leitlinie. Der Aufsatz beschäftigt sich im Rahmen der Membrantheorie mit Konoidschalen, deren Form denjenigen Schalen gewissermaßen ähnlich ist, die von E. BÖLCSKEI als Haubenschalen genannt wurden. Die Leitlinie der behandelten Schalen ist vertikal, die Leitebene horizontal, die Leitkurven sind in vertikalen Ebenen liegende Parabeln zweiten Grades. Es wird vorausgesetzt, daß die Randbögen gegen Seitenkräfte keinen Widerstand leisten können, während die geraden Randteile so abgestützt sind, daß außer tangentiellen Kräften auch seitwärts gerichtete Reaktionskräfte zustande kommen können. Für die in der Praxis vorkommenden einfachen Belastungsfälle werden Formeltafeln mit geschlossenen Formeln angegeben. Die Anwendung dieser Formeltafeln wird durch ein praktisches Zahlenbeispiel erklärt.



A KÉMIAI ÁRAMFORRÁSOK ÉS ALKALMAZÁSUK PERSPEKTÍVÁI*

HELYZETKÉP

RÉDEY LÁSZLÓ** és SORS LÁSZLÓ***

[Beérkezett 1976. július 16-án]

A kémiai áramforrás tématerület jelentősége világszerte fokozódik. A kutatások nagy szellemi és anyagi ráfordítással folynak. A kutatások részben a konvencionális (már nagy szériában gyártott) rendszerek továbbfejlesztését, részben pedig új rendszerek kifejlesztését célozzák. A kutatási eredmények fejlett ipari országokban gyorsan realizálódnak a termelésben. A kémiai áramforrásoknak a mindennapi életben (a termelésben és a szabadidő eltöltésben egyaránt) fontos szerepük van. A perspektivikus alkalmazási területek jelentőségét fokozza az utóbbi években kulcs-fontosságúvá vált környezetvédelem és energiagazdálkodás szempontja is. A szerzők ismertetik a kémiai áramforrások kutatásában kialakult tendenciákat a lehetőségek és az alkalmazási területek összefüggéseiben.

1. A kémiai áramforrások társadalmi és tudományos jelentősége

Kémiai áramforrások, más néven galvánelemek kémiai energiát közvetlenül villamos energiává alakító berendezések. Anódból, katódból és a köztük elhelyezkedő elektrolitból, továbbá mindezeket magában foglaló tartóedényből — s esetleg külön üzemanyagtároló tartályból és segédberendezésekből — állnak, a velük kiszolgált berendezéssel rendszertechnikai egységet alkotnak. Mivel a kémiai energiát közvetlenül villamos energiává alakítják, hatásfokukat nem korlátozza a Carnot-ciklus. A gyakorlatban $50 \div 80\%$ -os energiaátalakítási hatásfok elérhető velük.

A tématerület nem vizsgálható a gyártás kérdéseitől és az alkalmazási területeken érvényesülő tendenciáktól függetlenül.

A kémiai áramforrások a modern élet minden területén alkalmazást nyernek. Egyaránt nélkülözhetetlenek az egyszerű kézi világító berendezésekben, hordozható rádió-, TV-, magnetofon készülékekben, járművek indító-, világító- és biztonsági berendezéseiben, mérés technika és automatizálás területén, hírközlésben és a technikai tökéletesség igen magas fokán álló űrhajókban is.

* A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya megbízásából készített helyzetkép anyaga alapján összeállítva. A helyzetkép megvitatásra került a VI. Osztály Közvetlen Energiaátalakítási Bizottságának és a VII. Osztály Elektrokémiai Munkabizottságának együttes ülésén 1975. XII. 8-án.

** 1119 Budapest, Vahot S. u. 5.

*** Medicor Művek.

Jelentőségüket elsősorban nem is a termelési értékük összvolumene, hanem a velük kiszolgált berendezéseknek a mindennapi életben (termelésben és szabadidő eltöltésében egyaránt) elfoglalt helye jelzi. A kémiai áramforrások minőségében, utánpótlásában jelentkező hiányosságok gyorsan éreztetik hatásukat az élet legtöbb területén.

Tartós hiányuk esetében zavarok keletkeznek a közlekedésben és a hírközlésben. Ezért minden országnak érdeke a tématerület saját művelése a gyártás és kutatás terén egyaránt.

A kémiai áramforrások tudományterületét és előállító iparágát egyaránt a gyors dinamikus fejlődés jellemzi. Új galvánrendszerek kutatását, kifejlesztését a legutóbbi 10 ÷ 20 évben már hamar követi azok ipari előállítása. A gyors fejlődés legfőbb oka az, hogy a modern technika egyre újabb területeken igényel olyan megoldásokat, amelyek csak kémiai áramforrásokkal realizálhatók.

A kémiai áramforrásoknak igen fontos szerepük lesz a környezetvédelemben a városi közlekedés fokozatos villamosítása révén, továbbá széles körű elterjeszhetőségük az energiagazdálkodás kérdéseivel is szoros kölcsönhatásban áll.

Ma már minden ipari ország foglalkozik a kémiai áramforrások kérdéseivel. A kutatásuk és a gyártásuk kérdései legtöbb országban kiemelt országos jelentőségű tervekben, koncepciókban kapnak helyet.

Az USA-ban például most törvényerőre emelkedő igen nagyszabású, mintegy 20 milliárd dolláros, 15 éves energiagazdálkodási kutatási programban jelentős részt képvisel a kémiai áramforrások kutatása. Ebben nemcsak az áramforrások fejlesztése szerepel, hanem nagyszabású alkalmazástechnikai programok is, pl. az „Electric Vehicle Research Development and Demonstration Act” keretében.

2. A kémiai áramforrások kutatásában és gyártásában érvényesülő tendenciák

A kémiai áramforrások kifejlesztésének egyik fő törekvése — a megbízhatóság és a megkívánt változatos működési paraméterek biztosításán túlmenően — a minél nagyobb fajlagos energiatartalom és fajlagos teljesítmény elérése. E mutatókat főleg a felhasznált aktív anyagok (az elembe beépített reakciópartnerek) minősége, az elektrolit, a szerkezeti kiképzés és a működési mód határozza meg.

A már régóta használt aktív anyagok (ólom, ólomoxid, cink, mangándioxid, nikkell, kadmium stb.) mellé egyre újabbak kerülnek. E tekintetben kétféle lehetőség kiaknázásán dolgoznak.

Egyik út az egyre aktívabb reakciópartnerek keresése és alkalmazása. A felhasznált anyagok reakciókészségét a standard elektródpotenciál értékükkel

I. táblázat

Kémiai áramforrásokban alkalmazott fontosabb aktív anyagok
elektródpotenciáljai

Elektród jelölése	(V)	Egyenértéksúly (g)
2 F ⁻ /F ₂	2,80 (pH = 0)	19,00
PbSO ₄ /PbO ₂	1,68 (pH = 0)	119,65
2 Cl ⁻ /Cl ₂	1,36 (pH = 0)	35,46
H ₂ O/O ₂ + H ⁺	1,228 (pH = 0)	8,00
2 Br ⁻ /Br ₂	1,07 (pH = 0)	79,92
Mn ₂ O ₃ /MnO ₂	0,60 (pH = 7)	86,94
Ag/Ag ₂ O ₃	0,600 (pH = 14)	43,96
Ag/AgO	0,458 (pH = 14)	61,94
OH ⁻ /O ₂ + H ₂ O	0,400 (pH = 14)	8,00
NiO/Ni ₂ O ₃	0,205 (pH = 14)	82,71
Mn ₂ O ₃ /MnO ₂	0,17 (pH = 14)	86,94
H ₂ /2 H ⁺	0,000 (pH = 0)	1,01
Hg/HgO	-0,098 (pH = 14)	108,30
Pb/PbSO ₄	-0,35 (pH = 0)	103,60
Zn/Zn ²⁺	-0,763 (pH = 0)	32,69
Cd/Cd(OH) ₂	-0,804 (pH = 14)	56,20
H ₂ + OH ⁻ /H ₂ O	-0,827 (pH = 14)	1,01
Fe/FeO	-0,874 (pH = 14)	27,92
Zn/[Zn(OH) ₄] ²⁻	-1,266 (pH = 14)	32,69
Al/Al ³⁺	-1,663 (pH = 0)	9,00
Mg/Mg ²⁺	-2,363 (pH = 7)	12,16
Al/[Al(OH) ₄] ⁻	-2,365 (pH = 14)	9,00
Na/Na ⁺	-2,714 (pH = 14)	22,99
Li/Li ⁺	-3,045 (pH = 14)	6,94

Megjegyzés: Kémiai áramforrások készítése szempontjából fontosabb elektródok termodinamikai adatokból számított standard potenciál értékei vizes közegben. Feltüntetjük az áramtermelő folyamatban résztvevő anyag egyenértéksúlyát. (Néhány esetben, pl. az ezüstoxid és nikkeloxid esetében a kiindulási anyag pontos sztöchiometriai összetétele nem adható meg, ekkor a feltételezhető stabil vegyület képletével számoltunk.) Az elektródpotenciál értéke a zárójelben feltüntetett pH-jú oldalra vonatkozik.

jellemezhetjük (I. táblázat). A táblázatban csak az elemkészítés szempontjából legfontosabb anyagokat tüntettük fel. Bármely anyagpárból készített elem elméleti elektromotoros erejét a két elektródpotenciál érték különbsége adja meg. Megfigyelhető, hogy a táblázatba belekerültek drága (ezüstoxid), gyúlékony (nátrium), mérgező (klór) és egyéb más szempontból is különleges kezelést igénylő anyagok is. Az ilyen anyagokkal felépített áramforrásokból várható előnyök azonban, — párosulva a modern szerkezeti megoldásokkal — túlszárnyalják az anyagárból vagy a drágább előállítási technológiából származó hátrányokat.

A másik irányvonal — a viszonylag nagyobb mennyiségű villamos energia termelése számára — az olcsó, nagyiparilag előállítható üzemanyagok (szénhidrogének, hidrogén, ammónia stb.) felhasználása tüzelőanyag-elemekben. Az aktív anyagok e csoportjára jellemző, hogy nem vezetnek a villamos áramot és ezért indifferens (az elektródfolyamatban kémiailag részt nem vevő) elektródokkal kell kialakítani az elemet.

A reakciópartnerek közti ionos kapcsolatot, amely az elem működése szempontjából elengedhetetlen, az elektrolit biztosítja. Az elektrolit a legtöbb elemtípusban közvetlenül részt vesz az elektrokémiai folyamatban, mint pl. a kénsavas ólomakkumulátorban vagy a Leclanché-elemben. Ez azonban nem minden kémiai áramforrás esetében van így. Pl. a fém-kén típusú elemekben az elektrolit csak a fémion transzportját biztosítja. Az elektrolitnak ez a két-féle működési módja alapvetően befolyásolja az elembe beépítendő elektrolit optimális mennyiségét és ezzel az elem fajlagos energiatároló-képességét is.

A régebben kizárólagosan használt vizes elektrolitek mellett az újabb elemtípusokban más elektrolitek: szerves oldószeres sóoldatok, sóolvadékok, szilárd ionvezető anyagok alkalmazása is szükségessé vált. Ennek oka az, hogy egyes elektródanyagok (pl. lítium, nátrium) vízzel közvetlenül is — hasznos áramtermelő folyamat nélkül — reakcióba lépnek. Vizes elektrolittal elvileg csak a vízbontás 1,2 V-nyi feszültségénél kisebb feszültségű elemek készíthetők. A gyakorlatban azonban a vízbontás során keletkező hidrogén gáz és oxigén gáz kiválásának egyes anyagokon mutatkozó gátolt volta miatt 2 V körüli cellafeszültség is elérhető (mint pl. az ólom akkumulátor esetében is). A legújabb típusú elemekkel már megvalósított 2 V-nál nagyobb cellafeszültség azonban csak a víz tökéletes kizárásával biztosítható.

Az elem súlyra vonatkoztatott fajlagos értékének meghatározásában fontos a reakciópartnerek egyenértéksúlya is. A legfontosabb anyagok egyenértéksúlyát az 1. táblázatban foglaltuk össze.

Az egyenértéksúly és az elektródpotenciál ismeretében bármely elektród-anyagpárra kiszámítható a két reakciópartner együttes súlyára vonatkozó elméleti fajlagos energiatartalom, fajlagos tárolóképesség (Wh/kg). A 2. táblázat számos, már megvalósított és kísérleti stádiumban levő elem elméleti fajlagos adatát mutatja.

Az elméleti fajlagos érték a gyakorlatban nem érhető el.

Az eddigi elemkonstrukciók az elméleti értéknek csak egy részét teljesítik. Ennek számos oka van, a legfontosabbakat az alábbiakban említjük meg.

a) Az elembe beépített aktív anyag teljes mennyisége nem alakulhat át az elektród geometriája miatt. Másrészt az aktív anyag egy része haszontalan, áramot nem termelő folyamatban is részt vehet (önkisülés).

b) Az aktív anyagot rendszerint jól vezető elektród vázra kell felvinni az elektronok jó el-, ill. odavezetésének, vagyis a kis belső ellenállás biztosítása céljából.

c) Az elektrolit szükségessége is az elméletinél jelentékenyen kisebbre csökkenti a megvalósítható fajlagos energiatartalmat.

d) Az elem egyéb szerkezeti részei: elemház, szeparátor, diafragma, kivezetők, hűtő- vagy fűtőberendezés, szabályozó berendezések stb. szintén jelentékeny súlyt képviselhetnek, attól függően, hogy az elem típusa melyeknek beépítését teszi szükségessé.

2. táblázat

A legfontosabb galvánrendszerekre vonatkozó elméleti adatok

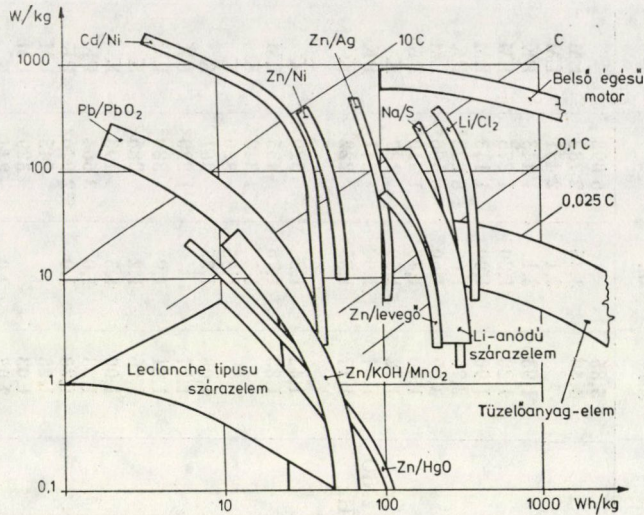
A galvánrendszer jelölése	Reakcióegyenlet	Volt		Wh/kg	Megvalósítás foka
		elm.	átl.		
Li /nem vizes/ F ₂	2 Li + F ₂ = 2 LiF	5,85		6 098	
Li /olvadék 600 °C/ Cl ₂	2 Li + Cl ₂ = 2 LiCl	4,40	3,45	2 782	LM
Li /olvadék 450 °C/ S	2 Li + S = Li ₂ S		2,1	2 451	LM
Na (szilárd ionvezető 360 °C) S	2 Na + S = Na ₂ S	1,93	2,1	1 443	PK
Al /olvadék 200 °C/ S	2 Al + 3 S = Al ₂ S ₃	1,20	1,20	1 275	LM
Al /olvadék 200 °C/ Cl ₂	2 Al + 3 Cl ₂ = 2AlCl ₃	1,90	1,90	1 143	LM
Al /KOH/ O ₂ (levegő)	2Al + 1,5O ₂ + 2KOH + 3H ₂ O = 2K[Al(OH) ₄]	2,76	1,60	8 222*	PK
Mg (klorid oldat) O ₂ (levegő)	Mg + 0,5O ₂ + H ₂ O = Mg(OH) ₂	3,09	1,60	6 600*	LM
Zn/KOH/ O ₂ (levegő)	Zn + 0,5O ₂ + 2KOH + H ₂ O = K ₂ [Zn(OH) ₄]	1,66	1,40	1 340*	PK
Zn/KOH/ AgO	Zn + AgO + 2KOH + H ₂ O = K ₂ [Zn(OH) ₄] + Ag	1,72	1,50	487	K
Zn/KOH/ Ni ₂ O ₃	Zn + Ni ₂ O ₃ + 2KOH + H ₂ O = K ₂ [Zn(OH) ₄] + 2NiO	1,47	1,90	341	PK
Zn/KOH/ HgO	Zn + HgO + 2KOH + H ₂ O = K ₂ [Zn(OH) ₄] + Hg	1,17	1,35	222	K
Zn/KOH/ MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ + 2KOH + H ₂ O = K ₂ [Zn(OH) ₄] + Mn ₂ O ₃	1,43	1,5	320	K
Zn/ZnBr ₂ old/Br ₂	Zn + Br ₂ = ZnBr ₂	1,83	1,76	435	LM
Zn/NH ₄ Cl/ O ₂ (levegő)			1,5	1 340*	K
Zn/NH ₄ Cl/ MnO ₂			1,55	320	K
Fe/KOH/ Ni ₂ O ₃	Fe + Ni ₂ O ₃ + H ₂ O = Fe(OH) ₂ + 2 NiO	1,08	1,35	261	K
Fe/KOH/ O ₂ (levegő)	Fe + 0,5 O ₂ + H ₂ O = Fe(OH) ₂	1,27		1 220*	PK
Cd/KOH/ O ₂ (levegő)	Cd + 0,5 O ₂ + H ₂ O = Cd(OH) ₂	1,21	1,0	580*	LM
Cd/KOH/ AgO	Cd + AgO + H ₂ O = Cd(OH) ₂ + Ag	1,26	1,2	286	K
Cd/KOH/ Ni ₂ O ₃	Cd + Ni ₂ O ₃ + H ₂ O = Cd(OH) ₂ + 2 NiO	1,00	1,3	193	K
H ₂ /KOH/ O ₂	2 H ₂ + O ₂ = 2 H ₂ O	1,23	1,0	3 664	PK
H ₂ /KOH/ O ₂ (levegő)	2 H ₂ + O ₂ = 2 H ₂ O	1,23	1,0	32 970*	PK
H ₂ /KOH/ AgO	H ₂ + AgO = Ag + H ₂ O	1,28		545	LM
H ₂ /KOH/ Ni ₂ O ₃	H ₂ + Ni ₂ O ₃ = 2 NiO + H ₂ O	1,03		329	LM
Pb/H ₂ SO ₄ / PbO ₂	Pb + PbO ₂ + 2 H ₂ SO ₄ = 2 PbSO ₄ + 2 H ₂ O	2,03	2,0	244	K

Magyarázat: LM — laboratóriumi modell; PK — prototípus, alkalmazási kipróbálás; K — kereskedelemben kapható. A *-gal jelölt adatok az anódreagensre vonatkoznak, az elem ugyanis a környező atmoszféra oxigénjét fogyasztja. A reakcióegyenlet az elem elektrokémiai folyamatát egyszerűsítve mutatja. A magas hőmérsékletű elemek esetében azok jellemző működési hőmérsékletét is feltüntettük.

elm. — a standard körülményekre vonatkozó elektromotoros erő értéke.

átl. — a megvalósított berendezések cellafeszültségének átlagos értéke.

Wh/kg — elméleti fajlagos energiátároló képesség *elm.* értékével számítva.



1. ábra

e) Az elem működtetésekor polarizációs és ohmos veszteségek miatt az elraktározott (beépített) kémiai energia egy része haszontalanul hővé alakul. Ez a veszteség annál nagyobb, minél nagyobb teljesítménnyel működtetjük az áramforrást, vagyis nagyobb teljesítményre igénybevett elem fajlagos energiátároló képessége kisebb. A mindenkori működési veszteség nagyságát a feszültség határfok: a működéskor mért cellafeszültség és a nyitott sarkok közt mérhető feszültség hányadosa mutatja.

Az a—e) pontokkal jellemzett tényezők miatt a legjobb kialakítású elemek összes súlya mintegy 3 ÷ 5-szöröse az áramtermelő folyamatban ténylegesen résztvevő anyagokénak.

Az elméleti és a ténylegesen mért Wh/kg fajlagos érték összevetése alapján megítélhető valamely elemkonstrukció fejlettségi foka, gyártástechnológiájának kifinomultsága. A jelenlegi kereskedelmi típusok a kisütési viszonyoktól függően az elméleti értéknek mintegy 1/4—1/6-át teljesítik. E téren bizonyos javításra még nyílik lehetőség, az azonban nem valószínű, hogy 1/3 ÷ 1/2-nél kedvezőbb hányadot el lehet érni.

Az 1. ábra néhány elemtípus gyakorlatban is elért fajlagos adatait mutatja be. A diagramon látható sávok a fajlagos teljesítmény, ill. a kisütési idő szerint jelzik az egyes rendszerek fajlagos tárolóképességét.

Nem elhanyagolható szempont a kémiai áramforrások árkérdése sem. Általában az aktív anyagok képezik az anyagár legnagyobb hányadát. [Ez alól a tüzelőanyag-elem kivétel, mert ennek a reakcióban résztvevő anyagai (üzemanyagai) olcsók, viszont a szerkezeti részei, különösen az elektródjai drágák.]

Az aktív anyagok minél jobb kihasználásával az elemben termelt villamos energia mennyiségére vonatkoztatott ár kedvezőbbé tehető. A jelenlegi legjobb elemkonstrukciók az aktív anyagoknak átlagosan $40 \div 70$ százalékát hasznosítják az áramtermelő folyamatban. A szekunder áramforrások esetén a töltési-kisütési ciklusszámmal jellemezhető élettartam is döntően fontos a gazdaságosság tekintetében.

A kémiai áramforrások *rendszerzése* többféle szempont szerint lehetséges.

a) A *kémiai felépítésük* szerint igen sokféle galvánrendszer létezik, és a jövőben újabbak kifejlesztése is bizonyos.

b) *Üzem mód* szerint *energiatároló-* és *tüzelőanyag-elemekre* tagolhatók. Az energiatároló-elemek energiahordozói az elem elektródjain helyezkednek el azzal szerves kapcsolatban. A tüzelőanyag-elemek üzemanyagai (amelyek lehetnek a köznapri értelemben vett gáznemű vagy folyékony tüzelőanyagok is) ezzel szemben külső tárolóból kerülnek az áramfogyasztás mértékének megfelelő ütemben az egyébként indifferens és csak az elektronátadást biztosító elektródokra. Mindkét változat lehet vagy primer (csak áramtermelő) üzemű, vagy szekunder, azaz megfordítható, vagyis tölthető-kisüthető (akkumulátor) üzemű.

c) A tömegszerűen gyártott kémiai áramforrás méretét nemzetközileg elfogadott szabvány írja elő. Így különféle mérettípusokba sorolás lehetséges.

d) A fejlődésben uralkodó tendenciák jobb bemutathatósága érdekében e közlemény a különféle kémiai áramforrás-rendszerek *kifejlesztettségi szintjei szerinti csoportosítást* követi.

Konvencionális elemek. Ezekre jellemző, hogy már régóta változatos típusokban nagy darabszámban gyártják őket, széleskörűen használatosak. Kutatási eredmények alapján lehetőségessé vált az eddiginél jobb fajlagos mutatókat és praktikus előnyöket felmutató új típusok nagy sorozatú gyártásának beindítása. További fejlesztésük még lehetségesnek látszik.

A közeljövő elemeit mértékadó vélemények szerint tíz éven belül kisebb-nagyobb szériában fogják gyártani. Ezekre az elemekre jellemző az, hogy konvencionális elemekben már jól bevált elektródok újfajta párosításával vagy a kísérleti gyártásban már kipróbált újfajta elektródokkal kialakított galvánrendszerek. Eddigi kísérletek a technikai realitásukat már bizonyítják.

A már gyártott, ill. a közeljövőben gyártásra kerülő elemeknél lényegesen jobb tulajdonságokat ígérő *perspektivikus galvánrendszerek* laboratóriumi kifejlesztés stádiumában vannak. Egyes típusok nagy sorozatú gyártása 1985 után már valószínű.

3. A különféle kémiai áramforrások fejlettségi szintjei

A ma legfontosabbnak ítélt galvánrendszerek kerülhetnek csak bemutatásra. Ezen cikk terjedelme nem teszi lehetővé az egyes típusok kémiai felépítésének és technikai kivitelének részletes ismertetését sem. Célunk inkább

3. táblázat

A jelenleg gyártott fontosabb kémiai áramforrások adatai

Galvánrendszer	Elm. fajlagos tárolóképeség* [Wh/kg]	Főbb jellemzők határértékei			
		[Wh/kg]	[W/kg]	Ciklusszám	Ár [\$/kWh]**
Leclanché (szárazelem)	320	35 ÷ 75 ¹	30 ÷ 100		40 ÷
Zn/KOH/MnO ₂	320	75 ÷ 85 ¹	50 ÷ 250		40 ÷ 410
Zn/KOH/HgO	240	80 ÷ 105 ¹	50 ÷ 100		160 ÷ 5 400
Zn/KOH/levegő	1340**	170 ÷ 330 ²	10 ÷ 75		20 ÷ 40
Mg/Mg(ClO ₄) ₂ /MgBr ₂ /MnO ₂	541	120 ÷ 130 ³	50 ÷ 150		80 ÷ 200
Pb/H ₂ SO ₄ /PbO ₂	240	10 ÷ 48 ⁴	30 ÷ 210	100 ÷ 1500	12 ÷ 540
Cd/KOH/Ni ₂ O ₃	209	16 ÷ 42 ⁵	100 ÷ 500	250 ÷ 3000	500 ÷ 5 200
Zn/KOH/AgO	434	70 ÷ 150 ⁶	50 ÷ 300	20 ÷ 100	650 ÷ 11 000
Cd/KOH/AgO	267	40 ÷ 85	30 ÷ 200	300 ÷ 500	800 ÷ 15 000
Fe/KOH/Ni ₂ O ₃	267	25 ÷ 35	100 ÷ 150	500 ÷ 2000	100 ÷ 2 500

* A nyitott sarkok között mérhető tényleges cellafeszültséggel számítva.

** Anódreagensre vonatkoztatva.

*** 1973-as adatok

¹ 32 órás

² 25 órás

³ 20 órás

⁴ 8–10 órás

⁵ 5 órás

⁶ 1 órás kisütés.

a fejlesztésük és alkalmazásuk terén uralkodó tendenciák bemutatása. A jó összehasonlíthatóság kedvéért a főbb galvánrendszerek legfontosabb adatait a 3. és 4. táblázatban foglaltuk össze.

3.1. Konvencionális elemek

Cink-anódú primer elemek, ún. szárazelemek. Számos nemzetközileg szabványosított méretű elem kerül forgalomba. (Pl. R6, R14, R20, 2R10, 3R12 stb.) A régóta gyártott *Leclanche-típusú* (Zn(NH₄Cl)MnO₂ képletsorral jelölt kémiai felépítésű) elemek mellett egyre nagyobb szerepet kapnak a *lúgos-mangándioxidos* (Zn/KOH/MnO₂) rendszerek.

Zn-anódúak még a Zn/KOH/MgO és a Zn/KOH/AgO rendszerhez tartozó miniatűr gomb alakú primer elemek is. A cink-higanyoxid elemek jól raktározható képességükkel, a cink-ezüstoxid elemek pedig nagy fajlagos energiatartalmukkal tűnnek ki.

Cink-levegő légdepolarizációs elem, más néven „légzőelem”. Cink-anóddal, semleges vagy lúgos elektrolittal és nagy tömbformájú pórusos széntestkatóddal működnek. Előnyük a hosszú élettartam és nagy tárolóképeség. Kis terhelés mellett évekig megbízhatóan működnek.

A lítium-anódú szerves oldószeres elektrolitú szárazelemek (primer elemek) az elmúlt években már piacra kerültek. Ezek fajlagos tárolóképesége

4. táblázat
 Akkumulátorok villamos járműhajtás céljára

Galvánrendszer	Elméleti fajlagos energiatárolóképesség* [Wh/kg]	Jelenlegi legjobb jellemzők (1974)					Várható jellemzők					
		[Wh/kg]	[W/kg] csúcs	Ciklusszám	Élettartam [év]	Ár [\$/kWh]	[Wh/kg]	[W/kg] csúcs	Ciklusszám	Élettartam [év]	Ár [\$/kWh]	Évben
Pb/H ₂ SO ₄ /PbO ₂ **	240	22	100	300	1,5	30	28	100	500	3	40	1976
		30	200	1000	2	50	44	200	1000	3	50	1978
Zn/KOH/Ni ₂ O ₃	326	55	100	200	1	100	66	100	500	3	30	1978
		200	200	200	1	100	88	200	750	3	50	1980
Zn/ZnCl ₂ /Cl ₂ · 6H ₂ O***	465	70	50	>10	?	?	110	100	>500	3	>50	>1980
Fe/KOH/Ni ₂ O ₃	267	36	35	>2000	>3	>50	44	100	500	5	>50	>1978
		200	200	200	>3	>50	44	200	500	5	>50	>1978
H ₂ /KOH/Ni ₂ O ₃ ***	381	65	40	>1000	>1	?	80	<100	3000	>3	>100	>1980
Li/LiCl · KCl/S***	2500	150	150	100	<0,2	?	330	200	>1000	>3	20 50	
Li ₂ Al/LiCl · KCl/FeS ₂ ***	790	120	120	200	<0,5	?	200	200	>1000	>3	20 50	>1980
		120	120	200	<0,5	?	200	200	>1000	>3	20 50	>1980
Na $\left \begin{array}{l} \beta\text{-Al-oxid} \\ \text{vagy} \\ \text{Na-üveg} \end{array} \right $ ***	760	90	150	1500	>1	?	180	200	>1000	>3	20 50	

* A nyitott sarkok között mérhető tényleges cellafeszültséggel számítva.

** Az adatok 1–3 órás mélykisütésre (70–80%-os) vonatkoznak.

*** Kísérleti elemek.

a Leclanche típusának 4 ÷ 5-szöröse. Hideg működési tulajdonságaik is lényegesen jobbak. Katódjuk fémhalogenid vagy CFX típusú grafit vegyület.

Ólom akkumulátorok ($\text{Pb}/\text{H}_2\text{SO}_4/\text{PbO}_2$) döntő szerepet játszanak a jelenben mint önálló energiaforrások és a jövőben is fontos szerepük lesz. Ez a rendszer olcsó, megbízható, széles hőmérsékleti határok között működik, jól terhelhető nagy áramokkal is. A jelenlegi típusok hátránya a nagy karbantartási igény. Fajlagos adatai a jövő perspektivikus felhasználási területeire (l. d) és f) fejezetek), nem kielégítőek.

Számos változatokat gyártják nagy szériában. A jelenlegi kereskedelmi ólom akkumulátor típusok továbbfejlesztése még lehetséges. Remélhető az 50 ÷ 60 Wh/kg fajlagos energiatartalmú, kezelést nem igénylő 5 ÷ 20 éves élettartamú ólom akkumulátorok piacrahozatala. A gyártott méretek is egyre nagyobb divergenciát mutatnak: 5 Wh (R20 típus) mérettől több száz kWh kapacitású egységéig.

A kadmium—nikkel akkumulátorok ($\text{Cd}/\text{KOH}/\text{NiOOH}$) a szekunder elemek gyártásában a második helyet foglalják el kedvező üzemi tulajdonságaik következtében. A rendkívüli üzembiztonság, hosszú élettartam, csekély karbantartási igény, nagy mechanikai szilárdság, hideg üzemben is megbízható működés, túltöltés elleni érzéktelenség, olyan felhasználási területeket biztosított ezen rendszernek, ahol az ólom akkumulátorok nem alkalmazhatók. A kisebb cellafeszültség, viszonylag magasabb ár és a rosszabb hatásfok hátrányait a felsorolt előnyök kiegyenlítik.

Ezen típusnál is jelentős továbbfejlesztés történt. A legjobb szinterelt lemezes vagy fóliás konstrukciók nagyságrenddel kisebb belső ellenállást és még jobb élettartamot biztosítanak. Fajlagos energiatartalma azonban nem éri el az ólom akkumulátorét, járműhajtás szempontjából sem jelent megoldást.

Lényegesen kisebb jelentőségűek a **vas—nikkeloxid, Nife akkumulátorok** ($\text{Fe}/\text{KOH}/\text{NiOOH}$). A $\text{Cd}/\text{KOH}/\text{NiOOH}$ rendszerrel összehasonlítva kedvezőbb az ára, ezzel szemben rosszabb a hatásfoka és a terhelhetősége, nagyobb az önkisülése.

A cink—ezüst akkumulátorok ($\text{Zn}/\text{KOH}/\text{AgO}$) olyan speciális felhasználási területeken kerülnek alkalmazásra, ahol a nagy fajlagos energiatartalom, stabil feszültség, minimális önkisülés és a 90% feletti hatásfok előnyeire feltétlen szükség van és a magasabb ár, ill. rövidebb élettartam másodlagos szerepet játszik.

