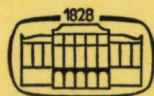


MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

53. KÖTET
1-2. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1977

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

Megemlékezés Nicola Tesla-ról	1
Lampl Hugó 1883—1976	3
Vitális Sándor 1900—1976	7
Széll László 1903—1976	9
<i>Petrov, A. P.</i> : A szovjet vasutak üzemeltetésének és automatizált irányításának kérdései	13
<i>Geszi P. Ottó</i> : Különösen nagy feszültségű és nagy távolságú szabadvezetékek egysarkú gyorsvisszakapcsolási problémái	25
<i>Vajda György</i> : Az energetika néhány kölcsönhatása	43
<i>Kozma László</i> : Aktuális telefontechnikai problémáink	59
<i>Simon Sándor</i> : A metallurgia az acél tisztaságának szolgálatában	85
<i>Kollár Lajos</i> : A „háromszög felett hatszög” hálózatu kétrétegű térrács vizsgálata kontinuum-módszerrel	101
<i>Sebők Ferenc—Farágó Kálmán</i> : Négyyszög alaprajzú, rövidebb oldalain részlegesen megtámasztott, egyik hosszabb oldalán szabad, a másikon gerendával merevített lemez erőtanai vizsgálata	125
<i>Ecsedi István</i> : Rugalmas feltérrel kapcsolatos nem-forgásszimmetrikus peremértékfeladatokat egy osztályáról	153
<i>Asztalos Péter—Barna Gábor—Fehér György és Hörcher Frigyes</i> : Turbógenerátorok homlokoldali melegedésének meghatározása alulgerjesztett üzemben	169
<i>Dulácska Endre—Jankó László</i> : Egyenletesen eloszló vízszintes peremterhű lapos elliptikus paraboloidhéjak membránerei és membránalakváltozásai	179
<i>Grósz Miklós</i> : Automatizált tervezés integer programozással	207
<i>Kurutzné Kovács Márta</i> : Vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdszerkezetek gépi számítása	217
<i>Gáspár Zsolt</i> : Ideálisan rugalmas térgörbe tengelyű rúd alakjának meghatározása	227
<i>Kovács K. Pál—Krómer L. István</i> : A kriotechnika villamosenergetikai alkalmazására irányuló kutatások áttekintése	239
Kiállítás a magyar vasút történetének irodalmából (Végh F.)	265
Huszonöt éves a Magyar Tudományos Akadémia Településtudományi Bizottsága (Köszegfalvi Gy.)	266
A dinamikusan terhelt képlékeny szerkezetek és kontinuumok című (EUROMECH 83) kollokviumról (Kaliszky S.)	267
Az IUTAM 14. Nemzetközi Kongresszusa (Bosznay Á.)	267
KÖNYVISMERTETÉS	
<i>Hevesi Gyula</i> : Tanulmányok (Csáki Fr.)	269
<i>Kézdi Árpád</i> : Fragen der Bodenphysik (Rétháti L.)	270
<i>Kozák Miklós</i> : A szabadfelszínű nempermanens vízmozgások számítása (Bogárdi J.)	270
<i>Herpy, M.</i> : Analoge integrierte Schaltungen (Házman I.)	271

INHALTSVERZEICHNIS

In Erinnerung an NicolaA Tesla	1
Lampl, H. 1883—1976	3
Vitális, S. 1900—1976	7
Széll, L. 1903—1976	9

ABHANDLUNGEN

Petrov, A. P.: Probleme der Betriebsführung und der automatischen Verkehrssteuerung der Sowjetischen Eisenbahnen	13
Geszti, P. O.: Probleme der einpoligen Kurzunterbrechung bei langen Höchstspannungsleitungen	25
Vajda, Gy.: Einige Wechselwirkungen in der Energetik	43
Kozma, L.: Aktuelle telefontechnische Probleme	59
Simon, S.: Metallurgie für Interesse der Stahlreinheit	85
Kollár, L.: Untersuchung des zweischichtigen Raumbachwerkes mit einem Netz von »Sechseck über Dreieck« mit Hilfe des Kontinuumverfahrens	101
Sebök, F.—Faragó, K.: Untersuchung einer auf den kürzeren Seiten teilweise unterstützten, auf einem der längeren Seiten freien, und am der anderen durch einen Balken verstärkten Platte	125
Ecsedi, I.: Über eine Klasse der mit dem elastischen Halbraum zusammenhängenden, nicht achsensymmetrischen Randwertaufgaben	153
Asztalos, P. et al.: Die Erwärmung von Turbogeneratoren in untererregtem Betrieb	169
Dulácska, E.—Jankó, L.: Membrankräfte und Membranformänderungen von flachen elliptischen Paraboloidschalen mit gleichförmig verteilter horizontaler Belastung	179
Grósz, M.: Automatisiertes Projektieren mittels integer Programmierung	207
Mrs. Kurutz, M.: Berechnung von dünnwandigen Stabkonstruktionen mit offenen Querschnitten, mit Hilfe von Rechenanlagen	217
Gáspár, Zs.: Ermittlung der Form eines ideal-elastischen Stabes mit räumlich gekrümmter Achse	227
Ausstellung aus der Geschichtsschreibung über die Ungarischen Eisenbahnen (Végh, F.)	265
Der Siedelungswissenschaftliche Ausschuß der Ungarischen Akademie der Wissenschaften ist fünfzundzwanzig Jahre alt (Kőszegfalvi, Gy.)	266
Über das Kolloquium über die dynamisch belasteten plastischen Konstruktionen und Kontinua (EUROMECH 83) (Kaliszky, S.)	267
Der vierzehnte Kongress des IUTAM (Bosznay, Á.)	267

BUCHBESPRECHUNG

Hevesi, Gy.: Studien (Csáki, Fr.)	269
Kézdi, A.: Fragen der Bodenphysik (Rétháti, L.)	270
Kozák, M.: Berechnung der nichtstationären Freispiegelströmungen (Bogárdi, J.)	270
Herpy, M.: Analoge integrierte Schaltungen (Házman, I.)	271

CONTENT

In Memory of Nicola Tesla	1
Lampl, H. 1883—1976	3
Vitális, S. 1900—1976	7
Széll, L. 1903—1976	9
<i>Petrov, A. P.</i> : Problems of Exploitation and Automatic Traffic Control of the Sowjet Railways	13
<i>Gesztli, P. O.</i> : Problems of Single-Phase Reclosing in Long ehv Transmission Lines	25
<i>Vajda, Gy.</i> : Some Mutual Influences in Energetics	43
<i>Kozma, L.</i> : Actual Problems in Telephony	59
<i>Simon, S.</i> : Metallurgy Contributes to the Making of Clean Steel	85
<i>Kollár, L.</i> : Investigation of the Double Layered Spatial Gridwork with a Network "Hexagon over Triangle" with the Aid of the Method of Continua	101
<i>Sebők, F.—Faragó, K.</i> : Investigation of a Rectangular Plate Partially Supported on its Shorter Sides, one of the Longer Sides Being Free, the other Stiffened by a Beam	125
<i>Ecsedi, I.</i> : On the Class of the Non-Axisymmetric Boundary-Value Problems Connected to the Elastic Halfspace	153
<i>Asztalos, P. et al.</i> : Determination of the Core End Heating of Turbogenerators on Under-Excited Operation	169
<i>Dulácska, E.—Jankó, L.</i> : Membrane Forces and Membrane Deflections of Flat Elliptic Paraboloid Shells Subjected to Uniformly Distributed Horizontal Load at the Edges	179
<i>Grósz, M.</i> : Automated Designing with Integer Programming	207
<i>Mrs. Kurutz, M.</i> : Computer Calculation of Structures Consisting of Thin-Walled Open Section Bars	217
<i>Gáspár, Zs.</i> : The Form of an Ideally Elastic Bar with a Space-Curve Axis	227
Exhibition on History Literature of the Hungarian Railway (Végh, F.)	265
The Committe of Habitation Science of the Hungarian Academy of Sciences is Twenty-five Years Old (Kőszegfalvi, Gy.)	266
About the Colloquium of the Dynamically Loaded Plastic Structures and Continua (EUROMECH 83) (Kaliszky, S.)	267
The 14th International Congress of the IUTAM (Bosznay, Á.)	267

BOOK REVIEW

<i>Hevesi, Gy.</i> : Studies (Csáki, Fr.)	269
<i>Kézdi, A.</i> : Problems of Soil Physics (Rétháti, L.)	270
<i>Kozák, M.</i> : Calculation of Unsteady Free-Surface Flows (Bogárdi, J.)	270
<i>Herpy, M.</i> : Analogue Integrated Circuits (Házman, I.)	271

СОДЕРЖАНИЕ

Воспоминания, посвященные памяти Н. Тесла	1
Лампл Х. (1883—1976)	3
Виталиш Ш. (1900—1976)	7
Сал Л. (1903—1976)	9
<i>Петров А. П.</i> : Вопросы эксплуатации и автоматического управления советских железных дорог	13
<i>Гести П. О.é</i> Проблемы однополюсного скоростного обратного включения ЛЭП очень высокого напряжения и больших дистанций	25
<i>Вайда Д.з</i> Некоторые взаимодействия энергетики	43
<i>Козьма Л.</i> : Наши актуальные проблемы по телефонной технике	59
<i>Шимон Ш.</i> : Металлургия на службе чистоты стали	85
<i>Коллар Л.</i> : Исследование континуумным методом двухслойной пространственной решетки структуры «треугольных над шестиугольником»	101
<i>Шебек Ф., Фараго К.</i> : Динамический анализ четырехугольной пластины, укрепленной балкой (с одной более длинной) стороны, а с другой являющейся свободной, а на коротких сторонах с частичной опорой	125
<i>Эчеди И.</i> : Об одном классе не вращательно-симметричных краевых задач, связанной с упругим полупространством	153
<i>Асталош П., Барна Г., Фехер Д. и Хэрнер Ф.</i> : Определение нагрева лобовой части турбогенераторов в недовозбужденном режиме	169
<i>Дулачка Э., Янко Л.</i> : Мембранные усилия и мембранные деформации плоских эллиптических параболических оболочек с равномерно распределяющейся горизонтальной краевой нагрузкой	179
<i>Грос М.</i> : Автоматическое проектирование интегральным программированием	207
<i>Курутц (Ковач М.)</i> : Машинный расчет тонкостенных стержневых конструкций открытого тонкостенных стержневых конструкций открытого сечения	217
<i>Гашпар Ж.</i> : Определение формы идеально упругого стержня с осью в виде пространственной кривой	227
Выставка по истории венгерской железной дороги (Вэг П.)	265
25 летие Комиссии по науке поселений Академии наук Венгрии (Кэсегфальфи Д.)	266
О коллоквиуме по теме: Динамически нагруженные пластичные конструкции и континуумы (ЕВРОМЕХ 83) (Калиски Ш.)	267
14-ый Международный конгресс IUTAM (Боснаи А.)	267
ОБЗОР КНИГ	
<i>Дьюла Хевеши</i> : Очерки (Чаки Ф.)	269
<i>Арпад Кезди</i> : Вопросы по физике грунта (Ретхати Л.)	270
<i>Миклош Козак</i> : Расчет не перманентного движения вод со свободной поверхностью (Богарди Я.)	270
<i>Герпи М.</i> : Аналоговые интегральные схемы	271

MEGEMLEKEZÉS NICOLA TESLARÓL*

A jugoszláviai Smiljan helységben, 120 évvel ezelőtt született Nicola TESLA. A műszaki tudományok területén mind az erősáramú, mind a híradástechnikai felfedezéseivel világhírnévre tett szert. Egyik legnagyobb találmánya a forgó mágnesmező elvének felfedezése, amely a villamos energiának világítási célon túlmenő erőátviteli felhasználását tette lehetővé.

A híradástechnikában villamos kisüléssel gerjesztett, nagyfrekvenciás rezgőkörhöz csatolt, drótnélküli táviró berendezései még a múlt század végén 200 kW-os adóállomás felállítását és 1000 km távolságú átvitelt biztosítottak. Neki sikerült ugyanebben az időben 25 km távoból oly vezeték nélküli átvitelt létrehozni, amelynek segítségével világítást adott és egyes források szerint villamos motorokat is hajtott.

Ekkor létesíti a nagyfrekvenciás, nagyfeszültségű, vasmag nélküli olajtranszformátorát, amellyel még a múlt század végén 12 millió V feszültséget volt képes előállítani. Az olajszigeteléshez először vezeti be a tekercselés vákuum alatti kezelését. Találmányainak egész sorozata tanúskodik nagszerű alkotóképességéről, először alkalmazva a negyed hullámhosszra méretezett antennát. Találmányai között szerepel számos nagyfrekvenciás szabadalma, a távirányítású villamos hajtású hajója, különböző szabályozási rendszerei.

Már a középiskolában idegen nyelvek minél tökéletesebb elsajátítására törekszik és ez lehetővé teszi az élete későbbi szakaszában a természettudományi és műszaki ismeretek széleskörű megismerését és a múlt század végén meginduló nagy technikai fellendülés nemzetközi élvonalába kerülését. Grazban végzi a műegyetemet, ahol elsősorban matematikára, fizikára és annak kísérleti alkalmazására összpontosítja tanulmányait. Érdekes, hogy a kísérleti fizika tanárának laboratóriumában, Párizsból érkező egyenáramú géppel végzett kísérletek során jön először az a gondolata, hogy az egyenáramú, kommutátoros motor helyett más megoldást kellene találni, például a mágneses forgómező segítségével. Professzora ezt a megoldást teljesen lehetetlennek tartja,

* Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának 1976. október 5-i ülésén elhangzott előadás.

olyannak, mintha valaki a nehézségi erőt kívánná a földön megváltoztatni, vagy a perpetuum mobilét feltalálni. Tanulmányait a prágai egyetemen humán szakon fejezi be. Az élet különböző jelenségeiben egy általánosabb szemléletet képes maga számára kialakítani, amely még jobban lehetővé teszi az emberiség számára hasznos alkotások létrehozását.

Az egyetemet elvégezve szakmai működését Budapesten kezdi, ahol a Magyar Állami Központi Távíró Hivatalba kerül, mint rajzoló. Felettesei különleges képességeit azonnal észreveszik, és az akkor épülő Távbeszélő Központ munkálataiba bekapcsolják. Első találmányai ebből az időből származnak. A telefonhírmondó mechanikus hangerősítésével (hangszórót és mikrofont sorbakapcsolva) az átviteli távolságot megnövelte, amellyel a Puskás fivérek érdeklődését nagymértékben kiváltotta. A grazi tartózkodása alatt felmerült mágneses forgómező gondolata azonban nem hagyta nyugodni. A megoldás keresése csaknem teljes idegösszeomlásba vitte, amelyből a feloldást, mint emlékiratában írja, Goethe Faustja adta meg. 1882 február egyik délutánján a Városligetben egy barátjával sétál. A napnyugtakor a költemény következő sorai jutnak eszébe.

„A távozó Nap kialszik, a ma elmúlt,
A nap tovább siet, új életet sürget,
Ó, hogy nincs szárny, amely a földről felemelhet, hogy
folyton-folyvást nyomába lépjek.”

Ennek a továbbhaladást sürgető gondolatnak elmondása után hirtelen megtalálja a megoldást és egy bottal a kezében a homokba oly világosan felrajzolja és megmagyarázza barátjának, hogy az is egyszerre megérti. A Puskás fivérek révén egy év múlva Franciaországba kerül és 1883-ban Strassburgban építi meg az első forgóáramú motort.

Egyes források szerint ZIPERNOWSKY Károllyal is dolgozott és lehetséges, hogy a többfázisú villamosenergia átvitel elvének megvalósítását — amelyet később 1893-tól kezdve KANDÓ Kálmán képviselt a Ganz Gyárban — hazánkban ezek a találkozások segítették elő.

Nicola TESLÁRA az utókor az emberiség tudományos előrehaladását jelentő nagy és kimagasló elméleti és technikai alkotásai alapján mindig hálásan emlékezik.

Szendy Károly

LAMPL HUGÓ

1883—1976

LAMPL Hugó 1883. április 10-én született és 93 éves korában, 1976. június 14-én távozott el körükből.

Kivételes egyéniség volt, rendkívüli tehetségét hét évtizeden át önzetlenül állította hazánk szolgálatába. Nagyszerű ajándéka a sorsnak, ha valaki hét évtizeden át tevékenykedik olyan kiemelkedő és eredményes módon, mint ő.

Pályája kezdetén még KVASSAY Jenő állt a vízügyi szolgálat élén, olyan munkatársakkal, mint BOGDÁNFY Ödön, HAJÓS Sámuel, FEKETE Zsigmond, BENEDEK József és VICZIÁN Ede. KVASSAY és BOGDÁNFY ekkor kezdték meg a magyar vízimunkálatok új szakaszának, a vízhasznosítások — elsősorban a folyócsatornázás — programjának előkészítését, amelyet KOLOSSVÁRY és BOGDÁNFY az öntözések problémáinak elemzésével, VICZIÁN vízerőkészletünk úttörő felmérésével, BENEDEK pedig a műtárgyépítés fejlesztésével támogatott.

LAMPL Hugó pályáját a kortárs SAJÓ Elemérrel csaknem egyidőben kezdte, aki — a nagy szervező, és a legjobb barát — már negyven éve halott. És csaknem másfél évtizede eltávozott a másik barát és munkatárs — LAMPL Hugóval és NÉMETH Endrével együtt SAJÓ Elemér munkájának, örökségének legközvetlenebb folytatója, továbbfejlesztője — TRUMMER Árpád is. A nála nyolc évvel fiatalabb NÉMETH Endre, SAJÓ Elemér örökségének másik kiemelkedő egyénisége, két héttel előtte távozott az élők sorából.

E nagy neveket és nagy feladatokat nem csupán a történelmi háttér vázolója végett idéztük. Mindezeknek meghatározó szerepük volt LAMPL Hugó műszaki pályájában, sőt egyénisége, emberi karaktere kialakításában is. Akik ismerték, tudják milyen nagy szerepet játszott életében a feladatok biztos felismerése, a kötelességtudat és a fáradhatatlan aktivitás: mindaz az indítás és lendület, alkotó légkör, amit csak a rendkívüli vezetők és a rendkívüli munkatársak biztosíthatnak egy eredményes élet számára.

LAMPL Hugó gyakorlati mérnöki tevékenységét 1905-ben kezdte meg a Csepelszigeti Ármentesítő Társulatnál, és a VITUKI, valamint az OVH szakértőjeként a legutóbbi időkig, 1968-ig, aktívan részt vett a vízügyi szolgálat munkájában, elsősorban a műtárgyak fenntartásával kapcsolatos problémák megoldásában.

Az eltelt hét évtized a magyar vízügyek történetének kimagasló jelentőségű eredményekben gazdag időszaka, mely az ármentesítési-árvédelmi, folyószabályozási munkák befejező szakaszától és a vízhasznosítást előkészítő nagyobb műtárgyak építésétől, a korszerű vízgazdálkodást megalapozó, többcélú vízépítési nagylétesítmények megvalósulásáig terjed. Történelmi idő, egy döntő korszakváltás ideje volt ez a vízszabályozások korszakának továbbfejlesztését, betetőzését jelentő vízgazdálkodás korának előkészítése és megvalósítása. És ennek az eseményekben gazdag időszaknak alig van olyan munkaterülete, melynek LAMPL Hugó ne lett volna résztvevője; ahol ne fűződnek nevéhez valamilyen úttörő, jövőbe mutató alkotás, vagy országos jelentőségű szervező munka.

LAMPL Hugó a vízgazdálkodás minden körére kiterjedő munkásságát nehéz lenne részletesen felsorolni, hiszen ez egyet jelentene a magyar vízépítés-vízgazdálkodás félévszázados történetének ismertetésével.

1901-ben érettségizett Budapesten, majd a Budapesti Műszaki Egyetemen 1905-ben mérnöki oklevelet szerzett.

A Csepelszigeti Ármentesítő Társulatnál eltöltött három év után 1908-ban lépett az állandó vízügyi szolgálatba mint „fizetéstelen” napidíjas mérnök.

Tevékenysége igen szerteágazó volt, amelynek keretében termékenyítőleg hatott egymásra a tudomány és a gyakorlat bensőséges kapcsolata. Tudományos munkásságának néhány láncszemeként említhetjük a VITUKI mozaik-képen is megörökített, 1908-ban végzett első hazai vízépítési modellkísérleteket, majd a betonról írt és a Magyar Mérnök- és Építész Egylet 1914. évi nagydíjával kitüntetett monográfiát; mindkettő SAJÓ Elemérrel közös műve volt. „Munkagödörök víztelenítése talajvízszintsüllyesztéssel” c. könyve 1954-ben jelent meg, de még ma is gyakran forgatjuk. A talajok szemszerkezete és vízáteresztőképessége közti összefüggéseket vizsgáló munkássága úttörő volt. Tudományos tevékenysége keretében példamutató módon ötvözte az anyag titkaiba behatolni akaró kutató türelmetlen kíváncsiságát az építési gyakorlat által megkíván józansággal, mértéktartással és érthetőséggel.

Mérnöki alkotó munkájának kézzelfogható eredményeit mindnyájan ismerjük, ha nem is mindenki tudja, hogy ezek az ő nevéhez fűződnek. 1905 és 1955 között (ez a két évszám jelzi hivatalos működésének határait) alig létesült hazánkban jelentősebb vízügyi alkotás, amelynek elgondolásához, tervezéséhez, építéséhez vagy irányításához ne kapcsolódnék szervesen LAMPL Hugó neve. A Kvassay-zsilip, az 1956-ban sajnálatos módon megrongálódott tassi vízlépcső, a balatonboglári és alsóörsi, valamint a balatonfüredi hajókikötő, a csepeli szabadkikötő, a békésszentandrás vízlépcső, a Duna—Tisza-csatorna megépült szakasza, a tiszalöki, tiszafüredi és hódmezővásárhelyi öntözőrendszer beszédesebben és hathatósabban hirdetik munkásságát és őrzik kezenyomatát, mint bármilyen emlékmű tehetné.

Szakmai munkásságával párosult kiterjedt közéleti tevékenysége. 1954-től tagja az MTA Vízgazdálkodástudományi Bizottságának. A BME szigorlati bizottságának 1943-ban lett tagja. 1952-ben a műszaki tudományok kandidátusa, majd 1955-ben doktora lett. 1954-ben a Szocialista Munkáért Érdeméremmel, 1965-ben pedig a Munkaéremrend arany fokozatával tüntették ki.

LAMPL Hugó a Magyar Hidrológiai Társaság alapító tagjai közé tartozott. A Társaság 1954-ben választotta tiszteleti tagjává, majd 1973-ban a legmagasabb elismerésnek számító Vásárhelyi Pál-díjjal tüntette ki. Ezeket a kitüntetések mindíg úgy tekintette, mint amelyek őt a Társaság célkitűzéseinek még odaadóbb szolgálatára kötelezik.

Szellemi öröksége elvéülhetetlen értékű kincsünk. A búcsú fájdalmas perceiben erre kell gondolnunk. Az egész magyar vízimérnöki kar tisztelettel, hálával és kegyelettel őrzi emlékét.

Bogárdi János

Lampl Hugó könyvei és jelentősebb szakdolgozatai

1. Gróf Széchenyi István emlékhajóút a Tiszán. 1933, 56 old.
2. Wasserwirtschaftliche Fragen in Ungarn mit besonderer Rücksicht auf die Wasserstraßen. 1935, 9 old.
3. Az öntözésügy kormányzati, közigazgatási és műszaki kérdései. 1943, 21 old.
4. Az öntözéses termelés szerepe az ország újjáépítésének munkájában. 1945, 11 old.
5. A Duna—Tisza csatorna. 1947, 318 old.
6. Vízi építkezések organizációs feladatai. 1953, 69 old.
7. Munkagödörök víztelenítése talajvízsüllyesztéssel. 1954, 152 old.
8. A cementhabarcs besajtolási eljárás. 1947, 28 old.
9. Modell (Tetszésszerű keverésű betonok szilárdsága . . .) Használati utasítás. 1914, 25 old.
10. Időszerű vízepítési közmunkák a munkanélküliség leküzdésének szolgálatában. 1938, 19 old.
11. Az alföldi altalajok osztályozása és gyakorlati meghatározása a mérnök szempontjából. 1933, 47 old.
12. Balatoni kikötők. 1938, 52 old.
13. A Tiszavölgy szerepe a mezőgazdaságunk újjáépítésében. 1946, 18 old.
14. A beton. 1914, 553 old.
15. Új eljárás. 1914, 38 old.
16. A csepelszigeti cementkísérleti és anyagvizsgáló állomás. 1912, 18 old.
17. Vasszádfalak. 1917, 143 old.
18. Vasszádpallók és vasszádlemezek. 1948, 60 old.
19. Agyagszádfalak készítése öblítéssel eljárásal lesüllyesztett acélhüvelyek segítségével. *Mélyépitéstud. Szemle.* (1954), 570—678.
20. Vízépítési munkálataink fejlődése. *Vízügyi Közl.* (1954), 373—404.
21. A talaj szomszédos tulajdonságai közötti összefüggések. *Vízügyi Közl.* (1955), 360—366.
22. Vízáró függöny előállítás fúrású eljárással. *Vízügyi Közl.* (1957), 336—346.
23. A mai eszközökkel végzett talajkutató fúrások megbízhatósága a vízépítés szempontjából. *Hidrológiai Közl.* (1958), 92—93.
24. Buzgár-képződés és talajtörés. *Vízügyi Közl.* (1959), 25—49.
25. Javaslat a cementbesajtolás technológiájának fejlesztését célzó rendszeres kutató kísérletek elvégzésére. *Vízgazd. Műsz. Szemle* (1960), 25—30.
26. Árvízvédelmi töltésekben épült műtárgyak munkagödre visszatöltésének kérdése. *Vízgazdálkodás* (1963), 23—24.
27. A tiszafüredi szivattyútelepnél besajtolt cementfüggöny hatékonyságának vizsgálata. *Vízügyi Közl.* (1965), 226—236.
28. A síófoki hajószilip helyreállítása. *Vízügyi Közl.* (1965), 237—241.
29. Források keletkezésének és buzgárok képződésének törvényszerűségei. *Vízgazdálkodás* (1967), 65—68.



VITÁLIS SÁNDOR

1900—1976

Hazánk tudós és műszaki társadalma szomorú szívvel vett búcsút Dr. VITÁLIS Sándor nyugalmazott egyetemi tanártól, a Magyar Hidrológiai Társaság Elnökétől, aki Selmechányán 1900. április 13-án született és Budapesten 1976. június 21-én tért örök nyugalomra. Tudásával és munkájával több mint fél évszázadon át önzetlenül szolgálta szeretett hazájában a földtani tudományt, a tudomány továbbfejlődését és a társadalmi haladást.

Aki munkára és alkotásra született, már kora ifjúságában kimutatja emberi egyéniségének értékeit. Már 17 éves diák korában bekapcsolódott a Magyarhoni Földtani Társulat Hidrológiai Szakosztályának munkájába. Ennek a Szakosztálynak és az Országos Magyar Bányászati és Kohászati Egyesületnek rövidesen aktív tagja is lett.

A nagyhírű Selmechányán érettségizett, onnan hozta magával tudását, munkaszeretetét, becsületességét és kristálytiszta emberi jellemét.

A Budapesti Tudományegyetem Bölcsészeti Karán 1922-ben végbizonítványt, 1923-ban pedig a geológia tárgyköréből bölcsészdoktori oklevelet szerzett. Ettől kezdve szakmai pályája töretlenül ívelt felfelé. Egymás után jelenik meg — közel száz nyomtatott és több száz kéziratos — értékes és önálló tanulmánya.

1942-ben a Szegedi Tudományegyetemen „Magyarország hidrológiája” c. tárgykörből egyetemi magántanár lesz. Olyan kiváló oktató és pedagógus, hogy tevékenységével nagymértékben járul hozzá a jövő szakember- és tudósgenerációjának képzéséhez. Önzetlen, aki tudását szerényen adja tovább, az őt rajongásig szerető ifjabb kollégáinak és diákjainak.

Munkaszeretete és önzetlensége még markánsabban mutatkozik meg társadalmi tevékenységében. Egész élete folyamán aktívan részt vesz a társadalmi munkában. 1939-ben a Hidrológiai Szakosztály választmányai tagja, 1944-ben pedig elnöke lesz. 1945-ben, a felszabadulás után néhány tagtársával együtt saját anyagi erőből szervezi újjá a Szakosztályt és megindítja a munkát. 1949-ben a METESZ tagegyesületeként megalakuló Hidrológiai Társaság első elnöke, 1950-ig majd 1960-tól egészen a haláláig, tehát 17 éven át tölti be ugyanazt a tisztséget.

A Magyar Tudományos Akadémia kiemelt, elismert tudósa volt. Az ásványbányászat terén kifejtett maradandó értékű tudományos és nagy népgazdasági jelentőségű munkásságáért kapta meg a föld és ásványtani tudományok doktora tudományos fokozatot. Szinte felbecsülhetetlen az a népgazdasági érték, amit hazájának az ásványi nyersanyagok felkutatása és a hidrológiai kutatások terén teremtett. Azok közé a professzorok és tudósok közé tartozott — kevesen vannak —, akiknek elméleti tudását sok évtizedes személyesen végzett és irányított gyakorlati munka és tapasztalat támasztotta alá. Nevelőmunkájának jelentős szerepe volt a magyar geológusok nemzetközileg elismert iskoláinak kialakításában. 1970-ig vezette az ELTE Alkalmazott Földtani Tanszékét, amikor is nyugalomba vonult. Megérdemelten kapta meg 1951-ben a Kossuth-díjat és a Dr. Schafarzik Ferenc emlékérmét, majd 1967- és 1971-ben a Munkaéremrend arany fokozatát, 1969-ben az Oktatásügy és 1970-ben a Vízgazdálkodás Kiváló Dolgozója kitüntetését.

Széles látókörét, mély elméleti felkészültségét és igen alapos gyakorlati tudását arra használta fel, hogy a Hidrológiai Társaságban tömörült szakembereket társadalmilag is mozgosítsa a nagy, komplex népgazdasági feladatok megoldására. Az ilyen társadalmi munkának hajtóereje a mélységes hazá-, ember- és szakmaszeret. És VITÁLIS Sándor nemes önzetlenségét éppen az bizonyítja, hogy hivatalos munkája mellett minden idejét ilyen társadalmi tevékenységre fordította.

Nemcsak szervezett, hanem az értékes előadások sorát tartotta. Vezető szerepe volt a Balaton és az öntözés komplex fejlesztésében, ill. az ezekben rejlő hatalmas nemzetgazdasági értékek előrejelzésében. Ugyancsak szakmai széleslátókörűségét bizonyítja a bányavízhasznosítás, a bányavidékek vízgazdálkodása, a mélységi vizek feltárása és a geotermikus energia hasznosítása érdekében kifejtett tudományos és szervező munkája. Különös gonddal őrködött a Hidrológiai Társaság hivatalos szakfolyóirata, a Hidrológiai Közlöny színvonalának emelésén és a Társaság nemzetközi tudományos kapcsolatainak kiépítésén.

Öröm és élmény volt vele beszélgetni. Öröm, mert egyéniségéből csakúgy sugárzott a tiszta emberszeretet, a melegszívűség és a jóság. Élmény, mert beszéde egyszerű, mélyen bölcs, csak a lényegre és az igazságra törő volt, tele szerénységgel.

VITÁLIS Sándort a Magyar Hidrológiai Társaság, az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Magyar Állami Földtani Intézet halottjaként 1976. július 5-én kísérték utolsó útjára, a budapesti Farkasréti temetőbe. Ravatalánál a Magyar Hidrológiai Társaság nevében BERCZIK Árpád főtitkár, a Magyar Állami Földtani Intézet nevében KONDA József igazgató, a selmeci diáktársak nevében MOLNÁR Jenő, sírjánál pedig az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Magyarhoni Földtani Társulat nevében DANK Viktor egyetemi docens, a Magyarhoni Földtani Társulat Elnöke mondott búcsúbeszédet.

Kozák Miklós

SZÉLL LÁSZLÓ

1903—1976

SZÉLL László professzor halálával nagy veszteség érte a magyar építészmérnökképzést és a hazai építészettudományt. Közel félévszázados alkotói, oktatói és tudományos tevékenységét az építészet ügyének odaadó szolgálata az építészet tudományának elmélyítésére, az építés mesterségének állandó fejlesztésére, a szakirodalom alapos művelésére irányuló törekvés jellemezte; azt mindig az új, a korszerű keresése és képviselése hatotta át. Kollégái szertették, munkatársai becsülték, tanítványai tisztelték.

SZÉLL László 1903. május 9-én Makó városában született. Középiskolai tanulmányait a tordai és makói Áll. Főgimnáziumban végezte, egyetemi oklevelét pedig a budapesti Műegyetem Építész Karán 1928-ban szerezte meg.

Az 1945-ös év folyamán elnyerte a „Summa cum laude” fokozatú műszaki doktori címet.

Az 1947-es év folyamán a Műegyetem az „Építéstechnológia” tárgykörből magántanárrá képesítette.

Az MTA Tudományos Minősítő Bizottsága az 1962-es évben „Magasépítéstan I—II” című egyetemi tankönyve alapján a „Műszaki tudományok kandidátusává” nyilvánította, majd 1973. október 31-én „A korszerű épületek felületképzési elvei” című értekezése alapján a műszaki tudományok doktorává minősítette.

Az 1929-es évtől kezdve a Műegyetem Épületszerkeztani Tanszékén előbb tanársegédként, majd az 1940—48-as években adjunktusként, az 1948—1950-es években intézeti tanárként, illetve docensként, 1951-es év óta pedig egyetemi tanárként dolgozott.

Az 1951—59-es években tanszékvezetője volt, előbb a Magasépítéstan, utóbb az Építéstechnológia tanszéknek. Az 1957—58-as tanévben az Építészmérnöki Kar dékánhelyettesi, majd az 1959—1960-as években az Építészmérnöki Kar dékáni tisztéségt töltötte be. 1960 óta az Építéskivitelezési Tanszéken működött.

Az 1930—1957. években élénk tervező építészmérnök gyakorlatot is folytatott. Számos tervpályázaton nyert I. díjat. Tervei alapján több lakó- és középület létesült. Építőművészeti felfogásáról vall az 1930—1950 között

készült, több ezer oldal terjedelmű, 10 kötetnyi vázlatkönyve, amelyekben tanulmányútjai, bel- és külföldi utazásai alkalmával szerzett, szakirodalmi olvasmányjaiból nyert, tervpályázataival, tervezői megbízásaival kapcsolatos elképzeléseit, tanulmányait rögzítette.

Tudományos munkásságát — publikációin kívül — számos fórumon fejtette ki. Az 1973. évben — az újonnan életrehívott — Igazságügyi műszaki Szakértői Bizottság alelnökévé és az utóbbi Építészeti Albizottságának vezetőjévé nevezték ki.

Az Építésügyi Kormányzat 1973-ban „Az építészeti tervezés, a műszaki irodalom, az építészeti oktatás területén végzett több évtizedes kiemelkedő tevékenysége elismeréseképpen” az Ybl Miklós-díj I. fokozatával tüntette ki.

Széll László professzor tudományos munkásságát elsősorban szak- és tankönyvei fémjelzik. E művei — különösen a kivitel területével foglalkozók — az általuk vállalt kettős feladatot jól teljesítik, mert ennek a nálunk csak későn kialakuló és még később önállóvá fejlődő tudományterületnek elvi alapjait sikeresen tisztázzák, legfontosabb területeit alaposan munkálják ki, és így az egyetemi oktatásnak és magának az építő gyakorlatnak is számottevő segítséget nyújtanak.

Könyveinek szemlélete helyes, mert az épület szerkezeteinek, az építés technikájának és technológiájának megválasztását mindig az építészeti elképzelés és szándék szolgálatában, a sokfélét összehangoló, egységbe szervező építész szemszögéből vizsgálja; mondanivalója pedig gondos és hasznos, mert azok a legfontosabb szerkezeteket, eszközöket és technológiákat jó áttekintéssel, nagyon érthető módon, bőséges és szép ábrákkal mutatják be.

Gábor László

Széll László szakirodalmi munkássága

- Épületek költségvetése és egyéb anyagi vonatkozásai (87 pagina, 18 ábraoldal; Épületszerkezeti Tanszék, 1944).
- Szerkezet és forma viszonya az építészetben (Doktori értekezés, kézirat, 109 pagina, 31 ábra-tábla, 1946).
- Korszerű nyílászáró szerkezetek (56 pagina, 54 ábra; Mérnöki Továbbképző Intézet, 1949).
- Kőművesszerkezetek (240 pagina, 686 ábra; Tankönyvkiadó, 1951).
- Lakóházak építésének nagyipari módszerei a Szovjetunióban (76 pagina, 22 ábraoldal, Építés-tudományi Intézet, 1960).
- Hőszigetelő üvegek (45 pagina, 26 ábra, Építéstudományi Intézet, 1962).
- Nyílászáró szerkezetek vasalatainak és szerelvényeinek fejlesztése (40 pagina, 65 ábra, Építés-tudományi Intézet, 1962).
- Üvegtermékek gyártásának és alkalmazásának fejlesztése az építőiparban (10 pagina, 22 ábra; *Magyar Építőipar*, 1962. évf., 545—554. o.).
- Magasépítéstan I. (átdolgozott második kiadás, 58 ív, illetve 464 pagina, 920 ábra-sorozat; 53 táblázat; Tankönyvkiadó, Budapest, 1963).
- Széll — Bruzsa: Épületszerkezetek (Mérnöki Kézikönyv IV. kötet, 17—254. o., 237 pagina, 384 ábra; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1965).
- Beziehungen zwischen Baukonstruktionen, Form und technologische Bedeutung der Bautechnologie und des technologischen Unterrichts (4 pag., 1 ábra; Teubner Verlag, Leipzig, 1966).

- Új szakipari szerkezetek és technológiák (196 pagina, 178 ábra; Tankönyvkiadó, Budapest, 1966).
- Magasépítéstan II. (átdolgozott második kiadás, 50,5 ív, illetve 402 pag., 746 ábrarozat, 36 táblázat; Tankönyvkiadó, Budapest, 1967).
- Nyersbeton felületképzés (10 pag., 29 ábra; *Magyar Építőipar*, 1967. évf., 740—749. o.).
- Technológiája Gradenja I—II. (506 pag., 480 ábra; Izdanje, Beograd, 1968).
- A hőszigetelő üveg alkalmazásával kapcsolatosan felmerülő kérdések, különös tekintettel az üveg meghibásodására (58 pag., 34 ábra, 3 táblázat; BME Építéskivitelezési Tanszék, 1969).
- A hőszigetelő üveg alkalmazása, az üveg meghibásodása (24 pag., 33 ábra, 3 táblázat; *Szakipari Technika*, 1970. évf. 1—2. szám).
- Építéstechnológia (44 ív, illetve 350 pag., 496 ábrarozat; 18 táblázat; Tankönyvkiadó, Budapest, 1970).
- Felület, illetve homlokzatképzések vizsgálata (324 pag., 277 ábra, 16 táblázat; BME Építéskivitelezési Tanszék, 1971).
- A BME Építészmérnöki Kar munkássága az 1963—70. években (BME Építészmérnöki Kar, 1971).
- Épülethomlokzatok burkolatának tisztítása (23 pag., 40 ábra, 1 táblázat; *Szakipari Technika*, 1972. évf. 40—71. o.).
- Homlokzatképzések (27 ív, illetve 207 pag., 281 ábra, 8 tábla, 12 táblázat; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1973).

A SZOVJET VASUTAK ÜZEMELTETÉSÉNEK ÉS AUTOMATIZÁLT IRÁNYÍTÁSÁNAK KÉRDÉSEI¹

A. P. PETROV

AKADÉMIKUS

A közlekedésnek mint az anyagi termelés egyik ágának sajátosságai. A szovjet vasutak szállítási volumenének változása és távlati alakulása. A vasút üzemeltetésének főbb szervezési elvei az új feltételek között. Hogyan történjék a vasúti szállítási folyamatok irányítása: műszaki normák alapján vagy pedig a szabályozó intézkedések révén. A vasút komplex automatizált irányítási rendszere megvalósításának szervezeti előfeltételei és rendszerszemléletű főbb kiindulási elvei. A vasút komplex automatizált irányítási rendszere létrehozásának eddigi tapasztalatai és perspektívái a Szovjetunióban.

1. A vasúti szállítási teljesítmények rövid jellemzése

Marx szerint a közlekedés, a kitermelő- és feldolgozóipar, továbbá a mezőgazdaság mellett, az anyagi termelés negyedik ága, függetlenül attól, hogy személyeket vagy árut szállít.

Az anyagi termelés többi ágához képest a közlekedés, és annak egyik legfontosabb eleme a vasút, több olyan sajátossággal rendelkezik, amelyek meghatározzák üzemeltetésének és irányításának jellegét.

Közismert, hogy a közlekedés a termelés folytatása a forgalmi szférában és annak megvalósítása érdekében. A közlekedés termékéből, amely nem más, mint személyek és áruk helyválttatása, nem lehet tartalékokat képezni és terméke nem raktározható ellentétben bármely ipari vagy mezőgazdasági termékkel. A vasút tevékenységére jellemző még: a szállítások tömegessége; százezres nagyságrendű teherkocsik és tízezres nagyságrendű mozdonyok állandó jellegű helyválttatásának az irányítása; a termelési alegységek nagy száma, területi szétdaraboltsága és ugyanakkor szoros kölcsönkapcsolatok a munka folyamán; az üzem folyamatossága és ritmikussága, amelynek irányítását több szinten (az állomásoktól kezdve egészen a minisztériumig) végzik hatalmas információáramlással kísérve. A Szovjetunió 138 000 km-es vasúthálózatán 26 vasútigazgatóság, 178 vonalfőnökség és több mint 7100 teherpályaudvar és az egyéb alegységek százai találhatók.

A felsorolt sajátosságok megkövetelik a szállítások centralizált irányítását, valamint az adminisztratív és technológiai irányítás egysége elvének

¹ Elhangzott a Magyar Tudományos Akadémia felolvasó ülésén 1976. október hó 26-án.

a betartását az összes irányítási szinteken (minisztériumban, vasútigazgató-ságon, vonalfőnökségen, vonali egységeknél — állomásokon), átruházva egy-idejűleg az alsósintű alegységekre az operatív kérdések döntési jogkörét, hogy felhasználhassanak minden lehetőséget a szállítási folyamat sikeres végrehajtására.

A szovjet vasutak egyik sajátossága a nagy szállítási sűrűség. 1975-ben az áruforgalom 3234 milliárd tkm volt, amely jóval meghaladja a világ vasúti áruforgalmának a felét, ugyanakkor a vasúthálózat csupán a 11%-át teszi ki a világ vasúthálózatának. Ez a világon egyedülálló áruforgalmi sűrűség. Számszerűsítve évente 23,4 millió tkm jut 1 km vasútvonalra (ez 6,5-szer több, mint az USA-ban). Mindehhez még hozzá kell adni a személyszállítási teljesítményt (1975-ben 312,5 milliárd utaskm, átlagban 2,3 millió utaskm jut 1 km vágányhosszra). E szállítási volumen teljesítéséhez egy sor komoly műszaki intézkedésre volt szükség, amelyek közül kiemelkedik 39 000 km vasútvonal villamosítása, amelyen az áruforgalom 52%-át bonyolítják le, a hálózat többi részén a Diesel-vontatás bevezetése; a fővonalak megerősítése nehézsúlyú sínekkel; a mozdony- és teherkocsipark felújítása (ma valamennyi teherkocsi nagy teherbírású — 4, 6 és 8 tengelyes), automatikus biztosító berendezések, központi diszpécsér irányítás tömeges alkalmazása; második vágány építése; állomások fejlesztése stb. Mindez lehetővé tette a vasutak átbocsátó- és szállító képességeinek a növelését.

A kérdés másik oldala az üzemeltetési tevékenység optimalizálása. A nagy áruszállítási sűrűség szükségessé tette egyrészt azoknak a normáknak az optimalizálását, amelyek a szállítási folyamatot szabályozzák: vonatösszeállítási terv, menetrendábra, állomási technológiák stb. egészen annak az időnek a kijelöléséig, amelyet a menetrendgrafikon tartalmaz a beépített létesítmények folyó karbantartására, amelyre korábban nem volt szükség, mivel azt vonatmentes időben végezték. Másrészt ez megköveteli, hogy alaposan gondoljuk át azoknak az üzemzavaroknak megelőzési szabályozó rendszerét, amelyek a nagyforgalmú vonalakon vonatok közlekedése közben minden 5—10 percben gyorsan elterjednek a keletkezési helytől egészen a környező vonalszakaszokig és állomásokig csökkentve a kocsik forduló idejét (a kocsiforduló ideje 1975-ben 5,84 nap volt 897 km rakott futás és 1451 km-es teljes futás mellett).

Jóllehet a vasút részaránya a szállítási teljesítményekben állandóan csökken, a teljesítmény abszolút méretekben nő. A háborút követő időszakban egyetlen olyan évünk sem volt, amelyben a szállítási létesítmény ne haladta volna meg az előző évit. A vasúti közlekedés még mindig a Szovjetunió legfontosabb közlekedési ága. Tervek szerint 1976—1980 között az áruforgalom várhatóan 22%-kal, a személyforgalom pedig 14—15%-kal fog nőni. Távlati terveink szerint pl. 1990-ben az áruszállítások további növekedése várható 1975-höz képest, ami arra kényszerít bennünket, hogy újból a vasútirányítás szervezési elvei felé forduljunk az új technikai bázis alapján.

2. Az üzemeltetés főbb szervezési elvei az új feltételek között

A szállítási folyamat irányítása a termelési egységek technológiai folyamatainak kölcsönös egymásba kapcsolódásán (állomások, mozdony- és teherkocsiszínek, normatív okmányok rendszere, irányvonalak képzése, vonatközlekedési terv, menetrendábra, havi műszaki üzemeltetési normák, beleértve az üres kocsik kiegyenlítési tervét stb.) és a szállítások, a járműpark, valamint a konténerek operatív szabályozásán alapszik.

A Szovjetunióban az elmélet és a gyakorlat alapján olyan egységes üzemeltetési technológiai rendszert dolgoztak ki, amely összekapcsolja egymással a technikát és a munkaszervezést. A további haladás e területen a műveletek ésszerűsítésével, gépesítésével és automatizálásával hozható kapcsolatba és különösen az irányítás tökéletesítése újabb lehetőségeinek a kihasználásával, a gazdaság-matematikai módszerek és az elektronikus számítástechnika bázisán. Ezek az új lehetőségek arra kényszerítettek, hogy újból megvizsgáljuk az üzemeltetés néhány elvi kérdését és elsősorban a technológiák, valamint a szállítás operatív irányításának a megfelelő voltát. Ténylegesen arról van szó, hogy amilyen gyorsan tudjuk értékelni a számítástechnika segítségével az operatív helyzetet, olyan gyorsan tudjuk meghozni a szükséges döntést. Első pillanatra úgy tűnik, nincs is szükség a jelenlegi technológiai rendszerre, és a normatívák gépi számítása felesleges erő-, idő- és pénzráfordítás. Azonban a mélyebb vizsgálat azt mutatja, hogy a szélsőséges vélemények, amelyek egyike szerint a szállítási folyamatok irányítását főleg a műszaki normákra kell alapozni, a másik vélemény pedig ezt tagadja és az irányítás súlypontját a szabályozó intézkedésekre helyezi, nem helyesek.

Az átlagos tervezett értékektől való reális eltérések operatív szabályozó intézkedések alkalmazására kényszerítettek, ami tarthatatlanná teszi az első véleményt. Ugyanakkor a második (a tiszta szabályozó intézkedések kizárólagossága) sem állja ki a bírálatot, mivel minden egységnél minden egyes esetben nem lehet olyan operatív munkatervet kidolgozni, amely részleteiben figyelembe venné a kocsirámlások mozgását hatalmas kiterjedésű vasútvonalakon, több napon át, ez még számítógépekkel sem oldható meg és hasonló elképzelés tiszta realizálása nem aktív ráhatást jelent a szállítási folyamatra, hanem csupán passzív alkalmazkodást a változó helyzetnek megfelelően. Elméletileg az első nézet azt jelenti, hogy determinált szemléletet, a második pedig azt, hogy stochasztikus szemléletet alkalmazunk a folyamatok vizsgálatára.

Véleményünk szerint elvileg csak az az út járható, hogy a meghatározott kritérium alapján kidolgozott optimális technológiai normákat és a szabályozó rendszert ésszerű arányban alkalmazzuk, hangsúlyozva, hogy a jelenleginél nagyobb rugalmasság szükséges mindkettőnél, amit lényegében az automatizált irányítási rendszer tesz lehetővé.

Közismert, hogy a normatíva okmányokat átlagos feltételekre dolgozzák ki (átlagos kocsjárاملatokra, átlagos legnagyobb forgalomnagyságra stb.) a determinált szállítási tervhez igazodva. És ez valószínűleg helyes is, mivel a tervdirektívának meghatározottnak kell lennie, mert a népgazdaság nagyszámú ágazatainak tevékenységével kell összhangba hozni.

Ugyanakkor minden egyes nap munkafeltételei eltérnek az átlagtól és ezenkívül a napinál erősebb üzemeltetési munkaegyenlőtlenség is létezik a munka volumene és jellege szerint. Ezért fontos, hogy az átlagos időkre történő normatív okmányok kidolgozási metodikája mellett legyen megalapozott rendszerünk a változó munkafeltételeknek megfelelő időben történő korrigálásokra. Ez jelenti: a szállítási feladatok időbeni megosztásának helyesbítését; korlátozott kirakási vagy átrakási lehetőségekkel rendelkező címzett számára történő berakások speciális ellenőrzését; a vonatközlekedési terv havi korrigálását rugalmasabbá téve a tehervonatok menetrend grafikonját; a műszaki üzemeltetési normák operatív helyesbítését.

Ugyancsak fontos, hogy rendelkezünk az irányítás minden szintjén operatív prognosztizálási, tervezési és szabályozási rendszerrel. Ilyen rendszer teljesebb alkalmazása úgy lehetséges, ha a számítóközpontokban szállítási folyamatot tükröző dinamikus modelleket szervezünk. Néhány órára előre az operatív tervezés lehet determinisztikus, hosszabb időszakra pedig, pl. néhány napra — amikor a teherkocsik tömegének helyváltoztatását meghaladó tényezők hatnak — sztohasztikus.

Az üzemeltetés operatív prognosztizálása és tervezése alapul kell szolgáljon a berakások, kocsjárاملatok és kocsipark előzetes szabályozásához. Itt a kocsjárاملatok és a kocsipark összevont néhány napos prognosztizálásáról van szó vasúthálózati szinten (folyamatos prognózis minden napot átszámítva a következő napra), a vasútigazgatóságok és vonalfőnökségek üzemeltetésének napi (és 2—3 napos) prognózisáról és tervezéséről, továbbá az állomások 3—6 órás üzemeltetésének tervezéséről. A prognózis és tervkészítés számításainak súlypontja vonalfőnökségekről áttevődik a vasútigazgatóságokra. Ez a rendszer ma működik és az Össz-szövetségi Tudományos Kutató Intézet (CNII MPSZ) által kidolgozott metodikákat használja. E rendszer akkor válik hatékonyabbá, ha a vasúti számítóközpontban olyan dinamikus modellt alkotnak, amely tükrözni fogja a szállítási folyamatot vonatok, mozdonyok, kocsik, konténerek és küldemények szerinti bontásban feltüntetve tartózkodási helyüket, legalábbis a nagyobb csomópontok, vagy a vonalszakasz megjelölésével. A modell kiindulási adatait a menetlevél adatai tartalmazzák, a továbbiakban pedig az automatikus kocsilolvasó készülék és az elsődleges okmányok adatai. A dinamikus modell az operatív rakodási tervvel összhangban lehetővé teszi:

— az operatív és megalapozott tervezést vasúti irányok szerint a várható vonali és árukezelési munka a tervezett időszak tényleges sajátosságainak figyelembevételével;

— a jelenleginél pontosabb, operatív és megfelelő statisztikai nyilvántartást, összevonva e kettőt;

— bármely áru előrehaladásának és járműtípus tartózkodási helyének figyelemmel kísérését és a címzett időben történő értesítését az áru érkezéséről;

— nagyobb állomások és a csomópontok centralizált és pontosabb, rendszeresebb informálását a vonatok érkezéséről stb.

A rakodások, kocsimozgások figyelemmel kísérésének, a kocsipark torlódása jelzésének, a fennakadás nélküli tényleges operatív szabályozó intézkedések foganatosításának dinamikus modellel történő megvalósítása szempontjából nagy jelentőségű az operatív munka dialógus rendszerű információs nyilvántartó-ellenőrző rendszere minisztériumi és vasúti szinten. Az operatív vezetők kérdéseire a számítógépek válasza diszpléken jelenik meg. Hasonló rendszeren jelenleg dolgoznak.

Igen fontos probléma az optimális arány fenntartása a vasutak átbocsátóképessége (infrastruktúra) és járművekkel való ellátottsága között, mivel a felesleges kocsipark fékezi a kocsiáramlatok mozgását, a hiánya pedig nem teszi lehetővé a meglévő átbocsátóképesség kihasználását.

Ez az előadás nem érinti a személyszállítást, ahol az elővárosi forgalom kibővítése és tökéletesítése mellett (a tömegesség és gazdaságosság tekintetében nincs konkurencia) valószínűleg meg kell oldani — korlátozott számban — a gyorsforgalmú vonalak létesítését, sok utassal, — a vasút és a légi közlekedés hatósférájának a figyelembevételével. Lehetséges, hogy a vasút által még hatékonyan lebonyolítható személyszállítások távolságát megemelhetjük 2000 km-re, ahol ez idő szerint határozott elsőbbsége van a légi közlekedésnek. A nagy sebességű vasúthálózatot (200 km/óra és ennél nagyobb sebességű) konkurens változatok figyelembevételével kell kialakítani, többek között a mágneses felfüggesztésű, lineáris motoros közlekedési technikák stb. alapján.

Az üzemeltetés irányítási rendszeréhez való új hozzáállás szükségessé teszi az irányítási struktúra változtatását is, amelyet komoly elemzésnek kell alávetni mind vertikális (az irányítási szintek száma), mind horizontális (irányítási funkciók) vonatkozásában.

A Szovjetunió feltételei között lehetetlen, legalábbis az elkövetkező években, áttérni a négy szintű struktúráról a három szintűre. Azonban a vasút komplex automatizált irányítási rendszere (ASZUZST)¹ három szintű lesz és az alsó szint — a kollektív használatú csomóponti számítóközpontok szintje —

¹ ASZUZST — Kompleksznaja avtomatizirovannaja szisztema upravlenija zselezno-dorozsnim transzportom.

két irányítási struktúra szintet szolgál ki: a vasúti vonalfőnökségeket és az ún. vonali egységeket, állomásokat, fűtőházakat stb.

Funkcionális vonatkozásban (horizontálisan) elsősorban az összes információk gyűjtését és feldolgozását minden szinten egy rendszerbe kell összefogni és ez kell hogy biztosítsa az irányító szakszolgálatok számára az összes szükséges számításokat és információt. Ugyancsak meg kell oldani azokat a szervezési kérdéseket, amelyek az ország egységes nagy hatékonyságú közlekedési rendszerének megteremtésével kapcsolatosak.

3. Rendszerelmélet és a vasút komplex automatizált irányítási rendszerének koncepciója. (ASZUZST)

Gyakran a „rendszer szemlélet”-et olyan kifejezésként használjuk, amely aláhúzza a komplexitás jelentőségét, az átfogás szélességét és a pontos szervezést a kutatásokban, a műszaki és gazdasági tervezésben. Ugyanakkor ezt az általános fogalmat konkrétizálni kell, amikor alkalmazni akarjuk a közlekedés üzemeltetésének irányításában a gazdaság-matematikai módszerek, az elektronikus számítógépek és adattovábbító eszközök bázisán, vagyis röviden az ASZUZST bázisán. Közismert, hogy beállíthatunk egymással össze nem kapcsolt számítógépeket az egyes munkaigényes feladatok elvégzésére függetlenül egymástól. Bizonyos hatékonysággal tudjuk e gépeket használni ekkor is az adatfeldolgozás munkaráfordításának csökkentésében, a folyamatok optimalizálására, a járműforduló idő csökkentésére stb. Egyes vezetőknek az a törekvése, hogy okvetlen legyen „saját” számítógépjük a „saját” feladataik megoldására, még ma is megvan? Azonban bizonyított tény, hogy a távadat átvitelrel összekapcsolt számítástechnika legnagyobb hatékonyságát egységes rendszerben működő automatizált irányítási rendszerben (ASZU)¹ érhetjük el. A vizsgált problémával kapcsolatban a rendszer szemlélet feltételezi:

— magasfokú minőségi irányítást az új technikai eszközök (számítógépek és adattovábbítás), ezen eszközök lehetőségeit kihasználó módszerek és az összes szintű irányítási feladatok kölcsönkapcsolatú megoldásai szerves egységének alapján;

— az információs folyamatok gyökeres megjavítását integrálásuk alapján (a primér adatok automatizált leolvasása az elsődleges okmánykészítés és gépinformációs összevonásával, a megbízhatóság és operativitás növelése, az okmányforgalom egyszerűsítése és automatizálása, adatszolgáltatási formák javítása az irányítás szempontjából stb.);

— az információbázis, az információ osztályozás és kódolás egységét;

— a megújítandó és többszörösen felhasználandó információk általános rendszerű tömegének biztosítását — „információs bankokat”;

¹ ASZU — Avtomatizirovannaja szisztema upravlenija.

- a minimálisan szükséges kiindulási adatok egyszeri bevitelét valamennyi irányítási szinten való felhasználás céljából;
- alrendszerek, feladatok, algoritmusok és gépi programok komplexitását;
- optimumkritériumok azonosságát (egyeztettségét);
- az összes technikai eszközök, azok matematikai és programozási ellátottságának kompatibilitását és tipizálását.

Ugyancsak megfogalmazták már (V. M. Gluskov akadémikus) a szervezett irányítás automatizált rendszereinek néhány elvét is: a létesítmény rendszerelemzése és irányítási struktúrája; a nem automatizált irányításhoz képest új feladatok bevonása, tervdöntések tipizálása; a rendszer folyamatos fejlesztése; az első vezető kötelező érdekeltisége.

A vasút komplex automatizált irányítási rendszerének (ASZUZST) kutatásával és létrehozásával kapcsolatos munkáknál a fenti elveket már figyelembe vették, sőt ezenkívül még szem előtt tartották a következő alapelveket is:

1. A vasúti közlekedés munkájának, a szállításoknak és a gazdálkodásnak (nemcsak a szállítási folyamat, hanem a szállítást technikailag biztosító ágazatok is) bonyolultsága nem teszi lehetővé, hogy a vasúti hálózat irányítását, mint teljesen automatizált irányítást vizsgáljuk, jóllehet egyes elemei dolgozhatnak automatikusan is. Egészében az irányítás teljesen nem automatizálható, az automatizált rendszer tehát „ember—gép” rendszer.

2. Az irányítás komplexitása és szervezeti egysége valamennyi szinten. Ez elsősorban az irányítás technológiai funkcióinak szoros kapcsolatából következik, kezdve a legalsó egységektől a minisztériumig. A közlekedésben különösen szorosak az üzemeltetés irányításának „vertikális” kapcsolatai. Ezzel egyidejűleg vizsgálni kell a „horizontális” kapcsolatokat is a szomszédos egységekkel minden irányítási szinten, éspedig azokat, amelyek a vasúthálózat egységéből következnek.

3. Az irányítás szervezeti struktúrájának és az irányítás nagyfokú centralizáltságát biztosító számítástechnika lehetőségeinek optimális összeegyeztetése. Az irányítási funkciók, az információs áramlatok, a számítógépek hatékonysági, az adatok továbbításának és feldolgozásának megbízhatósági vizsgálatai és a műszaki-gazdasági számítások, továbbá az, hogy az ASZUZST struktúra a termelési egységek adminisztratív határainak a változtatásaira invariáns, elvezettek egy olyan koncepcióhoz, amely a legalacsonyabb szinten kb. 90 csomóponti számítóközpont létrehozását jelenti — UVC¹ (ez kb. a vasúti vonalfőnökségek fele). Ezek mindegyike 2—3 vonalfőnökséghez tartozó állomásokat, fűtőházakat és más vonali egységeket szolgál ki, beleértve az adott vonalfőnökségek feladatainak a megoldását is. Lehetséges a vonalfőnökségek

¹ UVC — Uzlovoj vücsiszlityelnüj centr.

összevonása is pl. a felére csökkentve számukat. Az UVC sajátossága — a területileg szétszórt létesítmények irányítása két formában: a technológiai folyamatok közvetlen automatizált (illetőleg meghatározott részben még automatikus is) irányítása és az adatok feldolgozásával kapcsolatos szervezési (adminisztratív) irányítás.

Az elsődleges adatok olyan termelési egységeknél keletkeznek, amelyek rendelkeznek információs-számító rendszerrel, el vannak látva mini számítógépekkel és kevésbé bonyolult információs végberendezésekkel.

A háromszintű ASZUZST-ben a minisztérium legfelsőbb szintjén döntenek összhálózati feladatokban, ott gyűlnek össze a vasútigazgatóságok, a minisztérium ipari vállalatának információi és ott hozzák az irányítás tervezésével és technológiájával kapcsolatos vasúthálózati döntéseket. Vasútigazgatósági szinten — döntésjogilag a középszinten — döntenek az igazgatósági szintű kérdésekben, továbbá részben a vonalfőnökségek és vállalatok egyes centralizált kérdéseiben. Végül az alsó, végrehajtó szinten, amelynek alapjává az UVC és az ipari jellegű vállalatok központjai kell hogy váljanak, a technológiai folyamatok irányításával kapcsolatos kérdésekben döntenek, továbbá az állomások, fűtőházak, kocsiszínek és más vonali egységek irányításával kapcsolatos tömeginformáció egy részének feldolgozásával kapcsolatban.

4. Általános információs bankokat minden irányítási szinten szerveznek, vertikálisan összekapcsolva azokat egymással. A kutatások szerint az információs bankok legfontosabb részét — a szállítási folyamat dinamikus modelljét — a vasutak számítóközpontjaiban kell létrehozni a járművek mozgásának tükröztetésével és a megfelelő adatok igazgatóságról igazgatóságra történő továbbításával. Ezek az igazgatósági modellek összességükben átfogják az egész vasúthálózatot.

5. Az ASZUZST-ben van egy funkcionális rész (alrendszerek és feladatok együttese) és egy biztosító rész, mely utóbbinál biztosított a technikai és matematikai egység egységes géprendszer bázison. A funkcionális rész olyan 19 alrendszerből áll, amely magában foglalja az üzemeltetés minden oldalát: a szállítási folyamat, az árukezelési és kereskedelmi műveletek, a mozdony és kocsiszolgálat, a pálya üzemeltetés és javítás, a tervgazdasági és pénzügyi számítások stb. irányítását.

6. Mivel az ASZUZST azonnal nem realizálható, tervbe van véve a komplex rendszer fokozatos szakaszos kifejlesztése.

Vagyis az ASZUZST ember—gép rendszert alkot és az adminisztratív, technológiai és gazdaság-matematikai módszerek, a számítástechnikai eszközök olyan összességét jelenti, amely lehetővé teszi, hogy az irányítási apparátus hatékonyan irányíthassa a vasúti közlekedést. Megkülönböztetett tulajdonsága, hogy magában foglalja a szállítási folyamat adminisztratív és technológiai irányítási funkcióinak megvalósítását az összes irányítási szinten, beleértve

a központi irányító szervet — a minisztériumot is. Az ASZUZST keretében történik az információk gyűjtése, továbbítása, feldolgozása és elemzése, továbbá a technológiai dokumentáció és javaslat kiadása a kiválasztott döntési módszereknek megfelelően. Okvetlen biztosítani kell az irányítási apparátus kötelező részvételét a döntéshozatalban és a végrehajtáshoz való továbbításában.