A kadmium—ezüst akkumulátoroknak ($\text{Cd}/\text{KOH}/\text{AgO}$) a $\text{Zn}/\text{KOH}/\text{AgO}$ akkumulátorokkal szemben magasabb ára és alacsonyabb cellafeszültsége miatt még kisebb a gyakorlati jelentősége. Kis áramterheléseknél azonban magasabb ciklus-élettartamot biztosít.

A jelenleg gyártott fontosabb kémiai áramforrások főbb jellemzőit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3.2. A közeljövő elemei

Az utóbbi években egyre határozottabban érvényesül az a tendencia, hogy a már gyártott elemekben jól bevált elektródok új kombinációjával még kedvezőbb tulajdonságú galvánrendszereket hozzanak létre. A fejlesztésnek ez az útja igényli viszonylag a legkevesebb költségráfordítást.

Cink—nikkeloxid akkumulátor (Zn/KOH/NiOOH). Ez a rendszer a cink—ezüstoxid és kadmium—nikkeloxid akkumulátorok egyesítéséből származtatható le. Ezeknél azonban jóval olcsóbb, fajlagos ára az ólom akkumulátoroké körül lesz. A nikkelkészletek valószínűleg elégségesek igen nagy sorozatú gyártáshoz is. A típus fajlagos terhelhetősége közel megegyezik az ólom akkumulátoréval, fajlagos kapacitása azonban kétszeres. Legtöbb probléma a cinkelektrodon töltés közben jelentkező dendritképződés megszüntetése.

A hidrogén—fémoxid típusú akkumulátor család legintenzívebben vizsgált tagjai a $H_2/KOH/NiOOH$ és a $H_2/KOH/AgO$ rendszerek. Ár tekintetében is, különösen az első, kecsgetető típus. A negatív elektród váza az újabban felfedezett, különleges Raney-típusú fémötvözetek valamelyikéből készül. Ezek kristályrácsa már néhány atmoszféra nyomáson cseppfolyós hidrogén sűrűségével közel azonos mennyiségben köt meg hidrogént intersticiálisan. A ciklusszámuk előreláthatólag néhány ezer lesz.

Fém—levegő elemek (fél-tüzelőanyag-elemek). A negatív elektród *cink* vagy *vas*, a pozitív elektród pedig a tüzelőanyag-elemekben is használatos *levegő* katód. Primer és szekunder üzemmódú változatok kifejlesztésén egyaránt dolgoznak. A szekunder üzemmód fő problémája egyrészt a negatív elektródon a dendritképződés, másrészt a pozitív elektród szerkezetének gyors károsodása a töltés folyamata alatt. Primer üzemmódban *alumínium* negatív elektród is alkalmazható.

Ezekre az elemekre jellemző a nagy fajlagos energiatartalom (Zn—levegő elemek esetén $110 \div 330$ Wh/kg), terhelhetőségük azonban a *levegő* katód miatt csak közepes. Különbféle felépítésű, közepes teljesítményű ($10 \div 100$ W) típusokat már kis szériában gyártanak.

A tüzelőanyag-elemek üzemmódjukból kifolyólag külön elemcsaládot képeznek. Az 1960-as évek közepén és végén uralkodó, jövőjüket illető nagy optimizmus csökkent. Azóta sem sikerült több alapvető problémát megoldani. A berendezés hatásfoka ugyan nagyon jó és egyes típusok élettartama is kielégítő, de fajlagos teljesítményüket a közepes érték ($20 \div 30$ W/kg) fölé nem lehet növelni. Az üzemanyag kérdés sem megoldott. A hidrogén és ammónia alkalmazása nehézkes (bár e kérdésben megváltozhat a vélemény az ún. hidrogén-gazdálkodás kibontakozásakor). Olcsó hidrazin előállítás eljárást nem sikerült kidolgozni. Metanol és szénhidrogének hidrogénre-konvertálás után vagy enélkül csak magas hőmérsékletű elemekben alkalmas üzemanyagok. Enélkül csak kis fajlagos teljesítményű, drága elektród-katalizátorokat igénylő

elemekben alkalmazhatók. A tüzelőanyag-elemek drágák, mert olcsó és hosszú élettartamú elektród-katalizátorokat még nem sikerült találni.

Mindezek ellenére egyes típusok technikai kifejlesztése már igen magas szintet ért el. A tökéletesen kidolgozott H_2-O_2 elem, a gázok kriogenikus tárolása esetén, minden más energiaátalakítónál nagyobb fajlagos energiatartalmú. Tüzelőanyag-elem kutatás terén a legintenzívebb fejlesztő munkát egy, több USA-beli cégből álló csoport végzi (TARGET-program), azzal a céllal, hogy a közeljövőben már eladható földgázzal (vagy más olcsó szénhidrogénnel) működő 27 MW-os áram- és melegvízszolgáltató rendszert fejlesszen ki kisebb települések vagy lakótömbök számára. E munkában japán cégek is részt vesznek.

3.3. Perspektivikus galvánelem rendszerek

A jelenlegi laboratóriumi kísérletek tekintélyes hányada nagy fajlagos energiatartalmú és nagy fajlagos teljesítményű, új típusú galvánelem rendszerek létrehozására irányul. Ezek az elemek általában nagyon aktív elektródanyagokkal működnek. A víz és az oxigén kizárása ezért elsőrendű követelmény. Ez a felhasználás szempontjából előnyös, tökéletesen zárt rendszert követel meg. Működési hőmérsékletük általában $200 \div 500$ °C közötti. A magas hőmérséklet előnyös az elektródok nagyobb terhelhetősége szempontjából. Felfűtésről csak induláskor kell gondoskodni, a megfelelő hőmérsékleten tartást a működési veszteségek révén felszabaduló hő biztosítja — megfelelő hőszigetelést és kellő fajlagos teljesítményt feltételezve.

Technikai kifejlesztésük fő nehézségei közé tartozik a megfelelő olcsó szerkezeti anyagok kidolgozása tömítések, szeparátorok, áramelvezetők számára.

Eddig vizsgált főbb rendszerek:

Legjobban kifejlesztett a *nátrium—kén akkumulátor*. Elektrolitje Na- β -aluminát vagy üveg membrán. Névleges működési hőmérséklete 300 °C. A katódreagens kén és nátrium-poliszulfid elegyének olvadéka, amelybe grafit kerül az áram elvezetése céljából. Az elektródrendszer acél edényben van elhelyezve. Az eddig elért fajlagos energia $200 \div 400$ Wh/kg.

Lítium—kén akkumulátor. Kiképzése lehet hasonlatos a Na—S' eleméhez, de egy újabb változatban alkálilklorid eutektikum olvadék elektrolitot alkalmaznak. A folyékony lítium acél filcbe, a kén—lítiumsulfid olvadék pedig pórusos széntestbe van felszívva. Névleges működési hőmérséklete 400 °C. Az elért fajlagos energiatartalma kb. azonos a Na—S-elemével.

A lítium akkumulátornak legújabb változata a *Li—FeS₂* rendszer. Egyszerűbb kiképzést és jobb fajlagos adatokat ígér.

Lítium—klór akkumulátor. Az anód kiképzése hasonló a fenti típuséhoz. Alkálilklorid olvadék elektrolitot alkalmaznak. Az akkumulátor töltésekor

a pozitív elektródon klórgáz fejlődik, amit a megfelelő pórusos, nagy szorpciós képességű szénelektrod megköt. A kísérletek azt bizonyítják, hogy néhány atmoszféra túlnyomású elemben elegendő klórgáz tárolható a pozitív elektródon.

Egy legújabb kísérletsorozat *Al—S akkumulátor* kifejlesztésének lehetőségére hívja fel a figyelmet. Az elemben diafragma helyett sóolvadék elektrolit használható. Működési hőmérséklete $120 \div 350$ °C. A veszélytelen működésen túlmenően ez az elemtípus számos technikai előnnyel rendelkezik más fém-kén elemhez viszonyítva.

Ezek az akkumulátorok egyelőre még a fejlesztés stádiumában vannak. Egyes fejlettebb változataik a laboratóriumi szintről már az $1 \div 20$ kW-os egységek építésének és alkalmazástechnikai vizsgálatának fázisába jutottak. Tekintetbe véve az igen jó fajlagos mutatókat, a bőségesen rendelkezésre álló reagensek olcsó voltát, a járművek villamos hajtása számára ezek az akkumulátorok ígérnek a legnagyobb lehetőségeket.

Néhány éve kísérleteket kezdtek $Zn—Br_2$ és $Zn—Cl_2$ galvánrendszerekkel is, amelyek közönséges hőmérsékleten működnek vizes elektrolittal. A klórt ($Cl_2 \cdot 6 H_2O$) formájában tárolják.

A primer elemek között a *szervetlen elektrolitú, lítiumanódú szárazelemek* kifejlesztésén több nagyvállalat dolgozik. Az eddig elért eredmények bemutatására szolgáljon a GTE Laboratories (USA) $Li—SOCl_2$ eleme, amely R20 méretben 8 órán keresztül ad egy amperes áramot gyakorlatilag állandó 3,1 V kapcsoló feszültségen, 9 amperes áram kivételekor a kapcsoló feszültség 2,0 V.

A legújabb miniatürizált híradástechnikai és egyéb villamos készülékekben az áramforrás aránytalanul nagy helyet foglal el. Ezek számára fejlesztik a néhány mm^3 térfogatban is elkészíthető szubminiatür elemeket, amelyekben szobahőmérsékleten is kellő villamos vezetőképességű szilárd elektrolit alkalmaznak. A szilárd elektrolit miatt az elem önkisülése rendkívül kicsi.

4. A kémiai áramforrások főbb alkalmazási területei

A kémiai áramforrások fejlesztésének és gyártásának tendenciáit más oldalról világítja meg a felhasználási területek számbavétele. A felhasználási területek és igények sokféleségéből következik, hogy jelenleg nincs és a jövőben sem lesz kitüntetett, „mindent tudó” kémiai áramforrás típus.

Jelenleg a fő piacot az alábbi pontokban ismertetésre kerülő alkalmazási területek jelentik, a többi területen pedig nagyarányú kibontakozás várható.

4.1. A hordozható híradástechnikai készülékek

Ezekre a kisméretű kémiai áramforrások igen nagy számban történő felhasználása jellemző. A hordozható rádiók, TV-készülékek, magnetofonok, műszerek stb. nemzetközileg szabványosított méretű elemeket igényelnek.

Jelenleg főleg primer elemes készülékek kerülnek forgalomba. A villamos energia ára ilyen esetben másodlagos. Fő szempont a tökéletesen zárt kivitel és a lehető legnagyobb fajlagos kapacitás, egyes készülékeknél még a nagy fajlagos terhelhetőség is. Jelenleg a tranzisztoros kivitelű (azaz kettős borítással kifolyás mentessé tett) Leclanche-típusú elemek az uralkodók e felhasználási területeken. Újabban azonban terjed a nagyobb fajlagos kapacitású lúgos-mangándioxidos elemek alkalmazása. Az USA-ban már kb. 30%-ban ezt használják. A legutóbbi években piacra kerültek — az egyelőre még kis szériában gyártott — szerves elektrolitú litium elemek. A legújabb típusú litium-tionilklorid primer elemek nagy sorozatú gyártását valószínűleg a közeljövőben elkezdik, s akkor ezek alkalmazásának rohamos terjedése várható.

Esetenként találkozunk akkumulátoros megoldással is híradástechnikai készülékekben. Az áramforrás ekkor légmentesen zárt miniatűr Cd—Ni, Zn—Ag vagy ólom akkumulátor lehet.

4.2. Hordozható villamos készülékek

Hálózattól független, hordozható villamos készülékek (szerszámok, camping felszerelések, világító berendezések stb.) iránti igény fokozódik. Gyártásukat megfelelő áramforrások megjelenése tette lehetővé. Ezekre a készülékekre főleg a motorikus áramfelhasználás a jellemző, ami az elemmel szemben a nagy kapacitáson túlmenően a viszonylag nagy terhelhetőség igényét is támasztja. Az áramforrás lehet primer elem. Kisebb készülékekben a hagyományos Leclanche-típus, nagyobbakban viszont csak a lúgos-mangándioxidos vagy litium-elemek jöhetnek szóba. Előszeretettel alkalmaznak zárt rendszerű akkumulátorokat is. Főleg szinterelt vázas Cd—Ni akkumulátorokat. Újabban azonban e célra a teljesen zárt kivitelű, kisméretű ólom akkumulátorok is piacra kerültek.

4.3. Járművek indító akkumulátorai

Bár a villamos autó ma már realitás és terjedésével a jövőben számolni kell, a belsőégésű motoros járművek még hosszú ideig túlsúlyban maradnak. Az USA-ban úgy becsülik, hogy a perspektivikus akkumulátorok sikeres megvalósítása esetén, reális gyártásfelfutást feltételezve, az ezredfordulóra az autóiparuk 20 ÷ 25%-ban villamos autót állít majd elő (kb. 5 milliót évente), a közúti forgalomban a villamos autók hányada ekkor 10% körül lesz.

A belsőégésű motoros járművek továbbra is nagyszámú indító akkumulátor gyártását igénylik. Az ólom akkumulátor a közúti járművekben e célra megfelelő. A fejlesztés főleg nagyobb fajlagos kapacitású, jobb hidegindító képességű telepek létrehozására irányul. Az ún. karbantartást nem igénylő, zárt kivitelű ólom akkumulátorok egyes országokban már piacra kerültek.

4.4. Villamos jármű

A villamos járműhajtás előnyei közismertek. A technikai előnyökön túlmenően a környezetvédelem is egyre sürgetőbbé teszi a kérdés vizsgálatát. Legújabbban az olajválság és a szénhidrogén készletek megfogyatkozásának előjelei fokozottan irányítják a közúti közlekedésre a figyelmet.

A kellően nagy számban bevezethető (eladható) villamos autónak lényegében azonos menettulajdonságokat kell felmutatni, mint a jelenlegi hasonló méretű belsőégésű motoros típusúak, körülbelül azonos áron. Nagyszámú kísérleti villamos autón végrehajtott menetpróbákkal meg lehetett állapítani az alapvető mutatókat, amelyek kielégítése esetén a fenti feltétel teljesíthető:

Közepes méretű (400 ÷ 1000 kg össztömegű) személyautó városi forgalomban az 5. táblázatban bemutatott fajlagos mutatókat követeli meg az áramforrástól. A táblázat adatai 80 km futástávra (az áramforrás egyszeri feltöltése után megfelelő úthosszra) vonatkoznak. Ez azonban csak minimális értéknek fogadható el. A minden igényt kielégítő pl. 300 km-es futástáv lényegesen jobb fajlagos mutatókat követel meg: az általánosan elfogadott nézet szerint kb. 200 Wh/kg és 200 W/kg fajlagos teljesítmény értékeket.

A villamos autó hatásfoka lényegesen jobb (12 ÷ 18%), mint a belsőégésű motoros járműé (7 ÷ 11%). Ezeket az adatokat az egész energiarendszer elemzése alapján számították, a kétféle járműnek egy tonna · km teljesítéséhez szükséges szén mennyiségéből kétféle energiaátalakulási folyamatot figyelembe véve: *a*) szénből erőműben villamos energia és hálózati eloszlás után járműhajtás akkumulátorral, illetve *b*) szénből folyékony üzemanyag, majd ennek elosztása után belsőégésű jármű hajtása. A villamos út *a*) séma ugyanekkor másfél nagyságrenddel kisebb emissziós környezet-szennyezést okoz, és ezt is a közutak helyett főleg az erőművek környékén. Más energia-hordozót figyelembe véve pl. *a*) sémában szenet, *b*) sémában pedig kőolajat, hasonló eredményre lehet jutni.

A 4. táblázat adatai felvilágosítást adnak néhány, a villamos autó számára szóba jövő kémiai áramforrás jelenlegi mutatóiról és ezek várható fejlődéséről. A feltüntetett típusok közül jelenleg egyedül az ólom akkumulátor kapható megfelelő méretben és mennyiségben. A legutóbbi években kidolgozott, fejlett technológiával előállított ólom akkumulátorral már gyártanak villamos városi személyautókat kis szériában egyes országokban (USA, NSZK, Japán). Ezek azonban drágák (7000 ÷ 10 000 dollár), nem utolsósorban az akkumulátor túl nagy súlya miatt. Ez a jelenlegi technológiai szinten a jármű súlyának minimálisan 30%-a (l. 5. táblázat).

Postai kihordó, áruterítő gépkocsik, sőt autóbuszok is készülnek ólom akkumulátor áramforrással. Ezekben nincsenek olyan nagy követelmények az áramforrás fajlagos adataival szemben, mint a személyautók esetében. A postai és áruterítő gépkocsik több országban sok ezres darabszámmal már alkal-

5. táblázat

Városi villamos autó áramforrásától megkívánt fajlagos értékek
80 km futástáv esetén

Az áramforrás súlyának és a jármű teljes súlyának viszonya (%)	Fajlagos energia [Wh/kg]	Átlagos fajlagos teljesítmény [W/kg]	Fajlagos csúcs teljesítmény [W/kg]
20	55—68	20—25	125
25	44—54	16—20	100
30	37—45	13—17	85

mazásra találtak. Sőt a felhasználók által preferált gépkocsi-típust alkotnak. A benzin- és dieselmotoros hasonló járművekhez viszonyított kb. kétszeres vételárat néhány évi használat után túlkompenzálják az alacsonyabb fajlagos üzemköltség, az igen megbízható működés (egy postai felmérés szerint 3 év alatt csupán 0,1% az állásidő javítás miatt) és könnyű kezelhetőség előnyei. Különleges felhasználási területeken, mint például villamos targoncákban, bányamozdonyokban, tolató mozdonyokban az ólom akkumulátort már régóta alkalmazzák, és e felhasználási terület további bővülésére lehet számítani.

Mértékadó körök második generációs áramforrásként a Zn-nikkeloxid rendszert említik. Szóba jöhet a cink-levegő rendszer esetleg önmagában, vagy valamilyen nagy fajlagos teljesítményű akkumulátorral kiképzett hibridjeként. Harmadik generációban (1985 ÷ 99 után) pedig előreláthatólag a fém-kén, ill. fém-fémszulfid rendszerek kerülnek előtérbe.

A jelenlegi vélemények szerint — ellentétben az 1960-as évek közepén uralkodó felfogással — akkumulátorokat fognak villamos autók áramforrása-ként használni —, mivel a tüzelőanyag-elemek önmagukban nem tudják a kellő fajlagos teljesítményt nyújtani és drágák is.

Az akkumulátorok töltését a népgazdaság és a kocsi használója szempontjából egyaránt leggazdaságosabban az utak mentén létesített töltőállomások hálózatában lehet a tervek szerint lebonyolítani. A kocsi használója a töltőtársaság tulajdonában levő akkumulátortelepért bérbe veszi és az elfogyasztott energia alapján fizet.

A villamos autók hajtó és szabályozó berendezései technikai szinten megoldottak, olcsóbb gyártásuk és tökéletesebb berendezések kifejlesztése azonban csak a nagyobb szériagyártások megindulása után várható. A jelenlegi villamos autó akkumulátor nélkül is drágább, mint a hasonló méretű belsőégésű motoros típus. Valószínűleg a jövőben is mintegy 5 ÷ 10%-kal drágább marad, viszont a lényegesen kisebb fajlagos üzemköltség és igen nagyfokú üzembiztonság mellett, kevés karbantartást igényel és szinte elnyűhetetlen lesz.

4.5. Villamos hálózatok terhelés ingadozásának kiegyenlítése

Villamos energia elosztó-hálózatokban az erőmű és a fogyasztó közé telepített nagyméretű puffer telepeken is alkalmazást fognak nyerni fejlett akkumulátor típusok mértékadó körök (pl. EPRI = Electric Power Research Institute, USA) véleménye szerint.

A villamosenergia-hálózatok terhelése szabályos napi, heti és évi periodicitás szerint változik. Az egy napon belüli változások a legnagyobbak a háromféle periodicitás közül. A villamos erőművek számára súlyos problémát jelentő terhelésváltozás kiegyenlítésére számos lehetőség technikai megvalósításán fáradoznak. Egyik megoldás lehet akkumulátorok beiktatása a terhelési csúcsok és minimumok simítására. (Az akkumulátoros villamos autók széles körű elterjedése, éjszakai töltést figyelembe véve, közvetett módon szintén enyhíti a problémákat.) USA villamos társaságok véleménye szerint 20 év élettartamú és 20 \$/kWh áru akkumulátorok jelentős piacra találhatnak ezen a felhasználási területen. USA-ban kb. 10 MW-os ólom akkumulátor telepekkel már rendszertechnikai vizsgálatokat kezdtek.

4.6. Telepített áramforrások

Hálózattól távoleső helyeken, olyan országokban, ahol villamos hálózat még nincs kiépítve, vagy ahol a jelenlegi hálózat bővítése nehézségekbe ütközik, ún. telepített áramforrások létesítését tervezik. Ezek olcsó energia-hordozóval üzemelő tüzelőanyag-elemek lehetnek 1 ÷ 10 000 kW teljesítmény nagyságrendben. A nagyobb teljesítményű, valószínűleg magas hőmérsékleten működő, tüzelőanyag-elem telepekkel felszerelt lakótelepek például csupán egyféle, gazdaságosabb energia-ellátást igényelnek: csővezetéken oda-juttatott szénhidrogént (vagy a távoli jövőben esetleg megvalósuló hidrogén gazdálkodás esetén: hidrogént). A tüzelőanyag-elemek veszteség hője a használati melegvíz ellátást is biztosíthatja.

A kisebb mozgatható telepek metanollal vagy esetleg hidrazinnal működő tüzelőanyag-elemek lehetnek.

5. A kémiai áramforrások kutatásának kérdései

5.1. Kutatási tendenciák

A kémiai áramforrások kutatása kifejezés alatt a kutatások minden szintjének összességét értjük, kezdve egy elemben lejátszódó folyamat jobb megismerésére irányuló aprólékos alapkutatástól, a fejlesztési kutatáson keresztül egészen a gyártástechnológia- és gyártmányfejlesztéséig, sőt még az

alkalmazástechnikai és rendszertechnikai vizsgálatokat is ide számítjuk. Viszont csak olyan kutatásokat sorolunk ide, amelyek a kémiai áramforrások létrehozása, továbbfejlesztése vagy alkalmazása szempontjából kifejezetten célkutatások.

A kutatások jellemzésére felhasznált elvünk tükrözi az áramforrások fejlettségi szintjéből eredő hármastagozódást.

A konvencionális rendszerek továbbfejlesztését célzó kutatások az utóbbi években egyre intenzívebbek, összefüggésben a 2. és a 3. fejezetben vázolt lehetőségekkel. Megfigyelhető e téren, hogy az intenzív gyártmányfejlesztő kutatások mellett újra a részletkérdések alapkutatás szintű vizsgálatára terelődött a figyelem, pl. PbSO_4 , PbO_2 , MnO_2 elektród-folyamatainak és szerkezetének vizsgálata.

A szárazelemek kutatásának és fejlesztésének homlokerében — az újabb változatok létrehozása és a fajlagos kapacitás növelésén túlmenően — elsősorban a fajlagos teljesítmény növelése, a hideg-működési tulajdonságok javítása és a raktározhatóság időtartamának növelése áll.

A jármű-indító akkumulátor továbbfejlesztése még lehetséges. A közelmúltban megoldott, ill. a kikísérletezés stádiumában levő feladatok: karbantartást nem igénylő típus, lezárt akkumulátor, a hidegindító képesség jelentős fokozása, ciklusszám-élettartam növelése.

Az ólom akkumulátor és más konvencionális akkumulátorok tovább finomításának fontos kérdése manapság a hideg-működési tulajdonságok javítása, a gyorstöltés megoldása, a ciklusszám-növelés, amelyet nemcsak az akkumulátor jobb felépítésével, hanem helyesen megválasztott töltési programmal is el lehet érni. Ezért töltési módok vizsgálata és töltőberendezések kifejlesztése is fontos részét képezik a kémiai áramforrások alkalmazásával kapcsolatos kutatásoknak.

A közeljövő elemeinek kutatása lényegében a fent vázolt kutatásra épül, mivel sok esetben konvencionális elektródokból összeállított újfajta galvánrendszerekről van szó. A kutatás fő tennivalója e csoportban az új párosításból eredő problémák megoldása. Továbbá másik fő problémakör az eddig még nem nagy szériában gyártott, de a gyakorlat próbáját már kiállt elektródok elhelyezése gyártható rendszerekben, pl. a tüzelőanyag-elemek gáz-elektrodjainak kombinációja fénoxid elektródokkal.

A perspektivikus rendszerek kutatása különösen a kémiai oldaláról tekintve széles spektrumú. Újfajta elektród, elektrolit és szerkezeti anyagok vizsgálatára és kifejlesztésére van szükség. Világszerte számos (legalább száz-as nagyságrendű) újfajta galvánrendszer kutatása folyik.

Nem állíthatjuk, hogy a perspektivikus galvánrendszer megjelölés alatt fentebb ismertetett megoldások jelentik a „végső szót” a jövő számára. Ezért még mindig újabb és újabb „ötletek” kísérleti vizsgálata folyik kisebb-nagyobb laboratóriumokban. E kutatásokra fordított összeg kumuláltan igen

jelentős. E csoportban még kis volumenű kutatások is jelentősen hozzájárulhatnak a tématerület kifejlődéséhez.

A kémiai áramforrások létrehozását és továbbfejlesztését célzó kutatásokon kívül igen jelentősek az alkalmazástechnikai és rendszertechnikai vizsgálatok pl. akkumulátorok töltési-kisülési ciklusai, töltési programok, energiatároló rendszerek, járműhajtás stb.

A kémiai áramforrások kutatásának eredményei — tekintve a gyárott egységek nem túl nagy bonyolultsági fokát és kis méretét — viszonylag könnyen realizálhatók a termelésben vagy közvetlenül, vagy pedig licencia, know-how adásvétel előkészítés és lebonyolítás során. A gyors fejlődés lehetővé teszi, hogy kisebb felkészültségű országok is egy-egy részterület alapos kiművelésével — anélkül, hogy a terület minden részén magas színvonalat kellene elérniük — a fenti módok valamelyikén gyakorlatban realizálható eredményhez jussanak.

Fejlett ipari országokban a kémiai áramforrások kutatási eredményei általában gyorsan realizálódnak a gyártástechnológiában. Jelenleg azonban különleges helyzet uralkodik a villamos autó megvalósítását illetően. Nagy autóparral rendelkező kapitalista országokban — nyugaton publikált vélemények szerint is — az autógyártó cégek és olajtársaságok nagy tőkebefektetések sorsát féltve inkább a villamos autó programok fékezésére törekednek. Egészen más lehetőségekkel rendelkeznek e téren a szocialista országok, amelyekben egyrészt ezen iparágak érdekeltsége még nem ilyen nagy, másrészt sikeres technikai megvalósítás után a villamos autók elterjedése, töltőhálózatok kiépítése sokkal könnyebb a központi tervezés nyújtotta előnyök miatt.

5.2. Nemzetközi együttműködés a kutatásban

Az elmúlt években több kutatási együttműködés jött létre. A TARGET-program célkitűzése olcsó természetes energiahordozók: földgáz vagy szén felhasználása villamos energia előállítására magas hőmérsékletű tüzelőanyag-elemekben. A programban több USA nagyvállalat és néhány japán cég vesz részt.

A japán mammutcégek villamos autó kifejlesztésére hoztak létre közös vállalkozást.

E programok a kutatáson túlmenően gyártási kooperációs célkitűzéseket is tartalmaznak.

Kifejezetten nemzetközi jellegű a szocialista országok 1976 ÷ 80-ra szóló, közös kutatási programja, amelynek szervezési előkészületei most vannak folyamatban.

Az együttműködés terén azonban nem annyira a fenti nagyszabású programok a jellemzők, mint inkább országon belüli vagy két ország intézményei közötti bilaterális megállapodások.

Nemzetközi szervezetek munkájában is szerepel a kérdés vizsgálata. Például az Európai Gazdasági Bizottság Villamosenergia Szakbizottsága 1975 ÷ 79. évi munkatervébe állította a villamos hajtású járművek és környezetvédelem kapcsolata témakört.

A kémiai áramforrások *kutatási eredményeinek ismertetésére* és tapasztalatok kicserélésére *nemzetközi fórumokat* hoztak létre mind előadások és megbeszélések, mind pedig publikációk számára. Legfontosabbak:

Rendszeres nemzetközi összejövetelek:

International Power Sources Symposium. Páros években kerül megrendezésre Brightonban, Angliában.

Annual Power Sources Symposium. USA-ban rendezik évente. Egy-egy rész tématerületről alkalmazástechnikai témakörökről külön is tartanak szimpózionokat az USA-ban évente.

Minden évben más országban kerül megrendezésre a *Meeting of International Society of Electrochemistry*, amelynek *Batteries* szekciója vagy esetleg külön megrendezett előadás-sorozata foglalkozik a tématerülettel.

International Electric Vehicle Symposium, USA.

Energie-Direkt-Umwandlung, EDU konferencia sorozat, NSZK.

A fenti rendszeresen megtartott szimpózionokon kívül más összejöveteleket is rendeznek kifejezetten e tárgykörben vagy elektrokémiai programok részeként pl. a Szovjetunióban.

Publikációs fórumok:

Power Sources kiadvány. Könyv alakban jelenik meg, minden második évben 1967 óta, az *International Power Sources Symposium*-ok anyagát tartalmazza.

Energy Conversion. Nemzetközi folyóirat.

Journal of Power Sources. 1976-ban induló új folyóirat.

Elektro-Anzeiger.

A fenti nemzetközi jellegű folyóiratokon kívül nagyobb országok elektrokémiai folyóiratai, a kémiai áramforrások témakör számára, jelentős terjedelmet tartanak fenn.

Alkalmazástechnikai kérdésekkel elektrotechnikai szaklapok, pl. az *IEEE folyóiratai*, az *Elektrotechnische Zeitschrift (ETZ)*, *Elektrotechnik* foglalkoznak.

5.3. A hazai kutatás egyes kérdései

Az elvégzett felmérések rámutatnak arra, hogy a hazai kémiai áramforrás kutatásokat, illetve az ehhez kapcsolódó munkákat gyárakban, ipari kutatóintézetekben és egyetemi tanszékeken végezték és végzik. Az eddigi kutatások a konvencionális rendszerek továbbfejlesztésével, illetve ezekkel kapcsolatos gyártástechnológiával és gyártmányfejlesztéssel foglalkoztak, to-

vábbá a közeljövő elemei és a perspektivikus galvánrendszerek területén a tüzelőanyag-elemek és fém—gáz rendszerű elemek egyes típusainak, alumínium-elektrodú elemeknek létrehozását célozták.

Általában megállapítható, hogy a kutatói kapacitás és ráfordítás kicsi a tudományterület, illetve az iparág jelenlegi és a jövőben nagymértékben növekvő jelentőségéhez képest. A meglévő kapacitást, kutatási céljait tekintve, jobban összehangolt terv szerint kellene kihasználni.

A társadalmi elvárásokból kifolyólag a kémiai áramforrások alkalmazási területeinek bővülése a gyártó iparággal szemben világviszonylatban mind nagyobb minőségi és mennyiségi követelményeket támaszt. Ez a folyamat hazánkban is megindult s a jövőben gyorsulni fog. Az ipar csak korszerű kutatási hálózat segítségével tudja feladatát megoldani.

A hazai kutatást úgy kell bővíteni, hogy hatékonysága növekedjék. E cél érdekében a termelés feladataival szorosan összekapcsolódó kutatási projektum irányítást célszerű létrehozni. Ennek feladata legnagyobb súllyal a jelenlegi ipari problémák megoldása, de ezen túlmenően a közeljövő technológiáját is előkészíti, és megfelelően hatékony módszerekkel gondoskodik a tématerület előrehaladásának figyeléséről is.

IRODALOM

a) Könyvek, folyóirat cikkek és előadások

1. *The Gould Battery Handbook* 1973. Mueller, F. (ed). Gould Inc. Mendota Heights, Minn. USA.
2. BOCKRIS, J. O'M.: *Electrochemical Transportation*. *Denki Kagaku* 41 (1973), 582—592
3. COLLINS, D. H. (ed): *Power Sources 4*. Oriell Press Ltd. 1973. 622 p.
4. EULER, K. J.: *Tagung der „Batteries”* Sektion der „International Society of Electrochemistry” Kalkheim/Taunus 1973. Metalloberfläche, *Angew. Electrochemie*. 27 (1973), 340—47
5. KORDESCH, K. V.: *Electrochemische Energie Umwandlung*. *Ber. Bunsen Fes.* 77 (1973), 751—60
6. BENNION, D. N.: *State of the Art in Battery Technology*. IEEE PES Summer Meeting and Energy Resources Conf. Anaheim. Calif. USA. July 14—19. 1974.
7. RÉDEY, L.: *Elektrokémiai járműhajtás helyzete az 1960-as és 70-es évek fordulóján*. MTA Közvetlen Energiaátalakítási Bizottság anyaga. 1974 július.
8. SHERIDAN, D. C.—BUSH, J. J.—KUZIAK, W. R.: *Energy Utilization Comparison of Gasoline and Battery-Electric Powered Urban Vehicles*. *General Motors Research. Publ.* Nov. 15, 1974.
9. DALIBARD, O.—PUTOIS, F.—VIGNAUD, R.—FEUILLADE, G.: *Progrès récents dans le domaine des générateurs électrochimiques réversibles*. *RGE.* 84 (1975), 463—490
10. *Electric Vehicles*. The Clean Machines. Electric Vehicles Association, England. 1975.
11. CAIRNS, E. J.: *Advanced Batteries: Candidates for Electric Vehicle Propulsion* *General Motors Research Publ.* GMR-1871 May 5, 1975.
12. COLLINS, D. H. ed.: *Power Sources 5*. Academic Press. 1975. 740. p.
13. FAO, N. P.—BIRK, J. R.: *Battery Energy Storage for Utility Load Leveling and Electric Vehicles; A Review of Advanced Secondary Batteries*. *10th Intersoc. Energy Conversion Eng. Conf.* New York, Del. USA. Aug. 18—22, 1975.
14. SALIHI, J. T.: *Kilowatthours vs. Liters*. *IEEE Spectrum*. March 1975. 62—66.
15. TOBIAS, C. W.: *Incentives and Prospects for the Electric Car*. Előadás a MTA-n 1975. szept. 16.

b) *OMFB tanulmányok:*

16. 1-509-T Villamos energia közvetlen termelésének új eljárásai 1965.
 17. 4-705-T Akkumulátoros járművek 1969.
 18. 11-804-T Tüzelőanyag-cellák fejlesztése és alkalmazása 1970.
 19. 11-7402-T Járművek villamos berendezéseinek fejlesztése és gyártása 1975. március.
 20. 20-7207-It Akkumulátoros, tüzelőanyagcellás és primer-elemes járművek 1975. március.
 21. 11-908-Et Szárazelemek gyártásának korszerűsítése, a gyártmányválaszték bővítése 1975. május.
 22. 11-7403-K Kémiai áramforrások 1975. december.
 23. 11-7401/g-T Erősáram iparunk középtávú fejlesztése. g) Akkumulátorok és szárazelemek. 1975. szeptember.

c) *Nemzetközi Konferenciák*

24. 9th International Power Sources Symposium Brighton, England. Sept. 16–19. 1974.
 25. 8th International Power Sources Symposium Brighton, England. Sept. 20–24. 1972.
 26. 2. Internationale Symposium Elektrochemische Stromquellen. Dresden DDR 15–17 Mai 1974.
 27. 25th Meeting International Society of Electrochemistry, Batteries Section, Brighton, England. Sept. 22–27. 1974.
 28. Pjatoje Vseszjojznoe Szovescsanie no Elektrohimii. Moszkva 1974.

Perspectives of Chemical Current Sources and of their Application. — A situation report. —

The importance of chemical current sources is increasing the world over. Research is carried on at high material and intellectual cost. Its aim is, partly the further development of conventional systems (produced already in large series), partly the development of new systems. In industrially developed countries the results of the research are quickly realized in production. Chemical current sources play an important role in daily life (in production as well as in the passing of leisure time). Importance of perspective fields of application has been enhanced during the last years by the ever-more-important aspects of environmental protection and energy economy. The authors discuss the present tendencies in the research on chemical current sources, in relation with the possibilities and the fields of application.

Perspektiven der chemischen Stromquellen und ihrer Anwendung. — Situationsbild. —

Die Bedeutung des Themenkreises „Chemische Stromquellen“ steigt weltweit an Bedeutung. Die Forschung wird mit großem materiellen und geistigen Aufwand vorwärtsgetrieben, und zwar teilweise um die konventionellen (bereits serienmäßig produzierten) Systeme weiterzuentwickeln, teils um neue Systeme zu entwickeln. Die Forschungsergebnisse werden in der Produktion der industriell entwickelten Ländern schnell realisiert. Die chemischen Stromquellen spielen im täglichen Leben (gleicherweise in der Produktion und in der Freizeitgestaltung) eine wichtige Rolle. Die Bedeutung der perspektivischen Anwendungsgebiete wird auch durch den in den letzten Jahren lebenswichtig gewordenen Umweltschutz und die Energiewirtschaft erhöht. Die Verfasser geben die Tendenzen in der Erforschung der chemischen Energiequellen, im Zusammenhang mit den Möglichkeiten und den Anwendungsgebieten bekannt.

TERMIKUS KATÓDOK MINŐSÍTÉSE

VÁCZ ISTVÁN*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

és

KERÉNYI ISTVÁN

[Beérkezett 1975. szeptember 29-én]

Az alábbi közlemény termikus katódok minősítésével foglalkozik, amelyek egyrészt elektroncsövekben, másrészt fénycsövekben nyernek alkalmazást. A szerzők a minősítéshez az ismert Richardson-módszer alapján végzett elektronkilépési munka meghatározást használták. Az ehhez szükséges kat. temperaturát dióda esetében az induló áram karakterisztika meredekségéből, fénycsőkatódoknál pedig a spirál meleg/hideg ellenállás viszonyából számították ki. A fénycsőkatód átlaghőmérsékletét opt. pirométerrel végzett hőeloszlás alapján ellenőrizték és megállapították, hogy a fenti módon kapott közepes hőmérséklet 1%-on belül megközelíti a sp max. hőmérsékletét.

Az alábbi közlemény termikus katódok elektron kilépési munkájának meghatározásával és katód minősítési módszerek kidolgozásával foglalkozik.

A fent említett feladatok megoldása során a szerzők a következő katód-típusok vizsgálatával foglalkoztak:

a) különböző karbonát összetételű katódok emissziós vizsgálata kísérleti diódákban;

b) fénycső katódok minősítése ultravákuumban.

Az emissziós vizsgálatokat Richardson egyenes módszerével végezték. Ezt a módszert jó eredménnyel használták tiszta, wolfram fém kilépési munkájának meghatározására is [5], és eredményeiket az irodalomból vett adatokkal ellenőrizték. Az emissziós méréseknél alapvető fontosságú katódhőmérséklet meghatározást elsősorban az elektronikus hőmérsékletmérésre alapozták, amelynek nagy előnye, hogy kész csövek vizsgálatánál közvetlenül alkalmazható.

Méréseiket többféle hőmérsékletmérési eljárással ellenőrizték és részben tovább fejlesztették (termoelem, mikropirométer, meleg/hideg ellenállás-viszony).

Az elektronikus mérési módszer fent említett nagy előnyeire való tekintettel elsősorban ezzel foglalkoztak.

A mérés alapjául szolgál az az ismert megállapítás, hogy a (T) hőfokú katódból a vákuumba kilépő elektronok kinetikus energiája — jó közelítéssel — Maxwell—Boltzman eloszlású, ami lehetővé teszi egy retardáló feszült-

* 1042 Budapest, József A. u. 60

ség (U_r) és hozzátartozó anódáram (i_a) közötti összefüggés megállapítását.

$$i_a = I_s \varepsilon \exp \left(- \frac{U_r U_k}{kT} e \right),$$

ahol I_s a telítési áramerősséget, U_r a fékező feszültséget, U_k pedig a kat., ill. anód anyagától függő ún. kontakt potenciált jelenti.

Az egyenlet félogaritmikus koordináta-rendszerben ábrázolva ($\log i_a$ — U_r) egyenest ad, amelynek meredekségéből

$$S = \frac{e}{2,3kT},$$

$$T = \frac{5036}{S} [^\circ\text{K}] \quad (1)$$

képlet alapján kiszámítható.

Az általuk tovább fejlesztett Ikehara—Wilson váltóáramú elektronikus módszer, amely az egyenáram okozta zavarok kiküszöbölése céljából, az egyenfeszültségre ($1000 \text{ Hz} \cdot 0,1$) váltófeszültséget szuperponál¹ [6], lehetővé tette a hőmérsékletmérés kiterjesztését alsóbb hőmérséklet határok felé, továbbá egyszerű üzemi mérési módszer kidolgozását.

A katódhőmérséklet ismerete lehetővé teszi a φ_T kilépési munka meghatározását a Richardson-féle összefüggés alapján,

$$I_s = A_0 F T^2 \varepsilon \exp \left(- \frac{e\varphi_T}{kT} \right), \quad (2)$$

ahol $A_0 = 120,4$ ($\text{A cm}^{-2} \text{ } ^\circ\text{K}^{-2}$) ún. tömegállandó és F a katód aktív felülete [1].

Az első emissziós vizsgálataikat és hőmérsékletméréseiket speciális oxidkatód mérődiódákon végezték.

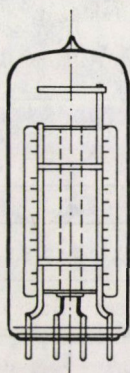
Az anód két végén védőgyűrű volt felszerelve.

A kilépési munka méréséhez a (2) egyenletet használták, amelyből a különböző temperaturákhoz tartozó φ_T értékeket a

$$\varphi_T = T \left(4,14 + 1,986 \log \frac{T^2}{I_s} \right) 10^{-4}$$

képlet alapján kiszámították, és ezeket a temperatura függvényében ábrázolva, jó közelítéssel emelkedő egyenest kaptak, amelynek meredekségéből a hőfoktényező $\Delta\varphi/\Delta T$ és a φ_T tengelyből lementzett φ_0 darabjából, a kilépési

¹ Részletes leírása megjelent 1968-ban az MTA Műszaki Tudományok Osztálya 40. sz. Osztályközleményeiben.



I. ábra

A katód külső átmérője 1,45 mm. Az anód külső átmérője 7,45

munka hőfoktól való függése

$$\varphi_T = \varphi_0 + \frac{\Delta\varphi}{\Delta T} T$$

megállapítható volt.

Ezt a kifejezést a (2) egyenletben φ_T helyére beírva és rendezve, az alábbi egyenletet kapták, amelyben a hőmérséklet az egyedüli változó

$$I_s = AFT^2\varepsilon \exp\left(-\frac{e\varphi_0}{kT}\right). \quad (3)$$

Itt $A = A_0\varepsilon \exp(-e/k \cdot \Delta\varphi/\Delta T)$ és φ_0 a $T = 0$ -hoz tartozó extrapolált φ_T értéket jelenti.

Ha ezt az egyenletet logaritmikus alakban felírjuk

$$\log \frac{I_s}{FT^2} = \log A - \frac{e\varphi_0}{k} \frac{1}{T}$$

és $1/T$ függvényében ábrázoljuk, a Richardson-féle egyeneshez jutunk, amelynek meredekségéből φ_0 , az ordináta tengelyből lementszett $\lg A$ darabból $\Delta\varphi/\Delta T$ értéke a

$$\log A = \log A_0 - \frac{e\Delta\varphi}{k\Delta T}$$

összefüggés alapján kiszámítható.

Szerzők a grafikusán nyert $\Delta\varphi/\Delta T$ és az extrapolált φ_0 értékeknek, a fenti módon számítással meghatározott értékeivel való jó egyezést, a mérés megbízhatóságának ellenőrzésére használták.

A fentiek alapján lefolytatott méréseiket 10^{-3} – 10^{-5} A emissziós áram tartományban végezték 50 V anódfeszültségnél. A kat. hőmérsékletet elektro-

I. Táblázat

Különböző összetételű oxydkatódok mérési adatai

	BaCO ₃ 50% SrCO ₃ 45% Ca50% T _k =609°K			BaCO ₃ 20% SrCO ₃ 80% T _k =588°K			BaCO ₃ 50% SrCO ₃ 50% T _k =590°K		
	min.	átl.	max.	min.	átl.	max.	min.	átl.	max.
φ_0	1,19	1,29	1,35	1,49	1,53	1,568	1,15	1,23	1,289
φ_T	1,413	1,422	1,432	1,584	1,589	1,596	1,416	1,427	1,434
$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T} \cdot 10^{-4}$ eV/fok	1,39		4,37	0,3		1,844	2,69		5,14
A	0,91		24,1	14,8		85	0,29		9,66

nikus módszerrel állapították meg, és alacsonyabb U_f fűtőfeszültségekre a $\log U_f - \log T$ összefüggés alapján extrapolálták.

Különböző karbonát összetételű kísérleti oxidkátoatok kilépési munkáinak és kilépési munka hőfoktényezőinek $\Delta\varphi/\Delta T$ értékeit az I. táblázat tartalmazza, összehasonlítva az idevonatkozó külföldi irodalom adataival.

A táblázatban közölt adatok minden változatban hat mérésből adódtak, amelyek elvégzése előtt a szerzők a csöveket minden esetben az előírásnak megfelelően villantották.

A kilépési munka értékéül általában a φ_0 értéket szokták megadni, amely — mint már említést nyert — $T = 0$ -ra vonatkozó extrapolált érték, és amelyből a $\Delta\varphi/\Delta T$ hőfoktényező ismerete nélkül nem lehet az üzemi hőfokon működő katódok kilépési munka értékeire következtetni. Ez tiszta fémek esetében, ahol ez a tényező rendszerint kis érték (pl. wolframnál $3-6 \cdot 10^{-6}$ eV/fok), nem jelent nagyobb hibát. Oxidkátoatoknál azonban, ahol ez az érték két nagyságrenddel nagyobb ($5 \cdot 10^{-4}$ eV/fok), 1000 °K-nál már 0,5 eV-ot tehet ki [7].

Ezért a szerzők a φ_0 értéket főként a mérés ellenőrzésére használták, és amennyiben értékét közlik, más hőfokokra való átszámítás lehetősége céljából a $\Delta\varphi/\Delta T$ hőfoktényezőket is megadták.

A fent közölt összefüggések, amelyekből az elektronikus hőmérséklet és kilépési munka meghatározható, egyenletes hőeloszlású katódokra érvényesek. Ez a feltétel a gyakorlatban használt elektroncsöveknél — ahol a katódok végvesztései miatt a hőmérséklet nem egyenletes — általában nem teljesül. Ennek a körülménynek a mérés megbízhatóságára gyakorolt befolyásával a szerzők a jövőben kívánnak foglalkozni. Az ezzel kapcsolatos munkájukról egy következő közleményben fognak beszámolni.

3. Különbéle összetételű fénycső katódspirálok emissziós minősítése és hőmérsékletének vizsgálata

A fénycsőkatódok emissziós vizsgálatokor figyelembe kell venni, hogy a fénycsövek katódjai gázkisülés közben nagyobb igénybevételnek vannak kitéve, mint a vákuum elektroncsövek katódjai. A fénycsőkatódok a begyújtástól eltekintve működésük közben nem kapnak külső izzító áramot és csak a gázkisülés bombázó hatása izzítja fel őket lokálisan. Mivel az oxidkatódok hidegen jó szigetelők és csak izzó állapotban válnak vezetővé, így működés alatt mindig csak helyi, lokális jellegű terhelésnek vannak alávetve, amely pontról pontra tovább vándorol a katódon, miközben a kis felületű izzó katódpontok helyén a bevonat elhasználdik.

A legutóbbi ideig alkalmazott fénycsőkatódok tulajdonképpen nem is (a speciális működésű) fénycsövek számára lettek tervezve, hanem egyszerűen átvették őket a jól bevált telepes fűtésű elektroncsövek katódjai mintájára. És minthogy az akkori feltételeknek megfeleleltek, használatban is maradtak.

A fénycsövek fejlődése napjainkban elérkezett oda, hogy minőségi paraméterei nem növelhetők az eddig használt katódokkal. A szerzők témacsoportjának vezetője — néhai WINTER Ernő akadémikus — felismerte ezt és új szerkezeti felépítésű fénycsőkatódokat dolgozott ki [8].

Az új szerkezetű fénycsőkatódok optimális beállításához az ötvöző, ill. aktív anyagok kiválasztásához a szerzők kísérleteket indítottak. Ennek során kidolgoztak egy (minősítési) eljárást, amellyel a katód várható emissziós tulajdonságai, az összetétel stb., egymáshoz viszonyítva minősíthetők lettek. Ezt a fentebb vázolt kísérleti diódában valósították meg az előbb említett Richardson-egyenlet felhasználásával.

A kilépési munka méréséhez a hőmérséklet ismerete nélkülözhetetlen. Ezért ez a feladat egyben hőfokmérési feladatokat is jelent.

Nagy hőmérsékletek mérése általában optikai pyrométerrel történik. Ennek előfeltétele az, hogy a mérendő felület reflexiómentes sugárzást adjon, ezenkívül a felület abszorpcióképességének ismerete is szükséges. Jelen esetben itt egyik feltétel sem teljesül, egyrészt azért, mert a katódmassza befogadására szolgáló dupla, esetleg tripla spirál menetei közül kilépő sugárzás nem reflexiómentes, másrészt a katódanyag — amely aktiválás közben a színét is megváltoztatja — abszorpcióképessége nem lesz eléggé határozott érték.

A fent említett bizonytalanságok elkerülésére közepes hőmérsékletek esetében (kb. 1600 °C-ig) a hőelemes mérés is alkalmas volna. Itt azonban a hőelemeknek a spirálhoz való rögzítése nehezen oldható meg (a menetekhez hegeszteni annak eltorzulása miatt nem lehet). Enélkül pedig jó érintkezés nem lehetséges, és ez a mérést nagymértékben bizonytalanná tenné. A hőmérséklet megállapítására ezért legalkalmasabb módszernek a spirállenállás-megnövekedéséből történő hőfokkiszámítás látszott, amely a hideg ellenállás-

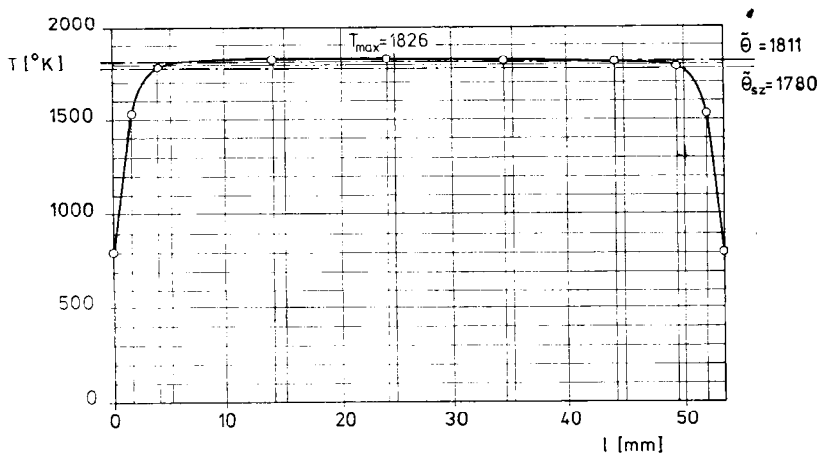
mérésen kívül semmiféle előkészítést sem igényel. Használatbavétele előtt azonban más mérési módszerrel ellenőrizni kellett. Az ellenőrzést — tekintettel a wolfram jól ismert optikai sajátságaira — a szerzők bevonat nélküli fénycső spirálon végezték, mégpedig Schmidt—Hänsch-féle mikropyrométerrel. A méréshez a primér menetek külső alkotója mentén húzódó keskeny sáv sugárzását használták, amely reflexiómentes, és így a valódi hőmérséklet kiszámításakor tiszta wolfram felület abszorpcióképességével számolhattak.

Megmérték a dupla spirál minden második szekunder menetének 1—1 pontját és a spirál végéhez tartozó két egyenes szakasz optikailag még mérhető 2—2 pontjának valódi hőmérsékletét. Ezek felhasználásával felrajzolták a hőeloszlási görbét, de nem a dupla spirál hosszára, hanem a primer spirál hosszára vonatkozólag. A mellékelt ábra egy bevonatlan fénycső spirálra vonatkozik, amelynek ellenállása 23 °C-nál 3,27 ohm. A mérést $U_f = 17$ V és $I_f = 0,57$ A-nél végezték.

Erre az ábrázolási módra azért volt szükség, hogy a közepes melegellenállást a hőeloszlás alapján számítással is meghatározhassák, és módjukban legyen azt összehasonlítani a mért melegellenállással, ami a hőeloszlás valódiságának ellenőrzéséül szolgálhat. Ezt a számítást az ellenállás és abszolút hőmérséklet között Langmuir által megállapított empirikus képlet alapján végezték el [3, 4]:

$$\frac{r_T}{r_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{1,22} \quad (4)$$

Az exponenst Langmuir fajlagos ellenállás táblázatából visszszámítva az általuk használt hőmérséklettartományban 1,22-nek találták. Ezt az összefüggést érvényesnek tekintve, a spirál r_0 hidegellenállásából kiszámították szakaszonként a melegellenállásokat (az egyes szakaszokon belül a hőeloszlást



2. ábra

lineárisnak feltételezve), ezeket összeadták és elosztották a primér spirál hosszával [1]:

$$r_T = \frac{r_0}{l} \sum_{i=1}^q \left(\frac{T_i}{T_0} \right)^{1,22} \Delta l_i = \frac{r_0}{T_0^{1,22}} \frac{\sum T_i^{1,22} \Delta l_i}{l} .$$

A számítást ebben a konkrét esetben elvégezve azt találták, hogy

$$r_T = 29,2 \text{ ohm}$$

míg a mérésből

$$r_T = \frac{U_f}{I_f} = \frac{17}{0,57} = 29,81 \text{ ohm}$$

értéküre adódott. Az eltérés (-2%), ami, tekintettel a számításakor, ill. a mérésakor előforduló kisebb pontatlanságokra, elég jó egyezést jelent.

A fenti empirikus képlet alapján meghatározták továbbá a kiszámított és mért melegellenállásoknak megfelelő $\bar{\theta}_{sz}$, ill. $\bar{\theta}_m$ hőmérsékleteket is:

$$\bar{\theta}_{sz} = T_0 \left(\frac{r_T}{r_0} \right)^{\frac{1}{1,22}} = 296 \left(\frac{29,2}{3,27} \right)^{\frac{1}{1,22}} = 1780 \text{ [}^\circ\text{K]} ,$$

$$\bar{\theta}_m = 296 \left(\frac{17}{0,57 \cdot 3,27} \right)^{\frac{1}{1,22}} = 1818,5 \text{ [}^\circ\text{K]} .$$

A két érték közötti eltérés

$$\frac{1780 - 1811,5}{1811,5} 100 = -1,74 \% .$$

A fenti hőeloszlási diagramból, valamint a spirál közepes melegellenállásához tartozó hőmérsékletből ($\bar{\theta}_m$) megállapítható, hogy ez utóbbi — a hosszú egyenletes hőzóna miatt — elég közel esik a maximális hőmérséklet-hez. Az eltérés

$$100 \frac{1711,5 - 1826}{1826} = -0,8 \%$$

Ez azt jelenti, hogy az ellenállás növekedés alapján számított hőmérsékletet jó közelítéssel az emisszió szempontjából érvényes hőmérsékletnek lehet tekinteni.

A fentiek alapján megvizsgáltak tíz különböző összetételű fénycső katódspirált, a hőmérsékletet az előbb leírt módon számítva. A spirálfelület hossztengelyére merőleges vetületét közelítő módon számolták ki, s mint-hogy egyforma spirálokat használtak, az összehasonlítás reálisnak volt tekint-hető. Az emisszió méréseket 10^{-8} — 10^{-4} A közötti tartományban végezték,

- W = tiszta wolfram spirál
 W_0 = wolfram spirál + MÜFI oxidmassza bevonat
 W_i = wolfram spirál + Izzó oxidmassza bevonat
 S = W , Mo porban diszpergált bárium-szilikát (szilikált impregnát)
 S_0 = W , Mo porban diszpergált bárium-szilikát (szilikált impregnát) + MÜFI oxidmassza bevonat
 S_i = wolframspirál + bárium-szilikát bevonat
 a = W , Mo porban diszpergált bárium-aluminát (aluminát impregnát)
 a_0 = W , Mo porban diszpergált bárium-aluminát (aluminát impregnát) + MÜFI oxidmassza bevonat
 $a\bar{a}$ = wolfram + bárium-aluminát bevonat
 \bar{a} = W , Mo porban diszpergált bárium-aluminát + bárium-aluminát bevonat

3. ábra. A különböző összetételű (fémszivacs) fénycsökátód spirálok jelölése

ahol ezek jól reprodukálhatók voltak. A katódok emisszióképességétől függően az egyes katódtípusokhoz a fenti áramoknál más-más katódhőmérséklet tartozott. Ezt a kilépési munka értékének összehasonlításánál átlagban

$$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T} = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ eV}$$

értékkel korrigálták. Az általuk kidolgozott katód, wolfram—molibdén ötvözet porában diszpergált aktív anyagból előállított, a katódspirál felületére hőkezeléssel szinterelt fémszivacszerű emittáló réteg volt. Aktív anyagként bárium-szilikátot és bárium-aluminátot alkalmaztak különböző összetételben és rétegződésben. A méréseket a 3. ábra szerinti diódának kiképzett kísérleti csőben végezték ultravákuumban. Az 1 mm körüli katód—anód távolság közel sík elrendezésűnek volt tekinthető.

A II. táblázat a felsorolt kísérleti katódspirálok kilépési munka értékeit tartalmazza.

A II. táblázatban feltüntetett értékek azt mutatják, hogy a kilépési munka alapján az egyes katódok jól minősíthetők. A wolfram spirálon mért kilépési munka pedig a mérési módszer helyességét bizonyítja, nagyon jó egyezéssel adván vissza a tiszta wolframnak az irodalomból jól ismert kilépési munka értékét (4,47 eV) [1].

II. Táblázat

A kísérleti fénycsökátódokon mért kilépési munka értéke

Tip.	$T^\circ K$	φ_T eV	Tip.	$T^\circ K$	φ_T eV	Tip.	$T^\circ K$	φ_T eV	Tip.	$T^\circ K$	φ_T eV
	átl.	átl.		átl.	átl.		átl.	átl.		átl.	átl.
W	1824	4,47	W ₀	654	1,37	W _i	719	1,80			
S	1081	2,69	S ₀	726	1,65	S _i	722	1,74			
a	1029	2,33	a ₀	620	1,53	a \bar{a}	868	2,10	\bar{a}	1057	2,30

III. Táblázat

Nagyobb darabszámú kísérleti cső átlageredményeinek összehasonlítása a normál előállítású karbonáttal készült csövek átlagával

	TW ₀ N			TW ₀ N/I			TW ₀ SZ		
	11 fénycső-katód átlaga			17 fénycső-katód átlaga			15 fénycső-katód átlaga		
	min.	átl.	max.	min.	átl.	max.	min.	átl.	max.
φ_T eV 1000°K	1,44	1,54	1,65	1,36	1,44	1,5	1,42	1,54	1,72
φ_T eV 600°K	1,35	1,40	1,45	1,23	1,29	1,36	1,3	1,37	1,49
$\frac{\Delta\varphi}{\Delta T}$ 10 ⁻⁴ eV/°K	1,92	3,6	5,5	2,3	3,8	5,4	2,45	4,4	6,5
φ_0 eV extr.	1,095	1,18	1,31	0,925	1,055	1,185	0,93	1,12	1,265
φ_0 eV Rich.	1,03	1,18	1,36	0,915	1,084	1,25	0,945	1,183	1,36

A fentiekén kívül a szerzők megmérték az általuk kidolgozott és továbbfejlesztett mérési módszer, illetve kísérleti eljárás segítségével a normál gyártásban használatos fénycső katódok néhány jelentős típusát.

Ezek jelölése a következő:

WoN = normál előállítású karbonát elegy

WoI + u.a. de könnyen aktiválható kevésbé tömör bevonatú elegy

WoSz = u.a. de különleges kicsapással készült órlés nélküli karbonát elegy.

A mérés alapját tiszta wolfram fonalra felvitt (2 Ba + 1 Sr + 2 Ca) összetételű karbonát elegy képezte.

Ezt a karbonát elegyet hasonlították össze ugyanolyan alapanyagú, de különböző módon előállított karbonát eleggyel.

A nagyobb darabszámú kísérleti csövön mért eredményeket a III. táblázat tartalmazza.

A III. táblázat első oszlopában közölt WoN jelű kísérlet — mint látható — jó egyezést mutat a hasonló összetételű Wo jelű kísérlettel, amelyet a szerzők a 2. táblázatban már közöltek.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők ezen a helyen tisztelettel emlékeznek meg néhai WINTER Ernő akadémikusról, aki a kísérleteket irányította. Továbbá köszönetet mondanak dr. GEREY Gyula, HAMMER Ferenc, MACZKÓ János, W. FEHÉR Ilona és CSORBA Sándorné munkatársaiknak, akik a kísérletek lebonyolításakor értékes segítséget nyújtottak.

IRODALOM

1. HERMANN, G.—WAGENER, S.: The Oxide-coated Cathod. Vol. II., Chapman et Hall LTD, 1951, p. 25
2. JANSEN, C. G. J.—LOOSJES, R.: *Philips Research Reports* (1953 IV.), p. 81
3. LANGMUIR: *Gen. Electr. Rew.* Vol. 30 (1927), 314, 354
4. FORSYTHE, W. E.—WORTHING, A. G.: The Properties of Tungsten and the Characteriotics of Tungsten Lamps. Table I-B, p. 8
5. VÁCZ, I.: Különböző adalékokkal gyártott volfrám katódok kilépési munkái. *MTA VI. Osz. Közl.* 25 (1960), 313
6. VÁCZ, I.—KERÉNYI, I.: Elektronikus (indulóáram) katódhőmérséklet-mérés. *VI. Osz. Közl.* 40 (1968), 152
7. WINTER, E.—VÁMBÉRI, L.—FISCHER, F.—TOMASCHEK, N.—KONCZ, I.—REDL, E.: *Vákuumtechnika II., Nehézipari Könyvkiadó, 1954, pp. 5—138—182—230.*
8. WINTER, E.: Nagy élettartamú oxidkatódok volfrám magfémmeel. *VI. Osz. Közl.* 25 (1960), 40

Qualification of Thermionic Cathodes. For qualification of thermal cathodes used in electron tubes and gas discharge tubes, the determination of the electron work function, based on the known Richardson method, was applied. The cathode temperature was calculated in the case of diodes from the slope of the initial current characteristic, and in the case of gas discharge tube cathodes, from the ratio of the hot and cold resistances of the coil. The mean temperature of the gas discharge lamp cathode was checked by determining the temperature distribution with an optical pyrometer. The mean temperature calculated in the above-mentioned manner was found to agree within 1% with maximum temperature measured on the coil.

Charakterisierung von thermionischen Kathoden. Die Mitteilung befaßt sich mit der Charakterisierung von thermischen Kathoden von Elektronenröhren, bzw. Leuchtstoffröhren. Bei der Charakterisierung wurde die Austrittarbeit der Elektronen anhand der Richardson-Methode bestimmt. Die Kathodentemperatur wurde im Falle einer Diode mittels der Anlaufstromsteilheit bestimmt, im Falle einer Leuchtstoffröhre wurde sie aus dem Verhältnis des warmen, bzw. kalten Widerstandes der Spirale berechnet. Die durchschnittliche Temperatur der Leuchtstoffröhrenkathode wurde mit optischen Pyrometermessungen geprüft. Es wurde festgestellt, daß die auf dieser Weise ermittelte mittlere Temperatur die maximale Temperatur der Spirale binnen 1% annähert.

JAVASLATOK A BETONTECHNIKA SZABÁLYOZÁS-RENDSZERÉNEK JAVÍTÁSÁRA, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A KAVICSBETONOKRA

CSUTOR JÁNOS*

[Beérkezett 1975. szeptember 30-án]

Azoknak az ellentmondásoknak a feloldása érdekében, amelyeket kimutathatunk akkor, ha a betonokat szabványos próbatestekkel minősítjük, a következő teendőkre van szükség. Ki kell alakítani a mérővibrátor konstrukcióját és ezt egységesen kezelhető műszerré kell fejleszteni. Ezután szabványosítani kell a mérővibrátort és tárgyalt tartozékait. A próbatestek készítésekor az eddig rendszeresen nem mért azokat a paramétereket is mérni kell, amelyek nélkül a frissen megkevert lazabeton feldolgozása korrekten nem szabályozható. Össze kell állítani azokat a táblázatokat, vagy nomogramokat — a betontervezésben eddig alkalmazott módszerekkel analóg módon — amelyek a próbatestek készítésekor fennállt, vagy az ezeken mért mérőszámoknak megfelelő viszonyokat a nagyobb valóságban is reprodukálhatóvá teszik. Meg kell változtatni a jelenleg érvényes szabványoknak azokat a részeit, amelyekből az előbbieken alapján az ellentmondások az elmélet és a gyakorlat között kiiktathatók. Össze kell foglalni azokat a (nagyon egyszerű) szabályokat, amelyek a vibrációtól eltérő más feldolgozási módok esetében is felhasználhatóvá teszik a mérővibrátoron készített próbatestek által szolgáltatott adatokat.