Az ASZUZST kidolgozásának és alkalmazásának fő célja a vasúti közlekedés irányításának és ezen belül is elsősorban az üzemeltetésnek, a tökéletesítése, beleértve a vasúthálózat munkafolyamatának olyan optimális tervezését és fenntartását, amely biztosítja a közlekedés műszaki eszközeinek legjobb kihasználását, a gazdasági mutatószámok javulását és magas munkatermelékenységet az ország szállítási igényeinek a kielégítésében. Az ASZUZST alkalmazása lehetővé teszi a vasúti közlekedés operatív irányításának fokozását.

4. Az ASZUZST létrehozásának tapasztalatai és perspektívái

Jelenleg a 26 vasútigazgatóságon és a Vasútügyi Minisztériumban van számítóközpont magas képzettségű, tehetséges kollektívával ellátva. Ezenkívül néhány minisztériumi javítóüzemben és két rendezőpályaudvaron is üzemel számítóközpont.

A vasúton gyakorlatilag az ASZUZST létesítésének első szakasza valósult meg, amely több olyan típusjellegű, hatékony nagy tömegű számítás elvégzését foglalja magában, amely lehetővé teszi a középtávú és operatív tervezés bizonyos folyamatainak optimalizálását, továbbá okmányok feldolgozását a technikai eszközök jobb kihasználása és a munkatermelékenység növelése céljából. A vasutakon több mint 70 különböző típusú feladatot oldanak meg. Az elmúlt öt év alatt a feldolgozandó információ átlagos napi mennyisége megnőtt: a bemeneti információ — 1970-ben 5,5 millió jel volt, 1975-re 45 millióra nőtt, a kimeneti információ — megfelelően 12,1 millióról 105 millió jelre nőtt. A legfontosabb feladatok megoldottak tekinthetők a szállítási folyamat technikai és technológiai normázása és a rendezőpályaudvarok operatív irányítása terén, a kereskedelmi számítási műveletek automatizálása, a helyfoglalás és jegybiztosítás, az üzemek irányítása terén stb. Számítógépeken végzik a havi szállítási tervek és a műszaki üzemeltetési normák összeállítását, továbbá a vonatközlekedési terveket is. Több mint 40 nagy rendezőpályaudvar kapja kézhez a vasúti számítóközpontok által kiszámított 3–6 órás tevékenységet előre tartalmazó tervet. Két rendezőpályaudvaron az operatív tervezést és a továbbítandó vonatok okmányainak kitöltését a pályaudvaron működő számítógépek végzik. Hálózati szinten teheráru pénztárakban centralizáltan készítik a pénztári-pénzügyi beszámolókat és az áruszállítás banki dokumentációit. Több feladatot a vasútigazgatóságok a minisztérium irányítási szintjeivel kölcsönkapcsolatban oldanak meg. Ilyen pl. a hűtőkocsik, nagy raksúlyú

konténerek követése. Több vasútigazgatóságon olyan információs-nyilvántartó rendszer működik, amely az operatív beszámoló adatokon alapszik.

Az ASZUZST kidolgozását és következetes alkalmazását funkcionális alrendszerek szerint végzik az összes irányítási szinten, azonban jelenleg a fő figyelmet az alapvető középszintű irányításnak, a vasútigazgatóságoknak szentelik, amelyeknek számítóközpontja nemcsak arra képes, hogy az igazgatóság vezetőségét kiszolgálja, hanem arra is, hogy az alsószintű egységek feladatait megoldja, továbbá, hogy a minisztérium rendelkezésére bocsássa a szükséges információkat.

A Szovjetunió Kommunista Pártjának XXV. kongresszusa „A szovjet népgazdaság főbb fejlesztési irányai 1976–1980 között” c. beszámolójában azt a feladatot tűzte ki célul, hogy „biztosítani kell az automatizált irányítási rendszerek és számítóközpontok további fejlesztését és hatékonyságuk növelését, fokozatosan az információ gyűjtés és feldolgozás állami rendszerévé egyesítve azokat”. A jelenlegi ötéves tervidőszakban az ASZUZST-t nem egyszerűen ki kell szélesíteni, hanem be kell fejezni az előkészületeket új minőségi szintre való áttérésre a számítógépek egységes rendszere és típus rendszer-megoldások alapján, beleértve a következőket:

- az alapvető elsődleges információfeldolgozás integrációját adatbankok és a szállítási folyamat modelljének létrehozásával;
- az operatív munkát ellenőrző dialóg rendszerű információs-nyilvántartó rendszerek létrehozását a két felső irányítási szinten gépi válaszok diszpléin való megjelentetésével;
- az ASZUZST második szakasz a títusterv szerinti döntéseinek a kidolgozását és alkalmazását az összes irányítási szinten, mind a komponensek integrációját, mind pedig a közlekedés automatizált irányítási rendszerének kölcsönkapcsolatait figyelembe véve; 35–40 rendezőpályaudvart számítógépekkel fognak felszerelni a csomóponti számítóközpontok kezdeti stádiumaként;
- „expressz-2” helyfoglaló és jegyeladó tökéletesített rendszer létrehozását.

Egy ilyen nagy kérdés megoldását, mint a közlekedés automatizált irányítása nem lehet az elkövetkező közeli évek kereteiben megoldani. Ezt a kérdést nagyobb távlatban kell vizsgálni az előttünk álló munkákkal és a végső céllal kapcsolatban.

Az Össz-szövetségi Vasúti Tudományos Kutató Intézet a Vasúti Minisztérium főosztályainak részvételével kidolgozta „Az ASZUZST távlati fejlesztése generál sémájának főbb alapjait”. Rendszerint az efféle prognózis készítésénél közismerten alkalmazott Delphy-módszer helyett, amely szakértői értékelésen alapszik, az Intézet kutatásaiban a közvetlen számbavétel módszerét alkalmazták: relatív hatékonysági értékeléssel, módszertani felkészültséggel, kölcsönkapcsolatok alapján stb. meghatározták az ASZUZST 19 alrendszerének mindegyikére a feladat összetételt bevezetési szakaszokra bontva.

Ez az anyag alapul szolgált a bemeneti és kimeneti információáramlás meghatározásához. A továbbiakban műszaki-gazdasági számításokkal meghatározták az adatfeldolgozás helyeit, a számítógépek szükséges kapacitását és az adattovábbítás egységes hálózati struktúráját a kommutációs központokkal, továbbá a rendszer egészének hatékonyságát.

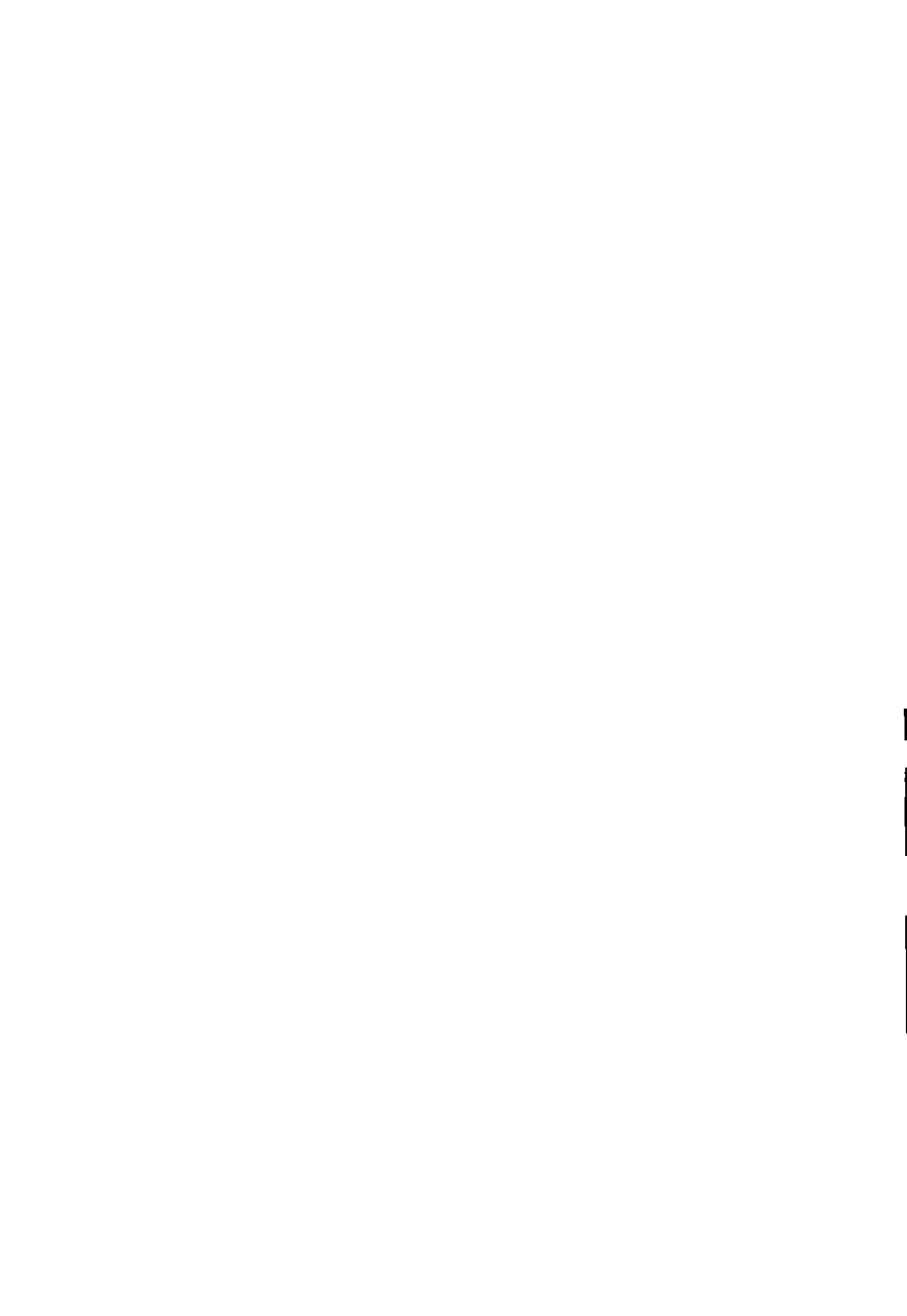
A közeli távlatban be kell fejezni az ASZUZST második szakaszát. Az igazgatóságok számítási központjain kívül erre az időre létre hoznak egy nagy teljesítményű minisztériumi számítóközpontot és több tíz csomóponti központot. A tervezés, a nyilvántartás és az irányítás megoldandó feladatainak száma az összes alrendszerekben és az irányítás minden szintjén kb. 70-ről 300-ra nő. Ez nagy teljesítményű számító komplexumok és berendezések létrehozását igényli a vonalfőnökségeken, nagy állomásokon és fűtőházakban. Az ASZUZST harmadik szakasza még nagyobb teljesítményű számítástechnikát igényel. A kölcsönkapcsolatban megoldandó feladatok száma 500 körül van, automatikus járműszám leolvasó alkalmazását tervezzük, amely lehetővé teszi 3 1/2—4 generációs számítógépek felhasználásával a szállítási folyamat dinamikus modellezése mellett annak optimalizálását is. Be fogjuk fejezni a csomóponti számítóközpontok telepítését, „intelligens” terminálokat fejlesztünk ki. Erre az időre a számítógépeket fel fogják használni az ASZUZST alrendszerei összes jelentős feladatainak a megoldására.

A távolabbi jövőben keletkezhetnek, a számítógépek lehetőségeinek kiszélesítésével és adattovábbítással és a gépek olcsóbbá válásával olyan új lehetőségek, amelyek lehetővé teszik automatikusan megismerni és prognosztizálni az üzemeltetés helyzetét. Erre az időre várható az ön szervezés elvei alapján működő „autodiszpetcser” típusrendszer széles körű alkalmazása.

Az ASZUZST-nak kölcsönkapcsolatban kell fejlődnie a többi közlekedési ág ágazati automatizált rendszerével, az egész közlekedés automatizált irányítási rendszere koordinált egészének szerves részeként. Az ASSZU pedig szerves részévé válik a népgazdaság irányítását, tervezését, információ gyűjtését és feldolgozását végző állami automatizált rendszernek.

Problems of Exploitation and Automatic Traffic Control of the Sowjet Railways. Specific properties of the transport as a branch of material production. The change and long term development of the Sowjet rail transport. The main organization principles of exploitation under the new circumstances. The way of controlling rail transport processes: the role of technical norms and regulation prescriptions in traffic control. The conditions and main system-aspect basic principles of the complex automatized control system realization. Sowjet experiences and long term expectations of the realization of the complex automatic traffic control system.

Probleme der Betriebsführung und der automatischen Verkehrssteuerung der Sowjetischen Eisenbahnen. Die Eigenartigkeiten des Verkehrs als eines Zweiges der materiellen Produktion. Änderung und perspektivische Entwicklung der Beförderungsleistungen der sowjetischen Eisenbahnen. Die Grundprinzipien der Organisierung der Eisenbahnbetriebsleitung unter neuen Umständen. Rolle der technischen Normen und vorschriftlichen Regelungen in der Steuerung der Transportprozessen der Eisenbahn. Die Organisationsvorbedingungen und Systemsbetrachtungs-Ausgangsprinzipien der Durchführung der automatisierten Gesamtleitung des Eisenbahnbetriebs. Erfahrungen und Perspektiven der automatischen komplexen Führung des Eisenbahnwesens in der Sowjetunion.



KÜLÖNÖSEN NAGY FESZÜLTSGŰ ÉS NAGY TÁVOLSÁGŰ SZABADVEZETÉKEK EGYSARKŰ GYORSVISSZAKAPCSOLÁSI PROBLÉMÁI*

GESZTI P. OTTÓ**

AZ MTA RENDES TAGJA

Egészen nagy feszültségű és hosszú szabadvezetékek esetében fontos ismerni az egysarkú földrövidzárlat, kétoldali megszakítása után a kapacitív és induktív hatásokra keletkező, ún. szekunder áram nagyságát és a visszatérő feszültség értékét különböző átvitt teljesítmények esetén, különböző nagyságú háttér impedanciák esetén, tetszőleges fojtótekercs kombinációkra, beleértve a csillagponti fojtók hatását. Ez a tanulmány bizonyos egyszerűsítő feltételekkel a szimmetrikus összetevők módszerével foglalkozik, az alapharmonikusok meghatározásával olyan egyszerű módszert bemutatva, amely egyúttal a hosszú távvezeték hatásait is figyelembe veszi és a szükséges pontossági határon belül, egyszerű gyors számítási módszert ad.

A villamos energiarendszerekkel kapcsolatosan ma két ellentétes irányzat tapasztalható a világon.

Az egyik a nyugat-európai álláspont. Eszerint 1990-ig, sőt esetleg azon túl is, a századfordulóig, nincs szükség 400 kV-nál nagyobb feszültségre. Ez elsősorban az NSZK, Franciaország, Anglia, Olaszország által képviselt álláspont. Itt a vezetékek viszonylag nagy terhelés-sűrűségű területeket kötnek össze, nem is kis távolságokra. A vezetékek igen nagy keresztmetszetűek, a 400 kV-os vezetékekhez képest nagy kötegszámúak, sok esetben 2×3 fázisú szabadvezetékek. E nyugat-európai nézet szerint a 400 kV-os berendezésekben, ma már olyan nagy a gyakorlat, hogy azokat sorozatban viszonylag olcsón és kockázatmentesen tudják létesíteni, és a Nyugat-Európában előforduló távolságokra, különösen, ha közbenső nagy teljesítményű gyűjtősincre történik a csatlakozás, ez a megoldás kedvező.

Itt azt a fontos szempontot is figyelembe veszik, hogy a terhelési súlypontokba nagy atomerőművek telepíthetők, így az átviendő teljesítmény viszonylag kevés.

Ismert és elismert hátrány viszont, hogy nagyok az üzemi és rövidzárlati áramok, ami természetesen állandóan jelentkező problémákat hoz magával.

Ugyanazon teljesítményű átvitelhez, kisebb feszültségen több vezeték, több terület-kisajátítás tartozik, és környezetvédelmi szempontból sem érdektelen, ha több vezetékot kell építeni. Több parallel vezeték nagyobb biztonságot is nyújt természetesen.

* Akadémiai székfoglaló előadás. Elhangzott 1976. október 14-én.

** Prof. Dr. GESZTI P. OTTÓ, 1124 Budapest, Jagelló út 13.

A Szovjetunióban, az USA-ban és Kanadában a helyzet némileg más. Az áthidalandó távolságok nagyobbak és egyes területeken nincsenek, vagy alig vannak fogyasztók, így az átlagos terhelés-sűrűség más mint Európában.

Ilyen körülmények között ezekben az országokban előnyösebbnek tartják különösen nagyfeszültségű vezetékek létesítését, mint pl. a 750 kV-os, valamint a közeljövőben létesítendő 1150 kV-os vezeték a Szovjetunióban, és az 1500 kV-os vezeték az USA-ban. Ilyen vezetékek létesítése új, nagy jelentős kutatásokat igényel: megszakítók, túlfeszültségevezetők, transzformátorok, fojtótekercesek, védelmi berendezések, vezetékoszlopok, 8 és több elemű köteges vezetők stb., amelyek mind új problémákat okoznak, ugyanakkor természetesen kevesebb vezetékot kell építeni, nagyobb teljesítményeket lehet egy-egy vezetéken átvinni.

Ezeknek az új berendezéseknek a létesítése jelentős kutatási alátámasztást igényel.

E megoldás tagadhatatlan előnyei mellett, nyilvánvalóan a villamos energiarendszerek számára, többek között azt a problémát hozza magával, hogy egy-egy vezeték kiesése rövidebb vagy hosszabb ideig, rendkívül nagy és nehéz problémák elé állítja az üzemeltetőt, hiszen egy 750 kV-os vezeték teljesítménye 1300–1500 MW körül van, csúcsban még több, különösen ha rövid szakaszokból áll, ugyanakkor a ma üzemelő legnagyobb gépek — nem kísérleti példányok — teljesítménye kb. 600–800 MW, Magyarországon 200 MW. Így a vezeték kiesése több nagy gép egyidejű kiesésével egyenértékű. A teljesség kedvéért meg kell emlékezni Svédország helyzetéről.

Svédország nagy villamosgépgyára, az ASEA, résztvesz az 1500 kV-os berendezések kifejlesztésében, így Svédország, valószínűleg ezen adottságoknál fogva is, hajlik a nagyobb feszültségű, 800 kV-os vezetékek irányába.

Jelen tanulmány az egészen nagyfeszültségű és nagy hosszúságú szabadvezetékek egy látszólag mellékkérdésével kíván foglalkozni, és ez az egysarkú gyorsvisszakapcsolás kérdése.

Az előzőek alapján mindenki érzékelheti, hogy minthogy ezek a különlegesen nagyfeszültségű vezetékek óriási teljesítményt visznek át, igen nagy érdekek fűződnek ahhoz, hogy ezek a vezetékek nagy üzembiztonsággal működjenek.

E feszültség szinten a vezetékek hibáiból kb. 95%-ot érnek el az egysarkú földrövidzárak, sőt ha rendkívül gyors és hatásos védelemmel vannak ellátva e vezetékek, úgy ez az arányszám még néhány százalékkal nagyobb lehet, hiszen az egysarkú földrövidzár, gyors lekapcsolás esetén, nem tud áterjedni többsarkú zárlattá.

Nagy érdek fűződik ahhoz, hogy e vezetékeken egysarkú gyors visszakapcsolást lehessen végezni mégpedig oly módon, hogy a holtidő minél kisebb legyen, és a holtidőben — sánta üzemben — a vezeték átvivőképessége lehetőleg nagy legyen, és természetesen a visszakapcsolás sikeres legyen.

Ugyanakkor az is ismeretes, hogy bizonyos vezeték hosszúság fölött, ha a rövidzárlatot mindkét oldalon ugyan már lekapcsolták, mégis az ívben folyó úgynevezett szekunder áram hatására, az ív nem alszik ki, vagy csak nagyon sokára alszik ki és nagy időszórással, ami viszont azt jelenti, hogy meglehetősen hosszú holtidőkre lehet szükség és akkor is kétséges az egyfázisú gyorsvisszakapcsolás eredményessége.

E problémákat háromfázisú gyorsvisszakapcsolással meg lehet oldani, de ez a megoldás stabilitási szempontból hátrányos, mert hiszen, ha rövid időre is, de teljesítményáramlás az érintett vezetéken teljesen szünetel, más parallel vezetékek pedig túlterhelődnek. Természetesen az ív kialakítási lehetőségei kedvezőek.

A célkitűzés tehát az, hogy a lehetőség szerint egysarkú gyorsvisszakapcsolással lehessen megoldani a kérdést, megvizsgálva annak lehetőségét, hogy milyen hatások befolyásolják a szekunder áram ívkialvását és a vezeték különböző paraméterei hogyan hatnak egymásra, illetve az ívkialvásra.

Ismeretes, hogy egysarkú földrövidzárlatkor a szigetelő mentén rövidzárlati áram folyik, amit a szokásos és ismert módszerrel ki lehet számítani. Ennek az áramnak a nagysága 10, ill. több 10 kA nagyságrendű lehet, aszerint, hogy milyen teljesítményű hálózatok csatlakoznak a vezetékhez.

Minthogy a vezetéket a védelem mindkét oldalon kikapcsolta (néhány 50 periódusú ciklus után), az ív az ionizációs út fennmaradása miatt, és az ép fázisokhoz való kapacitív és induktív csatolás miatt fennmarad. Ha a hibahelyen folyó stacioner áram effektív értéke kb. 20 A alatti, és a visszatérő (visszaszökő) feszültség nem nagy, akkor feltehetően ez az ív pilanatokon belül kialszik.

A szekunder ív megszakadása szempontjából a legfontosabb tényezőknek

1. a szekunder ív áramának stacioner effektív értékét tartják, de jelentősége van

2. az ív hosszának, ami első pillanatban a szigetelőlánc hosszával egyenlő;

3. a visszatérő feszültség effektív értéke fontos tényező. Az utóbbi két tényezőt is szokták értékelni,

$$\frac{\text{visszatérő feszültség}}{\text{szigetelőlánc hossza}}$$

kV_{eff}/m formájában.

A visszaszökő feszültség hatását nagyjából figyelembe veszik adott helyen és fojtó konfigurációknál a visszatérő feszültséggel. Nagy kompenzációknál annak frekvenciája általában közel áll a hálózat frekvenciájához.

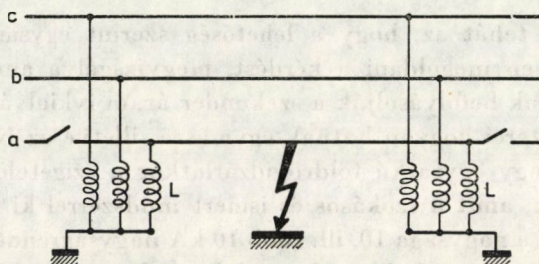
A visszaszökő feszültség általában nagyobb frekvenciájú olyan esetekben, ha a visszatérő feszültség viszonylag kisebb, ha a kompenzátsági fok kicsi,

ha a kompenzátsági fok nagy (sok fojtó), úgy a visszatérő feszültség nagy, a visszaszökő feszültség nem meredek. (Fentiek nem vonatkoznak csillagponti fojtós esetre.)

A következőkben csak a visszatérő feszültséggel foglalkozunk.

Az újabb kutatások annak a jelentőségét már kevésbé tartják fontosnak, hogy mekkora volt eredetileg a rövidzárlati áram, mert erre a szekunder ív, a kialakulás időpontjának környékén már nem „emlékszik”.

4. Az időjárás: itt különösen a szélesebességnek van jelentősége, mert nyilvánvalóan a szél hűtő, ívhosszabbító és deionizáló hatása erőteljesen érvényesülhet.



1. ábra

Az 1. ábrán látjuk a hosszú vezetékeket, a két végén azonos nagyságú L fojtótekerccsel, miután a két végén levő megszakító már kinyitott.

Meg akarjuk oldani egyszerű, kis számítási igényű, és a hálózati gyakorlatnak megfelelő módszerrel, az egyes elemek hatását helyesen adó, a jelenleg alkalmazott közelítő módszernél jobb, a hatásokat jól tükröző, de még közelítő eljárással a csavart (szimetriált) vezetékekre a következő problémákat:

1. Mekkora a stacioner szekunder íváram különböző helyeken kapacitív és induktív csatolás jelenléte esetén, különböző kétoldali mögöttes impedanciákra, és különböző — a szekunder zárlat előtti, a végtelen gyűjtősínek közötti θ terhelési szög esetére. Az ív ellenállását most elhanyagoljuk, de szükség esetén az is figyelembe vehető. Feltételezés szerint a zárlatvédelem igen gyors, és nagy a két rendszer tehetetlensége. Nem célkitűzésünk elektromechanikus és villamos tranziensek számítása. A kapott eredményekből ezekre is lehet következtetni. A számítást különböző fojtótekerccs-számra elvégezzük.

2. Mekkora a visszatérő (stacioner) feszültség a vezeték mentén a fenti variánsokra, és feltételezésekkel.

3. Lehet-e, és milyen módon, milyen feltételekkel csökkenteni a szekunder íváramot, a visszatérő feszültséget?

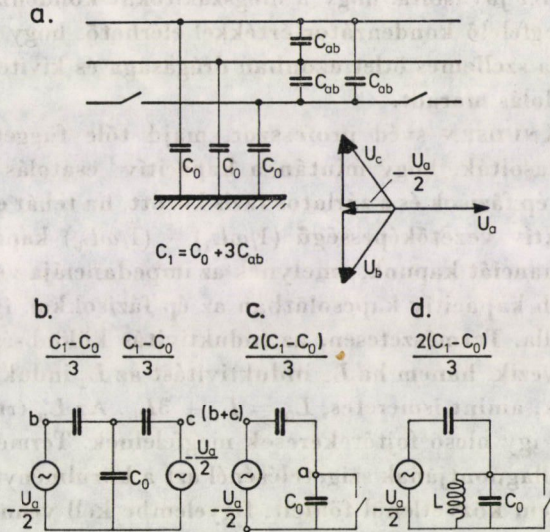
4. Lehet-e ún. adaptív módszert alkalmazni, vagyis érzékelné az ívkialvást és a deionizációs idő után visszakapcsolni, és így megnyerni a leg-

nagyobb áram, legnagyobb kialvási ideje, és a tényleges áram, ténylege kialvási ideje közötti időkülönbséget?

Milyen módszer javít még a rendszer stabilitásán?

Néhány szót óhajtunk ejteni arról, hogy mit tudun a kérdésesoport-ról ma?

Kisebb feszültségeken 120–220 kV-on, és a szokásos kisebb vezeték-szakaszoknál, az FN zárlatoknál az EVA bevált, alkalmazott módszer. A rövid



2. ábra

vezetékekre adta meg PETERSON a 2a, 2b és 2c ábrákon bemutatott módszert a kapacitív hatásokra, amely széles körben elterjedt és amely alkalmas a szekunder áram és a visszatérő feszültség egyszerű számítására.

A d ábrában még a fojtótekercest is bekapcsoltuk, így ennek hatása is számítható a visszatérő feszültségre, ill. a visszaszökő feszültség frekvenciájára. PETERSON a vezetékét szimmetrikusnak tekinti. 400 kV-on rövidebb vezeté-keken is eredményesen lehet használni az EVA-t, hosszabb vezetékeknél a kapacitív áram és a visszatérő feszültség nagysága miatt teljes szélsend esetén nem alszik ki a szekunder ív, és így az EVA nem eredményes. Hosszabb vezetékeknél már szerepe lehet az ép fázisok és a hibás fázis közötti mágneses csatolásnak is. Ezek a körülmények korlátozzák az EVA használhatóságát egészen nagyfeszültségű és hosszú vezetékeknél. Ezeket a körülményeket súlyosbítja még a következő:

A 2c ábrán láthatóan a visszatérő feszültség szempontjából ($U_a/2$) feszültséget a $2(C_1 - C_0)/3$ és C_0 kapacitások között osztjuk le, ami az ép fázis

feszültsége abszolút értékének kb. 15%-át adja a fázisvezető és a föld közötti részre, a lebegő vezetéknel. Ha most ehhez állandó ω -nál fojtótekerceset kapcsolunk parallel, úgy az mind C_1 , mind C_0 -hoz tartozó vezetőképességet azonos értékkel csökkenti, így a $(2/3)(C_1 - C_0)$ értéke látszólag változatlan, de C_0 értéke csökken, így a lebegő potenciálú vezetékre nagyobb feszültség jut, a szekunder áram változatlan, de így nyilván az ív kialakítása nehezebb.

A probléma tehát az, hogy van-e olyan egyszerűen megvalósítható módszer, amivel csökkenteni lehet a szekunder ív áramát?

PETERSON azt javasolta, hogy a megszakítókat kondenzátorokkal hidalják át, így az megfelelő kondenzátor-értékkel elérhető, hogy az íváram nulla körül legyen. Ez a szellemes ötlet azonban drágasága és kivitelezési problémái miatt csak elgondolás maradt.

1962-ben KNUDSEN svéd professzor, majd tőle függetlenül KIMBARK 1964-ben azt javasolták, hogy miután a kapacitív csatolás a $2/3(C_1 - C_0)$ miatt áll fenn, az ép fázisok és a zártatos fázis között, ha tehát ezzel a $(C - C_0)\omega$ -val azonos induktív vezetőképességű $(1/\omega L_1) - (1/\omega L_0)$ kapcsolunk parallel, úgy parallel rezonanciát kapunk, amelynek az impedanciája végtelen. A lebegő fázis nincs tovább kapacitív kapcsolatban az ép fázisokkal, így feszültsége és zárlati árama nulla. Természetesen, az induktivitás különbséget nem a fázisvezetők közé helyezik, hanem ha L_n induktivitást az L_1 induktivitások csillagpontjába helyezik, amint ismeretes, $L_0 = L_1 + 3L_n$. Az L_n értéke olyan, hogy viszonylag kis és így olcsó fojtótekercesek megfelelnek. Természetesen a nagy fojtótekercesek csillagpontjának szigetelésénél azt a körülményt, hogy a csillagpont most már nem közvetlenül földelt, figyelembe kell venni.

Érdekes, hogy mit ír KIMBARK a saját módszeréről:

„The manner in which a PETERSEN coil suppresses arcing line to-ground faults on an otherwise-ungrounded network is well known from both the theoretical and practical standpoints. Shunt reactors operate on the same principle when suppressing line-to-ground faults on conductors isolated by single-pole switching from the rest of a well-grounded network. In both cases, parallel resonance between distributed shunt capacitance of one or more lines and lumped shunt inductance is employed.”

(Ez, amint látni fogjuk, csak hasonlóság.)

A vezeték hosszát a km-enkénti fajlagos értékek és a hossz szorzásával veszik a kapacitásnál figyelembe, a vezetéket (hallgatólágoosan) szimmetrikusnak tételezik fel, és elhanyagolják a hosszirányú impedanciákat és a mágneses csatolásból keletkező feszültségeket és áramokat.

Az előbb ismertetett módszernek az a hibája, hogy — bár kétoldalról szimmetrikus esetben, $\delta = 0$ szögnel mind a szekunder áramra, mind a visszatérő feszültségre jó becslést ad, nem túl hosszú (500—600 km-es) vezetésekre a terhelési esetben — és ez a fő, még megközelítő képet sem tud adni a helyzetről.

МАΙΚОПÁР már bonyolultabb sémát alkalmaz, de az általa felhasznált egyszerűsítésekről és módszerről, a paraméterek jellegéről keveset tudunk. A témában megemlítendő HAUBRICH több cikke is, de ezek sem tartalmaznak részletes módszertani utasításokat.

Az alábbiakban megkíséreljük az FN szekunder stationer áramok és a visszatérő feszültségek számításának egy viszonylag egyszerű módját bemutatni, amely mind a vezeték hosszát, mind a kapacitív és mágneses hatásokat is figyelembe veszi. A számítás az alapprofrekvenciára vonatkozik. Felharmonikusokat nem vesz figyelembe.

Feltételezzük azt, hogy a vezeték szimmetrikus és így a pozitív, negatív és zérus sorrendű hálózatok csak a hibahelyeken hatnak egymásra, vagyis a pozitív, negatív és zérus sorrendű hálózatok közötti egyéb csatolást elhanyagoljuk. Fontos körülmény, hogy a fojtótekercesek és a két megszakítás, a két végponton, vagyis a szimmetrizált pontokon vannak. Feltételezzük, hogy a zérusrendű hálózatban csak egyetlen (átlagos jellegű) módus van. (Ez az oszloponkénti földelt védővezetőnél nagy mértékben a valóságot megközelíti.)

Ez a feltételezés eltér a valóságtól, mert ugyan a végpontokra nézve a vezeték csavarással szimmetrizált, de a közbenső pontokra nem. A módszer szigetelt, ill. egyenetlenül földelt védővezetőkre kevésbé pontos eredményt ad.

Az elhanyagolás hatása a kapacitív csatolás szempontjából nem jelentős, az induktív hatáznál a végponti szekunder áramok értékei, ill. a visszatérő feszültség — másodlagos jelenségektől eltekintve — pontosak, a közbenső értékek nagyságrendileg helyesek, de nem pontosak.

A vezeték közepén — amint azt látni fogjuk — az induktív áramok és a feszültségek értékei elhanyagolhatók. Az ív ellenállását nullának vesszük fel.

Számításunkat egy példán illusztráljuk. A vezeték hossza és a paraméterek kb. megfelelnek a szovjet—magyar vezeték hosszának és paramétereinek, de ez utóbbiak azzal nem azonosak, pl. a teljes hossz ugyanazok a paraméterek nem úgy mint a megvalósuló vezetéken. Egy fojtótekeres induktivitása 6 Hy , állandó. Az állandók a 3. ábrán láthatók, főértékeikkel. A gépi számításokban ezek mint komplex számok pontos értékekkel kerültek felhasználásra.

A 4. ábrán a két végponton alkalmazott egy-egy fojtótekeres hatását mutatjuk be az eredő négyfólus paramétereire.

Az 5. ábrán a vezeték azon állapotának helyettesítő sémáját láthatjuk, amely megfelel annak, hogy az R (fogyasztói) és S (generátor) oldali megszakító már kikapcsolt, tehát az „a” fázisban két soros hiba van, és a „h” helyen FN zárlat van, vagy nincs, — aszerint, hogy a sönt-hibát reprezentáló kapcsoló zárt vagy nyitott állapotban van. A vezeték hossz $l = l' + l''$ részből áll, ill. az ezeket a részeket leképező négyfólusokból. Az ideális transzformátorok a négyfólusok összekapcsolhatóságát biztosítják. Mindkét oldalon a

Állandók

$C_1 = 13,24 \text{ nF/km}$
 $C_0 = 9,72 \text{ nF/km}$
 $r_1 = 0,0149 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $r_0 = 0,132 \text{ } \Omega/\text{km}$
 $r'_1 = 0,8967 \text{ mH/km}$
 $L_0 = 1,954 \text{ mH/km}$

$l = 479 \text{ km}$
 egy fojtó $L \approx 6H$
 $750 \text{ kV} \sim U_a = 433,5 \text{ kV}$
 $l \cdot \gamma_1 = 29,7^\circ; l \gamma_0 = 37,4^\circ$

$Z_0^1 = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = 260 \text{ } \Omega$

$\gamma_1 = \omega \sqrt{L_1 C_1} = 0,0622^\circ/\text{km}$

$Z_0^0 = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}} = 448 \text{ } \Omega$

$\gamma_0 = \omega \sqrt{L_0 C_0} = 0,0784^\circ/\text{km}$

$A_1 = 0,8656$
 $B_1 = j132,7 \text{ } \Omega$
 $C_1 = j1,889 \cdot 10^{-3} \text{ mho}$

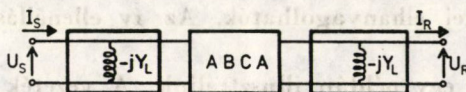
$A_0 = 0,6826$
 $B_0 = j391,8 \text{ } \Omega$
 $C_0 = j1,365 \cdot 10^{-3} \text{ mho}$

$A_1^{2-2L} = 1,006$
 $B_1^{2-2L} = j129 \text{ } \Omega$
 $C_1^{2-2L} = -j0,09 \cdot 10^{-3} \text{ mho}$

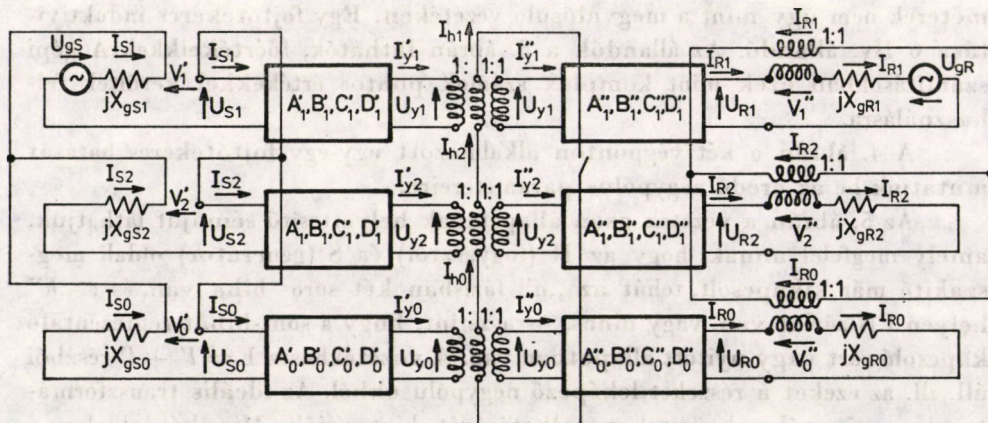
$A_0^{2-2L} = 1,084$
 $B_0^{2-2L} = j274,3 \text{ } \Omega$
 $C_0^{2-2L} = -j0,639 \cdot 10^{-3} \text{ mho}$

3. ábra

		A	B	1	0
		C	A	$-jY_L$	1
1	0	A	B	$A-jY_L B$	B
$-jY_L$	1	$C-jAY_L$	$A-jY_L B$	$C-2jAY_L - Y_L^2 B$	$A-jY_L B$



4. ábra

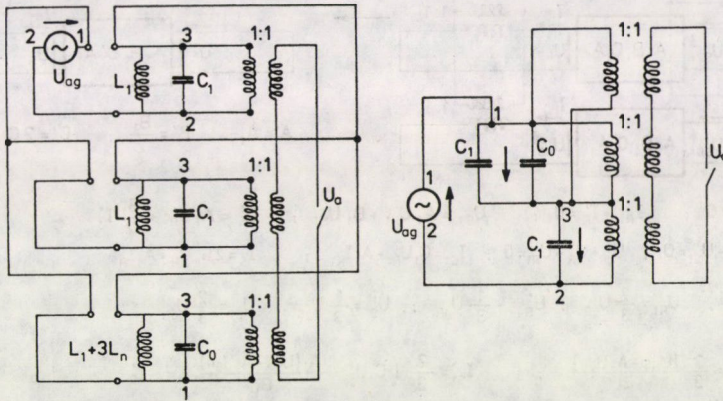


5. ábra

mögöttes impedanciákat berajzoltuk, itt mód van ezek hatását figyelemmel kísérni. (Ezek értékét mindkét oldalon és minden összetevő rendszerben $j120 - j120 \Omega$ -ra vettük fel jelen példában.) A két oldalon levő ideális feszültséggenerátor közti szög δ , amely pozitív, ha U_{gs} siet előre.

Érdekes megvizsgálni, hogy milyen módon hat a csillagpontban elhelyezett fojtó és az ép fázisok és a lebegő fázis közötti kapacitív csatolás megszüntetésére. Ezt egy rendkívül módon leegyszerűsített ábrán mutatjuk be — a 6. ábrán.

A vezeték egy oldalról mögöttes impedancia nélkül kerül táplálásra, a vezeték soros impedanciáját is elhanyagoltuk, — a vezetéket mindössze egy-egy kapacitás képviseli, C_1 , C_1 és C_0 .



6. ábra

Az „a” fázis megszakított és a tulsó oldalon elhelyezett ideális transzformátorok sorbakapcsolva adják U_a értékét, ha a kapcsoló nyitva van, és a zárlati áram összetevőit, ill. a zárlati áramot, ha a jobb oldali K kapcsoló zárva van. A feszültségforrás két kapcsát megszámoztuk, így követhető, hogy melyik kapocs melyik kondenzátor végződéshez kapcsolódik, a 3-as pont egy csillagpont. Ebből láthatjuk, hogy C_1 és C_0 kapacitások parallel kötődnek és együtt sorba kötődnek C_1 -el. Ha C_1 egyenlő lenne C_0 -al, úgy a két parallel kapcsolt kondenzátoron éppen a fele feszültség keletkeznék, mint az egyedül levőn, de a zárt hurokban — a parallel kondenzátorokon levő feszültség iránya a zárt hurokban ellentétes lévén — a K kapcsoló két érintkezője között levő feszültség nulla, és így FN zárlat esetén a kapcsoló zárásakor az FN zárlati áram is az.

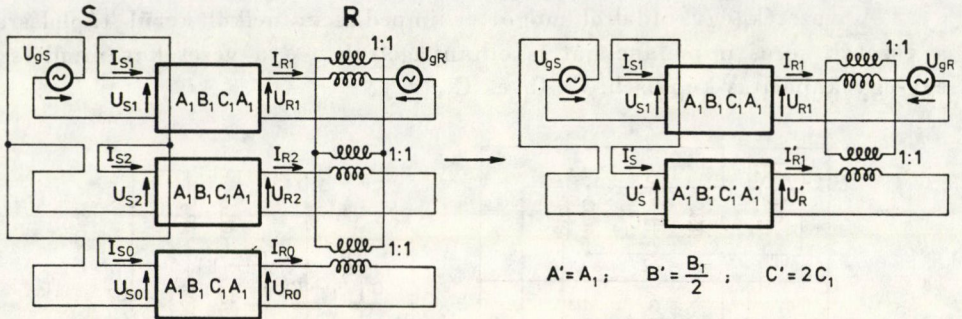
A $C_1 = C_0 + 3C_{ab}$ (szimmetrikus vezetékre vonatkozó) képlet miatt, a C_0 -al parallel kondenzátort vagy ellenkező hatású fojtótekercest hiába helyezünk el, mert az ugyanannyival növeli C_1 és C_0 értékét. Ha azonban C_1 nagyobb vezetőképességét egy nagyobb vezetőképességű, a kisebb vezetőképességű,

képességű C_0 -t egy kisebb vezetőképességű induktivitással csökkentjük, összehozhatók úgy, hogy az eredő U_a nulla, és az áram is nulla legyen.

Tekintsünk egy üresen járó háromfázisú hosszú szabadvezetékét, amelynél elértük, hogy $C_1 = C_0$.

A vezeték „a” fázisa, ha meg van szakítva S oldalon, úgy nyilván az előbbieik szerint

$$I_{S1} + I_{S2} + I_{S0} = 0.$$



$$\begin{aligned} I_{S1} + I'_S = 0 & ; \quad I_{R1} + I'_R = 0 & ; \quad U_{S1} = A_1 U_{R1} + B_1 U_{R1} & ; \quad U'_S = A_1 U'_R + \frac{B_1}{2} I'_R \\ U_{S2} + U'_S - U_{S1} = 0 & ; \quad U_{R2} + U'_R - U_{R1} = 0 & ; \quad I_{S1} = C_1 U_{R1} + A_1 I_{R1} & ; \quad I'_S = 2C_1 U'_R + A_1 I'_R \\ U'_R = -\frac{U_{R1}}{2} & ; \quad U_{R1} = \frac{2}{3} U_{R0} & ; \quad U'_R = -\frac{1}{3} U_{R0} & ; \quad U'_S = \frac{1}{3} U_{S0} & ; \quad U_{S1} = \frac{2}{3} U_{S0} \\ I_{R1} = -I'_R = \frac{2}{3} \frac{[U_{S0} - A_1 U_{R0}]}{B_1} & ; \quad I_{S1} = \frac{2}{3} [C_1 U_{R0} + \frac{A_1 (U_{S0} - A_1 U_{R0})}{B_1}] = -I'_S \end{aligned}$$

7. ábra

Üresen járó vezetékénél

$$I_{S1} = C_1 U_{R1}; \quad I_{S2} = C_1 U_{R2}; \quad I_{S0} = C_1 U_{R0},$$

vagyis

$$I_{S1} + I_{S2} + I_{S0} = C_1 (U_{R1} + U_{R2} + U_{R0}) = 0,$$

$$C_1 \neq 0; \quad \text{így} \quad U_{R1} + U_{R2} + U_{R0} = U_R = 0,$$

az „a” fázis feszültsége nulla, vagyis olyan, mintha R pontban a lebegő fázis-vezetékünk földelt lenne.

U_S pont feszültsége viszont

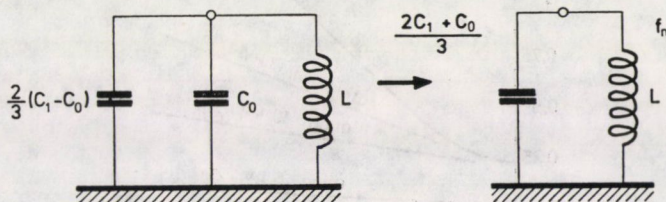
$$U_{S1} = A_1 U_{R1}; \quad U_{S2} = A_1 U_{R2}; \quad U_{S0} = A_0 U_{R0},$$

$$\begin{aligned} U_S = (U_{S1} + U_{S2} + U_{S0}) & = A_1 (U_{R1} + U_{R2}) + A_0 U_{R0} + A_1 U_{R0} - A_1 U_{R0} = \\ & = A_1 (U_{R1} + U_{R2} + U_{R0}) + (A_0 - A_1) U_{R0}, \end{aligned}$$

$U_S = (A_3 - A_1) U_{R0}$ nem nulla, bár kis érték.

A keresztirányú vezetőképességnek az összehozása, tehát hosszú vezetékknél az A , B , C konstansok szempontjából a C_1 és C_0 (ez nem kapacitás) állandók eredőjének egyenlővé tételével érhető el, vagyis $C_1 = C_0$ esetében a keresztirányú hatások kiküszöbölődnek. Olyan L_n , ill: L_0 -t kell választani, amire adott L_1 mellett teljesül a $C_1 = C_0$ feltétel.

Ez a kompenzálás természetesen csak keresztirányú, vagyis kapacitív hatásokra vonatkozik. Az erre vonatkozó ellenőrző számításaink a fenti konstansokkal a hiba-áramra és a feszültségre is nullát eredményeztek.



8. ábra

Fenti gondolatmenet alapján hasonló egyszerűsített sémával, de most már kétoldali betáplálással, olyan feltétellel vizsgáltuk meg a hálózatokat, hogy ha már a $C_1 - C_0$ lett egyenlővé téve, mit történik akkor, ha $B_1 - B_0$ lesz egyenlővé téve? Vajon így a hosszirányú, vagyis induktív kölcsönhatás is meg lehet-e szüntetni? Az eredmény az volt, hogy ebben az esetben a mágneses kölcsönhatás is megszüntethető. Természetesen e megállapításnak csak elvi jelentősége van, mert B_0 értéknek csökkentése csak zérus sorrendű soros kondenzátorokkal lenne megoldható, ami rendkívül nagy költségeket jelent és a későbbiekből láthatóan az induktív kölcsönhatás nem olyan jelentős, mint a kapacitív, amit egyébként irodalmi közlések is alátámasztanak.

A 8. ábra azt mutatja, hogy KIMBARK milyen módon használta fel módszerét arra, hogy adott fojtótekerces elrendezés mellett a rendszer saját frekvenciáját kiszámítsa.

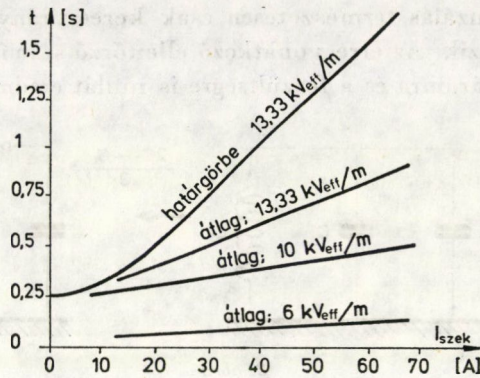
A 9. ábra THOMAS Reiner munkája alapján készült, amely bemutatja, hogy nagyszámú kísérlete alapján milyen stacioner-szekunder íváramnál mennyi égési időre lehet számítani különböző kV_{eff}/m szigetelő menti gradiens mellett, ahol a gradiens úgy értendő, hogy a

$$\frac{\text{visszatérő feszültség}}{\text{szigetelőlánc hossza}}$$

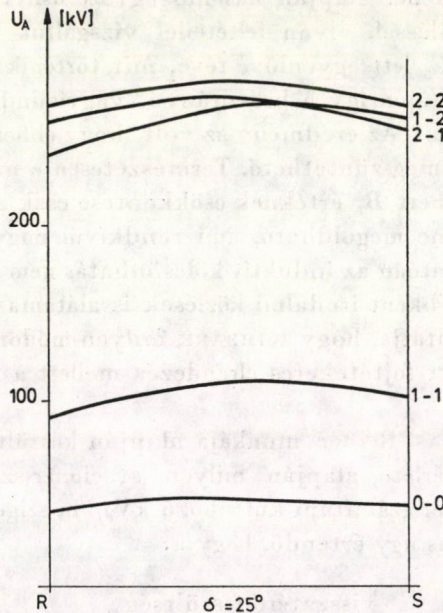
Látható, hogy a visszatérő feszültségnek milyen jelentős szerepe van, mert pl. 50 A 6 kV_{eff}/m gradiensben átlagosan egytized másodpercnél gyorsabban alszik ki és 13,33-nál kb. 0,7–1,25 mp a határgörbéje, amíg kb. 2,5 sec sebességű szélnél az ív kialszik.

Ebből a szempontból látható, hogy nem is annyira az áram, mint a visszatérő feszültség az, ami a körülményeket nagymértékben befolyásolja.

A visszatérő feszültség értékét csillagponti fojtók nélkül a 10. ábra mutatja be, egy olyan esetre, amikor $\delta = 25^\circ$ (az ép vezetékben ez kb. 600



9. ábra

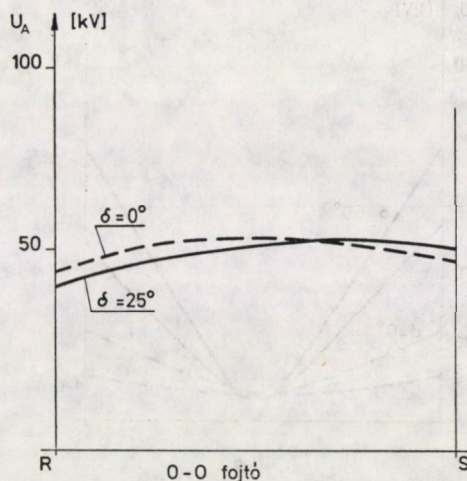


10. ábra

MW-nak felel meg) és látható, mennyi a visszatérő feszültség, ami nagyjából állandó a vezeték mentén fojtótekeres nélküli esetben. Ez kb. 50 kV. Egy-egy fojtótekeres esetében ez valamivel meghaladja a 100 kV-ot, két-két fojtótekeres esetében kb. 280 kV.

Ennek okáról már az előbbieken szóltunk, vagyis a föld és a lebegő vezeték közötti impedancia növekedése, illetve a parallel rezonanciához való közelebb kerülés okozza ezt a jelenséget.

A 11. ábra összehasonlítást mutat, hogyha a kétoldali rátáplálás esetében a két feszültségforrás közötti szög nulla, úgy a feszültség egy kb. szimmetrikus értéket ad, a két végén valamivel kisebb feszültséggel. Látható, hogy a 25° -os esetben a feszültségértékek nem térnek el említésre méltó módon a nulla-fokos esettől.



11. ábra

Az áramok vonatkozásában azt lehet mondani, hogy azok a csillagponti fojtó nélkül nem változnak nagy mértékben, sem a fojtótekercesek számától függően, sem a zárlat helyétől függően, sőt a terhelési szög függvényében sem.

Példaképpen néhány értéket közlünk:

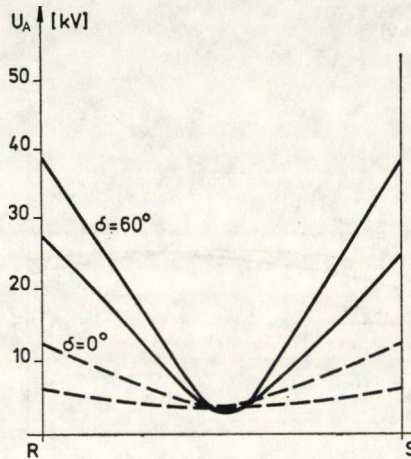
Az összes lehetséges variánst nem számítottuk ki, tehát fojtótekerceszám, terhelési szög és hely függvényében.

Az elvégzett számítások során a legkisebb érték 60 A sec áram és a legnagyobb érték 93 A áram volt. Ugyan ezek az értékek nincsenek rendkívül távol egymástól, de ezek az üzem szempontjából nem lényeges, szélsőséges esetekre vonatkoznak, tehát olyanokra, amelyek gyakorlatilag vagy nem fontosak — pl. 1000 MW-ot meghaladó teljesítményátvitel két fojtótekeres esetében, amely a legkisebb áramértéket adta — vagy üresen járó kétoldalról táplált vezeték esetében, amikor is nincsenek stabilitási problémák. Ez utóbbi adta a legnagyobb áram értékét.

A $\delta = 0$ -eset, kétoldalról táplált vezetéknel összevethető a KIMBARK szerinti számítási értékekkel, ami helytől, fojtópártól függetlenül 75 A-t adott. Ehhez képest kb. $+8$ és -16% -os eltérések voltak.

A gyakorlati esetekben a szórás lényegesen kisebb volt, pl. egy-egy fojtótekeres esetében a legnagyobb áramérték 0-szög esetén 81 A és kereken 70 A az 1200 MW-nak megfelelő terhelésnél.

Látható, hogy a gyakorlat számára lényeges esetben 75–80 A stacioner sec áramokra számíthatunk, jelen példánkban. Ugyanezen számítások egy részét elvégeztük egy olyan vezetékre is, amelynél mások voltak a paraméterek, különösen nagyobb volt a zérus sorrendű hullámellenállás, és a terjedési állandó is — ez nagyobb kölcsönös impedanciát ad.



12. ábra

Ebben az esetben a szekunder áramok valamit csökkentek — a nagyobb zérussorrendű impedancia miatt egy-egy fojtó esetén $\delta = 0$ -nál S oldali zárlatnál 81 A helyett 63 A-t, és $\delta = 60^\circ$ -nál 78 A helyett 66 A-t kaptunk.

Csillagponti fojtóval $\delta = 0$ -nál 12 A- kaptunk 6 A, és $\delta = 60^\circ$ -nál 36 A-t kaptunk 27 helyett.

A legnagyobb — induktív — feszültség 36 kV lett a 25 kV helyett.

A 12. ábrán a (induktív) feszültség abszolút értékét látjuk a vezeték mentén — csillagponti fojtóval, 1–1 fojtókészlettel — hibamentes kikapcsolt a fázissal — két különböző paraméterű vezetékre $\delta = 0$ és $\delta = 60^\circ$ -ra.

A $C_1 = C_0$ feltétellel csillagponti fojtótekeres számítottunk egy-egy fő fojtótekeres-készlet csillagpontjára alkalmazva.

A különbségeket a csillagponti fojtós és anélküli esetre megállapítjuk.

A csillagponti fojtótekeres nélküli esetben $\delta = 0$ esetében a vezeték mentén mindenütt 81 A zárlati szekunder áramot kaptunk, $\delta = 60^\circ$ esetében a vezeték végén bekövetkező zárlatnál 78 A és a vezeték közepén 69 A-t. A csillagponti fojtótekereses esetben üresjárásban a vezeték közepén 3 A-t, és a vezeték végén 6 A-t kapunk $\delta = 0$ esetén.

Látható, hogy az előbbi esethez képest, valamivel több mint egy nagyságrenddel csökkent az áram értéke. A legnagyobb terhelési esetben $\delta = 60^\circ$ -nál

a vezeték közepén marad a 3 A, ami teljesen érthető, a vezeték végpontján pedig 27 A-t kaptunk.

Látható, hogy most a vezeték közepén bekövetkező zárlatoknál csillagponti fojtóval az áram az eredetinek kb. 4%-ára csökkent, a vezeték végén kb. a harmadára, mert ami megmaradt, az az induktív kölcsönhatástól származik. Ezt a csillagponti fojtó már nem kompenzálja. Ha most megnézzük az egy-egy fojtó esetére a visszatérő feszültség értékét, úgy azt látjuk, hogy amíg egy-egy fojtótekerccs esetében csillagponti fojtó nélkül 100 kV körüli értéket kaptunk, addig most a visszatérő feszültség értéke $\delta = 0$ esetére a vezeték közepén kb. 3 kV, a vezeték végpontján 5 kV, tehát a visszatérő feszültség is kb. 4%-ára csökken le. A legnagyobb terhelés esetében, a visszatérő feszültség abszolút értéke a vezeték végén 25,3 kV és a vezeték közepén egyezik az üresenjáró vezeték kb. 3 kV-os értékével. Ez azt jelenti, hogy a visszatérő feszültség a végpontokon kb. negyedére csökkent a terheléses esetben.

A csillagponti fojtó behelyezése esetében a vezeték mentén gyakorlatilag mindenütt a 9. ábrában levő, alsó 6 kv/m alatt lennének, míg az ilyenkor bekövetkező legnagyobb végponti zárlati esetben is gyakorlatilag pillanat, vagy legalábbis gyors kialakulás keletkeznék.

A szekunder zárlati áram értékeket fémes zárlatként vettük figyelembe, ami természetesen nem felel meg a valóságnak és ha azt számítjuk, hogy több száz ohmos ívellenállás is közbeiktatódik (7–8 m ívhossz, kb. 70 A értékénél), ezek hatása az áramok abszolút értékét tovább csökkenti.

A teljes pillanat kialakásra (még a csillagponti fojtó esetében is) tranziensek, amiket nem lehet egyszerűen számítani, azt eredményezhetik, hogy jónéhány perióduson keresztül egy egyenáramú összetevő miatt szekunderáramnak nincsen nulla-átmenete.

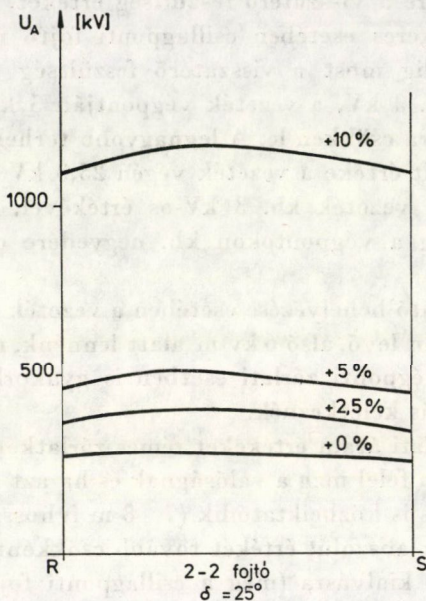
A csillagponti fojtó kedvező hatása mellett szükséges a fő fojtótekerccsek csillagponti oldalát erősebben szigetelni és védeni kell a túlfeszültségek ellen.

Kedvezőnek látszik egyébként egy olyan eljárás, hogy a csillagponti fojtók alkalmazása mellett a kikapcsolt vezeték két végén levő feszültségváltó érzékeli a feszültségek abszolút értékét, és abból következtet a vezeték zárlatos vagy zárlatmentes állapotára. E két feszültség abszolút értékének összehasonlítása azt mutatja, hogy ha e két feszültség azonos értékű, úgy a zárlat vagy a középtájon keletkezett, amikor is a rendkívül kis áramérték miatt ennek igen gyors kialakása amúgy is várható, vagy pedig az előzetes feszültségkülönbség megszűnése és a két feszültség abszolút értékének azonos volta arra mutat, hogy az ív már kialudt. Ebben az esetben a deionizációs idő kivárása után a megszakítókat vissza lehet kapcsolni. Ha a két feszültség nem válik azonossá, úgy a zárlat nem aludt ki.

Kedvezőnek látszik — különösen ha olyan helyzet marad, amelynél nem alkalmazunk csillagponti fojtót — egy olyan megoldás, hogy a zárlat

bekövetkezésekor csak egy-egy fojtókészlet maradjon a vezetéken. Így a visszatérő feszültség lecsökken közel harmadára, és jelentősen növekszik a remény arra, hogy a szekunder ívek kialudnak.

Az a körülmény pedig, hogy kevesebb fojtóval üzemel hibás állapotban a vezeték, azt is eredményezi, hogy a vezeték stabilitási viszonyai javulnak. Egy-egy fojtóval nagyobb a természetes teljesítmény, mint 2–2 fojtóval.



13. ábra

Az érdeklőség kedvéért két-két fojtós esetre számítást végeztünk arra vonatkozóan, hogy mi lesz a két oldalon kikapcsolt zárlatmentes vezeték stationer feszültsége, ha a veszteségmentesnek képzelt fojtótekercek H értéke $0 \div 2,5 \div 5$, vagy 10%-kal nagyobb (13. ábra). (A három fázisban szimmetrikus egységeket képezve.)

Itt a fojtótekercek pozitív toleranciája esetében a feszültség nagyon megnövekszik.

Hasonló helyzet lehetséges, ha a többi paraméter eltérése olyan hatású, mintha a fojtótekercek nagyobbak lennének. (Vezeték kapacitás: belógás, korona, számítási tolerancia, hossz stb. miatt.)

Az ábra, azt hisszük, igen tanulságos arra vonatkozóan, hogy ha FN zárlat keletkezik (csillagponti fojtó nélkül), úgy nem lehet számítani ilyen visszatérő feszültségek mellett arra, hogy az ív megszakadjon. Hasonló helyzet szerencsétlen körülmények között bekövetkezhetik, az ép vezeték be- vagy kikapcsolásakor, hogy az első két fázis feszültség alá került vagy maradt, és a harmadik fázis, bár rövidebb ideig, lebegő állapotba kerül.

Befejezésül köszönetemet fejezem ki PETRI Kornél, CZIRA Zsuzsa és SZABÓ László tanársegédeknek a közölt példák számításainak elvégzéséért és SEBESI József technikusnak az ábrák elkészítéséért.

IRODALOM

1. THOMAS R.: Untersuchungen zur Brenndauer sekundärer Lichtbogen bei einpoliger Kurzunterbrechung. *ETZ-a*, **97** (1976), H. 2
2. HAUBRICH, H.: Einpolige Kurzunterbrechung in Höchstspannungsnetzen über 500 kV. *ETZ-A*, **91** (1970)
3. KNUDSEN, N.: Single Phase Switching of Transmission Lines Using Reactors for Extinction of the Secondary Arc. *CIGRÉ* (1962) No. 310
4. KIMBARK, E. W.: Suppression of Ground Fault Arcs on Single-pole Switched ehv — Lines by Shunt Reactors. *IEEE Trans. on Pow. App. et Systems* **V 1** **83** (1964), 285—295.
5. PETERSON, H.—DAVID N. V.: A Method for Reducing Dead Time for Singlephase Reclosing in ehv Transmission. *IEEE Trans on Pow. App. et Syst.* **88** (1969), 886—292
6. MAIKOPAR, A. S.: Löschung eines offen brennenden Lichtbogens. *Elektricsesztwo* (1960), H. 4. 64—69

Problems of Single-phase Reclosing in Long ehv Transmission Lines. With very long transmission lines it is important to know the size of the so-called secondary current arising from capacitive and inductive effects and the value of the recovery voltage after the two sided interruption of a single-phase ground fault, and that for different transmitted powers, different background impedances, arbitrary combinations of reactors including the effect of the star-point reactor. In this paper the method of symmetrical components is dealt with, using certain simplifications. By determining the basic harmonics a simple method is presented which takes into consideration the influence of the long transmission line and within the required limits of accuracy leads to a simple, rapid calculation procedure.