I. Bevezetés

Az elmúlt két évtized során a kutatások a betont, mint építőanyagot, egyre jobban ismertté és így egyre változatosabb formában felhasználhatóvá tették. A betonnak ezt a fejlődését joggal nevezhetjük ugrásszerűnek. Ezen nem változtat, hogy időközben sok új építőanyag és szerkezet is megjelent, és a beton néhány olyan területről, ahol eddig széleskörűen alkalmazták, kizszorulóban van. Ha a beton helyzetét az építőiparon belül objektíven mérlegeljük, akkor összefoglalóan a következőket mondhatjuk:

1.1 A beton felhasználási területe határozott körben stabilizálódik, miközben elmélete és gyakorlata fejlődést jelentő fázisokon megy át. Ezekről a stabilizálódó területekről valószínűleg a jövőben sem fogják más anyagok kiszorítani.

1.2 A stabilizálódó felhasználási terület miatt az elméletben és a gyakorlatban nyitott, s ezért ellentmondásokat szülő problémák megoldásának aktualitása nem csökkent.

* Dr. Csutor János, 1118—Budapest, Villányi út 65/A.

A következőkben a nyitott problémák közül a beton tömörítését és bedolgozását, egyszerűen: feldolgozását vizsgáljuk meg abból a szempontból, hogy ez a művelet milyen módon képvisel ellentmondást a beton- és vasbetontechnika elmélete és gyakorlata között. Noha vizsgálatunk a legelterjedtebb feldolgozási módra, a vibrálásra épül, igazolni fogjuk, hogy megállapításaink minden tömörítési, illetve feldolgozási módra általánosíthatók. Rámutatunk az ellentmondások feloldásának egy módjára, lehetőségére.

2. Az elmélettel megalapozott méretezés és a gyakorlat kapcsolata

A következőkben általában *vasbetont* mondunk, ha szerkezet tervezéséről és méretezéséről beszélünk. Ezen belül a *betont* a vasbeton olyan határ- esetének tekintjük, amelynél a tervezés és a méretezés egyes lépései elmaradnak. Ha tehát tetszőleges vasbetontárgyat kell készíteni előírt betonminőséggel és megadott terhelési viszonyokra, és ha feltételezzük, hogy ehhez minden számítási lépést kihagyások nélkül végrehajtunk, akkor a következő lépéssorrenddel állunk szemben:

2.1 Az előírt betonminőség igazolása

2.11 Ha az adalékfrakciók száma x_1 , a cement minőségi mérőszáma C , akkor az adalékfrakciók olyan $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{1n}$ súlyarány-sorozatát kell meghatározni, hogy ezek összegezésével a beton előírt B_{28} minőségi osztályának mérőszámát C_{\min} , tömör térfogategységre vonatkoztatott cementadagolással lehessen elérni.

2.12 A betonalkotók arányszámainak megfelelően összeállított keverékből x db próbatestet (az MSZ 4715 szerint: kockát) kell készíteni úgy, hogy $x \geq 3$ legyen.

2.13 A próbatesteket 28 napos korukban nyomóerővel addig kell terhelni, amíg a próbatest roncsolódik. Ha a roncsolást okozó erő P , és F a próbatest mértékadó nyomott felülete, akkor a két érték hányadosaként számított

$$\sigma_{bi} = \alpha \frac{P}{F} \quad (1)$$

feszültség a vizsgált keverékkel elérhető *próbatest-szilárdság egyedi értéke*. Az α együttható a próbatest geometriai méreteitől függ. Az $\alpha = 1$ érték a $20 \cdot 20 \cdot 20$ cm élhosszúságú próbakockára vonatkozik.

2.14 Az egyes próbatestek σ_{bi} adataiból meg kell határozni a

$$\bar{\sigma}_b = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \sigma_{bi}}{x} \quad (2)$$

számtani átlagot. (1) és (2) ismeretében a szórás

$$S = \sqrt{\frac{\sum(\sigma_{bi} - \bar{\sigma}_b)^2}{x - 1}}. \quad (3)$$

Ezzel az adott keverékkel elérhető *mértékadó próbatest-szilárdság* az MSZ 4715—61 szerint

$$K_{28} = \sigma_b = 1,15 \left(\bar{\sigma}_b - \frac{3\sqrt{x}}{x - 1} S \right). \quad (4)$$

(4)-ben a (2) szerinti számtani átlag a próbatestek kis száma miatt módosul. Ha

$$K_{28} \geq B_{28},$$

akkor a keverék összetétele megfelel. Ellenkező esetben az alkotók arányszámain korrekciót kell végrehajtani. Az arányszámok és K_{28} között függvénykapcsolatot lehet felírni, amelynek alapján felépíthető a *betontervezésnek* nevezett számítás-sorozat.*

2.2 A tárgy teherbíró képességének igazolása

2.21 A vasbetontárgy funkciójának és terhelésének ismeretében meg kell határozni geometriai méreteit, ezeken belül a vasalását. E méretezés közben feltételezzük, hogy a tárgy megszilárdult betonja kellően tömör és nyomószilárdsága legalább B_{28} . E méretezés egyes lépéseit szabályozó szokványok és szabványelőírások az egyes országokban formálisan eltérők, de fizikai alapjaik azonosak. Ennek igazolására megemlítjük, hogy (többek között) ilyen közös fizikai alap: a beton E_b rugalmassági modulusát minden szabvány a K_{28} érték függvényeként fogja fel, a keverővíz mennyiségének növekedését a B_{28} értéket csökkentő hatásnak tekinti stb.

2.22 A teljesség érdekében meg kell említenünk, hogy a méretezés során a geometriai méretek egyszer *képletekből adódnak ki*, máskor viszont *felvett méretek* megfelelő voltát kell ellenőrizni képletek felhasználásával.

3. Ellentmondás a méretezési számítások és a betontechnikai gyakorlat között

Az előbbi teljes lépéssorrend a gyakorlatban viszonylag ritkán fordul elő, mivel megelőző tevékenységekből rendszerint sok olyan adat áll rendelkezésre, amely némely lépés elhagyását lehetővé teszi. Azonban sem ez, sem a gyakorlott betontechnikusok munkájára sokszor jellemző és számításokat

* Az újabb szabványok a 28 napos átlagos szilárdság helyett, annak minősítési követelményeként az ún. minősítési értéket (2,3%-os küszöbértéket) írják elő.

nem alkalmazó sikeres becslések (amelyek szintén kihagyásosak az előbbi értelemben) sem változtatnak azon, hogy a leírt teljes lépéssorrend az elméleti alapja a mai betontechnikai gyakorlatnak. Elméleti összefüggések célszerű egymásutánja gyakorlati tevékenység bázisául akkor szolgálhat, ha ellentmondásmentes. A 2. pontban leírt teljes lépéssorrend nem ilyen. A nyitott problémák egyike, hogy sem a próbatetek, sem a készítendő tárgy betonjának feldolgozására nincsenek egységesen elfogadott (vagy előírt) szabályok. Ezért a méretezési elv és a gyakorlat között ellentmondás mutatható ki. Ez még akkor is igaz, ha állításunkat nem csupán a vibrációs betonfeldolgozási módra vonatkoztatjuk, valamint ha problémánkat a legújabb vasbeton-méretezési szabvány előírásainak fényében vizsgáljuk [13].

3.1 A próbatetek készítése során fennálló ellentmondás

Mielőtt a vibrációs betontömörítés általánosan elterjedt volna, a próbatetek tömörítésére (függetlenül attól, hogy magát a tárgyat később milyen módszerrel tömörítették), a következő szabványelőírás alakult ki és érvényes (MSZ 4715): G kp súlyú döngölő szerszámmal h cm magasról q ütéssel kell a próbatest betonját tömöríteni. Így az összes tömörítési munka

$$L_t = G \cdot h \cdot q \text{ [cmkp]}. \quad (5)$$

Ez a munka jól definiált, tehát könnyen reprodukálható. Hibája, hogy eltérő betonokhoz ugyanazt a munkát rendeli, holott eltérő betonok tömörítési munkaiigénye eltérő lehet. Mivel napjainkban a próbatetek (elönyszó kivétel-től eltekintve: mindig) laboratóriumi vibrátorasztalokon szokták készíteni, s ezek egyenként eltérő gépek, az (5) által megszabott követelményt nem lehet teljesíteni. A próbateteket azért készítik vibrátorasztalokon, mert

- igen nagy mennyiségben szükségesek és ezt kézi munkával nem lehet győzni,
- azonos betonkeverékből egyszerűen több próbatest készíthető azonos gépi paraméterek mellett,
- egyszerűen készített több próbatest adatai alapján megbízhatóbb statisztikai átlagot lehet képezni.

Mivel a munkát bármilyen tömörítővibrátor esetében sem lehet könnyen és pontosan számítani, ezért nem könnyű megfogalmazni a reprodukálhatóság kritériumait sem.

Ha a laboratóriumi vibrátorasztalt a cél érdekében tett egyszerűsítések mellett egytömөгű rezgőrendszerként vizsgáljuk, akkor a rendszer mozgásbentartásához szükséges összes munkavégzés [3], [5] periódusonként:

$$L_{\delta} = C_0 A_0 \pi \sin \varepsilon \text{ (cmkp)} \quad (6)$$

alakban írható fel. Itt

$C_0(\text{kp})$ = az egész rezgőrendszert mozgásban tartó erő.

Ha a gerjesztést gyorsan forgó excentrikus tömeg tehetetlenségi ereje adja, akkor ez a centrifugális erő.

$A_0(\text{cm})$ = az útamplitúdó

$\varepsilon (-)$ = a gerjesztőerő és a rezgésút közötti fázisszög.

(6) sokkal összetettebb, mint (5), mert implicit módon egyidejűleg a rezgés-számtól is függ. Mivel elkerülhetetlen, hogy (6)-ot legalább két komponensre fel ne bontsuk, összetettebb volta ezt a felbontást is megnehezíti. A felbontás kényszere (5) alapján nyilvánvaló, mert míg (5) csak a beton tömörítésére fordított munka, addig (6) a rezgőrendszer passzív részeinek mozgatásához szükséges munkát is magában foglalja. Vagyis

$$L_\delta = L_t + L_m, \quad (7)$$

ahol L_t a beton tényleges tömörítésére, L_m a rendszer mozgásban-tartására fordított munka. Ha a próbatetek készítéséhez a vibrátorasztalt szabványosítjuk, akkor (7)-ben L_m mindig közvetlenül ismert lehet. Ezáltal a reprodukálhatóság feltételeinek teljesítését számottevően leegyszerűsítjük. Látható tehát, hogy ismert és konstans L_m esetében L_t -t a legkülönbözőbb betonminőségekre is viszonylag egyszerűen meg lehet határozni és adott betonhoz hozzárendelni.

Fontos megjegyezni, hogy (akár szabványos vibrátorasztalról van szó, akár nem) ugyanannál a gépnél azonos súlyú aktív teher esetében L_m mindig konstans. Ezzel szemben L_t általában mindig változó, csak azonos összetételű, azonos súlyú frissbetonok esetében konstans. L_t hatására lényeges *állapotváltozás* jön létre: a lazabeton tömörre válik. Eltérő betonok belső ellenállása általában eltérő. Emiatt azonos tömörségi mérőszámhoz más-más munkavégzés tartozik. Ezért a próbatetek készítésekor L_t -t is meg kell állapítani. *Ez eddig — többek között — azért sem történt meg rendszerezett módon, mert a próbatetek készítéséhez használt vibrátorasztalok nem szabványosítottak, nem etalon-gépek.*

Ha (7)-et a teljesítmény és az idő szorzataként írjuk fel, akkor alakja a következő:

$$L_\delta = C_0 A_0 \pi \omega \sin \varepsilon \cdot t, \quad (8)$$

ahol

$\omega (\text{s}^{-1})$ = az excentrikus forgótömegekkel gerjesztett rezgések [szögsebessége. Más gerjesztési mód esetében a frekvencia, vagy azzal arányos szám.

$t (\text{s})$ = a próbatetek tömörítéséhez szükséges idő.

Ha a vibrátorasztal nem etalon-gép és L_m -et esetenként meg kell határozni, akkor (8)-ból L_t -t még hosszadalmasabb és ez okból nehezebb szeparálni.

Emiatt állt elő az a világszerte azonos helyzet, hogy a nem szabványos vibrátorasztalokon készített próbatestek szabványos vizsgálata alapján csak azt lehet eldönteni, hogy a keverékből a kívánt betonminőség előállítható-e, de a betontárgy tömörítésének szabályozásához kiindulási adatokat adni nem lehet.

Ez azt jelenti, hogy a tárgy készítésekor a próbatest tömörítésének fontos mozzanatai nem reprodukálhatók. Ez még inkább igaz akkor, ha a próbatest vasalt betontárgyhoz tartozik vagy a tárgyat a vibrálástól eltérő más módon, illetve a vibrátorasztaltól eltérő más eszközzel tömörítik. Minden bizonnyal ez az oka annak is, hogy a nagy betontechnikai szakirodalomban a betontervezés zárómondata szinte kivétel nélkül mindig feltételt szabó: „... ha egyebekben a keverék megfelelően tömörített.” Ha tehát „nem megfelelően tömörített”, akkor sem szilárdsága, sem rugalmassági modulusa, sem egyéb fontos tulajdonságai sem lehetnek azonosak a méretezéskor feltételezettekkel, esetleg számítottakkal. Hogy azonban a „megfelelő” tömörítés mi lenne, erre a kérdésre a különféle szabványokból eddig csak egymástól eltérő válaszokat lehetett kapni.

Ez a betontechnika első ellentmondása.

3.2. A vasbetontárgy készítésének gyakorlata és a szilárdsági összefüggések közötti ellentmondás

A vasbeton szilárdságtana ugyan eleve abból indul ki, hogy a beton nem homogén és izotróp e fogalmak klasszikus értelmében, a méretezéshez szükséges összefüggéseket mégis úgy vezeti le és használja, hogy a homogén és izotróp állapotokkal analóg állapotokat tételez fel. Ezt még a legújabb [13] szemlélet is átveszi. Erdedeti értelemben a beton *nem homogén*, mivel az adalékanyag és a megszilárdult kötőanyag (mint struktúra-komponens) eltérő fizikai tulajdonságú. Tárgyalt problémánk szempontjából viszont a szilárd beton homogén, ha tetszőleges koordinátákkal meghatározott térfogategységében az alkotóelemek mennyiségének aránya statisztikusan állandó. A mérőszámok statisztikus érvényén mindenütt azt értjük, hogy azok csak a szórással együtt korrektek, függetlenül attól, hogy a szórást feltüntetjük-e vagy sem.

A vasbetontárgyra nézve a szilárdsági mérőszámok *előre* feltételezik mind a K_{28} érték fennállását, mind ennek előfeltételeként a megfelelő tömörséget és homogenitást. A tárgyat viszont *utólag* készítjük komponens anyagok rendszeréből úgy, hogy a készítés során egy, a későbbi tulajdonságokat determináló művelet: a tömörítés (és a bedolgozás) nem szabályozott. Emiatt hiánytalan logikai érveléssel nem lehet azt utólag bizonyítani, hogy a tárgynak tetszőleges koordinátákkal meghatározott helyén fennállnak-e a számítás alkalmával feltételezett tulajdonságai.

Ezt tekinthetjük a mai betontechnika második ellentmondásának.

4. Az ellentmondás feloldásának módja

4.1. A próbatest szerepe a betontechnikában és a fajlagos tömörítési munka, mint anyagállandó

A próbatestnek itt is, mint minden olyan tudomány területén, amely a *nagyobb* méretű valóságot *kisebb* mintán tanulmányozza (aerodinamika, hidrodinamika) azt kell bizonyítani, hogy a mintán mért számokkal jellemzett tulajdonságok a nagyobb tárgyon (produktumon) is azonosak. A jelenlegi szabványelőírások értelmében a próbatestekkel két tényt kellene tudnunk igazolni:

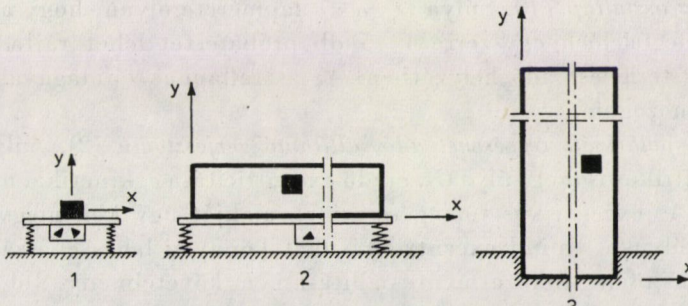
— azt, hogy a tervezett összetétel mellett *megfelelően* tömör beton állítható elő. Ezt az igazolást akadályozza a 3.1 alatt tárgyalt ellentmondás.

— Azt, hogy a megfelelő tömörség következtében a (2) szerinti nyomószilárdság az előírthoz képest elfogadható.

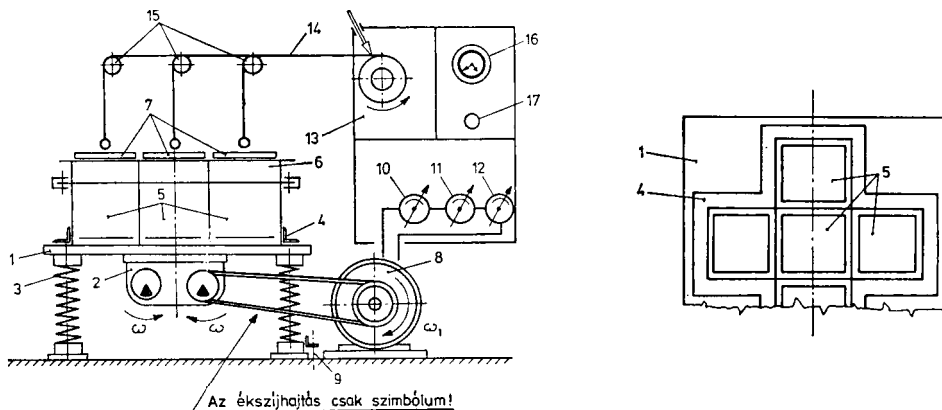
Azt a lényeges harmadik tényt, hogy mindez a nagyobb tárgy tetszőleges helyén is igaz, a 3.2 alatt tárgyalt ellentmondás miatt nem lehet a produktum elroncsolása nélkül igazolni. Ezt érzékelteti az 1. ábra. A próbatest tömörítéséhez képest (1. eset) a 2. esetben a tömörítőeszköz ugyan még vibrátorasztal, de paraméterei jelentősen eltérőek. A 3. esetben már a tömörítőeszköz is más kategóriájú, még inkább eltérő paraméterekkel.

A szerző bizonyította, hogy azonos betonokat azonos tömörségi mérőszámúvá azonos fajlagos munkamennyiséggel lehet és kell tömöríteni [2, 4]. Az ellentmondások feloldásának alapja tehát az, hogy ha mind a próbatest, mind a tárgy betonanyaga azonos, akkor nincsen fizikai ok, amely a fajlagos tömörítési munka megváltozását vonná maga után, illetve kényszerítené ki [15, 18, 22]. Azonos betonok esetében a fajlagos tömörítési munka független a tárgy geometriai méreteitől, a tárgy összetett vagy egyszerű alakjától, illetve a vasalás struktúrájától [2, 8].

A betontárgy alakja és méretei, illetve a vasalás struktúrája a bedolgozással szemben jelentenek változó ellenállásokat, nem a tömörődéssel szemben.



1. ábra. A próbatesten mért tulajdonságok és tetszőleges betontárgy tulajdonságainak ellentmondásához: 1 próbatest — 2 tömegcikk — 3 monolitikus betontárgy



2. ábra. Szabványosítható mérővibrátor; 1. asztallap, 2. polarizált rezgéseket adó gerjesztőmű, 3. rugók, 4. sablontámasz és rögzítőmű, 5. próbatest sablonok, 6. feltétszokrény, 7. süllyedés érzékelő, 8. hajtómotor hajtóművel és rezgésszámváltó, 9. állítócsavar, 10. ampermérő, 11. voltmérő, 12. cos φ -mérő, 13. írószerkezet, 14. írószerkezet közlőműje, 15. a közlőmű tartószerkezete, 16. másodperc-stopperóra, 17. kapcsológomb

Emiatt a fajlagos tömörítési munka anyagállandó, amely egyedül a beton összetételétől függ, a veszteségek nélkül. Itt veszteségnek számít minden más, nem közvetlenül a beton tömörítésére fordított munka. Éppen e veszteségek állandó értéke érdekében van szükség etalon vibrátorasztalra.

4.2. A szabványos mérővibrátor jellemzői

Témakörünkön belül laboratóriumi vibrátorasztalnak neveztük (jobb meghatározás híján) azt a tömörítőgépet, amellyel próbatesteket készítünk és a frissbeton minden fontos tulajdonságát mérjük. Javasoljuk, hogy ezt a gépet nevezzük *mérővibrátornak*. Mivel komplex műszer, mint ilyenek szabványosítottaknak kell lennie. A 2. ábra szerint a következő szerkezeti részekből áll:

4.21 *Az asztallap (1)*. Súlya G_a , $a \cdot a$ lapmérete olyan, hogy a vizsgálat igényeinek megfelelően egyszerre 1–5 db próbatestet lehet rajta készíteni, szimmetrikus terhelést adó helyzetben. Az asztallapnak önmagával párhuzamosan kell mozognia.

4.22 *A polarizált rezgéseket adó, állítható gerjesztőmű (2)*. Súlya G_g . Az osztott excentrikus tömeg súlya G_0 , eredő excentricitása e , kinetikai nyomatéka $M = G_0 \cdot e$. Az excentrikus tömeg részeinek alakját úgy kell megválasztani, hogy mind súlyukat, mind excentricitásukat könnyen lehessen számítani is. Az excentrikus tömeg fokozatmentes állítása nem követelmény. Jól elhatárolt 15°-os állítási lehetőség a gyakorlat igényeit kielégíti. Követelmény viszont a könnyen végrehajtható állítás.

Az ipari gyakorlattal igazolható, hogy a mérővibrátoron elegendő három rezgésszám: $n = 3-4,5-6000/\text{min}$. Ezek közé eső rezgésszámoknak ma nincsen gyakorlati jelentőségük. Ha szükség lenne $6000/\text{min}$ rezgésszámmal nagyobbra, akkor a mérővibrátornak több típusát kell szabványosítani, esetleg az építőszekrény elvén.

A hajtómotor változatlan teljesítménye mellett az $n = 3000/\text{min}$ rezgésszámhoz tartozhat a legnagyobb amplitúdó, amelynek a mérővibrátoron fellelhető legnagyobb értéke $A_0 = 2 \cdot 10^{-1}$ cm értéknél nagyobb nem kell legyen. Ezzel a választással az excentrikus gerjesztőtömeg G_0 súlya meghatározott.

4.23 *Négy, párhuzamosan kapcsolt támasztórugó* vagy ezek kapcsolt kombinációja (3). Ezeknek számottevő tömörítéstechnikai szerepük nincsen, mivel bizonyítható, hogy a mérővibrátor mint egytömegűnek tekinthető rezgőrendszer, jó közelítéssel az eredő rugóállandótól függetlenül mozog [2, 3]. A rezgőrendszer által megemésztett energia számszerű ellenőrzése szempontjából azonban a rugóknak mégis jól definiáltaknak kell lenniük [3]. Követelmény, hogy az asztallap a teljes terhelés alatt nem süllyedhet le nyugalmi középhelyzetében $f = 0,3-0,4$ cm nagyságrendnél jobban. Ebből és a teljes terhelésből a rugó méretei meghatározhatók.

4.24—4.25—4.26 *A próbatestsablonok (5), az ezeket támasztó és esetlegesen rögzítő szerkezetek (4) és a feltétszekrények (6)*. A sablonok vagy szabadon fekszenek az (1) asztallapon, vagy mereven hozzákapcsolhatók. Az első esetben a (4) támaszok a sablonokat az asztallappal azonos mozgásra kényszerítik, merev mechanikai kapcsolat révén. A (4) támaszok súlya G_r . Megjegyezzük, hogy az asztallaphoz mereven kapcsolt sablon — mint üzemi eset — világszerte nem tudott teret hódítani és térhódításának jelei sem láthatók. A sablon merev rögzítése a vibrátorasztalhoz egyre inkább csak az elméleti teljesség miatt és érdekében szerepel.

A frissen megkevert beton állapotai közötti különbségnek fontos mérőszáma a β tömörödési tényező [2, 4, 8]: eszerint a lazabeton térfogata β -szor nagyobb a tömörénél. A (6) feltétszekrények azt a célt szolgálják, hogy a sablonokba a próbatest H_t magasságánál β -szor magasabb anyagmennyiséget egyszerre lehessen betölteni és utántöltésre ne legyen szükség. Ez β ismeretét feltételezi, meghatározását az 5.1 pontban részletezzük. A feltétszekrények belső felületén célszerűen elhelyezett cm beosztás van. Noha (1), (2), (4), (5) és (6) a tömörítés folyamatában szorosan összetartozó elemek, a G_0 összes gerjesztett súly számértékében komponensként mindig csak azok szerepelnek közülük, amelyek ténylegesen elemei a gerjesztett rezgőrendszernek. Hogy adott mérések során melyek ezek, azt esetenként kell eldönteni.

4.27—4.28 *A hajtómotor és a hajtómű*. A hajtómotor teljesítményét az [5]-ben írt módon határozhatjuk meg és így a mérővibrátorhoz szabványos hajtómotort választhatunk. A 4.22-ben javasolt három rezgésszám megvaló-

sítása érdekében célszerű vagy a sebességváltó elvén, vagy más korszerű elven (pl. tirisztoros hajtás) működő hajtóművet iktatni a motor és az asztal közé. Az energiaátvitelnek olyannak kell lennie, hogy a motor fordulatszámát legfeljebb $\pm 1\%$ -os ingadozással származtassa át az asztalra.

Az a törekvés, hogy az előzőekben vázolt feltételek teljesüljenek, már korábban választ kért arra a kérdésre, hogy ugyanazon a vibrátorasztalon a fordulatszám-változtatás milyen következményekkel jár. Erről a következőket mondhatjuk:

Ha kikötjük, hogy a vibrátorasztal mindig azonos gép (lényeges paramétereiben változatlan), akkor ez azt jelenti, hogy $G_\delta = \text{konstans}$, tehát konstans a bemenő összteljesítmény is, a már stacionárius üzemállapotban, ismert statisztikai ingadozásokkal. Az összteljesítmény konstans voltából következik, hogy (8) alapján

$$N = \frac{C_0 A_0 \omega \sin \varepsilon}{2} = \text{konstans} . \quad (9)$$

Helyettesítsük ebbe az összefüggésbe az $M = G_0 \cdot e$ relációnak megfelelő kinetikai nyomatékot, akkor áll, hogy

$$C_0 = \frac{M}{g} \omega^2 \quad \text{és} \quad A_0 = \frac{M}{G_\delta} .$$

Emiatt

$$N = \frac{M^2 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}{2gG_\delta} = \text{konstans} . \quad (10)$$

Ha ugyanazt a vibrátorasztalt

$$\omega_i = x \cdot \omega \quad (11)$$

szögsebességgel úgy gerjesztjük, hogy (9) érvénye fennálljon, és $x \cong 1$, akkor (10) a következő alakú lesz:

$$N = \frac{M_i^2 \cdot x^3 \cdot \omega^3 \sin \varepsilon}{2gG_\delta} = \text{konstans} , \quad (12)$$

ahol M_i a módosított kinetikai nyomaték. Innen

$$M_i = \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} . \quad (13)$$

Ha a gerjesztés olyan, hogy egy-egy tengelycsonkon két, azonos súlyúnak és excentricitásúnak tekinthető, gerjesztőtömeg van, vagyis, ha

$$G_{01} = G_{02} = \dots = G_{02n} \quad \text{és} \quad e_1 = e_2 = \dots = e_{2n} = e_{\max} = e ,$$

akkor a kinetikai nyomaték

$$M = e \sum_{i=1}^{i=2n} G_{0j} . \quad (13)$$

Ha a szabályozóállítás két, egymáshoz tartozó gerjesztő résztömegnek ψ szög-gel való elforgatása révén lehetséges, akkor az excentricitás változott értéke

$$e_i = e \cdot \cos \psi/2 .$$

Mivel

$$\sum_{i=1}^{i=2n} G_{0j} = G_0 = \text{konstans} , \quad (15)$$

azért (13) más alakja

$$G_0 \cdot e \cdot \cos \psi/2 = \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} ,$$

ahonnan az elforgatás szükséges szöge

$$\cos \psi/2 = \frac{1}{G_0 \cdot e} \sqrt{\frac{N \cdot 2g \cdot G_\delta}{x^3 \cdot \omega^3 \cdot \sin \varepsilon}} . \quad (16)$$

4.29—4.10—4.21 *Amper-, volt- és $\cos \varphi$ mérőműszerek* célszerűbbek, mint egy db Wattmérő, mert lehetővé teszik a betáplált energia komponenseinek a mérését is. Ebbe a műszercsoportba kell tartozzék a rezgésszám-számláló és az amplitúdó-mérő műszer is, (9), (10), (11).

4.212—4.213—4.214 *Az elegyengetett lazabeton felszínének süllyedését regisztráló műszer.* (14) az írószerkezet, (13) a támasztó- és közlőszerv, (12) a közvetlen érzékelőelem.

4.215—4.216 *A beépített stopperóra* (15), *valamint a* (16) *kapcsológomb(ok).* Ezekről részletesen szólni felesleges, de velük összefüggésben meg kell említenünk, hogy a mérővibrátor valamennyi, a 4.21 alatt tárgyalt szerkezeti része egyesíthető egységes, a laboratóriumi munkát egyszerűsítő és egzakttá tevő gépkonstrukcióba.

Az előzőekben részletesen leírt *mérővibrátor* szabványos és mindig ismertnek feltételezhető gépi paraméterei lehetővé teszik, hogy a betáplált energiát a próbatestek készítése alkalmával két, illetve három részre felbontsuk, elfogadható megbízhatósággal és reprodukálható módon. Ez lehetővé teszi, hogy rendszerezetten mérhessük a betonnak néhány olyan paraméterét is (β , γ), amelyeket eddig rendszerezetten nem mértek, amelyek nélkül azonban a beton feldolgozása, ill. tömörítése korrekten nem tárgyalható. A szabványos mérővibrátor — bizonyos értelemben — az eddigi szabványos döngőtő-, ill. csömöszőlőszerszám helyébe lép, azzal a lényeges különbséggel, hogy az eltérő beto-

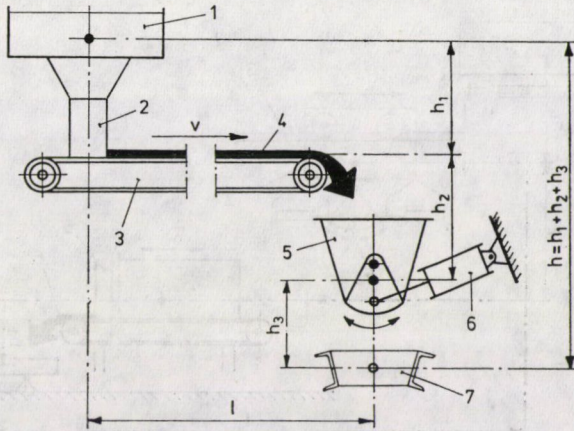
nok által megkövetelt eltérő feldolgozási munkát szabályozott módon teszi a betonnal közölhetővé. Mindezzel alapja annak is, hogy a szabványokban kimutatható ellentmondásokat kiküszöböljük.

5. Mérések a szabványos mérővibrátoron

Amikor a mérővibrátor a 2. pontban leírt teljes méretezési lépéssorrendbe belép, feltételezzük, hogy a megelőző lépések eredményeként rendelkezésünkre álló összetételi arányszámok általánosan elfogadott és bevált betontervezési eljárás eredményei. Ezért itt ki kell emelnünk, hogy a mérővibrátorral végrehajtott mérések (és az ezekre épülő további következtetések) szempontjából *közömbös*, hogy az összetételi arányszámokat az előre megadott és követelménynek számító B_{28} minőségi osztályhoz *milyen szilárdság-előrebecslő képlet* vagy erre épülő betontervezési elmélet alapján határozták meg. A betonalkotók (a keverés előtt) mindig mint konkrét arányszámok jelennek meg. Ezeknek a tömörítés (= feldolgozás) szempontjából vett függetlenségét bizonyítja az is, hogy minden betonnak van laza állapota, tömörödési tényezője, legkisebb fajlagos térfogata és ehhez hozzárendelhető legnagyobb K_{28} szilárdsága stb.

5.1. A β tömörödési tényező és mérése általában

A β tömörödési tényező definíciója kiköti [2], hogy a laza betontérfogatot a keverőgépben kell mérni akkor, amikor a keverés révén a betonalkotók a 3.2 pontban definiált homogenitású frissbetonná álltak össze. Ez a tényező kapcsolja ugyanis egybe a frissbeton állapotváltozásának kezdetét és végét. A gyakorlati esetek túlnyomó többségében azonban a frissen megkevert beton addig, amíg a keverőgépből a sablon- vagy zsalutérbe jut, állapotváltozásokon megy keresztül [2, 4, 7, 8]. Ezek következtében a sablon- vagy zsalutérben mérhető tömörödési tényező a keverőgépben mérthez képest vagy *növekszik* (= a lazabeton tovább fellazul), vagy *csökken* (= a lazabeton némileg tömörödik), vagy *változatlan marad*. Voltak és vannak olyan vélemények, amelyek szerint az állapotváltozásnak e lehetőségei miatt minden, a β -ra épített számolás pontatlan, különösen, ha megfontoljuk, hogy a közönséges kavicsbetonoknál felső határértéke 1,5 körül van és így 0,5-nak, mint mérőszámi intervallumnak a betonok összes kategóriáját fel kell ölelnie. A β értékingadozásából eredt bizonytalanság azonban semmiképpen sem akkora, hogy e mérőszámot elvessük. A tömörödési tényező ugyanis valóságos állapotváltozást tükröz, illetve mér. Nem egy fizikai jelenséget ismerünk, amelynek alakulásában kis intervallumban mozgó számérték jelentős szerepet játszik (pl. a fáziszög az elektromosságban vagy a szlip az aszinkron elektromotorok műkö-

3. ábra. β növekedhet és változatlan maradhat

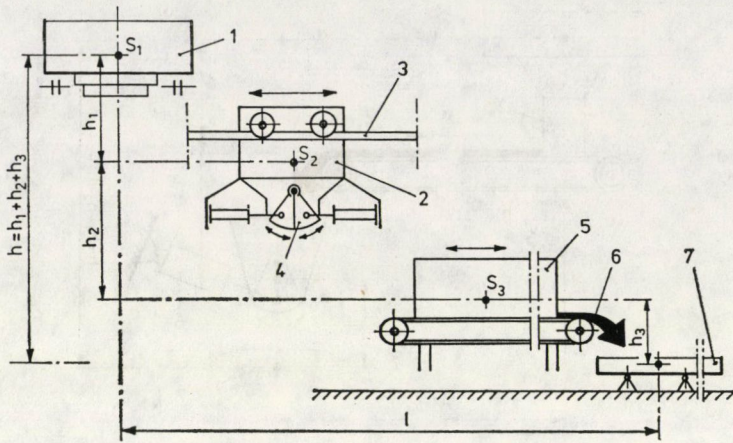
dési elvében). Ezeket a mennyiségeket nem lehet a korrekt tárgyalásból vagy az erre épülő szabályozásból kis értéktartományuk miatt kiiktatni. A β tömörödési tényező esetében is sokkal inkább arra kell törekedni, hogy az érték-ingadozást elfogadható mértékűre korlátozzuk és β -t üzemszabályozási célokra alkalmassá tegyük.

A [2]-ben kifejtett elmélet bírálói között voltak, akik hiányolták, hogy nincsen egyértelmű utalás benne arra: hogyan kell és lehet a keverőgépben β -t mérni. Nem igényel különösebb bizonyítást, hogy a keverőgép dobjának az a szabad térfogata (a keverőmechanizmusok térfogata nélkül), amelyet ismert mennyiségű komponensekből kevert lazabeton foglal el, még üzemi körülmények között is egyszerűen mérhető. A keverőgép tényleges befogadóképességének megfelelő laza adagot ismert térfogatú sablon(ok)ba bedolgozva a laza és a tömör állapot hányadosa számítható. A lazabeton és ezzel β változására, illetve e változásnak mérőszámmal való jellemzésére vizsgáljuk meg két, gyakorlatilag lehetséges és következtetéseink szempontjából általánosítható esetét.

5.11 *A lazabeton tovább lazul vagy állapota változatlan marad*, 3. ábra. Az (1) keverőgépből a lazabeton a (2) zárszerkezettel ellátott garaton keresztül a (3) vízszintes szállítószalagra jut, amelynek hevedere v sebességgel halad. A (3) szállítószalagon kialakuló (4) betonréteg a (6) zárszerkezetet hordozó (5) adagolótartályba, majd innen a (7) sablonba jut. Jelentse h_1 , h_2 és h_3 az egyes betontérfogatok súlypontjainak távolságát, akkor az állapotváltozás során β -t csökkentő teljesítmény, ha a mozgatótt betonsúly G_b :

$$N_1 = G_b(v_1 + v_2 + v_3). \quad (9)$$

Itt rendre $v_1 = \sqrt{2gh_1}, \dots$

4. ábra. β a sablonig csak csökken

A β -t növelő teljesítmény pedig

$$N_2 = G_b \cdot v. \quad (10)$$

A kezdő és végállapot szempontjából az állapotváltozás akkor indifferens, ha

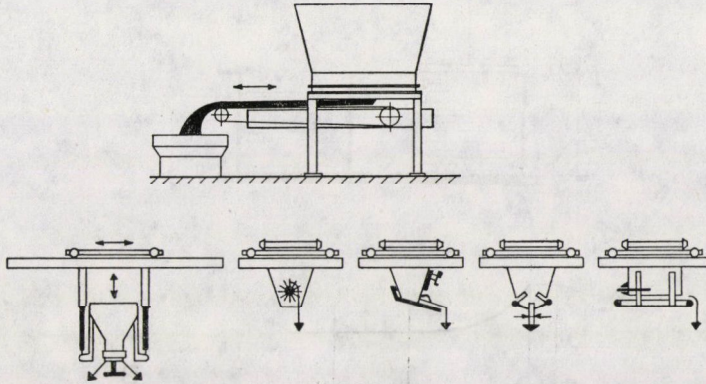
$$N_1 = N_2.$$

A számszerű értékeket az is befolyásolja, hogy a zárszerkezetek milyen sebességgel mekkora átömlő-keresztmetszeteket tesznek szabaddá. Itt azonban nem célunk a gépészeti részleteket ilyen mélységig elemezni, csupán utalunk erre a tényezőre.

5.12 *A lazabeton némileg tömörödik*, 4. ábra. A keverőgéptől a sablonig a beton útja lehet olyan, hogy a keverőgépben fennállt és mért állapothoz képest csak tömörödéstről beszélhetünk. A beton az (1) keverőgépből a (3) sín-pályán mozgó (2) szállítótartályba és innen a (6) sablonba hullik. A keverőgéptől a sablonig a betont tömörítő teljesítmény ez esetben is (9), de l viszonylag nagy az 5.11 alatt tárgyalt esethez képest. Az adagolótartály zárszerkezetének konstrukciója β -t rendszerint már nem befolyásolja mivel h_3 relatíve kicsi.

Noha gépészeti részhatásokat most sem elemeztünk, kétségtelen, hogy a keverőgépben egyszer megbízhatóan mért β -nak a sablonig lezajló változásaira minden konkrét esetben megbízhatóan következtethetünk. Ezt az állításunkat az 5. ábrán látható további, a gyakorlatból vett adagolási módok szimbólumaival is igazoljuk. Valamennyi feltüntetett adagolási módot visszavezethetjük az 5.11 és 5.12 alatt tárgyalt esetekre.

A problémakörnek ezt a részét azért kellett részletesen vizsgálnunk, mert a próbatetek készítése során (kivételem nélkül mindig, tehát a mérővibrá-



5. ábra. Lazabetont adagoló berendezések szimbóluma

toron is) a frissbetont kézi lapáttal (kanállal) kell a sablonba berakni. Eközben — lehetőség szerint — meg kell őrizni azt a lazabeton állapotot, amely a keverőgépben eredetileg fennállt. A sablontöltésnek erre az esetére mérőszámokkal mérhető módszert az MSZ 4715 szabvány nem ad, csupán hangsúlyozza, hogy az adagolást *óvatosan* kell végrehajtani. Kétségtelen, hogy kellő óvatosság mellett a próbatestsablont meg lehet úgy tölteni, hogy ez a lazabeton fennálló állapotán érdemben nem változtat.

S ha esetenként azt is ellenőrizzük, hogy a lazabeton állapota a mérővibrátor használatakor hogyan változott a keverőgéptől a sablonig, akkor láthatjuk, hogy β nem rosszabb elméleti eszköz, mint sok betontechnikai szemipirikus függvénykapcsolat vagy szilárdság-előrebecslő képlet.

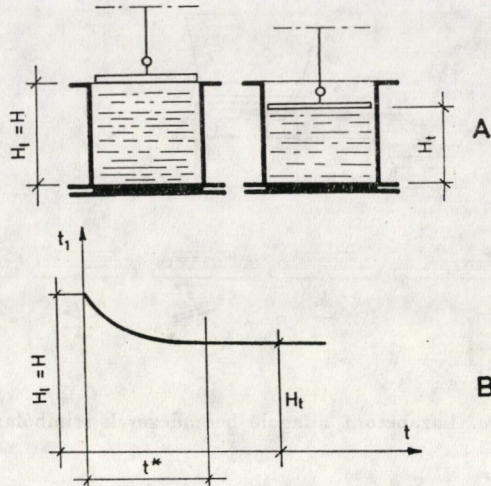
5.2. A β mérése a mérővibrátoron

A β mérőszámának megállapításához megszilárdult, kész próbatestekre nincsen szükség, ezért a mérés kevés betont igényel. A mérés (a 2. ábra jelöléseit használva) a következőképpen történik:

A (6) feltétszokrányokra nincsen szükség. A sablonokat megtöltjük lazabetonnal, tetejüket acélvonalzóval lehúzzuk. Az így elegyengetett betonfelületre rátesszük a regisztrálóműszer (12) érzékelőlapjait és a (16) indítógombbal indítjuk a mérővibrátort. A 6. ábra a kezdeti és a végállapotot, valamint a regisztrátum jellegét mutatja.

5.21 A β tömörödési tényező (6.A ábra). Ha a próbatest szabványos magassága H , akkor $H_i = H =$ konstans és az egyszerre mért x számú H_{ti} adatból

$$\beta = \frac{H \sum_{i=1}^{i=x} \frac{1}{H_{ti}}}{x} \quad (11)$$

6. ábra. β méréséhez

5.22 A mérhető térfogatváltozáshoz tartozó t^+ idő (6.B ábra). A bekövetkező állapotváltozásról felvett regisztrátum nagyon fontos mellékeredményként szolgáltatja a t^+ időt, amely a mérhető térfogatváltozás időtartama. Ehhez még nem szükségszerűen tartozik a maximális betonszilárdság, de

a) t^+ -on túl tetszőleges ideig tartó tömörítéssel sem lehet a frissbeton térfogatát tovább csökkenteni,

b) azonos betonok és azonos tömörítési teljesítmények esetében statisztikusan konstans anyagjellemző.

A mért x számú t_i^+ adatból

$$t^+ = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} t_i}{x} \quad (12)$$

A $h = h(t)$ függvény tételes ismeretére nincsen szükség [8], csak a kezdeti és a végállapot ismerete lényeges.

5.3 $A p_d$ dinamikai nyomás meghatározása

A p_d dinamikai nyomás a beton tömörítéséhez szükséges fajlagos munka, amely a beton összetétele által determinált anyagjellemző. A tömörség növekedése arányos a lazabetonba táplált munkával, K_{28} pedig a tömörséggel arányosan növekszik. A tömörségnek van túl nem léphető felső határa, amelyhez K_{28} tartozik. A tömörség egyidejűleg függ az összetételtől és a tömörítési munka mennyiségétől, K_{28} pedig az összetételtől és a tömörségtől. A mérővibrátoron tömörített próbatestek tömörsége és ezzel szilárdsága a tömörítési

idő függvénye. Mivel K_{28} adott összetétellel elérhető maximum, eléréséhez konkrét időtartam, tehát konkrétan meghatározott munka kell. Az állapotváltozásnak éppen K_{28} -at adó időpontját *csak fokozatos közelítéssel* lehet meghatározni. Ha K_{28} -at t ideig tartó tömörítéssel lehet elérni (K_{28} és t kölcsönösen egymáshoz rendelt), akkor minden $t_q > t$ ideig tartó tömörítés felesleges és káros [2]. K_{28} ugyanis az előbbieik értelmében olyan térbeli struktúra eredménye, amely $t_q > t$ idő alatt *csak* úgy változhat, hogy *nem nőhet*. Ha tehát

$$(t^+ = t_1) < t_2 < \dots t_j \dots < t < \dots t_q \dots$$

időtartamokkal próbatesteket készítünk a mérővibrátoron, akkor

$$\bar{\sigma}_{bj} = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \bar{\sigma}_{bj}(t)}{x} \quad (13)$$

a t_j -hez tartozó x db próbatest átlagszilárdsága. Az adott keverékkel a legrövidebb idő alatt (= a legkevesebb munkával) elérhető maximális szilárdság

$$\sigma_b = \frac{\sum_{i=1}^{i=x} \sigma_b(t)}{x}, \quad (14)$$

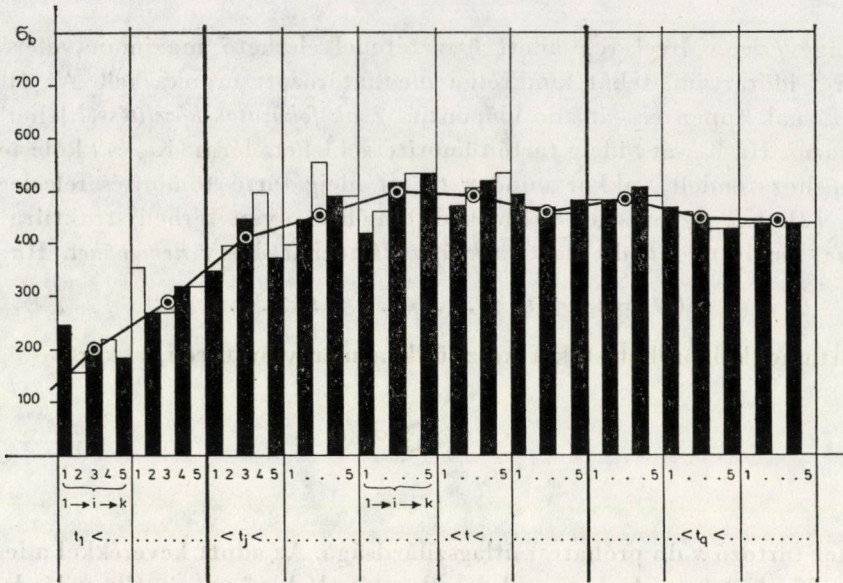
s ez azonos betonokra nézve anyagjellemző.

5.31 A 7. ábrán feltüntetett eset a (13) és (14) szerinti mérés eredményének a jellegképe. Hogy a jellegkép valóságos viszonyokat tükröz, azt [15]-tel lehet bizonyítani. Feltételek: az adalékanyag maximális szemnagysága, a cementadagolás és a vízcementtényező konstans. Egyidejűleg v/c az az optimum, amely (az arányszámokat adó számítás eredményeként) az adott cementadagolás és a szemszerkezet mellett a lehetséges $\sigma_{b \max} = K_{28}$ értéket adja. A t -hez tartozó x db próbatest egyedi nyomószilárdsága alapján K_{28} mértékadó értéke (4) szerint számítható. Ha K_{28} -at pontosabb szórásértékkel kellene meghatározni, az x darabszámot növelni lehet úgy, hogy a kiszűrt t -vel a próbatestek készítését megismételjük.

5.32 Ha a mérés volumenét növeljük, akkor kiszűrhetjük az optimális v/c értéket is oly módon, hogy egy minimumot jelentő v/c értékből kiindulva ezt a maximumig növeljük, miközben természetesen a többi paraméter konstans. A minimum és a maximum itt a tömöríthetőség alsó és felső határát jelenti [2, 14].

5.33 Hogy t kiszűrése hány (egyszerre készített) próbatest-csoportot igényel, vagyis milyen nagy a mérés lépcsőit és ezzel a kapott eredmények megbízhatóságát befolyásoló

$$t_j - t_{j-1}$$



7. ábra. $\sigma_b = k_{28}$ és t egymáshozrendelése $t_q > 1$ ideig az oldott keveréket felesleges tömöríteni

időköz, azt esetenként kell eldönteni. Természetes, hogy a próbatestek darabszámát igyekezzünk a minimumra korlátozni, ez a törekvés azonban nem mehet a megbízhatóság rovására. Ha pl. a vizsgált próbatest-sorozat *utolsó* tagja szolgáltatja az addig mért legnagyobb szilárdságot, akkor a sortatot folytatni kell, mert másképpen nem lehet eldönteni, hogy ez a maximum az abszolút maximum-e. A sortatot tehát úgy kell készíteni, hogy t környezete a 7. ábra szerinti függvénynek mind az emelkedő, mind a nem változó (esetleg csökkenő) szakaszán vizsgálható legyen.

5.34 Ha pl. a próbatestek sablonjai szabadon felfekszenek a vibrátorasztalon, akkor erre az esetre a dinamikai nyomás képlete [2, 8, 14]

$$p_d = \frac{\gamma v_0 t}{\beta - 1} \quad (15)$$

Ha mérővibrátor szabványos, v_0 mint gépi paraméter mértékadó értéke számítható, mivel v_0 -t a teljesített munkának a géphez kötött komponenseként foghatjuk fel [2, 3, 15]. A többi paraméter — amint megmutattuk — megbízhatóan mérhető. Emiatt p_d is megbízható alappá válik *tetszőleges* betontárgy *tetszőleges* eszközzel végzett tömörítéséhez (tágabban: *tetszőleges* betontárgy betonjának feldolgozásához), más szóval: e folyamat során a próbatest készítésekor fennállt viszonyok reprodukálásához.

Feltételezve ugyanis, hogy p_d , β és γ adott betonra nézve ismert, a mindenkor üzem mód dinamikai nyomásegyenletéből szeparálható a

$$v_0 t = v_0 t(p_d, \beta, \gamma) \quad (16)$$

szorzat, amely az az úthossz-összeg, amelyiken a feldolgozott betonmennyiség a feldolgozás során mozgott.

(16)-ból kitűnik, hogy a vibrációs betontömörítés során a v_0 sebesség-amplitúdó (mint a gépi paramétereknek ebben a fizikai mennyiségben szerepet játszó reprezentánsa) és a t idő azonos hatások kiváltása során kölcsönös függőkapcsolatban van: az egyik növekedése a másik szükségszerű csökkenésével jár és viszont. A betontechnikán belül az ilyen jellegű összefüggés (16) bal oldalán *önkéntes választást tesz lehetővé*, kikötve, hogy a szorzattényezőknek a gyakorlatilag reális szélső határokon belül kell maradniuk. A szabad értékválasztást ez tudományosan is megalapozottá teszi.

Ha (16)-ban v_0 -t láncszerűen helyettesítjük az egyéb rezgésparaméterekkel, akkor a következő egyenletláncba jutunk:

$$v_0 t = \underset{1.}{A_0} \underset{2.}{\omega} t = \frac{M}{G_\delta} \underset{3.}{\omega} t = \frac{G_0 \cdot e}{G_\delta} \underset{4.}{\omega} t = \frac{C_0 \cdot g}{G_\delta \omega} \cdot t = \left[\frac{P_d(\beta - 1)}{\gamma} = \text{konstans} \right] \quad (17)$$

Ha t -t és ω -t célszerűen megválasztjuk, akkor a tömörítőeszköz paramétereit kiszámíthatjuk. Ha (17) hatodik tagjában esetenként az öt alapvető vibrációs üzemmód közül [2] a megfelelőből fejezzük ki a $v_0 t$ -nek megfelelő számot, akkor a tömörítőeszköz tervezéséhez határozhatjuk meg a szükséges paramétereket [2, 8, 15].

A tárgyalt energetikai elmélet kialakulása előtt a vibrációs betontömörítés szabályozását azzal lehetett közös érvénnyel jellemezni, hogy ezek (17)-nek 1.—5. relációi valamelyikében rögzítették az egyik paramétert. Ennek az eljárásnak (mint elméletbázisnak) néhány példája:

- adott összetételhez az útamplitúdó egy optima tartozik,
- adott betonösszetételhez a rezgésszám egy optima tartozik,
- adott betonösszetételhez a gyorsulás egy optima tartozik stb.

Könnyen kimutatható [2], hogy egy-egy paraméter ilyen önkényes rögzítése azért nem vezethet általánosítható eredményhez, mert ha (17)-ben egyetlen paramétert a 6. lánctag nélkül rögzítünk, akkor a többi csupán a matematikai algoritmus pusztán működése révén válik határozottá anélkül, hogy a valósággal kapcsolatot tartana. A paraméterek kölcsönhatásait és korlátait tárgyalták a [17—23] forrásmunkák.

6. Vashetontárgyak betonjának feldolgozása és a feldolgozás szabályozásához szükséges adatok

Az eddigiek összefoglalásaként elmondhatjuk, hogy a tárgyalt mérésekkel megállapított adatok rendszere olyan alapot jelent, amely a próbatestek készítésekor (= tömörítésekor) fennállt viszonyokat mind a tömegcikknek számító, mind a monolitikus tárgyak betonjának feldolgozásakor reprodukálhatóvá teszi.

Ha az elméletünk érvényét a vasalt betonok területére is ki akarjuk terjeszteni, akkor nem kerülhetjük el, hogy a feldolgozás során lezajló állapotváltozást összetevőire fel ne bontsuk a következők szerint.

6.1 *A tömörítés és a bedolgozás közötti különbség.* A tömörítés tényleges térfogatesökkenéssel együttjáró tényleges *sűrűség-növekedés*. A *bedolgozás* az az állapotváltozás, amely során az amorf lazabeton a sablonteret (= zsaluteret) hiánytalanul kitölti és konkrét geometriai alakúvá szilárdul. Ez az állapotváltozás azonban nem jár sűrűség-növekedéssel.

6.2 A tömörítést és a bedolgozást ugyan időbelileg nem lehet szétválasztani, energiaigényüket azonban jól meg lehet különböztetni egymástól, energiaigényük szétválasztható.

6.3 *Az energiaigény szétválasztásának módja.* Vasalatlan betontárgyak esetében a formázóeszköz (sablon, zsaluzat) megtöltése akadálymentes. Vasalt betontárgyak esetében azonban a lazabetonnak egy (rendszerint nem elhanyagolható) hányada fennakad a vasalás struktúráján. Ezt a jelenséget és ennek alapján a folyamat felbontását összetevőire (mind egyszerűbb, mind összetettebb geometriai alakú betontárgyak esetében) a 8. ábra szimbolizálja. Az ábrán feltüntetett adagolás utáni állapotok függetlenek az adagolás módjától [16].

A 8. ábra érzékelteti, hogy a vasalatlan beton tömörítése (az esetek döntő többségében) egyidejűleg a bedolgozással is egyenértékű. A dinamikai nyomás mérőszáma tehát mindkét folyamatkomponens energiaigényét méri. Ha a betontárgy vasalt, akkor az állapotváltozás komponenseinek előbbi megkülönböztetése lehetővé teszi a teljes energiaigényt az

$$N = N_1 + N_2 + N_3 \text{ (cmkps}^{-1}\text{)} \quad (18)$$

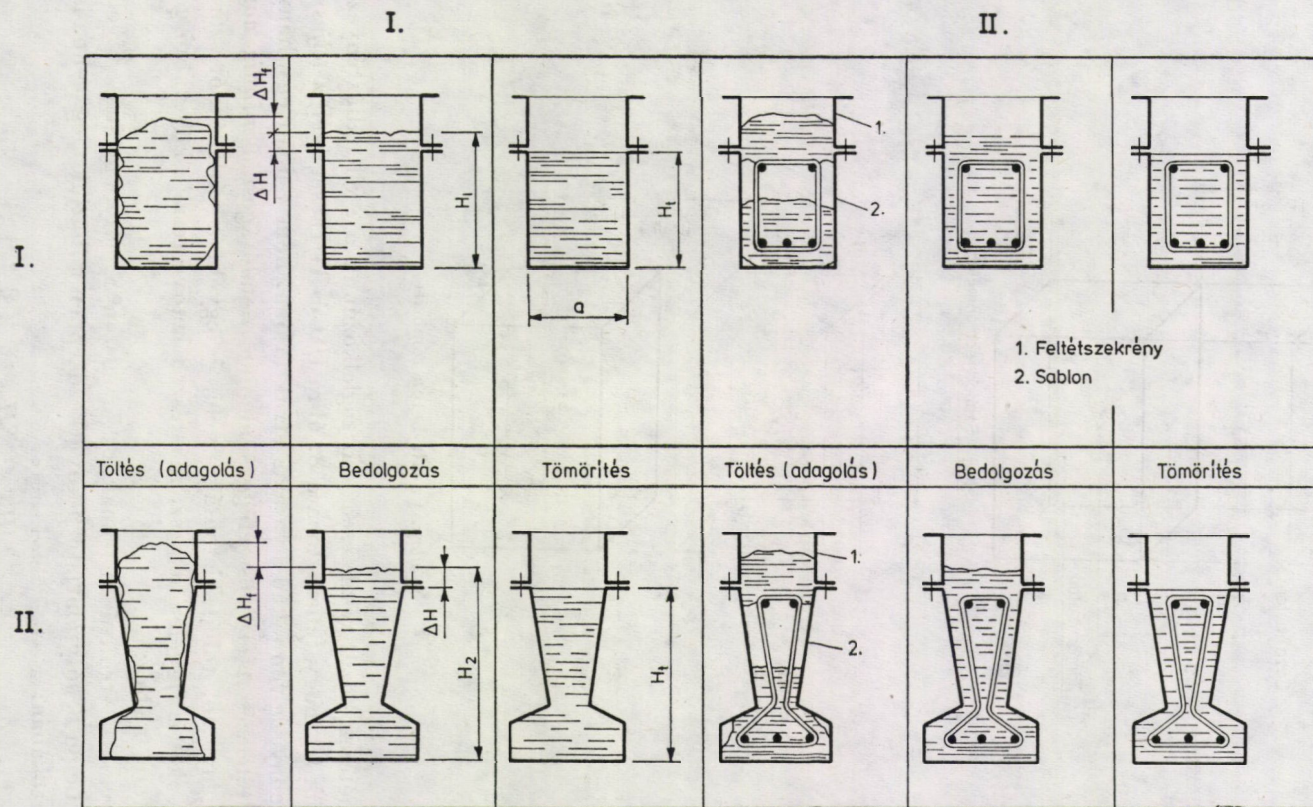
teljesítményösszeg formájában zárt képlettel kifejezni. Itt N_1 a tömörítés, N_2 a bedolgozás, N_3 pedig a rezgőrendszer passzív tömegeinek mozgásbántartásához szükséges teljesítménykomponens [8].

A most tárgyalt mérés célja a bedolgozás szabályozásához szükséges paraméterek meghatározása, tehát N_2 a kitüntetett teljesítménykomponens. Részletesen igazolható, hogy a bedolgozás munkaigénye [8]:

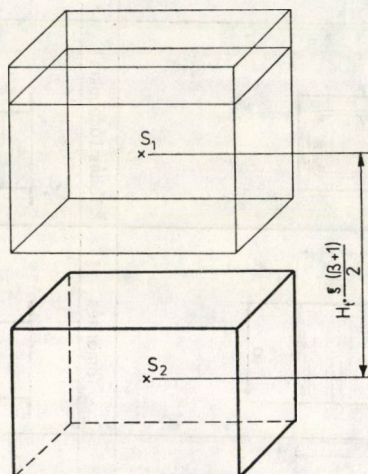
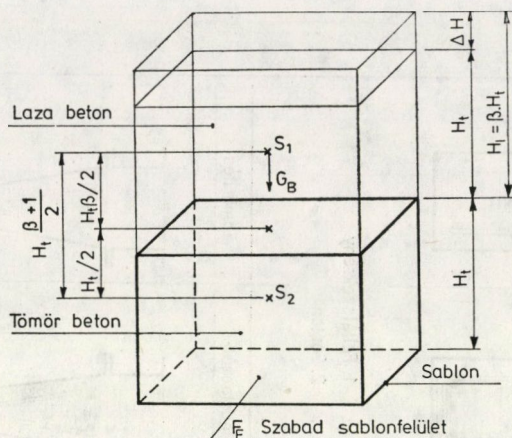
$$L_2 = N_2 t = \gamma V_t H_t \frac{\xi(\beta + 1)}{2} \text{ (cmkp)} \quad (19)$$

ahol

t (s)	= a tömörítési idő
γ (kpc m^{-3})	= a beton térfogatsúlya
V_t (cm 3)	= a tömör betontérfogat
H_t (cm)	= a tömör betontérfogat magassági mérete
β (-)	= a tömörítési tényező
ξ (-)	= az ellenállástényező



8. ábra. Különbségek a lazabeton állapotváltozásainak egyes fázisai között



9. ábra. Vasalt beton tömörítése

E paraméterek közül részletesen kell foglalkoznunk a ξ ellenállástényezővel. Tételezzük fel, hogy (ellentétben a 8. ábra I/II és II/II eseteivel) a teljes laza-beton-mennyiség fennakad a vasalás struktúráján, nem csupán egy hányada. Ez a feltételezés a (19) összefüggés alapján a valóságosnál mindig nagyobb energiaigényt ad, tehát biztonságnövelő, és egyéb, a súrlódásból származó ellenállásokat is figyelembe vesz, másrészt lehetővé teszi a következő gondolatmenetet, 9. ábra:

A vasalás struktúrán fennakadt lazabeton S_2 súlypontjának távolságát a tömör beton S_1 súlypontjától a következőképpen adhatjuk meg, csupa ismert adat birtokában:

$$\overline{S_1 S_2} = \frac{H_t}{2} + \frac{\beta H_t}{2} = H_t \frac{\beta + 1}{2}. \quad (20)$$

Ha a $G_b = V_l \gamma$ betonsúly akadálytalanul foglalhatná el az $FH_l = V_l$ teret, a munkavégzés az

$$E_p^+ = G_b \cdot \overline{S_1 S_2} \quad (21)$$

potenciális energiának felelne meg. A vasalás gátló hatása miatt a lazabeton az S_2 súlyponttal jellemzett potenciálszintről az S_1 -gyel jellemzett szintre *csak* (21)-nél nagyobb energia árán juthat. Kézenfekvő a feltevés, hogy a (21)-hez képest megnövekvő energia arányos azzal a felületcsökkenéssel, amely F_b -ben a vasalás alatt bekövetkezik (9. ábra).

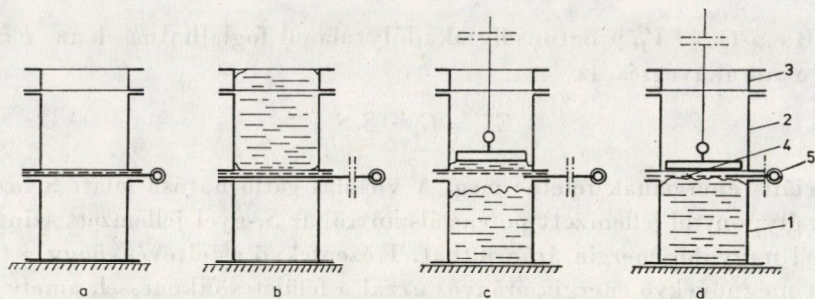
Célszerűnek látszik a vasbetétek *összes vízszintes vetületét* tekinteni felületcsökkentő oknak. Így képezhető a

$$\xi = \frac{F}{F - F_v} = \frac{1}{1 - \frac{F_v}{F}} \quad (22)$$

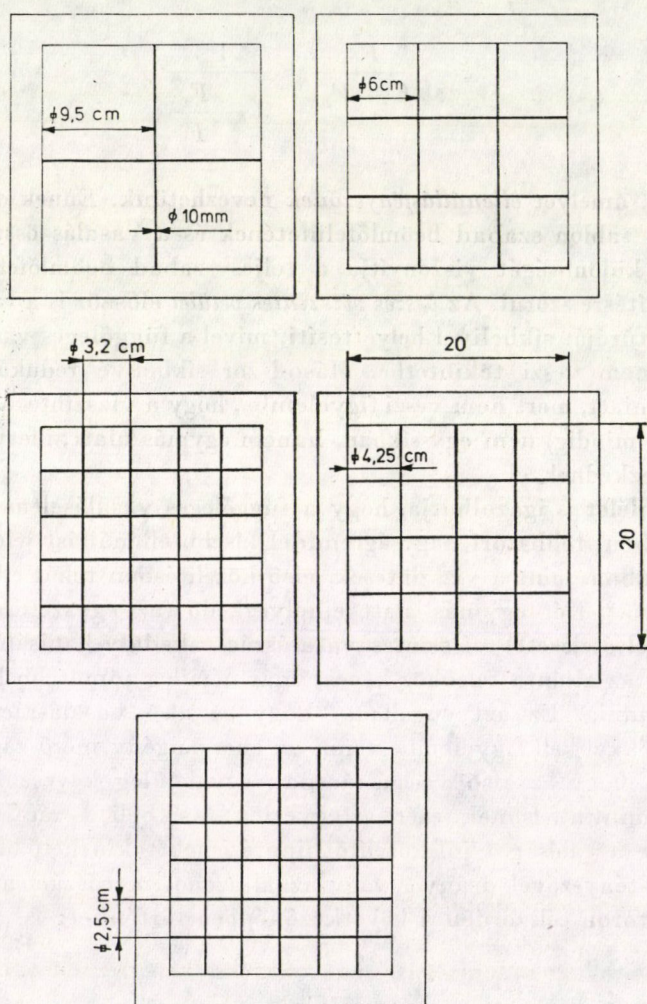
viszonyszám, amelyet *ellenállástényezőnek* nevezhetünk. Ennek olyan definiálása, hogy a sablon szabad beömlőfelületének és a vasalás összes vízszintes vetületének különbségét viszonyítja a teljes szabad beömlőfelülethez, még némi kiegészítésre szorul. Az *összes vízszintes vetület* először is a vasalás mindig térbeli struktúráját síkbelivel helyettesíti, mivel a függőleges vasaláselemeket egyszerűen nem veszi tekintetbe. Másodszor síkbelivé redukálja a térbeli ellenállást amiatt, mert nem veszi figyelembe, hogy a vízszintes vasaláselemek is (általában mindig) nem egy síkban, hanem egymás alatt, illetve fölött több síkban helyezkednek el.