Probleme der einpoligen Kurzunterbrechung bei langen Höchstspannungsleitungen. Bei sehr langen Freileitungen ist es wichtig die Größe des nach zweiseitiger Unterbrechung eines einpoligen Erdschlusses durch kapazitive und induktive Wirkungen entstehenden sog. sekundären Stromes und den Wert der Rückkehrspannung zu kennen, und zwar für verschiedene übertragene Leistungen, verschieden große Hintergrundimpedanzen, beliebige Drosselkombinationen mitinbegriffen die Wirkung der Sternpunktdrosseln. Die vorliegende Studie beschäftigt sich unter gewissen vereinfachenden Voraussetzungen mit der Methode der symmetrischen Komponenten und gibt durch Bestimmung der Grundharmonischen eine einfache Methode bekannt, die auch die Wirkung der langen Übertragungsleitungen berücksichtigt und innerhalb der notwendigen Genauigkeitsgrenzen ein schnelles Rechenverfahren ergibt.

AZ ENERGETIKA NÉHÁNY KÖLCSÖNHATÁSA*

VAJDA GYÖRGY**

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

A cikk az energetika néhány gazdasági és műszaki kihatását tárgyalja. Bemutatja, hogy a termelés energia igényességét nem elég a közvetlenül felhasznált energiával jellemezni, hanem az anyagokban és eszközökben megtestesülő energiát figyelembe vevő teljes energia a mértékadó. E számítás lehetőségét néhány országra számszerűen is jellemzi a cikk. Az energiaigények alakulását erősen befolyásolja az energiaszerkezet és az energetikai hatások. Ezek figyelembevételével kapcsolatot lehet találni a hasznos és a primer energiaszükséglet között. Egyes primer energiahordozók előtérbe kerülése lényegesen megváltoztathatja a bemutatott számítások szerint a fejlődési ütemet. A jövő problémáinak megoldása nagymértékben a műszaki kutatásokon múlik, melyek hazai prioritására a cikk javaslatokat tartalmaz.

Sok tekintetben még magyarázatra szorul az a messze tovagyrűző hatás, amit az olaj világgpiaci árának emelkedése a világgazdaságra, sőt még a világgpolitika eseményeire is gyakorolt. Ennek oka, hogy az energetika kölcsönhatásait nem mindig egyszerű felismerni. Nehezíti az áttekintést, hogy megbízható információk hiányában a viszonyokat gyakran nem a legkarakterisztikusabb jellemző alapján ítélik meg. A kölcsönhatások a termelés és a felhasználás területén a legjelentősebbek.

A termelés energiaszükségletét jellemezni szokták a fontosabb gyártmányok előállításához, vagy vállalatok, iparágak működéséhez igénybe vett energiahordozók energiatartalmával, vagy pénzbeli értékével. Arról, hogy az energia felhasználásnak milyen súlya van a termelésben, az ágazati kapcsolatok mérlegéből is hozzávetőleges képet lehet nyerni. Ez a mérleg táblázatos formában mutatja be, hogy az egyes gazdasági ágazatok milyen értékű termék beszállításával járultak hozzá a többi ágazat termeléséhez, például az (1) képletben látható módon a j -edik ágazat x_j termeléséhez az i -edik ágazat x_{ij} értékkel.

$$\begin{array}{cccc|c}
 x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1n} & x_1 \\
 x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2n} & x_2 \\
 \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\
 x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ij} & \dots & x_{in} & x_i \\
 \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots & \vdots \\
 x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nj} & \dots & x_{nn} & x_n \\
 \hline
 x_1 & x_2 & \dots & x_j & \dots & x_n &
 \end{array} \quad (1)$$

* Akadémiai székfoglaló előadás. Elhangzott 1976. november 2-án.

** Dr. Vajda György, 1027 Budapest, Bem rkp. 32.

A táblázat elemeit az ágazatok teljes termelésére vetített relatív egységekben is fel lehet írni, e ráfordítási együtthatók általános a_{ij} tagjának képzését a (2) képlet mutatja,

$$a_{ij} = \frac{x_{ij}}{x_j}. \quad (2)$$

A ráfordítási együtthatót egy, a (3) képlet szerinti A mátrix elemeinek lehet felfogni, melyben az energetikára jellemző ágazatok (bányászat, kőolajipar, villamosenergetika stb.) mutatói az energetika szerepét tükrözik az érték-képzésben.

$$A = [a_{ij}] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2j} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{i1} & a_{i2} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & \cdot & & \cdot & & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Az 1. táblázat bemutatja néhány országra az energetika ráfordítási együtthatóit egy 12 ágazatra aggregált mérleg alapján. A figyelembe vett szektorok az utolsó sor adatai szerint az országok energiafelhasználásának 60–75%-át reprezentálják, a figyelembe nem vett rész a háztartások és a kommunális szektor igényeit fedezi. A táblázatból kitűnik, hogy az energiaköltség átlagosan az önköltség 5–6%-a körül mozog, 10% feletti arány csak elvétve néhány ország egy-két ágazatában fordul elő. Ezek az alacsony ráfordítási együtthatók egyáltalán nem magyarázzák a tapasztalt intenzív, tovagyűrűző hatást. Ennek az az oka, hogy csak a közvetlen energiafelhasználást tükrözik, a termeléshez felhasznált anyagokban és eszközökben megtestesülő energia közvetett felhasználását nem.

Az ágazati kapcsolatok mérlegéből e közvetett felhasználást is számítani lehet, mivel tartalmazza, hogy a különböző ágazatok a beszállított termékek előállításához mennyi energiát használtak fel. A számítás kiinduló egyenletét a (4) képlet mutatja, egyrészt az i -edik ágazat x_{ij} termékeit a többi ágazat hasznosítja a termelés során, ezt tükrözi a szummáció, másrészt a termékek végső felhasználást nyernek (személyes és kommunális fogyasztás, export, beruházás stb.), amit y_i ír le. A képlet második része ugyanezt a ráfordítási együtthatókkal fejezi ki.

$$x_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} + y_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i. \quad (4)$$

1. táblázat

Az energiaköltség százalékos aránya egységnyi végtermék értékében

	A	B	DK	F	D	H	I	NL	N	PL	P	E	S	GB	USA	YU
1 Mezőgazdaság	2,5	1,1	2,3	1,8	2,8	2,0	1,2	1,7	2,8	1,5	1,3	1,3	2,8	2,7	2,5	0,6
2 Élelmiszeripar	1,1	1,6	1,1	1,5	1,9	2,5	1,6	1,9	0,9	1,4	1,0	1,1	0,9	1,8	0,9	3,1
3 Energetika	25,3	35,7	30,1	24,9	32,3	31,7	26,6	40,2	24,7	23,6	7,8	30,2	4,7	34,2	35,9	21,4
4 Bányászat (Energiahord. nélkül)	4,7	*	7,1	5,1	16,9	10,5	7,8	*	3,3	12,3	6,7	4,2	3,9	10,8	5,2	4,2
5 Kohászat	9,6	7,7	3,3	8,7	8,6	14,0	7,9	5,5	11,9	12,0	8,4	6,6	6,1	14,5	4,3	8,0
6 Gépipar	1,7	1,3	1,4	2,3	2,2	3,3	2,3	1,6	1,1	2,6	1,5	1,0	1,5	2,2	0,9	2,2
7 Vegyipar	6,5	6,6	5,1	7,4	6,9	10,1	8,8	8,7	5,4	10,0	7,6	7,7	4,6	9,0	5,2	7,7
8 Fa- és papíripar	2,4	2,4	1,6	3,1	3,1	3,2	3,2	2,3	2,3	2,8	2,3	1,9	3,1	2,1	1,6	3,4
9 Könnyűipar	1,1	1,7	1,4	1,7	1,6	2,4	1,8	1,6	0,7	1,3	1,8	0,9	1,3	1,9	0,7	1,7
10 Építőipar	1,1	1,3	2,6	2,0	1,0	2,7	1,6	3,0	1,4	2,4	1,7	1,2	1,3	0,9	2,3	1,2
11 Kereskedelem, szállítás	3,1	4,6	1,4	4,0	3,6	9,6	6,7	5,7	2,1	6,3	3,2	3,2	1,9	2,0	3,0	3,9
12 Egyéb szolgáltatás	1,7	0,8	1,3	1,1	0,8	*	1,0	0,6	1,3	4,1	3,5	1,0	1,7	1,1	0,9	*
Az 1–12 ágazatok részesedése a teljes felhasználásból	63,3	61,7	60,2	64,1	70,8	73,9	67,7	59,5	64,0	75,8	69,8	79,3	61,6	63,7	64,1	71,1

* Nincs adat.

Ilyen egyenleteket valamennyi ágazatra fel lehet írni, ezek mátrixegyenletben összevont alakját mutatja az (5) összefüggés, melyben x és y oszlopvektorok

$$x = Ax + y. \quad (5)$$

Ezen egyenlet (6) képlet szerinti átrendezett alakjában a B mátrix mintegy összegyűjti a kumulált felhasználásokat

$$x = (E - A)^{-1}y = By. \quad (6)$$

E mátrixegyenletből kiemelve az energiára jellemző sorokat, az

$$x_E = B_E y \quad (7)$$

egyenlethez jutunk, melyben a B_E mátrix elemei az egyes ágazatok közvetlen és közvetett energiafelhasználásainak kumulált összegét tükrözik. A képlet tulajdonképp azt fejezi ki, hogy egy bizonyos társadalmi szükséglet kielégítéséhez összességében mennyi energia szükséges és az hogy oszlik meg a résztvevők között. A 2 táblázat e kumulált ráfordítási együtthatókat mutatja az előző táblázatban bemutatott esetre. Látható, hogy a teljes energiafelhasználás többszöröse a közvetlennek, gyakori a 10%-ot meghaladó érték, sőt a 20–30%-nál nagyobb mutatók sem ritkák. Ezek az arányok már jobban magyarázzák a tapasztalt kölcsönhatásokat, az energetika jelentősége sokkal nagyobb, mint ami a közvetlen energiaköltségekben tükröződik. Még szemléletesebb a 3. táblázat, mely a teljes és a közvetlen ráfordítás rányait mutatja, ami látható módon 1,2 és 9,9 között változik. Figyelmet érdemel, hogy Magyarország esetében a legnagyobb arányt felmutató gépipar és építőipar után sorrendben a mezőgazdaság, valamint az élelmiszer- és könnyűipar következik. A táblázatokból levonható az a következtetés, hogy az energiaigényesség — a szokásos szemlélettel ellentétben — nem ítéhető meg a közvetlen energiafelhasználásból, csak a teljes energia igényből, ellenkező esetben könnyen lehet hamis következtetésekre jutni a szelektív energiapolitikai, vagy iparpolitikai döntéseknél. Ugyanakkor a termelő vállalatok az energetikát csak a közvetlen költségeken keresztül ítélik meg. Mivel e közvetlen ráfordítási együtthatók alacsonyak, nincs számottevő terelő hatásuk az energiapolitikai célkitűzések irányában. Ugyanezért illuzorikus az alacsony energiahordozó araktól stabilizáló hatást várni az általános árszínvonalra.

A termelésben nemcsak a felhasznált energia mennyisége, hanem az ellátás folyamatossága is kritikus kérdés. Ebben bizonytalanságot nemcsak műszaki tényezők okozhatnak, hanem gazdasági, energiapolitikai és stratégiai okok is. A 4. táblázat egy javaslatot mutat be ezek célszerű megkülönböztetésére. A megbízhatóság növelése kategóriánként más típusú intézkedéseket igényel, ami az operatív energiagazdálkodásban nem mindig magától értendő.

2. táblázat

A teljes energiárfordítás százalékos aránya egységyi végtermékértékben

	A	B	DK	F	D	H	I	NL	N	PL	P	E	S	GB	USA	YU
1 Mezőgazdaság	5,1	5,1	6,2	5,5	8,8	8,5	3,6	7,8	6,6	7,1	2,8	4,3	4,3	11,1	8,3	2,4
2 Élelmiszeripar	5,3	6,9	6,5	5,9	8,6	11,4	5,9	10,2	6,2	7,9	3,9	5,7	4,3	10,0	6,5	7,4
3 Energetika	34,9	57,2	46,5	34,7	50,5	51,1	37,3	69,8	34,4	35,4	10,8	44,5	6,2	55,1	57,7	29,3
4 Bányászat (energiához nélkül)	9,7	*	11,4	10,7	27,4	21,8	12,5	*	6,1	23,9	7,6	7,0	5,2	20,3	11,6	9,1
5 Kohászat	23,2	29,9	9,7	21,6	28,4	36,4	22,1	19,5	24,0	35,2	14,6	22,4	10,3	37,6	13,1	23,2
6 Gépipar	8,9	9,1	5,1	9,1	12,0	19,6	11,1	8,7	7,4	16,2	6,3	10,0	4,8	13,9	6,0	11,1
7 Vegyipar	13,3	16,9	11,4	14,6	17,1	23,7	19,6	23,1	11,6	22,4	12,7	17,0	7,8	22,0	13,4	16,3
8 Fa- és papíripar	7,1	8,8	5,3	8,0	9,6	11,3	9,4	9,0	7,3	9,9	5,2	6,2	5,8	8,3	6,5	8,8
9 Könnyűipar	5,3	8,1	5,2	6,5	7,7	10,0	8,0	10,2	4,3	8,0	4,7	5,5	3,7	10,2	5,7	6,5
10 Építőipar	5,7	9,5	6,6	7,6	7,7	15,6	8,6	12,1	6,9	13,1	6,6	8,6	4,2	8,9	7,8	6,8
11 Kereskedelem, szállítás	6,1	8,9	2,9	7,1	8,1	19,6	11,4	12,4	4,3	11,9	4,3	5,9	2,8	4,3	6,2	6,
12 Egyéb szolgált.	3,4	2,1	2,7	2,1	2,5	*	2,2	2,1	1,9	12,3	4,7	2,1	2,5	2,9	2,8	*

* Nincs adat.

3. táblázat

A teljes és a közvetlen energiárfordítás aránya

	A	B	DK	F	D	H	I	NL	N	PL	P	E	S	GB	USA	YU
1 Mezőgazdaság	2,0	4,6	2,7	3,1	3,1	4,3	3,0	3,6	2,4	4,7	2,1	3,3	1,5	4,1	3,3	4,0
2 Élelmiszeripar	4,8	4,3	5,9	3,9	4,5	4,2	3,7	5,4	6,9	5,6	3,9	5,6	4,8	5,5	7,3	2,4
3 Energetika	1,4	1,6	1,5	1,4	1,6	1,6	1,4	1,7	1,4	1,5	1,4	1,5	1,3	1,6	1,6	1,4
4 Bányászat (energiahord. nélkül)	2,1	*	1,6	2,1	1,6	2,1	1,6	*	1,8	1,9	1,2	1,7	1,3	1,9	2,0	2,2
5 Kohászat	2,4	3,9	2,9	2,5	3,3	2,6	2,8	3,6	2,0	3,0	1,8	3,4	1,7	2,6	3,0	2,9
6 Gépipar	5,2	7,0	3,6	3,9	5,4	6,0	4,8	5,4	6,8	6,2	4,2	10,0	3,2	6,3	6,7	5,0
7 Vegyipar	2,1	2,6	2,2	2,0	2,5	2,4	2,2	2,7	2,2	2,2	1,7	2,2	1,7	2,5	2,6	2,1
8 Fa- és papíripar	3,0	3,7	3,3	2,6	3,1	3,5	3,0	3,9	3,1	3,5	2,3	3,3	1,9	4,0	4,1	2,6
9 Könnyűipar	4,8	4,8	3,7	3,8	4,8	4,2	4,4	6,4	6,1	6,1	2,6	6,1	2,8	5,4	8,1	3,8
10 Építőipar	5,2	7,3	2,5	3,8	7,7	5,8	5,4	4,0	4,9	5,4	3,9	7,2	3,3	9,9	3,4	5,7
11 Kereskedelem, szállítás	2,0	1,9	2,1	1,8	2,3	2,0	1,7	2,2	2,0	1,9	1,3	1,9	1,5	2,2	2,1	21,7
12 Egyéb szolgált.	2,0	2,6	2,1	1,9	3,1	*	2,2	3,5	1,5	3,0	1,3	2,1	1,5	2,6	3,1	*

* Nincs adat.

4. táblázat

Bizonytalanságok típusai

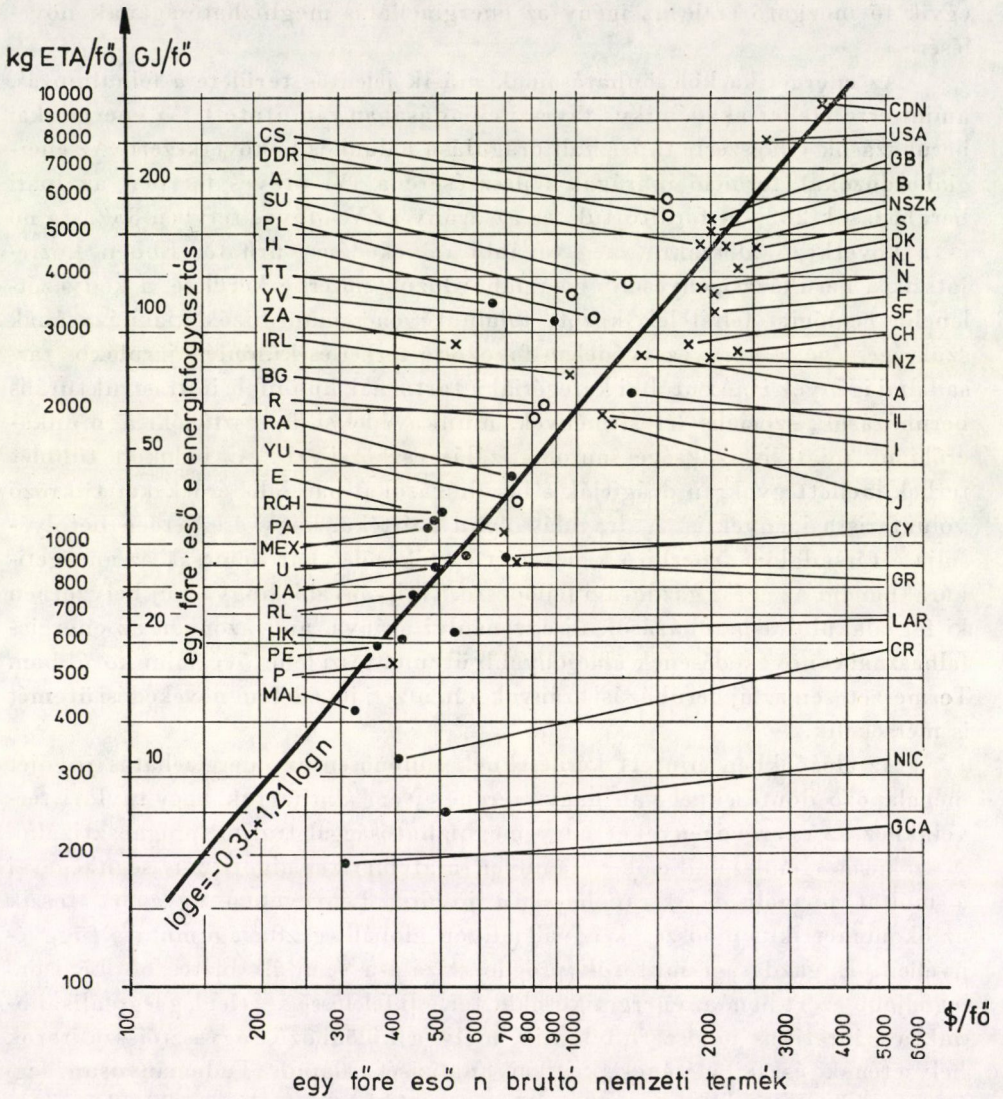
Bizonytalanság típusa	Műszaki	Gazdasági	Energiapolitikai	Stratégiai
Tipikus megnyilvánulása	üzemzavar	árváltozás	energiamérleg hiánya	energiaforrás kiesése
Ellensúlyozás módja	energiahordozó készletezés, tartalék kapacitás párhuzamos szállítási út	hosszúlejáratú szerződés, ellentételezés áruval,	diverzifikált és alternatív források, rugalmas tervezés	import relációk megosztása
Kihatás időtartama, nap	<10 ²	>10 ²	10 ² –10 ³	10 ² –10 ³
Számszerűsíthetőség módja	kiesési valószínűség	árelaszticitás	alternatívák	relációs variánsok
Számszerűsíthetőség adatbáz.	üzemzavarstatisztika	árprognózis	alternatívák szimulációja	—

A műszaki biztonságot készletezéssel és tartalék kapacitásokkal lehet növelni, a gazdaságot megfelelő szerződésekkel, az energiapolitikai bizonytalanság diverzifikált és alternatív energiaforrásokkal csökkenthető, a stratégiai pedig jó relációs politikával. A táblázat a bizonytalanság számszerűsítésének módjára is utal. Az energetika terén folyó nagyarányú kutató-fejlesztő tevékenység egyik fő mozgató ereje az igény az energiaellátás megbízhatóságának növelésére.

Az energetika kölcsönhatásainak másik jelentős területe a felhalmozás, amint erre Heller akadémikus tavaszi előadásában rámutatott. Az energetikai beruházások világszerte tapasztalt drágulása nálunk is bekövetkezett. Az energiahordozókat termelő iparágak fejlesztésére a IV. ötéves tervben az ipari beruházások 28%-át fordítottuk, ez az arány az V. ötéves tervben 35%-ra nő és a következő időszakra még további növekedése várható. Ebben közrejátszik a beruházásigényesebb energiahordozók előtérbe kerülése, a kedvezőtlenebb geológiai feltételek között található energiahordozók kiaknázásának szükségessége, a környezetvédelem fokozódó terhei és különféle járulékos társadalmi igények is. Az utóbbi kategóriába tartoznak különféle infrastrukturális beruházások, szociális létesítmények, munkavédelmi beruházások, a munkaerőhiány miatt is szükséges automatizálás eszközei stb. Az indokolt többlet terhek mellett gyakran drágítják a beruházásokat parciális érdekeket tükröző voluntarista igények is. A drágulás olyan mértékű, hogy érezhetően befolyásolja a társadalom teherbíró képességét és fékezőleg hat nemcsak az energetikára, hanem az egész gazdasági fejlődésre. Nyilvánvaló, hogy az új helyzetben ki fog alakulni a beruházások új egyensúlyi aránya, ami azonban az energiafelhasználás növekedésének alacsonyabb ütemét teszi lehetővé, mint korábban. Természetesen az új beruházási arányok a nemzeti jövedelem növekedési ütemét is mérsékelik.

Az előzőekben érintett kérdéseknek különösen az energiaellátás jövőjét megalapozó döntéseknél van nagy szerepe. Nem állíthatjuk, hogy távlati terveinkhez az energiaigényeket nagy megbízhatósággal tudjuk prognosztizálni. A szokásos trendszámítások valamilyen matematikai algoritmus segítségével a múltat formálisan extrapolálják a jövőre. Lényegében ugyanezt teszik az ökonometrikus módszerek is valamilyen globális gazdasági mutató függvényében. E gazdasági mutatók prognosztizálása sem áll biztosabb bázison, legfeljebb ezért nem az energetikusokat terheli felelősség. Jelenleg legrealisabbnak a szintetikus módszert tekintik, mely a különböző fogyasztói szektorok helyzetének és fejlődésének kritikai analízisén alapul. Tudományosan legígéretesebb a műszaki és gazdasági összefüggések szimulálása, például az ágazati kapcsolatok mérlegének prognosztizált szerkezetére támaszkodva. Ehhez azonban még sokirányú kutatás szükséges a belső összefüggések feltárására, az értékben kifejezett mérlegek természetes mutatókban történő értelmezésére, a műszaki fejlődés konzekvenciáinak számszerűsítésére és más kérdésekben.

Valamennyi prognosztizálási módszer gyenge pontja, hogy a primer energiahordozó igényekből indul ki. A kérdés lényegét az 1. ábra kapcsán lehet leginkább megvilágítani, mellyel gyakran szokták az energiaigények indokoltságát alátámasztani. Ez a nemzetközi statisztikák alapján az egy főre eső n bruttó nemzeti termék és e energiafelhasználás adatait rendezte össze. Kétszer



1. ábra. A nemzeti jövedelem és a primer energiafelhasználás egy főre eső értékei néhány országban

logaritmikus ábrázolásban a pontokhoz az ábrán látható módon a (8) képlet regressziós egyenese illeszthető, ami elég általánosan elfogadott összefüggés a szakirodalomban,

$$\ln e = a + b \ln n. \quad (8)$$

Ezzel kapcsolatban két kérdést lehet felvetni. Az első, hogy ez a kapcsolat valóban a gazdasági élet belső összefüggéseit tükrözi-e, vagy pedig az általános növekedéssel összefüggő véletlen koincidenenciával állunk szemben. Az utóbbira sok példa van, még szorosabb korrelációt lehet például tapasztalni a levélforgalom és a nemzeti jövedelem között, bár nem valószínű, hogy a levelezési készség befolyásolja a nemzeti jövedelem alakulását. A második kérdés, hogy ha ez a függvénykapcsolat a múltat helyesen is írja le, extrapolálható-e az a jövőre is.

A korrelációval kapcsolatban számos metodikai észrevételt lehet tenni. Maga a logaritmikus ábrázolás is elfedi a szórást, a nemzeti jövedelem számítása sok becslést tartalmaz és számítási metodikája sem egységes, az országok közötti összehasonlítást nehezíti a nemzeti valuták átszámítása és az árszerkezet eltérései, a gazdasági tevékenység mellett az energiaigényeket lényegesen befolyásolja a földrajzi helyzet, klíma és a fogyasztói szokások stb. Mindezek azonban csupán a korreláció pontosságát és szorosságát befolyásolják, nem érintik azt az alapvető kérdést, hogy az energia az a termelőerő, amivel az emberi munkát helyettesíteni lehet és ami a nemzeti jövedelem előállításához elengedhetetlen. Ezért a kapcsolatot nem lehet véletlennek tekinteni, a termelés és a fogyasztás bővítése összefügg az energiafelhasználás növekedésével. Zárójelben ide kívánczik, hogy a hazai munkaerő helyzet mellett nem lehet féltis az energiaigényes tevékenység minden áron való visszaszorítása, mert ez a nemzeti jövedelem növekedésének gátjává válhat.

Ha a nemzeti jövedelem alakulása nem is független az energiafelhasználástól, az ábrán tükröződő trendet mégsem lehet konkrét számításokhoz és a jövő prognosztizálásához használni. Nem veszi ugyanis figyelembe a gazdasági szerkezet olyan lényeges eltéréseit, melyek az energiaigényeket számottevően befolyásolják. Itt nem részletezett összehasonlító vizsgálatok azt támasztják alá, hogy azonos nemzeti jövedelmet sokféle gazdasági struktúrával lehet elérni, amihez eltérő energiaigény tartozik. Energetikai szempontból még jelentősebbek a különbségek az energiahordozó szerkezetben, ami a felhasznált primer energiahordozók arányát tükrözi. A statisztikák a primer energiafelhasználásra vonatkoznak, a fogyasztás szempontjából viszont a berendezések rendeltetészerű működéséhez szükséges hasznos energia (hő, fény, mechanikai, munka stb.) az érdekes, aminek előállítása tulajdonképp az energetika végső célja. A hasznos energia alakulását azonban nem szokás tervezni, mert ahhoz kevés a mértékadó információ. A hasznos és a primer energia között a többrendbeli átalakítási folyamatok eredő energetikai hatás-

5. táblázat

Az energiahordozók termikus hatékonysága

Hasznosítás módja	Energiahordozók			
	szén	gáz	kőolajtermék	villamosenergia
Hajtás				
Stabil	5–10	35	30	80–90
Mobil	4–5	—	18–25	65–85
Hőfejlesztés				
Ipari	33	39	40	80
Háztartási	50–60	65–72	60–65	80

foka szolgáltat kapcsolat. Az 5. táblázat néhány tipikus felhasználási módra mutat be átlagos energetikai hatásfokokat 4 energiahordozóra. Látható, hogy az energiahordozó jellegétől függően azonos végcél nagyon eltérő mennyiségű primer energiával elégíthető ki. Ha e táblázat értékeinek figyelembevételével kiszámítjuk a IV. ötéves tervünk időszakára az energia mérleget rendszeresen készítő ágazatok hasznos energiateljesítményét — ami a magyar népgazdaság teljes energiateljesítményének mintegy 60%-a —, arra a meglepő eredményre jutunk, hogy a hasznos energia kétszer olyan gyorsan nőtt, mint a felhasznált primer energiahordozók energia értéke. Ezt elsősorban az energiaszerkezet átalakulásával és a hatásfok növekedésével lehet magyarázni.

A növekedési ütem a jövőbeli energiaigények becslésének kulcskérdése. A 8. egyenlet differenciálása vezet a

$$\frac{de}{dn} = b \frac{e}{n}, \quad (9)$$

képlethez, amit átrendezve és a differenciálokra áttéve nyerjük a

$$\frac{\Delta e}{e} = b \frac{\Delta n}{n} \quad (10)$$

összefüggést. Ebből látható, hogy a (8) képlet b együtthatója, az elaszticitás azt írja le, hogy a nemzeti jövedelem relatív változásához a primer energiaigények milyen relatív változása tartozik. Ez az együtthatós hazánkban a IV. ötéves tervperiódusára 0,75 volt. Ha a hasznos energiára az előbb említett arányt a népgazdaság egészére általánosítjuk — ami természetesen csak közelítés —, az elaszticitás a hasznos energiára 1,5 lenne, vagyis a primer energiateljesítmény növekedése gyorsabban, a hasznos energiateljesítmény viszont gyorsabban nőtt, mint a nemzeti jövedelem. E kérdés figyelmen kívül hagyása kellemetlen meglepetéseket okozhat az energia szerkezet változása során. Ha pl. a szénhidrogének helyett fokozottabban előtérbe kerül a szén, vagy a nukleáris

energiabázis, az ezzel együttjáró rosszabb energetikai hatások miatt lényegesen megváltozhat a primer energiaigények alakulásának korábbi trendje. A viszonyokat számítással is követni lehet az

$$e_1, h_1, \eta_1 = \frac{h_1}{e_1}, n_1$$

$$e_2, h_2, \eta_2 = \frac{h_2}{e_2}, n_2 = n_1(1 + d)^k$$

adatrendszerből kiindulva, mely például egy 5 éves terperiódus kezdetén és végén az e primer energia, a h hasznos energia, az η energetikai összhatások és az n nemzeti jövedelem tartalmazza, az utóbbinál d a növekedési ütem és k a vizsgált évek száma (jelen esetben 5). Ezek figyelembevételével felírható a primer energiafelhasználás b elaszticitása és hasonló értelmezéssel a hasznos energia c elaszticitása is (12–13 egyenletek), mely két egyenlet osztása vezet a (14) kifejezésre. Az általánosíthatóságot szolgálja a következő egyenletben szereplő, a (13) képlet átrendezéséből nyert p tényező bevezetése a hasznos energiafelhasználás aránya helyett.

$$b = \frac{\frac{\Delta e}{e}}{\frac{\Delta n}{n}} = \frac{\frac{e_2 - e_1}{e_1}}{\frac{n_2 - n_1}{n_1}} = \frac{\frac{e_2}{e_1} - 1}{\frac{n_2}{n_1} - 1} = \frac{\frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} - 1}{\frac{n_2}{n_1} - 1}, \quad (12)$$

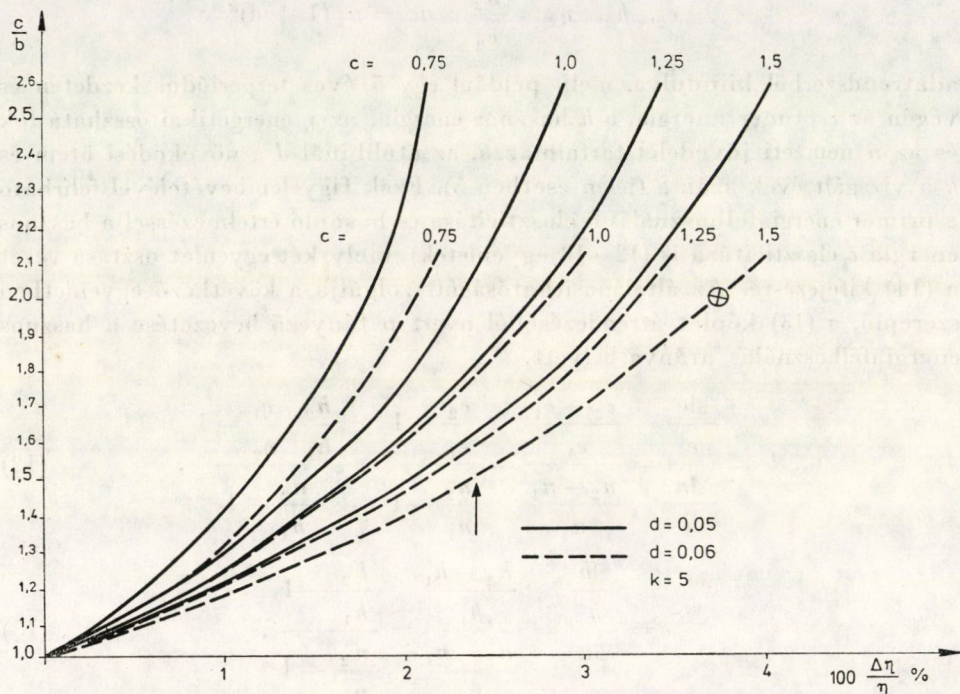
$$c = \frac{\frac{\Delta h}{h}}{\frac{\Delta n}{n}} = \frac{\frac{h_2 - h_1}{h_1}}{\frac{n_2 - n_1}{n_1}} = \frac{\frac{h_2}{h_1} - 1}{\frac{n_2}{n_1} - 1}, \quad (13)$$

$$\frac{c}{b} = \frac{\frac{h_2}{h_1} - 1}{\frac{h_2}{h_1} \cdot \frac{\eta_1}{\eta_2} - 1}, \quad (14)$$

$$p = \frac{h_2}{h_1} = c \left[\frac{n_2}{n_1} - 1 \right] + 1 = c \left[\frac{n_1(1 + d)^k}{n_1} - 1 \right] + 1 = c[(1 + d)^k - 1] + 1. \quad (15)$$

Az elvégzett számítások néhány eredményét mutatja a 2. ábra, melynek függőleges tengelyén a két elaszticitás aránya, vízszintes tengelyén az energetikai hatások relatív változása szerepel (az energetikai hatások jelenlegi értékei mellett kb. 3%-os változás jelenti azt, hogy az energetikai hatások abszolút értéke évente 1%-kal nő). A folytonos görbék a nemzeti jövedelem 5%-os, a szaggatottak 6%-os növekedési üteménél mutatják a viszonyokat a hasznos

energiafelhasználás elaszticitásának 0,75, 1,0, 1,25 és 1,5 értékei mellett. Az ábrák érzékeltetik, milyen erősen függ a két elaszticitás aránya az energetikai hatások változásától. Az ábra legfontosabb tanulsága, hogy ha limitálni kívánjuk az ország primer energiafelhasználásának növekedési ütemét, akkor egy adott határértéknél nagyobb mértékben folytonosan növelni kell az energetikai hatásfokot.



2. ábra. Az energetikai hatások relatív változásának befolyása az elaszticitásra

Hazai energiapolitikánk egy sarkalatos követelménye, hogy a primer energiaigény lassabban nőjön, mint a nemzeti jövedelem, vagyis teljesüljön a $b < 1$ feltétel. A IV. ötéves tervperiódusra említett arányoknak az ábrán a bekarikázott pont felel meg, ha hasonló gazdaságpolitika mellett az energetikai hatásfok lassabban javul, a fejlődéshez a primer energiafogyasztást gyorsabban kell növelni. A $b < 1$ kritérium határát az adott esetben a nyíllal jelzett 2,4%-os relatív hatásfoknövekedés jelenti (évente mintegy 0,7% abszolút hatásfok javulás). Ha a műszaki fejlődés és az energiaszerkezet átalakulása e javulást nem biztosítja, a követelmény teljesíthetetlen, aminek messzemenő beruházási és gazdaságpolitikai következményei vannak.

A gazdasági és az energetikai struktúra nagy kihatásából azonban nem következik, hogy ezek változtatásával az energiaigényeket voluntarista módon,

tetszőleaeszen lehet alakítani és akár stabilizálni is lehet, ahogy azt a „zero energy growth” propagandistái javasolják. Ez egyszerűen belátható abból, hogy a hasznos energiafelhasználás gyorsabban nő, mint az energetikai hatások. A hasznos energia a termékek mennyiségével nő, általában az arányosnál gyorsabban, mert az új termékektől megkívánt jobb minőségi mutatók, könnyebb kezelhetőség, automatizálás stb. több energiát igényel. A nemzeti jövedelem a fejlődés ütemétől függően egy-két évtized alatt megduplázódik és a hasznos energiaigény legalább hasonló ütemben nő. Ahhoz, hogy emellett a primer energiafelhasználás stagnáljon, az energetikai hatásoknak legalább kétszeresére kell nőni, azonban ez a követelmény nem teljesíthető. A világ energetikai hatásokának megduplázásához a múltban 5 évtizedre volt szükség és a jövőben a kétszerezéshez még hosszabb idő valószínűsíthető. Sok berendezésnek már jelenleg is magas az energetikai hatásoka és azt tovább nehéz növelni. Lassítja a javulást a villamosítás térhódítása is. A villamosenergia-fejlesztés közismerten rossz hatásokát az atomerőművek még tovább rontják, ugyanakkor a villamosenergetika primer energiaigényei évtizedek óta közel kétszer olyan gyorsan nőnek, mint a teljes primer energiafelhasználás. Egyébként 50% felett a hatások megkétszereződése már elvileg sem lehetséges és jelenleg a globális energetikai hatások 40% körül mozog.

Az energiaigények kielégítésének konkrét gondjai végső fokon a műszaki területen csapódnak le, akár az igények kielégítéséről, akár a biztonság növeléséről, vagy a beruházási terhek csökkentéséről van szó. Az utóbbi években feltorlódott energia gondok világszerte nagyarányú kutatási és műszaki fejlesztési programok megindítását eredményezték imponáló anyagi ráfordításokkal. A szaksajtót előzőlő projektek között nem könnyű tájékozódni még a gazdasági és politikai háttér ismeretében sem. A programok egy része a kőolaj helyzet feszültségeinek és az ebből eredő gazdasági terheknek a csökkentését célozza. A legfontosabb célkitűzéseket a 6. táblázat mutatja be, feltüntetve a fontosabb irányokat és azok jelenlegi fejlesztési szintjét a legfejlettebb országokban. Ezek közül némelyik irányzattól hazánkban is számottevő hatást lehet remélni, az utolsó oszlopok erre tartalmazznak egy becslést, amiből deriválható, hogy érdemes-e jelentős $K + F$ tevékenységet itthon kialakítani. Hasonló felépítésben a 7. táblázat a távlati energiaigények kielégítését megalapozó legfontosabb célkitűzéseket mutatja be. Ha az emberiséget nem is fenyegeti a hagyományos tüzelőanyagvagyon kimerülésének veszélye, számolni kell azzal, hogy a szénhidrogének jóval korábban pótolhatatlan nyersanyagokká minősülnek át. Az ebből adódó feszültségek a tüzelőanyagkincsben szegényebb régiókban — így hazánkban is — az átlagosnál korábban fogják éreztetni a hatásukat. Ez indokolja, hogy szerény mértékben, de foglalkozunk a számunkra legígéretesebbnek tűnő irányzatokkal.

A külföldi kutatások hazai adaptációjánál azonban mérlegelni kell, hogy azokat milyen körülmények között, milyen célok érdekében kezdemé-

6. táblázat

A kőolajhelyzet enyhítését célzó legfontosabb irányok

Célkitűzés	Fontosabb irányok	Fejlesztési szint			Magyarországon			
		Műszaki megvalósíthatóság igazolva	Gazdaságosság bizonyítva	Széles körű ipari bevezetés alatt	Jelentősebb K + F tevékenység javasolható	Számottevő hatás remélhető		
						1990-ig	2000-ig	2000 után
1. Energiafogyasztás racionalizálása	technológiák hatásfokának javítása épületek hőszigetelésének tökéletesítése gépkocsik üzemanyagfogyasztásának csökkent. hulladékhő hasznosítása hulladékanyagokból energiahordozók előállítás	←→			+	+		
		←→			+	+		
		←→			+		+	
		←→			+	+		
2. Lelőhelyek körének bővítése	termelés mély rétegekből tenger alatti termelés nehezen megközelíthető helyek kiaknázása	←→			+		+	
		←→			+		+	
		←→			+		+	
3. Kitermelési együtthatók növelése	másodlagos eljárások harmadlagos eljárások	←→			+	+		
		←→			+		+	
4. Kőolaj helyettesítése	olajpala és homok hasznosítása szén csppfolyósítása újszerű motorhajtóanyagok (metanol, H ₂) villamos járművek	←→						
		←→						
		←→						
		←→					+	

7. táblázat

A távlati energiaigények biztosítását célzó megoldások

Célkitűzés	Fontosabb irányok	Fejlesztési szint			Magyarországon			
		Műszaki megvalósíthatóság igazolva	Gazdaságosság bizonyítva	Széles körű ipari bevezetés alatt	Jelentősebb K + F tevékenység javasolható	Számottevő hatás remélhető		
						1990-ig	200-ig	2000 után
1. Energiaigények mérséklése	települések koncentrációja tömegközlekedési rendszerek fejlesztése tartós fogyasztási javak előállítása energiaigényes iparágak visszafogása hatásfokjavítás a villamos energetikában (MHD, tárolás, hőkörfolyamat módosítása stb.)	↔ ↔ ↔ ↔ ↔	↔		+	+	+	
2. Szén hasznosítása	tiszta tüzelés cseppfolyósítás szintetikus földgázgyártás alacsony fűtőértékű elgázosítás	↔ ↔ ↔ ↔			+	+	+	
3. Atomenergia kiaknázása	villamosenergiafejlesztés termikus reaktorokkal hőfejlesztés magashőmérsékletű reaktorokkal energiatermelés szaporító reaktorokkal fúzió	↔ ↔ ↔			+	+	+	
4. Geometrikus energia hasznosítása	konvekció hőforrásként konvekcióra támaszkodó villamosenergiafejlesztés mélységbeli energia kiaknázása	↔ ↔	↔		+	+	+	
5. A napsugárzás felhasználása	hőfejlesztés villamosenergia előállítása áttételes megoldások (tengervíz hőmérséklete, áramlások stb).	↔ ↔	↔		+	+	+	

nyezték. Az Egyesült Államoknak például nagyhatalmi helyzete miatt még súlyos gazdasági áldozatok árán is törekednie kell az energetikai önellátásra, minden kínálkozó alternatíva kiaknázásával, mert a jelenlegi függősége korlátozza gazdasági, katonai és politikai mozgási lehetőségét. A nyugat-európai fejlett tőkés országok és Japán kutatási programjai a gazdasági stabilitást és a fizetési mérleg egyensúlyát szolgálják, lényegesen szerényebb műszaki célkitűzésekkel. A szovjet energetikai kutatások hosszú ideje töretlenül a szinte kimeríthetetlen természeti erőforrások optimális kiaknázását célozzák, az árnyok kismértékű módosulását eredményezte csak az illeszkedés a megváltozott világpiaci helyzethez. Ismét mások a mi adottságaink, hiszen teljes megkutatott tüzelőanyag-kincsünk sem lenne elég a század végéig a kumulált teljes hazai energiaszükséglet kielégítésére. Így elkerülhetetlen az energiaimport növekvő mértéke, ennek optimális struktúrája és hasznosításának módja a domináns kérdés, amivel párosul a hazai energiahordozó vagyion racionális, az ország teherbíróképességével arányban álló kiaknázása. Az energetikai kutatás és műszaki fejlesztés hazai prioritásainak megállapításánál a gyártó ipar szelektív fejlesztése és exportképességének biztosítása sem elhanyagolható tényező. Az energetika jelenleg megoldandó kérdései meglehetősen komplexek, a feladatok gyakran oly bonyolultak, hogy több tudományág multidiszciplináris együttműködését igénylik, a megoldás kihatásai pedig oly jelentősek, hogy a közgazdasági és ökológiai vizsgálatokat sem lehet nélkülözni. Mindez indokolná energetikai kutatásaink centralizálását és fokozottabb koordinációját is.

IRODALOM

1. HELLER, L.: A szén jelentősége a jövő energetikájában. *Energia és Atomtechnika* 29 (1976), 445
2. Increased Energy Economy and Efficiency in the ECE Region United Nations, E(ECE) 883. New York 1976

Some Mutual Influences in Energetics. The paper deals with some economical and technical influences of energetics. It shows that it is not enough to characterize the energy requirements by the directly used energy, but the complete energy incorporated in the materials and the means is decisive. The possibility to make these numerical calculations for several countries is shown. The development of the energy requirements is strongly influenced by the energetic structure and by the energetic efficiency. Taking these into account a relation between the useful and the primary energy requirements can be found. According to the calculations shown the development rate can greatly be changed by some energy bearers coming to the foreground. The solution of future problems depends to a great extent on technical research, for the priority of which at home the paper contains proposals.

Einige Wechselwirkungen in der Energetik. Der Aufsatz behandelt einige wirtschaftliche und technische Auswirkungen der Energetik. Es wird gezeigt, daß es nicht genügt den Energiebedarf der Produktion durch die direkt verbrauchte Energie zu charakterisieren, sondern die in den Werkstoffen und den Produktionsmitteln verkörperte Gesamtenergie als maßgeblich zu betrachten ist. Diese Berechnungsmöglichkeit wird für einige Länder auch zahlenmäßig gekennzeichnet. Die Energiestruktur und der energetische Wirkungsgrad beeinflussen die Entwicklung der Energieansprüche in bedeutendem Ausmaß. Bei deren Berücksichtigung kann ein Zusammenhang zwischen dem nützlichen und dem primären Energiebedarf gefunden werden. Daß einige primäre Energieträger in den Vordergrund treten, kann im Sinne der angeführten Berechnungen, das Tempo der Entwicklung wesentlich ändern. Die Lösung unserer Zukunftsprobleme liegt zum großen Teil an den technischen Forschungen, für deren einheimische Priorität der Artikel Vorschläge macht.

AKTUÁLIS TELEFONTECHNIKAI PROBLÉMÁINK*

KOZMA LÁSZLÓ**

AZ MTA RENDES TAGJA

Szerző részletesen elemzi, hogy milyen okok és körülmények következtében került a magyar telefonszolgáltatás a jelenlegi kifogásolható minőségű helyzetébe, mit lehetett és kellett volna eddig is tenni a bajok csökkentésére. Ezután ismerteti a jelenleg világszerte folyó új központ megoldásokat, igyekszik kiértékelni az eredményeket, főleg abból a szempontból, hogy mely változatok befolyásolhatják a magyar telefonia fejlődését. Mindezen ismeretek tükrében és a hazai adottságok figyelembevételével kifejti, hogy szerinte az elkövetkező 10–15 évben melyek lennének a helyes teendők a magyar telefonszolgáltatás minőségi és mennyiségi felfejlesztésének megvalósítására.

A jelenlegi helyzet

Jelen tanulmány először azzal a kérdéssel foglalkozik, hogy miért és hogyan került a magyar telefonszolgáltatás a mai vigasztalan helyzetébe, mit kellett volna tennünk eddig a helyzet megjavítására és mi volna most — legalábbis a Szerző szerint — a helyes tennivaló.

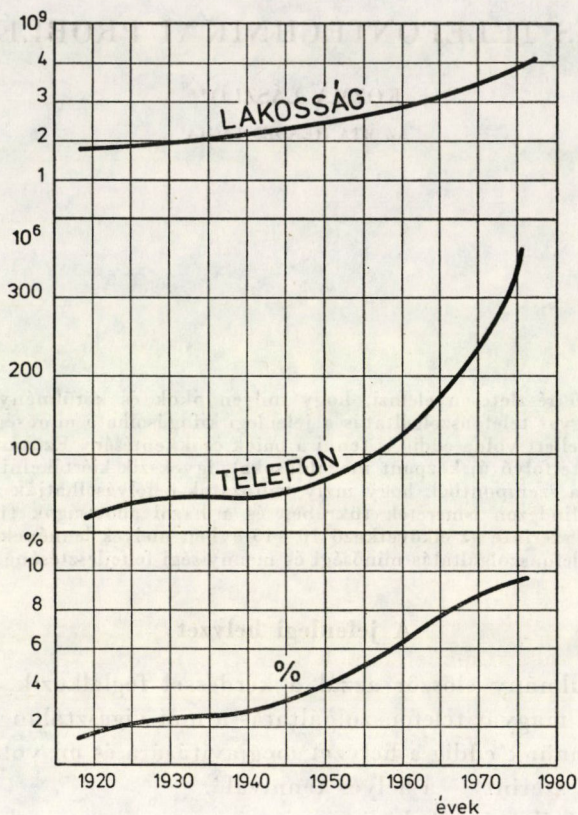
Telefonszolgáltatásunk közismerten sok panaszra ad okot. A Posta az egyre növekvő igényeket nem tudja kielégíteni, de azoknak is, akik már telefonnal rendelkeznek, nincs sok örömük benne. A mai telefonszolgáltatás ellen számos kifogás emelhető: gyakran bosszantóan sokáig kell a tárcsázási hangra várni, ha ez meg is érkezik, akkor nagyon gyakran elakad a kapcsolat, vagy ami még rosszabb, tévesen kapcsol. Mindezekben túlmenően a beszéd-áramkörök zajosak.

Kiindulni csakis a statisztikai adatokból lehet. Az elérhető legutolsó ilyen kimutatás 1975. január 1-i keltezésű: a kiadványhoz az adatokat az egyes telefontársaságok küldik be és az amerikai ATT publikálja „The World's Telephones” címen. E kimutatás szerint a világon 1975 januárjában létezett összesen 320 millió telefon, ami 9,1 %-os átlagot jelent. Európa átlagos telefonsűrűsége 18,6%. A miénk 9,65%, vagyis megfelel a világátlagnak, de jóval alatta van az európai átlagnak. Az 1. számú ábra mutatja a világ lakosainak számát és ugyanakkor a telefon mennyiségének fejlődését 1920 és 1975 között.

Az egyes országok %-os értékei nagyon eltérnek egymástól. A fejlett tőkés országok telefonsűrűsége 30–70% körül mozog, a kelet-európai szo-

* Akadémiai székfoglaló előadás. Elhangzott 1976. december 8-án.

** Prof. Dr. Kozma László, 1068 Budapest, Gorkij fasor 8/b.



I. ábra. Világstatisztika

cialista országoké 5–15% közötti értékek, a fejlődő országok többsége — kevés kivételtől eltekintve — még a 3%-ot sem éri el.

Hogy az iparilag fejlett nyugati tőkés országok a telefonában így előretörtek, annak számos érthető oka van Ott a kapitalista fejlődés sokkal korábban kezdődött, a gyarmatokból származó jövedelmek emelték az általános jólétet és nem utolsósorban a II. világháború utáni válság nélküli 25 éves gazdasági fellendülés biztosította a telefonia rendkívüli felfejlődését. (Miközben nekünk előbb mindent újjáépíteni kellett!)

Az I. sz. táblázat adatai — mint már említettük — az 1975. január 1-i helyzetet tükrözik, az azóta történt változások a viszonyokat nemigen változtathatták meg.

Ez a táblázat magába foglalja a 8 európai szocialista ország adatait, a kapitalista országok közül csak néhány jellegzetesnek adatai szerepelnek. Az első oszlopban „beszélőhely” alatt értendők mindazon készülékek, amelyekről bárhová lehet hívni, tehát nincsenek figyelembe véve városi vonallal nem rendelkező alközpontok készülékei. Egy ország telefonszolgáltatásának minő-

1. táblázat

Ország	Beszélőhelyek száma %-ban	1974. évi növekedés %-ban	A két oszlop szorzata
Svájc	60	5,2	312
Ausztria	38	8	304
Dánia	42,5	6,7	284
USA	68	4,1	278
Svédország	63	4	252
Görögország	21	11,5	242
Olaszország	25	8,6	215
Románia	5,1	21,5	110
Bulgária	8,2	12,1	99
Csehszlovákia	16,8	5,4	91
NDK	15	5,4	81
Jugoszlávia	5,4	13,9	75
Szovjetunió	6,3	10,7	67
Lengyelország	7	7,2	50
Magyarország	9,7	4,7	46

ségét 3 tényezővel jellemezhetjük: az egyik az első oszlopban szereplő telefonsűrűség, a másik az évenkénti növekedés %-ban, amely világviszonylatban 6,6%, nálunk — legalábbis 1974-ben — csupán 4,7% volt. A harmadik tényező, amit figyelembe kellene venni, az a központok és a hálózat állapota, de ettől jobb, ha eltekintünk, különben is nehéz az ilyesmit osztályozni. Tehát ha csak a sűrűséget és évi növekedést akarjuk együttesen figyelembe venni, akkor a legegyszerűbb a két számot összeszorozni. Így kapjuk a 3. oszlop számait, amelyek közt mi az utolsó helyen állunk! Lehet, hogy az utolsó két évben javult a helyzetünk, ez azonban nagyon kétséges. Ezek az adatok egyébként csak összehasonlítási alapul szolgálnak, mindenesetre nem vizsgáztatók.

Hogy miért vagyunk mi telefonsűrűséget illetően lemaradva, arról elég nehéz beszélni. Már a 40-es évek végén megállapítást nyert, hogy mivel mi nyersanyagban szegény ország vagyunk, ezért olyasmit kell gyártanunk, amihez kevés anyag, viszont nagyobb szellemi és fizikai ráfordítás szükséges. Ilyenek például a híradástechnika különböző ágazatai. De azután a vas és acél országa lettünk és kezdtünk hidakat és tengeri hajókat gyártani. Igaz azonban, hogy előállítottunk mi majdnem világszínvonalon mikrohullámú berendezéseket, gyártottunk rádió és televízió készülékeket és mindenféle akusztikai berendezéseket is, azután nagy elánnal rávetettük magunkat az elektronikus számítógépek gyártására. A TV és rádió statisztikánk megfelel az európai átlagnak, de a telefontal nem jutunk dűlőre! Miért?

Persze erre a kérdésre a legegyszerűbb válasz az lenne, hogy a telefon nem elsőrendű szükséglet. A közületek el vannak látva elég telefontal, a közigazgatásnak (párt, ipari, belügyi és sok más fontos szervnek megvan a maga külön hálózata). A lakosság igényei? Pedig közismert az a megállapítás, hogy a telefonellátottság és az életszínvonal szoros korrelációban vannak, de ettől az érvtől inkább tekintsünk el.

A telefoniának háttérbe szorítását a következőkre vezetjük vissza:

A telefonközpontok létesítése nagy beruházási összegeket igényel. A szolgáltatás költsége előfizetőnként ma már 35 000 Ft körül van és ezt a beruházást az államnak kell biztosítania. Még ha magát az előfizetői készüléket a lakosság venné meg, ennek ára csupán 2–3%-ot tesz ki, tehát ez semmit sem segítene. (Fodított a helyzet a rádiónál és TV-nél. Ezeket a készülékeket a lakosság maga veszi meg és ezeknek a készülékeknek az összértékéhez képest a stúdió- és adóberendezések ára elhanyagolható mennyiség.) A telefonszolgáltatás költsége csak 20–25 év alatt térül meg és ahhoz, hogy nekünk olyan telefonsűrűségű telefonhálózatunk legyen, mint a hozzánk hasonló nagyságrendű nyugat-európai országoknak, be kellene ruházni több mint 50 milliárd forintot, ami elképzelhetetlen.

Ha megnézzük az I. sz. táblázaton pl. Ausztria vagy Dánia adatait, láthatjuk, hogy a négyszeres telefonsűrűség ellenére többet fordítottak 1974 folyamán fejlesztésre, mint mi. A telefonsűrűség felső határát még nem ismerjük. Az irodalmi utalások 100%-nál többre becsülik.

Telefonszolgáltatásunknak tehát első nagy baja, hogy nincs elég telefonunk. A második probléma a jelenlegi telefonmennyiség összetétele. Pontosabban túl sok az alközponti beszélőhelyek száma.

1973-ban az országban üzemelő beszélőhelyek száma (vagyis ahonnan bárhova lehetett beszélni) 924 000 volt. Ez növekedett meg 1975-ig 965 000-re, azóta pedig még többre. Az arányok azonban minden bizonnyal nem változtak. Tehát míg a beszélőhelyek száma a fenti érték volt, ugyanakkor a központok vonalkapacitása csak 450 000-re emelkedett. Ez azt jelenti, hogy nálunk a beszélőhelyek száma — a sok alközpont következtében — kereken kétszer annyi, mint a központjaink vonalkapacitása. E körülmény kiértékeléséhez összeállítottuk a 2. sz. táblázatot, amelynek adatait ugyanabból a forrásból vettük, mint az I-ét.

Egyszerűség kedvéért egy 10 000 vonalas főközpontot vegyünk vizsgálat alá a 2. sz. táblázat tükrében:

2. táblázat

Ország	Fővonal %	PBX (városi vonal) %	Közületi %	Magán- (lakás) %
USA	55	45	27	73
Svédország	—	—	30	70
Görögország	85	15	31	69
Olaszország	66	34	38	62
NDK	45	55	50	50
Ausztria	69	31	—	—
Bulgária	67	33	61	39
Csehszlovákia	52	48	67	33
Lengyelország	54	46	67	33
Magyarország	54	46	70	30

A lakástelefonok száma — minthogy ezek túlnyomó részben ikresítve vannak, $2 \times 3000 = 6000$ *beszélőhely*.

A szülő fővonalak száma (ügyvédek, orvosok, kisiparosok és hasonlók) $5400 - 3000 = 2400$ *beszélőhely*.

Az alközpontokba kimenő, ún. városi vonalak száma $7000 - 2400 = 4600$, amihez csatlakozik $2 \times 10\,000 - (6000 + 2400) = 11\,600$ *alállomás*.

A Posta a telefonközpontjainkat 0,06 erlang átlagos kezdeményezett forgalomra szokta méreteztetni, azaz egy tízezres központot kb. 600 *erlangra*.

Amit tulajdonképpen ki akarunk mutatni az az, hogy ezt a 600 erlangos forgalomkapacitást milyen mértékben veszik igénybe a különböző fajta hívások.

A magántelefonok forgalma közismerten alacsony, nem több, mint napi 3 hívás és ez is eloszlik a nap 12 órájára és a hó 30 napjára. 3 perces átlagos beszélgetési időt feltételezve, írhatjuk:

$$\frac{6000 \times 90 \times 3}{12 \times 30 \times 60} = 75 \text{ erlang,}$$

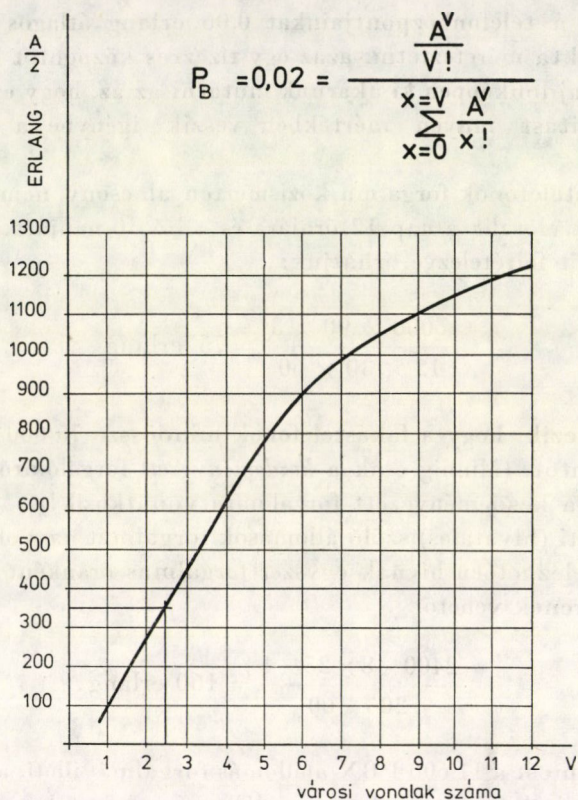
amiből következik, hogy a lakástelefonok mindössze $75/600 = 12,5\%$ -ra terhelik a központot. (Mindig csak a *kezdeményezett* forgalomról van szó, a 600 erlang is csak a kezdeményezett forgalomra vonatkozik!)

A közületi (hivatalos) szülő állomások forgalmát nagyobbak kell tekintenünk: feltételezhetően hívnak egyszer forgalmas óránként és a beszélgetési tartásidő 4 percnél lehet hosszabb:

$$\frac{2400 \times 8 \times 25 \times 4}{200 \times 60} = 160 \text{ erlang.}$$

Ami mármost a 11 600 PBX alállomás forgalmát illeti, abból a közismert tényből kell kiindulni, hogy ha egy alállomás a forgalmas órákban hívást kezdeményez, akkor — ha az alközpont lehetővé teszi — állandóan fentartja a hívó állapotot, ha pedig ez nem lehetséges, akkor folyamatosan hív, amíg egy városi vonal fel nem szabadul. A forgalom felajánlás tehát folyamatos és úgy lehet tekinteni, hogy annyi városi hívást fognak kezdeményezni, amennyit az egy csoportot képező városi vonalak le tudnak bonyolítani. A városi vonalakat csak nagyobb csoportok esetén szokták be- és kimenő irányra osztani. Ha állandóan van „hívásutánpótlás”, akkor a vonalak teljesítménye közeledik a 100%-hoz, ami természetesen abszurdum! Fel kell tehát tételeznünk valamilyen kis veszteség százalékot, pl. 2%-ot és azután kiszámíthatjuk a városi vonalak erlang teljesítményét a PBX csoport nagyságának függvényében. Ezeket az értékeket mutatja a 2. ábra. Látható, hogy az értékek már néhány vonalnál erősen emelkednek. Pl. már átlagosan 5 városi vonal esetében a fenti

$$\begin{aligned} \text{lakás} & \quad \frac{A/2}{75} \\ \text{közületi} & \\ \text{(szóló)} & \quad 160 \\ \text{PBx} & \quad \frac{365}{600} \text{ erlang} \end{aligned}$$



2. ábra

feltételek mellett összesen 750 erlang kezdeményezett forgalom keletkezhetik az alközpontokban! 10 városi vonalas csoportok már 1150 erlang forgalmat zúdíthatnak a központra! Ez önmagában kétszer annyi, mint amire a központ méretezve van!!

Hogy valójában mennyi az alközpontok kezdeményezett forgalma, azt a Posta sem tudhatja pontosan, mert a számla csak a sikerült (és téves!) kapcsolások mennyiségét tükrözi, de nem tartalmazza a megakadt és foglaltságot találó hívások számát.

A fentiekből az a következtetés vonható le, hogy nemcsak kevés a telefonunk, hanem túl sok a közületi telefon, amelyek sokszor jóval nagyobb for-

galmat hozhatnak be a központba, mint amit ez elbír. Ennek lesz azután a következménye a sok elakadt hívás, a hosszas várakozás jelző hangokra és közvetve ezért is lesz nagy a téves kapcsolások száma! Ez tehát a második nagy baja a telefonszolgáltatásunknak.

Mielőtt a harmadikra rátérnénk, szeretnénk kitérni előbb egy észrevételre, amely 1976 szeptember végén elhangzott a TV nyilvánossága előtt.

A riporternek az volt a kérdése, hogy a lakosság mikorra remélheti, hogy telefonigényeit a Posta ki tudja elégíteni. Illetékes személy válasza az volt, hogy még sokáig kell a lakosságnak várnia, amíg a telefonigények kielégíthetőek lesznek, mert egy előfizető telefonszolgáltatásának megvalósítása az államnak 35 000 forintjába kerül és ezt az összeget az előfizető életében nem tudja letörleszteni!?

Hát először is miért 35 000 forint? Ha a Posta egy 7 emeletes palotát építtet különböző postai szolgáltatások céljaira, akkor amikor maga a központ — minden tartozékával együtt, beleértve a szociális létesítményeket is a szükséges 10—15 fős üzemeltető létszámra — elfér 2 szinten, akkor ezt az épületet ne terhelje rá a telefonelőfizetőkre. Ismeretesek a belvárosi épület elkészülésének nagy problémái (csak az alapozás és szanálás költségei több mint 50 millió forintba kerültek).