A szemlélet is igazolhatja, hogy a függőleges vasaláselemek (különösen vibrálás közben) többszöri nagyságrenddel kisebb ellenállást jelentenek a bedolgozás útjában, mint a vízszintesek, első közelítésben tehát elhanyagolásuk megengedhető.* Két egymás alatt elhelyezkedő (az egyszerűség érdekében azonosnak feltételezett) vízszintes vasalásrács akadály-hatásában a különbség az, hogy az alsón a felsőhöz képest már némileg tömörebb betonnak kell keresztülhaladnia. Ez azt sugallaná, hogy az alsó vasalásrács ellenállását nagyobb értékkel kell figyelembe venni az energiaigény mérőszámában. Ezzel szemben áll, hogy az alsó vasalásrácsnak egyidejűleg kevesebb betont kell átengednie, mint a felsőnek, ezért az egyetlen — síkbeli — rács ellenállásának számbavétele a valóságot jól közelítő hipotézisnek tekinthető. Ezt elfogadva a ξ ellenállástényezővel arányos vagy azzal azonos mérőszám meghatározása a mérővibrátoron célszerűen a következőképpen történhet:

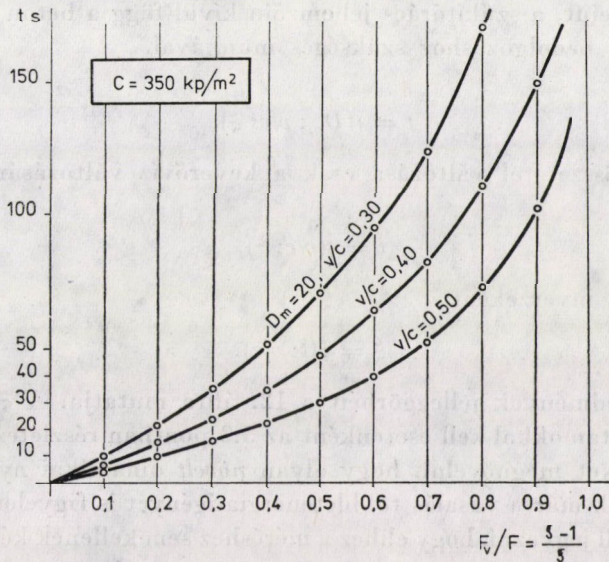
* A szerző evvel kívánja egyszerűsíteni a [24]–[26] forrásmunkákban ismertett elméleteket.



10. ábra. Mérőeszköz az ξ ellenállástényező méréséhez 1 próbatestsablón, 2 edény, 3 feltét-szekrény, 4 szűkítőrács, 5 elzárólemez



11. ábra. Felületszűkítő rácsok



12. ábra. A ξ ellenállástényező jelleggörbéi
 $C = \text{konstans}$, $D_m = \text{konstans}$, A szemszerkezet folytonos

6.4 A mérőeszköz (10a ábra)

Az (1) szabványos kockasablon fölött van a sablon térfogatával egyező térfogatú (2) edény, efölött a (3) feltétszokrény. A (2) edény fenekén van a cserélhető (4) nyílás-szűkítő rács. A javasolható és reálisan lehetséges szűkítőrácsok egy sorozatát a 11. ábra mutatja. A szűkítőrács alatt van az (5) elzárólemez, amely betolt helyzetében a sablon teljes keresztmetszetét lezárja, illetve fordítva. E lemez feladata az, hogy kihúzásakor a sablon teljes töltőfelülete egyszerre, illetve közelítőleg egyszerre váljék szabaddá. A mérőeszköz konstrukcióját illetően követelmény, hogy könnyen szétszedhető, a szűkítőrács cserélhető, az elzárólemez pedig könnyen mozgatható legyen.

6.5 A mérés (10b—d ábra)

Az összeszerelt mérőeszközt rátesszük a mérővibrátorra, a betolt elzárólemezzel elválasztjuk egymástól a (2) edényt és az (1) sablont. Ezután — óvatosan — megtöltjük a (2)—(3) elemekből álló edényt lazabetonnal, 10b ábra, majd gyors mozdulattal kihúzzuk az (5) elzárólemezt és így a lazabeton egy hányada behullik az (1) sablonba, egy hányada pedig fennakad a szűkítőrácsra. A fennakadt betonra rátesszük az írószerkezet érzékelő elemét és megindítjuk a mérővibrátort. A vibrálás hatására a fennakadt beton is lekerül az (1) sablontérbe. Az az idő, amely eltelik, amíg a fennakadt beton az (1)

sablontérbe lejut, a szűkítőrács jellemzőin kívül függ a beton összetételétől is és arányos a bedolgozáshoz szükséges munkával.

Vagyis

$$t = t(D_m; v/c; \xi). \quad (23)$$

Ha a betonösszetétel változása csak a keverővíz változására korlátozódik, akkor

$$t = t(v/c; \xi), \quad (24)$$

illetve ennek inverzeként

$$\xi = \xi(t; v/c). \quad (25)$$

A mérési eredmények jelleggörbéit a 12. ábra mutatja. A ξ függvényeként mért t időtartamokkal kell esetenként az 5.3 pontban részletezett mérés során kapott t időket megnövelni, hogy olyan *növelt* dinamikai nyomásokhoz jussunk, amelyek már a vasalás többletenergia-igényét is figyelembe veszik.

Meg kell jegyezni, hogy ehhez a méréshez sem kellenek kész próbakockák, ezért a szükséges betonmennyiség viszonylag kevés. Figyelemmel azonban arra, hogy elvileg mindegyik szűkítőrácscsal minden, csak a v/c -ben változó betonfajta végig kell mérni, a mérés hosszadalmas. Látható azonban hogy ξ ismerete nélkül a vasalt betonok feldolgozásának bedolgozást jelentő része korrekten nem szabályozható, illetve ez a folyamatrészt nem szabályozható.

IRODALOM

1. Épületek és építmények teherhordó szerkezetei, anyag—szerkesztés—méretezés. Magyar Szabványügyi Hivatal I—II. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bpest, 1970. (Szabványgyűjtemény)
2. CSUTOR I.: Egységes elmélet betonok vibrációs tömörítésének szabályozására, különös tekintettel a kavicsbetonokra. Kandidátusi értekezés, Bpest 1968
3. CSUTOR I.: A beton tömörítése, Műszaki Könyvkiadó, Bpest 1967
4. CSUTOR I.: Verdichtungstechnische Beiträge zur Entwurfstheorie der Kiesbetone. *Acta Techn. Hung.*, (1970)
5. CSUTOR I.: Betontömörítő vibrátorasztalok energiaviszonyai, *Építőanyag*, (1971)
6. CSUTOR I.: Merre kereshetjük a hazai betontechnika fejlődésének irányait? *Magyar Építőipar* (1972)
7. CSUTOR I.: Der Phasenwinkel im Betrieb des Nadelrüttlers, *Acta Techn. Hung.*, (1973)
8. CSUTOR I.: Verdichtungstechnische Beiträge zur Entwurfstheorie der Kiesbetone, *Acta Techn. Hung.*, (1974)
9. ÚJHELYI: Beton- és habaresteknológia, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968
10. PALOTÁS L.: A vasbeton elmélete, Akadémiai Kiadó, Budapest 1973
11. PALOTÁS—KILIÁN—BALÁZS: Betonszilárdítás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1968
12. BALÁZS: Különleges betonok, Mérnöki Továbbképző Int. Budapest,
13. BÖLCSKEI E.—DULÁCSKA E.: Statikusok kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974
14. CSUTOR I.: Rütteltechnik in der Teeorie und Praxis bei der Betonverdichtung, *Betonwerk + Fertigteiltechnik*, Wiesbaden (1973)
15. CSUTOR, J.: A fajlagos tömörítési munka hatása a beton kockaszilárdságára, *Építőanyag* (1975)
16. CSUTOR I.: A Shock-beton (ütővibrálás), *Magyar Építőipar* (1975)
17. l'HERMITE, R.: Essai de theorie sur la vibration du béton. *Travaux* 8 (1944)

18. WALZ, K.: Verarbeitbarkeit und mechanische Eigenschaften des Frischbetons. *Deutscher Ausschuß für Stahlbeton*, Heft 91.
19. PLOWMAN, R.: Compaction of Concrete by Vibration. *Engineer* (1957), 203—830.
20. GYESZOV, K.: Vibrirannij beton. Moszkva 1939—1956 Goisztroizdat
21. GYESZOV, K.: Racionalnie oborudovanyija dlja vibracii betonnych szmeszei. Moszkva 1959 Technologija i sztroisztva tjazselich betonov.
22. CUSENS, L.: The Influence of Amplitude and Frequency in the Compaction of Concrete by Table Vibration. *Magazine of Concrete Research*, (1958) 79
23. TÓTH, F.: A vibrált frissbeton és a vibrátor kölcsönhatása, különös tekintettel a rúdvibrátor méretezésére. Kandidátusi értekezés, Budapest 1967 (MTA könyvtár)
24. TÓTH, F.: Építőelemek sorozatgyártása, Műszaki Könyvkiadó Budapest 1962
25. FAURY, K.: Le béton, Dunod, Paris 1958
26. REBUT, M.: Observations sur les méthodes de vibration des bétons. *Revue des Matériaux*, (1960), 128—130

Vorschläge zur Verbesserung des Regelungssystems der Betontechnik mit besonderer Rücksicht auf die Kiesbetone. Um die Widersprüche, die bei der Qualifizierung der Betone durch normgerechte Prüfkörper auftreten, aufzulösen, sollten die folgenden Maßnahmen durchgeführt werden: Der Meßvibrator soll konstruiert und zu ein leicht behandelbares Instrument entwickelt werden. Der Meßvibrator und seine behandelten Teile sollten standardisiert werden. Bei der Herstellung der Prüfkörper sollte man auch jene, noch nicht gemessenen Parameter messen, ohne welche die Verarbeitung des frisch gemischten Betons nicht korrekt geregelt werden kann. Man sollte Tabelle oder Nomogramme zusammenstellen — analog den in der Betonwurfstheorie angewandten Methoden — die bei der Herstellung der Prüfkörper bestehenden oder auf dieselben gemessenen Kennwerte auch für die wirkliche Größe reproduzierbar machen. Die Teile der gegenwärtig gültigen Normen, die zwischen der Theorie und Praxis Widersprüche enthalten, sollten geändert werden. Es sollten die (sehr einfachen) Regeln zusammengefaßt werden, die durch die auf dem Meßbrüttler hergestellten Prüfkörper gelieferten Angaben auch bei anderen Verarbeitungsmethoden brauchbar machen.

Suggestions for the Improvement of the Control System of Concrete Technique with Particular Consideration of Gravel Concretes. In order to eliminate contradictions which may be pointed out when the concretes are graded by standard specimens, the following should be done: 1. The construction of the measuring vibrator should be designed and developed into an instrument to be uniformly treated. 2. Then, the measuring vibrator and its parts dealt with should be standardized. 3. In producing the specimens also those parameters should be measured which have not been systematically measured as yet, without which the working of the freshly mixed concrete cannot correctly be controlled. 4. Tables and charts should be established in such a way that is analogous to the methods applied so far in the planning of concrete which make reproduceable the conditions ruling during the production of the specimens or corresponding to the index numbers measured on these latter, also for actual size. 5. The parts of the standard specifications valid so far should appropriately be altered whereby the contradictions by virtue of the above statements could be eliminated. 6. Those (very simple) rules which permit the use of the results furnished by the specimens produced on the measuring vibrator for productions methods other than vibration.



FŐGÖRBÜLETI KÖTÉLHÁLÓ SZERKESZTÉSE

GÁSPÁR ZSOLT*

[Beérkezett 1975. október 24-én]

„Hálófelület” főgörbületi vonalai mentén haladó kötelek rendszerének szerkesztéséhez kiindulási „felület”-ként az úgynevezett derékszögű kötélháló csomópontjaival értelmezett összetett felület szolgál. Ezt a meghatározott résztartományokra értelmezett, mindkét változójában másodfokú polinommal megadott részfelületekből álló interpolációs alapfelületet használja fel a dolgozat a főgörbületi vonalak szerkesztéséhez. A kidolgozott algoritmust számpéldával is illusztrálja.

1. Bevezetés

Derékszögű kötélháló csomópontjainak magassági helyzete — adott teher és előírt peremfeltételek esetén — viszonylag könnyen meghatározható akkor is, ha nem derékszögű négyszög alaprajzú merev peremre van feszítve, hanem árbocokat és peremkábeleket is alkalmazunk [1].

Ha a keresztező kötelek közötti nyíróerőt elvileg megszüntetni, gyakorlatilag csökkenteni akarjuk, akkor geodetikus vonalak mentén haladó kötelekből álló hálót célszerű kialakítani. Árboc alkalmazása esetében geodetikus háló nem jöhet szóba, mert a kötelek elkerülnék az árboc környezetét. Derékszögű kötélhálónál pedig az árboc közelében kiugróan nagy kötélerők keletkeznek. Mindkét hibán segít a főgörbületi vonalokból álló háló. Ennek megszerkesztésére segédhálóként használjuk a numerikusan jól kezelhető derékszögű kötélhálót. A számított diszkrét pontokhoz interpolációs felületet rendelünk, melynek főgörbületi vonalait közismert differenciálgeometriai összefüggések alapján numerikus integrálással határozzuk meg — kívánt sűrűséggel.

2. Az interpolációs felület

A derékszögű kötélháló adott teherhez tartozó egyensúlyi helyzetének meghatározása azt jelenti, hogy ki kell számítanunk az egyes kábelszakaszokban ébredő erők nagyságát és véges számú pontban (a háló csomópontjaiban, továbbá a köteleknek a merev peremmel és a peremkábelekkel alkotott

* Dr. Gáspár Zsolt, 1025 Budapest, Kapy út 40/b.

metszéspontjaiban) a háló magassági koordinátáit. A kötelek metszéspontjaihoz (vagyis a hálócsonópontokhoz) egy-egy matematikailag jól kezelhető felületelemet rendelünk. A háló felületét e felületelemek együttesével közelítjük. Ez a felület általában nem folytonos és a peremkábeleknél nem feltétlenül illeszkedik a kiszámított pontokra. Egy tetszőleges A jelű csonóponthoz rendelt felületelemet azokra a megadott pontokra illesztjük, melyek alaprajzi koordinátái teljesítik a következő feltételeket:

$$x_A - a \leq x \leq x_A + a,$$

$$y_A - b \leq y \leq y_A + b.$$

(Itt a , ill. b az y , ill. x irányú kötelek alaprajzban mért távolságát jelenti.) A felületelem érvényességi tartománya ennél szűkebb. Az (x_A, y_A) csonópont értelmezési tartományához mindig hozzá tartoznak a felületnek azok a pontjai, amelyek teljesítik az

$$x_A - a/2 < x < x_A + a/2,$$

$$y_A - b/2 < y < y_A + b/2$$

feltételeket. A perem környékén vannak olyan — a kötélközök felező egyenesei és a perem által határolt — területek, melyek nem tartoznak a fenti definíció szerint egyik értelmezési tartományhoz sem. Ezeket a területeket mindig ahhoz az értelmezési tartományhoz csatoljuk, amellyel szomszédosak. Több értelmezési tartománnyal is szomszédos terület ahhoz az értelmezési tartományhoz tartozik, amelynél a közös oldal az x tengellyel párhuzamos, ha

$$\frac{\Delta x}{a} \geq \frac{\Delta y}{b},$$

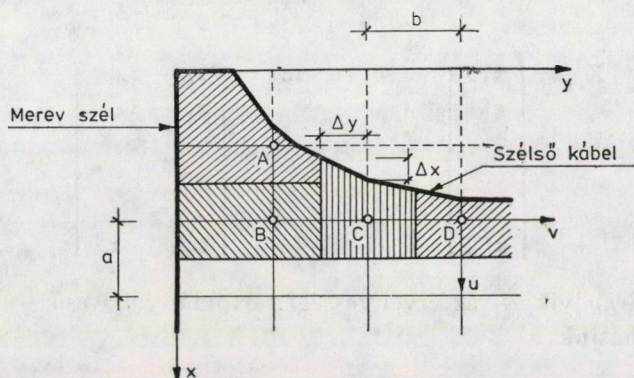
egyébként az y tengellyel párhuzamos határral rendelkező értelmezési tartományhoz csatoljuk. (Itt Δx jelöli a vizsgált terület x tengellyel, Δy pedig az y tengellyel párhuzamos határának hosszát.) Néhány — határ közelében fekvő — csonópontoz tartozó felületelem értelmezési tartományát az 1. ábrán mutatjuk be.

A felületelemeket lokális koordináta-rendszerben adjuk meg. A globális (x, y, z) és a lokális (u, v, z) koordináta-rendszerek között az

$$u = x - x_A$$

$$v = y - y_A$$

összefüggések adják meg a kapcsolatot. A felület megadásához egy olyan függvényt választottunk, mely az u és v változóiban szimmetrikus és 8 szabad paramétert tartalmaz (mert leggyakrabban 9 pontra kell illeszteni a



1. ábra

felületet, és a lokális koordináta-rendszer origójában a konstans tag megválasztásával teljesítjük a feltételt). Két esetet különböztetünk meg aszerint, hogy a vizsgált belső csomópontban van-e árboc vagy nincs.

2.1 Árboccal alá nem támasztott belső pont

Ha a vizsgált A jelű belső pont nincs árboccal alátámasztva, akkor a felületet

$$z(u, v) = z_A + c_{A1}u + c_{A2}v + c_{A3}u^2 + c_{A4}uv + c_{A5}v^2 + c_{A6}u^2v + c_{A7}uv^2 + c_{A8}u^2v^2 \quad (2)$$

alakban keressük. Ez a felület az A pontban az előírt magasságot veszi fel, az illesztési pontokon [melyek az (1) feltételt teljesítik] a $c_{A\nu}$ ($\nu = 1, 2, \dots, 8$) együtthatók helyes megválasztásával igyekszünk a feltételeket teljesíteni. n_A számú illesztési pont esetében a

$$z_i - z_A = [u \ v \ u^2 \ uv \ v^2 \ u^2v \ uv^2 \ u^2v^2]_i \cdot \mathbf{c}_A = \mathbf{x}_i^* \mathbf{c}_A \quad (3)$$

$$(i = 1, 2, \dots, n_A)$$

egyenleteket kell kielégíteni. Ha $n_A < 8$, akkor a (3) egyenletrendszer határozatlan, ezért ilyenkor a kettőnél magasabb fokú tagok együtthatóit zérusnak választjuk. Ha az egyenletrendszer túlhatározott, akkor a megoldást a legkisebb négyzetes hibával keressük. Így

$$\mathbf{c}_A = (\mathbf{X}_A^* \mathbf{X}_A)^{-1} \mathbf{X}_A^* \Delta z_A, \quad (4)$$

ahol

$$\mathbf{X}_A = \begin{bmatrix} x_1^* \\ x_2^* \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ x_{n,A}^* \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \Delta \mathbf{z}_A = \begin{bmatrix} z_1 - z_A \\ z_2 - z_A \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ z_{n,A} - z_A \end{bmatrix}$$

A felületnek bármelyik — az érvényességi tartományába eső — (u, v) pontjában kiszámíthatjuk a

$$p = \frac{\partial z}{\partial u}; \quad q = \frac{\partial z}{\partial v}$$

$$r = \frac{\partial^2 z}{\partial u^2}; \quad s = \frac{\partial^2 z}{\partial u \partial v}; \quad t = \frac{\partial^2 z}{\partial v^2}$$

deriváltakat a

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \\ s \\ t \end{bmatrix} = \mathbf{Q}(u, v) \mathbf{c}_A \quad (5)$$

szorzattal, ahol

$$\mathbf{Q} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 2u & v & 0 & 2uv & v^2 & 2uv^2 \\ 0 & 1 & 0 & u & 2v & u^2 & 2uv & 2u^2v \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 2v & 0 & 2v^2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2u & 2v & 4uv \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 2u & 2u^2 \end{bmatrix}$$

2.2 Árboccal alátámasztott belső pont

Ha a vizsgált belső pont (az i -edik y irányú és a j -edik x irányú kötél metszéspontjában levő A pont) árboccal alá van támasztva, akkor a (2) alatti $z(u, v)$ függvényt kiegészítjük a

$$\psi \ln \left(\sqrt{\left(\frac{u}{a}\right)^2 + \left(\frac{v}{b}\right)^2} + 1 \right) \quad (6)$$

taggal, ahol

$$\psi = \frac{z_{i,j+1} + z_{i,j-1} + z_{i+1,j} + z_{i-1,j} - 4z_{i,j}}{4 \cdot \ln 2}$$

A (6) képletet abból a feltételből vezettük le, hogy az A pontban zérus magasságot, a szomszédos négy belső pontban egyenlő értéket, mégpedig az A pont magasságától való eltérésük átlagát adja, és alakja jól közelítse az árboc közelében kialakuló felületet.

A z függvény paramétereit most is a (4) egyenlettel számítjuk, de Δz_A jelentése megváltozik:

$$\Delta z_A = \begin{bmatrix} z_1 - \psi \ln(\varrho_1 + 1) - z_A \\ z_2 - \psi \ln(\varrho_2 + 1) - z_A \\ \vdots \\ z_{nA} - \psi \ln(\varrho_{nA} + 1) - z_A \end{bmatrix}$$

ahol

$$\varrho_i = \sqrt{\left(\frac{u_i}{a}\right)^2 + \left(\frac{v_i}{b}\right)^2}.$$

A p, q, r, s, t mennyiségek számításánál az (5) egyenlet kiegészül:

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \\ s \\ t \end{bmatrix} = \mathbf{Q}(u, v) \mathbf{c}_A + \psi \begin{bmatrix} \frac{u}{a^2(\varrho^2 + \varrho)} \\ \frac{v}{b^2(\varrho^2 + \varrho)} \\ \frac{1}{a^2(\varrho^2 + \varrho)} - \frac{u^2(2\varrho + 1)}{a^4\varrho(\varrho^2 + \varrho)^2} \\ \frac{-uv(2\varrho + 1)}{a^2b^2\varrho(\varrho^2 + \varrho)^2} \\ \frac{1}{b^2(\varrho^2 + \varrho)} - \frac{v^2(2\varrho + 1)}{b^4\varrho(\varrho^2 + \varrho)^2} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Az árboc helyén a deriváltakat nem értelmezzük.

3. A főgörbületi érintők meghatározása

A $z(u, v)$ függvény deriváltjainak értékét — az árboc helyének kivételével — bármely pontban számíthatjuk a (4), ill. (7) képletekkel. Tekintsük az e_1, e_2 főgörbületi érintőknek az xy síkra eső vetületét. Ezeknek az $\alpha_1, \beta_1; \alpha_2, \beta_2$ iránykoszinuszait a

$$h_2 m^2 + h_1 m + h_0 = 0 \quad (8)$$

egyenlet m_1, m_2 gyökeinek segítségével határozzuk meg:

$$\alpha_i = \frac{1}{\sqrt{1 + m_i^2}} \quad (i = 1, 2). \quad (9)$$

$$\beta_i = m_i \alpha_i$$

A (8) egyenletben

$$h_2 = pqt - (1 + q^2)s,$$

$$h_1 = (1 + p^2)t - (1 + q^2)r,$$

$$h_0 = (1 + p^2)s - pqr,$$

és m_i az i -edik főgörbületi érintő iránytangense. A főgörbületi érintőirányok csak akkor nem egyértelműek, ha a vizsgált pontban minden normálmetszet görbülete megegyezik. Hiperbolikus pontban ez nem lehetséges.

A (8) egyenlet $h_2 = 0$ esetén elfajul, ezért $|h_2| < \varepsilon$ (ε a gépi pontosságtól függő kicsiny pozitív szám) esetében

$$m_1 = -\frac{h_0}{h_1},$$

és $i = 2$ esetében a (9) képletek helyett az

$$\alpha_2 = 0, \quad \beta_2 = 1$$

összefüggéseket használjuk.

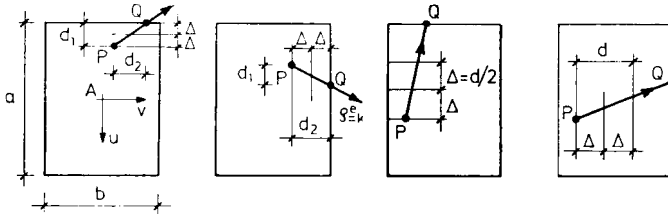
4. A főgörbületi vonal egy szakasza

A főgörbületi vonalat numerikus integrálással határozzuk meg. Olyan törtvonallal közelítjük, amely egyenes szakaszainak sem az x , sem az y tengelyre vonatkozó vetülete nem nagyobb egy, a pontossági igénytől függően előírt $d = \text{const.}$ értéknél. Egy ilyen törtvonal első szakaszának számításához előírandó a P kezdőpont alaprajzi helyzete $[P(u_p, v_p)]$ és egy irány (e_p). Minden további szakasz kezdőpontjának u_p, v_p koordinátái és e_p kezdő iránya az előző szakasz végpontjára kiszámított értékkel szerepelnek.

A P pontból négy irányba is indíthatnánk főgörbületi vonalat, ezek közül az e_p irányhoz legközelebb esőt választjuk. A (9) képletekkel meghatározzuk az e_1 és e_2 vektorokat, és kiszámítjuk a

$$\lambda_1 = e_p^* e_1, \quad (10)$$

$$\lambda_2 = e_p^* e_2$$



2. ábra

skalárszorzatokat, majd ezek segítségével a k és ϱ mennyiségeket is értelmezzük:

$$k = \begin{cases} 1 \\ 2 \end{cases} \quad \text{ha} \quad |\lambda_1| \geq |\lambda_2| \text{ egyébként} \quad (11)$$

$$\varrho = \begin{cases} 1 \\ -1 \end{cases} \quad \text{ha} \quad \lambda_k > 0 \text{ egyébként.} \quad (12)$$

Tehát a P pontból a ϱe_k irányban kell elindulnunk. Kiszámítjuk, hogy ebben az irányban hol van az aktuális felületelem érvényességi határa (lásd a 2. ábrán a Q jelű pontot). Legyen

$$\lambda_1 = \begin{cases} \frac{a}{2} \frac{\text{sign}(\alpha_k) - \varrho u_p}{\alpha_k} & \text{ha} \quad |\alpha_k| \geq \varepsilon \\ 10^6 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (13)$$

$$\lambda_2 = \begin{cases} \frac{b}{2} \frac{\text{sign}(\beta_k) - \varrho v_p}{\beta_k} & \text{ha} \quad |\beta_k| \geq \varepsilon \\ 10^6 & \text{egyébként} \end{cases} \quad (14)$$

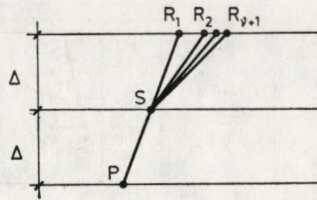
$$h = \begin{cases} 1 \\ 2 \end{cases} \quad \text{ha} \quad \lambda_1 \leq \lambda_2 \text{ egyébként.}$$

[Ha a perem szomszédságában levő belső ponthoz tartozó felületelemen számolunk, és a ϱe_k vektor a perem felé mutat, akkor a (13), ill. (14) képletekben $a/2$, ill. $b/2$ helyett értelemszerűen a , ill. b veendő.]

Így a határpont (Q) koordinátái:

$$u_q = u_p + \lambda_h \varrho \alpha_k,$$

$$v_q = v_p + \lambda_h \varrho \beta_k.$$



3. ábra

A PQ szakasz u és v irányú vetülete:

$$d_1 = |\lambda_h \cdot \alpha_k|,$$

$$d_2 = |\lambda_h \cdot \beta_k|.$$

Egy iterációs eljárással fogjuk a szakasz végpontjának helyét meghatározni. Ehhez felvesszünk a P ponttól Δ és 2Δ távolságra két (a Q pont felé eső), az i -edik irányra merőleges egyenest.

A Δ és az i felvétele a következő:

a) ha $d_1 \leq d$ és $d_2 \leq d$, akkor $\Delta = d_h/2$ és $i = h$

b) ha $d_1 > d$ vagy $d_2 > d$, akkor $\Delta = d/2$

$$i = \begin{cases} 1 & \text{ha } d_1 \geq d_2 \\ 2 & \text{különben.} \end{cases}$$

Az a) esetre a 2/a, b ábrákon, a b) esetre a 2/c, d ábrákon mutatunk példákat.

Ezután meghatározzuk a PQ szakasznak a felvett két egyenessel való metszéspontját (S, R_1):

$$\lambda = \varrho \lambda_h \frac{\Delta}{d_i},$$

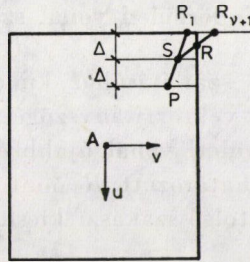
$$u_S = u_p + \lambda \alpha_k, \quad u_{R_1} = 2u_S - u_p,$$

$$v_S = v_p + \lambda \beta_k, \quad v_{R_1} = 2v_S - v_p.$$

Az iterációs eljárást (3. ábra) $\nu = 1$ -gyel indítjuk. Lépései a következők:

a) meghatározzuk az R_ν ponthoz tartozó főgörbületi irányokat (lásd jelen dolgozat 3. pontját)

b) ezek közül kiválasztjuk az \vec{SR}_ν irányhoz legközelebb állót [(10), (11), (12) képlet]



4. ábra

c) kiszámítjuk az R_{v+1} pont koordinátáit (az S pontból a kiválasztott irányú félegyenes és a P ponttól 2Δ távolságú egyenes metszéspontja)

$$\lambda = \begin{cases} \frac{\rho\Delta}{|\alpha_k|}, & \text{ha } i = 1 \\ \frac{\rho\Delta}{|\beta_k|} & \text{egyébként} \end{cases}$$

$$u_{R_{v+1}} = u_S + \lambda\alpha_k,$$

$$v_{R_{v+1}} = v_S + \lambda\beta_k.$$

d) ha

$$|u_{R_{v+1}} - u_{R_v}| + |v_{R_{v+1}} - v_{R_v}| > \varepsilon_h \tag{15}$$

akkor a v értékét eggyel növelve az a) ponttól kezdve megismételjük az eljárást.

Ha a (15) feltétel nem teljesült, akkor a főgörbületi vonal következő pontjának az $R = R_{v+1}$ pontot fogadjuk el. Kivételt képez ez alól, ha az R_{v+1} már a P ponthoz tartozó felületelem érvényességi tartományán kívül esik. Ekkor az SR_{v+1} szakasz és a határ metszéspontja az R pont (4. ábra):

$$u_R = u_S + \lambda(u_{R_{v+1}} - u_S),$$

$$v_R = v_S + \lambda(v_{R_{v+1}} - v_S),$$

ahol

$$\lambda = \begin{cases} \frac{b/2 - |v_S|}{|v_{R_{v+1}} - v_S|} & \text{ha } |v_{R_{v+1}}| > \frac{b}{2} \\ \frac{a/2 - |u_S|}{|u_{R_{v+1}} - u_S|} & \text{ha } |u_{R_{v+1}}| > \frac{a}{2} \\ 1 & \text{egyébként.} \end{cases}$$

5. A főgörbületi vonal számítása

Egy főgörbületi vonal számításához kiinduló adatként kezeljük a P_0 pont koordinátáit és az \mathbf{e}_{p0} vektor irányszögét. Ebből kiindulva a 4. pontban leírtak szerint a főgörbületi vonal újabb és újabb pontjait határozhatjuk meg. Ha egy így meghatározott R pont egy felületelem érvényességi határára esett, akkor a legutolsó szakaszt kicsit meghosszabbítjuk:

$$\mathbf{r}_{R'} = \mathbf{r}_R + \varepsilon \cdot \mathbf{e}_R.$$

Az így kapott R' pontról könnyen megállapítható, hogy hányadik y irányú és hányadik x irányú kötél metszéspontjához van legközelebb:

$$i = \text{entier}((x_{R'} + a/2)/a)$$

$$k = \text{entier}((y_{R'} + b/2)/b).$$

Ha az így kapott pont a hálónak nem belső pontja, akkor ez azt jelenti, hogy a görbe kifutott a merev peremre vagy a peremkábelre, ezért visszatérünk a P_0 ponthoz és a $-\mathbf{e}_{p0}$ vektorral indítva kiszámítjuk a görbe másik felét is.