Másodszor: a lakástelefonok rendszerint ikresítve vannak, tehát egy ilyen lakástelefont csak az előfizetői vonalnak fele terheli.

Harmadszor: ha a Posta egy 600 erlangra méretezett központot ténylegesen csak ezzel a forgalommal terhelné meg, a központ sokkal tovább lenne üzemeltethető, mint ahogyan amortizálódik. A lakástelefonok a központot csak kis %-ban veszik igénybe, a központot a túltengő közületi alközpontok teszik idő előtt tönkre, illetőleg kényszerítik a Postát a karbantartás növelésére.

Végül pedig nálunk nem lehet a Postát csak nyereséget hozó vállalatnak tekinteni, szociális szempontok is figyelembe veendőek. Hogy mást ne mondjak, a mentők, orvosok, tűzoltók hívásának lehetősége. Az ipar decentralizálásával családtagok szétszóródnak az országban és az emberek rá fognak jönni a telefon hasznosságára és használni fogják nagyobb mértékben mint ma, feltéve, hogy a lehetőség meg van rá. Egyébként elismerjük, hogy nálunk a telefonszolgáltatás díjazása nagyon alacsony, de hát ezen változtatni nem technikai feladat.

Célszerű lenne, ha a Posta a központjainak kímélése céljából a 70—30%-os arányt csökkentené a szokásos 50—50%-os arányra, még ha ez átmenetileg a bevétel csökkenését hozná magával! Miért jó üzlet a nem állami kézben levő, hanem magántulajdont képező Bell System a maga 70%-os magántelefon-állományával?

Az ikresítés hátrányai

Telefonszolgáltatásunk harmadik baja a speciálisan magyar ikermegoldás. Kihangsúlyozom, nem az ikresítés ellen szólok, hiszen ezzel élnek sokfelé, nemcsak szegény országokban, hanem a „Made in Hungary” iker rendszer ellen.

A rotary rendszert az ITT dolgozta ki az I. világháború alatt és amikor a 20-as évek közepén hozzánk is elkerült, mi jó magyar szokás szerint rögtön újítottunk rajta, pontosabban éppen a Posta egyik mérnöke újított, aki a II. világháború után itthagya az országot és nem tért vissza. A rotary eredetileg 20 000-es kapacitású volt és ez a kapacitás akkor megfelelt az optimálisnak tekintett központ kapacitásnak (a párizsi, londoni, spanyol és még sok európai városban üzembehelyezett központok kapacitása 10 000–20 000 között volt!). A magyar változatban a központok kapacitását megnövelték 20 000 ikerállomással úgy, hogy a vonalválasztó fokozat gépeit a korábbi 200 vonal kapacitásról 300-ra növelték, amelyből 100 általában iker lehet.

Ez újítás következményei lettek az alábbiak:

1. Az áramköri megoldás miatt a vonalválasztó kapcsolási ideje megnőtt 1–2 mp-cel. A regiszternek *egy bit* jelzést kell a vonalválasztó felé küldeni (egy jelfogó működtetésére!) és ezt a jelzést a regiszter 10 *többlet* impulzussal adja. Az egyesek választása, amely az eredeti rotaryban max. 20 impulzust vett igénybe, a magyar változatban 30 impulzusra emelkedett. A vonalválasztó kapcsolási idejét azért kellene alacsonyan tartani, mert a nemzetközi bejövő forgalomban részt vesz és itt minden mp számít, ugyanis ezen idő alatt az egész már felépített — esetleg interkontinentális — áramkörláncot lefoglalva tartja. (A svájci Posta az országos automatikus szolgálat bevezetésekor megváltoztatta a vonalválasztó áramköröket, hogy a kapcsolási időt lerövidítse!)

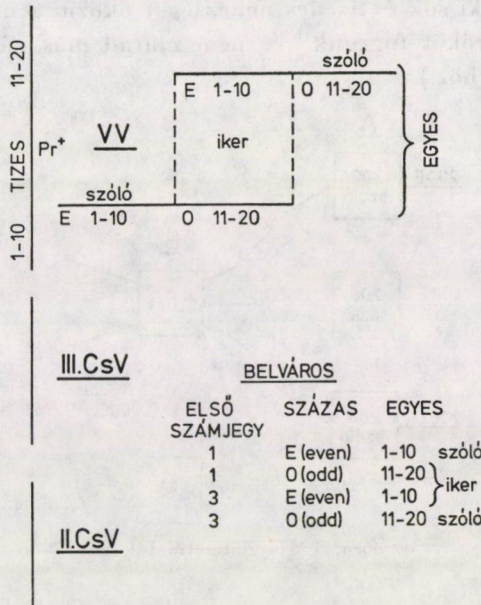
2. Kétféle híváskereső keret van: a szólóké, amely PBX vonalakkal túl van terhelve és az ikerké, amelyen nincs PBX vonal és az ikerállomás forgalmához képest túl sok keresőgéppel van ellátva. (A forgalom keverése az összekötő áramkörökben természetesen megtörténik.)

3. Míg a 200-as vonalválasztók esetében csak egy komplett keretre van szükség, a 300-as gépek miatt a fokozatnak 1 és 1/2 keretre van szüksége, ami többlet kábelelést igényel.

4. Az egy ágon történő csengetés ± 75 voltal kb. 1 wattos teljesítménnyel zörejeket okozhat a szomszédos áramkörökben. (A mai új rendszerekben, már az LME crossbarban is, a hívójelfogót 2 tekerccsel kiegyensúlyozva kapcsolják az előfizetői vonalra.)

5. Mindezekon felül az előfizetőknél levő ún. ikerdoboz áramköri megoldása alapvetően hibás, aminek súlyos következményei lehetnek. Erről nem kívánunk szólni a nyilvánosság előtt, de a Posta illetékeseinek természetesen tudomására hozzuk.

Ezeket a hiányosságokat azért említettük meg, mert most a crossbar központok bevezetésekor élni lehetett volna az alkalommal és valamilyen más ismert iker megoldásra áttérni, azonban a Posta a crossbarban is folytatja az ikresítést a rotary-féle megoldással (volt is vele mindjárt a bekapcsoláskor elég baj).



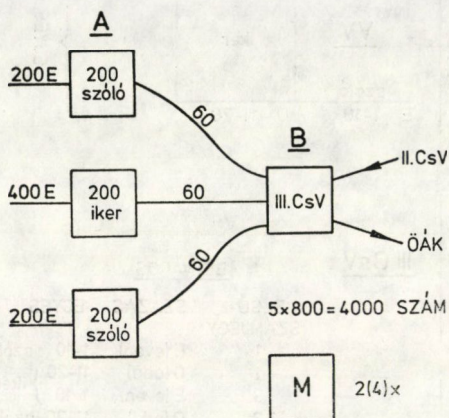
3. ábra. Rotary választás

Végül — még mindig az ikerrel foglalkozva, említést kell tenni a központok számozásáról azzal kapcsolatban, hogy a belvárosi központ üzembehelyezésekor meg kellett változtatni a belvárosi előfizetők előfizetői számait. Gyanítható, hogy ez is az ikermegoldás miatt történt.

A 3. ábra vázlatosan felidézi a rotary központok budapesti változatának számozási diagramját. A 2 csoportválasztó és a vonalválasztó $10 \times 10 \times (20 \times 20) = 40\,000$ előfizetőt határoz meg. Pl. a belvárosi központ esetében az első 2 számjegy 17, 18, 37, 38 lehet. Az első számjegy meghatározza, hogy a vonalválasztó kefekiváltó orsója vagy forog egyszer 360 fokot a 10-es választás előtt vagy sem, ha nem forog, akkor az első számjegy 1, ha igen, akkor 3-as. Ezek után az egyes választás, amely 20 impulzusból áll, a gép 3 szektora közül az első kettőből választ, amennyiben a tízes számjegyet nem előzte meg a kefekiváltó orsónak egy üres körülforgása. Ha igen, akkor működik egy jel-fogó — Pr —, amely a táphíd polaritását megfordítja. Következésképpen a vonalválasztó 1. és 3. szektora szóló állomásokat, a 2. pedig iker vonalakat kapcsol, azaz összesen $20 \times 20 = 400$ előfizetőt. A hívott előfizető 2. számjegyét meghatározza a II. csoportválasztó által fogadott számjegy, továbbá

megemlítjük még, hogy a százas számjegy kettő közül vagy páros, vagy páratlan aszerint, hogy az egyes számjegy impulzus sorozata 10-nél kisebb vagy 10-nél nagyobb.

Nyilvánvaló, hogy ez a számozási diagram nem követhető, dehát még a szakmérnökeink sem ismerik jól. Agyafúrt volt az a kolléga, aki ezt kitalálta és ezzel sikerült neki sok évtizedes nehézséget okozni a magyar telefoniának. (De most már „törököt fogtunk” és nem marad más választásunk, mint jó képet vágni az ügryhöz.)



4. ábra. LME előfizetői fokozat

A számozási diagramból következik, hogy a budapesti rotary központokban az egy ikerpárt képező 2 előfizető hívó számai:

az egyik: ha az első számjegy 1 (vagy 2) és a 100-as páratlan (O = odd),

a másik: ha az első számjegy 3 (vagy 4) és a 100-as páros (E = even).

Mint ahogy az eredeti Ericsson-központ kapcsolási diagramja (nem tudni, hogy nem változtattak-e rajta) 200 előfizető kombinált híváskereső – vonalválasztó fokozatot tartalmaz, ahogyan az 4. ábrán látható, rögtön kézenfekvőnek látszik, hogy 3 db 200-as csoportból lehetne 2 szőlőt és 1 ikercsoportot képezni, ami összesen adna 800 előfizetői számot.

Sajnos, a dolog nem ilyen egyszerű, mert valószínűleg a II. és III. csoportválasztó számozása a rotary és az LME központban különböző. Ezen azonban Ericssonék tudtak volna segíteni, hiszen a regiszter diszponál a számjegyek fölött. A Postának meg kellett volna vitatni ezt a kérdés Ericssonékkal és nem lett volna szabad belenyugodni egy egész központ számozásának megváltoztatásába. A számjegyváltozás szükségességét természetesnek kell tekinteni, ha egy előfizető egy másik körzetbe költözik, de egyszerűen megváltoztatni egy egy helyen maradó központ – még hozzá regiszteres központ – számozását, érthetetlennek tűnik. Az ügy annál komolyabb, mert ha az LME központ valamilyen általunk nem ismert okból nem tudna alkalmazkodni a mi rotary

ikerszámozásunkhoz, akkor ez azt jelenti, hogy a jövőben, valahányszor egy már nem üzemeltethető rotary központot le kell cserélni, akkor mindig meg kell változtatni az egész központ számozását! A számváltozás sem az előfizetőknek, magának a Postának sem kellemes.

Amennyiben valamelyik postai szerv megvizsgálná ezt a számozási kérdést és igényelné Szerző segítségét, természetesen szívesen közreműködne. Egyedül nem tudja végig vizsgálni a problémát, mert nincsenek Ericsson rajzai.

Nehézségek

Jelenlegi távbeszélő hálózatunk tehát sem mennyiségileg, sem minőségileg nem kielégítő. Ezen a helyzeten segíteni kellene, ehhez azonban erőnket felülmúló beruházások lennének szükségesek. Fontos éppen ezért, hogy tisztán lássunk, mi legyen most és a közeljövőben a teendők. Erre próbál a Szerző ismeretei és 50 éves telefontechnikai tapasztalatai alapján valamilyen álláspontot kialakítani.

Azzal kell kezdeni, hogy telefonia területén mi sohasem voltunk önálló rendszertervezők, hanem mindig licens alapján dolgoztunk. Az újjáépítés után az államosítás túl korán jött 1950-ben, úgyhogy számunkra nem volt más választás, mint folytatni az elavultnak tekinthető rotary rendszer gyártását. A jelfelfogós vezérlésű crossbar rendszer az USA-ban már a II. világháború előtt ismeretes volt, széles körű elterjedésére azonban csak később került sor.

Az amerikai crossbar — valószínűleg markereinek bonyolultsága miatt — Európában nem terjedt el. 1950 után jelentkeztek az Ericssonék az első crossbar központjukkal és Európában mindjárt nagy sikert arattak. Minthogy mi azokban az időkben licensre nem számíhattunk, viszont kezdtünk crossbar irodalomhoz hozzájutni, akkor lehetett volna valamilyen egyszerű crossbar rendszert kifejleszteni a mi akkori technológiai adottságainknak megfelelően. Azonban a háború utáni 15 évben egy megvalósíthatatlan magyar találmányt erőltettek rá a józanul gondolkodó magyar szakemberekre. Crossbar helyett egy kb. 4 m² felületű kapcsológéppel kellett foglalkozni akkor, amikor már nyilvánvaló volt, hogy a világtendencia a minél kisebb kapacitású gépek felé mutat. Nem is lett belőle semmi, ma már valószínűleg a feltaláló is csak mosolyog rajta, a gyászos következmény azonban az lett, hogy sem mi nem foglalkozhattunk crossbarral, sem nem nézhettünk licens után. Végül is csak 1968-ban — tehát 10—15 éves késéssel és bonyodalmak után — jutottunk hozzá az Ericsson licenshez.

Ebben az időben már bőven kaptunk nyugati szakirodalmat, amelyben sokat cikkeztek az elektronikusan vezérelt telefonközpontokról és a nem megfelelően tájékoztatott illetékesek arról kezdtek ábrándozni, hogy most talán a fejlődés egy fokozatát — nevezetesen a crossbart — át lehetne lépni és egye-

nesen fejest ugorni az elektronikus rendszerekbe. Ezen beállítottságnak lett a következménye, hogy az 1968-ban kötött licens alapján a gyártás csak nagyon döcögve indult meg és az első magyar gyártmányú kisebb vidéki crossbar központok csak 1974-ben — tehát 6 évvel a licens vásárlás után — kerültek üzembe. Az első nagyobb központ — a Belváros — pedig csak idén váltotta le a régit, határidő-kérdések miatt elég szerencsétlen körülmények között. Kár lenne most azt hangoztatni, hogy az Ericsson-központ nekünk nem felel meg és helyette kell valamilyen modernebb elektronikus rendszert keresni. Nem az Ericssonban van a hiba, hanem a mi gyártási körülményeinkben. A jelenlegi helyzetre jellemző, hogy eddig a BHG minden crossbar szállításával késett és a Posta pedig annak ellenére, hogy az épületek sem készültek el idejében, minden alkalommal kötbért reklamált!

Crossbar központok

Először is tehát a crossbar rendszer elavultságának kérdésével kell foglalkoznunk.

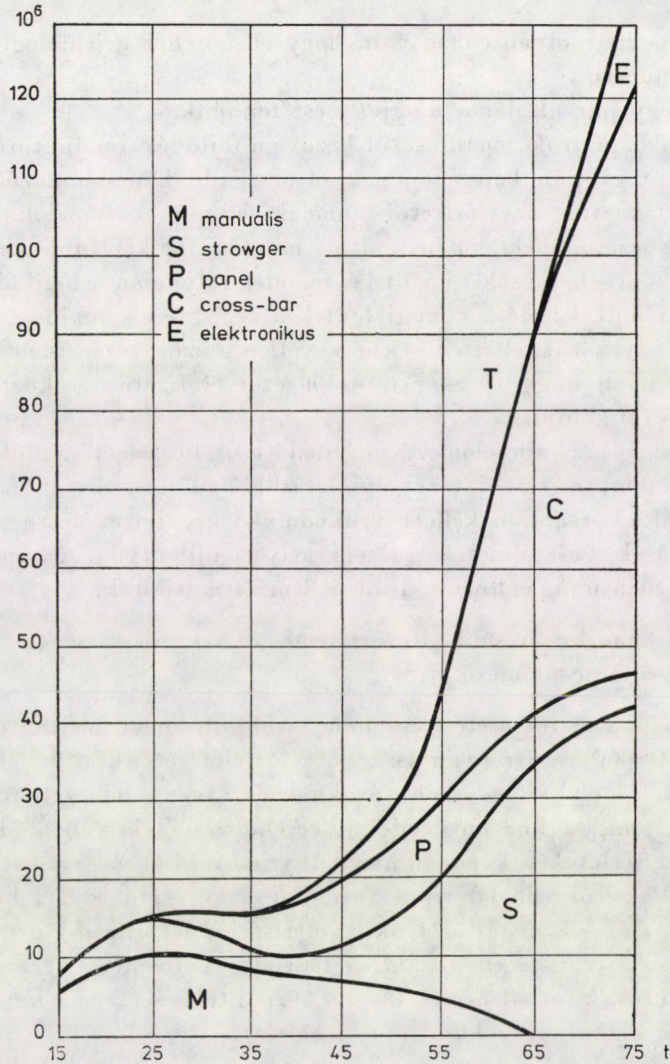
Ericssonék nyomtatásban megjelent kiadványukból kitűnik, hogy 1974. év folyamán 2,8 *millió* vonalnyi crossbart helyeztek üzembe, ugyanakkor, vagyis 1975. január 1-én rendelésük volt 8 *millió* vonalnyi berendezésre (ebben benne voltak már a magyar Posta rendelései is). Egyébként 1975 előtt már 30 *millió* vonalnyi berendezésük üzemelt, amelyből 18 *millió* volt crossbar.

Hogy a crossbar központok még nem avultak el, arra a legjobb példa az USA telefonhálózata. A Bell System tette a legnagyobb erőfeszítéseket az elektronika alkalmazására a telefontechnikában, mégis — mint az az 5. sz. fejlődési görbékből kitűnik — az utóbbi 10 évben 25 *milliónyi* No. 5-ös crossbar központot helyeztek üzembe. (Ugyanakkor az elektronikus vezérelt ESS központjaikból eddig 15 *millió* vonalnyi központjuk működik.)

Dg folytatható még az európai ITT gyárakkal a crossbar rendszerek elterjedése. Az antwerpeni Bell Telephone gyár még ma is gyárt rotary központokon túlmenően (7A, 7D, 7E) főleg Pentaconta elnevezésű crossbar központot sok *millió* vonalnyi mennyiségben. A francia ITT gyárak is hasonlóan nagy mennyiségben szállítottak ugyancsak Pentaconta központokat nemcsak a francia Postának, hanem Mexikóba, Marokkóba, Algériába és sok más országba is.

Ezek az utóbbi években üzembe helyezett crossbar típusú központok minden bizonnyal üzemben lesznek még az ezredfordulóban is, hogy amortizálódnak.

Szerte a világon mindenféle elektromechanikus központok működnek: Siemens (motorválasztójukkal), a francia R6 rotary típus, az angol speciális Strowger, elmondható, hogy a világ automatikus telefonhálózatának 97%-a elektromechanikus!



5. ábra. USA telefonhálózatának fejlődése

Ezek után miért nem jó nekünk az Ericsson crossbar központ? Fegyelmetten kell gyártani, csak ez a probléma! Egyébként vigasztalásul meg kell jegyezni, hogy a 20-as években a rotary bevezetése is sok nehézséggel járt!

Elektronikus központok

Most rá szeretnénk térni a jövő telefonközpont típusára: az elektronikát kisebb-nagyobb mértékben igénybevevő, egyszerűen elektronikus központnak nevezett rendszerekre. Ezen a területen — különböző körülmények követ-

keztében — ma már olyan chaos van, hogy elég nehéz a jelenlegi állapotot értelmesen bemutatni.

Először egy pár általános megjegyzést tennénk.

A telefonközpontok gépesítésétől kezdve a fejlődés trendje töretlen volt. Az első központ csupán kapcsológépekből összeálló kapcsolómezőből állott, amelyhez csatlakoztak az előfizetői vonalak és más központokhoz vezető trónkók. A kapcsológépek gondoskodtak minden logikai funkcióról, amire a központ működéséhez szükség volt. A fejlődés folyamán a logikai funkciók egyre koncentráálódtak: először megjelentek a regiszterek, majd a markerek, végül pedig a félvezetők elterjedésekor egyetlen közös vezérlőszerv el tudta látni egy bármilyen nagy — akár 60–100 ezer előfizetős — központ valamennyi logikai funkcióját.

Közben maga a kapcsolómező is fejlődött. A beszélgetési időhöz képest a sokszor 15–20 mp-es tárcsázási és választási idő túl hosszú volt. A kapcsológépeknek tehát gyorsabban kellett működniük: így jöttek létre a crossbar típusú megoldások, valamint számtárcsák helyett billentyűk. A kapcsolómező azonban jellegében nem változott, főbb jellemzői maradtak:

elektromechanikusan működtetett fémes érintkezők,
térosztásos kapcsolómező.

A kapcsolómező félvezetősitése nem bizonyult megvalósíthatónak. Egy központ több 10 000 érpárral van összekötve az előfizetői készülékekkel, ezért ki van téve külső elektromos behatásoknak és ezek a félvezető eszközöket tönkreteszhetik, amíg a központ védelmi berendezései aktiválizálódnak. Történtek ugyan kísérletek a kapcsolómezőt thyristorokból megvalósítani, azonban minden előfizetői vonalat transzformátoron keresztül kell a központhoz csatlakoztatni, ami sok nehézséget okoz, mert a hívást a transzformátor előtt kell érzékelni és a transzformátornak a beszéden túlmenően át kell vinni a csengető áramot is. Mint ellenérték kisebb központok esetében a kapcsolómező egy eres lehet a különben szokásos két ér helyett.

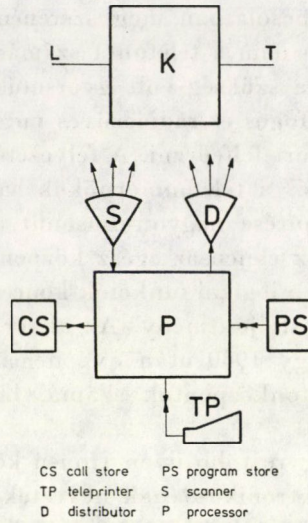
A fémes érintkező még 0,1 mm-es légréssel sem üt át 800 volt feszültségnél. Kifejlesztettek miniatürizált kapcsológépeket és ún. reed jelfogókat. Különösen ez utóbbiak terjedtek el, és így a kapcsolómező gyakorlatilag 100%-osan fémes érintkezős maradt. A térosztás azt jelenti, hogy a kapcsolómezőt képező kapcsológépek területileg elkülönítve helyezkednek el és minden kapcsolás céljára a beszélgetés tartamára sorba kapcsolódnak, hogy a kívánt összekötést biztosítsák. Az elektronikus vezérlőre szokták mondani, hogy időbeosztásos alapon működik, ami nem helytálló, mert az ilyen vezérlő is egyszerre csak egy kapcsolással foglalkozik. Ugyanilyen alapon a regisztereket is lehetne időosztásosan működtetni tekinteni, csak éppen lassabban végzi feladatát. Egyébként is elég nehéz különbséget tenni tér- és időosztásos működés között.

Az elektronikával kapcsolatban meg szeretnénk jegyezni, hogy a félvezető eszközöket egyáltalán nem a telefonia számára fejlesztették ki. A II. világháború alatt hadicélokra szükség volt gyorsműködésű kiértékelő berendezésekre, és minthogy a jelfogós és rádiócsöves megoldások nem feleltek meg, ezért kellett a tranzisztort felfedezni. A félvezetős számítógépek az 50-es évek derekán jelentek meg és a telefonmérnökök hamarosan rájöttek, hogy a számítógépek logikai felépítése nagyon hasonlít a telefonközpontokéhoz. És így jött létre a 60-as évek elején az egész központot vezérlő egyetlen félvezetős áramkör úgy is mint a logikai funkciók koncentrálásának több évtizedes folyamatát befejező csúcsteljesítmény. Az akkor megjelent cikkek grafikonjai azt bizonygatták, hogy 1960 után exponenciálisan fog emelkedni az elektronikusan vezérelt telefonközpontok száma. Ezek a jóslatok azonban nem váltak be.

Az utóbbi 15 évben egyre több ilyen típusú központ jelent meg, amelyeket gyűjtőnéven kvázielektronikusoknak neveztek el. A blokk-diagramjuk általában nagyon hasonló, a különbségek inkább csak a kapcsolómező keresztponjából adódnak. Minthogy ezeknek a működési idejét nagyságrendekkel csökkenteni kellett a gyors vezérlő miatt, ezért a keresztpontonkénti érintkezők számát lecsökkentették kétfőre, azaz a beszédérpárra, aminek következtében a kapcsolómezőt le kellett „képezni” a vezérlőben és így a szabadutak kiválasztása magában a vezérlőben folyik. A kapcsolómező most már végleg semmilyen logikai funkciót sem végez, csupán a beszélgetési lehetőséget biztosítja. A vezérlőnek tudnia kell, hogy mikor mit kell csinálnia, tehát erre fel van készítve. Ezek az ún. programok, amelyek a vezérlő tárolójában be vannak „írva” és ezért hívják az ilyen központokat „tárolt program vezérlésű kvázielektronikus központok”-nak. Az általános blokk-diagramjuk a 6. ábrán látható (angolul: Stored program control = SPC).

A vezérlő, amit Processornak is hívnak (P) két úton kapcsolódik a kapcsolómezőhöz, egyrészt a letapogatókkal (scanners S) megvizsgálja mindazon pontokat, ahol valamilyen igény jelentkezhet a P közbeavatkozásra, másrészt az elosztókon át (distributors D) utasításokat ad a kapcsolómezőben szükséges változtatások végrehajtására. Ha valamilyen igény jelentkezik, a P konzultálja a programtárolót (program store PS), hogy megtudja, jelen esetben mik a teendők, ha pedig információkat kell átmenetileg tárolnia, erre a célra igénybe veszi a hívástárolót (Call store CS). Az így működő vezérlőhöz képest a közönséges crossbar gépek már túl lassúnak bizonyultak és ezért fejlesztették ki a reed típusú jelfogónak legalább egy tucat változatát.

A 3. sz. táblázaton felsorolunk néhány, az irodalomból ismert kvázielektronikus rendszert — a teljesség igénye nélkül —, amelyekből legalább egy berendezés üzemben van. Természetesen mind kiváló gyártmány és soha egy olyan folyóirat cikk még nem jelent meg, amelyik beszámolt volna arról, hogy valamelyik nem vált volna be. Csak egyszerűen híradás történik egy újabb



6. ábra. kvázi elektronikus központ blokk diagramja

3. táblázat

Rendszer elnevezése	Gyártó vállalat	Jellegzetesség
ESS _{1, 2, 3, 4} E _{10, 11, 12} AXE ARE	Bell system CNET, LMT (francia) Ericsson Ericsson USA, Norvégia	Remreed, modulok, SPC reed, minikapcsoló, SPC reed, SPC, modulok elektronikus vezérlés meglévő központokhoz
TXE-4 EDS EWS EWSO ₁ , EWS _{DF1} Metaconta _{L, 10 C}	STCL (Anglia) Siemens BTM (Belgium) ITT (francia) Lorenz (NSZK)	SPC SPC, modulok zárt fémrelé minikapcsoló
D-10, D ₁₀₁ A, B, C 10-C AN/TTC IBM 3750 TCS GEC TCS AEG ETS DDX IFS ₁ PRX-205 Pentex No. 1. EAX DEX-A-11 APB-10 PMT-100 SP-1	Bell Lab. USA GTE Sylvania, USA USA, NSZK, Svájc ITT (USA) Anglia ITT (USA) Telefunken (NSZK) North Electric (USA) Nippon E. Japán Posta (Svájc) Philips (Hollandia) Plessy (Anglia) GTE (USA) Nippon E. Japán LME (Ausztrália) Holland Posta Kanada Posta	reed, SPC thyristor időosztásos tranzit központ időosztásos, SPC. elektronikus komb. tér és időosztásos központ reed, SPC időosztásos PCM-ek számára csak PBX minikapcsolók főleg adatközpont minibar kapcsoló

— természetesen szintén kiváló — megoldásról. Hogy miért van ez a mindenáron való nagy törekvés — egymással való versengés — az elektronikus központok megvalósítására? Nyilván van objektív oka is, de nagyrészt a konkurenciákkal kapcsolatos szemléletekre vezethető vissza.

A legmesszebbre jutott a kvázielektronikus telefonközpontok területén az amerikai Bell Laboratórium. A nagyvárosok belső kerületeiből a lakosok elköltöznek a külvárosokba és az így felszabadult helyiségekben irodák létesülnek. Ezért azután új telefonigények keletkeznek és a teleföntársaságnak szüksége van olyan nagy kapacitású központra, amely elhelyezhető a meglevő kisebb központ helyén. Ezt az elektronika segítségével el lehet érni. Európában — néhány metropolis kivételével — erre nincs szükség.

Hiúsági motívumok nagy szerepet játszanak. Ha megnézzük közelebbről, hogy mely országok vásárolják azokat az elektronikus központokat, amelyek a 3. táblázaton vannak felsorolva, akkor láthatjuk, hogy az európai országok postái egy-egy mintaberendezést vásárolnak, hogy egyrészt tapasztalatra tegyenek szert, másrészt, hogy támogassák az ipar ilyen irányú tevékenységét. De kik azok, akik csak divatból vásárolnak ilyen központokat? Az olajmágnások, akiknek semmi sem drága és akik a manuális központok után egyenesen az elektronikusra akarnak rátérni. Persze a központokkal együtt karbantartó személyzetet is „vásárolnak”.

Van azonban egy elgondolkoztató jelenség, ha megvizsgáljuk az elektronikus központokkal foglalkozó vállalatok neveit, kitűnik, hogy a hagyományos telefoncégek mellett egyre több eddig csak számítógépeket gyártó vállalat is kezd elektronikus telefonközpontokkal foglalkozni! (Pl. Philips vagy Plessy, IBM, General Electric stb.). Valószínűleg fantáziát látnak jelenlegi gyártmányaikon túl új piacok szerzésére, amire magyarázat a telefonia területén várható nagy fellendülés, de egyszerűen az is lehet, hogy tartanak a számítógép piac telítettségétől és az elektronika területén — a katonai jellegű berendezéseken kívül — nincs jobban jövedelmező cikk, mint a telefon, a konkurencia pedig nem olyan nagy, mint a híradástechnikai fogyasztási cikkeknel.

Jelenleg tehát csak az amerikai ESS rendszerek terjedtek el komoly mértékben, ma már kb. 15 millió vonalnyi berendezés üzemel, de persze a 15 éves fejlődése során sokszor és sokat változott; a tárolt program elv egyébként már 22 éves! Az idén már az ESS No 4 központot helyezik üzembe. A 7. ábra vázlatosan feltünteti, hogy az ESS központok főbb alkatrészei hogyan változtak az idő folyamán.

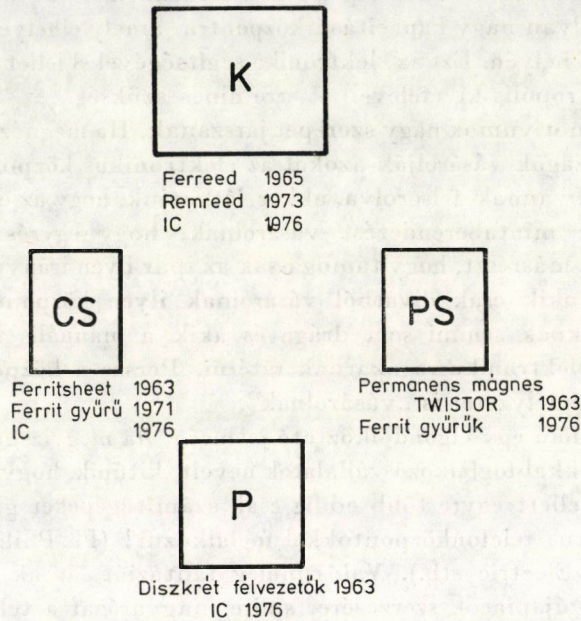
Az ábrán szereplő alkatrészek közül csak eggyel szerenénk foglalkozni: a remreed-del, még pedig annak technológiájával.

A remreed elnevezés a remanens reed-nek a rövidítéséből származik. Abban különbözik tehát a korábbi jól ismert ferreed-től, hogy elmarad a külön permanens mágneses rúd és helyette maguk az érintkezők készülnek mágneses anyagból. A remreed jelfogók és az IC-k fokozottabb használatának az lett

az eredménye, hogy az új ESS ezeket 3 : 1 arányban sikerült csökkenteniük köbtartalom szempontjából.

A 8. ábrán láthatók a remreed keresztpont méretei. A cső „reed”-jei, vagyis érintkező rugóinak elkészítése húzott drótból történik a következő feltételek mellett:

1. Anyaga vas, kobalt és vanádium ötvözete. A vanádium csak néhány %-ot tesz ki, de ennek pontos értéke határozza meg a remanencia nagyságát.



7. ábra. ESS központok alkatrészeinek fejlődése

2. A huzal átmérője mindössze 0,53 mm !

3. A két drótdarabot egyenként az érintkezési felületnél kb. 0,2 mm-re összepréselik és az érintkezési felületeket arannyal bevonják.

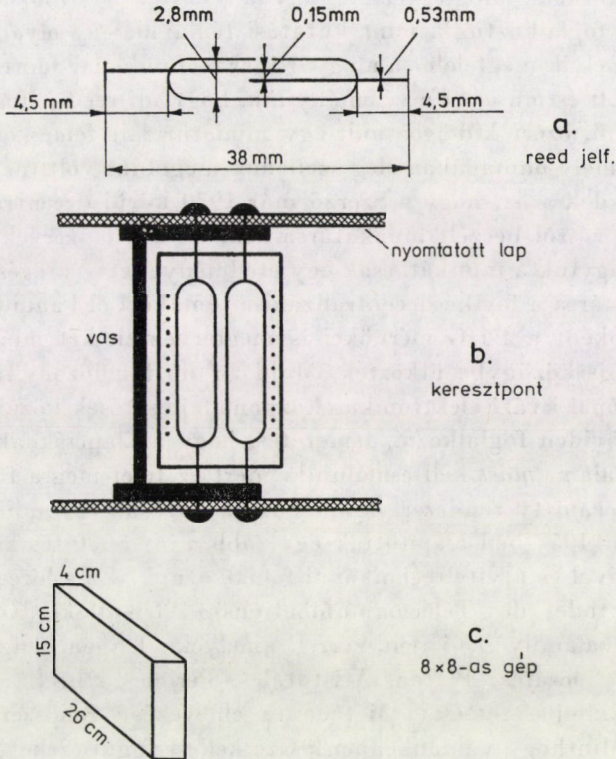
4. Az üvegeső 3 cm hosszú és külső átmérője 2,8 mm. A huzalok beforrasztása után a légrésnek a szembenlevő felületek között 0,11 és 0,17 mm között kell lennie. Az érintkező felületek a rugók beforrasztása után legyenek „párhuzamosak”, a mágneses tulajdonságok pedig nem változhatnak.

5. A rugóknak 1,3–5 g érintkezési nyomást kell biztosítaniuk.

6. Mindezekon felül a huzalokat mártásos forrasztással kell tudni erősíteni két nyomtatott áramkör lap közé.

Egy keresztpontban két üvegeső van és a működtető tekercsek elrendezése azonos a ferreed-ével. A mágneses kör zárásáról egy külső lágyvas rúd gondoskodik. A jelfogó meghatározott ampermenettel meghúzza, a remanenciával tart és ellenkező irányú mágnesezés hatására elenged.

Ezekből a remreed jelfogókból 8×8 -as kapcsológépeket állítanak elő az ábrán mutatott méretekben. Új az a megoldás, hogy a kapcsológépek nem dugaszolhatóak, hanem 32 ilyen gépből egy ún. modult hoznak össze és ez lesz dugaszolható. A központ egysége 1 méter széles és 2,45 méter magas keretből



8. ábra. Remreed kapcsológép

áll és egy keretre fel tudnak rakni 8 ilyen modult. A keretek összekapcsolására előre gyárilag elkészített dugaszolható vezeték kötegek szolgálnak.

Van azonban az új ESS-nek egy egészen új és figyelemre méltó jellegzetessége: a vezérlő elektronika nincs teljes egészében egy helyen koncentráva, hanem egy része ki van helyezve a modulokba. Például a scannerek központi irányítója centralizálva marad, de a ténylegesen letapogató rész, mintegy a „csápok” már kikerülnek a modulokba. Ez a megoldás szerintünk a jövőbe mutat: az eddig töretlenül koncentrált folyamatnak — úgy látszik — végére jutottunk. Eddig az volt az általános szokás, hogy az elektronikusan vezérelt központokat gyártó cégek lényegében csak a kapcsológépeket állították elő saját maguk, az elektronikus alkatrészeket viszont megvásárolták az ezekre

specializált vállalatoktól. Amennyiben az ESS-ben most megindult decentralizációs folyamat a jövőben folytatódna, elképzelhető, hogy visszakanyarodunk a legrégebbi automata központ változatához a Strowgerhez, amelyben a logikai funkciók teljesen decentralizálva voltak, és azután a kapcsológépeket valamilyen IC technikával fogják gyártani. De ez még soká fog bekövetkezni.

Itt szeretnénk megjegyezni, hogy a Vezetékes Híradástechnikai Tanácsékn mi is foglalkoztunk, mint kutatási témával, egy olyan központ megoldásával, amelyik megfelelné a magyar ipar technológiai adottságainak. Mivel nekünk az volt és ma is az a véleményünk, hogy mi reed jelfogót nem fogunk tudni gyártani, ezért kidolgoztunk egy miniatürizált fémes érintkezős kapcsológépet, amely önmagában elég szellemes megoldás volt (nem kellett dugaszolni). Az érdekes az, hogy a Szerző már 1970 körül decentralizált logikáról és modul képzésről beszélt munkatársainak, de külső szervek érdektelensége miatt abbahagytuk a munkát, csak egy eredménye lett az egésznek: a Szerző egyik munkatársa a logika decentralizálása témakörből kandidátusi fokozatot nyert. Egyébként a BHG mérnökei is megterveztek két miniatür kapcsológépet, de ők is közönybe ütköztek. Majd az idő fog bizonyítani!

Az európai kvázi elektronikus központ fejlesztések közül a franciákéval szeretnénk röviden foglalkozni. Ismeretes, hogy a franciáknak mindenben és mindenkor valami *mást* kell csinálniuk, mert ez felel meg a francia „gloire”-nak. (Pl. a secam tv rendszer, de ők hozták létre az első miniatür kapcsológépet is.) Már 1957-ben alapítottak egy több mint 3000 fős kutató intézetet, ahol telefóniával és átviteltechnikával foglalkoznak. Ez a híres CNET (Centre National d'Etudes des Télécommunications). 1964-től kezdve két évenként megjelentek valamilyen új rendszerrel, amelyeknek igen hangzatos elnevezéseket adtak: Socrates, Platon, Aristoteles, Pericles stb. Eközben a francia ITT gyárak kifejlesztették a Metaconta elnevezésű rendszernek különböző változatait. Minthogy valamiképpen össze kellett fogni ezeket a központokat, kitalálták az E_1 , E_{10} , E_{11} , E_{12} rendszereket és ezekből elég sokat üzemeltetnek Északnyugat-Franciaországban. Persze olyan információ nem látott napvilágot, hogy ezekkel valamilyen probléma lenne, mégis most, amikor el kellett dönteni, hogy Párizs hálózatát hogyan bővítsék (ott a sok pentaconta crossbar mellett még $7A_1$ -es rotary is üzemel), akkor olyan híreket hallani, hogy ezt a bővítést egy most kifejlesztett kvázi elektronikus Ericsson központtal valósítják meg, mindenesetre hazai gyártással.

Az európai konstrukciók közül megemlítést érdemel még a Siemensék EWS rendszere, amelynek a keresztpontja egy semleges gázzal töltött hermetikusan elzárt két fémes záró érintkező, teljesen automatikusan gyártható és nyomtatott áramkörlepton szerelhető össze kapcsológéppé. 1974-ben még csak egy ilyen központ volt üzemben.

Ericssonéknak az új AXE elnevezésű központja az ESS-nek európai változata. SPC, reed, modulok, részben decentralizált logika a főbb jellemzők.

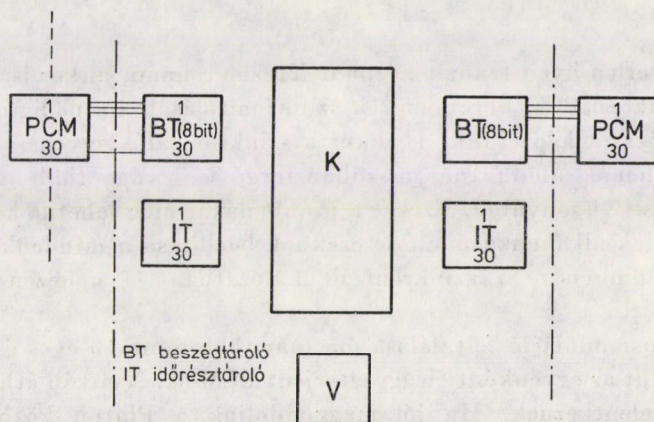
Igen valószínű, hogy a francia Posta ezt az AXE rendszert választotta a párizsi hálózat fejlesztésére.

Az utóbbi időben az ITT és az LME reklámoznak egy olyan elektronikus regisztert, amellyel le lehet váltani a hagyományos jelfogós regisztereket és ezáltal biztosítani lehet az elektronikus regiszterek sok jellegzetességét. Ilyesmi érdekes lehet számunkra is, hiszen köztudomású, hogy a regiszterek azok a szervek, amelyek leghamarabb elhasználnának a nagy igénybevétel következtében.

Időosztásos központok

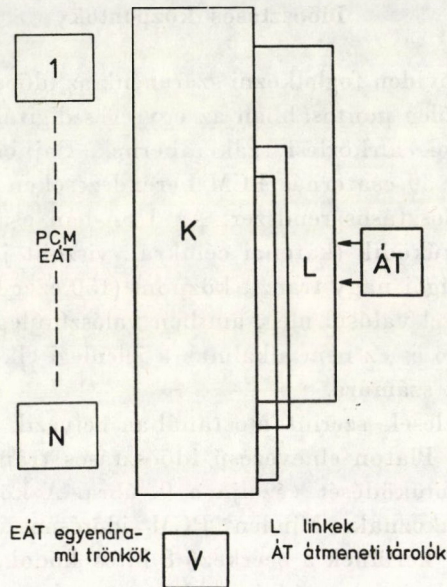
Végül pedig röviden foglalkozni szeretnénk az időosztásos központok kérdésével. Ez — illetőleg pontosabban az egységes digitális országos hálózat — az álma nagyon sok hírközlési szakembernek. Sajnos, ettől ma még elég messze vagyunk. A 30 csatornás PCM berendezéseken kívül alig van valami említésre méltó időosztásos rendszer. Az USA-ban csak néhány kisebb időosztásos központ működik (katonai célokra), viszont jellemző, hogy az idén üzembe kerülő chicágói nagy tranzit központ (150 ezer kapcsolással óránként) ESS No 4 rendszerrel valósul meg, amiben valószínűleg a kapcsolási kereszt-pont remreed jelfogó és ez nem alkalmas a jelenlegi elképzeléseinek megfelelő időosztásos központ számára.

A francia közlések szerint mostanában helyezik üzembe Északnyugat-Franciaországban a Platon elnevezésű időosztásos tranzit központot. Ennek a központnak elvi működését vázolja a 9. ábra. A központhoz csakis PCM berendezések csatlakoznak. Minden PCM időrésnek megfelel egy tároló, amelyben rögzítésre kerülnek a beérkező 8 bites kódok, továbbá a V vezérlő, miután megkapta a kapcsolandó irány adatait és kikeresett egy szabad időrészt



9. ábra. Időosztásos központ alapelve

a kívánt irányban, azután talált egy olyan időrészt a K kapcsoló mezőben, amely a két PCM időrészt össze tudja kötni, akkor a V mindkét helyen beírja a tárolóba az átvivő időrés azonoságát. Ezekután látható, hogy beérkezéskor a 8 bit rögtön tárolásra kerül, majd mielőtt a következő kód beérkezne, a V a megfelelő kapuk nyitásával átdobja a kódot a hívott PCM megfelelő tárolójába, ahonnan adott pillanatban kivételre és továbbításra kerül. Ellenkező irányban egy ugyanilyen berendezésen keresztül — természetesen azonos időben — történik az átvitel. Ez a működés még elmondva is bonyolult.



10. ábra. Időosztásos központ térosztásos kapcsolómezővel

Ha egyetlen ilyen tranzit központ létezne csupán, akkor is nehéz elképzelni a csatlakozó PCM berendezések szinkronizálását, ha pedig országos időosztásos hálózatot képzelünk el, akkor a szinkronizálás egyenesen lehetetlen. Azután problémák adódhatnak a szóban forgó 3 — vagy több — időrés egymáshoz képesti viszonyából. Ezeket a problémákat meg lehetne kerülni késleltető művonalak alkalmazásával, de ezeknek beállítása a mindenkor szükséges időre — különösen nem szinkronizált hálózatban — nehezen lenne megvalósítható.

A pulzusmoduláció feltalálása ma már több mint 40 éves és nem jutott messzebb, mint az egyébként eléggé elterjedt PCM-ek. Nyilván áthidalhatatlan nehézségek jelentkeznek. Ha jól meggondoljuk, a Platon központban is a kapcsolómező időréseinek két végén a kapuk *térosztások!*

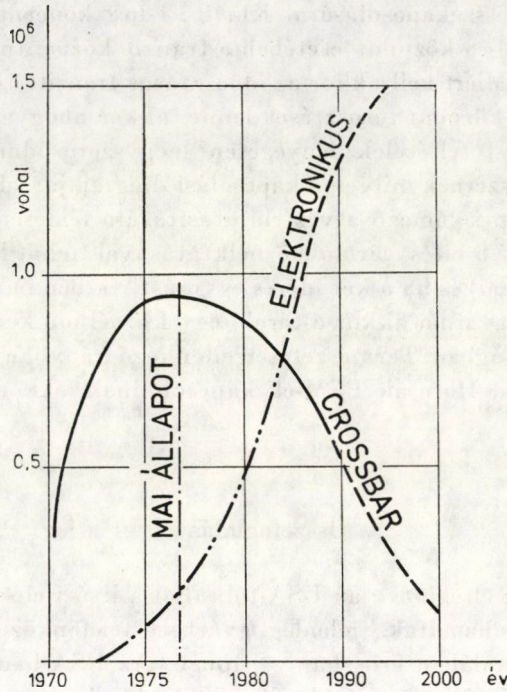
A gyakorlatban egy ilyen tranzitközpontoz nemcsak kizárólag PCM-ek csatlakoznak, hanem közeli távolságokból egyenáramú összeköttetések is, pl. egy koncentrátorból. Mind a PCM időcsatornák, mind az egyenáramú vezetékek, tulajdonképpen trónkók, teljesítményük magas, mert hiszen koncentrált forgalmat hoznak, a tranzit központ tehát leredukálódik magas teljesítményű vonalak összekapcsolására. Kb. 8 : 1-hez koncentrációról van szó, tehát pl. egy 20 000-es központ esetében a tranzit központnak csak kb. 2500 trónkkal van dolga. Miért kell akkor az időosztásos tranzitközpontot erőltetni? Ha pedig a tranzit központ térosztásos lenne, akkor ahogyan a 10. sz. ábrán látható, a működési feltételek lényegesen leegyszerűsödnek. Nem tudjuk, hogy az ESS 4 rendszernek milyen a kapcsolási diagramja; lehet, hogy hasonló. A térosztásos K kapcsolómező a vezérlő utasítására fémesen összeköti a hívó és hívott időrést egy 8 bites tároló közbeiktatásával (tehát kettő helyett csak egy helyen kell tárolni) és ha a két időrés egymást részben fedné, ami az impulzusok továbbítását zavarná, akkor a tároló egy kb. fél idő keretnyi késleltetést vezetne be a fogadó ágba. Természetesen ellenkező irányban ugyanilyen fémes utat kell biztosítani. Ha csak PCM-ek kapcsolódnak, akkor az összeköttetés lehet félvezető.

Összefoglalás

Összefoglalva: eltekintve az USA-tól, ahol a kvázi elektronikus központokkal messze előrehaladtak, jelenleg gyártott telefonközpontoknak 96%-a hagyományos — általában crossbar — típusú. Az USA-ban most a crossbar és ESS típusok gyártási aránya kb. 50—50%. Európában még nem alakult ki legalább nagyjából egységes álláspont sem. A francia Posta, amely nagyon optimista az elektronika jövőjében, egy nemrég közzétett jelentésében a 11. sz. ábrán mutatott fejlődési görbékkel jelezte elképzeléseit. (Franciaországnak jelenleg kb. 13 millió telefonja van). Időosztásos központ — ahogyan mi elképzeljük — gyakorlatilag nem létezik, néhány kis mintaberendezés nem számít. Jelenleg minden központ térosztásos.

A műszaki tudományok, köztük a telefónia, területe egyre kitágul, a berendezések egyre bonyolultabbak lesznek és minden részterület műveléséhez egyre több szakember kell. Szóló szakember na már nem tud csinálni semmit; ebből pedig logikusan következik, hogy csak nagy népességű országok tudnak érdemlegeset produkálni az egyes műszaki területeken, így természetesen az elektronikus telefonközpontok szakterületén is. Ha a KGST-országok természetesen együttműködnének a telefónia fejlesztésének területén, akkor összefogva mi is tudnánk valamit produkálni, azonban mindegyik KGST-ország a telefónia terén a maga útját járja, mindegyik más licenst vásárol. Ez pedig nagyon sajnálatos jelenség.

Az elkövetkező 10–15 évben minden aggodalom és tétovázás nélkül gyártjuk tovább az LME crossbar típusú központokat, jó minőségben és minél többet! Kvázi elektronikus központokkal fejlesztési szinten ne foglalkozunk;



11. ábra. Francia telefonhálózat várható alakulása

néhány fős csoport kísérfje figyelemmel a külföldi fejlődést tájékozódás céljából. Ha azonban KGST keretben megindulna egy ilyen munka, akkor természetesen abban vegyünk részt.

Időosztásos telefonközpontokkal kapcsolatban sem kutatási, sem fejlesztési munkákba ne kezdjünk. Várjuk meg, hogy az ezredfordulóig mi lesz belőle. Nem lehet a mi feladatunk azt feltalálni!

A Posta vizsgálja meg a magyar ikermegoldás hibáit és győződjék meg arról, hogy a jövőben nem lehetne-e a leváltásra kerülő központok számozását megtartani?

Jó lenne, ha mérnökeink tanulmányoznák közelebbről azt az elektronikus regisztert, amely a meglévő hagyományos — tehát rotary — központokban is le tudja váltani a jelfogós regisztereket.

Actual Problems in Telephony. The author analyzes in detail, which were the causes and circumstances the Hungarian telephone service got into the present objectionable qualitative situation, what could and should be done in order to reduce the trouble. He discusses the world-wide applied new solutions for telephone exchanges, strives at evaluation of the results, chiefly from the point of view what variants might influence the development of Hungarian telephony. Knowing all this and taking into consideration Hungarian conditions, the author states what would be the correct work to be done during the next 10 . . . 15 years in order to develop quantitatively and qualitatively the Hungarian telephone service.

Aktuelle telefontechnische Probleme. Der Verfasser analysiert eingehend, aus welchen Gründen und zufolge welcher Umstände der ungarische Telefondienst in die jetzige Lage von kritisierbarer Qualität geraten ist und was man bis jetzt schon zur Verringerung des Unheil hätte tun können und müssen. Hiernach bespricht er die derzeit weltweit zur Anwendung gelangenden neuen Lösungen für Vermittlungsämter und bemüht sich die Ergebnisse auszuwerten; hauptsächlich handelt es sich darum, welche Varianten die Entwicklung der ungarischen Telefonie beeinflussen können. Im Spiegel aller diesen Kenntnisse und unter Berücksichtigung der einheimischen Gegebenheiten führt der Verfasser die nach seiner Meinung in den kommenden 10 bis 15 Jahren die zur Verwirklichung der qualitativen und quantitativen Höherentwicklung des ungarischen Telefondienstes richtigen Maßnahmen an.

A METALLURGIA AZ ACÉL TISZTASÁGÁNAK SZOLGÁLATÁBAN*

SIMON SÁNDOR**

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

Az acélkohászat fejlődésének tendenciája. Az acélok tisztaságának alapvető kritériumai. Vákuumozás hatása az acélok gáztartalmára. Az acélban található zárványok típusai. Az exogén eredetű oxidzárványok forrásai és csökkentésük lehetőségei. A dezoxidációból származó endogén zárványok keletkezésének és mennyiségük csökkentésének elméleti alapjai. Ca-alapú komplex dezoxidálószerkes kedvező hatása az acél tisztaságára. Ritkaföldfémek kéntelenítő és dezoxidáló képessége, kisméretű és kevésbé káros tulajdonságú oxi-szulfid zárványok kialakításának feltételei, ritka földfémoxidok hatása.

I. Bevezetés

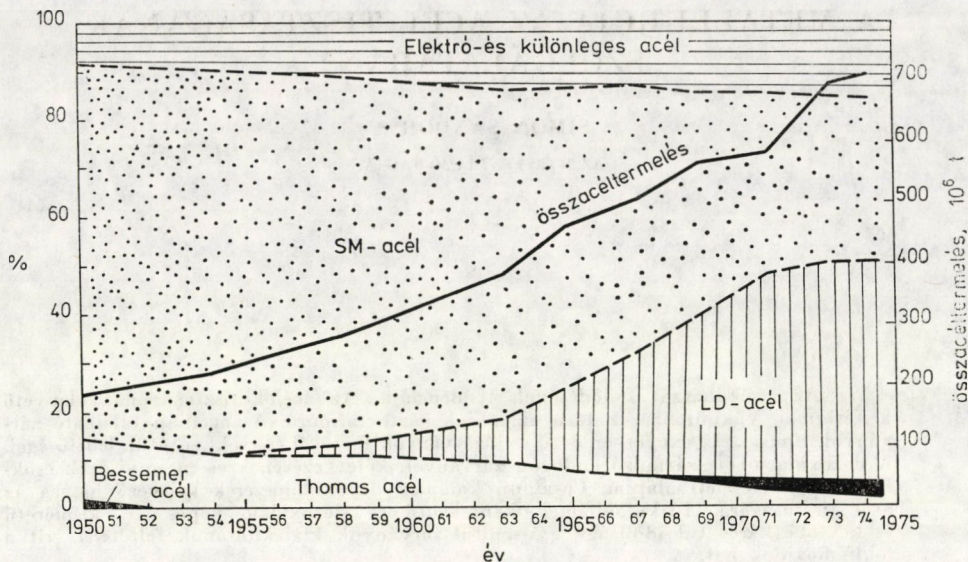
Napjainkban az acélkohászat tudományos, technikai és gazdasági fejlődésének irányát egyrészt az határozza meg, hogy az acélokkal szemben évről évre fokozódó követelmények újabb és újabb minőségek kifejlesztését teszik szükségessé; másrészt az, hogy a technika általános és intenzív fejlődésével a mennyiségi igények állandóan növekszenek. A minőség javítása, a választék bővítése, valamint az egyre növekvő mennyiségi igények kielégítése mellett fő törekvés a termelékenység és a gazdaságosság fokozása [1]. Noha az említett követelmények egyike-másika bizonyos mértékben részben egymástól függetlenül, vagy csak részleges kapcsolatban is kielégíthető, a feladat alapvető megoldása integrált és szintetizált fejlesztő-kutató munkát igényel.

A mennyiségi igények kielégítésének fontossága abból is kitűnik, hogy ma a szerszámgépiparban, az építőiparban, a járműiparban, az energiatermelőiparban, a mezőgazdaságban és a honvédelemben együttesen a felhasználásra kerülő összes fémnek kb. 85%-a vas- és acéltermék, ami az egyéb felhasználásokat is figyelembe véve, világszinten jelenleg mintegy 700 millió tonna acél termelését teszi szükségessé évente. Ez indokolja a világ acéltermelésének az 1. ábrán látható fejlődését.

A termelés volumenének felfutásával egyidejűleg, az elmúlt 25 év során több acélgyártó eljárás alakult ki. A minőségi követelmények fokozódásával kisméretben növekedett az elektro- és a különleges acélok részesedése, míg

* Akadémiai székfoglaló előadás. Elhangzott 1977. január 12-én.

** Prof. Dr. Simon Sándor, 3515 Miskolc, Egyetemváros, Csermőke 107.



I. ábra. A világ összacél termelése ill. az összacéltermelés technológiák szerinti megoszlása az utóbbi 25 évben

a megnőtt mennyiségi igényeket a gyors ütemben elterjedt LD-eljárás elégítette ki.

Az utóbbi években az LD-eljárás, valamint annak továbbfejlesztett változatai is igen komoly versenytársat kaptak az újabb oxigénfúvós technológiák kifejlesztése folytán. A nemesacélgyártás fejlődése egyre inkább oda vezet, hogy a különböző konverteres eljárások a korszerűsített SM-kemencék, a nagy transzformátor-teljesítménnyel dolgozó elektrokemencék főként csak a betét megolvasztására, illetve frissítésére szolgálnak. A hagyományos acélgyártás számos, eddig kemencében végzett folyamatát — a redukálást, a finomítást és az ötvözést — vagy különálló üstben, vagy speciális konverterben végzik.

Az acélgyártó, általában a kohászati termelő-kapacitás bővítése, ill. új termelő egységek építése nagy beruházási összegeket igényel, és noha ez csupán elhatározás és investíció kérdése, a termelékenység és a gazdaságosság növelését még a nálunk gazdagabb országokban is erősen korlátozzák a beruházások finansziális szempontjai.

Az acélgyártás műszaki-gazdasági, ill. a termelt acél minőségi paramétereit az alapanyag-helyzet is befolyásolja; valamint az ércelőkészítés és a nyersvasgyártás technológiai színvonala, termékeinek minősége és gazdaságossága. Különösen érvényes ez a mai korszerű oxigénes acélgyártó eljárásoknál.

A fejlődés tendenciái alapján ma már világosan látjuk, hogy a következő évtizedekben az oxigénes konverter és az UHP ívkemence lesz a világ legelterjedtebb acélgyártó berendezése, mert ez a két eljárás a legtermelékenyebb

és alkalmazkodik legjobban — egymást kiegészítve — a különböző betét-viszonyokhoz. A minőségi követelmények kielégítése azonban megköveteli, hogy a két acélgártó eljárásához olyan finomító technológiák kapcsolódjanak, melyek biztosítani tudják a felhasználási célnak megfelelő minőségű, nagy tisztaságú acélokat.

Az acélok tisztasága azonban — az empirikus ismereteinket is messze-menően figyelembe véve — elsősorban és döntően a metallurgiai folyamatok jellemzői hatásának ismerete alapján történő beavatkozásoktól függ. A metallurgiai tudományok szerepe éppen abban rejlik, hogy a termodinamika és a reakciókinetika elméletének ismeretében és továbbfejlesztésével lehetőségünk nyílik a gyártástechnológiának a kívánt irányban való módosítására.

Az acélok tisztaságának növelésével arra törekszünk, hogy az acél a káros alkotórészek: így a gázok, a nemfémes zárványok szempontjából általában minél tisztább, összetétele pedig egyenletesebb legyen. Ez igen összetett feladat-csoport, melynek együttes megoldására — üzemi körülmények között — ma még nem ismeretes tökéletes technológia.

2. A gáztartalom-csökkentés lehetőségei

A gáztartalom csökkentésére — a megfelelően vezetett frissítés mellett — jó eredményt adnak a vákuumot is alkalmazó technológiák [2]; éspedig a folyékony acél vákuumozása, a vákuumindukciós olvasztás, a vákuum-ívfényes, ill. elektronsugaras átolvasztás. Ezeknél az eljárásoknál a hidrogéntartalom — a káros hatást már nem jelentő — 1–1,5 Ncm³/100 g vas értékre csökkenthető. Az ún. pehelymentesség biztosítására elég a ≈ 1 Torr melletti vákuumozás, melyet a legegyszerűbb vákuumozó berendezéssel is elérhetünk, gyakorlatilag korlátlan acélmennyiség kezelésére.

A nitrogéntartalom csökkentését — a H₂-tartalom csökkentésével ellentétben — fékezik az acélban jelenlevő nitriddképző elemek, ezért a N₂ eltávolítása az ismert vákuumozó eljárásokkal csupán korlátozottan, mintegy 30–40%-os mértékben lehetséges.

Az oxigén döntően oldott FeO vegyület formájában van az acélban. Az FeO-ból az oxigénnek disszociációval történő eltávolításához olyan vákuum szükséges, amelyet a vákuumot alkalmazó eljárások ma még nem tudnak biztosítani. Karbon jelenlétében azonban vákuumozással az acél oldott oxigéntartalma jelentősen csökkenthető, sőt nagyobb vákuumtartományokban ($< 10^{-2}$ Torr) a zárvány formájában jelenlevő Al₂O₃ és SiO₂ egy része is redukálódik, szuboxidok keletkezése közben [3]. Ez utóbbi folyamatra azonban nagy tömegű acél egyszerűbb vákuumkezelésénél természetesen nem számíthatunk. Utólagos üstmetallurgiai kezelés hiányában a gáztalanítás is, csak különleges adalékanyagok felhasználása, vagy semleges gázok átbuborékoltatása révén igen korlátozott mértékben lehetséges.

3. Az exogén és endogén zárványok forrásai, képződésük körülményei

A gáztalanítás mellett az acél tisztaságának szempontjából nagyon fontos feladat a gyártóberendezésekből vagy más forrásokból származó, ill. az acélt kísérő, valamint a dezoxidáló elemek oxidációjából keletkezett zárványok eltávolítása. A nagy tisztaságú acélok előállítására, ill. a zárványtartalom csökkentése érdekében

- egyrészt a gyártás összes munkafázisában a minimumra kell csökkenteni a külső eredetű, ún. exogén zárványok bejutásának lehetőségét,
- másrészt a kikészítés során biztosítani kell, hogy az acélban szükségszerűen visszamaradt belső eredetű, ún. endogén zárványok mennyisége minimális, és konzisztenciájuk minél kevésbé káros legyen.

Az exogén zárványok az acélfürdővel érintkező salakból, tűzálló anyagokból, ferroötvözetekből mechanikus úton, vagy kémiai korrózióval kerülnek az acélba. Jellemző ismervük az, hogy nagyobbak mint az endogén zárványok, alakjuk szabálytalan, szerkezetük pedig rendszerint összetett.

Viszonylag nagy méretük miatt kedvezőek a feltételek a még folyékony fürdőből történő felúszásokra, eltávozásukra; ugyanakkor az endogén zárványoknak a csíráképződés és -növekedés feltételei által meghatározott méreteloszlását kiszámíthatatlanul zavarják.

A tűzálló anyagok közül a samott-téglák vannak a legnagyobb mértékben kitéve kémiai korrózióknak. Különösen, ha az acél mangántartalma nagy és Si-tartalma kicsi, a samotban levő kovásva redukálódik, helyette az acélból származó MnO épül be a tűzállótégla felületébe. A beépülő MnO hatására alacsony olvadáspontú Mn-szilikát réteg alakul ki, és ezáltal a falazat tűzállósága romlik. Az alacsony olvadáspontú rétegek az áramló acél koptató hatására az acélba kerülnek és azt nagyméretű Mn-szilikát zárványokkal szennyezik. Irodalmi adatok és saját vizsgálataink [4, 5, 6] szerint is a tűzálló anyagok ilyen természetű korróziójának az öntőszerelvények közül az öntőcsatornatéglák vannak a legnagyobb mértékben kitéve.

Az acélok exogén zárványtartalma csökkenthető, ha a tűzálló anyag Al_2O_3 -tartalmát növeljük, SiO_2 -tartalmának egyidejű csökkentésével. Ezen túlmenően kedvező, ha a csatornatéglákat a SiO_2 redukciójának megakadályozására kátránnyal itatjuk át.

A magnezit-bélések és a folyékony acél között nem mennek végbe a samottéhoz hasonló korróziós folyamatok. Ha azonban a magnezit-bélés porozitása nagy, akkor az acél eróziós hatása számottevő mértékű lehet és ezáltal az ilyen bélés jelentős zárványforrássá válhat. Ezért az acél exogén eredetű zárványtartalmának csökkentésére megfelelő tömörségű magnezit-

réteget kell kialakítani. Egyébként az exogén zárványok forrásait a folyamatos öntés technológiája jelentősen csökkentheti.

A zárványok eredetük szerinti másik csoportját az endogén zárványok alkotják. Képződésüket, kiválásukat valamilyen oxid-, szulfid- vagy nitrid-képző elem beadása, vagy az acél oxigén-, kén- vagy nitrogénoldó képességének a változása indítja meg. Egy részük egyszerűbb oxid, szulfid, nitrid; másik részük pedig összetett vegyület formájában marad vissza úgy, hogy az összetétel gyakran nem is fejezhető ki sztöchiometrikus arányokkal, mert a komplex vegyület szilárd oldatként is tartalmazhat egyéb alkotókat.

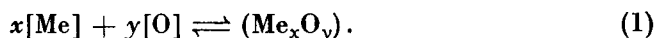
A felsorolt zárványok közül mindmáig általában az oxid típusú zárványok hatását tartjuk a legkedvezőtlenebbnek, elsősorban az acélnál kisebb hőtágulási együtthatójuk, valamint alakjukból származó feszültségnövelő hatásuk miatt. Érthetően erre a zárványfajtára szorítkoznak mind az ideig a legkiterjedtebb vizsgálatok [7] és a jövő kutatásait is erre kell összpontosítani, ugyanis az oxigén-konverteres, ill. UHP-elektrokemencés eljárásoknál is a kicsapásos dezoxidálás tökéletesítése eredményezheti az acél kellően alacsony oxigén-koncentrációját.

A kicsapásos dezoxidálás során az oxigént tartalmazó acélfürdőbe olyan elemet kell adagolnunk, melynek az oxigénhez való affinitása nagyobb, mint a vasé és a képződött oxid az acélfürdőből könnyen kiválik, kicsapódik.

A dezoxidálás hőmérsékletén keletkező, ún. elsődleges endogén zárványok zöme a dermedés kezdetéig eltávozik. Ugyancsak eltávozik a rendszerből a dezoxidálást követő öntés alatti lehűlés során — a dezoxidációs egyensúlyi állandó megváltozása miatt kiváló — másodlagos zárványok jelentős része is. A likvidusz és a szolidusz határközben, az oxigén szegregációja következtében a kristályhatárok mentén megrekedt harmadlagos, továbbá a polimorf átalakulás során, az egyre csökkenő oxigénoldóképesség miatt az energetikailag átlagon felül kedvező helyeken (pórusok, szemcsehatárok, diszlokációk) kiváló negyedleges zárványok viszont a lehűlt acélban visszamaradnak.

A dezoxidáció igen összetett, bonyolult metallurgiai folyamat; lejátszódását egész sor tényező befolyásolja [8]. A felhasznált dezoxidáló elem oxidképződésének szabadentalpia-változása, a dezoxidáló szer mennyisége és összetétele, olvadáspontja, oldódásának mértéke és az oldódás sebessége mellett igen nagy szerepet játszik az acélfürdő oxigéntartalma, hőmérséklete, az acélfürdő egyéb ötvözőinek mennyisége, a dezoxidációs termékek keletkezésének, növekedésének és eltávolításának fizikai-kémiai jellegzetességei.

A legdöntőbb szerepe a dezoxidáció hatékonysága szempontjából a dezoxidálóelem (Me) „dezoxidáló-képességé”-nek van, amelyet a kicsapásos dezoxidálás (1) egyenlet szerinti általános reakcióegyenletéből vezethetünk le.



A reakció egyensúlyi állandóját adott hőmérsékleten a

$$K_{\text{Me}} = \frac{a_{(\text{Me}_x\text{O}_y)}}{a_{[\text{Me}]}^x \cdot a_{[\text{O}]}^y} \quad (2)$$

(2) egyenlettel fejezzük ki. Az egyensúlyi állandóból határozhatjuk meg a dezoxidáló elemmel és a dezoxidáció termékével egyensúlyt tartó oxigén aktivitással kifejezett koncentrációját:

$$a_{[\text{O}]} = \sqrt[y]{\frac{D_{\text{Me}} \cdot a_{(\text{Me}_x\text{O}_y)}}{a_{[\text{Me}]}^x}} \quad (3)$$

A (3) egyenletben az egyensúlyi állandó reciprokát — ahogy az irodalomban szokásos — D_{Me} kifejezéssel jelöltük. A (3) egyenlettel meghatározott $a_{[\text{O}]}$ értéke jellemzi a szóban forgó elem dezoxidáló képességét.

Többalkotós acélfürdőben az oldott elemek termodinamikai aktivitását a (4) és (5) összefüggés fejezi ki.

$$a_{[\text{O}]} = [\text{O}, \%] \cdot \gamma_{[\text{O}]}^{\Sigma \delta_{\text{O}}^{\text{iv}}} ; \quad (4)$$

illetve

$$a_{[\text{Me}]} = [\text{Me}, \%] \cdot \gamma_{[\text{Me}]}^{\Sigma \delta_{\text{Me}}^{\text{iv}}} . \quad (5)$$

Vonatkozási állapot a végtelen híg oldatok tartománya, azaz $\gamma \rightarrow 1$, ha $[\text{Me}, \%] \rightarrow 0$. A végbement dezoxidáció termékében a dezoxidáló elem oxidjának aktivitása egyenlő eggyel,

$$(a_{(\text{Me}_x\text{O}_y)} = 1) ,$$

ha önálló, tiszta fázisként válik ki az acélfürdőből, amit általában csak igen erős egykomponensű dezoxidálószerrel lehet elérni. Ha komplex dezoxidáló szert alkalmazunk, akkor összetett oxidfázis válik ki, amelyben a keletkezett egyes oxidok aktivitása egynél kisebb:

$$a_{(\text{Me}_x\text{O}_y)} < 1 .$$

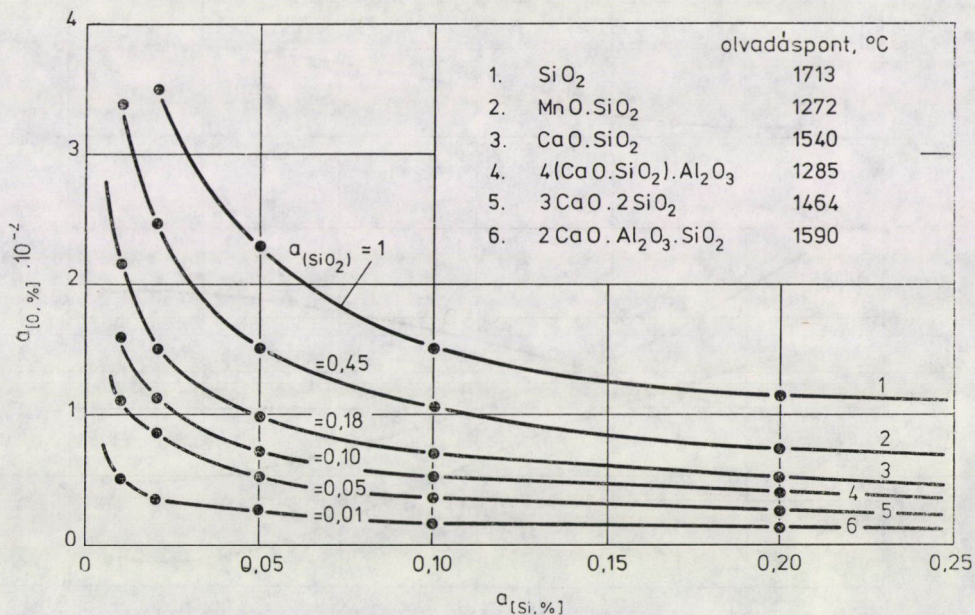
A dezoxidációs egyensúlyból következik, hogy az oldott oxigén mennyiségének csökkentésére — adott dezoxidáló elem alkalmazásakor — két lehetőségünk van. Az egyik a felhasznált dezoxidáló anyag mennyiségének a növelése, a másik a dezoxidációs termék összetételének megváltoztatásával az illető elemből keletkezett oxid aktivitás ($a_{(\text{Me}_x\text{O}_y)}$) értékének csökkentése.

Mivel az adott elem mennyiségét az acélban meghatározott koncentráció határok között kell tartanunk, ezért az alkalmazott elem dezoxidációs képességét elsősorban a dezoxidációs termék összetételének a változtatásával lehet

növelni. A dezoxidációs termék összetételének változtatására nyújtanak módot a komplex dezoxidáló szerek, amelyek közül ma már egyre jobban elterjedtek a Ca-alapú ötvözetek (CaSi, CaSiMn, CaSiAl stb.).

4. A Ca-alapú dezoxidálószer hatása az acélok tisztaságára

A Ca-alapú dezoxidáló szerek hatását az acélban 1600 °C-on oldatban maradt oxigén mennyiségére a 2. ábra alapján értékelhetjük. Az ábra az acél-

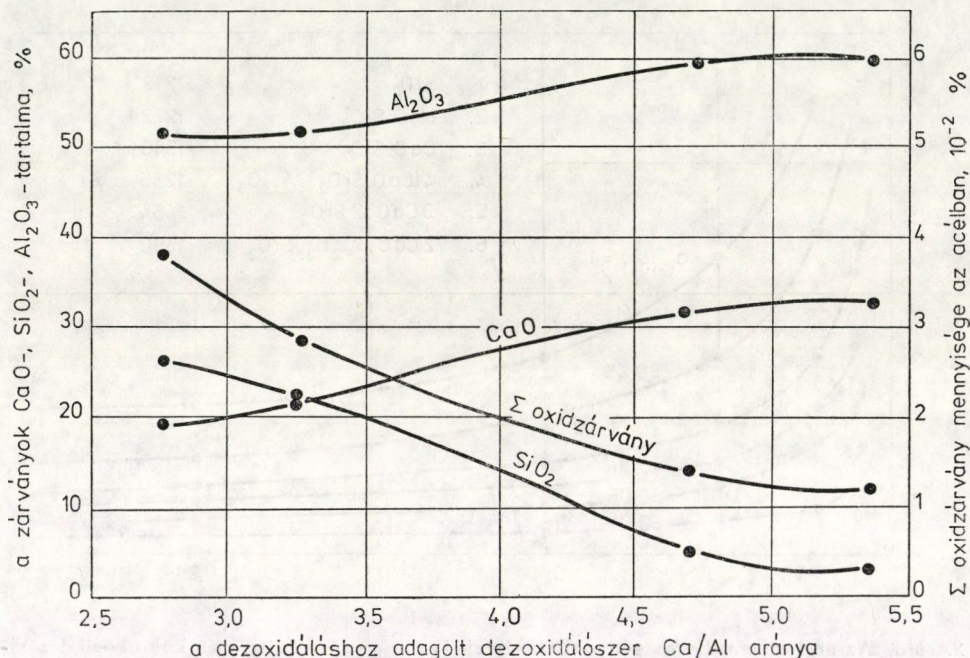


2. ábra. Az acél egyensúlyi oxigén aktivitásértékei az $a_{[Si, \%]}$ függvényében különböző dezoxidációs termékek képződésekor

fürdőben oldott egyensúlyi oxigénkoncentrációkat mutatja be a szilícium aktivitásának függvényében, különböző — 1600 °C alatt folyékony — oxidtermékek keletkezésekor. Az 1. görbe arra az állapotra érvényes, amikor a dezoxidáció során csak SiO₂ keletkezik. A kovásv különböző vegyületeinek kialakulásakor a fürdőben levő azonos szilícium-tartalom már lényegesen kevesebb oldott oxigénnel van egyensúlyban, mintha tiszta kovásv keletkezne. A vegyületekben ugyanis — stabilitásuktól függően — csökken a kovásv termodinamikai aktivitása a tiszta kovásvéhoz képest és ez kedvezően hat a dezoxidációs egyensúlyra. A részben irodalmi adatokból [9], részben saját méréseinkből [10] számított kovásv-aktivitási értékek a komplex CaAl-szilikátokban a legkisebbek, és a Mn-szilikátokban a legnagyobbak.

Ennek megfelelően a szilícium-aktivással egyensúlyt tartó oxigén-koncentráció az összetett Ca-szilikátok és Ca—Al-szilikátok keletkezésekor igen kicsi. Közelítőleg egy nagyságrenddel kisebb, mint tiszta kovasav keletkezésekor.

Az egykomponensű és a komplex dezoxidáló szerek dezoxidáló képességének meghatározására végzett fizikai-kémiai számításaink helyességét és alkalmazhatóságát laboratóriumi és üzemi kísérletekkel ellenőriztük. Az előbb bemutatott, elméleti alapokon tervezett kísérletsorozatok eredményeit a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. Az acél zárványtartalma a CaSiAl dezoxidálószer Ca/Al arányának függvényében

Az ábrán a Martin-acélok CaSiAl-mal történt dezoxidációjakor kapott oxidzárványok mennyiségének és összetételének alakulását mutatom be a dezoxidálószer növekvő Ca/Al arányának függvényében.

A 3. ábrából látható, hogy az acélban visszamaradt összes oxidzárványok mennyisége annál kisebb, minél kisebb a zárványokban a kovasav, és minél nagyobb a CaO és az Al₂O₃ mennyisége. Ilyen körülmények között ugyanis, a dezoxidációs termékben az

$$a_{(\text{SiO}_2)}$$

értéke kicsi és ezzel együtt az acélfürdőben a termékkel egyensúlyt tartó oxigén aktivitása is. Az acélban csapoláskor jelenlevő oldott oxigén nagy része elsőd-

leges zárványok keletkezése közben válik ki, és ezek felszállására megvan a lehetőség.

Kiváltképpen jó eredményeket kaptunk akkor, amikor a keletkezett termék 1600 °C-on még folyékony állapotú volt, amit a dezoxidáló szerben levő Ca és az Al 5,5–6 körüli arányával értünk el.

Mivel a kísérleteinknél a dezoxidáláskor adagolt Si mennyisége és az acél végső Si-tartalma minden esetben közel azonos volt, így a dezoxidáláskor keletkezett zárványok — megvizsgált — összetételének módosulása a dezoxidáló szerben levő Ca/Al arány változásával magyarázható. A komplex CaAl szilikátok képződésére utalnak mikroszondás felvételeink is. Az azonos területről készült felvételeinken azt tapasztaltuk, hogy 10–15 μm átmérőjű fol-



4. ábra. Szilícium dúsulás

5. ábra. Alumínium dúsulás
59472. sz. adag

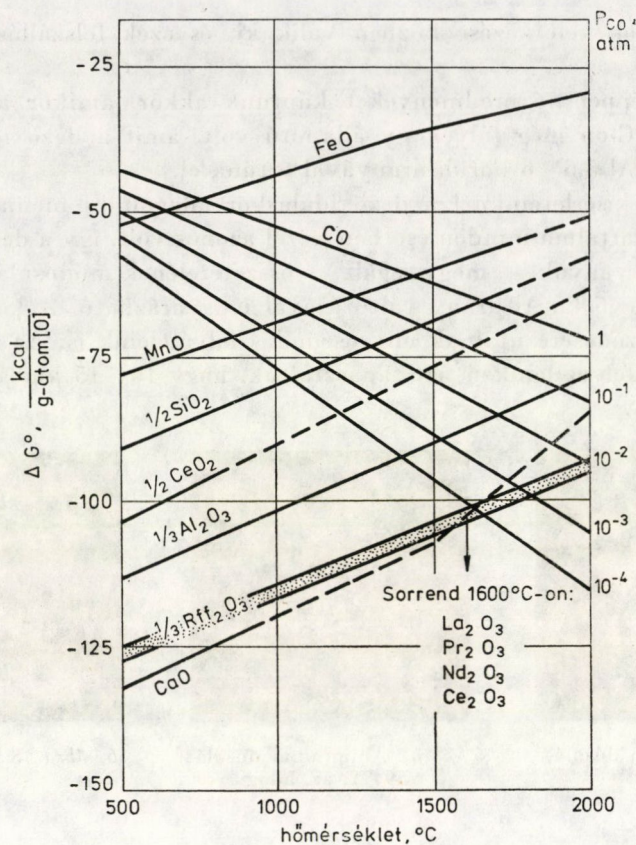
6. ábra. Kalcium dúsulás

tokban ugyanott jelentkezett a Si-, az Al- és a Ca-dúsulás. A 4–6. ábra a Si, az Al és a Ca dúsulásának helyét mutatja komplex zárványok keletkezését jelezve.

Hasonló eredményekre jutottunk [11] CaSiMn komplex dezoxidálószer alkalmazásával is, amikor a Ca/Mn arány változása függvényében vizsgáltuk az acél zárványtartalmát. Növekvő Ca/Mn arány mellett a zárványok össz-mennyisége itt is csökkent, de kisebb mértékben, mint a CaSiAl használatakor.

5. A ritka földfémek dezoxidáló és zárványképző szerepének értékelése

Az acélok tisztaságának növelése szempontjából rendkívül nagy jelentősége van továbbá a néhány éve használatban levő ritkaföldfém-tartalmú komplex dezoxidálószernek is [12]. Legnagyobb jelentőségük feltétlenül a rendkívül erőteljes dezoxidáló képességükben rejlik. Amint a 7. ábrából megítélhető, a Ce, ill. a Ce-os keverékfém a legkiválóbb dezoxidáló anyag, ami ma az acélgártók rendelkezésére áll.



7. ábra. A legfontosabb dezoxidációs reakciók normál szabad-entalpiaváltozásának értékei a hőmérséklet függvényében

A ritkaföldfém-tartalmú anyagok acélfürdőbe való adagolásának előnye nem csupán a kiváló dezoxidálóhatásból ered, hanem az oxidzárványok összetételének, alakjának és tulajdonságának kedvezőbbé válásából is.

Korábban említettük, hogy mindmáig — feszültségnövelő hatásuk miatt — általában az oxid típusú zárványokat tartjuk legkárosabbnak [13, 14]; így érthető, hogy minden olyan törekvés kívánatos és szükséges, ami

- az oxidzárványok mennyiségének csökkentésére,
- vagy az oxidnál kedvezőbb tulajdonságú zárványok kialakítására irányul.

Az újabb vizsgálatok azt mutatták, hogy a komplex oxisulfidzárványok feszültségnövelő hatása kisebb, mint az oxidzárványoké, mivel az oxisulfid zárványok hőtágulási együtthatója közelebb esik az acéléhoz, mint a tiszta oxidzárványoké. Ezen felül — mivel a sulfidzárványok a melegalakítás

hőmérsékletén képlékenyek — a szulfidburok az acéllal sima határfelületet biztosít, szemben az oxidzárványok éles, tagolt határfelületével. Ezért célszerű az egyébként minden acélban jelenlevő szulfidot oxiszulfidzárvány képzésére felhasználni.

Erre legkedvezőbb lehetőségünk a ritkaföldfémek adagolásakor adódik. A szokásos dezoxidáló elemeknél ugyanis az oxigénhez való vegyrokonság minden esetben nagyobb, mint a kénhez való vegyrokonság. Sőt, a vashoz mint alapfémhez viszonyított vegyrokonságkülönbség csupán a Ca-nál, és a Mn-nál ad kéntelenítésre lehetőséget. Ezek szulfidjai viszont többnyire csak a dermedés vége felé képződhetnek.

A ritkaföldfémek kéntelenítő hatása minden más ismert dezoxidáló eleménél jobb. Ennek oka, hogy a ritkaföldfém-oxidok, ill. a ritkaföldfém-szulfidok képződésének termodinamikai feltételei megközelítően azonosak. Amíg a hagyományos dezoxidálóanyagok alkalmazásakor az oxidzárványokat szulfidréteg akkor boríthatja be [14], ha a $[S]/[O]$ hányados igen nagy, addig a ritkaföldfémek felhasználásakor a szokásos acélfürdőösszetételeknél az a legvalószínűbb, hogy sem tiszta ritkaföldfém-oxidok, sem tiszta ritkaföldfém-szulfidok, hanem gyakorlatilag mindig oxiszulfidok keletkeznek [15–16].

Természetesen nincs kizárva, hogy a zárványok kiválása eleve ritkaföldfém-oxiddal kezdődjék, amint ez a 8. ábrán is látható,

— ha ugyanis a $[S]/[O]$ arány kisebb, mint 10 (pl. A pont),

$$[S]/[O] < 10,$$

akkor az elsőként képződő fázis tiszta ritkaföldfémoxid,

— ha azonban az $[S]/[O]$ arány 100-nál kisebb, de 10-nél nagyobb,

$$100 > [S]/[O] > 10,$$

ami a szokásos acélfürdőösszetételekre legjellemzőbb (pl. B pont), akkor már kezdetben is oxiszulfid válik ki,

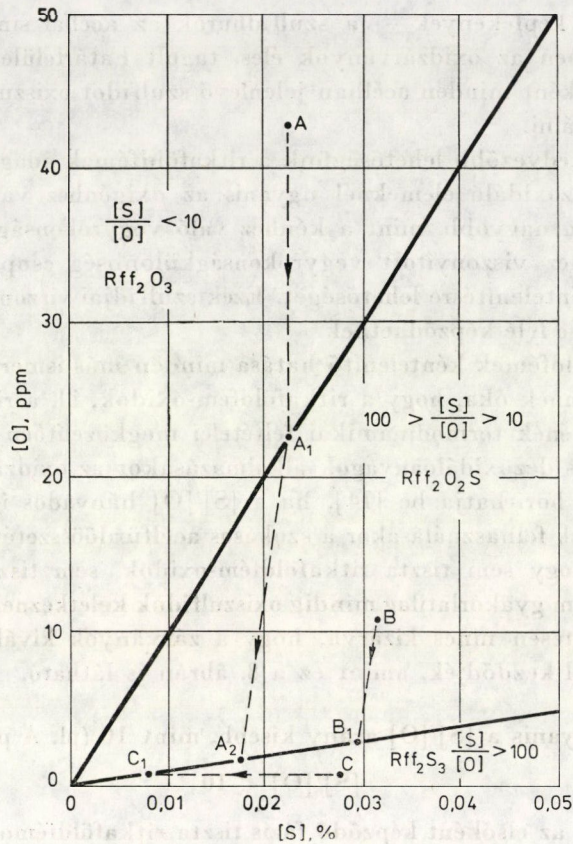
— míg ha az $[S]/[O]$ arány 100-nál nagyobb,

$$[S]/[O] > 100$$

(pl. C pont), azaz a fürdő kiválóan dezoxidált, a ritkaföldfém csak kéntelenít, s a kivált fázis ritkaföldfém szulfid lesz.

A keletkező zárványok a gyakorlatban nem válnak ki azonnal az olvadékból, ezért legtöbbször réteges zárványokkal találkozhatunk, így pl. az A_1 pontban az oxidra oxiszulfidréteg, az A_2 , ill. a B_1 pontban az oxiszulfidra szulfidréteg kezd rárakódni, de a C_1 pontban is a szulfidot oxiszulfid boríthatja be.

A „Ritkafémkutatás” tárcaközi célprogram keretében végzett kísérleteink során egyértelműen kimutattuk a Fe—O—Ce—S négyalkotós rendszer-



8. ábra. Az Fe-O-Rff-S rendszer zárványkiválási diagramja

ben végbement réteges zárványképződést [17]. Kutatásaink folyamán — elsősorban gazdaságossági megfontolásokból — feladatul tűztük ki ritkaföldfém-tartalmú komplex dezoxidálószer előállítását is. Ennek megvalósítására ritkaföldfém oxidokból kiindulva, ritkaföldfém-szilicidek előállítására törekedtünk. Számolnunk kellett viszont azzal, hogy mivel a ritkaföldfémek rendkívül nehezen redukálhatók, egy részük oxidformában marad.

Felmerülhet ezért a kérdés: lehet-e metallurgiai létjogosultsága az acélok tisztaságának javítása szempontjából a ritkaföldfém-oxidok, ill. a ritkaföldfém oxid tartalmú szilicidek acélba való juttatásának, s ha igen, akkor ez mivel indokolható [18].

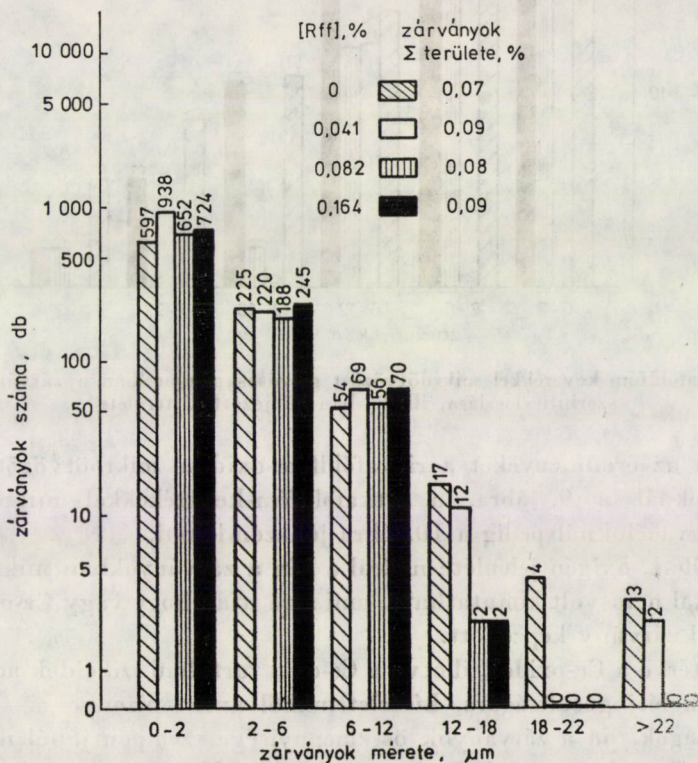
Ennek érdekében Quantimet típusú automatikus képelemző segítségével megvizsgáltuk a Mn-nal + Si-mal elődezoxidált golyóscsapágyacélokat arra vonatkozóan, hogy az adagolt ritkaföldfém-keverékek, ill. ritkaföldfém-oxidok hatását megismerjük a termék zárványosságára, a zárványok számára, méretére, Σ területére. Az 1. táblázatban feltüntetett számokat az acélba adagolt

1. táblázat

A zárványok szem nagyság szerinti megoszlása, ill. Σ területe a különböző keverékfémekkel, ill. ritkaföldfém (Rff)-oxidokkal mikroötvözött golyóscsapágyacélban

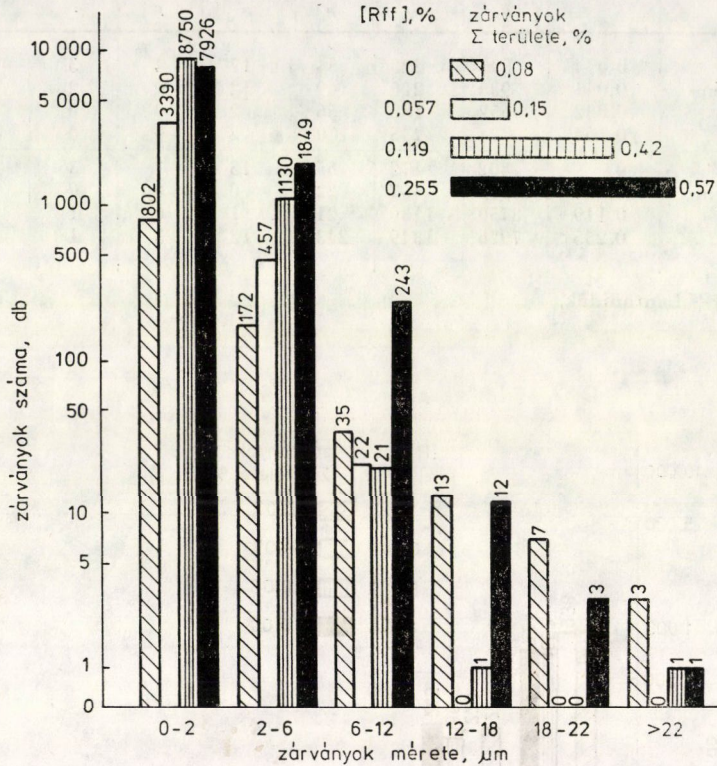
	[Rff]* %	Zárványok méret szerinti megoszlása, db						Zárványok Σ területe, %
		0-2 μ	2-6 μ	6-12 μ	12-18 μ	18-22 μ	>22 μ	
Ritkaföldfém-oxid	0	597	225	54	17	4	3	0,07
	0,041	938	220	69	12	0	2	0,09
	0,082	652	188	56	2	0	0	0,08
	0,164	724	245	70	2	0	0	0,09
Ritkaföldfém-keverék	0	802	172	35	13	7	3	0,08
	0,057	3390	457	22	0	0	0	0,15
	0,119	8750	1130	21	1	0	1	0,42
	0,255	7926	1849	243	12	3	1	0,57

* Σ Ce + Lantanidák.



9. ábra. Ritkaföldfém (Rff)-oxidokkal mikroötvözött golyóscsapágyacélban a zárványok méret szerinti eloszlása, ill. %-ban kifejezett területe

ritkaföldfém-oxid, ill. ritkaföldfém-keverék mennyisége függvényében rendezve megállapítható, hogy a zárványok területe jelentősen csak a keverékfém beadásakor növekedett, amit az apróbb zárványok számának ugrásszerű megváltozása okozott. Az élettartamot rövidítő nagyméretű zárványok száma minden esetben jelentősen csökkent.



10. ábra. Ritkaföldfém-keverékkel mikroötvözött golyóscsapágyacélban a zárványok méret szerinti eloszlása, ill. %-ban kifejezett Σ területe

Ezeket az eredményeket a ritkaföldfém-oxiddal mikroötvözött golyóscsapágyacélknál a 9. ábra, a ritkaföldfém-keverékkel mikroötvözött golyóscsapágyacélknál pedig a 10. ábra jól szemlélteti.

Ce mellett, oxigén jelenléte nélkül a kén a zárványokban mikroszondás vizsgálatokkal nem volt kimutatható, ami arra utal, hogy vagy Ce-oxid, vagy Ce-oxiszulfid zárvány képződött.

Visszatérve a Ce-oxidok, illetve a Ce-oxid tartalmú szilicidek acélba való adagolásának létjogosultságára, kísérleteinkből annyi bizonyossá vált, hogy ezek az anyagok, ha a zárványok összmenyisége szempontjából nem is, de a jobb alakíthatóságú oxiszulfid-zárványok képződése szempontjából kedvező hatásúak. Ez megfelel a tisztább acél előállítására irányuló törekvéseinknek.

Az acélok tisztasága természetesen bonyolultabb kérdéscsoport annál, mintsem hogy azt a gázok, az exogén, ill. endogén zárványok mennyiségének csökkentésével, a zárványok kedvezőbb tulajdonságainak kialakításával megnyugtatóan lezárhassuk. Kétségtelen azonban, hogy már ezekkel is jobb feltételeket teremtünk az öntés, az alakítás, a feldolgozás, a felhasználás számára; a zárványosság szempontjából kedvezőbb alapanyag a késztermékben is homogénabb összetételt és szövetszerkezetet — azaz tisztább acélt — eredményez.

A metallurgia elméletének, valamint módszereinek továbbfejlődése révén egész sor acélfinomító eljárás alakult ki. A szintetikus salakkezeléstől az üstmetallurgiai módszerekén át, a félig automatizált, vákuumot is használó vagy anélkül dolgozó átolvasztó technológiák mellett kedvező hatású a folyamatos öntés további terjedése is.

A tiszta acél ismérveit felsorolni lehet ugyan, de teljesen tiszta acélt előállítani ma még nem tudunk. A tisztaság növeléséhez, a minőség folyamatos javításához — az alapanyagelőkészítéstől az acélgyártáson keresztül a hőkezelésig minden beavatkozás hozzájárulhat, de e feladat megoldásában a legnagyobb rész mindmáig a metallurgiára vár.

A metallurgia tudománya, mint a kohászati gyakorlat alkotó eleme, híven szolgálta és szolgálja az emberiséget a mind jobb tulajdonságokkal rendelkező acéltermékek előállításával. A fejlődés összetett folyamatában fokozatosan növekednek a követelmények a metallurgiával szemben. Ezeknek egyre tökéletesebb kielégítéséhez alapvető segítséget jelentenek a társtudományok területein elért eredmények, valamint az egyre fejlettebb vizsgálati eszközök kohászati felhasználásával szerzett újabb felismerések.

Azt, hogy mennyire tiszta a mai legtisztább acél, vagy hogy mennyire szennyezett, néhány évtized múlva nálunk pontosabban fogják megítélni. Egy azonban bizonyos: gyarapodó ismereteinkkel, ha apró lépésekkel is, de egyre közelítjük célunkat, a felhasználók által oly sokszor óhajtott tiszta acélt.

IRODALOM

1. SIMON S.: Vas- és acélmetallurgiai kutatások vaskohászatunk fejlesztésének szolgálatában. Előadás. Nyersvas- és acélgyártó konferencia, 1973. Balatonföldvár.
2. KÁROLY GY.: Nagytisztaságú acélok előállítása korszerű átolvasztó eljárásokkal. Előadás. Metallurgiai Konferencia, 1975. Miskolc.
3. NISHIHARA, M. és tsai: Study on the Process of Refining by Consumable Electrode Arc Melting. Tetsu-to Hagane, 1962. 1733—1738. o.
4. SIMON S.—BENKŐNÉ—SZARKA—TÓTH L. A.: Az öntőszerelvények bázikus, neutrális és savas tűzállóanyagainak hatása az acél tisztaságára. Előadás. Metallurgiai Konferencia, 1975. Miskolc.
5. BENKŐ GY.—SIMON S.—SZARKA GY.: Untersuchungen zur Herkunft exogener Oxideinschlüsse in beruhigt und unberuhigt vergossenen Stählen durch durch nachträglich aktivierte Markierungselemente. *Neue Hütte* 17 (1972), p. 40/43
6. BENKŐ, GY.—SIMON, S.—SZARKA, GY.—VORSATZ, B.: Isszledovanyie vzaimootnosenyija sztalej i ognyeuporov jagyernum metodom. Mezsdunarodnűj Szimpozium SZEVI, Dobra, Csehszlovákia, 1975
7. KNÜPPEL, H.: Desoxydation und Vakuumbehandlung von Stahlmelzen. Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1970

8. SIMON S.—SZIKLAVÁRI J.—SZŐKE L.: Újabb technológiai megoldások az acélgyártásban. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1974
9. CAMERON, J.—GIBBONS, T. B.—TAYLOR, J.: Calcium Sulphide Solubilities and Lime Activities in the Lime-alumina-silica System. *Journal of the Iron and Steel Inst.* (1966), 1223—1228
10. BENKŐ GY.-né: Mész-timföld salakok szerkezete. Előadás. Metallurgiai Konferencia, Miskolc 1975
11. SIMON, S.: Study of Factors Influencing the Number and Nature of Inclusions Orifinating from Complex Deoxidation in Ferroalloys. Production and Application of Clean Steel. The Iron and Steel Inst. England. (1972), 50—55
12. SIMON, S.: Bedeutung der Seltenen Erden für die Mikrolegierung und die Desoxydation von Stahl. Freiburger Hochschultage, Freiberg 1974
13. JAVOJSZKIJ, V. I.: Putyi povüsenija kacesztvo sztali. Előadás. Várna. 1976. okt. 7—9
14. TARDY P.: Összefüggés a csapágyacélok gyártástechnológiája, zárványossága és élettartam-tulajdonságai között. Kandidátusi értekezés. Budapest 1973
15. WILSON, W. G.—KAY, D. A. R.—VAHED, A.: The Use of Thermodynamics and Phase Equilibre to Predict the Behaviour of the Rare Earth Elements in Steel. *Journal of Metals* (1974) május 14—23. o.
16. LU, W. K.—MCLEAN, A.: Thermodynamic Behaviour of Rare Earth Elements in Molten Steel. *Ironmaking and Steelmaking* 4 (1974), 228—233
17. Az acéltulajdonságok javítása céljából adagolt ritkaföldfém-tartalmú anyagok mikro-ötözésének metallurgiai és technológiai vonatkozásai. Tanulmány. NME Miskolc, Vaskohászattani Tanszék. 1976 december
18. SIMON, S.—KÁROLY, GY.: Rol' kompleksznüh raskiszlitezij szogyerzsassih Ce v mikrolegirovanyii sztalej. Előadás. Várna 1976. október 7—9

Metallurgy Contributes to the Making of Clean Steel. Tendency of the development of steel metallurgy. Basic criteriums of making clean steel. Influence of vacuum on the gas-content of steels. Types of inclusions in the steel. Sources of exogen oxid-inclusions and the possibilities of their decrease. Theoretical basis of formation of endogen inclusions coming from desoxidation process, and of decreasing their quantity. Favourable influence of complex desoxidants containing Ca on the cleanless of steel. Desulphuration and desoxidation capability of rare earth metals; the conditions of formation of oxi-sulphide inclusions of small size and of less harmful properties; influence of the oxides of rare earth metals.

Metallurgie für Interesse der Stahlreinheit. Tendenz der Entwicklung der Stahlmetallurgie. Grundlegende Kriterien der Reinheit von Stähle. Einfluß des Vakuumverfahrens auf den Gasgehalt in Stählen. Typen der Einschlüsse in Stählen. Die Quellen der Exogeneinschlüsse und deren Verminderungsmöglichkeiten. Theoretische Gründe der Entstehung der Endogeneinschlüsse von dem Desoxidationsmittel und deren Verminderung. Günstiger Einfluß der Enthaltenden Komplexdesoxidationsmittel auf die Reinheit von Stähle. Desoxidationsfähigkeit und Entschwäfelungsfähigkeit der seltenen Erden, die Bedingungen der Ausbildung der Oxy-sulfid-Einschlüsse von kleinem Format und mit weniger nachteiligen Eigenschaften, Einfluß der seltenen Erdoxyden.

A „HÁROMSZÖG FELETT HATSZÖG” HÁLÓZATÚ KÉTRÉTEGŰ TÉRRÁCS VIZSGÁLATA KONTINUUM-MÓDSZERREL

Dr. KOLLÁR LAJOS

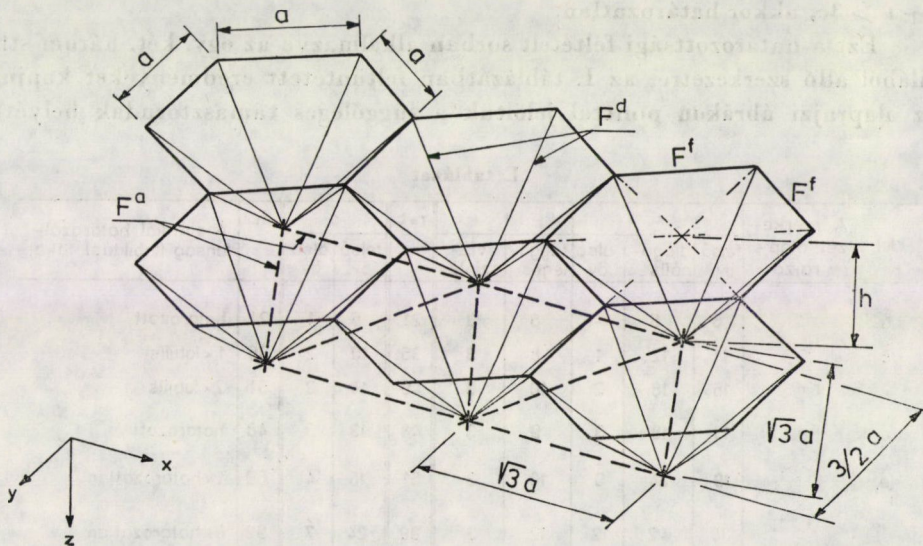
A MŰSZAKI TUD. DOKTORA

[Beérkezett 1976. szeptember 22-én]

A dolgozat a „háromszög felett hatszög” hálózatú kétrétegű térrácsnak először a statikai határozottsági feltételeit vizsgálja, majd tisztázza a hatszögekből álló öv labilitásából származó statikai következményeket. Ezután a csavarási merevséget biztosító „rácsos csövek” statikai jellemzőit állapítja meg. Mindezek alapján levezeti a térráccsal egyenértékű kontinuum differenciálegyenletrendszerét, végül ismerteti a peremfeltételi egyenleteket és a rúderőknek a kontinuum metszeteiről való kiszámítását.

I. A szerkezet ismertetése

A kétrétegű térrácsoknak egyik érdekes típusa az alsó övsíkjában háromszög-, felső övsíkjában hatszögrácsoszerű szerkezet (1. ábra). A háromszögek csúcspontjai a hatszögek középpontjai alatt fekszenek, s hat-hat rúddal kapcsolódnak a hatszögek csúcsaihoz.



1. ábra

E szerkezetfajta megjelenése esztétikus, könnyen gyártható hatszögű gúlból és egyenes rudakból, s igen alkalmas 60°-os, ill. 120°-os szögeket tartalmazó alaprajzok lefedésére.

Dolgozatunk célja: e térrács statikai viselkedésének tisztázása és a helyettesítő kontinuum egyenleteinek felírása.

2. A statikai határozottság kérdése

Mivel a szerkezet felső övsíkja hatszögekből áll, ez a saját síkjában nem merev (hasonlóan a [2]-ben vizsgált térrácshoz). Tisztáznunk kell tehát: milyen megtámasztás mellett lesz a szerkezet állékony (statikailag határozott, ill. határozatlan), s a határozatlanság foka hogyan függ a hatszögű gúlak számától.

Először tételezzük fel, hogy a hatszögek csúcsai érnek ki a szerkezet peremére (a háromszögek beljebb végződnek), és a peremen levő hatszög-csúcsok — a konkáv pontokban levők kivételével — függőleges rudakkal meg vannak támasztva. (A „merevtest-szerű” vízszintes mozgások meggátolására ezenkívül minden esetben három, nem egy pontban metsződő, vízszintes támasztórudat is kell alkalmaznunk.)







A térbeli rúdszerkezetek statikai határozottságának szükséges feltételét az ismert

$$r + t = 3c \quad (1)$$

egyenlet fejezi ki, ahol r a rácsszerkezet rúdjaiknak, t a támasztórudaknak, c a csuklóknak a száma. Ha $r + t < 3c$, akkor a szerkezet labilis, ha pedig $r + t > 3c$, akkor határozatlan.

Ezt a határozottsági feltételt sorban alkalmazva az egy, két, három stb. gúlból álló szerkezetre, az I. táblázatban feltüntetett eredményeket kapjuk (az alaprajzi ábrákon ponttal jelöltük a függőleges támasztórudak helyét):

I. táblázat




Jel:	A szerkezet alaprajza	r			t		r+t	c		3c	A statikai határozatlanság (labilitás) foka:
		felső öv	diagonális	alsó öv	függőleges	vízszintes		felső öv	alsó öv		
a.		6	6	-	6	3	21	6	1	21	határozott
b.		11	12	1	8	3	35	10	2	36	1× labilis
c.		16	18	2	10	3	49	14	3	51	2× labilis
d.		15	18	3	9	3	48	13	3	48	határozott
e.		19	24	5	10	3	61	16	4	60	1× határozatlan
f.		30	42	12	12	3	99	24	7	93	6× határozatlan

Az I. táblázat adataiból az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:

Az egyetlen gúlából álló, a) jelű szerkezet határozott.

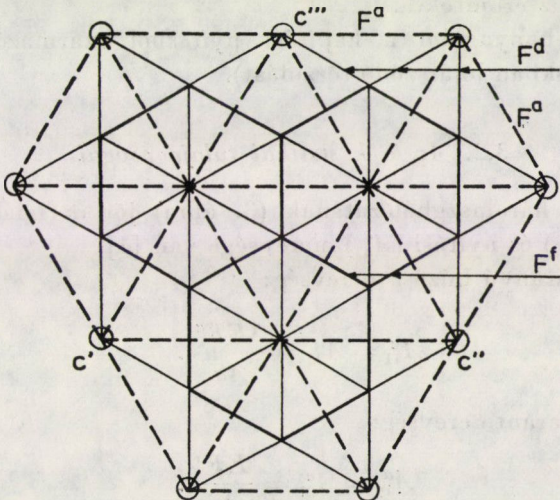
Minden újabb gúla hozzáépítése attól függően változtatja meg a szerkezet határozatlansági fokát, hogy milyen módon csatlakozik a meglévőkhöz. A lehetséges eseteket a II. táblázatban foglaltuk össze.

II. táblázat

A csatlakozás módja:	A határozatlanság fokának megváltozása:
	1-gyel csökken
	1-gyel nő
	3-mal nő

Ezzel tehát szemléletes szerkesztési szabályhoz jutottunk, amellyel elkerülhetjük, hogy labilis szerkezetet tervezzünk (I. táblázat b) és c) esetek).

Röviden megvizsgáljuk még azt az elrendezést, amikor a háromszög-hálózat nyúlik ki a peremre a megtámasztásokig, a hatszögek pedig beljebb kezdődnek (2. ábra). Könnyen belátható, hogy a határozatlanság foka növekszik.



2. ábra

szik ahhoz az esethez képest, amikor a szélső háromszögek elmaradnak és a hatszögek szélső csúcsait támasztjuk meg (I. táblázat d) eset). A 2. ábrán feltüntetett perem-csomópontok közül ugyanis — a c' , c'' , c''' jelűek kivételével — valamennyi három rúddal, azaz statikailag határozott módon kapcsolódik a belső szerkezethez. Az egyenes peremszakaszokon fekvő c' , c'' és c''' csomópontok négy-négy rúddal csatlakoznak, ezek tehát eggyel-eggyel növelik a határozatlanság fokát. Ezenkívül a peremen végigfutó 9 rúd is „felesleges”: ez 9-szeres határozatlanság-növekedést okoz. Mivel a függőleges megtámasztó rudak száma nem változott, a szerkezet statikai határozatlansági foka végül is 12-szeres lesz.

3. A térrács statikai tulajdonságai

3.1. Feltevések

A következőkben olyan térrácsot vizsgálunk, amelynek hálózata szabályos háromszögekből és hatszögekből áll. Valamennyi felső övrúd keresztmetszeti területe F^f , a diagonálisoké F^d , az alsó övrudaké F^a .

Célunk: a térráccsal statikailag egyenértékű kontinuum előállítása. Az egyszerűbb térrács-típusoknál [4] ez olyan lemezt jelentett, amelynek mind húzási (és nyírási), mind hajlítási (és csavarási) merevségei megegyeztek a térrács egységnyi széles szakaszára vonatkoztatott megfelelő merevségeivel. A most vizsgált esetben két körülmény is bonyolítja a helyzetet: egyrészt az alsó és a felső öv különbözősége miatt a hajlítási („lemezszerű”) erőjátékkal együtt mindig fellép az egyik övben egy „kiegészítő síkbeli erőrendszer”, s emiatt az egyenértékű kontinuum nem lehet többé egyszerű, közönséges lemez, másrészt pedig a hatszögekből álló öv önmagában labilis, s ez megkötéseket jelent az erőjátékra.

El fogjuk hanyagolni a hajlítási nyírásból származó alakváltozást (a függőleges síkokban lejátszódó torzulást).

3.2. Az övek statikai tulajdonságai

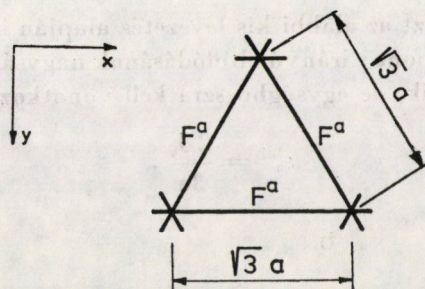
Az alsó öv háromszghálózatának (3. ábra) jól definiált helyettesítő húzási ($A_{11}^a = A_{22}^a$) és nyírási (A_{33}^a) merevsége van [4]:

Az x , ill. y irányú húzási merevség:

$$A_{11}^a = A_{22}^a = \frac{3EF^a}{4a}. \quad (2a)$$

A nyúlási harántmerevség:

$$A_{12}^a = A_{21}^a = \frac{EF^a}{4a}. \quad (2b)$$



3. ábra

A nyírási merevség pedig:

$$A_{33}^a = \frac{EF^a}{4a}. \quad (3)$$

Az alsó öv merevségi mátrixa tehát így írható fel:

$$\mathbf{A}^a = \begin{bmatrix} A_{11}^a & A_{12}^a & 0 \\ A_{12}^a & A_{11}^a & 0 \\ 0 & 0 & A_{33}^a \end{bmatrix}, \quad (4)$$

a merevségi mátrix értelmezése pedig — a szokásos módon, l. [1]-ben —:

$$\mathbf{n} = \mathbf{A}\boldsymbol{\varepsilon}, \quad (5a)$$

ahol

$$\mathbf{n} = \begin{bmatrix} n_x \\ n_y \\ n_{xy} \end{bmatrix} \quad (5b)$$

az övben működő metszeterők vektorba összefoglalt alakja, és

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} \quad (5c)$$

a nyúlások vektorba összefoglalt alakja.

A felső öv hatszög-hálózata labilis: ellenállás nélkül képes a 4. ábrán vázolt háromféle mozgásra.

A 4a ábrán látható deformáció a tiszta nyírásnak megfelelő γ_{xy}^{lab} szög-torzulásnak felel meg, a hatszög-hálózat tehát nem tud n_{xy} nyírást felvenni.

A 4b ábra mozgását az

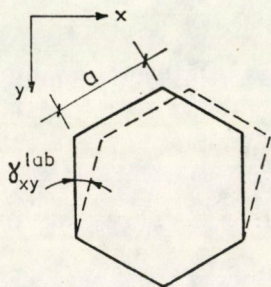
$$\varepsilon_x^{\text{lab}} = -\varepsilon_y^{\text{lab}} \quad (6)$$

összefüggés jellemzi. Ezt az alábbi kis levezetés alapján könnyen beláthatjuk:

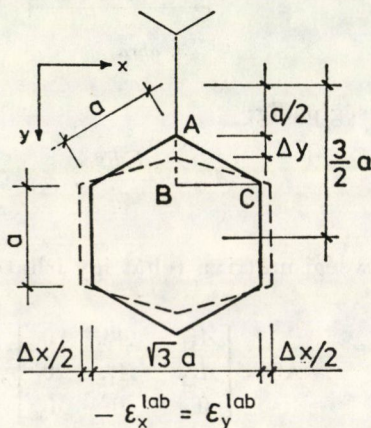
Ha az „A” csúcspont y irányú eltolódásának nagysága Δ_y , akkor — mivel $3a/2$ hosszra vonatkozik, de egységösszra kell vonatkoztatnunk —:

$$\varepsilon_y^{\text{lab}} = \frac{2\Delta_y}{3a}.$$

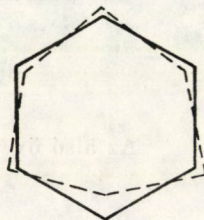
a.



b.



c.



4. ábra

Az ehhez tartozó $\Delta_x/2$ vízszintes elmozdulást a deformált ABC háromszögre felírt Pythagoras-tételből kapjuk meg:

$$a^2 = \left(\frac{a}{2} - \Delta_y\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a + \frac{\Delta_x}{2}\right)^2. \quad (7a)$$

A másodrendűen kicsiny Δ^2 -es tagokat elhagyva, és kivonva az eredeti ABC háromszögre érvényes

$$a^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + \left(\frac{\sqrt{3}}{2}a\right)^2 \quad (7b)$$

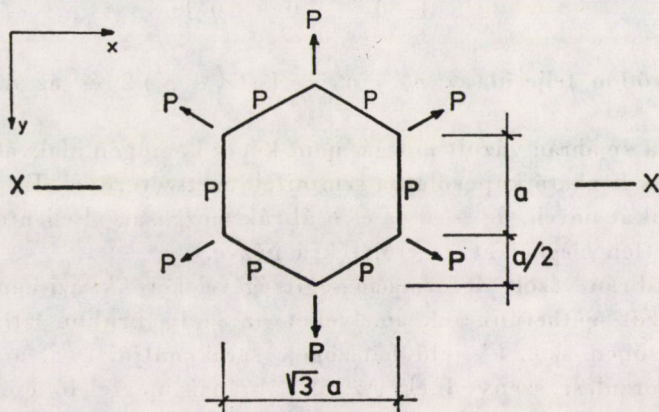
Pythagoras-tételt, azt kapjuk, hogy

$$\Delta_x = \frac{2}{\sqrt{3}}\Delta_y. \quad (8)$$

Mivel Δ_x -et $\sqrt{3}a$ hosszra kell elosztanunk, ezért

$$\varepsilon_x^{\text{lab}} = -\frac{\Delta_x}{\sqrt{3}a} = -\frac{2\Delta_y}{3a} = -\varepsilon_y^{\text{lab}}. \quad (9)$$

Ebből tehát az következik, hogy a hatszög-hálózat csak hidrosztatikussal egyenértékű nyomást (vagy húzást) képes felvenni, amelynél $n_x = n_y$. Erre az erőhatásra viszont jól definiált merevsége van a hálózatnak, amelynek nagysága a következő:



5. ábra

A hidrosztatikus húzás egy hatszögben az 5. ábrának megfelelő erő-játékot jelenti: valamennyi rúdban a sarkokon ható P erővel azonos nagyságú rúderő ébred. Az $x - x$ metszetben tehát egy P rúderő egy $\sqrt{3}a$ hosszúságú szakaszra hat, a neki megfelelő $n_x = n_y$ húzóerő tehát

$$n_x = n_y = \frac{P}{\sqrt{3}a} \quad (10)$$

lesz.

Valamennyi rúd megnyúlása

$$\varepsilon_{rud} = \frac{P}{EF^f}, \quad (11)$$

s ez mind a függőleges, mind a ferde rudakon $\varepsilon_y^{dil} = \varepsilon_{rud}$ nyúlást jelent. (Az x irányú ε_x^{dil} természetesen ugyanekkora.) Így a helyettesítő dilatációs húzási merevség nagysága:

$$A_{dil}^f = \frac{n_x}{\varepsilon_x^{dil}} = \frac{n_y}{\varepsilon_y^{dil}} = \frac{EF^f}{\sqrt{3}a}. \quad (12)$$

A felső öv merevségi mátrixa tehát a teljes $\varepsilon^f = \varepsilon_{lab}^f + \varepsilon_{dil}^f$ nyúlásvektorra vonatkoztatva a következő lesz:

$$A^f = \begin{bmatrix} \frac{A_{\text{díl}}^f}{2} & \frac{A_{\text{díl}}^f}{2} & 0 \\ \frac{A_{\text{díl}}^f}{2} & \frac{A_{\text{díl}}^f}{2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (13)$$

mivel ily módon teljesül az $n_x^f = n_y^f = A_{\text{díl}}^f(\varepsilon_x^f + \varepsilon_y^f)/2$ és az $n_{xy}^f = 0$ követelmény.

Végül a 4c ábrán vázolt mozgás nem képez homogén alakváltozás-mezőt, és így nem is hozható kapcsolatba semmiféle metszeterővel. Ez tehát csupán a labilitás fokát növeli, de — a 4a és b ábrák mozgásaival ellentétben — nem jelent közvetlen megkötést az erőjátékra nézve.

A 4c ábrán vázolt deformáció segítségével két „kvázi-homogén” alakváltozás-mezőt építhetünk fel, amelyeket az 5a, b ábrákon láthatunk. Ezek közül az elsőben az „A” jelű hatszögek sarokpontjai $\pm\beta$, a „B” jelűeké $\pm\beta/2$ szögtorzulást szenvednek. Az 5b ábrának megfelelő esetben viszont a „C” hatszögek megtartják eredeti alakjukat, a „D” jelűek sarokpontjainak szögtorzulása viszont $\pm\beta$. Mind a két esetben a teljes hatszöghálóra nézve: $\varepsilon_x = \varepsilon_y = \gamma_{xy} = 0$.

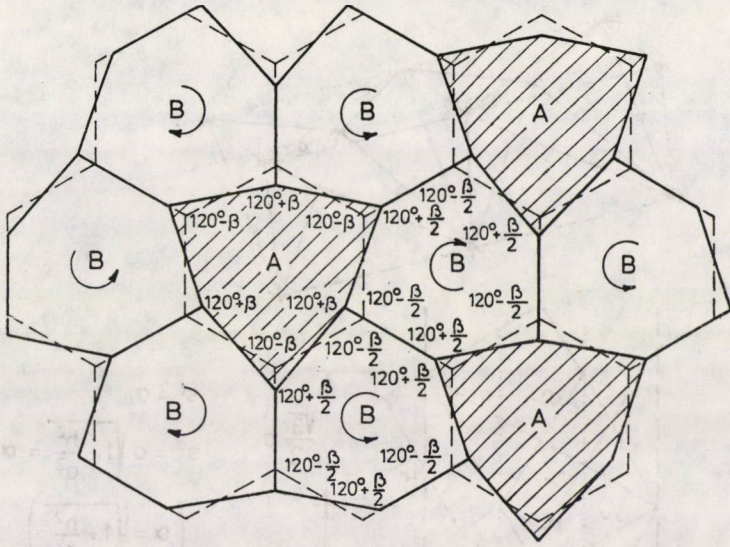
Ezek az alakváltozás-mezők — ellentétben a 4a, b ábráknak megfelelő, homogén alakváltozás-mezőkkel — nem jöhetnek létre az alsó öv, ill. az összekötő rácsoszás rúdjaik megnyúlása nélkül. A 4c ábra alakváltozási lehetősége ezért nem jelent új labilitási formát, amelyet mint megkötést közvetlenül figyelembe kellene vennünk az erőjátékban.

3.3. A csavarási merevséget biztosító „rácsos övek” statikai tulajdonságai

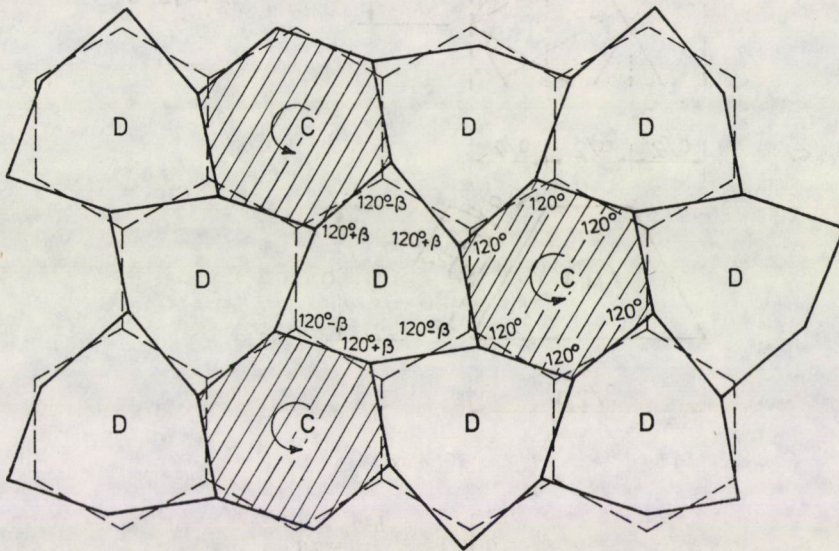
A nyírási merevséggel nem rendelkező, hatszögű felső öv nem tudja felvenni az alsó övben ébredő n_{xy} nyíróerő „párját”, vagyis a csavarónyomaték „másik felét”. Az alsó öv tehát csak a ferde diagonálisokkal alkothat olyan „zárt csöveket”, amelyek csavarási merevséget adnak a szerkezetnek. Vizsgáljuk meg e csöveket statikai szempontból.

A későbbiekből ki fog tűnni, hogy e három cső alakváltozása egymással összeférhető, azaz egyetlen kontinuum alakváltozásait adják meg.

A 7a ábrán megrajzoltuk az egyik irányú alsó övvel párhuzamos rácsos csövet. A pontozással jelölt felső övrudak nincsenek meg a szerkezetben. Ezeket átmenetileg berakjuk a szerkezetbe, de amint látni fogjuk, nem keletkezik bennük a csavarásból rúderő, így nincs rájuk szükség. Az O-val megjelölt diagonálisokban szintén nem ébred rúderő, így ezeket elhagyjuk. Ily módon



a)



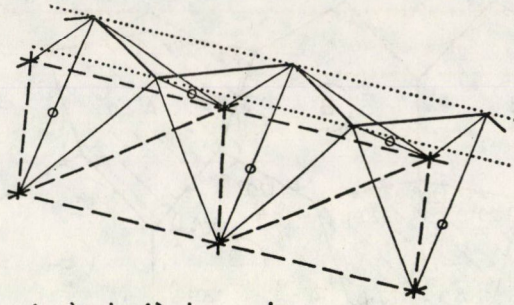
b)

6. ábra

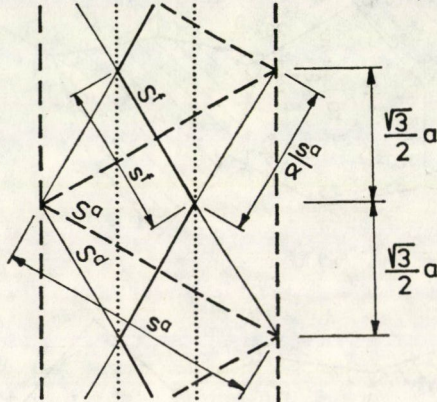
a 7b, c ábrákon vázolt trapéz keresztmetszetű csőhöz jutunk. A későbbiekben szükséges rácsrudak hossza az alábbi:

$$s^J = a, \quad (14a)$$

a.



b.



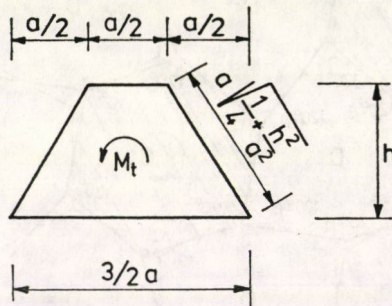
$$s^f = a$$

$$s^d = a \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}} = \alpha a$$

$$\left(\alpha = \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}} \right)$$

$$s^a = \sqrt{3} a$$

c.



7. ábra

$$s^d = a \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}} = \alpha a, \quad (14b)$$

ahol

$$\alpha = \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}}, \quad (15)$$

és

$$s^a = \sqrt{3} a. \quad (14c)$$

Ezeket az ábrán is feltüntették.

A csőre ható M_t csavarónyomaték — a tömörfalú csőszelvényhez hasonlóan — t [kp/cm] nyírófolyamot kelt a keresztmetszetben, a Bredt-képlettel kifejezett egyensúlyi egyenlet szerint

$$t = \frac{M_t}{2F_{\text{trapéz}}} = \frac{M_t}{2ah} \quad (16)$$

intenzitással. Ebből az egyes rácsrudakra akkora erő jut, amelynek a keresztmetszet síkjába eső vetülete a trapéz megfelelő oldalhosszával arányos. Így az egyes rúderők a következőre adódnak:

$$S^f = \pm \frac{a}{a/2} \left(t \frac{a}{2} \right) = \pm \frac{M_t}{2h}, \quad (17)$$

$$S^d = \pm \frac{a \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}}}{a \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{h^2}{a^2}}} \left(ta \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{h^2}{a^2}} \right) = \pm \frac{M_t}{2h} \sqrt{1 + \frac{h^2}{a^2}}, \quad (18a)$$

ill. a (15) jelöléssel:

$$S^d = \pm \frac{\alpha M_t}{2h} = \pm \alpha S^f, \quad (18b)$$

és

$$S^a = \pm \frac{\sqrt{3}a}{\frac{3}{2}a} \left(t \frac{3}{2} a \right) = \pm \frac{\sqrt{3} M_t}{2h} = \pm \sqrt{3} S^f. \quad (19)$$

Az egyes csomópontok csőtengely-irányú egyensúlyának vizsgálata alapján valamennyi övrúderő 0-nak adódik. Hasonlóképpen vakrudak lesznek a 0-val jelölt diagonálisok (7a ábra), amelyeket tehát joggal hagyattunk el.