Ha az (i, k) pont belső pont, akkor a 4. pontban leírt eljárást folytathatjuk ebben az értelmezési tartományban is.

A főgörbületi irányok az árbocok pontjában nincsenek értelmezve. Ha az eljárás során egy R pont $d\sqrt{2}$ távolságnál közelebb kerülne egy árboc-hoz, akkor mivel úgy is az árboc-hoz futna be a főgörbületi vonal, úgy tekintjük, mintha a peremre jutottunk volna.

Meg kell győződnünk arról is, hogy a főgörbületi vonal nem záródott-e, mert különben végtelen ciklusba kerülhet a program. Ehhez minden újabb R pont meghatározásakor ellenőrizzük, hogy a PR szakasz metszi-e a P_0 ponton átmenő, az \mathbf{e}_{p0} vektorhoz (\mathbf{e}_{k0}) választott főirányra merőleges egyenest. Ha metszi az egyenest a szakasz, akkor az

$$\mathbf{e}_{k0}^*(\mathbf{r}_p - \mathbf{r}_{p0}) \cdot \mathbf{e}_{k0}^*(\mathbf{r}_R - \mathbf{r}_{p0}) < 0$$

feltétel teljesül.

Ha metsződnek és

$$\mathbf{e}_{k0}^*(\mathbf{r}_R - \mathbf{r}_p) > 0,$$

akkor kiszámítjuk a metszéspont koordinátáit (\mathbf{r}_Q). A főgörbületi vonalat akkor tekintjük záródottnak, ha a P_0 és Q pont elég közel van. Tekintve, hogy a numerikus integrálással a hiba halmozódik, a megengedett eltérést a szakaszok számának függvényében írjuk elő:

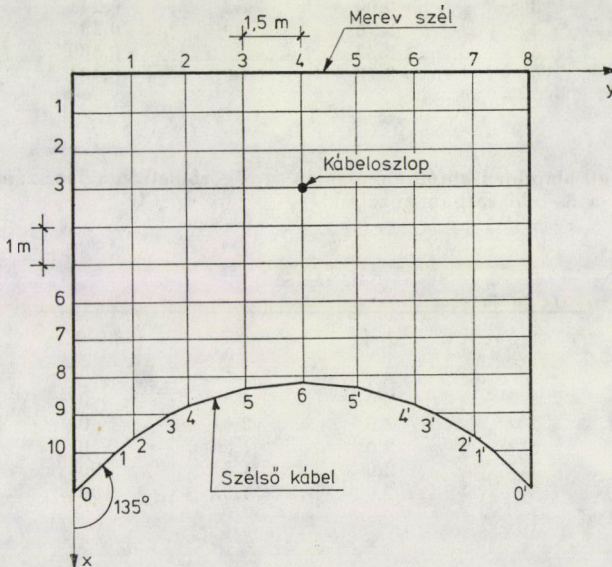
$$|\mathbf{r}_Q - \mathbf{r}_{p0}| < (i - 2) \cdot \varepsilon_h.$$

Záródás esetén vagy ha másodszor érkezünk peremhez a következő főgörbületi vonal meghatározására térhetünk át. Kellő számú vonal felrajzolása után leolvashatjuk a főgörbületi háló csomópontjainak alaprajz koordinátáit, melyeket a megfelelő felületelemre felvetítve a z koordináta is kiszámítható. A csomópontok közti kötélszakaszok egyenesek, így a főgörbületi vonalak helyett azok húrjaiból álló törtvonalat használunk. Ez is indokolja, hogy elfogadjuk a teljes felületnek a 2. pontban leírt felületelemek összességével való közelítést, és elfogadjuk a feszítőerők meghatározására a [2] 107–108. oldalán levő képleteket.

A közelítések miatt fellépő egyensúlyi zavarok és a teherváltozások hatását csak az állapotváltozási differenciálegyenlet segítségével számíthatjuk ki (lásd pl. [2] 6. fejezet, vagy [3]).

6. Numerikus eredmények

A numerikus eredmények bemutatására egy olyan 11×12 m méretű, az xy síkban fekvő téglalap alakú merev peremet választottunk, amelyre 10 db y irányú és 7 db x irányú kötelet erősítették. Az egyik y -nal párhuzamos merev peremszakaszt peremkábelrel váltottuk ki, és a (3.0; 6.0) ponton árbocot helyeztünk el (5. ábra). Az x irányú kötelek feszítő erejének vízszintes vetületét 10 Mp-ra, az y irányúakét 8 Mp-ra választottuk.



5. ábra

A kötélsomópontok magassági helyzetét az [1]-ben közölt algoritmus alapján számítottuk. (A csomóponti z koordinátákat az 1. táblázatban tüntettük fel, a szimmetria miatt csak a fél hálózatra).

1. táblázat

$i \backslash j$	1	2	3	4
1	-0,187	-0,427	-0,759	-1,082
2	-0,345	-0,804	-1,522	-2,510
3	-0,443	-1,044	-2,141	-4,991
4	-0,456	-1,021	-1,824	-2,850
5	-0,411	-0,869	-1,389	-1,803
6	-0,340	-0,685	-1,011	-1,198
7	-0,266	-0,512	-0,706	-0,793
8	-0,202	-0,366	-0,458	-0,481
9	-0,160	—	—	—
10	—	—	—	—

A peremkábel töréspontjainak koordinátáit a 2. táblázatban adjuk meg.

2. táblázat

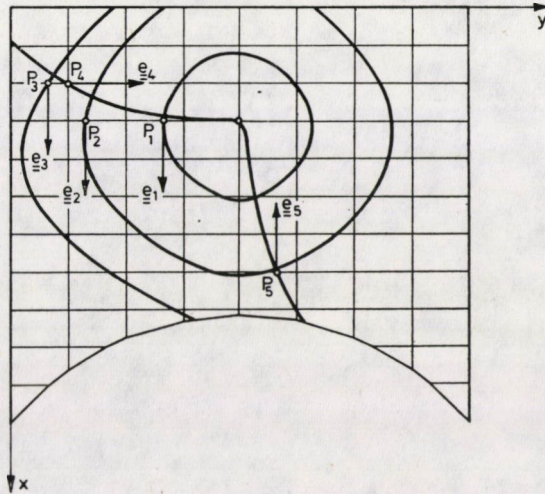
i	x_i	y_i	z_i
0	11,00	0,00	0,000
1	10,00	1,00	-0,098
2	9,59	1,50	-0,147
3	9,00	2,52	-0,241
4	8,76	3,00	-0,285
5	8,32	4,50	-0,389
6	8,18	6,00	-0,431

A derékszögű alaprajzú kötélnál alapján öt főgörbületi vonalat számítottunk, melyek kiindulási adatait a 3. táblázatban közöljük.

3. táblázat

i	$P_{ix}[m]$	$P_{iy}[m]$	$\alpha_i[\text{fok}]$
1	3,0	4,0	0
2	3,0	2,0	0
3	2,0	1,0	0
4	2,0	1,5	90
5	7,0	7,0	180

A d értékét 0,2 méternek, az ε értékét 0,0001-nek választottuk.



6. ábra

A főgörbületi vonalak alaprajzát a 6. ábrán mutatjuk be. Jól látszik, hogy az árbohoz közel fekvő P_1 pont esetében a főgörbületi vonal záródott, a távolabbi P_2 pontnál mindkét irányban a merev peremre futott ki. A P_3 pontból indítva a számítást először az x tengellyel párhuzamos merev perem mellett elhaladva a peremkábelhez jutunk, majd $-e_3$ irányban indulva a merev peremhez érünk. A P_4 , ill. P_5 pontokból az adott irányhoz legközelebb eső főgörbületi vonallal először az árbohoz jutunk fel, majd a másik irányban a merev peremre, ill. a peremkábelre szalad ki a görbe.

IRODALOM

1. SZABÓ, J.—GÁSPÁR, Zs.: Berechnung des auf Randkabel gespannten rechtwinkligen Seilnetzes. *Acta Techn. Hung.* 77 (1974), 365—384
2. SZABÓ J.—KOLLÁR, L.: Függőtetők számítása Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974, 186
3. SZABÓ, J.—BERÉNYI, M.: Theorie und Praxis der Berechnung von Seilkonstruktionen. *IVBH „Abhandlungen”,* 33. II, (1973), 193—208

Construction of a Cable Network along the Principal Curvature. To the construction of a system of cables along the lines of the principal curvature of a network “surface” serves a compound surface defined by the nodes of the so-called orthogonal cable network. The author uses this interpolated basic surface consisting of partial surfaces given by a polynome of the second degree in both of its variables, interpreted to defined partial regions, to the construction of the lines of principal curvature. The algorithm worked out is also demonstrated by a numerical example.

Konstruktion eines in der Hauptkrümmung befindlichen Seilnetzes. Zur Konstruktion eines Seilnetzes entlang der Hauptkrümmungslinien einer “Netzfläche” dient als Ausgangsfläche eine durch die Knotenpunkte des sog. rechtwinkligen Seilnetzes definierte zusammengesetzte Fläche. Diese auf bestimmte Teilbereiche interpolierte, in ihren beiden Veränderlichen durch ein Polynom zweiten Grades gegebene, aus Teilflächen bestehende Interpolationsfläche wird in der Abhandlung zur Konstruktion der Hauptkrümmungslinien angewandt. Der erzeugte Algorithmus ist auch durch ein numerisches Beispiel illustriert.

A HÁLÓZAT-TERMODINAMIKÁRÓL

SINGER DÉNES*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1976. február 3-án]

A tanulmány a termodinamika alapelveit elemzi (a Gibbs-féle egyenletet, az Onsager-féle elvet, az entrópiaprodukció elvét) és megmutatja, hogy a klasszikus termodinamika hálózati értelmezése új megvilágításba helyezi ezen fő teorémákat. Rámutat az új diszciplína módszertani előnyeire, melynek illusztrálására néhány példát ismertet.

1. Bevezetés

A villamos hálózatok számítási módszereinek általánosításával létrejött tudományág, a fizikai hálózatok elmélete gyümölcsözőnek bizonyult különböző, a nem-egyensúlyi termodinamika problémakörébe tartozó feladatok megoldásánál. Több szerző arra a következtetésre jutott, hogy a két diszciplína problematikája annyira közös, hogy egy új tudományról, a hálózat-termodinamikájáról (network thermodynamics) beszélhetünk [1—3].

Az alábbiakban a hálózat-termodinamika alapelveit elemezzük, és megmutatjuk, hogy a termodinamika hálózati értelmezése új megvilágításba helyezi ennek fő teorémáit. Rámutatunk az új diszciplína módszertani előnyeire, melyeket néhány egyszerű példával illusztrálunk.

Szeretnénk hangsúlyozni, hogy a hálózat-termodinamika csupán egyik értelmezési módja az anyag és energia kölcsönhatásaival kapcsolatos jelenségeknek. Helytelen volna tehát a termodinamikai jelenségek ezen megközelítését szembeállítani a fenomenologikus vagy statisztikus megközelítéssel. A hálózati termodinamika, mely a dolgok mögött általánosított erőket, áramokat és struktúrákat lát, inkább kiegészítője, mint vetélytársa a termodinamika klasszikus módszereinek. A hálózati módszer előnyei főleg komplex jelenségek tanulmányozásánál mutatkoznak meg.

2. Fizikai hálózatok

A fizikai hálózatok elméletében a rendszer struktúráját egy gráffal írjuk le, amelynek ágaihoz *általánosított* áram- és potenciálértékeket rendelünk.** Képletesen szólva, ezen „általánosított” áramok úgy folynak a rend-

* Dr Singer Dénes. 1021 Budapest II. Nyéki u. 9

** Az angolszász irodalom “through” és “across” változókról beszél.

1. táblázat

Rendszer	Általánosított áramok	Általánosított potenciálok	Elemek		
			kapacitív	induktív	disszipatív
transzlációs	sebesség	erő	rugó	tehetetlen tömeg	csillapító
rotációs	szögsebesség	nyomaték	torziós rugó	rotációs tömeg	csillapító
szilárdságtani gáz- és folyadék- áramlás	erő tömegáram	megnyúlás nyomás	rúd tároló	— tehetetlen tömeg	— súrlódás
villamos	villamos áram	villamos feszültség	kondenzá- tor	indukciós tekerecs	villamos ellenállás
hőtani	entrópiaáram	abszolút hőmérséklet	hőtároló	—	hőellenállás
vegyi	komponens áram	kémiai poten- ciál	komponens tároló	—	reakció- ellenállás

szer gráfjának ágaiban, mint a villamos áramok a villamos hálózatban. A leggyakrabban előforduló összetartozó (konjugált) általánosított áramok és potenciálok az 1. táblázatban vannak összefoglalva. Az általánosított változók, hasonlóan a villamos áramokhoz és feszültségekhez, kielégítik a Kirchhoff-féle csomóponti és huroktörvényt.

Az elmélet az általánosított áramokat és potenciálokat virtuális fizikai elemek „általános ellenállások”, „általános kapacitások” stb. kapcsain felépítő áramoknak, ill. potenciáloknak tekinti.

Az egyes fizikai elemeket a változók között fennálló „konstitutív relációk” (villamos terminológiával élve: végponti egyenletek) jellemzik. A konstitutív relációk alapján az elemeket a következő osztályokba sorolhatjuk: *a)* kapacitív tárolók, *b)* induktív tárolók, *c)* disszipatív elemek (ellenállások), *d)* ideális energiaátalakítók (transzducerek), *e)* áramforrások, *f)* feszültségforrások.

Ha $i(t)$, ill. $e(t)$ -vel jelöljük az általánosított áramokat, ill. feszültségeket, lineáris esetben a kapacitív elemek

$$C \frac{de}{dt} = i, \quad (1)$$

az induktív elemek

$$L \frac{di}{dt} = e, \quad (2)$$

az általánosított ellenállások

$$Ri = e \quad (3)$$

konstitutív relációkkal jellemezhetők. A transzducer veszteségmentes energia-átalakítást végez, vagyis ennél

$$i_i e_i = i_0 e_0, \quad (4)$$

ahol az i és o indexek a bemeneti, ill. kimeneti oldali energifajtákra utalnak. Az áram-, ill. feszültségforrásnál a változók előírt függvényei az időnek (ill. speciális esetben konstansok).

A két Kirchhoff-féle törvény és a fizikai elemek konstitutív relációi elegendő egyenletet szolgáltatnak a fizikai rendszerrel izomorf hálózat teljes meghatározásához. Csupán algebrai transzformációk kérdése, hogy ezen elsődleges összefüggésekből előállítsuk a rendszeregyenletek „csomóponti”, „hurok”, „állapotváltozás”, „input-output” stb. alakját. A villamos hálózatok vonatkozásában ezen a téren az utolsó 30 évben — különösen G. KRON munkái nyomán — nagyszámú eredmény született, melyek minden további nélkül a fizikai hálózatokra is alkalmazhatók. Különösen a mátrixalgebra bevezetése segítette nagyban elő, hogy a fizikai hálózatok elmélete napjainkban a műszaki gyakorlat részévé vált [4—6].

3. A termodinamikai és hálózatelméleti modellalkotás közös alapjairól

A fizikai jelenségek termodinamikai leírása más elveket követ, mint a mechanikai és villamosságtani. A megközelítés különbözőségét már változók megválasztása tükrözi. A termodinamika bevezeti a „belső energia” és az „entrópia” fogalmát. A belső energia fogalmához a következőképpen lehet jutni. A rendszer extenzív alapjellemezőiként a V térfogatot, az S entrópiát és a kémiai komponensek n mólszámait választva, definiálható az $U(\mathbf{Z})$ skalárvektor függvény; $\mathbf{Z} = [S, V, n_i]$. Az $U(\mathbf{Z})$, a belső energia, a rendszer egyik állapotfüggvénye, és így értéke független az úttól, melyet ez a kezdeti és végállapota között megtett. Az egyik rendszerből a másikba transzportált belső energia a „hő”. Az energiamegmaradás törvénye alapján a következő összefüggés írható fel:

$$dU_A = -dU_B - dW = dQ - dW, \quad (5)$$

ahol dQ az A -rendszerből a B -rendszerbe transzportált hő, dW az egyidejűleg végzett munka.

Az $U(\mathbf{Z})$ függvény birtokában elsősorban a rendszer egyensúlyi állapotára következtethetünk. A rendszer egyensúlyi állapota azzal van jellemezve, hogy az adott határfeltételeket figyelembe véve, a rendszer $U(\mathbf{Z})$ belső energiája minimálissá válik.

Az entrópia fogalmához a következőképpen juthatunk. A Q hő nem állapotfüggvény, és így a dQ nem totális differenciál, de létezik egy multipli-

kátor, melynek segítségével $\lambda dQ = dS$, totális differenciált nyerhetünk. A dS a rendszer entrópia differenciálja. A termodinamika ezen Caratheodory-féle értelmezése szerint a λ multiplikátor az abszolút hőmérséklet inverze, $\lambda = 1/T$, vagyis:

$$dS_{\lambda} = \frac{dQ}{T} \quad (6)$$

A mi számunkra a továbbiakban lényeges, hogy az S entrópia extenzív mennyiség, vagyis idő szerinti differenciálja S általánosított áramként értelmezhető. Az S -hez tartozó konjugált általánosított potenciál a T abszolút hőmérséklet. Ebből automatikusan következik a második hőtani főtörvény Clausius-féle definíciója, miszerint az entrópiaáram csak akkor végezhet munkát, ha potenciálkülönbségen halad keresztül — hasonlóan a villamos, folyadék stb. áramhoz.

Az entrópia, ellentétben más általánosított áramokkal, csak az ún. reverzibilis folyamatoknál megmaradó mennyiség. Irreverzibilis folyamatoknál — és ide tartozik minden, a természetben spontán lejátszódó folyamat — az entrópia mennyisége nő, $dS \geq 0$, vagyis entrópia produkálódik. Irreverzibilis folyamatoknál a dS entrópia változás két komponensre bontható, egy dS_e megmaradó és egy dS_i nem megmaradó komponensre, $dS = dS_e + dS_i$. Minden esetben $dS_i \geq 0$. Az utóbbi a folyamatban létrejövő hődisszipáció mértéke.

Visszatérve a belső energia fogalmához, a $Z = [S, V, n_i]$ extenzív jellemzőkhöz $X = [T, p, \mu_i]$ intenzív jellemzők, a termodinamikai hajtóerők rendelkeznek, ahol T, p, μ_i rendre az abszolút hőmérséklet, a nyomás és a vegyi komponensek kémiai potenciáljai. A hajtóerők és a belső energia között a következő összefüggés áll fenn:

$$X(Z) = \text{grad } U(Z). \quad (7)$$

A rendszer belső energiája a Z és $X(Z)$ vektorok skaláris szorzatával egyenlő. Ez a megállapítás lényegében azonos a Gibbs-féle relációval, miszerint a belső energia az összetartozó állapotváltozók szorzat összegeként állítható elő

$$dU = TdS - PdV + \sum_{i=1}^k \mu_i dn_i, \quad (8)$$

ahol k a vegyi komponensek száma.

A (8) reláció jelentősége többek között abban van, hogy sejtetni engedi a közeli összefüggést a rendszer termodinamikai és hálózati leírása között. A (8)-at az idő szerint differenciálva, a

$$\sum_j \dot{U}_j = \sum_j T_j \dot{S}_j - \sum_j P_j \dot{V}_j + \sum_j \sum_i \mu_{ji} \dot{n}_{ji} \quad (9)$$

összefüggést nyerjük, ahol feltételeztük, hogy rendszerünk $j = m$ számú alrendszerből áll. A belső energia változását nullának feltételezve

$$\sum_j T_j \dot{S}_j - \sum_j P_j \dot{V}_j + \sum_j \sum_i \mu_{ji} \dot{n}_{ji} = 0 \quad (10)$$

írható fel. Ugyanezen kifejezéshez jutunk olyan több részhálózathoz álló hálózat energiájának számításakor is, ahol a részhálózatok ágaihoz különböző konjugált áramok és feszültségek vannak rendelve. A Tellegen-féle tételek szerint ugyanis minden, a Kirchhoff-féle első és második törvényt kielégítő, valamilyen hálózat ágaihoz rendelt konjugált e, i vektorpár kielégíti az

$$e^t i = 0 \quad (11)$$

relációt [7]. Ha a termodinamikai rendszert egy hálózati modellel helyettesítjük, melynek ágaihoz az e és i (hiper)vektorok T_j, P_j, μ_{ij} , ill. S, V, n_{ij} komponensei vannak rendelve, a (11) alapján egy, a (10)-zel azonos kifejezés adódik.

Nemcsak a Gibbs-féle egyenlet hálózati interpretációjának a lehetősége mutat a termodinamika és a fizikai rendszerek hálózatelmélete között fennálló kapcsolatokra. Szeretnénk megmutatni, hogy a fizikai rendszernek hálózati interpretációja természetes értelmezését szolgáltatja a termodinamika Onsager-elvének [9].

A termodinamikai rendszer áramai és hajtóerői egymást kölcsönösen befolyásolják. Az egyensúlyi állapot közelében feltételezhető, hogy ezen kölcsönhatásokat kifejező összefüggések lineárisak, vagyis az áramok és hajtóerők J , ill. X vektorai között a

$$J = LX, \text{ ill. } X = L^{-1}J \quad (12)$$

összefüggés áll fenn; L az ún. fenomenologikus együtthatók mátrixa. Az Onsager-elv szerint az L mátrix szimmetrikus, vagyis $L = L^t$.

Ha az X -et, ill. J -t a rendszert modellező hálózat e' csomóponti feszültség, ill. J' csomóponti forrásáram vektoraként értelmezzük, ezek összefüggésére az

$$e' = [A^t Y A]^{-1} J' \quad (13)$$

egyenletet írhatjuk fel; lásd pl. a [10]-et. A hálózat topológiáját leíró csomóponti incidenciamátrix, Y a hálózat elemeinek primitív impedanciamátrixa; $[A^t Y A]$ a hálózat csomóponti admittanciamátrixa. A (12) és (13) összevetése alapján látható, hogy

$$L = A^t Y A, \quad (14)$$

vagyis a fenomenologikus együtthatók mátrixa a hálózat csomóponti admittanciamátrixával egyenlő.

A mátrix szorzatok transzponálásának szabályai szerint:

$$\mathbf{L}^t = (\mathbf{A}^t \mathbf{Y} \mathbf{A})^t = \mathbf{A}^t \mathbf{Y} \mathbf{A} = \mathbf{L}, \quad (15)$$

feltéve, ha $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}^t$. A csomóponti admittanciamátrixként értelmezett \mathbf{L} fenomenologikus mátrix tehát szimmetrikus, ha a hálózat elemei (vagy össze nem függő részei) között az energetikai kapcsolat „galvanikus” jellegű, ill. ezt kizárólag ideális energiaátalakítók közvetítik. Mindkét esetben ugyanis az \mathbf{Y} primitív admittanciamátrix szimmetrikus, $\mathbf{Y} = \mathbf{Y}^t$.

A termodinamikai rendszer hálózat interpretációjában tehát a leglényegesebb, hogy mint *következményt* szolgáltatja — az ONSAGER által csupán heurisztikus elvként bevezetett — $\mathbf{L} = \mathbf{L}^t$ követelményt. A hálózati interpretáció kiterjeszti az eredetileg csak lineáris rendszerekre érvényesnek tekintett elv érvényességi körét az egyensúlyi állapottól távol eső nemlineáris rendszerekre is. Behatározható, hogy a nemlineáris hálózat bármely állapotának környezetében az $\mathbf{A}^t \mathbf{Y} \mathbf{A}$ mátrixszorzat szimmetrikus, ahol

$$\mathbf{Y} = \frac{\partial \mathbf{Y}(e)}{\partial e}$$

a hálózat *differenciális* admittanciamátrix [9].

A mondottak megalapozzák a termodinamikai problémák hálózati interpretációját, de önmagukban nem elégségesek a nem egyensúlyi termodinamika fő kutatási területét képező spontán folyamatok értelmezéséhez. A spontán lejátszódó folyamatok energiadisszipációval járnak. A nem egyensúlyi termodinamika lehetőséget nyújt az energiadisszipáció mértékéül szolgáló S_i entrópiatermelés számításához.

A termodinamikai rendszerben lejátszódó spontán és reverzibilis folyamatok formálisan a (10) összefüggés alapján különíthetők el. Az $S = S_e + S_i$ helyettesítéssel ez a következő egyenletet adja:

$$\left\{ - \sum_j P_j \dot{V}_j + \sum_j \sum_i \mu_{ji} \dot{n}_{ji} + \sum_i T_j \dot{S}_{je} \right\} + \sum_j T_j \dot{S}_{ji} = 0 \quad (16)$$

Az egyenlet bal oldalán álló utolsó tag a rendszerben disszipálódó hő Q_{irr} . A többi tag összege nem más, mint a rendszer Gibbs-féle potenciáljának idő szerinti deriváltja, vagyis

$$\dot{G} + Q_{irr} = 0. \quad (17)$$

Zárt rendszerben tehát a disszipálódó hő a rendszer Gibbs-féle potenciáljának időderiváltjával egyenlő. A hálózati modell így a klasszikus termodinamika megállapításával azonos eredményt szolgáltat.

A hálózati termodinamika alapcélkitűzése abban fogalmazható meg, hogy olyan modelleket szolgáltatasson, melyeknél a (16)-ban szereplő egyes tagok strukturálisan is elkülönülnek. A (16) kifejezésben a kapcsos zárójelben szereplő tagok az egyes részhálózatok induktív vagy kapacitív tároló-elemeiben tárolt energiamennyiségekre utalnak, míg az utolsó tag a disszipáló energiára. A hálózati modell megfelelő kialakításával ezen tag is szétsztható az egyes részhálózatokra (l. a továbbiakban az összetett vegyi reakciók hálózati modelljét).

A hálózat-termodinamikai modell így nemcsak a szigorúan vett energia-folyamatokat, hanem a rendszer struktúráját is tükrözi. Ez az a többlet, melyet a hálózat-termodinamika nyújt a konvencionális (irreverzibilis) termodinamikával szemben.

4. A hálózat-termodinamikai modellek szerkesztéséről

A hálózat-termodinamika modellek szerkesztésének metodikája lényegileg azonos a fizikai hálózatok elméletében alkalmazott módszerekkel [4—6]. Az első lépés a rendszer fizikai elemeinek identifikálása, vagyis annak megállapítása, hogy milyen fizikai elemeket — energia tárolókat, disszipatív elemeket, áram- és feszültségforrásokat, valamint ideális energiaátalakítókat tartalmaz.

A következő lépés a rendszer struktúrájának meghatározása. A számba jövő energiaformák szerint a rendszer „galvanikusan” össze nem függő, részrendszerekre bontandó, melyeket ideális energiaátalakítók (transducer-ek) kapcsolnak össze. Az egyes részrendszereken belül ezután a rendszer dinamikai egyenletei alapján meghatározhatók a reverzibilis folyamatok hordozói-ként szereplő kapacitív és induktív tárolók, valamint az irreverzibilis hatásokért „felelős” ellenállások kapcsolatai. Szükséges hangsúlyozni, hogy ezen lépésnél nagy szerephez jut a heurisztika.

A további lépés az elemeket jellemző konstitutív relációk és az ezekben szereplő állandók numerikus értékeinek meghatározása. Ezen probléma megoldásánál lényegében a paraméteridentifikáció jól kidolgozott módszereire lehet támaszkodni. Amennyiben a rendszeregyenletek eleve ismertek és a kezdeti, ill. határfeltételek adottak, a paraméteridentifikáció a matematikai analízis klasszikus módszereivel is elvégezhető.

A második és harmadik lépés nem független egymástól. A konstitutív relációkban szereplő paraméterértékek függnek a fizikai elemek kölcsönös kapcsolatának topológiájától, tekintve, hogy a hálózati modellre vonatkozólag a Kirchhoff-féle törvényeknek (ill. a Tellegen-féle teoremmának) ki kell elégülniük. A modellalkotás második és harmadik lépése így általában többszöri iterálást igényel. A hálózat-termodinamikai modell struktúrájának meg-

határozása, hasonlóan, mint minden más szintézisfeladat, nagymértékben intuitív tevékenység, melynek módszertanát elsősorban a hasonló jellegű feladatok megoldásának tanulmányozásával lehet megtanulni.

A hálózati modell egyenleteinek felírása, ellentétben az előző lépésekkel, lényegében rutinfeladat, mivel támaszkodni lehet a villamos hálózatok analízisére kidolgozott modern módszerekre. Célszerű olyan eljárásokat alkalmazni, amelyek a hálózati egyenleteket közvetlenül, utólagos matematikai transzformációk nélkül, állapotváltozós alakban szolgáltatják, ami tetemes előnyt reprezentál az egyenletek numerikus integrálásánál.

Ide kívánczik egy, a hálózat-termodinamika gyakorlati előnyeivel kapcsolatos megjegyzés. Míg a klasszikus termodinamika általában parciális differenciálegyenletekre vezet, a hálózat-termodinamika a lényegesen könnyebben integrálható közönséges differenciálegyenletekre. Mindenesetre, hogy a hálózati modell a vizsgált rendszer minden részletét elegendő pontossággal adja vissza, általában csak nagyobb elemszámmal és a hálózati struktúra bonyolítása árán érhető el, ami megnöveli a megoldás időszükségletét. Nagy jelentőséggel bírnak ezért a bonyolult hálózatok számítására szolgáló módszerek. Ezen a téren még sok a tennivaló, a kérdés megnyugtatóan csakis stacionárius hálózatokra van megoldva; lásd ehhez a [10]-et.

5. Hálózat-termodinamikai modellek néhány egyszerű példája

5.1 Az egyszerű diffúzió modellje

A hálózat-termodinamikai modell megszerkesztésénél, mint az előzőekben láttuk, elsősorban megfelelően definiálni kell az áramokat és potenciálokat, majd ennek alapján kiválasztani a rendszert alkotó fizikai elemeket, és meghatározni ezek kölcsönös kapcsolatát.

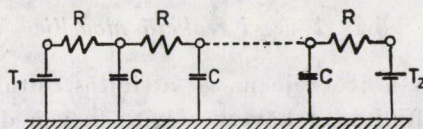
Az egyszerű diffúzió modelljének megszerkesztésénél a kiinduló pont az ismert Fick-féle összefüggés

$$J_D = D \frac{dc}{dx}, \quad (18)$$

ahol J_D a diffúziós áram, c a diffundáló anyag x helytől függő koncentrációja, D a diffúziós állandó. Az összefüggés szerint a folyamat hajtóereje a koncentrációgradiens volna. A termodinamika szemszögéből a hajtóerő azonban ténylegesen a μ kémiai potenciál, amely híg oldatokban a következő függvénye a koncentrációnak [12]:

$$\mu = \mu_0 + R_g T \ln c, \quad (19)$$

ahol μ_0 a vonatkoztatási potenciál, R_g az univerzális gázállandó, T az abszolút hőmérséklet.



1. ábra

A c koncentrációt a μ potenciállal kifejezve a (18)-ból, a

$$J_D = \frac{Dc}{R_g T} \frac{d\mu}{dx} \quad (20)$$

kifejezés adódik. Egy $\Delta x = h$ kicsiny vastagságú rétegben, melyben a potenciálesés $\Delta\mu_i$,

$$J_D = \frac{Dc_i}{R_g Th} \Delta\mu_i, \quad (21)$$

vagyis az i -edik réteg diffúziós ellenállása

$$R_i = \frac{R_g Th}{Dc_i}. \quad (22)$$

Mivel a J_D diffúziós áram megmaradó mennyiség, az i -edik rétegben [$J_{Di} - J_{D(i-1)}$] nagyságú áramnak tárolódni kell. Az egyszerű diffúzió így az 1. ábrán látható ellenállásokból és tárolókból álló láncsal helyettesíthető. Mivel az i -edik tároló a μ_i potenciálra töltődik fel, az ebben tárolt n anyagmennyiségre a (19) alapján a következő összefüggés írható fel:

$$n = V \exp \frac{\mu - \mu_0}{R_g T}, \quad (23)$$

ahol a c koncentráció helyett n/V -t írtunk; V a Δx vastagságú réteg térfogata.