Ezek után meghatározhatjuk a cső GI_t csavarási merevségét is, amelyet a ϑ fajlagos elcsavarodási szög segítségével a szokásos módon definiálunk:

$$GI_t = \frac{M_t}{\vartheta}. \quad (20)$$

A $\sqrt{3}a/2$ hosszúságú csőszakasz elcsavarodásakor végzett belső-külső saját munkák egyenlősége így írható fel:

$$\frac{1}{2} M_t \left(\frac{\sqrt{3}a}{2} \vartheta \right) = \frac{1}{2E} \left[\frac{(S^f)^2 S^f}{F^f} + 2 \frac{(S^d)^2 S^d}{F^d} + \frac{(S^a)^2 S^a}{F^a} \right]. \quad (21)$$

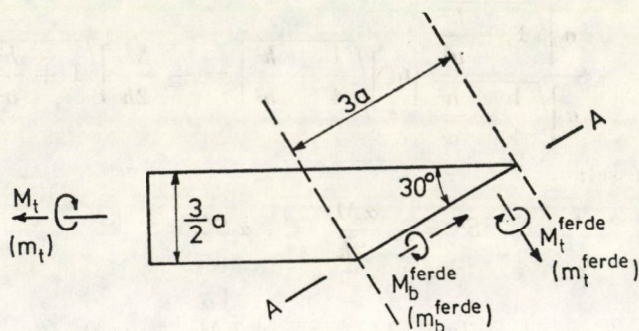
Kifejezve ϑ -t (20), a rúderőket pedig (17), (18b) és (19) segítségével M_t -vel, a rúdhosszakat pedig (14a, b, c) segítségével a -val, a következőt kapjuk GI_t -re:

$$GI_t = \frac{2\sqrt{3}Eh^2}{\frac{1}{F^f} + \frac{2\alpha^3}{F^d} + \frac{3\sqrt{3}}{F^a}}, \quad (22)$$

ahol α -t a (15) képlet értelmezi.

3.4. A térrács csavarási merevsége

Ismerve most már egy cső statikai tulajdonságait, rátérhetünk a három irányb a ilyen, egymást metsző csöveket tartalmazó térbeli rácsszerkezet csavarási merevségének tisztázására.



8. ábra

Először is meghatározzuk a csavart cső 30°-os ferde metszetében (azaz a másik irányú cső merőleges metszetében) ébredő csavaró- és hajlítónyomaték nagyságát (8. ábra). Az egyensúlyi egyenletekből

$$M_t^{\text{ferde}} = \frac{M_t}{2} \quad (23a)$$

és

$$M_b^{\text{ferde}} = \frac{\sqrt{3}}{2} M_t \quad (23b)$$

adódik, amit a 9. ábra szerint átvágott keresztmetszet rúderői ki is adnak.

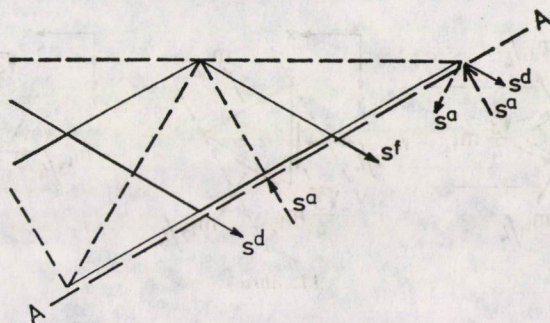
A továbbiakban a szerkezet egységnyi szélességére jutó, fajlagos belső erőkkel kell dolgoznunk. A csőre merőleges metszetben ez

$$m_t = \frac{2M_t}{3a} \quad (24)$$

nagyságú (8. ábra). A ferde metszet hossza pedig kétszer akkora lévén, mint a merőleges metszet hossza, a fajlagos nyomatékok az alábbiak:

$$m_t^{\text{ferde}} = \frac{m_t}{4}, \quad (25a)$$

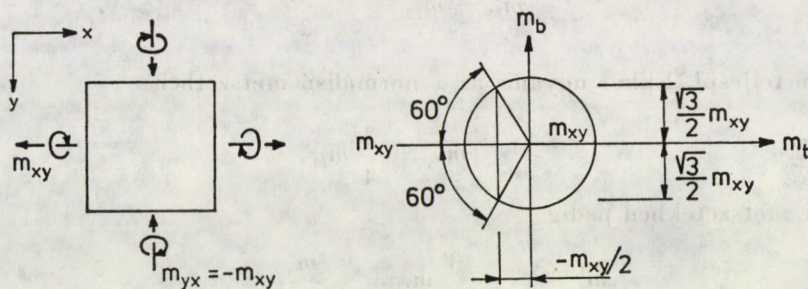
$$m_b^{\text{ferde}} = \frac{\sqrt{3}}{4} m_t. \quad (25b)$$



9. ábra

a.

b.



10. ábra

Ezen adatok birtokában előállítjuk azt az erőjátékot, amely a lemez-szerkezetek csavarásának alapesete (10a ábra).

Mind a három irányú csőről tudjuk most már, hogy m_t fajlagos csavarónyomatékkal terhelve őket, mekkora nyomatékok ébrednek a másik két csőre merőleges metszethen. A 10a ábra erőjátékáról pedig azt tudjuk, hogy a ferde metszethen keletkező nyomatékok nagysága Mohr-körrel ábrázolható (10b ábra), a ferde csövekre merőleges metszethen tehát

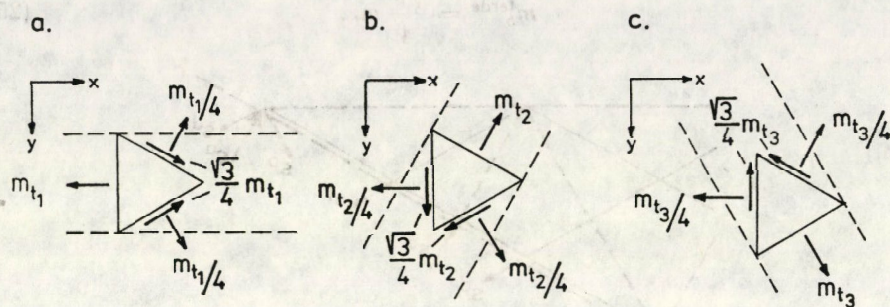
$$m_t^{\text{ferde}} = -\frac{m_{xy}}{2}, \quad (26a)$$

ill.

$$m_b^{\text{ferde}} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} m_{xy} \quad (26b)$$

nyomatékok működnek.

A 11. ábrán feltüntettük mind a három irányú cső merőleges és két ferde metszetét, a bennük ébredő nyomatékokkal. Feladatunk az alábbi: úgy kell meghatároznunk most a csövek merőleges metszetére ható m_{t1} , m_{t2} , m_{t3} csavarónyomatékokat, hogy a három „elemi” erőjáték összege a 10. ábra erőjátékát adja ki.



11. ábra

Könnyen igazolható, hogy ez a követelmény az

$$m_{t2} = m_{t3} = -\frac{m_{t1}}{2} \quad (27)$$

esetben teljesül. Ekkor ugyanis az x normálisú metszetben

$$m_{xy} = \frac{3}{4} m_{t1}, \quad (28)$$

a ferde metszetekben pedig

$$m_t^{\text{ferde}} = -\frac{3}{8} m_{t1} = -\frac{m_{xy}}{2} \quad (29a)$$

és

$$m_b^{\text{ferde}} = \pm \frac{3\sqrt{3}}{8} m_{t1} = \pm \frac{\sqrt{3}}{2} m_{xy} \quad (29b)$$

ébred, ami megfelel a 10b ábrának.

A szerkezet alakváltozását már most a három cső tiszta elcsavarodásából kell összeraknunk, amelyet sorban az m_{t1} , m_{t2} és m_{t3} fajlagos csavarónyomatékok okoznak.

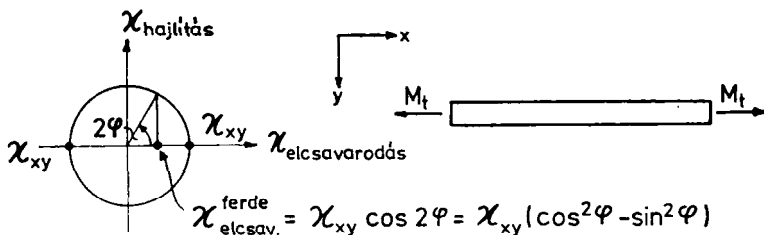
Egy cső tiszta elcsavarásából, melyet a két végén ható csavarónyomaték okoz, a csövet tartalmazó lemezben a következő deformáció-mező származik (12. ábra): a csőtengelyre merőleges metszetben κ_{xy} , az erre 90°-os metszetben $\kappa_{yx} = -\kappa_{xy}$, a csőkeresztmetszettel φ szöget bezáró ferde metszetekben pedig az ábráról leolvashatóan:

$$\kappa_{\text{elcsav}}^{\text{ferde}} = \kappa_{xy} \cos 2\varphi = \kappa_{xy} (\cos^2\varphi - \sin^2\varphi). \quad (30)$$

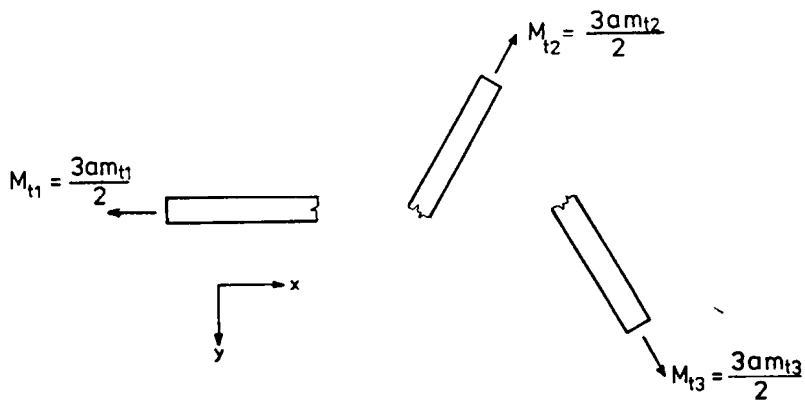
Mindez abból következik, hogy $\kappa_{xy} = \partial^2 w / (\partial x \partial y)$, ahol w a függőleges irányú lehajlás.

Ezek alapján a szerkezetet alkotó három cső csavarásából (13. ábra) az x normálisú metszetben

$$\kappa_{xy} = \frac{M_{t1}}{GI_t} + \frac{M_{t2} + M_{t3}}{GI_t} (\cos^2 60^\circ - \sin^2 60^\circ), \quad (31a)$$



12. ábra



13. ábra

az y normálisú metszetben pedig

$$\kappa_{yx} = -\frac{M_{t1}}{GI_t} + \frac{M_{t2} + M_{t3}}{GI_t} (\cos^2 30^\circ - \sin^2 30^\circ) \quad (31b)$$

elcsavarodás keletkezik. Behelyettesítve GI_t -nek (22) szerinti értékét, figyelembe véve, hogy

$$M_{ti} = \frac{3am_{ti}}{2} \quad (32)$$

és kifejezve m_{ti} -ket (27) és (28) segítségével m_{xy} -nal, megkapjuk az elcsavarodásokat a lemezben ténylegesen ható m_{xy} fajlagos csavarónyomatékkal kifejezve:

$$\kappa_{xy} = -\kappa_{yx} = \frac{m_{xy}}{B_{33}}, \quad (33)$$

ahol B_{33} a „lemezszerű” csavarási merevség, amely egy cső (22) szerinti GI_t csavarási merevségének egységnyi szélességű sávra jutó ($3a/2$ -vel osztott) értékének a fele:

$$B_{33} = \frac{1}{2} \frac{GI_t}{\frac{3}{2}a} = \frac{Eh^2}{a} \frac{F^a}{\frac{\sqrt{3}F^a}{2F^f} + \sqrt{3} \left(1 + \frac{h^2}{a^2}\right)^{3/2} \frac{F^a}{F^d} + \frac{9}{2}}. \quad (34)$$

4. A kontinuum-egyenletek levezetése

4.1. Alapelvek

Az egyenletek felírásához az [1] irodalomban leírt elvet fogjuk követni, mégpedig a következő módon:

Az első lépésben a felső övsík merevségét (13) vesszük alapul, az alsó övsík (4) merevségi mátrixát pedig felbontjuk egy, a felsőével arányos elemekből álló (I. jelű) és egy maradék (II. jelű) részre. Ez az I. rész a felső övsík merevségi mátrixával együtt a w_1 lehajlás folytán egy hajlítási („lemezszerű”) erőjátékot hoz létre.

Ez a w_1 alakváltozás tartalmazza a felső öv 4a és 4b ábrán vázolt deformációihoz tartozó labilis alakváltozásokat is. E labilis alakváltozás-részeket természetesen nem lehet közvetlenül összefüggésbe hozni az erőjátékkal. Így ezeket nem maga a hajlítási erőjátékot leíró differenciálegyenlet szabja meg, hanem a peremek megtámasztása (amely a 2. pontban mondottak szerint megszünteti a labilitást), és az összeférhetőségi követelmény. A labilis alakváltozás-részt tehát csak a helyettesítő kontinuum differenciálegyenlet-rendszerének a peremfeltételeket is figyelembe vevő megoldása határozza meg egyértelműen.

Az a körülmény, hogy a csavarási merevséget nem az alsó és a felső övsík nyírási merevsége szolgáltatja (mert a felső övnek nincs ilyen merevsége), hanem a 3.3–3.4. pontokban leírt „csövek”, még egy megfontolást tesz szükségessé. Az alsó övsík merevségeinek felbontását úgy célszerű elvégeznünk, hogy az I. merevségi rész és a felső övsík merevségei az alsó övsíkban a csövekből számítható $\gamma_{xy,1}^a$ nyírási alakváltozással összeférhető alakváltozás-rendszert adjanak. Ez az 1. jelű, „lemezszerű” (hajlítási) erőjáték-rész.

Az alsó öv „maradék” merevségi mátrixa miatt azonban II. jelű többleterők lépnek fel az alsó övben, amelyeknek a felső övben nincs párjuk, tehát kiegyensúlyozatlanok. Az egyensúly helyreállításához egy 2. jelű, kiegészítő síkbeli erőrendszernek kell ébrednie az alsó övben: ez adja az erőjáték második, „tárcsaszerű” részét.

4.2. Az alsó övsík merevségeinek célszerű felbontása

A trapézkeresztmetszetű csövek alsó síkjában a csavarásból keletkező $\gamma_{xy,csav}^a$ szögtorzulást a 2.2–3.4. pontokban mondottak alapján számíthatjuk ki. „Csőszerű” (csak m_{t1} -ből álló) csavarás esetében a nyírófolyam nagysága a (16) képletnek megfelelően:

$$t_1 = \frac{\frac{3}{2} am_{t1}}{2ah}. \quad (36)$$

„Lemezszzerű” (m_{xy} és m_{yx} okozta) csavarás esetében (27) és (28) szerint a három csőben $m_{t1} = -2 m_{t2} = -2 m_{t3} = 4/3 m_{xy}$ működik, amelyek (3)-at is figyelembevéve, az első csőben

$$\gamma_{xy,1} = \frac{t_1}{A_{33}^a} = 4 \frac{a}{h} \frac{m_{xy}}{EF^a}, \quad (37a)$$

a második és a harmadik csőben pedig:

$$\gamma_{\xi\eta,2} = \gamma_{\xi\eta,3} = -2 \frac{a}{h} \frac{m_{xy}}{EF^a} \quad (37b)$$

szögtorzulást okoznak. Ezeket a (31a) képletnek megfelelően összegezzük:

$$\gamma_{xy,csav}^a = 6 \frac{a}{h} \frac{m_{xy}}{EF^a}. \quad (37c)$$

Ez a szögtorzulás akkor lesz összeférhető a hajlítási nyúlásokkal, ha mindegyiket a lemezelmélet ismert $h^a \cdot L_1 w_1$ kifejezésével számíthatjuk a hajlítási erőjáték-rész w_1 lehajlásából (L_1 jelentését l. alább). Ez tehát azt kívánja meg, hogy

$$\gamma_{xy,csav}^a = h^a \cdot 2 \frac{\partial^2 w_1}{\partial x \partial y} = h^a \cdot 2\kappa_{xy} \quad (38a)$$

legyen (h^a jelentését l. a 14. ábrán). Figyelembevéve a (33) összefüggést, ebből

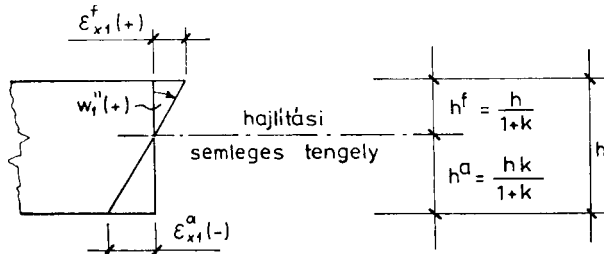
$$h^a = \frac{3aB_{33}}{hEF^a} = \frac{h}{\frac{F^a}{2\sqrt{3}F^f} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{h^2}{a^2}\right)^{3/2} \frac{F^a}{F^a} + \frac{3}{2}} \quad (38b)$$

adódik, amiből megkaphatjuk a felső és az alsó övsík A_1^f és A^a merevségi mátrixainak szükséges k arányát, amelyet az

$$A_1^f = kA^a \quad (39a)$$

összefüggéssel definiálunk. Így tehát

$$k = \frac{h^a}{h - h^a} = \frac{1}{\frac{F^a}{2\sqrt{3}F^f} + \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{h^2}{a^2}\right)^{3/2} \frac{F^a}{F^a} + \frac{1}{2}} \quad (39b)$$



14. ábra

4.3. Az egyenletek felírása

A „lemezszerű”, 1. jelű erőjáték-részhez a hajlított lemez ismert [3] differenciálegyenletét az

$$L_1 = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial y^2} \\ 2 \frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \end{bmatrix} \quad (40)$$

és

$$\mathbf{m} = \begin{bmatrix} m_x \\ m_y \\ m_{yx} \end{bmatrix} \quad (41)$$

vektor-szimbólumok segítségével az

$$L_1^* \mathbf{m} = -p \quad (42)$$

alakban írjuk fel.

A nyomatékoknak a w_1 hajlítási lehajlással való kifejezéséhez a hajlítási merevségi mátrixot az A^f (13) és az

$$A_1^a = \frac{1}{k} A^f \quad (43)$$

(vö. (39b)-vel) húzási mátrixokból előállított

$$B_b = \frac{h^2}{1+k} A^f \quad (44)$$

hajlítási és a „csőszerű” csavarási merevséget tartalmazó

$$B_t = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{B_{33}}{2} \end{bmatrix} \quad (45)$$

csavarási matrix összege szolgáltatja. A B_{33} elemet (34) szabja meg. Az $1/2$ -es szorzó az L_1 harmadik elemében szereplő 2 -es faktor kompenzálására szükséges, mivel a nyomatékokat w_1 -el az alábbiak szerint fejezzük ki:

$$m = - (B_a + B_t) L_1 w_1. \quad (46)$$

Ezt behelyettesítve (42)-be, megkapjuk a hajlított lemez egyensúlyi egyenletét a w_1 lehajlással kifejezve:

$$L_1^* (B_b + B_t) L_1 w_1 = p. \quad (47)$$

Az alsó övben fellépő kiegészítő síkbeli erőrendszert, amely az erőjáték 2. részét képezi, az alábbi megfontolással kapjuk meg:

A w_1 hajlítási lehajlásból származó belső erők közül eddig csupán az alsó öv I. jelű A_1^a (43) merevségi mátrixának és a „csőszerű” csavarási merevségnek megfelelő erőket vettük figyelembe. E csavarási erők tulajdonképpen az alsó öv A_{33}^a (3) nyírási merevsége folytán ébredő erőket jelentik. Így az alsó öv II. jelű „maradék” merevségi mátrixa, amelynek megfelelő belső erők figyelembevétele még hátra van, az alábbi lesz:

$$A_{11}^a = A^a - (A_1^a + A_t^a), \quad (48)$$

ahol

$$A_t^a = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & A_{33} \end{bmatrix}. \quad (49)$$

A w_1 lehajlásból az alsó övben a 14. ábra szerint az (5c) értelmezésnek megfelelő

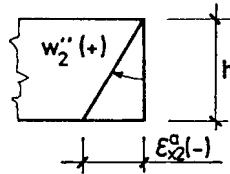
$$\varepsilon_1^a = -\frac{hk}{1+k} L_1 w_1 \quad (50)$$

nyúlások [1], s ebből, (48)-at és (43)-at figyelembe véve:

$$\mathbf{n}_{111}^a = \mathbf{A}_{11}^a \varepsilon_1^a = -\frac{hk}{1+k} \left(\mathbf{A}^a - \frac{1}{k} \mathbf{A}^f - \mathbf{A}_f^a \right) L_1 w_1 \quad (51)$$

kiegyensúlyozatlan belső erők ébrednek. Az egyensúly helyreállításához egy

$$\mathbf{n}_2^a = \mathbf{A}^a \varepsilon_2^a \quad (52)$$



15. ábra

síkbeli erő- és alakváltozás-rendszernek kell keletkeznie. Ez, mivel nem okoz nyúlásokat a felső övben, a 15. ábra szerint így fejezhető ki az általa okozott w_2 lehajlásokkal [1]:

$$\varepsilon_2^a = -h L_1 w_2. \quad (53)$$

Az $(\mathbf{n}_{111}^a + \mathbf{n}_2^a)$ erőrendszer egyensúlyát ismeretes módon egy, az alábbi módon megválasztott Φ feszültségfüggvény bevezetésével biztosíthatjuk:

$$L_2 \Phi = \mathbf{n}_{111}^a + \mathbf{n}_2^a, \quad (54)$$

ahol az L_2 differenciáloperátor jelentése:

$$L_2 = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial y^2} \\ \frac{\partial^2}{\partial x^2} \\ -\frac{\partial^2}{\partial x \partial y} \end{bmatrix}. \quad (55)$$

Az egyensúlyt így biztosítottuk, de Φ -nek még ki kell elégítenie az

$$L_2^* \varepsilon_2^a = 0 \quad (56)$$

összeférhetőségi egyenletet. Mivel Φ az \mathbf{n}_2^a erőrendszeren kívül az \mathbf{n}_{111}^a erőrendszert is tartalmazza, amely viszont egy eleve összeférhető hajlítási alakváltozásból származik, az ez utóbbinak megfelelő alakváltozásokat le kell vonnunk a Φ -vel kifejezett alakváltozásokból, hogy megkapjuk ε_2^a -t. Az (52) és (54) összefüggések alapján:

$$\varepsilon_2^a = (\mathbf{A}^a)^{-1} \mathbf{n}_2^a = (\mathbf{A}^a)^{-1} (L_2 \Phi - \mathbf{n}_{111}^a). \quad (57)$$

Ezt (56)-ba helyettesítve és (51)-et is figyelembe véve:

$$L_2^* (\mathbf{A}^a)^{-1} \left[L_2 \Phi + \frac{hk}{1+k} \left(\mathbf{A}^a - \frac{1}{k} \mathbf{A}^f - \mathbf{A}_t^a \right) L_1 w_1 \right] = 0. \quad (58)$$

A (47) és (58) differenciálegyenlet-pár — a peremfeltételekkel együtt — meghatározza a w_1 és Φ függvényeket, azaz a teljes erőjátékot. A peremfeltételeket azonban csak a teljes w lehajlásra tudjuk megadni, amely a w_1 hajlítási lehajlás és a kiegészítő síkbeli erőjátékból az (53) szerint keletkező w_2 lehajlás összege:

$$w = w_1 + w_2. \quad (59)$$

Ki kell tehát fejeznünk a két egyenletben szereplő w_1 -et (illetve az $L_1 w_1$ kifejezést) a teljes w lehajlással. (59) mindkét oldalát L_1 -gyel szorozzuk:

$$L_1 w = L_1 w_1 + L_1 w_2. \quad (60)$$

(53)-at, (57)-et és (51)-et figyelembe véve:

$$\begin{aligned} L_1 w_2 &= -\frac{1}{h} \varepsilon_2^a = -\frac{1}{h} (\mathbf{A}^a)^{-1} (L_2 \Phi - \mathbf{n}_{111}^a) = \\ &= -\frac{1}{h} (\mathbf{A}^a)^{-1} \left[L_2 \Phi + \frac{hk}{1+k} \left(\mathbf{A}^a - \frac{1}{k} \mathbf{A}^f - \mathbf{A}_t^a \right) L_1 w_1 \right]. \end{aligned} \quad (61)$$

(61)-et behelyettesítjük (60)-ba, \mathbf{A}^a -val szorzunk és kifejezzük $L_1 w_1$ -et:

$$L_1 w_1 = (1+k) (\mathbf{A}^a + \mathbf{A}^f + k \mathbf{A}_t^a)^{-1} \left(\mathbf{A}^a L_1 w + \frac{1}{h} L_2 \Phi \right). \quad (62)$$

Ezt behelyettesítve (47)-be és (58)-ba, megkapjuk a w -t és Φ -t tartalmazó differenciálegyenlet-párt:

$$(1+k) L_1^* (\mathbf{B}_b + \mathbf{B}_t) (\mathbf{A}^a + \mathbf{A}^f + k \mathbf{A}_t^a)^{-1} \left(\mathbf{A}^a L_1 w + \frac{1}{h} L_2 \Phi \right) = p, \quad (63a)$$

$$L_2^* (\mathbf{A}^a)^{-1} \left[L_2 \Phi + h(k \mathbf{A}^a - \mathbf{A}^f - k \mathbf{A}_t^a) (\mathbf{A}^a + \mathbf{A}^f + k \mathbf{A}_t^a)^{-1} \left(\mathbf{A}^a L_1 w + \frac{1}{h} L_2 \Phi \right) \right] = 0. \quad (63b)$$

5. Peremfeltételek

A szabadon támaszkodó (csuklós) perem feltételi egyenletei a következők (ha a perem az x tengellyel párhuzamos):

$$\text{zérus a lehajlás:} \quad w = 0, \quad (64a)$$

$$\begin{aligned} \text{zérus a peremre merőleges} \\ \text{hajlítónyomaték:} \quad m_y = 0, \end{aligned} \quad (64b)$$

$$\begin{aligned} \text{az alsó övben zérus a peremre} \\ \text{merőleges (vízszintes) membrán-nyíróerő:} \\ n_{y1II}^a + n_{y2}^a = 0, \end{aligned} \quad (64c)$$

$$\begin{aligned} \text{az alsó övben zérus a membrán-nyíróerő:} \\ n_{xy1II}^a + n_{xy2}^a = 0. \end{aligned} \quad (64d)$$

Ezeket ugyancsak w és Φ segítségével kell kifejeznünk. (64b)-hez a nyomtérvektort (46) és (62) felhasználásával írjuk fel:

$$\mathbf{m} = -(1+k)(\mathbf{B}_o + \mathbf{B}_t)(\mathbf{A}^a + \mathbf{A}^f + k\mathbf{A}_t^a)^{-1} \left(\mathbf{A}^a L_1 w + \frac{1}{h} L_2 \Phi \right). \quad (64b^*)$$

A (64c)-hez és (64d)-hez szükséges erővektort (54) alapján közvetlenül ki tudjuk fejezni Φ -vel:

$$\mathbf{n}_{1II}^a + \mathbf{n}_2^a = L_2 \Phi. \quad (64c^*)$$

(64d)-hez megjegyezzük, hogy (51) és (48) szerint \mathbf{n}_{1II}^a nyírókomponense azonosan egyenlő 0-val.

Ferde peremekre a megfelelő elforgató transzformációk képleteivel írhatjuk fel a peremfeltételeket.

6. A rúderők meghatározása a kontinuum metszeterőiből

A kontinuum belső erőit az eddig elmondottak alapján számíthatjuk át rúderökké.

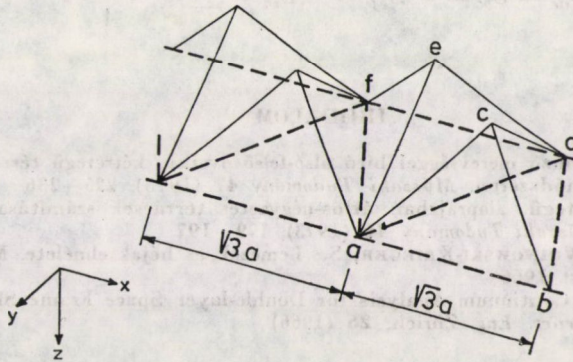
A két irányban ébredő hajlítónyomaték nagysága mindig azonos ($m_x = m_y$), így az

$$n_x^f = -\frac{m_x}{h} \quad (65)$$

összefüggéssel kiszámított derékerőből a (10) képlet alapján kaphatjuk meg a felső övben ébredő P rúderőt.

Az $m_{xy} = -m_{yx}$ csavarónyomatékot a 3.4. pontban mondottak szerint a három csőre ható m_{t1} , m_{t2} , m_{t3} csavarónyomatéokra kell felbontanunk a (27)–(28) képletek szerint, az egyes csövekben belőlük keletkező rúderőket pedig a (17)–(19) képletek segítségével, figyelembe véve, hogy az egy teljes csőre ható M_t a (24) képlet szerint függ össze a fajlagos m_t csavarónyomatékkal.

Az alsó övben ébredő, Φ -vel (54) szerint meghatározott kiegészítő síkbeli erőrendszer rúderőit [4] szerint számíthatjuk ki.



16. ábra

A fajlagos nyíróerőket az irodalomból [3] ismert

$$q_x = \frac{\partial m_x}{\partial x} + \frac{\partial m_{yx}}{\partial y}, \quad (66a)$$

$$q_y = \frac{\partial m_y}{\partial y} - \frac{\partial m_{xy}}{\partial x} \quad (66b)$$

kifejezések szolgáltatják. A diagonálisokban ezekből keletkező rúderőket a leg-egyszerűbb a 6. ábra rácsos csövén szemlélettel megállapítani.

Ha a csövet az x tengellyel párhuzamosnak tekintjük (1. ábra), akkor az egy cső $3a/2$ szélességére jutó $3aq_x/2$ nyíróerőt két ferde rácsozat veszi fel. A függőleges vetületi egyenletből azt kapjuk, hogy bennük a nyírásból

$$S^d = \pm \frac{h}{s^d} \frac{3aq_x}{4} \quad (67)$$

rúderő keletkezik. (Az s^d rúdhosszat a (14b) egyenlet adja meg.)

A rá merőleges y irányban kétféle rúd-alakzat viszi át a nyíróerőt (16. ábra): az $ac-bc-cd$ és az $ae-ef-ed$, amelyek egymásnak tükörképei. Mind a kettő $\sqrt{3}a$ távolságonként ismétlődik. A cd és az ae rudak az 1. ábra

szerinti yz síkba esnek, ezek tehát egyedül viselik a nyíróerőből az alakzatra jutó részt, az $ac-cb$ és az $ef-ed$ rúdpárokra viszont — szimmetrikusak lévén az yz síkra — csak feleakkora nyíróerő-rész jut. Így ismét a függőleges vetületi egyenletből

$$S_{cd} = -S_{ae} = \pm \frac{h}{s^d} \frac{\sqrt{3}aq_y}{2} \quad (68a)$$

és

$$S_{ac} = S_{bc} = -S_{ef} = -S_{ed} = \pm \frac{h}{s^d} \frac{\sqrt{3}aq_y}{4} \quad (68b)$$

adódik.

IRODALOM

1. KOLLÁR L.: Különböző merevséggel bíró alsó-felső övsíkú, kétrétegű térrácsok számítása a kontinuum-módszerrel. *Műszaki Tudomány* 47 (1973), 225—236
2. KOLLÁR L.: Kétrétegű, alaprajzban átlós-négyzetes térrácsok számítása a kontinuum-módszerrel. *Műszaki Tudomány* 46 (1973), 179—197
3. TIMOSHENKO, S. — WOJNOWSKI-KRIEGER, S.: Lemezek és héjak elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1966
4. WRICHT, D. T.: A Continuum Analysis for Double-layer Space Frame Shells. *Publ. Int. Ass. Bridge Struct. Eng. Zürich*, 26 (1966)

Investigation of the Double Layered Spatial Gridwork with a Network "Hexagon over Triangle" with the Aid of the Method of Continua. The author investigates firstly the conditions of the statical determinacy of the double layered spatial gridwork "hexagon over triangle", then defines the static consequences due to the instability of the chord consisting of hexagons. Hereafter, he establishes the static characteristics of the "lattice tubes" providing the torsional stiffness. On this basis, the set of differential equations of the continuum equivalent with the spatial gridwork will be deduced and, finally, the equations of the boundary conditions as well as the calculation of the axial forces of the bars from the section forces of the continuum are described.

Untersuchung des zweischichtigen Raumbachwerkes mit einem Netz von »Sechseck über Dreieck« mit Hilfe des Kontinuumverfahrens. Erstens werden die Vorbedingungen der statischen Bestimmtheit des doppelschichtigen Raumbachwerkes mit »Sechseck über Dreieck« untersucht, dann die sich aus der Instabilität des Sechsecken zusammengestellten Gurtes ergebenden statischen Konsequenzen definiert. Nachdem werden die statischen Kennwerte der »Fachwerkrohre« ermittelt, die die Verdrehungssteifheit sichern; im folgenden wird das System der Differentialgleichungen des mit dem Raumbachwerk äquivalenten Kontinuums abgeleitet, schließlich werden die Randbedingungsgleichungen und die Berechnung der Stabkräfte aus den Schnittkräften des Kontinuums dargestellt.

NÉGYSZÖG ALAPRAJZÚ, RÖVIDEBB OLDALAIN RÉSZLEGESEN MEGTÁMASZTOTT, EGYIK HOSSZABB OLDALÁN SZABAD, A MÁSIKON GERENDÁVAL MEREVÍTETT LEMEZ ERŐTANI VIZSGÁLATA

SEBŐK FERENC*

és

FARAGÓ KÁLMÁN**

[Beérkezett 1975. június 30-án]

A címben foglalt felületszerkezet a panelos épületek előregyártott erkély-elemének statikai modellje. Ennek számítása ma közelítőleg, a mellvéd merevítő hatásának figyelembevétele nélkül történik. A tanulmány a feladat megoldására a differenciálmódszert alkalmazza, és ennek során levezeti a merevített peremen fekvő pontokra, illetőleg a merevített és a szabad perem sarokpontjára vonatkozó „súlyozási mintá”-kat. Az eljárás alapján gépi program készült, amely lehetővé tette a bordamagasság, az oldal-arányok, valamint az előreugró konzol hatásának elemzését a nyomatékok és a támaszerők eloszlására.

1. Bevezetés

A nagytáblás magasépületek egyik nehezen kialakítható eleme az erkély. A magyar gyakorlat rendszeren az oldalfalakkal egybeépült, loggiás megoldást alkalmaz. Jobb benapozás és változatosabb homlokzat érhető el ezzel szemben, ha az erkélylemez a faltábláktól független. A konzolosan előreugró szerkezet gazdaságosabb, ha figyelembe vesszük a mellvéd merevítő hatását.

2. Statikai modell

A kialakuló lemezművet olyan, derékszögű négyszög alakú lemezként tárgyaljuk, amelynek egyik, hosszanti szegélyét keresztirányú nyomaték felvételére is alkalmas módon borda merevíti (1. ábra).

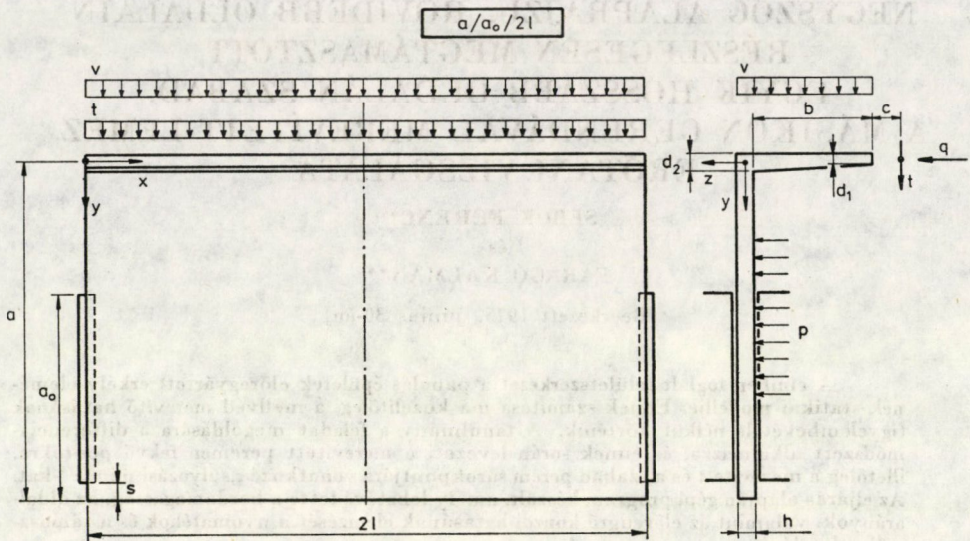
Feltételezzük, hogy a lemez a rövidebb oldalak egy-egy szakasza mentén fekszik fel. Kikötjük, hogy a szerkezet az alátámasztásokról sehol sem emelkedhetik fel, mert a föléje kerülő faltábla leszorítja.

Mivel a szerelés pontatlansága miatt általában számolni kell azzal az eshetőséggel, hogy a lemez túlnyúlik a támaszon, eleve abból indulunk ki, hogy az erkély hátrafelé is rendelkezik egy rövid, s hosszúságú konzollal. E feltevés számítástechnikai szempontból is előnyös, mert megkönnyíti a sarokpontra vonatkozó peremfeltételek megfogalmazását.

A lemez hátsó, hosszabb széle a szokásos panelrendszereknek megfelelően szabad.

* Dr. Sebők Ferenc BME Vasbetonszerk. Tanszék. 1111 Budapest, Stoczek u. 2.

** Faragó Kálmán 43. ÁÉV, 1117 Budapest, Dombóvári út 17–19.



1. ábra

Vizsgálatainkat a geometriai viszonyok, valamint a teher teljes szimmetriája miatt elegendő az erkély egyik felére kiterjeszteni.

3. Korábbi kutatások

A leírt szerkezet két vonatkozásban tér el a vasbetonstatika szokásos feladataitól [2]. Mindenekelőtt részleges megtámasztásról van szó, amelynek vizsgálata csak a legutóbbi időkben került előtérbe [4, 6]. A viszonyokat tovább bonyolítja, hogy a merev szegélybordával való együttműködés újszerű peremfeltételt jelent [8].

A megerősített felületszerkezetek irodalma meglepően gyér. A kérdés magas szintű tárgyalását adja SZAVIN [7], míg STIGLAT disszertációjában [5] a hagyományos utat követi. Az angol nyelvű irodalom többnyire WOOD könyvének [10] egy fejezetére hivatkozik. Az előbbiektől eltérő eljárást ismertet BERGFELDER [1], aki a bochumi egyetemen végzett kutatásait az energia-minimum elvére alapozta. A feladat időszerűségét mutatja KAUFFMANN [3] hasonló tanulmánya is. A hivatkozott munkák egyike sem ad azonban a szóban forgó, szegélybordával merevített, konzolos szerkezet megoldására közvetlenül alkalmazható módszert, és még kevésbé rögzítenek annak célszerű kialakítására vonatkozó irányelveket.

A mai mérnöki gyakorlat az igénybevételeket általában a Rüsche-féle táblázatok alapján határozza meg. Törzstartóként a konzol nélküli lemez-

szakaszt szokás választani, amelyre a konzol, illetőleg a mellvéd egyenletesen megoszló nyomatókat fejt ki. Nyilvánvaló, hogy ez a módszer csak durva közelítésnek tekinthető, hiszen sem az alátámasztás végén fellépő szingularitással, sem a szegélyborda merevítő hatásával nem számol. Az elhanyagolások miatt a számítás eredményei így kétséges értékűek, és nagyobb pontosság igénye esetén csak modellkísérletek visznek célhoz. Ezen a területen megkülönböztetett figyelmet érdemelnek azok a kutatások, amelyeket VISONTAI J. a BME Acélszerkezetek Tanszéken a Duna Intercontinental szálló tervezésével kapcsolatban végzett [9].

4. A vizsgálat módszere

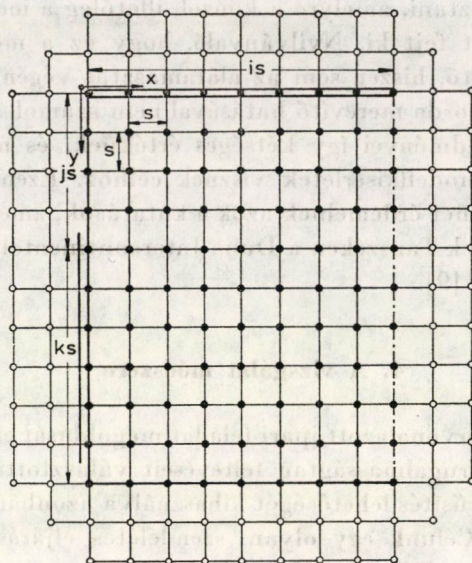
A fentiekben körvonalazott ipari feladat megoldását elméleti úton kívántuk elérni. Alapul a rugalmasságtan feltevéseit választottuk, a szabályzatok által nyújtott egyszerűsítés lehetőségét kihasználva azonban a keresztkontrakciót elhanyagoltuk. Célunk egy olyan, szemléletes eljárás kidolgozása volt, amely nem lépi túl az építőipari vállalatok által könnyen hozzáférhető számítógépek lehetőségeit.

Eredeti elképzelésünk az volt, hogy a feladatot a lemezelmélet klasszikus módszere szerint, végtelen trigonometrikus és hiperbolikus sorok segítségével oldjuk meg. A matematikailag egzakt eljárás azonban nem vezetett eredményre, aminek okát az alátámasztás végén jelentkező szingularitásban látjuk.

Alkalmazásra végül is a differencia-módszer került. A lemezre ekvidisztáns hálót fektettünk, amelynek i , j és k osztásközeinek számát a geometriai adatok, illetőleg a szabadon felvehető s méret egyértelműen meghatározták (2. ábra).

Ismeretlenek a kialakuló csomópontok w függőleges lehajlását tekintettük. Mivel minden egyes csomópontokra a lemezegyenlet, illetőleg a peremfeltételek véges differenciákkal való kifejezése révén egy meghatározó egyenletet lehetett levezetni, végeredményben a csomópontokéval megegyező számú, egyenletből álló, lineáris rendszer adódott. Ennek megoldását a mátrixalgebra módszerei szerint végeztük el. A lehajlások ismeretében számítottuk ki azután az egyes csomópontokban fellépő nyomatókat, nyíró- és támaszerőket.

A tárgyalt eljárás így megegyezik a differencia-módszer szokásos, statikai alkalmazásával. Újszerűségét kizárólag a konzol hosszanti oldala mentén kiképzett szegélybordának megfelelő peremfeltételek megfogalmazása, illetőleg ezek alapján a meghatározó egyenletek levezetése jelenti.



$$[2 \cdot (i+1) + 2] \cdot [2 \cdot (j+k+1) + 2] - 4 \cdot 3 = \\ = 5(i+j+k) + i(j+k) + 13$$

2. ábra

5. A bordával merevített perem egy általános pontjára vonatkozó kijelentések

A bordával merevített lemezperemen fekvő, általános helyzetű, x, y koordinátájú csomópontra 3 kijelentést szükséges és elégséges tenni:

a) A pont követi a lemezfelület alakváltozását, és ezért, mint a lemez minden egyes pontjára, rá is érvényes a

$$\frac{\Delta^4 w}{\Delta x^4} + 2 \frac{\Delta^4 w}{\Delta x^2 \Delta y^2} + \frac{\Delta^4 w}{\Delta y^4} = \frac{p}{K}$$

difference-egyenlet. Ez részletesen kifejtve az ismert

$$20w_{x,y} - 8(w_{x-1,y} + w_{x+1,y} + w_{x,y-1} + w_{x,y+1}) + \\ + 2(w_{x-1,y-1} + w_{x+1,y-1} + w_{x-1,y+1} + w_{x+1,y+1}) + \\ + (w_{x-2,y} + w_{x+2,y} + w_{x,y-2} + w_{x,y+2}) = p_{xy} \frac{s^4}{K}$$

lineáris összefüggésre vezet.

b) A vizsgált pontban a mellvédre ható szélteherből, illetőleg a korlátra előírt vízszintes irányú erőből ismert nagyságú m_y nyomaték keletkezik.

Értéke a mellvéd csavarási merevségéből következően egyenletes megoszlásúnak tekinthető. Az összefüggés általános alakban

$$M_y = -K \frac{\Delta^2 w}{\Delta y^2} = m_y,$$

illetőleg a differenciák kiírásával

$$-w_{x,y-1} + 2w_{x,y} - w_{x,y+1} = \frac{s^2}{K} m_y.$$

c) A pontban működő függőleges erők egyensúlyi rendszert alkotnak. Szabad lemezperem esetében ez kizárólag a THOMPSON és TAIT javaslata szerint felírt támaszreakció nullértékűségét, azaz

$$A_y = K \left(\frac{\Delta^3 w}{\Delta y^3} + 2 \frac{\Delta^3 w}{\Delta x^2 \Delta y} \right) = 0$$

jelenti. Az erő iránya definíciószerűen a szokásos lemez-nyíróerőével ellentétes.

Szegélyborda esetében a fenti összefüggés még kiegészül egyrészt a mellvéd q önsúlyával, másrészt a bordában a lemez lehajlásából mint kényszermozgásból ébredő rugalmas erő hatásával:

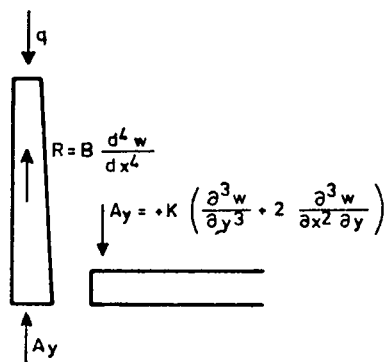
$$R = B \frac{\Delta^4 w}{\Delta x^4}.$$

A B -vel jelölt hajlítómerevség meghatározására a későbbiekben visszatérünk.

Mindhárom mennyiség a lemezperem hosszegységére vonatkoztatott vonalteher.

A közös egyensúlyi kijelentés az előjelek figyelembevételével (3. ábra)

$$q = R + A_y,$$



3. ábra

amit azért is hangsúlyozni kell, mert néhány szakmunka R értéke fordított előjellel szerepelteti. Az eltérés feltehetően abból a szemléleti hibából fakad, amely szerint a lemez lehajlása a szegélyborda ugyancsak lefelé irányuló terhének felel meg. Valójában a lehajlás hatására a bordában éppen ellenkezőleg, felfelé mutató kényszererő keletkezik. A hibára úgy lettünk figyelmesek, hogy az első számítások szerint a szegélyborda deformációs vonala felülről nézve domborúnak adódott.

A fenti általános összefüggést részletesen kifejtve az alábbi alakra jutunk:

$$f [6w_{x,y} - 4(w_{x-1,y} + w_{x+1,y}) + (w_{x-2,y} + w_{x+2,y})] + \\ + 6(w_{x,y-1} - w_{x,y+1}) + 2(w_{x-1,y+1} + w_{x+1,y+1}) - \\ - 2(w_{x-1,y-1} + w_{x+1,y-1}) - (w_{x,y-2} - w_{x,y+2}) = \frac{2s^3}{K} q,$$

ahol

$$f = \frac{2}{s} \cdot \frac{B}{K},$$

vagyis a borda és a lemez hajlítómerevségének az osztásközzel korrigált viszonya.

6. A bordával merevített perem sarokpontjára vonatkozó kijelentések

A merevített peremű lemez sarokpontjára, azaz a szegélyborda végpontjára nyilvánvalóan érvényesek az általános pontokra vonatkozó a), b) és c) kijelentések, de ezekhez még továbbiak is csatlakoznak:

d) A pont az x irányban nyomatékmentes, azaz

$$M_x = -K \frac{\Delta^2 w}{\Delta x^2} = 0,$$

részletesen

$$-w_{x-1,y} + 2w_{x,y} - w_{x+1,y} = 0.$$

Ez a peremfeltétel b)-nek szabad lemezszélre vonatkozó alakja.

e) A pont az y irányú perem mentén nincs megtámasztva, vagyis

$$A_x = K \left(\frac{\Delta^3 w}{\Delta x^3} + 2 \frac{\Delta^3 w}{\Delta x \Delta y^3} \right) = 0,$$

részletesen

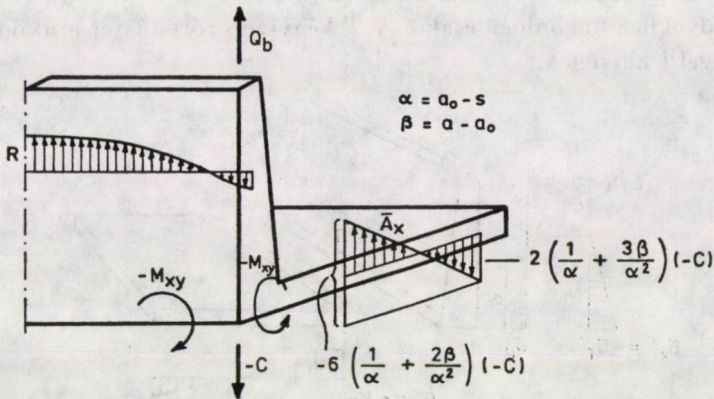
$$6(w_{x-1,y} - w_{x+1,y}) - (w_{x-2,y} - w_{x+2,y}) - \\ - 2(w_{x-1,y-1} - w_{x+1,y-1}) - 2(w_{x-1,y+1} - w_{x+1,y+1}) = 0.$$

Ez a peremfeltétel c)-nek szabad lemezszéltre vonatkozó alakja.

f) A pontra nem működik kiegyensúlyozatlan függőleges erő. Mint ismeretes, a követelmény szabad lemezszélek derékszögű összemetsződésénél a

$$C = 2M_{xy} = -2K \frac{\Delta^2 w}{\Delta x \Delta y} = 0$$

formában fogalmazható meg, és az így definiált C erő a koordinátarendszer kezdőpontjában felfelé mutat.



4. ábra

Érdekességgéppen említjük meg, hogy vizsgálataink első szakaszában mi is a fenti nullértékűségből indultunk ki, aminek eredményeképpen számításaink a konzolos lemezrész felemelkedését mutatták ki. A hiba abból adódott, hogy figyelmen kívül maradt a kényszermozgás által terhelt szegélyborda kontinuitását helyettesítő

$$Q_b = -B \frac{\Delta^3 w}{\Delta x^3}$$

koncentrált nyíróerő. Ez a mennyiség a rugalmasan ágyazott bordában működő rugalmas erők eredőjének tekinthető, és mint ilyen, felfelé mutat (4. ábra).

Annak érdekében, hogy a sarokpont valóban erőmentessé váljék, Q_b letörléséhez egy olyan $-C$ lehorgonyzó-erő, illetőleg M_{xy} csavarónyomaték beiktatása szükséges, hogy teljesüljön a

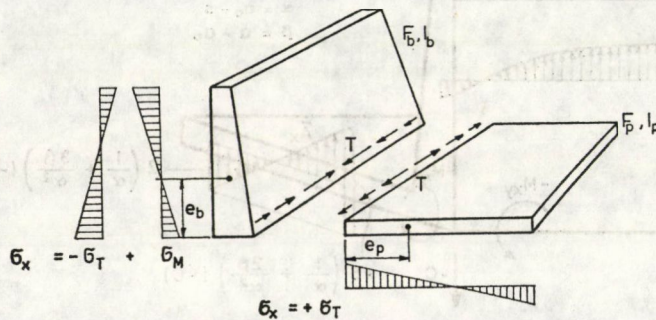
$$Q_b + C = 0$$

feltétel. Innen

$$f(w_{x-2,y} - 2w_{x-1,y} + 2w_{x+1,y} - w_{x+2,y}) - 2(w_{x-1,y-1} - w_{x-1,y+1}) + 2(w_{x+1,y-1} - w_{x+1,y+1}) = 0.$$

7. A szegélyborda tényleges merevsége

A megelőzők értelmében a szegélybordával merevített lemez tárgyalása azon alapult, hogy a két szerkezeti elem az összeépítés következtében azonos deformációt szenved. Ez a tartalma a c) képletnek, amely a vizsgált perem mentén a borda és a lemez függőleges lehajlásainak azonosságát mondja ki. A fenti megállapítás annyiban bővítésre szorul, hogy az anyagi folytonosság miatt az elmozdulásoknak vízszintes irányban is meg kell egyezniük. Ez a követelmény úgy is megfogalmazható, hogy ε_x fajlagos alakváltozás, illetőleg egyenlő rugalmasságú beton esetében σ_x feszültség értéke a két szerkezeti elem érintkezési vonala mentén azonos. Ennek biztosítása viszont a lemezművekhez hasonlóan csak egy T kényszererőrendszer működésének feltételezésével lehetséges.



5. ábra

Tárgyalásunkban közelítésképpen abból indulunk ki, hogy mind a borda, mind a lemeztárcsa gerendaszerűen viselkedik, azaz a feszültségek eloszlása a magasság mentén megfelel a Bernoulli—Navier-féle hipotézisnek. A fenti követelmény így az alábbi formában fogalmazható meg

$$\frac{M_x - T \cdot e_b}{I_b} \cdot e_b - \frac{T}{F_b} = \frac{T \cdot e_p}{I_p} \cdot e_p + \frac{T}{F_p},$$

ahol b index a bordára, p a lemeze vonatkozó mennyiségeket jelöl (5. ábra).

A fenti egyenlethől az ismeretlen T erő kifejezhető:

$$T = \frac{M_x}{I_b} \frac{e_b}{\frac{e_b^2}{I_b} + \frac{1}{F_b} + \frac{e_p^2}{I_p} + \frac{1}{F_p}}$$

és ismeretében a borda tényleges görbülete

$$\frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{1}{EI_b} (M - Te_b).$$

A fenti összefüggésbe a T -re meghatározott kifejezést behelyettesítve, átalakítások után a szokásos alakra jutunk:

$$\frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{M_x}{B},$$

ahol

$$B = EI_b \left(1 + \frac{e_b^2}{\frac{I_b}{F_b} + \frac{I_b}{I_p} e_p^2 + \frac{I_b}{F_p}} \right),$$

vagyis a szegélyborda hajlítási merevségtöbblete a vízszintes irányú elmozdulások azonossága miatt a zárójelben álló második taggal arányos. E faktor értéke szokásos geometriai viszonyok között 1,2 és 2,8 közt van. Az eredmény úgy is felfogható, mintha a mellvéddel egy 30–90 cm szélességű lemezzakasz együtt dolgoznék. A méret a borda hossza mentén nem változik.

A T kényszererő-rendszer eloszlása a levezetett összefüggés szerint követi M_x -ét. M_x/T aránya szokásos viszonyok közt 50–100 cm körüli érték.

8. A meghatározó egyenletrendszer ismeretlenek száma

A szegélybordával merevített lemezzélre előírható peremfeltételek fiktív csomópontok lehajlásait is magukban foglalják. Ezeket a pontokat a háló egy vagy két osztásközzel való meghosszabbításában kell felvenni (2. ábra).

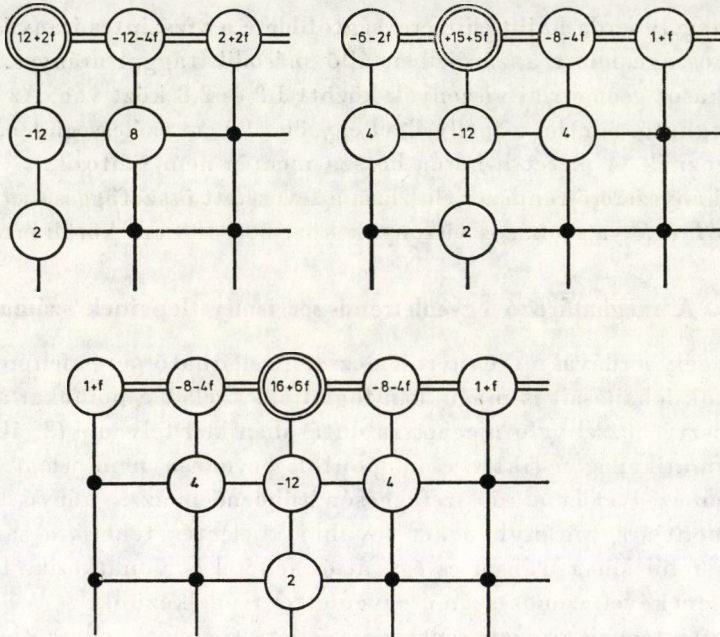
Matematikailag a fiktív csomópontok bevonása nem jelent akadályt, hiszen a lemezegyenlet alapösszefüggésén túlmenően az x irányú borda egy általános pontjára y irányban két további kijelentés tehető, a sarokpontra pedig ezen felül két x irányú és egy átlós feltétel is vonatkozik. Ily módon az ismeretlenekével azonos számú egyenlettel rendelkezünk.

Számítástechnikai szempontból az eljárást mégis kedvezőtlennek kell minősítenünk, mivel a meghatározó egyenletrendszer így jelentősen kibővül. Ez egyrészt korlátozná a felvehető csomópontok számát, másrészt meghosszabbította volna egy-egy feladat gépi futtatásának idejét. Célszerűbbnek láttuk ezért a fiktív pontok lehajlási értékeit a tulajdonképpeni egyenletmegoldás előtt kézi úton eliminálni. Így végeredményben a korábbi három, illetőleg hat kijelentés algebrai rendezés révén egyetlen egyenletté szűkül, amelyben azonban már csak a lemezen fekvő, tényleges csomópontok adatai szerepelnek. A levezetett összefüggéseket a következő pontban közöljük.

Feltétlenül rá kell mutatni, hogy a leírt módszer alkalmazása hátrányokkal is járt. Tekintve, hogy a perem igénybevételeinek meghatározásához természetesen szükség van a fiktív csomópontok lehajlására, a számítás egy későbbi szakaszában újból elő kell állítani az eltüntetett mennyiségeket. Ugyancsak bonyolultabbá vált a program megírása annak következtében is, hogy néhány, korábban azonos jellegű csomópontra eltérő felépítésű egyenletek adódtak.

9. Súlyozási minták

A szegélybordán és annak környezetében elhelyezkedő csomópontokra nyert összefüggéseket a jobb áttekinthetőség kedvéért grafikus formában közöljük. Azt a pontot, amelyre az egyenlet vonatkozik, kettős kör jelöli. A körökbe írt előjeles mennyiség a megfelelő pont w_{xy} lehajlásának együtt-hatójaként értendő. E „súlyozási minták”-at a szakirodalom [8] operátoroknak is nevezi.



6. ábra

A szegélyborda sarokpontjára, a vele szomszédos, valamint egy általános pontra a fenti súlyozási minták vonatkoznak (6. ábra).

A teljesség kedvéért külön is megadjuk a szimmetriatengely mellett, illetőleg magán, a szimmetriatengelyen fekvő csomópontokra vonatkozó súlyozási mintát, noha ezek a

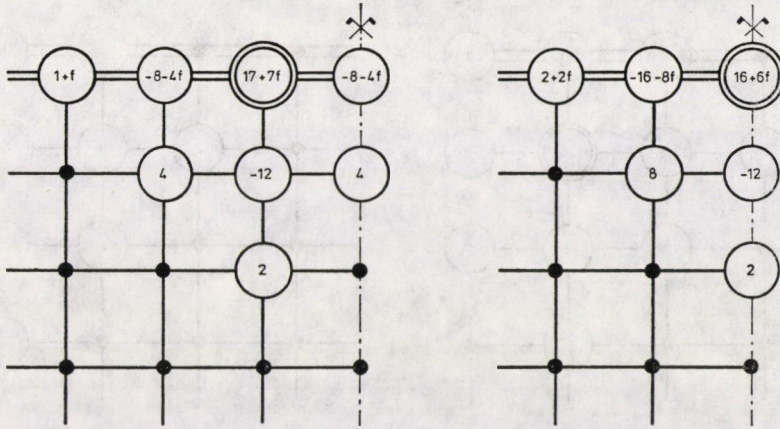
$$w_{x=i-1,y} = w_{x=i+1,y},$$

valamint a

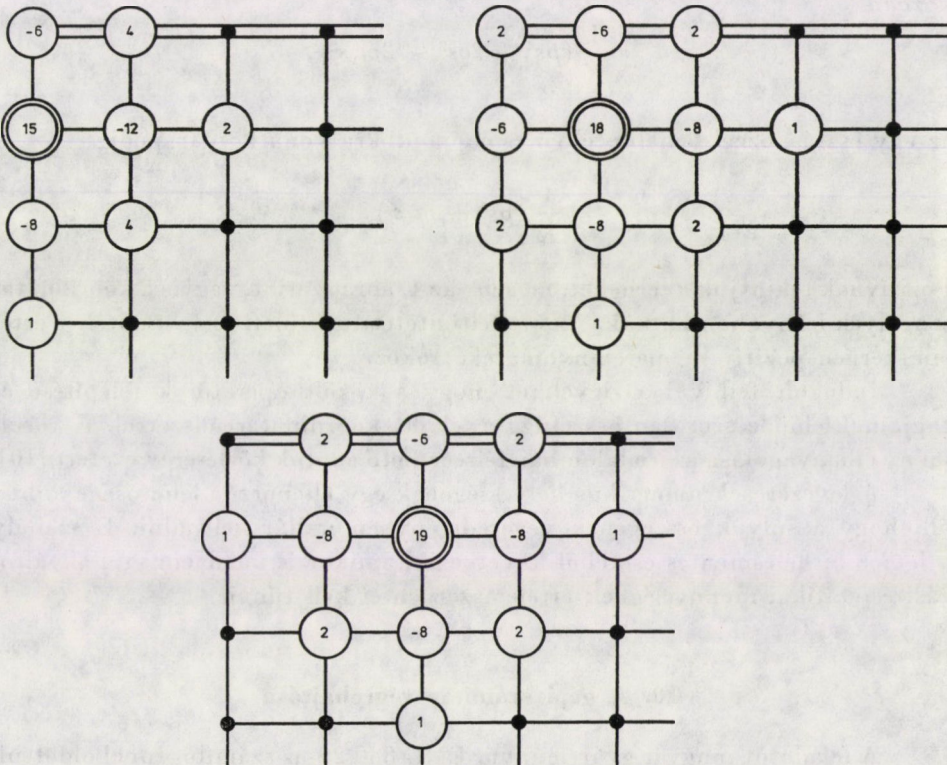
$$w_{x=i-2,y} = w_{x=i+2,y}$$

szabályosság alapján közvetlenül is felírhatók (7. ábra).

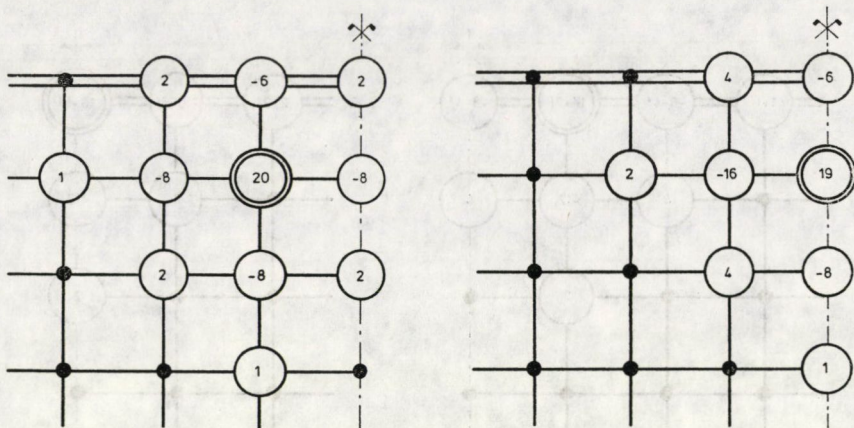
Az egy osztásközzel beljebb fekvő pontokra érvényes súlyozási minták a 8. ábrán vannak feltüntetve, és ugyanitt, a szimmetriatengely környezetében levők a 9. ábrán olvashatók le.



7. ábra



8. ábra



9. ábra

Az egyes egyenleteknek a súlyozási mintával megadott bal oldalához tartozó jobb oldaluk, a szegélybordán fekvő valamennyi csomópontra vonatkozóan

$$= \frac{1}{K} (ps^4 + 2qs^3 - 2m_y s^2),$$

az egy osztásközzel beljebb fekvő csomópontokra vonatkozóan pedig

$$= \frac{1}{K} (ps^4 + m_y s^2).$$

Pozitívnak tekintjük a terheket, ha azok az 1. ábra szerint, vagyis a koordináta-tengelyek irányában hatnak. Az ott feltüntetett v felületi és t vonalteher értelemszerűen pozitív m_y peremnyomatékot okoz.

Indokolt felhívni a figyelmet, hogy a közölt operátorok felépítése és tagjainak előjele szorosan összefügg a felvett koordináta-rendszerrel. E körülmény elhanyagolása az irodalomban félreérthető adatok közlésére vezetett [10].

A levezetések numerikus helyességének egy ellenőrzési lehetősége abban áll, hogy a súlyok összegének végeredményben nullát kell adni. E szabály a lemez terhelésmentes esetéből következik, amikor is valamennyi alakváltozási és statikai mennyiségnek értelemszerűen el kell tűnnie.

10. A gépi számítás végrehajtása

A feladatot magyar gyártmányú, EMG 830/20-as számítógéppel oldottuk meg. A berendezés 20 K memóriakapacitással rendelkezik és cserélhető mágneslemezegysége van.

Az alapinformációk beolvasása után meghatároztuk és letároltuk a szükséges konstansokat. Ezek felhasználásával egy speciális szubrutin mágneslemezre vitte az egyes egyenletek együtthatóit és összeállította egy bináris mátrix megfelelő sorát. Az elemeket az alábbiak szerint definiáltuk:

$$\text{bin}(A)_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{ha } a_{ij} \neq 0 \\ 0, & \text{ha } a_{ij} = 0 \end{cases}.$$

A főelemkiválasztásos elimináció során az információk behívását a segédmátrix jelei vezérelték.

Az eljárással az volt a célunk, hogy a központi egységhez képest lassú mágneslemezhez való fordulások száma minimális legyen. A kérdés esetünkben különleges fontosságot kapott, mert a pontosság igénye lebegőpontos aritmetika használatát követelte meg, ami a műveleti idő meghosszabbodását okozta.

Az egyenletrendszer kezelését megkönnyítette, hogy az együtthatók a fődiagonális közelében helyezkedtek el. Rendkívül kellemetlenül érvényesült viszont, hogy a szegélybordára vonatkozó egyenletekben nagy, a többi egyenlethez képest 10^3 – 10^4 -szeres számok kis különbségei szerepeltek. E körülmény egyben rávilágít arra is, hogy a feladat megoldása kézi úton nem lehetséges.

Első vizsgálataink arra az érdekes megállapításra vezettek, hogy bár e gyengén meghatározott egyenletrendszer szokásos megoldásával kapott w lehajlások, illetőleg a belőlük számított igénybevételek elfogadhatóak, a visszahelyettesítés 500%-os eltérést is adott. A kapott eredményt ezért első közelítésnek tekintve, azt a Gauss—Seidel-iterációval tovább finomítottuk. Tapasztalataink szerint már az első néhány lépés 6 értékes jegyre pontos adatokat szolgáltatott, és így az egyenletek bal és jobb oldala közti különbséget sikerült 1% alá csökkenteni.

II. A statikai módszer pontossága

A differenciális mennyiségeknek véges differenciák formájában való tárgyalása közelítő módszernek tekinthető. Az ebből származó pontatlanság a vizsgált feladat során nyilvánvalóan erősen érezteti a hatását, hiszen a peremfeltételekben a nyomaték, a támaszerő, illetőleg a szegélybordában ébredő kényszererő, azaz másod-, harmad- és negyedrendű differenciahányadosok szerepelnek.

A pontatlanság egy további forrása a keresztkontrakció elhanyagolása, vagyis, hogy a számítás egyszerűsége kedvéért a Poisson-tényező reciprokát nullának tekintettük

Legvégül külön is utalni kell a C sarokerő beiktatásának a következményeire. Amint a 6. f) pontban kifejtettük, erre a Q_0 nyírőerő letörlése végett

volt szükség (4. ábra). A szerkezet egyensúlyának megbontása nélkül ez csak úgy lehetséges, ha a támasz mentén egy vele azonos nagyságú és ellenkező irányú \bar{A}_x járulékos erőrendszer működik. Eloszlásáról közelítésképpen az tételezzük fel, hogy a teljes a_0 -s szakaszon lineáris, y irányú nyomatóka pedig a sarokpontban zérus.

Kérdés, persze, hogy a (C, \bar{A}_x) erőrendszer szuperponálása megfelel-e a Saint Venant-féle elvnek, hiszen a beiktatott sarokerő és a járulékos támaszreakció eredője eltérő hatásvonalon működik. Véleményünk szerint a jelenség a lemezkonzol keresztirányú peremén csavarónyomatékokat okoz, amelyekre vizsgálatunk nem terjedt ki.

A pontatlanság felsorolt forrásai mellett módszerünk viszonylag jó eredményeket szolgáltatott. Ellenőrzésünk részben a támasz fölé eső csomópontokban kimutatott és a Simpson-szabály szerint összegzett A_x erőkre terjedt ki, amit a szerkezet hasznos terhének és önsúlyának összegével vetettünk egybe. A két mennyiség aránya általában 0,85 körül mozgott.

A pontosság értékére különösen a konzol meghosszabbodása gyakorolt kedvezőtlen befolyást, amit a fesztávolság rövidege, ha sokkal enyhébben is, tovább rontott. Szélső esetben e viszonyszám 0,6-ra csökkent. Ennek ellenkezőjét tapasztaltuk a viszonylag rövid konzol (és nagyobb fesztávolság) esetében, amikor is 0,95 körüli pontosságot mutattunk ki.

Ugyancsak megvizsgáltuk a mérnöki tervezés szempontjából fontosabb M_y értékek pontosságát is. Ennek során a konzoltőnél, tehát a támasz első csomópontjánál felvett x irányú metszetben eljárásunkkal meghatározott, illetőleg a kézi úton, közvetlenül kiszámított nyomatókakat állítottuk egymással szembe. Itt az előbbivel éppen ellenkező tendenciát tapasztaltunk, amennyiben hosszabb konzolok esetében kisebb mértékű pontatlanság mutatkozott. A viszonyszámok azonban lényegesen szűkebb intervallumban mozogtak, és a legkedvezőtlenebb esetben sem csökkentek 0,86 alá.

A két fajta kontroll által kimutatott pontosság közti különbség feltehetően arra vezethető vissza, hogy A_x értékében eggyel magasabb differenciáhányadosok szerepelnek, mint M_y -ében, a hibák tehát tovább halmozódnak. Egy másik ok lehet, hogy az említett, lemezszeleli M_{xy} csavarónyomatékok elhanyagolása hatással van A_x -re, míg az M_y -ra vonatkozó képletben nem szerepelvén, itt csak a módszer általános pontatlansága érvényesül.

12. Számpélda

A célul tűzött feladat megoldására alkalmas elméleti eljárás kidolgozásán túlmenően fontosnak tartottuk, hogy a teherbírást befolyásoló paraméterek hatását ugyancsak feltárjuk. A számítási eredmények ily módon iránymutatásul is szolgálhatnak az előregyártott erkélylemez tervezésére.

A vizsgálatainkhoz választott szerkezet adatait az alábbiak szerint vettük fel (1. ábra):

$$\begin{aligned}
 a &= 300 \text{ cm,} \\
 a_0 &= 200 \text{ cm,} \\
 2l &= 600 \text{ cm,} \\
 b &= 90 \text{ cm,} \\
 h &= 16 \text{ cm.}
 \end{aligned}$$

Célunk az volt, hogy a bordamagasság, az oldalarányok, valamint az alátámasztás, illetőleg a konzolhossz egyenkénti változtatásával lemérjük e tényezők szerepét a w lehajlás, az M_x és M_y nyomaték, valamint az A_x támaszerők alakulására. Ezek közül a *-gal jelölt mennyiségek az erkély hátsó, szabad peremére vonatkoznak.

Feltételezzük, hogy a szerkezetre kizárólag $p = 400 \text{ kp/m}^2$ egyenletesen eloszló, függőleges teher hat. A rugalmassági modulus értéket $E = 300\,000 \text{ kp/cm}^2$ -re választottuk.

Vizsgálataink során a szabályzatnak megfelelően abból indultunk ki, hogy a hasznos teher totálisan hat. Valójában kétségesnek tűnik, hogy megengedhető-e a fenti előírás alkalmazása, hiszen például a keresztirányú nyomatékok vonatkozásában a mértékadó teherállást az erkély féloldalas, kizárólag a konzolrészre kiterjedő terhelés jelentheti.

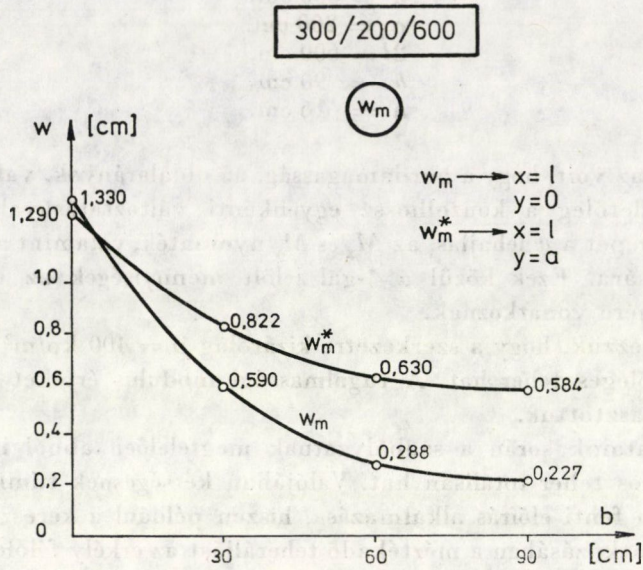
Megemlítjük végezetül, hogy az osztásköz s méretét a szerkezet fő adataihoz illeszkedve a lemezvastagság egyszeres és kétszeres értéke közt változtattuk. Ennek hatása a meghatározott nyomatékok nagyságában alig volt észrevehető.

13. A bordamagasság hatása

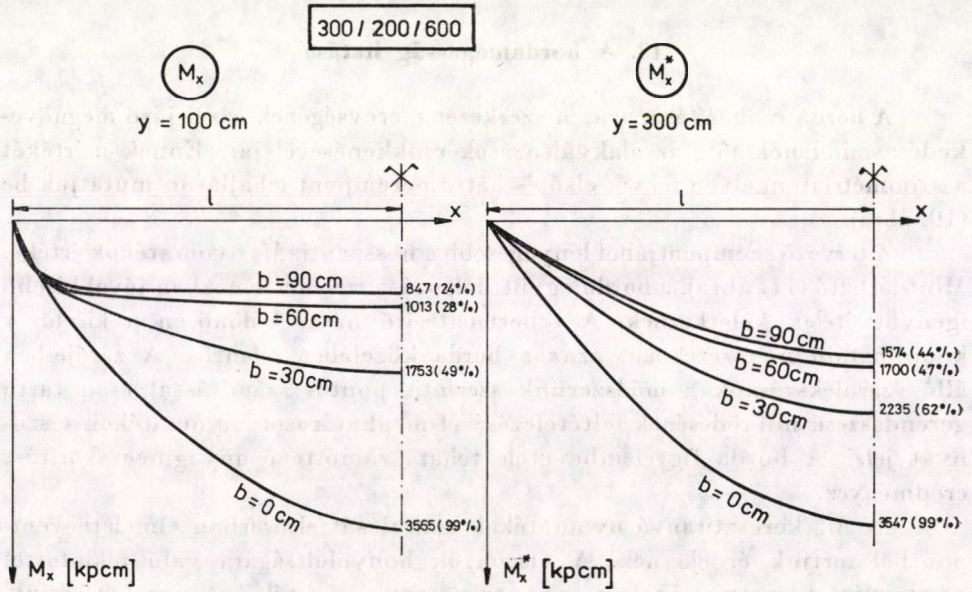
A borda magasítása, azaz a szerkezet merevségének ezzel járó megnövekedése mindenekelőtt az alakváltozások csökkenésével jár. Ennek mértékét a szimmetriatengelyen fekvő, első és hátsó perempont lehajlásán mutatjuk be (10. ábra).

A tervező szempontjából lényegesebb a hosszanti, M_x nyomatékok értéke. Mint látható (11. ábra), a borda együttléteződésének révén a lemezben jóval kisebb igénybevételek keletkeznek. A tehermentesítő hatás különösen a kisebb y koordinátájú metszetekben, azaz a borda közelében jelentős. A zárójelben álló százalékszámok a módszerünk szerinti, pontos számítással és a tartó gerendaszerű működésének feltételezésével meghatározott nyomatékok viszonyát jelzi. A borda figyelembevétele tehát számottevő anyagmegtakarítást eredményez.

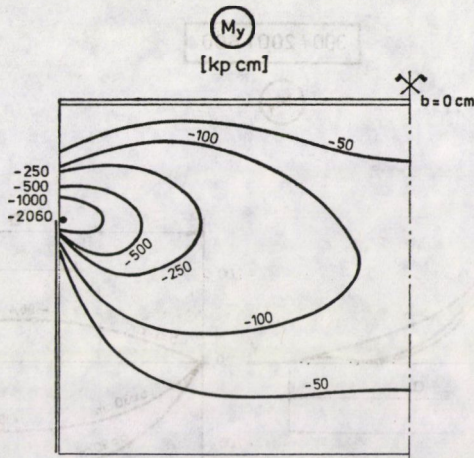
Az M_y keresztirányú nyomatékok alakulását elsősorban elméleti szempontból tartjuk érdekesnek. A viszonyok bonyolultságára való tekintettel az eloszlást a lemez alaprajzán, az azonos nagyságú értékeket összekötő szintvonalakkal jellemezzük.



10. ábra



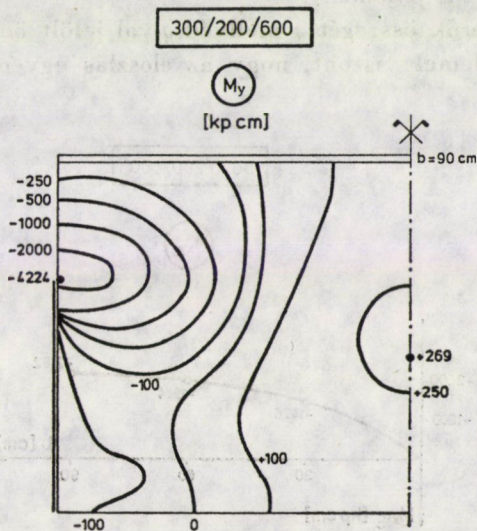
11. ábra



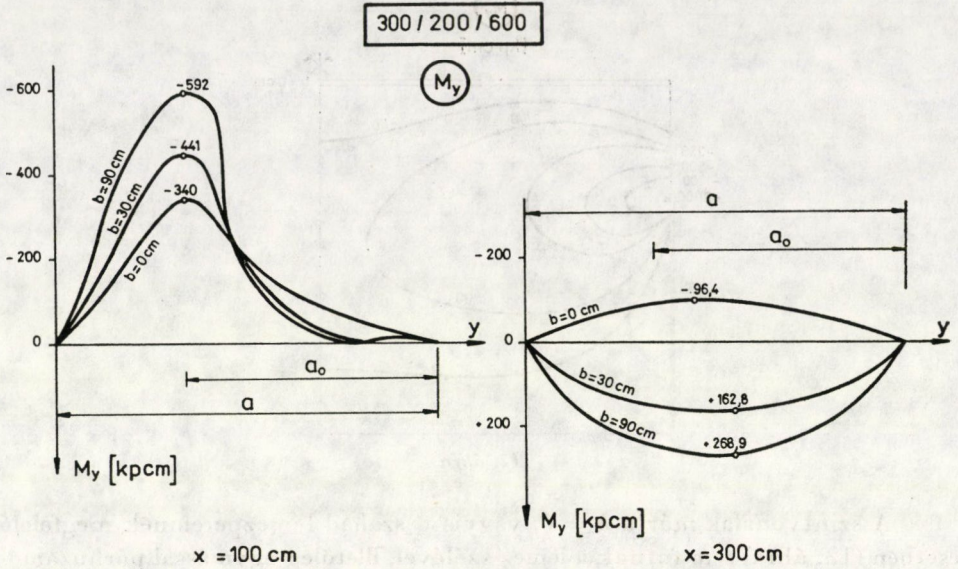
12. ábra

A szintvonalak már a $b = 0$, vagyis a szabad lemezperemnek megfelelő esetben (12. ábra) sem futnak a lemez szélével, illetőleg egymással párhuzamosan, amint azt a már hivatkozott, Rüsç-féle számítás feltételezi. Az alátámasztás vége mint szinguláris pont egy peremzavar fókuszának tekinthető, és az eltorzult szintvonalak csak a lemez közepe táján egyenesednek ki.

A merev borda a fenti képet jelentősen megváltoztatja (13. ábra). A „hagyma” nagyobb nyomatéki csúcs mellett kisebb területre szűkül, és a lemez közepén pozitív értékek is fellépnek. Noha ezek viszonylag nem nagyok, az eredmények mégis arra hívják fel a figyelmet, hogy a jelenleg épülő bordás erkélylemezekben a fővasalás tulajdonképpen a tartó nyomott oldalára kerül.



13. ábra

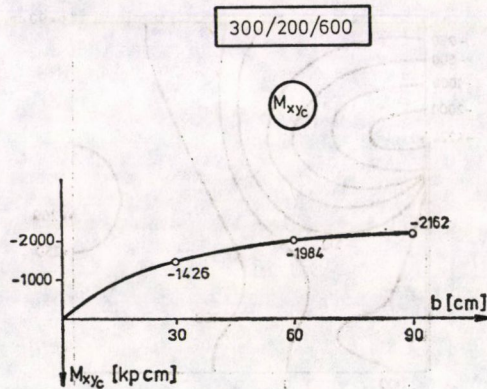


14. ábra

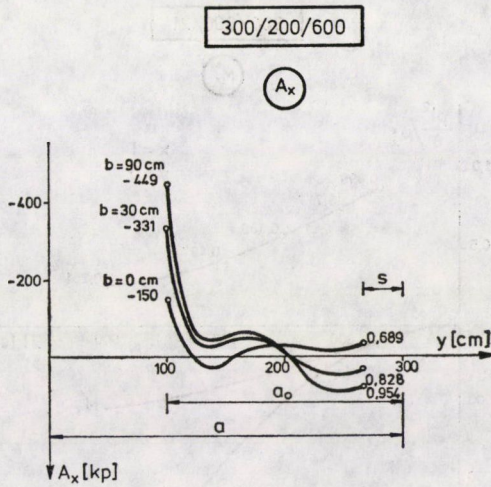
A leírt M_y nyomatékeloszlásokat szokásosabb módon jellemzi a különböző magasságú bordákkal gyártott erkélylemez y irányú metszéke (14. ábra).

A bordamagasság növekedésével változik M_{xy} saroknyomaték (15. ábra), azaz a lemezsarkot leszorító $-C$ erő, ami egyben a vele egyensúlyt tartó R rugalmas bordaerőket is jellemzi.

Az A_x támaszerők összegét a mellvéd q -val jelölt önsúlya alig befolyásolja. Figyelmet érdemel viszont, hogy az eloszlás egyenletessége a borda-



15. ábra



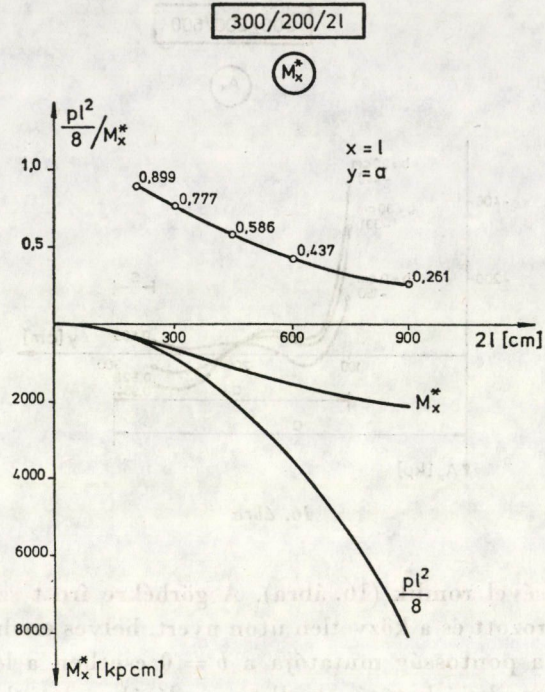
16. ábra

magasság növelésével romlik (16. ábra). A görbékre írott számok a módszerrel meghatározott és a közvetlen úton nyert, helyes eredmény hányadosa. Meglepő módon a pontosság mutatója a $b = 0$ esetben a legkisebb, aminek okát a keresztkontrakció hatásának elhanyagolásában látjuk.

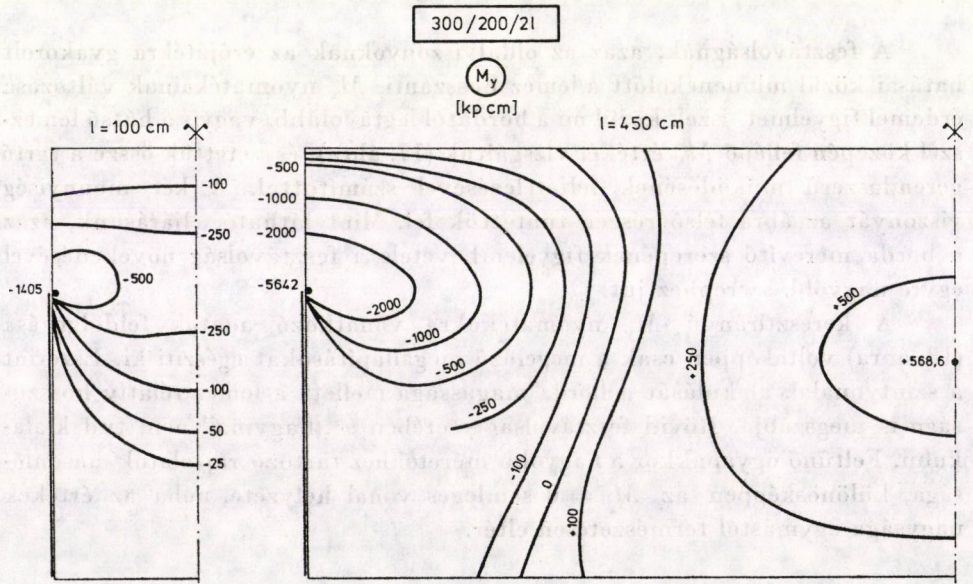
14. A fesztávolság hatása

A fesztávolságnak, azaz az oldalviszonyoknak az erőjátékra gyakorolt hatásai közül mindenekelőtt a lemez hosszanti, M_x nyomatékainak változása érdemel figyelmet. Ezek közül mi a bordától legtávolabb, vagyis a hátsó lemezszél közepén fellépő M_x^* értékét vizsgáltuk (17. ábra), és vetettük össze a tartó gerendaszerű működésének feltételezésével számítottal. A két mennyiség viszonyát az ábra felső részén tüntettük fel. Mint látható, eljárásunk, azaz a borda merevítő szerepének figyelembevétele a fesztávolság növekedésével egyre nagyobb szerephez jut.

A keresztirányú M_y nyomatékokra vonatkozó adatok feldolgozása (18. ábra) voltaképpen csak a megelőző megállapításokat egészíti ki. Eszerint a szintvonalak alakulását a borda magassága mellett a lemez relatív hosszúsága is megszabja. Rövid fesztávolság esetében a „hagyma” nem tud kialakulni. Feltűnő ugyanakkor a nagyobb méretekhez tartozó rajzolatok hasonlósága, különösképpen az $M_y = 0$ semleges vonal helyzete, noha az értékek nagysága egymástól természetesen eltér.



17. ábra

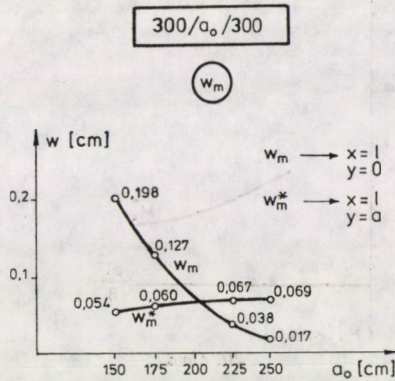


18. ábra

15. A támasz hosszúságának a hatása

A támasz hosszúságának, azaz a konzol rövidegének a hatása mindenekelőtt a lemezközép alakváltozásain érzékelhető (19. ábra). Míg változatlan egyéb méretek mellett az alátámasztás megnyújtása a szegélyborda lehajlását csökkenti, a hátsó lemezzsélé enyhén nő.

Ugyanez a jelenség mutatkozik meg az M_x hosszirányú nyomatékok alakulásában (20. ábra), amit a 17. ábrával azonos módon dolgoztunk fel. Ennek megfelelően a borda együttlétezésének figyelembevétele elsősorban nagyobb konzolméretek esetén előnyös, bár a különbségek nem nagyok.



19. ábra

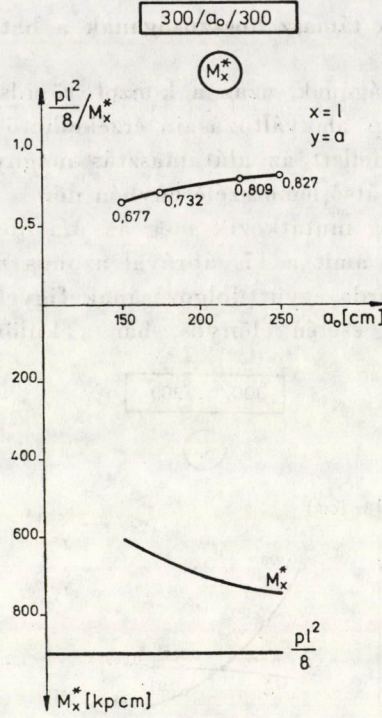
Az M_y nyomatékok eloszlását két, párhuzamos metszék mentén szemléltetjük (21. ábra). Az $x = 100$ cm-hez tartozó görbék a várt eredményeket tükrözik, amennyiben a megfelelő támaszvége vonalában negatív csúcsérték lép fel. Az $x = 300$ cm-hez tartozó görbék lefutása ezzel szemben csak 13. és 18. ábra alapján érthető meg. A támasz megrövidülése negatív irányban „húzza fel” a görbéket.

A jelenség egyben szorosan kapcsolódik a támaszerők eloszlásának egyenletességéhez (22. ábra). A támasz meghosszabbodása ugyanis mindenekelőtt a támaszvégen fellépő csúcs leépülésében nyilvánul meg, ami értelemszerűen a szingularitás mértékét mérsékli.

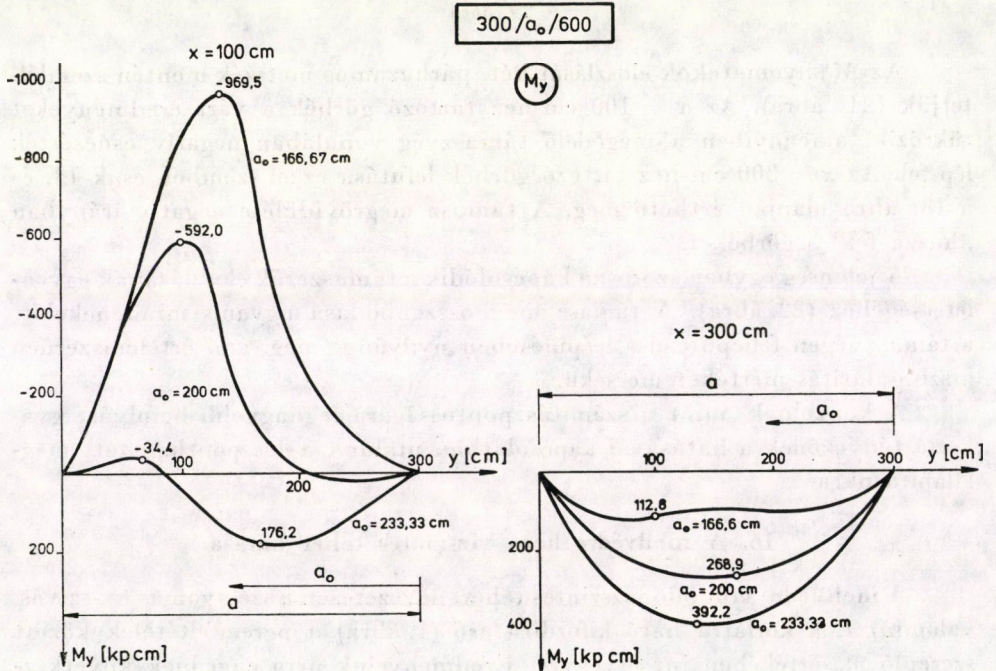
A konzolnak mint a számítás pontosságára legnagyobb befolyást gyakorló tényezőnek a hatásával kapcsolatban utalunk a 11. pontban tett megállapításokra.

16. A mellvédre ható vízszintes teher hatása

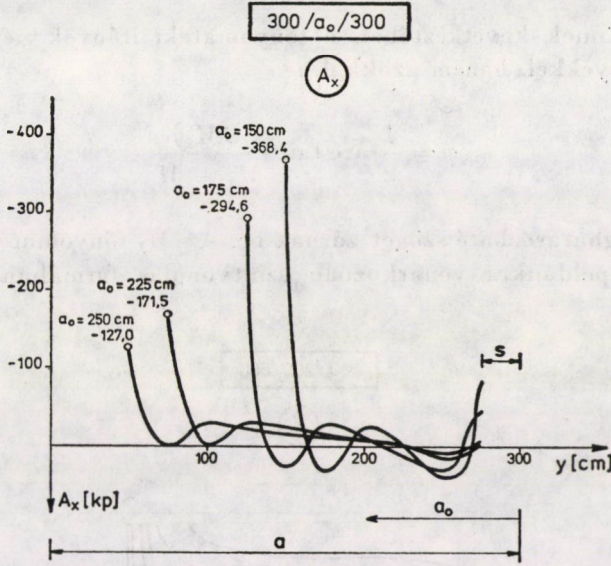
A mellvédre működő vízszintes teher, nevezetesen v szélnyomás és -szívás, valamint t , a korlátra ható kifordító erő (1. ábra) a peremfeltételek között szereplő m_y értékében jut érvényre. Eredményeink arra engednek következ-



20. ábra



21. ábra

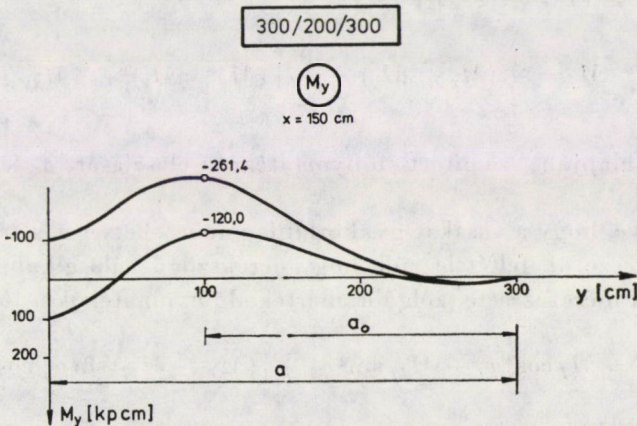


tetni, hogy gyakorlati határok közt ennek sem a lemez lehajlásaira, sem a hosszirányú M_x nyomatékokra nincs számottevő hatása.

A keresztirányú nyomatékok változását bemutató számpélda (23. ábra) szerint a bevitt peremnyomaték a bordánál szuperonáldódik M_y görbéjére, a differencia azonban a hátsó lemezszélre vonatkozó peremfeltétel teljesüléséhez fokozatosan elenyészik.

17. A vasszerelés megtervezése

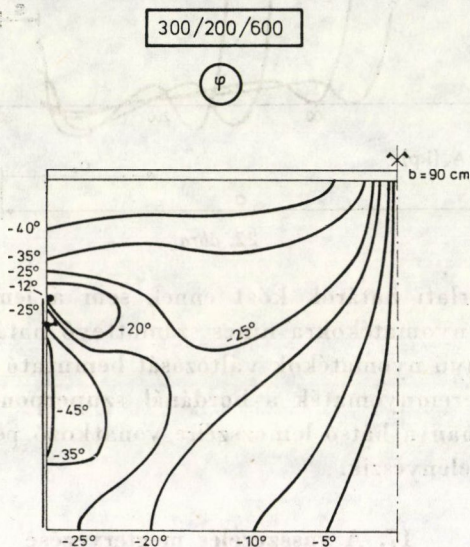
A vizsgálataink tárgyául választott szerkezet annyiban is eltér a szokásos kialakítású lemeztől, hogy benne viszonylag nagy csavarónyomatékok



lépnek fel. Ennek következtében a főnyomatéki irányok nem esnek egybe az x, y tengelyekkel, hanem azokkal a

$$\varphi = \frac{1}{2} \arctan \frac{2M_{xy}}{M_x - M_y}$$

képletből meghatározható szöget zárnak be. Az M_I főnyomatékokhoz tartozó φ_I szögeket példánkra vonatkozóan szintvonalas formában dolgoztuk fel (24. ábra).



24. ábra

Hasonlóképpen megadjuk a

$$M_I = \frac{1}{2} (M_x + M_y) + \frac{1}{2} \sqrt{(M_x - M_y)^2 + 4M_{xy}^2}$$

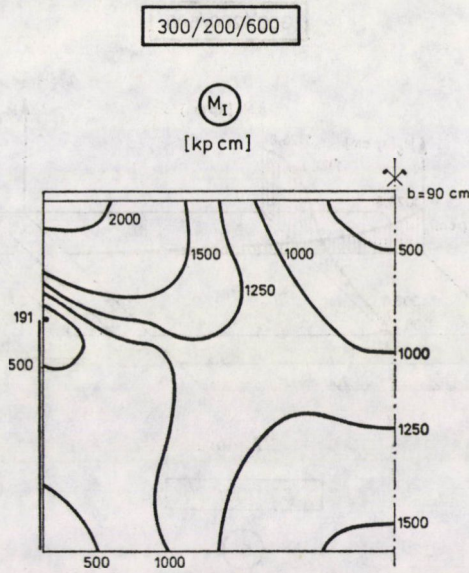
összefüggés alapján számított főnyomatékok eloszlását a lemez felületén (25. ábra).

Tekintve, hogy a vasakat gyakorlatilag nem lehetséges a trajektóriáknak megfelelően vezetni, feltételezzük, hogy derékszögű háló alkalmazására kerül sor. Az ennek méretezésére szolgáló, mértékadó nyomatékok a [6] szerint

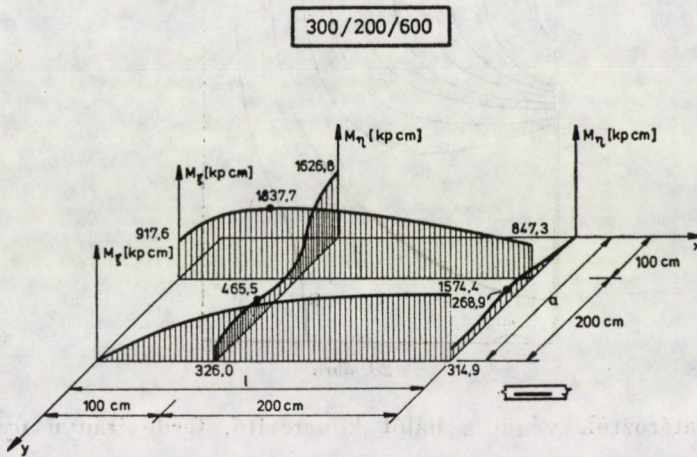
$$M_\xi = M_I \cos^2 \varphi_I + M_{II} \sin^2 \varphi_I + |(M_I - M_{II}) \sin \varphi_I \cos \varphi_I|$$

és

$$M_\eta = M_I \sin^2 \varphi_I + M_{II} \cos^2 \varphi_I + |(M_I - M_{II}) \sin \varphi_I \cos \varphi_I|.$$

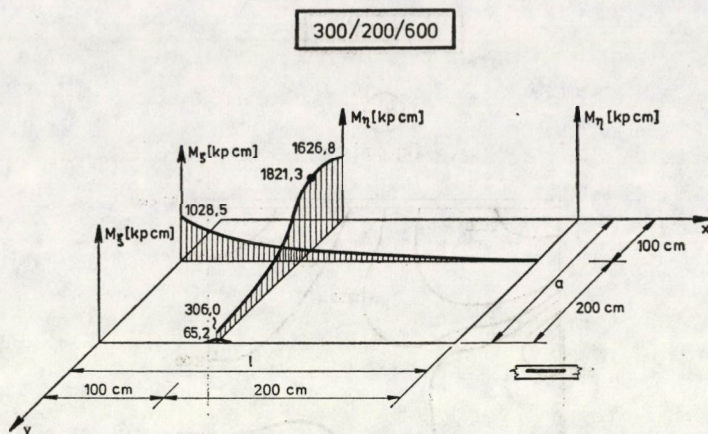


25. ábra

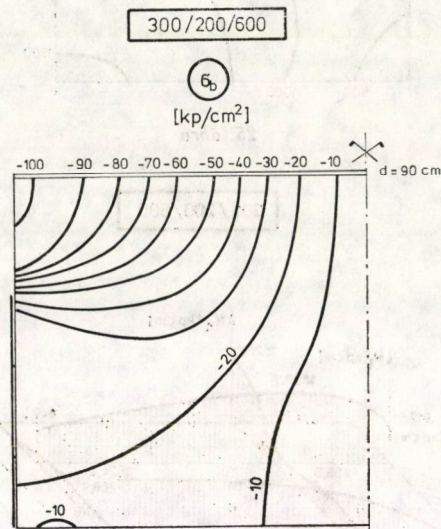


26. ábra

A fenti összefüggések a lemez alsó oldalára értendők, a felső oldalon M_I és M_{II} előjele értelemszerűen megfordul. Eredményeinket két-két jellegzetes metszetben az alsó (26. ábra) és a felső lemezoldalra (27. ábra) vonatkozóan mutatjuk be. E „mérétezési” nyomatókokat annak figyelembevételével tűntettük fel, hogy a negatív értékek helyén nincs szükség vasbetétre, viszont a szerkesztési szabályok szerint elosztóvasként legalább a fővasalás 20%-át kell elhelyezni.



27. ábra



28. ábra

Meghatároztuk végül a hálót kimerevítő, ferde irányú nyomóerőből származó

$$M_{\zeta} = -2 | (M_I - M_{II}) \sin \varphi_I \cos \varphi_I |$$

nyomatékok. Ez egyrészt a

$$M_x + M_y = M_I + M_{II} = M_{\xi} + M_{\eta} + M_{\zeta}$$

feltétel alapján a számítás ellenőrzéséül szolgált, másrészt a

$$\sigma = \frac{\sigma M_{\zeta}}{h^2}$$

összefüggésből visszaszámolva lehetőséget adott a fellépő legnagyobb nyomófeszültségek meghatározására a betonban (28. ábra).

Köszönetnyilvánítás

Jelen tanulmány a BME Vasbetonszerkezetek Tanszéken, dr. WINDISCH Andor, egy. adjunktus közreműködésével készült. A szerzők ezúton mondanak köszönetet értékes segítségért dr. BÖLCSKEI Elemér egy. tanárnak, dr. OROSZ Árpád, egy. docensnek, valamint dr. QUAST Ulrik tanácsadó mérnöknek.

IRODALOM

1. BERGFELDER, J.: Berechnung von Platten veränderlicher Steifigkeit nach dem Differenzenverfahren. Vulkan Verlag, Essen, 1969
2. BÖLCSKEI E.—OROSZ Á.: Faltartók, lemezek, tárolók. Tankönyvkiadó, Budapest 1972
3. KAUFMANN, W.: Erfahrungen aus elektronischer Berechnung auskragender Eckbalkone im Wohnungsbau. *Beton- und Stahlbetonbau*, (1974), 100–102
4. REYER, E.: Finite Berechnung von Decken mit scharfkantigen Stützpunktaussparungen. *Die Bautechnik*, (1974) 232–240
5. STIGLAT, K.: Beitrag zur numerischen Behandlung der Schnittkräfte von rechteckigen und schiefen Platten mit Randbalken. Dissertation, TH Karlsruhe, 1960
6. STIGLAT, K.—WIPPEL, H.: Massive Platten. Betonkalender 1973, Bd. I., W. Ernst, u. Sohn, Berlin 1973
7. SZAVIN, G. N.: Plasztinki i obolcski sz rebrami zsesztkoszti. Kiev, Naukova Dumka, 1964
8. TIMOSHENKO, S.—WOJNOWSKY-KRIEGER, S.: Theory of Plates and Shells. McGraw Hill, New York 1959
9. VISONTAI J.: A Hotel Duna Interkontinental lakószint földemjének modell kísérlete. *Mélyépítéstudományi Szemle* (1969) 189–192
10. WOOD, R. H.: Plastic and Elastic Design of Slabs and Plates with Particular Reference to Reinforced Concrete Floor Slabs. Thames & Hudson, London 1961

Untersuchung einer auf den kürzeren Seiten teilweise unterstützten, auf einem der längeren Seiten freien, und am der anderen durch einen Balken verstärkten Platte. Das im Titel beschriebenes Flächentragwerk ist das statische Modell einer vorgefertigten Erkerplatte in Grasstafelbauweise, dessen Berechnung derzeit näherungsweise, ohne Rücksicht auf den Einfluß der Brüstung durchgeführt wird. Die Autoren verwenden zur Lösung des Problems die Differenzenmethode, wobei für die Knotenpunkte am versteiften Rand und den Eckpunkt des versteiften und des freien Randes entsprechende Operatoren abgeleitet werden. Aufgrund des Verfahrens wurde ein Maschinenprogramm entrickelt, wodurch die Abschätzung der Auswirkung der Rippenhöhe, der Seitenverhältnisse und der auskragenden Konsole auf die Verteilung der Momente und der Stützkräfte ermöglicht wird.

RUGALMAS FÉLTÉRREL KAPCSOLATOS NEM-FORGÁSSZIMMETRIKUS PEREMÉRTÉKFELADATOK EGY OSZTÁLYÁRÓL

ECSEDI ISTVÁN*

[Beérkezett 1975. július 28-án]

Jelen tanulmány a rugalmas féltérrel kapcsolatos nem-forgásszimmetrikus peremértékfeladatok egy osztályának a megoldására alkalmas módszert ismerteti. A szerző a SNEEDON által kidolgozott forgásszimmetrikus rugalmasságtani feladatok megoldására használt eljárást általánosítja.

Jelölések

R, φ, z	hengerkoordináták
$\vec{e}_R, \vec{e}_\varphi, \vec{e}_z$	az R, φ, z hengerkoordináta-rendszer egységvektorai
$\sigma_R, \sigma_\varphi, \sigma_z$	normálfeszültségek
$\tau_{R\varphi}, \tau_{Rz}, \tau_{\varphi z}$	csúsztatófeszültségek
G	csúsztató rugalmassági modulus
ν	Poisson-szám
\vec{g}	biharmonikus vektor
$\vec{g} = \Phi(R, z) \cos k\varphi \vec{e}_z, (k = 0, 1, 2, \dots)$	
$\nabla = \frac{\partial}{\partial R} \vec{e}_R + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \varphi} \vec{e}_\varphi + \frac{\partial}{\partial z} \vec{e}_z$	Hamilton-féle differenciáloperátor
ab	az a, b skalárok, vektorok, vagy másodfokú tenzorok általános (diadikus) szorzata
$\vec{a} \cdot \vec{b}$	az \vec{a} és \vec{b} vektorok skaláris szorzata,
$\text{grad } S = \nabla S$	S lehet skalár, vektor, vagy másodfokú tenzor,
$\text{div } \vec{S} = \nabla \cdot \vec{S}$	
$\nabla \nabla$	másodrendű tenzor differenciáloperátor,
$\text{def } \vec{C} = \frac{1}{2} (\nabla \vec{C} + \vec{C} \nabla)$	
I	idem tenzor,
$\nabla^4 = \nabla^2 \nabla^2$	biharmonikus operátor,
$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} + \frac{1}{R^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$	
$U, V, W, \Sigma_R, \Sigma_\varphi, \Sigma_z, T_{R\varphi}, T_{\varphi z}, T_{Rz}$	amplitúdó függvények,
$\Delta_k = \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} (k = 0, 1, 2, \dots)$	
$I_k(x)$	elsőfajú k -ad rendű Bessel-függvény ($k = 0, 1, 2, \dots$),
$\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z) = \int_0^\infty \Phi(R, z) I_k(\varrho R) R dR$	az $\Phi = \Phi(R, z)$ függvény R változóban vett k -ad rendű Hankel-transzformáltja, ($k = 0, 1, 2, \dots$), ($\varrho > 0$)
A „ k -ad rendű”	($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformáltat a függvény jele fölé tett „ n ” jel jelöli,
$\hat{\Phi}' = \hat{\Phi}'(\varrho, z) = \frac{\partial \hat{\Phi}(\varrho, z)}{\partial z}$	
„ ”	z szerinti deriváltat jelöli

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

$C_i = C_i(\varrho)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) ϱ -tól függő integrációs állandók
 $W(R, 0) = f(R)$ z tengely irányú elmozdulás adott amplitúdó függvénye,

$Q = Q(R, z) = \frac{\partial T_{Rz}}{\partial R} + \frac{T_{Rz}}{R} + \frac{k}{R} T_{\varphi z}$ segédmenyiség,

$g(\xi), C(\eta)$ segédfüggvények,

$\Gamma(x)$ Gamma függvény,

α_{i+k} együttható ($i = 0, 1, 2, \dots, k = 0, 1, 2, \dots$)

$\xi = \frac{R}{a}, \eta = a\varrho, \zeta = \frac{z}{a},$

$L_k^p(\xi, \eta) = \int_0^\infty C(\eta)\eta^p I_k(\zeta, \eta) \exp(-\zeta\eta) d\eta,$

$\vec{F} = F\vec{e}_z$

a hengert terhelő erő,

e

az erő hatásvonalának excentricitása a z tengelyhez képest,

$M = Fe$

nyomaték,

d

a henger z tengely irányú translációja,

θ

a henger dőlése a z tengelyhez.

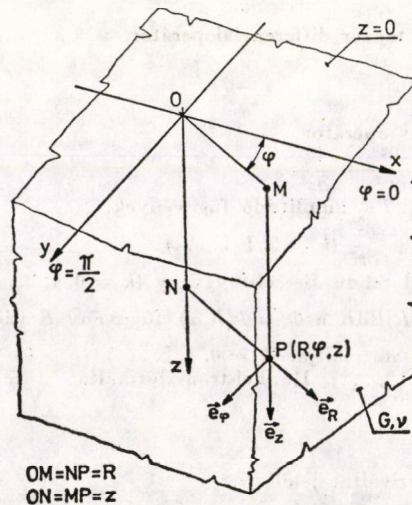
egyéb mennyiségeket, változókat a szövegben értelmezzünk.

1. Bevezetés

Jelen dolgozat tárgya az 1.1 ábrán vázolt kis alakváltozást szenvedett, homogén, izotróp, lineárisan rugalmas anyagú végtelen féltér néhány speciális quazistatikus kerületi érték feladatának megoldására alkalmas módszer ismertetése. A szerző SNEDDON könyvében leírt Love-féle feszültségfüggvénnyel kapcsolatos eljárást általánosítja.

Legyen az 1.1 ábrán vázolt, homogén, izotróp, lineárisan rugalmas anyagú, kis alakváltozást szenvedő végtelen féltér P pontjának az elmozdulásvektora az R, φ, z hengerkoordinátarendszerben

$$\vec{t} = u(R, \varphi, z)\vec{e}_R + v(R, \varphi, z)\vec{e}_\varphi + w(R, \varphi, z)\vec{e}_z. \quad (1.1)$$



1.1 ábra. Rugalmas féltér. ($0 \leq R < \infty, 0 \leq \varphi \leq 2\pi, 0 \leq z < \infty$)

Jelölje továbbá F a P pontbeli feszültségi tenzort, melynek az R, φ, z hengerkoordinátarendszerbeli matrixa az alábbi:

$$F = \begin{bmatrix} \sigma_R & \tau_{R\varphi} & \tau_{Rz} \\ \tau_{\varphi R} & \sigma_\varphi & \tau_{\varphi z} \\ \tau_{zR} & \tau_{z\varphi} & \sigma_z \end{bmatrix}. \quad (1.2)$$

Ismeretes — lásd BOUSSINESQUE—SOMIGLIANA—GALERKIN-megoldás [1], [2], [3] —, hogy a rugalmasságtan alapegyenletei — feltéve, hogy a vizsgált testet térfogati erőrendszer nem terheli — identikusan kielégülnek, ha az elmozdulásvektort és a feszültségi tenzort egy biharmonikus \vec{g} vektor segítségével

$$2G\vec{t} = \text{grad div } \vec{g} - 2(1 - \nu)\nabla^2\vec{g}, \quad (1.3)$$

$$F = \nabla\nabla \text{div } \vec{g} - 2(1 - \nu) \text{def } \nabla^2\vec{g} - \nu I\nabla^2\vec{g} \quad (1.4)$$

alakban állítjuk elő. A \vec{g} biharmonikus volta azt jelenti, hogy a vizsgált test által meghatározott tartomány pontjaiban fennáll a

$$\nabla^4\vec{g} = \vec{0} \quad (1.5)$$

egyenlet. A dolgozat csak olyan rugalmasságtani problémával foglalkozik, melynek megoldásai

$$\vec{g} = \Phi(R, z) \cos k\varphi \vec{e}_z \quad (1.6)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots)$$

alakú \vec{g} vektorból származtathatók. A $k = 0$ esetben a \vec{g} vektorral a Love-féle — forgásszimmetrikus esetre vonatkozó — megoldást kapjuk meg. A fenti (1.6) alakú \vec{g} vektorhoz tartozó elmozdulásvektor és feszültségi tenzor skalárkoordinátái rendre (lásd [1]):

$$\begin{aligned} u(R, \varphi, z) &= U(R, z) \cos k\varphi, \\ v(R, \varphi, z) &= V(R, z) \sin k\varphi, \\ w(R, \varphi, z) &= W(R, z) \cos k\varphi, \\ \sigma_R(R, \varphi, z) &= \Sigma_R(R, z) \cos k\varphi, \\ \sigma_\varphi(R, \varphi, z) &= \Sigma_\varphi(R, z) \cos k\varphi, \\ \sigma_z(R, \varphi, z) &= \Sigma_z(R, z) \cos k\varphi, \\ \tau_{R\varphi}(R, \varphi, z) &= T_{R\varphi}(R, z) \sin k\varphi, \\ \tau_{Rz}(R, \varphi, z) &= T_{Rz}(R, z) \cos k\varphi, \\ \tau_{\varphi z}(R, \varphi, z) &= T_{\varphi z}(R, z) \sin \varphi, \end{aligned} \quad (1.7-1.15)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots)$$

alakúak lesznek. Az (1.7–1.15) egyenletekben szereplő $U = U(R, z)$, $V = V(R, z)$, $W = W(R, z)$, $\Sigma_R = \Sigma_R(R, z)$, $\Sigma_\varphi = \Sigma_\varphi(R, z)$, $\Sigma_z = \Sigma_z(R, z)$, $T_{R\varphi} = T_{R\varphi}(R, z)$, $T_{Rz} = T_{Rz}(R, z)$, $T_{\varphi z} = T_{\varphi z}(R, z)$ amplitúdó függvények a $\Phi = \Phi(R, z)$ segítségével a következőképpen állíthatók elő [1]:

$$\begin{aligned}
 2GU &= \frac{\partial^2 \Phi}{\partial R \partial z}, \\
 2GV &= -\frac{k}{R} \frac{\partial \Phi}{\partial z}, \\
 2GW &= \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} - 2(1-\nu)\Delta_k \Phi, \\
 \Sigma_\varphi &= \frac{\partial}{\partial z} \left(-\nu \Delta_k \Phi + \frac{1}{R} \frac{\partial \Phi}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} \Phi \right), \\
 \Sigma_R &= \frac{\partial}{\partial z} \left(-\nu \Delta_k \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial R^2} \right), \\
 \Sigma_z &= \frac{\partial}{\partial z} \left[-(2-\nu)\Delta_k \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right], \\
 T_{Rz} &= \frac{\partial}{\partial R} \left[-(1-\nu)\Delta_k \Phi + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right], \\
 T_{R\varphi} &= -\frac{k}{R} \frac{\partial^2 \Phi}{\partial R \partial z} + \frac{k}{R^2} \frac{\partial \Phi}{\partial z}, \\
 T_{\varphi z} &= -\frac{k}{R} \left[\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} - (1-\nu)\Delta_k \Phi \right], \\
 &(k = 0, 1, 2, \dots).
 \end{aligned} \tag{1.16–1.24}$$

Itt bevezettük a

$$\Delta_k = \frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}, \tag{1.25}$$

($k = 0, 1, 2, \dots$)

jelölést.

2. Rugalmasságtani peremérték probléma megoldása Hankel transzformáció alkalmazásával

Az 1.1 ábrán vázolt testtel kapcsolatban olyan típus peremértékfeladatokkal foglalkozunk, amikor az alább felsorolt hat változó, illetve ezek valamilyen kombinációja adott a $z=0$ koordinátával kijelölt síkon:

$$\begin{aligned}
 u &= u(R, \varphi, z) = U(R, z) \cos k\varphi, \\
 v &= v(R, \varphi, z) = V(R, z) \sin k\varphi, \\
 w &= w(R, \varphi, z) = W(R, z) \cos k\varphi, \\
 \sigma_z &= \sigma_z(R, \varphi, z) = \Sigma_z(R, z) \cos k\varphi, \\
 \tau_{Rz} &= \tau_{Rz}(R, \varphi, z) = T_{Rz}(R, z) \cos k\varphi, \\
 \tau_{\varphi z} &= \tau_{\varphi z}(R, \varphi, z) = T_{\varphi z}(R, z) \sin k\varphi, \\
 &(k = 0, 1, 2, \dots).
 \end{aligned} \tag{2.1-2.6}$$

A $z = 0$ koordinátával kijelöl lapra előírt peremfeltételekkel kapcsolatban megjegyzendő, hogy azok nem lehetnek tetszőlegesek, még az amplitúdó függvényeket tekintve sem, mivel a megoldást egy

$$\begin{aligned}
 \vec{g} &= \Phi(R, z) \cos k\varphi \vec{e}_z, \\
 &(k = 0, 1, 2, \dots)
 \end{aligned} \tag{2.7}$$

alakú \vec{g} vektorból akarjuk származtatni. Így belátható (lásd (1.16), (1.17) és az (1.23), (1.24) egyenleteket!), hogy az

$$U + \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial R} (RV) = 0, \tag{2.8}$$

$$\begin{aligned}
 T_{Rz} + \frac{1}{k} \frac{\partial}{\partial R} (RT_{\varphi z}) &= 0, \\
 &(k = 1, 2, \dots)
 \end{aligned} \tag{2.9}$$

egyenleteknek (2.7) alakú \vec{g} vektor esetén fenn kell állniuk. A $k = 0$ esetben forgásszimmetrikus feladatról van szó, amikor is

$$V = 0, \quad T_{R\varphi} = 0, \quad T_{\varphi z} = 0, \tag{2.10-2.12}$$

és U , valamint T_{Rz} értéke ebben az esetben a $z = 0$ koordinátával kijelölt síkon általában R tetszőleges függvénye lehet.

A továbbiakban feltesszük, hogy a rugalmasságtani peremértékproblémában a megadott függvények olyanok, melyekkel a megoldás felépítése során képzett valamennyi improprius integrál konvergens, továbbá teljesülnek a k -ad rendű ($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformáció alkalmazhatóságának feltételei [4]. Az (1.6) alakú \vec{g} biharmonikus voltából következik, hogy a $\Phi = \Phi(R, z)$ függvénynek ki kell elégítenie a

$$\begin{aligned}
 \Delta_k \Delta_k \Phi &= 0, \\
 &(k = 0, 1, 2, \dots)
 \end{aligned} \tag{2.13}$$

homogén, lineáris, negyedrendű parciális differenciálegyenletet a vizsgált test — féltér — által meghatározott

$$\left. \begin{aligned} 0 < R < \infty \\ 0 < z < \infty \end{aligned} \right\} \quad (2.14)$$

tartományban. A (2.13) egyenlet k -ad rendű Hankel-transzformáltját véve az R változóban a következő egyenletet kapjuk:

$$\begin{aligned} \varrho^4 \hat{\Phi} - 2\varrho^2 \hat{\Phi}'' + \hat{\Phi}'''' = 0, \\ (0 < \varrho < \infty, \quad 0 < z < \infty), \end{aligned} \quad (2.15)$$

ahol $\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z)$ a $\Phi = \Phi(R, z)$ függvény k -ad rendű ($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformáltja az R változó szerint, azaz

$$\begin{aligned} \hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z) = \int_0^\infty \Phi(R, z) I_k(\varrho R) R dR, \\ (0 < \varrho < \infty, \quad 0 < z < \infty, \quad k = 0, 1, 2, \dots). \end{aligned} \quad (2.16)$$

A (2.15) z -ben negyedrendű állandó együtthatájú közönséges differenciálegyenlet általános megoldása, mint ismeretes, a

$$\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z) = [C_1(\varrho) + zC_2(\varrho)] \exp(-\varrho z) + [C_3(\varrho) + zC_4(\varrho)] \exp(\varrho z) \quad (2.17)$$

függvény. Itt $C_i = C_i(\varrho)$ ($i = 1, 2, 3, 4$) ϱ -tól függő integrációs állandót jelöl. A k -ad rendű ($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformált $\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z)$ ismeretében közvetlenül lehet számolni az elmozdulásvektor és a feszültségi tenzor skalárkoordinátáit meghatározó $U = U(R, z)$, $V = V(R, z), \dots \Sigma_z = \Sigma_z(R, z), \dots T_{R\varphi} = T_{R\varphi}(R, z)$ amplitúdó függvényeket. Az (1.16–1.18) egyenletekből a Hankel-transzformációval kapcsolatos inverziós szabályok és a

$$\begin{aligned} \frac{dI(x)}{dx} = I_{k-1}(x) - \frac{k}{x} I_k(x), \\ (k = 0, 1, 2, \dots) \end{aligned} \quad (2.18)$$

deriválási szabály alkalmazásával az U , V és W előállítására az alábbi egyenleteket tudjuk levezetni:

$$\begin{aligned} 2GU &= \int_0^\infty \left[\varrho^2 I_{k-1}(\varrho R) - \frac{k\varrho}{R} I_k(\varrho R) \right] \hat{\Phi}'(\varrho, z) d\varrho, \\ 2GV &= -\frac{k}{R} \int_0^\infty \hat{\Phi}'(\varrho, z) I_k(\varrho R) \varrho d\varrho, \\ 2GW &= \int_0^\infty [(2\nu - 1)\hat{\Phi}'' + 2(1 - \nu)\varrho^2 \hat{\Phi}] \varrho I_k(\varrho R) d\varrho, \\ &(k = 0, 1, 2, \dots, \dots). \end{aligned} \quad (2.19-2.21)$$

A $\Sigma_z = \Sigma_z(R, z)$ számításához pedig induljunk ki a

$$\Sigma_z = \frac{\partial}{\partial z} \left[- (z - \nu) \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Phi}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} \Phi \right) + (\nu - 1) \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right] \quad (2.22)$$

egyenletből. A (2.22) egyenlet k -ad rendű ($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformáltját véve az w változóban, írható, hogy

$$\hat{\Sigma}_z = (2 - \nu) \varrho^2 \hat{\Phi}' + (\nu - 1) \hat{\Phi}'''. \quad (2.23)$$

A Hankel-transzformáció megfordítására vonatkozó tétel alkalmazásának következménye a (2.24) egyenlet:

$$\begin{aligned} \Sigma_z = \Sigma_z(R, z) &= \int_0^\infty \hat{\Sigma}_z(\varrho, z) I_k(\varrho R) \varrho d\varrho = \\ &= \int_0^\infty [(2 - \nu) \varrho^2 \hat{\Phi}'(\varrho, z) + (\nu - 1) \hat{\Phi}'''(\varrho, z)] \varrho I_k(\varrho R) d\varrho, \end{aligned} \quad (2.24)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots)$.

Képezzük az (1.19) és az (1.20) egyenletek összegét:

$$\Sigma_R(R, z) + \Sigma_\varphi(R, z) = \frac{\partial}{\partial z} \left[(-2\nu + 1) \left(\frac{\partial^2 \Phi}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \Phi}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} \Phi \right) - 2\nu \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} \right]. \quad (2.25)$$

A (2.25)-ből következik, hogy

$$\Sigma_R(R, z) + \Sigma_\varphi(R, z) = \int_0^\infty (2\nu - 1) \varrho^2 \hat{\Phi}' - 2\nu \hat{\Phi}''' I_k(\varrho R) \varrho d\varrho, \quad (2.26)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots)$.

Az (1.19)-ből a

$$\Phi = \Phi(R, z) = \int_0^\infty \hat{\Phi}(\varrho, z) I_k(\varrho R) \varrho d\varrho, \quad (2.27)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots)$

helyettesítéssel, valamint a

$$\frac{d^2 I_k(\varrho R)}{dR^2} = - \frac{\varrho}{R} I_k(\varrho R) - \left[\varrho^2 - \frac{k(k+1)}{R^2} \right] I_k(\varrho R), \quad (2.28)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots)$

differenciálási szabály alkalmazásával az alábbi egyenletet tudjuk levezetni:

$$\begin{aligned} \Sigma_R(R, z) &= \int_0^\infty \left\{ \hat{\Phi}'(\varrho, z) \left[(\nu - 1) \varrho^3 + \frac{\varrho}{R^2} k(k+1) \right] I_k(\varrho R) - \right. \\ &\quad \left. \hat{\Phi}'(\varrho, z) \frac{\varrho^2}{R} I_{k-1}(\varrho R) - \nu \hat{\Phi}''' I_k(\varrho R) \varrho \right\} d\varrho, \end{aligned} \quad (2.29)$$

$(k = 0, 1, 2, \dots)$.

A $\Sigma_\varphi = \Sigma_\varphi(R, z)$ meghatározásához pedig célszerű a

$$\Sigma_\varphi = (\Sigma_R + \Sigma_\varphi) - \Sigma_R \quad (2.30)$$

azonosságot használni. A (2.26) és a (2.29) egyenletek (2.30)-ba való helyettesítése adja a (2.31) egyenletet:

$$\begin{aligned} \Sigma_\varphi = \Sigma_\varphi(R, z) = \int_0^\infty \left\{ \hat{\Phi}'(\varrho, z) \left[\varrho^3 \nu - \frac{\varrho}{R^2} k(k+1) \right] I_k(\varrho R) + \right. \\ \left. + \hat{\Phi}'(\varrho, z) \frac{\varrho^2}{R} I_k(\varrho R) - \nu \hat{\Phi}'''(\varrho, z) I_k(\varrho R) \right\} d\varrho, \quad (2.31) \\ (k = 0, 1, 2, \dots). \end{aligned}$$

Az eddigiekhez hasonló módon lehet levezetni a $T_{R\varphi} = T_{R\varphi}(R, z)$, $T_{Rz} = T_{Rz}(R, z)$, $T_{\varphi z} = T_{\varphi z}(R, z)$ amplitúdó függvényekre vonatkozó egyenleteket. A szóban forgó egyenletek az alábbiak:

$$T_{R\varphi} = \frac{k}{R^2} \int_0^\infty [(k+1)\varrho I_k(\varrho R) - \varrho^2 R I_{k-1}(\varrho R)] \hat{\Phi}'(\varrho, z) d\varrho, \quad (2.32)$$

$$T_{\varphi z} = -\frac{k}{R} \int_0^\infty [(1-\nu)\varrho^3 \hat{\Phi}(\varrho, z) + \nu \varrho \hat{\Phi}''(\varrho, z)] I_k(\varrho R) d\varrho, \quad (2.33)$$

$$T_{Rz} = \int_0^\infty [(1-\nu)\varrho^3 \hat{\Phi}(\varrho, z) + \nu \varrho \hat{\Phi}''(\varrho, z)] \left[\varrho I_{k-1}(\varrho R) - \frac{k}{R} I_k(\varrho R) \right] d\varrho, \quad (2.34)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots).$$

Látható, hogy a rugalmasságtani peremérték probléma megoldásához a $\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z)$ függvényt meghatározó $C_i = C_i(\varrho)$, ($i = 1, 2, 3, 4$) együtthatókat kell ismernünk.