A tároló töltőárama

$$J_{Di} - J_{D(i-1)} = \frac{dn}{dt} = \frac{dn}{d\mu} \frac{d\mu}{dt}. \quad (24)$$

Az (1) alapján a $dn/d\mu$ differenciálhányados a $C(\mu)$ kapacitás tényezővel azonos. A (23)-at az idő szerint deriválva, a kapacitástényező számára a

$$C(\mu_i) = \frac{V}{R_g T} \exp \frac{\mu_i - \mu_0}{R_g T} \quad (25)$$

kifejezés adódik.

5.2 *A vegyi reakció modellje*

A vegyi reakció hajtóereje az A affinitás, általánosított árama a J reakciósebesség. Az affinitás a következőképpen van definiálva:

$$A = - \sum_{i=1}^k \nu_i \mu_i, \quad (26)$$

ahol μ_i a komponens kémiai potenciálja, ν_i a megfelelő stöchiometriai állandó, k a komponensek száma. A J reakciósebesség definíciója:

$$J = \frac{1}{\nu_i} \frac{dn_i}{dt}, \quad (27)$$

n_i az i -edik komponens mólszáma. A reakciónál disszipálódó teljesítmény

$$AJ = - \sum_{i=1}^N \mu_i \frac{dn_i}{dt} = \frac{dG}{dt}, \quad (28)$$

ahol G a Gibbs-féle potenciál.

Nézzük a lehetséges legegyszerűbb esetet, a



egyirányú gázreakciót. A reakció úgy értelmezhető, hogy az $A = \mu_B - \mu_D$ affinitás hatására B tárolóban levő komponens áttöltődik a D tárolóba, miközben

$$AJ = (\mu_B - \mu_D) \frac{dn_B}{dt} \quad (29)$$

teljesítmény disszipálódik.

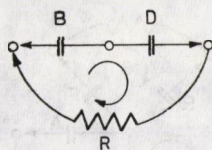
Mivel a tárolók töltésmennyiségei, vagyis a komponensek pillanatnyi mólszámai és ezek kémiai potenciáljai között itt is a (19) összefüggés áll fenn, hasonló okfejtéssel, mint az egyszerű diffúziónál, a C_B , ill. C_D kapacitás-
tényezők számára a

$$C_j(\mu) = \frac{V}{R_g T} \exp \frac{\mu_j - \mu_{j0}}{R_g T}; \quad j = B, D \quad (30)$$

összefüggés adódik.

A két kapacitív tároló kiegyenlítő sebessége (a reakciósebesség) az $A = \mu_B - \mu_D$ affinitáson kívül még az „összekötő vezeték” ellenállásától is függ. A reakcióellenállás mint az A affinitás J reakciósebesség szerinti deriváltja definiálható:

$$R = \frac{dA}{dJ}. \quad (31)$$



2. ábra

Az adott kémiai reakció tehát olyan áramkörnek tekinthető, melyet a C_B és C_D kapacitások és az R ellenállás alkotnak (2. ábra). Az áramkör (hurok) egyenlete a második Kirchhoff-féle törvény alapján:

$$\mu_B - \mu_D - RJ = 0, \quad (32)$$

ahol μ_B és μ_D a B , ill. D tárolók pillanatnyi potenciáljai.

Egyszerű gázreakcióknál érvényesnek tetelezhető fel a kinetikai tömeghatás törvénye, mely esetünkben a J reakciósebességre a

$$J = kc_B = k \frac{n_B}{V} \quad (33)$$

kifejezést szolgáltatja; k a reakciósebesség állandója. A (19) és (33) segítségével a (31)-ben az A -t és J -t az n_B és n_D függvényeiként kifejezve és N_B szerint deriválva, a szóban forgó reakció ellenállására az

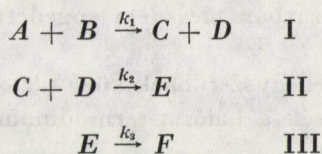
$$R = \frac{R_g T V}{kn_B} \quad (34)$$

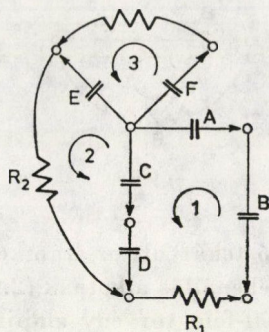
kifejezés adódik.

Mint látható, mind a C_j komponenskapacitások, mind az R reakcióellenállás a μ_B és μ_D potenciálok pillanatnyi értékének függvényei. [A (34)-ben szereplő n_B mólszám a μ_B függvénye; (23).]

Összetett reakciók esetében a hálózati modell megszerkesztése az előbbi módszer általánosításával történik. Minden vegyi komponensnek egy kapacitív tároló, minden individuális reakciónak külön hurok felel meg. Az egyes hurkok a kérdéses egyedi reakcióban szereplő kapacitív tárolókat és az energiadisszipációt reprezentáló ellenállásokat tartalmazzák. Minthogy az egyedi reakcióellenállások egymástól függetlenek, a hálózatot úgy kell kialakítani, hogy egyetlen ellenállás se legyen közös eleme több huroknak. Ez úgy érhető el, hogy a tárolókat a hálózat *fájába*, az ellenállásokat a *hídágakba* helyezzük.

A 3. ábrán látható hálózat az





3. ábra

összetett reakciónak felel meg. Az 1, 2, 3 hurkok az I., II., ill. III. reakciókat reprezentálják. Az I. hurok a C_A , C_B , C_C , C_D kapacitásokat és az R_1 ellenállást tartalmazza stb. Minden hurokra érvényes a második Kirchhoff-féle törvény, melyet a jelen esetben úgy fogalmazhatunk meg, hogy a hurok-áramok, vagyis a reakciósebességek által az R_1 , R_2 , R_3 ellenállásokon előidézett potenciálesések a hurokban előforduló komponens tárolók pillanatnyi potenciálértékének előjeles összegével egyenlők.

A komponensek kapacitástényezői és az egyes reakcióellenállások hasonló megfontolások alapján számíthatók, mint az egyszerű reakció esetében. A hálózati egyenletek felírása a reakció egyenletek stöchiometriai mátrixának birtokában, mely itt mint könnyen belátható a rendszer hurokmátrixával azonos, — standard hálózatelméleti feladat. Célszerű a hálózati egyenletek olyan alakja, amely a hídáramok és a faágpotenciálok közötti összefüggéseket közvetlenül tükrözi [6]. Ezek integrálása a tárolók pillanatnyi potenciáljainak, ill. töltésmennyiségének időbeli változását szolgáltatja.

Szükséges megemlíteni, hogy a kémiai reakciórendszerek modelljei nem minden esetben építhetők fel pusztán ellenállásokból és tárolókból. Ez az eset áll fenn pl. akkor, ha a stöchiometriai mátrix 1-nél nagyobb, ill. —1-nél kisebb elemeket is tartalmaz, vagy valamelyik reakció visszafordítható stb. Ilyenkor a modellnek az R és C tagokon kívül még transzducereket is kell tartalmaznia. A különböző energiafajtákat hordozó részhálózatok közötti kapcsolatok biztosításán kívül transzducerek biztosítják a potenciálok és áramok megfelelő arányban történő veszteségmentes fel-, ill. letranszformálását, és kiküszöbölik a hálózatban meg nem engedett „rövidzárlatokat”, lásd ehhez a [13]-at.

A tárgyalt példák a legegyszerűbbek közé tartoztak és csupán azt a célt szolgálták, hogy érzékeltessék a hálózat-termodinamikai módszerek alkalmazásában rejlő lehetőségeket.

A hálózat-termodinamika igazi jelentősége a bonyolult, transzport-folyamatokkal kapcsolt kémiai reakciók vizsgálatakor mutatkozik. Új, módszertanilag is lényeges eredmények elsősorban ezen a területen várhatók.

6. Megjegyzés

A hálózati termodinamika tárgykörébe tartozó egyes munkák a rendszer struktúráját nem magával a hálózattal, hanem egy, az utóbbiból *levezetett* „bond”-gráffal írják le. A módszer, melyet PAYNTER jóval a hálózat-termodinamika — mint új diszciplína — megjelenése előtt dolgozott ki, annyiban előnyös hogy bonyolult hálózatok struktúráját vizuálisan áttekinthetőbbé teszi [14]. A szerző a bond gráf technikában elsősorban didaktikai eszközt lát a hálózati termodinamika olyan megközelítésére, amely közelebb áll a vegyész és biológus gondolkodásmódjához.

IRODALOM

1. MEIXNER, I.: Symposium on Generalized Networks 1966 Polytechnica Press New York, pp. 13—25
2. OSTER, G.—PERELSON, A.—KARCHALSKY, A.: Network Thermodynamics *Nature*, **234** (1971), 393—399
3. OSTER, G. F.—PERELSON, A. S.—KATCHALSKY, A.: Network Thermodynamics: Dynamic Modelling of Biophysical Systems. *Quart. Rev. Biophys.* **6** (1973), 1—134
4. KÖNIG, H. E.—BLACKWELL, W. A.: Electromechanical System Theory. McGraw Hill, New York 1961
5. KÖNIG, H. E. et al.: Analysis of Discrete Physical Systems. McGraw Hill, New York 1967
6. ATHANS, M. et al.: Systems Networks and Computation. McGraw Hill, New York 1974
7. TELLEGEN, B. D.: A General Network Theorem, with Applications Philips Res. Rep. **7** (1952), 259
8. OSTER, G. F.—DESOER, C. A.: Tellegen's Theorem and Thermodynamic Inequalities. *J. Theor. Biol.* **32** (1971), 219—241
9. SINGER D.: Fizikai hálózatok általánosítása és a technológiai folyamatok rendszerelmélete. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1973.
10. KUO, F. F.: Computer Oriented Circuit Design Prentice-Hall, N. Y. 1969
11. SINGER D.: Nagy hálózatok megoldási módszereiről. *Műszaki Tudomány* **49** (1974), 181—197
12. De GROOT, S.—MAZUR, P.: Nonequilibrium Thermodynamics. North Holland Publ. Co., Amsterdam 1962
13. OSTER, G.—PERELSON, A.: Chemical Reaction Networks. *IEEE Trans. Circuits and Systems* **21** (1974), 709—721
14. PAYNTER, H.: Analysis and Design of Engineering Systems. MIT Cambridge, Mass. 1961

On Network Thermodynamics. The paper analyses the main principles of thermodynamics (Gibbs equation, Onsager's principle, principle of entropy production) and shows that the network interpretation of these put the matter into a new light. It shows that network thermodynamics offers significant methodological advantages against the classical theory. For illustration of the network thermodynamic model building, some examples are given.

Über Netzwerkthermodynamik. Die Arbeit gibt eine Analyse der wesentlichsten Theoremen der Thermodynamik (Gibbssche Gleichung, Onsager's Gesetz, Prinzip der Entropieproduktion) und zeigt, daß eine netzwerktheoretische Interpretation eine tiefere Einsicht in diese ermöglicht. Es wird an die methodologischen Vorteile der Netzwerkthermodynamik hingewiesen, was an Hand einiger Beispiele gezeigt wird.

KÖNYVSZEMLE

BETONTECHNISCHE BERICHTE 1975

Beton-Verlag GmbH, Düsseldorf

A kiadvány a düsseldorfi Cementipari Kutatóintézet eredményeiről számol be.

A különleges létesítmények (pl. atomreaktorok) üzemelésénél előforduló magas hőmérséklet hatása a beton viselkedésére szükségessé tette a beton tervezésének módosítását ilyen vagy hasonló szerkezetnél történő alkalmazása esetében. A vizsgálatok kiterjedtek a beton optimális kötés víztartalmának (cement + adalék) megállapítására a magas (100 °C felett) külső hőmérséklet hatásának figyelembevételével. Ezzel egyidejűleg az így tervezett beton sugárárnyékoló hatását is mérték. A dolgozat ismerteti a víztartalom mérésének metodikáját.

A beton adalékanyagok minőségvizsgálata hatásuknak megfelelően, hat csoportban történik.

A német előírások szerint az adalékanyagot csak a berlini betontechnikai intézet engedélye alapján alkalmazhatja a felhasználó.

Az adalékok (tömítő, pasztifikáló, kötésgyorsító és lassító stb.) minőségi vizsgálatát a felhasználónak kell elvégeztetni az itt közölt irányelvek szerint.

Figyelemre méltó a frissbeton viselkedését leíró tanulmány erősen agresszív környezetben. A korábbi ajánlással ellentétben, miszerint a frissbeton csak két napos kora után kerülhet agresszív környezetbe, megállapították, hogy a kritikus idő néhány órára csökkenthető. Az agresszió határfoka független a frissbeton korától.

A laboratóriumi vizsgálatok alkalmával a beton próbatestek előkészítése (felületek lecsiszolása, kiegyenlítő habarcs minősége és mennyisége) az egységesítés elve alapján szabályozást igényel. Ennek időszereúségéről számol be Jurger DAHMS tanulmánya.

A betonra káros hatású széndioxid (60 mg CO₂/l) oldatokkal szembeni ellenállóképesség nő a tömörség, a cementtartalom és az adalék vegyi összetételétől függően. A kvarchomok adalék ellenállóképessége korrózióval szemben, jóval nagyobb a mészkőzuzalékos adaléknál.

Az erősen agresszív jelzésű küszöbérték felemelhető 60 mg/l-ről 100 mg CO₂/l-re. A beton-takarás előírt mértéke ilyen környezetben növelendő.

Egy további tanulmány a betontömítőkről tudósít. A beton 10–20%-os hézagterfogatának zömét pórusvíz tölti ki. A beton vízfellevő képessége változó a cementtartalom és vízcement tényezőtől függően. A tömítő anyagok alkalmazása mellett a jó betonösszetétel és a tömörség változatlanul meghatározói a vízzárásnak.

A környezetvédelem témakörébe tartozik az elektromos légműzők feltárása és érzékelése (mérése). Az eddigi vizsgálatok igazolták, hogy emberi szervezet először érzékenyen reagál, majd aklimatizálódik a különböző elektrosztatikus és elektromagnetikus jelenségekre. A szervezet eltérően reagál a szabadban, mint a zárt helyiségben, mivel a különböző építőanyagok, eltérő intenzitással ugyan, de árnyékolják (csillapítják) a levegő ion-koncentrációját.

A kiadvány zárórésze összefoglalja az 1960 és 1975 között kiadott módosított előírások jegyzékét.

Dr. Goschy Béla

Kaliszky Sándor :

KÉPLEKENYSÉGTAN
ELMÉLET ÉS MÉRNÖKI ALKALMAZÁSOK

Akadémiai Kiadó, Budapest 1975

A képlékenységtan a szilárd testek mechanikájának ágaként a huszadik században bontakozott ki és jelentős szerephez jutott a teherviselő szerkezetek, valamint gépalkatrészek méretezése, a fémek alakításának és megmunkálásának vizsgálata, továbbá a geotechnikai és bányászati problémák tanulmányozása terén. Annak ellenére, hogy a képlékenységtan elméletének kidolgozásában és alkalmazásainak bemutatásában a magyar tudósok, KAZINCZY Gábor, KÁRMÁN Tódor, NÁDAI Árpád, REUSS Endre kiemelkedő munkát végeztek, KALISZKY professzor Képlékenységtan-a az első, eredeti magyar nyelvű összefoglaló könyv e tudományterületről.

A szerző könyvét elsősorban a tanulás céljaira szánta. Ezt a célt szolgálja a használt fogalmak és törvények szabatos bevezetése és megfogalmazása, valamint fizikai tartalmuk sokoldalú, jól követhető példákkal is segített megvilágítása. A tanulás mellett a könyv igen sokat nyújt az általános törvények és módszerek alkalmazási területeiről, elsősorban az építőmérnöki feladatok köréből. Az elmélyültebb tanulmányok és az alkalmazások további eredményei iránt érdeklődőknek a több mint 300 irodalmi hivatkozás nyújt segítséget. A hivatkozások közül 35 a szerző saját, vagy társszerzőkkel írott munkája.

Az első fejezet a szerkezetek terhelés hatására bekövetkező alakváltozásával kapcsolatos alapfogalmakat ismerteti és megjelöli a könyv többségénél felhasznált feltételezéseket. Ezek: homogén, izotróp, lineárisan rugalmas — tökéletesen képlékeny anyag, kismértékű alakváltozások, monoton növekvő, kvázi-statisztikus terhelés.

A jelölések terén a szerző általában a descartesi, egységbázisú, derékszögű koordinárendszerre vonatkoztatott indexes jelölésmódot használja, célszerűen kiegészítve a vektorok szimbolikus jelölésével.

A második fejezet a kontinuum-mechanika szilárd testekre vonatkozó és a bevezetett feltételezésekre támaszkodó alapfogalmait, összefüggéseit és törvényeit adja elő és ismerteti a lineárisan rugalmas, valamint a lineárisan rugalmas — tökéletesen képlékeny test anyagtörvényeit, valamint alap-egyenletrendszerét. További anyagtörvényeket (keményedő anyagok, szemcsés anyagok, viszkózus anyagok, lökészerű terhelés alatti viselkedés) a 8. fejezetben találunk.

A képlékenységtani alkalmazások terén nagy jelentőségű energia- és szélsőértéktételek külön, a 3. fejezetben kerülnek tárgyalásra.

A 4. fejezet tárgya a prizmatikus rudak szabad csavarásának, valamint a belső nyomással terhelt vastagfalú gömbnek és csőnek rugalmas-képlékeny alakváltozása.

A képlékenységtan síkbeli feladatai az 5. fejezetben találhatóak. Külön értéke a fejezetnek jellemző síkbeli feladat megoldásának a bemutatása.

A könyv legterjedelmesebb, 6. fejezete a rúdszerkezetek képlékeny teherbírásával foglalkozik a hajlítónyomatékok figyelembevétel alapján, kismértékű elmozdulások feltételezésével. A lemezek és héjak egyes képlékeny teherbírási feladatait a 7. fejezet ismerteti. Mindkét utóbbi fejezet kitér az optimális méretezés kérdéseire is.

KALISZKY professzor Képlékenységtan című könyve értékes gyarapodása az egyébként nem nagyszámú magyar nyelvű mechanikai monográfiák sorának. Igen jó segítséget nyújt a tanulni vágyó egyetemi hallgatók, aspiránsok és mérnökök számára és mindazoknak, akik a képlékenységtan mérnöki alkalmazásai iránt érdeklődnek.

Dr. Kozák Imre

Herbert Rüsç—Dieter Jungwirth:

STAHLBETON—SPANNBETON BAND 2

BERÜCKSICHTIGUNG DER EINFLÜSSE VON KRIECHEN UND SCHWINDEN AUF DER VERHALTEN DER TRAGWERKE

(Vasbeton—Feszítettbeton 2. kötet. „A kúszás és zsugorodás hatása a tartószerkezetek viselkedésére”)

Werner Verlag GmbH Düsseldorf, 1976. 247 oldal, 157 ábra.

A kétkötetes mű első kötete 1972-ben jelent meg Rüsç professzor tollából. Az első kötet a vasbetont és feszített betont alkotó anyagok tulajdonságaival és a méretezési eljárásokkal foglalkozott. E kötetet a határállapotokon alapuló méretezési eljárást bevezető új DIN 1045-ben és a CEB-FIP ajánlásban szereplő elvek és eljárások elvi megalapozása és a gyakorlat számára szükséges kifejtése tették indokolttá.

Míg az első kötethez hasonló, a vasbeton és feszített beton problémával foglalkozó általános jellegű mű a nemzetközi irodalomban majd minden nyelven ismeretes, addig a jelen második kötet a maga nemében sokkal eredetibb. Szerzők e kötetben ugyanis a legújabb nemzetközi és saját kutatási eredményeik alapján azokkal a speciális problémákkal foglalkoznak, amelyek a beton kúszásának és zsugorodásának, valamint az acél (feszítőhuzal) relaxációjának hatásait vizsgálják a szerkezetek teherbíró képességére a gyakorlati szerkezettervezés szemszögéből.

A kötet négy részre oszlik. Az első bevezető jellegű rövid részben szerzők azokat az eseteket írják le, ahol a kúszás és zsugorodás hatását figyelembe kell venni.

A második kissé bővebb rész először a beton kúszásának és zsugorodásának kutatásában elért eredményeket ismerteti, majd foglalkozik a DIN és a CEB-FIP ajánlások vonatkozó részeivel. Ezután a beton különböző alakváltozási modulusainak meghatározási módszereit írja le, végül röviden foglalkozik a feszítő acélhuzal relaxációjával.

A harmadik részben a kúszás és zsugorodás hatásának figyelembevételére vonatkozó, a tervezői gyakorlatban alkalmazható számítási eljárásokat ismertetik a szerzők. Természetesen ez a rész terjedelménél fogva sem tartalmazhatja az összes eljárás részletes leírását, tehát elsősorban azok az eljárások kerültek e részbe, amelyek már részben ismeretesek a szerzők országának szakmai gyakorlatában (pl. Dischinger, Trost módszerei).

A kötet negyedik és egyben legfontosabb része, amely egyben a terjedelem több mint felét teszi ki, a gyakorlati tervezési problémák megoldását, konkrét tartószerkezeti alkalmazását mutatja be. E rész első felében, valamint a példákkal párhuzamosan komoly mennyiségű számítási segédanyagot találunk táblázatok, grafikonok, képletek formájában. A továbbiakban az egyszerű statikailag határozott rudaktól kezdve a bonyolult statikailag határozatlan tartóig különböző példák megoldását találjuk. Ki kell emelni a rugalmas alátámasztású tartókkal foglalkozó példákat és a kényszererők időbeni változásával foglalkozó gazdag diagram-anyagot.

A kötet metodikailag magasra értékelhető, könnyen forgatható és érthető, olyan mű, amely a magas tudományos színvonal ellenére sem téveszti szem elől az elméleti eredmények közvetlen gyakorlati felhasználhatóságát.

Dr. Lenkei Péter

CONTENT

OBITUARIES

Zorkóczy Béla	1898—1975	247
Németh Endre	1891—1976	249

THE NEW CORRESPONDING MEMBERS OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES

Czibere T.	251
Simon S.	257
Stefán M.	261
Vajda Gy.	265

EXTENDED MEETING OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES HELD THE 3^d MAY, 1976.

Lévai, A.: Report on the Work of the Department of Technical Sciences from 1972 to 1975	271
Annex to the Report of the Departments President	299
Contributions to the Report of the Departments President	309
Prohászka, J.	309
Eisler, J.:	310
Kalászi, I.:	311
Szendy, K.: New Possibilities for the Production of Electrical Energy	313

PAPERS

Olszak, W.—Sawczuk, A.: Inelastic Effects in the Shell Theory. Basic Problem and Applications	353
Bölcskei, E.: Hood-Shaped Shell Structures	371
Csonka, P.: Parabolic Conoid Shells with Vertical Director Line	383
Rédey, L.—Sors, L.: Perspectives of Chemical Current Sources and of their Application	397
Vác, I.—Kerényi, I.: Qualification of Thermionic Cathodes	419
Csutor, J.: Suggestions for the Improvement of the Control System of Concrete Technique with Particular Consideration of Gravel Concretes	429
Gáspár, Zs.: Construction of a Cable Network along the Principal Curvature	457
Singer, D.: On Network Thermodynamics	471

BOOK REVIEWS

Betontechnische Berichte (Goschy, B.)	485
Kaliszky, S.: Képlékenységtan. Elméleti és mérnöki alkalmazások (Kozák, I.)	486
H. Rüsck—D. Jungwirth: Stahlbeton-Spannbeton (Lenkei, P.)	487

INHALTSVERZEICHNIS

NACHRUFE

<i>Zorkóczy Béla</i>	1898—1975	247
<i>Németh Endre</i>	1891—1976	249

NEUE KORRESPONDIERENDE MITGLIEDER DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

<i>Czibere T.</i>	251
<i>Simon S.</i>	257
<i>Stefán M.</i>	261
<i>Vajda Gy.</i>	265

ERWEITERTE ABTEILUNGSSITZUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN AM. 3. MAI, 1976.

<i>Lévai, A.</i> : Bericht über die Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften in den Jahren 1971—1975	271
Ergänzung zum Bericht des Abteilungsvorsitzenden	299
Beiträge zum Bericht des Abteilungsvorsitzenden	309
<i>Prohászka, J.</i>	309
<i>Eisler, J.</i>	310
<i>Kalászi, I.</i>	311
<i>Szendy, K.</i> : Neue potentielle Möglichkeiten in der Elektrizitätserzeugung	313

ABHANDLUNGEN

<i>Olszak, W.—Sawczuk, A.</i> : Nichtelastische Wirkungen in der Schalentheorie	353
<i>Bölcskei, E.</i> : Haubenschalen	371
<i>Csonka, P.</i> : Parabolische Konoidschalen mit vertikaler Leitlinie	383
<i>Rédey, L.—Sors, L.</i> : Perspektiven der chemischen Stromquellen und ihrer Anwendung	397
<i>Vácz, I.—Kerényi, I.</i> : Charakterisierung von thermodynamischen Kathoden	419
<i>Csutor, J.</i> : Vorschläge zur Verbesserung des Regelungssystems der Betontechnik mit besonderer Rücksicht auf die Kiesbetone	429
<i>Gáspár, Zs.</i> : Konstruktion eines in der Hauptkrümmung befindlichen Seilnetzes	457
<i>Singer, D.</i> : Über Netzwerkthermodynamik	471

BUCHBESPRECHUNG

Betontechnische Berichte (Goschy, B.)	485
<i>Kaliszky, S.</i> : Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások (Kozák, I.)	486
<i>H. Rüsç—D. Jungwirth</i> : Stahlbeton-Spannbeton, 2. Band (Lenkei, P.)	487

СОДЕРЖАНИЕ

НЕКРОЛОГИ

Бела Зоркоци	1898—1975 гг.	247
Эндре Немет	1891—1976 гг.	249

НОВЫЕ ЧЛЕН-КОРР. ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Тибор Цибере	251
Шандор Шимон	257
Михай Штефан	261
Дьердь Вайда	265

РАСШИРЕННОЕ СОБРАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК 3-ГО МАЯ 1976 Г.

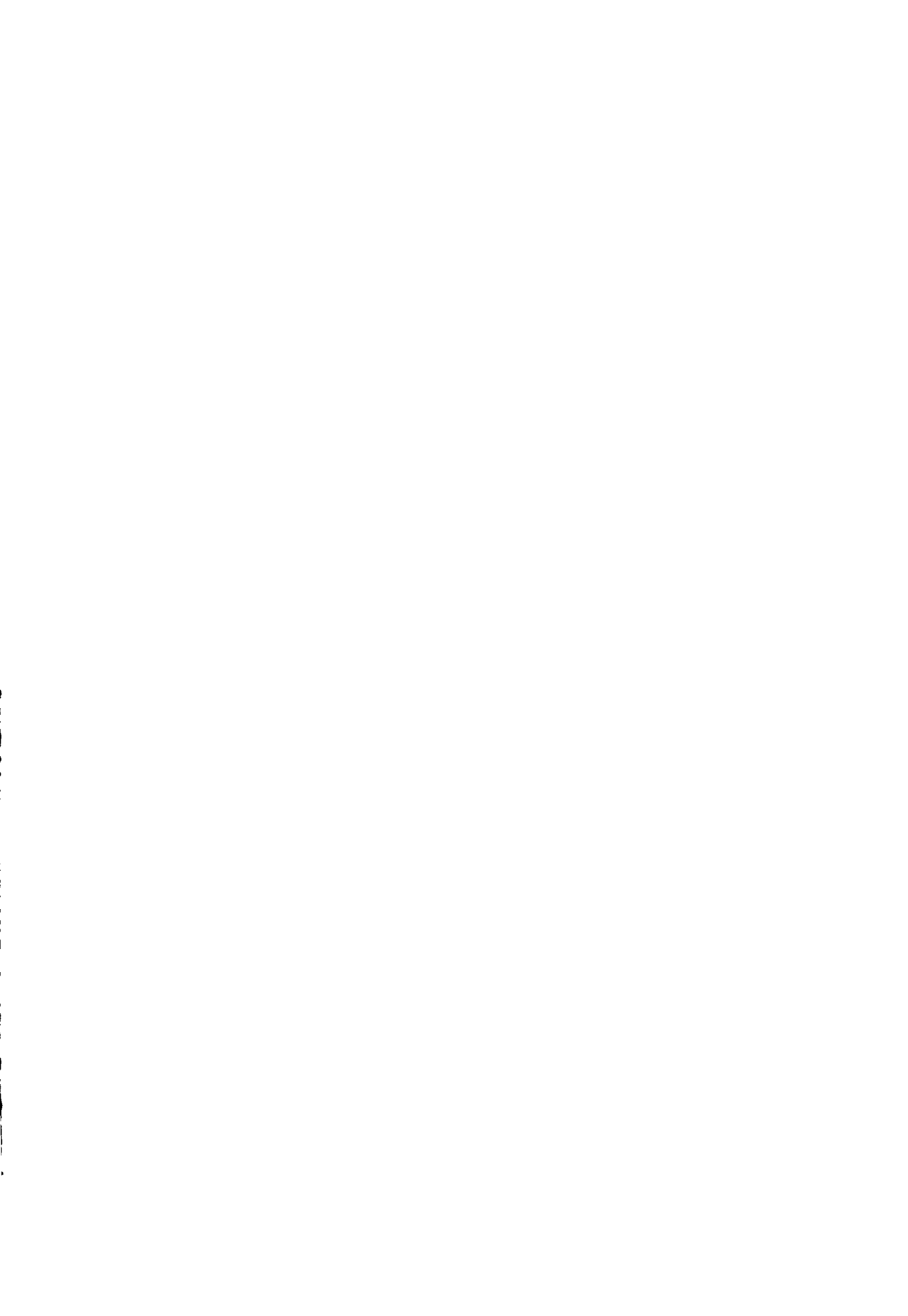
Андраш Леваи: Отчетный доклад о работе Отделения технических наук за 1972—1975 гг.	271
Дополнение к отчетному докладу председателя Отделения	299
Выступления по отчетному докладу председателя Отделения	309
Янош Прохаска	309
Янош Эйслер	310
Иштван Каласи	311
Карой Сенди: Потенциальные возможности в области выработки электроэнергии	313

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ

Оласк В.,—Шавчук А.: Неупругие эффекты в теории оболочек. Основные задачи и варианты применения	353
Бельчкеи Э.: Капюшонообразные оболочки	371
Чонка П.: Коноидные стоячие оболочки с параболоидной направляющей	383
Редеш Л., Шорш Л.: Химические источники тока и перспективы их применения	397
Вац И., Керени И.: Квалификация термических катодов	419
Чутор Я.: Предложения по улучшению системы регулирования бетонной техники, уделяя при этом особое внимание гравийным бетонам	429
Гашпар Ж.: Построение веревочной сетки	457
Зингер Д.: О термодинамике сети	471

ОБЗОР КНИГ

Бетонтехнише берихте (сообщения по бетонной технике) (Гоши Б.)	485
Калиски Ш.: Теория пластичности. Теория и инженерное применение (Козак И.)	486
Рюш Г., Юнгвирт Д.: Штальбетон—Шпанбетон (сталебетон — напряженный бетон). том 2 (Ленкеи И.)	487



TARTALOMJEGYZÉK

NEKROLÓGOK

Zorkóczy Béla	1898—1975	247
Németh Endre	1891—1976	249

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA ÚJ LEVELEZŐ TAGJAI

Czibere Tibor	251
Simon Sándor	257
Stefán Mihály	261
Vajda György	265

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1976. MÁJUS 3-ÁN TARTOTT
KIBŐVÍTETT OSZTÁLYÜLÉSE

<i>Lévai András</i> : Beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának 1972—1975. évi tevékenységéről	271
Kiegészítés az osztályelnöki beszámolóhoz	299
Hozzászólások az osztályelnöki beszámolóhoz	309
Prohászka János	309
Eisler János	310
Kalászi István	311
<i>Szendy Károly</i> : Potenciális lehetőségek a villamosenergia-termelésben	313

TANULMÁNYOK

<i>Olszak, W.</i> — <i>Sawczuk, A.</i> : Nem rugalmas hatások a héjelméletben. Alapfeladatok és gyakorlati alkalmazások	353
<i>Bölcskei Elemér</i> : Csuklya alakú héjak	371
<i>Csonka Pál</i> : Parabola vezérgörbéjű álló konoidhéj	383
<i>Rédey László</i> — <i>Sors László</i> : A kémiai áramforrások és alkalmazásuk perspektívái	397
<i>Váczi István</i> — <i>Kerényi István</i> : Termikus katódok minősítése	419
<i>Csutor János</i> : Javaslatok a betontechnika szabályozásrendszerének javítására, különös tekintettel a kavicsbetonokra	429
<i>Gáspár Zsolt</i> : Főgörbületi kötélháló szerkesztése	457
<i>Singer Dénes</i> : A hálózat-termodinamikáról	471

KÖNYVISMERTETÉSEK

Betontechnische Berichte (Goschy B.)	485
<i>Kalischky Sándor</i> : Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások (Kozák, I.)	486
<i>Herbert Rüsck</i> — <i>Dieter Jungwirth</i> : Stahlbeton-Spannbeton. 2. kötet (Lenkei, P.)	487