3. Végtelen féltérrel kapcsolatos vegyes kerületértékfeladatok egy osztályáról

Legyen a rugalmas féltér $z = 0$ koordinátával kijelölt síkján az alábbi peremfeltétel előírva:

$$w(R, \varphi, 0) = f(R) \cos k\varphi, \quad \text{ha } 0 \leq R \leq a, \quad (3.1)$$

$$\sigma_z(R, \varphi, 0) = 0, \quad \text{ha } a < R < \infty, \quad (3.2)$$

$$\tau_{Rz}(R, \varphi, 0) = 0, \quad 0 \leq R < \infty, \quad (3.3)$$

$$\tau_{\varphi z}(R, \varphi, 0) = 0, \quad 0 \leq R < \infty. \quad (3.4)$$

Feltesszük, hogy a (3.1), (3.2), (3.3), (3.4) peremfeltételekhez tartozó megoldás egy (1.6) alakú biharmonikus \vec{g} vektorból származtatható. Ha feltevésünk helyes, akkor a \vec{g} vektort — $-\Phi = \Phi(R, z)$ függvényt — meghatározó $C_i = C_i(\varrho)$, ($i = 1, 2, 3, 4$) integráció állandók a peremfeltételek kielégítésével és az elmozdulásvektor, valamint a feszültségi tenzor skalárkoordinátáinak a $z = \infty$ helyen való korlátos voltának a felhasználásával egyértelműen előállíthatók. A későbbi számításokban hasznosnak mutatkozik az alábbi segédmenyiség:

$$Q = Q(R, z) = \frac{\partial T_{Rz}}{\partial R} + \frac{T_{Rz}}{R} + \frac{k}{R} T_{\varphi z}. \quad (3.5)$$

A $Q = Q(R, z)$ a $\Phi = \Phi(R, z)$ függvény segítségével a következőképpen állítható elő:

$$Q = -(1 - \nu) \left(\frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} \right)^2 \Phi + \nu \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial^2}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial R} - \frac{k^2}{R^2} \right) \Phi. \quad (3.6)$$

A $Q = Q(R, z)$ k -ad rendű ($k = 0, 1, 2, \dots$) Hankel-transzformáltja a következő módon állítható elő:

$$\hat{Q} = \hat{Q}(\varrho, z) = \int_0^\infty Q(R, z) I_k(\varrho R) R dR = -(1 - \nu) \varrho^4 \hat{\Phi}(\varrho, z) - \nu \varrho^2 \hat{\Phi}''(\varrho, z), \quad (3.7)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots).$$

Az elmozdulásvektor és feszültségi tenzor skalárkoordinátáinak $z = \infty$ helyen való korlátos voltából következik, hogy

$$C_3(\varrho) = 0, \quad C_4(\varrho) = 0, \quad (3.8-3.9)$$

aminek megfelelően a $\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z)$ függvény a

$$\hat{\Phi} = \hat{\Phi}(\varrho, z) = [C_1(\varrho) + z C_2(\varrho)] \exp(-\varrho z) \quad (3.10)$$

alakúra egyszerűsödik. A (3.3) és (3.4) peremfeltételekből következik, hogy

$$Q(R, 0) = 0, \quad (3.11)$$

illetve

$$\hat{Q}(\varrho, 0) = 0. \quad (3.12)$$

A (3.12)-ből a fentiek figyelembevételével az alábbi egyenlet vezethető le:

$$C_2(\varrho) = \frac{\varrho}{2\nu} C_1(\varrho). \quad (3.13)$$

A $C_1 = C_1(\varrho)$ integrációs állandót a (3.1) és a (3.2) peremfeltételek kielégítésével határozzuk meg. A számítások alapja a (3.1)-ből és a (3.2)-ből következő (3.14), (3.15) egyenletrendszer:

$$W(R, 0) = f(R), \quad \text{ha } 0 \leq R \leq a, \quad (3.14)$$

$$\Sigma_z(R, 0) = 0, \quad \text{ha } a < R < \infty. \quad (3.15)$$

A (2.21) egyenletből $z = 0$ és $C_3 = C_4 = 0$, valamint $C_2 = \varrho/2\nu C_1$ helyettesítéssel a

$$\widehat{W}(\varrho, 0) = \frac{1-\nu}{2G\nu} \varrho^2 C_1(\varrho) \quad (3.16)$$

egyenletre jutunk. A (2.24) egyenletből az előbb alkalmazott helyettesítésekkel pedig a

$$\widehat{\Sigma}_z(\varrho, 0) = -\frac{\varrho^3}{\nu} C_1(\varrho) \quad (3.17)$$

egyenletet kapjuk. Tekintettel a

$$W(R, 0) = \int_0^\infty \widehat{W}(\varrho, 0) I_k(\varrho R) \varrho d\varrho, \quad (3.18)$$

$$\Sigma_z(R, 0) = \int_0^\infty \widehat{\Sigma}_z(\varrho, 0) I_k(\varrho R) \varrho d\varrho, \quad (3.19)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots)$$

azonosságokra, a (3.14) és (3.15) egyenletekből a

$$C(\eta) = \eta^3 C_1\left(\frac{\eta}{a}\right), \quad (\eta = a\varrho) \quad (3.20)$$

függvényre a következő kapcsolt „dualis” integrálegyenletet vezethetjük le:

$$\int_0^\infty C(\eta) I_k(\xi\eta) d\eta = g(\xi), \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (3.21)$$

$$\int_0^\infty \eta C(\eta) I_k(\xi\eta) d\eta = 0, \quad 1 < \xi < \infty, \quad (3.22)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots),$$

ahol

$$g(\xi) = \frac{2G\nu}{1-\nu} a^4 f(a\xi). \quad (3.23)$$

A dualis integrál egyenleteknek ezen típusának megoldását BUSBRIDGE nyomán [4], [8]

$$C(\eta) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \left[\sqrt{\eta} I_{k-1/2}(\eta) \int_0^1 t^{k+1} (1-t^2)^{-1/2} g(t) dt + \int_0^1 t^{k+1} (1-t^2)^{-1/2} dt \cdot \int_0^1 g(\eta s) (s\eta)^{k+1/2} I_{k+1/2}(s\eta) ds \right], \quad (3.24)$$

$$(k^2 = 0, 1, 2, \dots)$$

alakban adhatjuk meg.

Legyen

$$g(\xi) = \sum_{i=0}^{\infty} \alpha_{i+k} \xi^{i+k}, \quad (3.25)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots).$$

Ebben az esetben a

$$\int_0^1 t^{i+1} (1-t^2)^{-1/2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \frac{\Gamma\left(\frac{i+2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{i+3}{2}\right)}, \quad (3.26)$$

$$\eta \int_0^1 s^{i+k+3/2} I_{k+1/2}(s\eta) ds = (i+2k+1) \int_0^1 s^{i+k+1/2} I_{k-1/2}(s\eta) ds - I_{k-1/2}(\eta), \quad (3.27)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots; i = 0, 1, 2, \dots)$$

azonosságok felhasználásával [5], [7] $C(\eta)$ a következő alakban is előállítható:

$$C(\eta) = \sqrt{2\eta} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\Gamma\left(\frac{i+2k+2}{2}\right)}{\Gamma\left(\frac{i+2k+1}{2}\right)} \alpha_{i+k} \int_0^1 s^{i+k+1/2} I_{k-1/2}(s\eta) ds \quad (3.28)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots).$$

Legyen

$$L_k^p = L_k^p(\xi, \zeta) = \int_0^{\infty} C(\eta) \eta^p I_k(\xi\eta) \exp(-\zeta\eta) d\eta, \quad (3.29)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots; p = -1, 0, 1, 2).$$

A (3.29)-es egyenlet által definiált L_k^p függvény segítségével az elmozdulásvektort és feszültségi tenzort meghatározó amplitúdó függvények rendre az alábbiak lesznek:

$$2Ga^4 U = \frac{1-2\nu}{2\nu} L_{k-1}^0 + \frac{2\nu-1}{2\nu} \frac{k}{\xi} L_j^{-1} - \frac{\zeta}{2\nu} L_{k-1}^1 + \frac{k\zeta}{2\xi\nu} L_k^0, \quad (3.30)$$

$$2Ga^4 V = \frac{k}{\xi} \left(\frac{1-2\nu}{2\nu} L_k^{-1} - \frac{\zeta}{2\nu} L_k^0 \right), \quad (3.31)$$

$$2G\alpha^4 W = \frac{1-\nu}{\nu} L_k^0 + \frac{\zeta}{2\nu} L_k^1, \quad (3.32)$$

$$\alpha^5 \Sigma_z = -\frac{1}{2\nu} L_k^1 - \frac{\zeta}{2\nu} L_k^1, \quad (3.33)$$

$$\begin{aligned} \alpha^5 \Sigma_R = & \frac{2\nu - \nu^2 - 1}{2\nu} L_k^1 + \frac{1-2\nu}{\xi^2} k(k+1)L_k^{-1} + \frac{\zeta}{2\nu} L_k^2 - \frac{1}{2\nu} \frac{\zeta}{\xi^2} k(k+1)L_k^0 - \\ & - \frac{1}{\xi} L_{k-1}^0 - \frac{\zeta}{2\nu} L_{k-1}^1 + \frac{1}{2\nu\xi} L_k^0, \end{aligned} \quad (3.34)$$

$$\alpha^5 (\Sigma_R + \Sigma_\varphi) = -\frac{2\nu+1}{2\nu} L_k^{-1} + \frac{\zeta}{2\nu} L_k^0, \quad (3.35)$$

$$\alpha^5 T_{R\varphi} = \frac{k}{\xi^2} \left[\frac{1-2\nu}{2\nu} L_k^{-1}(k+1) - \xi L_k^0 \frac{1-2\nu}{2\nu} - \frac{\zeta}{2\nu} (k+1)L_k^0 + \frac{\zeta\xi}{2\nu} L_k^{-1} \right], \quad (3.36)$$

$$\alpha^5 T_{Rz} = \frac{\zeta}{2\nu} \left[L_{k-1}^2 - \frac{k}{\xi} L_k^1 \right], \quad (3.37)$$

$$\alpha^5 T_{\varphi z} = \frac{k\zeta}{2\nu\xi} L_k^1, \quad (3.38)$$

$$(k = 0, 1, 2, \dots),$$

ahol

$$\xi = \frac{R}{a}, \quad \zeta = \frac{z}{a}. \quad (3.39-3.40)$$

A (3.37) és (3.38) egyenlet alapján belátható, hogy T_{Rz} és $T_{\varphi z}$ kielégíti a (3.3) és (3.4) peremfeltételeket a $z = 0$ koordinátával kijelölt síkon, annak ellenére, hogy a képletek levezetése során csak a $Q(R, 0) = 0$ feltételt használtuk közvetlenül.

4. Egy példa. Excentrikusan nyomott merev körhenger behatolása rugalmas féltérbe

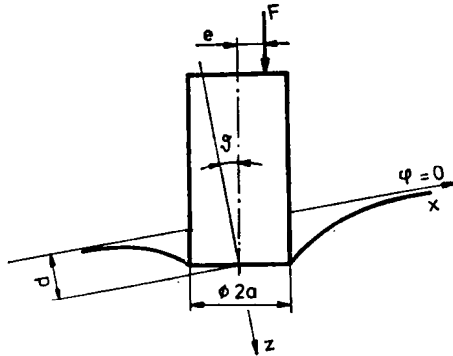
A 4.1 ábrán vázolt merev tömör körhenger alakú test $\vec{F} = F \vec{e}_z$ ($F > 0$) erő hatására nyomódik a rugalmas féltérbe. Tegyük fel, hogy az \vec{F} erő hatásvonalára nem esik egybe a z tengellyel, de benne van az xz síkban. Az erő hatásvonalának a z tengelyhez való e értékű excentricitása miatt a henger a z tengely irányú d mértékű transláció mellett megdől ϑ szöggel. Továbbá felteesszük, hogy az elmozdulások (d, ϑ) kicsik, valamint a henger és a rugalmas

féltér érintkezésénél *csúsztató feszültség nem ébred*, mivel tökéletesen sima felületek érintkeznek. Így a rugalmas féltér $z = 0$ koordinátával kijelölt síkján az alábbi peremfeltételeket kell kielégítenünk:

$$w(R, \varphi, 0) = d + R \operatorname{tg} \theta \cos \varphi, \quad 0 \leq R \leq a \quad (4.1)$$

$$\sigma_z(R, \varphi, 0) = 0, \quad a < R < \infty \quad (4.2)$$

$$\tau_{Rz}(R, \varphi, 0) = 0, \quad \tau_{\varphi z}(R, \varphi, 0) = 0, \quad 0 < R < \infty. \quad (4.3-4.4)$$



4.1. ábra. Merev körhenger benyomódása rugalmas féltérbe

A (4.1), (4.2), (4.3), (4.4) peremfeltételekkel jellemzett feladat megoldását a szuperpozíció elvének a felhasználásával (I) és (II) peremfeltételrendszerekhez tartozó megoldások összegeként állíthatjuk elő. A továbbiakban az (I) peremfeltételek által meghatározott megoldáshoz rendelt mennyiségeket — az $L_k^p(\xi, \zeta)$ kivételével — felül „⁽⁰⁾” jellel, a (II) peremfeltételek által meghatározott megoldáshoz rendelt mennyiségeket — az $L_k^p(\xi, \zeta)$ kivételével — „⁽¹⁾” jellel jelöljük. A szóban forgó (I) és (II) peremfeltételrendszereket az alábbi egyenletek definiálják:

$$\text{I} \begin{cases} w^{(0)}(R, \varphi, 0) = d, & 0 \leq R \leq a, & (4.5) \\ \sigma_z^{(0)}(R, \varphi, 0) = 0, & a < R < \infty, & (4.6) \\ \tau_{Rz}^{(0)}(R, \varphi, 0) = 0, & \tau_{\varphi z}^{(0)}(R, \varphi, 0) = 0, & 0 < R < \infty; & (4.7-4.8) \end{cases}$$

$$\text{II} \begin{cases} w^{(1)}(R, \varphi, 0) = R \tan \theta \cos \varphi, & 0 \leq R \leq a, & (4.9) \\ \sigma_z^{(1)}(R, \varphi, 0) = 0, & a < R < \infty, & (4.10) \\ \tau_{Rz}^{(1)}(R, \varphi, 0) = 0, & \tau_{\varphi z}^{(1)}(R, \varphi, 0) = 0, & 0 < R < \infty. & (4.11-4.12) \end{cases}$$

Az (I) peremfeltétel által meghatározott megoldást

$$\vec{g}^{(0)} = \Phi^{(0)}(R, z) \vec{e}_z, \quad (4.13)$$

a (II) peremfeltételek által meghatározott megoldást pedig egy

$$\vec{g}^{(1)} = \Phi^{(1)}(R, z) \cos \varphi \vec{e}_z \quad (4.14)$$

alakú \vec{g} vektorból származtatjuk. A tanulmány 3. pontja alapján az I-es peremfeltételekhez rendelt megoldás előállításához a

$$\int_0^\infty C^{(0)}(\eta) I_0(\xi\eta) d\eta = \frac{2G\nu}{1-\nu} a^4 d, \quad 0 \leq \xi \leq 1, \quad (4.15)$$

$$\int_0^\infty \eta C^{(0)}(\eta) I_0(\xi\eta) d\eta = 0, \quad 1 < \xi < \infty \quad (4.16)$$

feltételeknek eleget tevő $C^{(0)} = C^{(0)}(\eta)$ függvényt kell meghatároznunk. A (4.15), (4.16) egyenletekből álló egyenletrendszer megoldása [4], [8]:

$$C^{(0)}(\eta) = \frac{4G\nu a^4 d}{(1-\nu)\pi} \frac{\sin \eta}{\eta}, \quad (0 < \eta < \infty). \quad (4.17)$$

A (II) peremfeltételekhez tartozó megoldás előállítása (lásd (3.21), (3.22) egyenleteket!) a

$$\int_0^\infty C^{(1)}(\eta) I_1(\xi\eta) d\eta = \frac{2G\nu a^5 \tan \vartheta}{1-\nu} \xi \quad 0 \leq \xi \leq 1 \quad (4.18)$$

$$\int_0^\infty \eta C^{(1)}(\eta) I_1(\xi\eta) d\eta = 0 \quad 1 < \xi < \infty \quad (4.19)$$

dual integrálegyenleteket kielégítő $C^{(1)} = C^{(1)}(\eta)$ függvény segítségével történik. A fenti egyenletrendszer megoldása [4], [8]:

$$C^{(1)} = C^{(1)}(\eta) = \frac{8G\nu a^5 \tan \vartheta}{(1-\nu)\pi} \left(\frac{\sin \eta}{\eta^2} - \frac{\cos \eta}{\eta} \right), \quad (4.20)$$

$$(0 < \eta < \infty).$$

A $C^{(0)}(\eta)$ és $C^{(1)}(\eta)$ ismeretében az $L_k^i(\xi, \zeta)$ ($k = 0, 1$) függvényeken keresztül előállíthatjuk a $2Ga^5 U^{(0)}$, $2Ga^5 V^{(0)}$, $2Ga^5 W^{(0)}$, ... $a^5 \Sigma_R^{(0)}$, ... $a^5 T_{R\varphi}^{(0)}$; $2Ga^5 U^{(1)}$, $2Ga^5 V^{(1)}$, ... $a^5 \Sigma_R^{(1)}$... $a^5 T_{R\varphi}^{(1)}$ mennyiségeket, melyek felhasználásával az elmozdulásvektor és feszültségi tenzor skalárkoordinátái az alábbi módon számíthatók:

$$u(R, \varphi, z) = \frac{1}{2Ga^4} [2Ga^4 U^{(0)} + 2Ga^4 U^{(1)} \cos \varphi], \quad (4.21)$$

$$v(R, \varphi, z) = \frac{1}{2Ga^4} [2Ga^4 V^{(1)} \sin \varphi], \quad (4.22)$$

$$w(R, \varphi, z) = \frac{1}{2Ga^4} [2Ga^4 W^{(0)} + 2Ga^4 W^{(1)} \cos \varphi], \quad (4.23)$$

$$\sigma(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} (a^5 \Sigma_z^{(0)} + a^5 \Sigma_z^{(1)} \cos \varphi), \quad (4.24)$$

$$\sigma_R(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} (a^5 \Sigma_R^0 + a^5 \Sigma_R^{(1)} \cos \varphi), \quad (4.25)$$

$$\sigma_R(R, \varphi, z) + \sigma_\varphi(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} [a^5 (\Sigma_R^{(0)} + \Sigma_\varphi^{(4)}) + a^5 (\Sigma_R^{(1)} + \Sigma_\varphi^{(1)}) \cos \varphi], \quad (4.26)$$

$$\tau_{Rz}(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} (a^5 T_{Rz}^{(0)} + a^5 T_{Rz}^{(1)} \cos \varphi), \quad (4.27)$$

$$\tau_{\varphi z}(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} (a^5 T_{\varphi z}^{(1)}) \sin \varphi, \quad (4.28)$$

$$\tau_{\varphi R}(R, \varphi, z) = \frac{1}{a^5} a^5 T_R^{(1)} \sin \varphi. \quad (4.29)$$

Végezetül a

$$p(R, \varphi) = \sigma_z(R, \varphi, 0) \quad (0 \leq R \leq a) \quad (4.30)$$

érintkezési nyomás képletét vezetjük le. Ez a

$$\sigma_z^{(0)}(\xi, \varphi, 0) = \Sigma_z^{(0)}(\xi, \varphi, 0) = -\frac{1}{2\nu a^5} L_0^1(\xi, 0), \quad (4.31)$$

$$\sigma_z^{(1)}(\xi, \varphi, 0) = \Sigma_z^{(1)}(\xi, \varphi, 0) \cos \varphi = -\frac{1}{2\nu a^5} L_1^1(\xi, 0) \cos \varphi, \quad (4.32)$$

$$(0 \leq \xi \leq 1), \quad (0 \leq \varphi \leq 2\pi)$$

egyenletek segítségével történhetik, ha felhasználjuk, hogy

$$L_0^1(\xi, 0) = \int_0^\infty C^{(0)}(\eta) \eta I_0(\xi \eta) d\eta = \frac{4G\nu\delta}{(1-\nu)\pi} a^4 \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}}, \quad (0 \leq \xi < 1) \quad (4.33)$$

és

$$L_1^1(\xi, 0) = \int_0^\infty C^{(1)}(\eta) \eta I_1(\xi \eta) d\eta = \frac{8G\nu a^5}{(1-\nu)\pi} \tan \vartheta \frac{1}{\xi \sqrt{1-\xi^2}}, \quad (4.34)$$

$$(0 < \xi < 1).$$

A (4.33) és (4.34) egyenletek levezetése az [5], [7]-ben megtalálható Bessel-függvényekkel kapcsolatos azonosságok felhasználásával nyerhető. A d benyomódást és a ϑ szögelfordulást előidéző F erőt és e excentricitást az alábbi egyenletek kapcsolják össze:

$$F = -\frac{4Ga^2}{1-\nu} \delta, \quad (4.35)$$

$$e = \frac{2}{3} a \frac{\tan \theta}{\delta}, \quad (4.36)$$

ahol

$$\delta = \frac{d}{a}. \quad (4.37)$$

Hiszen

$$F = \int_{\varphi=0}^{2\pi} \int_{R=0}^a \sigma_z(R, \varphi, 0) R dR d\varphi = \int_0^{2\pi} \int_0^1 \sigma_z(a\xi, \varphi, 0) a^2 \xi d\xi d\varphi = -\frac{4Ga^2}{1-\nu} \delta, \quad (4.38)$$

és

$$M = \int_{R=0}^a \int_{\varphi=0}^{2\pi} \sigma_z(R, \varphi, 0) R^2 \cos \varphi dR d\varphi = -\frac{8a^3G}{3(1-\nu)} \tan \theta, \quad (4.39)$$

$$M = eF. \quad (4.40)$$

Az F erőre és M nyomatékra kapott végképletek megegyeznek [6]-ban a ПАРКОВИЧ—НЕУБЕР-féle megoldás felhasználásával kapott eredményekkel.

IRODALOM

1. Лурье, А. И.: Теория упругости. Издательство Наука, Физика-математической литературы, Москва 1971
2. GALERKIN, B.: Contribution a la solution general du problem de la theorie de l'élasticité dans le cas de trois dimensions, C. R. Acad. Sci. Paris 190, pp. 1047—1048.
3. SOMIGLIANA, C.: Sulla equazioni della elasticità. *Ann. Math.* 17 34—64
4. SNEDDON, I. N.: Fourier Transforms, McGraw-Hill Book Company, Inc. New York—London—Toronto 1951
5. ERDÉLYI, A.—MAGNUS, W.—OBERHERTINGER, F.—TRICOMI, F.: Higher Transcendental Functions, Vol. 1—3. McGraw-Hill Book Company Inc. New York—London—Toronto 1953
6. Уфлянд, Я. С.: Интегральные преобразования в задачах теории упругости, Издательство «Наука» Ленинградское отделение. Ленинград, 1968
7. WATSON, N. G.: Theory of Bessel Functions, Cambridge Univ. Press, 1922
8. BUSBRIDGE, I.: Dual Integral Equations. *Proc. London Math. Soc.*, 2 ser 44 (1938), No. 2207, pp. 115—129

On the Class of the Non-axisymmetric Boundary-value Problems Connected to the Elastic Halfspace. A method for the solution of a class of the non-axisymmetric boundary value problems connected to the elastic half-space is reported. The author generalizes the procedure used for the solution of axisymmetric problems of the theory of elasticity worked out by SNEDDON.

Über eine Klasse der mit dem elastischen Halbraum zusammenhängenden, nicht achsensymmetrischen Randwertaufgaben. Es wird eine zur Lösung einer Klasse der mit dem elastischen Halbraum zusammenhängenden nicht achsensymmetrischen Randwertprobleme geeignete Methode erörtert. Der Autor verallgemeinert das zur Lösung der achsensymmetrischen Aufgaben der Elastizitätslehre von SNEDDON entwickelte Verfahren.

TURBÓGENERÁTOROK HOMLOKOLDALI MELEGEDÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA ALULGERJESZTETT ÜZEMBEN

ASZTALOS PÉTER*
BARNA GÁBOR**
FEHÉR GYÖRGY***
HÖRCHER FRIGYES****

[Beérkezett 1975. november 14-én]

Nagy turbógenerátorok meddőnyelési képességét a stabilitás fenntartásának lehetőségei és az állórész homlokoldalának melegedési viszonyai korlátozzák. A stabilitás kérdéseivel e cikk részleteiben nem foglalkozik. A homlokoldali melegedés kérdésének elvi-fizikai alapjait azonban a szerzők megkísérlik világosabbá tenni. Ugyanakkor új eljárást ismertetnek a homlokoldalak egyes pontjainak mérések alapján történő melegedési vizsgálatára különböző terhelési állapotokban.

Jelölések

Θ_s	állórésztekercselés gerjesztése (armatúravisszahatás)
Θ_r	forgórésztekercselés gerjesztése
Λ_s	az állórészgerjesztés által létrehozott fluxus vezetőképessége
Λ_r	a rotorgerjesztés által létrehozott fluxus vezetőképessége
Φ	a vizsgált szerkezeti elemekben örvényáramokat létrehozó szórt fluxus
i_s	az armatúravisszahatás forgórészre redukált értéke ($i_s = rI$)
i_r	gerjesztőáram
i_e	a homlokoldali melegedést okozó (fiktív) rotoráram
$\varepsilon = \Lambda_r/\Lambda_s$	viszonyszám
c	arányossági tényező i és Θ között ($c = i/\Theta$)
k	arányossági tényező Δt és $(\Phi)^2$ között ($k = \Delta t/\Phi^2$)
Δt	túlmelegedés
$\vartheta = k\lambda_s^2 = \Delta t/(\bar{i}_e)^2$	melegedési állandó
σ	szórás
e	eltérés a mért hőfoktól
n	a terhelési mérések száma
δ	terhelési szög
γ	\bar{i}_s és \bar{i}_r által bezárt szög
U	kapocsfeszültség
U_b	indukált (belső) feszültség
I	státoráram
r	redukciós tényező ($r = i_s/I$)
X	Potier-reaktancia ($X \geq X_s$)
X_s	szórási reaktancia
t	hőmérséklet

* Dr. Asztalos P. 1118 Budapest, Holdvilág u. 4.

** Barna G. 1149 Budapest, Dongó u. 6.

*** Fehér Gy. 1065 Budapest, Révay u. 18.

**** Hörcher Fr. 1122 Budapest, Krisztina krt. 2-4.

1. Az alulgerjesztett üzem jelentősége

A hálózati viszonyok bizonyos esetekben szükségessé tehetik, hogy a távvezetésekre dolgozó erőművek generátorai meddő teljesítményt fogyasszanak, tehát *alulgerjesztett* üzemben dolgozzanak. Erre elsősorban az éjszakai órákban lehet szükség, amikor a lecsökkent fogyasztói teljesítmények miatt a nagyfeszültségű távvezetékek kapacitása következtében a generátorok árama kapacitív jellegűvé válik, ezért azokat alulgerjesztett üzemben kell járatni, azaz velük meddő teljesítményt kell „nyeletni”. Ismeretes ugyanis, hogy míg a túlgerjesztett szinkrongép meddő teljesítményt termel, addig az alulgerjesztett gép meddő teljesítményt fogyaszt. (Túlgerjesztett üzemben a generátor gerjesztőárama nagyobb, alulgerjesztett üzemben pedig kisebb, mint $\cos \varphi = 1$ esetén.) A távvezetéseken fellépő feszültségemelkedés korlátozására a generátornak alulgerjesztett üzemben egyúttal gyakran a névlegesnél kisebb feszültségen kell járnia.

Alulgerjesztett üzemben járó szinkron gépek vizsgálatai azt mutatták, hogy a megengedhető terhelést nem csupán a rendszer stabilitási követelményei korlátozzák, hanem az állórész homlokterében levő aktív és inaktív szerkezeti elemek (a vastest szélső lemezcsomagjai, árnyékoló tárcsák, szorító tárcsák stb.) melegedése is. Azt tapasztalták ugyanis, hogy e részek sokkal jobban melegszenek alulgerjesztett, mint túlgerjesztett üzemben, noha a gerjesztőáram az első esetben kisebb. Ez a megállapítás első pillanatra megdöbbentőnek látszik. A jelenség oka az, hogy a tekercsfejtér szórt fluxusa megnő a túlgerjesztett állapothoz képest.

Ugyanakkor a homlokoldalak melegedése egyre inkább döntő kérdéssé válik. Modern, gyorsműködésű, érzéketlenségi sáv nélküli feszültségszabályozókkal felszerelt generátorokkal ugyanis a gép elméleti statikus stabilitási határát átlépve, mesterségesen is stabil üzemet lehet tartani [1]. Ilyen esetekben pedig sokszor már csak a homlokoldalak melegedése szab határt a generátorok terhelhetőségének alulgerjesztett üzemben [2, 3].

2. A tekercsfejek szórt mágneses tere

Szinkrongépek (turbógenerátorok) homlokterében bonyolult térbeli alakzatban foglalnak helyet az állórésztekercselés és a forgórész- (gerjesztő-) tekercselés tekercsfejei.

A bennük folyó áramok által létesített szórt mágneses tér — szemben az állórészvastest és a forgórésztest közötti légrétegben kialakuló főmezővel — nem ábrázolható egyetlen (a tengelyre merőleges) síkban. Az itt kialakuló szórt mágneses tér bonyolult térbeli alakzat, amelynek sugárirányú, tengelyirányú és tangenciális összetevői vannak. Tovább bonyolítja a képet az a körülmény,

hogy a szórt mező által a szerkezeti részekben indukált örvényáramok is visszahatnak a mezőre.

Mindezek miatt a tekercsfejtérben kialakuló fluxuskép egyszerű eszközökkel nem írható le. A valósághoz képest erősen egyszerűsített modellek mennyiségi vizsgálatához is bonyolult matematikai eszközökre, elektronikus számítógépek és elektrosztatikus kádák igénybevételére van szükség.

A tekercsfejtér szórt fluxusának nagysága függ egyebek között a gép terhelésétől, teljesítménytényezőjétől, a megkívánt gerjesztéstől, a generátor rövidzárási viszonyától stb. is. Ezek közül a tényezők közül az alulgerjesztett üzemben fellépő melegítő hatás szempontjából a teljesítménytényező befolyása érdemel elsősorban figyelmet.

3. A $\cos \varphi$ befolyása a tekercsfejtér szórt mágneses terére

A teljesítménytényező befolyásának minőségi vizsgálatával többek között RICHARDSON [4], HUTORECKIJ és KOSZACSEVSZKIJ [5], valamint LEMBERG [6] cikkei foglalkoztak.

Mindhárom cikk igyekezett a jelenségeket egyszerű eszközökkel magyarázni. RICHARDSON cikkében azonban a szuperpozíció elvét nem helyesen alkalmazta, a szovjet szerzők pedig — szerintünk szükségtelenül — a tekercsfejek közötti kölcsönös induktivitás fogalmát vezették be. A fizikai képet legtisztábban Lemberg közleménye írta le. Mindegyik szerző elhanyagolta az állórész szórásai reaktanciáját, tehát vizsgálataik kizárólag *minőségi képet* adhattak a jelenségről.

Az alábbiakban ugyancsak egyszerűsített gondolatmenettel, de az állórész szórásai reaktanciáját is figyelembe véve megkíséreljük a fizikai jelenséget elvileg helyesebben és — terhelési mérések eredményei alapján — *mennyiségi vizsgálatokra* is alkalmas módon érzékeltetni. (Mivel a szórt mezők melegítő hatása elsősorban a szorítótarcsákban, árnyékoló tarcsákban és a szélső lemezcsomagokban jelentkezik, vizsgálatainkat ezekre korlátozzuk.)

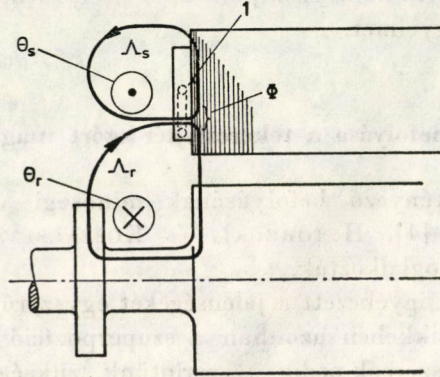
Az 1. ábrában vázlatosan feltüntettük az álló- és forgórész vastestet, a tekercsfejek gerjesztéseit, továbbá egy (nyitott) áramhurkot, amely egy vizsgált szerkezeti elemben folyó örvényáram pályáját jelzi (1. ábra).^{*} Amennyiben ezt a hurkot *nyitottnak* képzeljük, a vele kapcsolódó (szórt) fluxus, a gép tetszésszerű üzemiállapotában, az álló- és forgórész tekercsfejek szórt fluxusainak szuperpozíciójával:

$$\bar{\Phi} = \bar{\Theta}_s \cdot A_s + \bar{\Theta}_r \cdot A_r \quad (1)$$

^{*} Megjegyzendő, hogy ez a vázlat a kerület egy pontjában, egy adott időpillanatban érvényes és csak a homlokoldalba *axiális* irányban belépő indukciókomponenst mutatja. A jelek magyarázatát lásd a cikk elején.

Itt Λ_s , ill. Λ_r a megfelelő tekercsfejekben folyó áramok által az örvényáramhurokban gerjesztett fluxusok mágneses vezetőképességeit jelentik. A részfluxusokat — nyitott örvényáramhurok esetén — az 1. ábrán berajzolt egy-egy erővonal jelzi. Az örvényáramhurokban indukált feszültség Φ -vel arányos.

Zárt hurok esetén, annak impedanciáját állandónak feltételezve, a benne folyó örvényáram szintén arányos az (1) szerinti Φ -vel. Az örvényáram okozta veszteség pedig arányos Φ abszolút értékének négyzetével. Maga a fluxuskép a nyitott hurok esetéhez képest természetesen módosul.



1. ábra. A homlokoldalak melegedését okozó szórt fluxus keletkezése. 1. örvényáram hurok

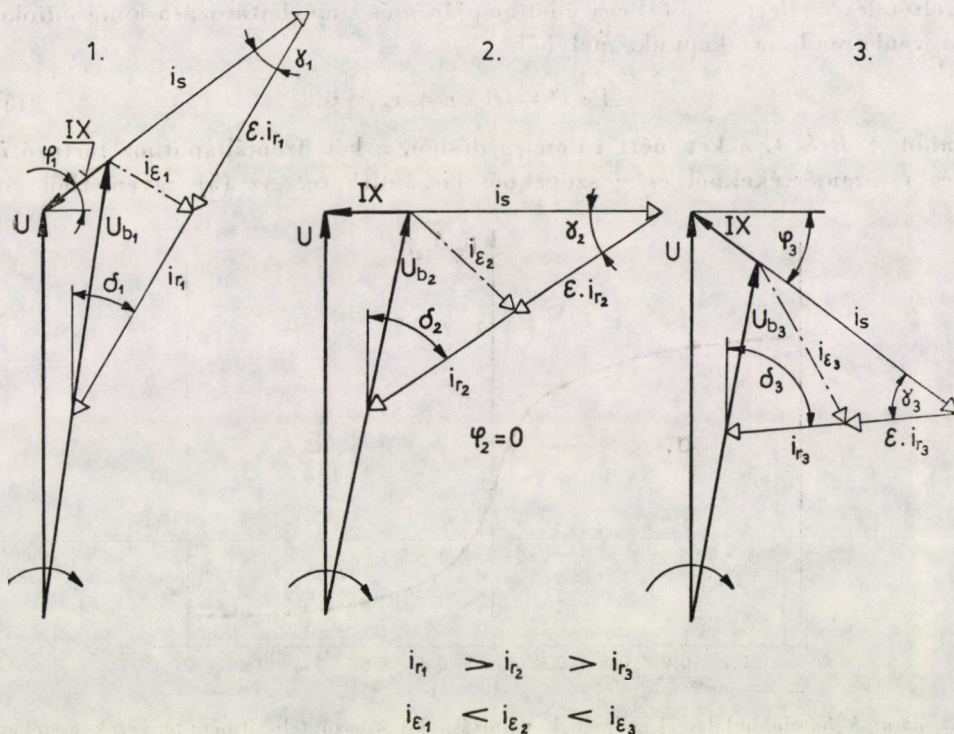
A Θ_r és Θ_s gerjesztések helyett a velük arányos $i_r = c \cdot \Theta_r$ és $i_s = c \cdot \Theta_s$ áramokkal számolva, az (1) egyenletet Λ_s -sel végigosztva és $\varepsilon = \Lambda_r/\Lambda_s$ helyettesítéssel egy, a vizsgált helyre mértékadó, eredő szórt fluxust előidéző — fikatív — rotoráramra az alábbi kifejezést kapjuk:

$$c \cdot \frac{\bar{\Phi}}{\Lambda_s} = \bar{i}_e = \bar{i}_s + \varepsilon \cdot \bar{i}_r. \quad (2)$$

Ez a kifejezés szolgál alapul a viszonyok számszerű vizsgálatához. A (2) egyenletet szemléletesen ábrázolhatjuk a generátor vektorábrájában. A 2. ábrán különböző $\cos \varphi$ -kre vonatkozó vektorábrák láthatók példaképpen $\varepsilon = 0,5$ és $I = \text{állandó}$ esetére. Általában ugyanis $\varepsilon < 1$, mert az örvényáramhurok lazábban vannak csatolva a forgórész tekercsfejhez, mint az állórészhez, ami a geometriai elrendezésből következik.

A vektorábrákban az i áramvektorokat 90° -os elforgatás nélkül, a megfelelő feszültségek irányában mértük fel, ami a szerkesztést egyszerűbbé teszi. Látható, hogy az \bar{i}_e vektor nagysága növekszik, noha a teljes \bar{i}_r gerjesztés csökken és így jól szemléltethető, hogy az alulgerjesztett üzem mennyire veszélyes lehet a homlokoldalak melegedése szempontjából, hiszen az örvényáramok okozta veszteség és melegedés az előzőek alapján $(\bar{i}_e)^2$ -nel arányos.

Az ε viszonyszám a tekercsféjtér (homlokoldal) minden pontjában más és más értékű, de egy bizonyos pontra vonatkozó ε érték a különböző (alágerjesztett) üzemállapotokban jó közelítéssel állandó marad. Számértékének meghatározása mérések alapján lehetséges, amint azt a következőkben látni fogjuk.



2. ábra. Vektorábrák a homlokoldali melegedés magyarázatára. 1. $\cos \varphi = 0,8$ túlerj., 2. $\cos \varphi = 1$, 3. $\cos \varphi = 0,8$ alulgerj.

4. A homlokoldal melegedése

A tekercsféjtér egy vizsgált pontjának túlmelegedése rögzített hűtési feltételek mellett állandósult állapotban:

$$\Delta t = k(\Phi)^2. \quad (3)$$

A k arányossági tényező a geometriai elrendezés (az örvényárampályák alakja), az anyagjellemzők (a vizsgált pont környezetében levő anyag fajlagos ellenállása és hővezetési tényezője) és a hűtési feltételek (hűtővíz, hűtőgáz paraméterei) függvénye.

A (2) és (3) egyenletből,

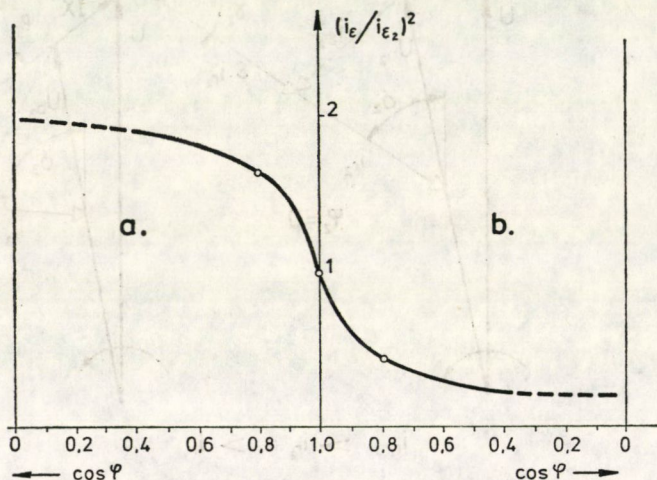
$$\Delta t = k \frac{\Delta i_s^2}{c^2} \cdot (\bar{i}_e)^2 = \vartheta (\bar{i}_s + \varepsilon \cdot \bar{i}_r)^2. \quad (4)$$

Ahhoz tehát, hogy ki tudjuk számítani a homloktér egy bizonyos pontjának túlmelegedését a gép tetszőleges üzemállapotában, ismernünk kell a ϑ és ε állandókat.

Ha ezeket állandóknak tekintjük, akkor elvileg két különböző üzemállapotban megmérve a vizsgált pont túlmelegedését — változatlan hűtési feltételek mellett — a (4) egyenlet alapján ϑ és ε meghatározására másodfokú egyenletrendszert kapunk, melyből

$$A \cdot \varepsilon^2 + B \cdot \varepsilon + C = 0, \quad (5)$$

ahol A , B és C a két mért túlmelegedésből, a két üzemállapothoz tartozó i_r és i_s áramértékekből és γ szögekből kiszámítható. Az (5) egyenlethől ε -t



3. ábra. A homloktoldal melegedésének változása különböző teljesítménytényezők esetében (i_{ε_2} $\cos \varphi = 1$ -hez tartozik) a) alulgerj. üzem, b) túlgerj. üzem

kiszámítva és a (4) egyenletbe helyettesítve, a két mérés egyikének adatai segítségével ϑ is kiszámítható.

Bár elvileg tehát két tetszőleges üzemállapotban végrehajtott melegedésmérés elegendő lenne, az elvégzett vizsgálatok azt mutatták, hogy mindössze két mérés eredményeinek pontossága az igényeket nem elégítheti ki. Másrészt $\cos \varphi = 1$ környékén az $i_{\varepsilon}^2 = f(\cos \varphi)$ görbe hirtelen változik (3. ábra), ami szintén a mérési pontosságot csökkenti.*

Ezért célszerű — lehetőleg alulgerjesztett állapotban és $\cos \varphi = 1$ környékén — több melegedésmérést végezni és ezek eredményeit együttesen felhasználni. Tekintettel az adatok sokaságára (egy gépbe 30–40 homloktoldali hőelem beépítése célszerű) és a számítás hosszadalmas voltára, számítógépes eljárást dolgoztunk ki ϑ és ε meghatározására.

* Az ábrán látható görbe egy adott gépre, adott ε esetén érvényes.

5. Számítási program a melegedések meghatározására

A FLETCHER és POWELL módszerét [7, 8] alkalmazó számítási program meghatározza azokat a ϑ és ε tényezőket, amelyeket a (4) egyenletbe helyettesítve, a mért melegedésértékeket a legjobban meg tudjuk közelíteni. A program valamennyi mérőhelyre kinyomtatja ϑ , ε és σ értékeit, ahol

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum e^2}{n - 1}} \quad (6)$$

az eltérések szórása.

A program alkalmazásakor figyelembe lehet venni az adott mérőhely környezetének fajlagos ellenállásában a hőmérséklet változása folytán beálló változást is, pl. vörösréz árnyékolótárcsában elhelyezett hőelemek esetén.

A számítási program ALGOL nyelven készült ICT 1905 típusú számítógépre, a gerjesztőáram, ill. a vektorábra adatainak meghatározására két kiegészítő számítási programmal.

Ha a ϑ és ε számértékek már ismertek, akkor a program a bevitt adatokból kiszámítja és kinyomtatja az adott terhelési (üzemi) állapotokhoz tartozó hőfokokat.

Az eljárást több 100 és 220 MW-os turbógenerátoron kipróbáltuk és az megfelelőnek bizonyult. A mért és a program által „visszaszámolt” hőfokok között mindössze néhány C° különbség adódott, amint az az 1. táblázatban látható.

Az eljárás segítségével 5÷10 — lehetőleg alulgerjesztett — terhelésnél végrehajtott melegedésmérés eredményéből kellő biztonsággal lehet a gép bármilyen terhelési állapotában jelentkező, a beépített hőelemekkel mérhető helyi hőmérsékleteket előre meghatározni. Kizárólag a hűtési feltételek (gáznyomás, gáztisztaság) és a fordulatszám (frekvencia) állandóságát kell biztosítani. A gép kapcsolófeszültsége pl. az üzemi viszonyoknak megfelelő akár $\pm 10\%$ -kal is eltérhet (állandósult állapotban) a névlegestől.

6. Az eredmények felhasználása turbógenerátorok munkadiagramjának megszerkesztéséhez

A munkadiagram a szinkron generátor terhelhetőségét ábrázolja állandó kapcsolófeszültség esetén [2]. Nagyteljesítményű turbógenerátorokkal szemben egyre gyakrabban vetődik fel az az igény, hogy a gép a turbina által megengedett maximális hatásos teljesítményt minél szélesebb teljesítménytényező-sávban képes legyen leadni.

A munkadiagram AB szakaszán ($i_r =$ állandó) a terhelhetőséget a *forgórésztekerccselés*, a BE körív mentén ($i_s =$ állandó) pedig az *állórésztekerccselés*

1. táblázat

220 MW-os turbógenerátor homlokoldali melegedésére vonatkozó adatok

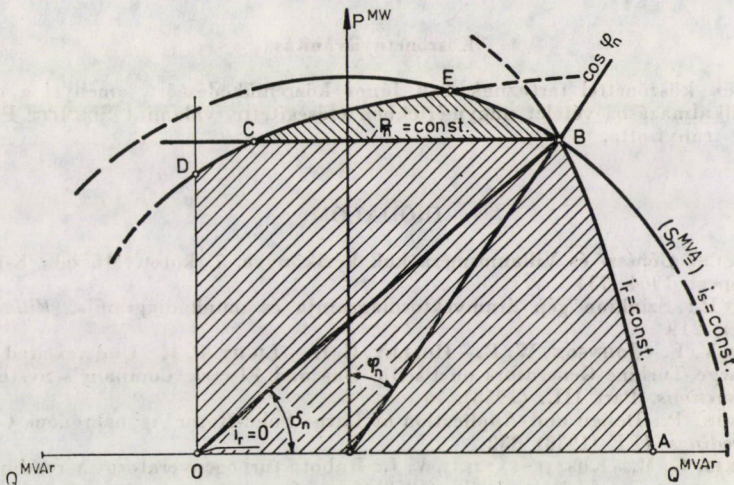
Mérés sorszáma	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.		
Kapocsfesz. (kV)	16,01	16,01	14,99	14,48	14,22	14,31	14,23		
Státoráram (kA)	9,25	8,98	8,53	8,37	8,18	8,02	7,75		
cos φ	0,864	0,887	1,0	0,986	0,939	0,909	0,884		
Gerjesztési mód	túlgerjesztett		—	alulgerjesztett					
Gerjesztőáram (A)	1324	1265	970	892	780	727	680		
Legmelegebb hő- elemek sorszáma, mért (m) és „visszaszámolt” (sz) hőfokai (t°C)*	3.	m sz	95 97	95 94	108,5 110	117 116	120 118	115,5 114	115 114
	8.	m sz	82 83	79,5 81	95 96	100,5 102	106 104	102,5 100	103 101
	14.	m sz	97 98	96 96	110 110	114 115	119 116	114 113	114 112
	19.	m sz	81,5 83	80,5 80	94,5 93	95,5 98	100 99	96,5 96	97,5 96
	28.	m sz	82,5 84	82 81	92,5 91	94 95	96 97	93,5 93	93,5 92
	2.	m sz	74,5 76	75 74	83 84	88,5 88	92 89	87,5 86	87 86
	13.	m sz	78,5 79	77 77	87 86	89 89	89,5 90	87,5 87	87,5 87

* A 28. sz. hőelem a vörösréz árnyékolótárcsán, a többi a vastest utolsó lemezcsomagjában helyezkedik el.

melegedése határolja. A *BC* szakaszon a turbina által megszabott *hatásos teljesítmény* állandó. Az *OD* szakasz a statikus stabilitás elméleti határa ($\delta = 90^\circ$). A *DCE* görbe mentén a *tekerécsfejtér* legmelegebb pontjának állandó a Δt túlmelegedése. Az előbbieken ismertetett módszer ennek a görbeszakasznak a megszerkesztését teszi lehetővé mindössze néhány, a névlegestől esetleg el is térő kapocsfeszültség mellett elvégzett terhelési melegedésmérés eredményei alapján.

A homlokoldalak melegedése annál nagyobb jelentőségű, minél nagyobb a gép kihasználása, főleg kerületi áramterhelése. Nagyteljesítményű, közvetlen vezetõhűtéssel ellátott turbógenerátorok homlokoldali melegedésének csökkentésére, illetve az alulgerjesztett üzemi terhelhetőség növelésére egy sor konstrukciós és technológiai eszköz áll rendelkezésre. Ilyen eszközök: a szélső

lemezcsomagok tengelyirányú méretének csökkentése, valamint intenzív hűtése, a szélső lemezcsomagokban a fogak radiális bemetszése, hőálló lemez-lakk alkalmazása, vörösréz árnyékolóelemek, vagy fluxuscspadák beépítése, az árnyékolótárcsák vízhűtése stb., stb. Az alkalmazott eszközök eredményes voltáról azonban csak mérésekkel lehet meggyőződni. A mérési eredmények felhasználásakor az ismertetett eljárás igen nagy segítséget jelent.



4. ábra. Szinkrongép munkadiagramja

7. Homlokoldali melegedés aszinkron üzemállapotban

Aszinkron üzemben a homlokoldalak melegedése szintén veszélyes mértékű lehet [4]. Anélkül, hogy ennek az üzemállapotnak a részletes vizsgálatába belemélyednénk, rá kívánunk mutatni arra, hogy az e cikkben ismertetett gondolatmenet az aszinkron üzemben fellépő homlokoldali melegedés vizsgálatára is lehetőséget kínál. Ez esetben azonban az (1) egyenletben θ_r alatt nemcsak a gerjesztőtekercselésben, hanem a forgórész egyéb részeiben (rotortömb, horonyékek) folyó, a homlokoldalon (végékek, bandázsgyűrűk stb.) záródó, szlipfrekvenciájú áramok együttes gerjesztése értendő. Mivel ennek a gerjesztésnek térbeli helyzete is megváltozik a szinkron üzemhez képest (közelebb kerül az állórészvastesthez), A_r is módosul. Ezért az aszinkron üzemben fellépő homlokoldali melegedések pontosabb vizsgálatához külön méréssorozat elvégzése szükséges. Ennek hiányában közelítő becslésre felhasználható a (4) összefüggés, ha abba $i_r = 0$ -t helyettesítünk, azaz a forgórész-áramok gerjesztését elhanyagoljuk. Ekkor

$$\Delta t \cong \vartheta \cdot (\bar{i}_s)^2 \quad (7)$$

eredményre jutunk. A melegedés várhatóan ennél kedvezőbb. Változatlan i_s esetén tehát ez az üzemállapot lehet a homlokoldalak melegedése szempontjából — az alulgerjesztett szinkron üzemhez képest is — a legveszélyesebb.

Egy esetleges aszinkron üzemállapotban megengedhető terhelés mértékét tehát nem csupán a rotor felületének és a sztatortekercselésnek, hanem a sztátor homlokoldalának a melegedése is korlátozhatja.

Köszönetnyilvánítás

Szerzők köszönettel tartoznak TAR János közreműködéséért, amellyel a programok gyakorlati alkalmazásba vételét nagymértékben elősegítette, valamint SCHMITT Pálnak, aki a méréseket irányította.

IRODALOM

1. PATTANTYÚS: Gépész- és Villamosmérnökök kézikönyve, 7. kötet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964. 734
2. ASZTALOS P.: Szinkron gép áramvektordiagramja és munkadiagramja. *Villamosság* 23 (1975), 219
3. ESTCOURT, V. F.—JOHNSON, W. R.—HOLLEY, C. H.—LIGHT, P. H.: Underexcited Operation of Large Turbine Generators on Pacific Gas and Electric Company's System. *AIEE Transactions*, Part III., (1953), 16
4. RICHARDSON, P.: Design and Application of Large Solid-Rotor Asynchronous Generators. *Proceedings IEE* (1958) 332
5. HUTORECKIJ, G. M.—KOSZACSEVSKIJ, V. I.: Rabota turbogeneratorov v rezsimah nyedovozbuzsgyenyija. *Elektrotjechnika* (1968) febr. 6. o.
6. LEMBERG, G.: Probleme der untererregten Fahrweise von Turbogeneratoren. *Elektrie* (1969) 15.
7. FLETCHER, R.—POWELL, M. J. D.: A Rapidly Convergent Descent Method for Minimization. *Computer Journal* 6 (1963) 163—168
8. WELLS, M.: Function Minimization, *Algorithm* 251. *Communication of the ACM* 8 (1965) 169—170

Determination of the Core End Heating of Turbogenerators on Under-Excited Operation. The reactive power absorbing capacity of large turbogenerators is limited by the possibilities of maintaining stability and by the heating conditions of the stator core end. The authors have made an attempt to throw more light onto the theoretical-physical basis of the core end heating. At the same time, they present a new method for determining — on the basis of measurements — the heating of the individual points of the core ends under any load conditions.

Die Erwärmung von Turbogeneratoren in untererregtem Betrieb. Das Blindleistungsschluckvermögen von großen Turbogeneratoren ist durch die Möglichkeiten für die Aufrechterhaltung der Stabilität und durch die Erwärmung der Stirnseiten begrenzt. Die Verfasser sind bestrebt die theoretisch-physikalischen Grundlagen der Stirnseitenerwärmung zu klären. Zugleich berichten sie über ein neues Verfahren für die Untersuchung der Erwärmung von einzelnen Punkten der Stirnseiten durch Messung bei verschiedenen Betriebszuständen.

EGYENLETESEN MEGOSZLÓ VÍZSZINTES PEREMTERHÚ, LAPOS ELLIPTIKUS PARABOLOIDHÉJAK MEMBRÁNERŐI ÉS MEMBRÁNALAKVÁLTOZÁSAI

DULÁCSKA ENDRE*
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

és
JANKÓ LÁSZLÓ**

[Beérkezett 1976. május 25-én]

A dolgozatban az egyenletesen megoszló vízszintes peremerőrendszerrel terhelt, lapos elliptikus paraboloidhéj membránerőjátékának és membránalakváltozásainak analitikus megoldását adjuk meg. A szembenlevő peremeken működő szimmetrikus, illetve antiszimmetrikus erőrendszer okozta hatásokat leíró függvényeket a kézi számítást megkönnyítő grafikus alakban is feldolgoztuk. Rámutattunk arra, hogy ezen statikai alapfeladat felhasználásával a membránelmélet keretében közelítően megvizsgálhatók a vízszintes irányban nem elhanyagolható hajlítási, illetve savarási merevségekkel bíró peremtartókkal ellátott elliptikus paraboloidhéjak belső erői és alakváltozásai is.

1. Jelölések

f_x, f_y	az x , illetve y irányú ívek nyílmagasságai;
h	a héj vastagsága;
$l_x = 2a, l_y = 2b$	az x , illetve y irányú ívek feszítávolságai;
p	a z tengely irányába mutató, az alaprajzi vetület egységére vonatkozó felületi teher;
$n_x = F'', n_{xy} = F'', n_y = F''$	a vetületi oldalhosszakra vonatkoztatott (redukált) metszeterők fajlagos értékei;
u, v	az x , illetve y irányban futó felületi érintők irányába eső eltolódások;
u^*, v^*	az x , illetve y irányú eltolódások;
w	a felület pontjainak normális irányú eltolódása;
w^*	a z tengely irányába mutató eltolódás;
x, y	a derékszögű koordináták;
$z(x, y)$	a héj középfelületének ordinátái;
E	a rugalmassági modulus;
F	a membránerők feszültségfüggvénye;
$G = E/2(1 + \nu)$	a nyírási rugalmassági modulus;
H	az alaprajzi vetületben egyenletesen megoszló vízszintes peremteher fajlagos értéke;
H^s, H^a	a szimmetrikus, illetve az antiszimmetrikus peremteher intenzitása;
I	a peremívek keresztmetszetének vízszintes síkú hajlítási tehetetlenségi nyomatéka;
I_{cs}	a peremívek keresztmetszetének csavarási tehetetlenségi nyomatéka;
$L_p(\) = \ddot{z}(\)'' - 2z'(\)' + z''(\)''$	a Pucher-féle differenciál-operátor;
$\bar{\theta}$	a peremívek középkérszmetzetének abszolút elcsavarodása;
ν	a harántkontrakciós tényező (a számításokban $\nu = 0,2$);
$\partial(\)/\partial x = (\)'$	az x szerinti differenciálás szimbóluma;
$\partial(\)/\partial y = (\)'$	az y szerinti differenciálás szimbóluma;
$\Delta\Delta(\) = (\)'''' + 2(\)'' + (\)''$	a biharmonikus differenciál-operátor.

* Dr. Dulácska Endre, 1122 Budapest Ráth György u. 64.

** Dr. Jankó László, 1036 Budapest, Lajos u. 142.

2. Bevezetés

A lapos elliptikus paraboloidhéj egyenletesen megoszló felületi teherből, illetve önsúlyteherből származó membránerőinek és membrán-alakváltozásainak meghatározására ismert számítási eljárások állnak rendelkezésre [1], [2], [3], [4]. Ezek a megoldások feltételezik, hogy a héj peremtartói saját síkjukban hajlításra végtelenül merevek, a síkjukra merőleges hajlítással szemben pedig tökéletesen lágyak (ún. „félmerev” peremtartók).

Felmerül a kérdés, hogy lehetséges-e pusztán membránerőkkel egyensúlyban tartani a valamely pereme mentén egyenletesen megoszló vízszintes erőkkal terhelt lapos elliptikus paraboloidhéjat.

A következőkben bebizonyítjuk, hogy ez lehetséges, megadjuk a membránerőjátéokra és a membránalakváltozásokra vonatkozó analitikus megoldást, és ezek diagramokban feldolgozott kiszámított értékeit. Dolgozatunkban csak az xz síkra szimmetrikus (1. ábra) megoldást keressük.

Az ismertetendő megoldásnak több gyakorlati alkalmazási lehetősége van. A peremívek térbeli stabilitásának a vizsgálatához — még a héj szempontjából elhanyagolhatóan kismértékű vállnyomás esetén is — elengedhetetlenül szükséges a héj és a peremtartók közötti vízszintes kapcsolati erők ismerete.

A gyakorlatban alkalmazott peremívek általában nem felelnek meg az ún. „félmerev peremtartó” definíciójának, mert véges nagyságú csavaró-merevségük és vízszintes síkú hajlítómerevségük van. E merevségek következtében a peremtartók nem tudják akadálytalanul követni a membrán-elmélet szerint kialakuló peremmenti elmozdulásokat. Ezért a héj és a peremtartó között egy kapcsolati erőrendszer alakul ki, azaz a héj nem lesz teljesen oldalnyomásmentes.

Az említett ívstabilitási vizsgálat, továbbá a peremtartók véges vízszintes síkú merevsége hatásának a figyelembevétele, megoldásunk segítségével közelítően végrehajtható.

3. A lapos membránhéjak egyensúlyi és alakváltozási differenciálegyenletei

A következőkben sorra kerülő vizsgálatainkat a lapos membránhéjak elmélete [1], [2], [3] alapján fogjuk elvégezni. A tárgyalás jobb áttekinthetősége érdekében összefoglaljuk a lapos membránhéjak egyensúlyát és alakváltozásainak összeférhetőségét leíró differenciálegyenleteket.

A membránhéjak Pucher-féle

$$L_p(F) = -p \quad (3.1)$$

egyensúlyi differenciálegyenlete [1], [3] tetszőleges meredekségű héjakra is érvényes, azonban a

$$L_p(w) = -\frac{1}{Eh} \Delta \Delta F \quad (3.2)$$

kompatibilitási egyenlet [1], [2], [3], [4] így felírt alakját csak lapos membránhéjak esetében használhatjuk.

Mint ismeretes, a laposság feltételezése membránhéjak esetében azt jelenti, hogy egyrészt a felület geodetikus görbületei elhanyagolhatóan kicsinyek, másrészt pedig a felület mértéke az euklidészi (síkbeli) mértékkel azonosnak vehető.

A laposság a felületi iránytangensek segítségével

$$\begin{aligned} 1 + z'z'' &\approx 1 \\ 1 + z'^2 &\approx 1 \\ 1 + z''^2 &\approx 1 \end{aligned} \quad (3.3a-c)$$

módon is megfogalmazható.

A hég laposságának következtében a 2. ábrán bejelölt u, v, w a felületi görbevonalú ortogonális koordináták irányába mutató eltolódások a Descartes-féle koordinátarendszer x, y és z tengelyei irányába mutató u^*, v^* és w^* eltolódásaival egyenlőnek vehetők [1]:

$$u \approx u^*, v \approx v^*, w \approx w^*. \quad (3.4)$$

A (3.1)–(3.2) parciális differenciálegyenleteknek — a megfelelő kerületi feltételeket kielégítő — megoldása után az u és v eltolódásokat az

$$u = \int z'' w dx + \frac{1}{Eh} \int (F'' - \nu F''') dx + u_1(y), \quad (3.5)$$

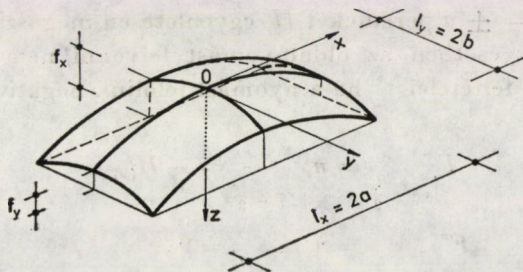
$$v = \int z' w dy + \frac{1}{Eh} \int (F'' - \nu F''') dy + v_1(x) \quad (3.6)$$

kifejezések kiértékelése révén kaphatjuk meg [1]. Az $u_1(y)$ és $v_1(x)$ integrációs függvények a peremfeltételekből határozhatók meg.

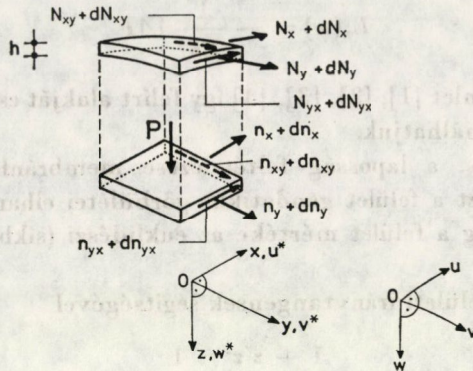
Az elliptikus paraboloidhég középfelületének egyenletét a

$$z = \frac{4f_x}{l_x^2} x^2 + \frac{4f_y}{l_y^2} y^2 \quad (3.7)$$

kifejezéssel írjuk le (1. ábra).



1. ábra. Az elliptikus paraboloidhég geometriai adatai

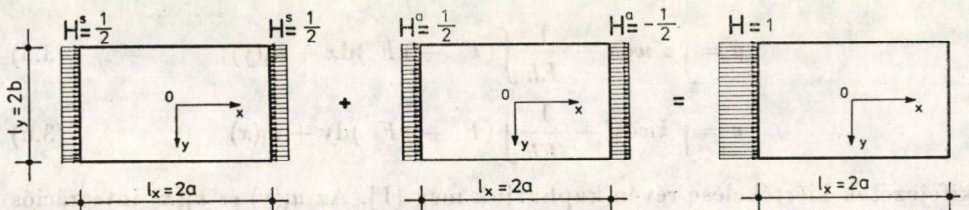


2. ábra. A belső erők és az eltolódások előjelszabálya

4. Tetszőleges peremteher előállítása

A 3. ábrán bemutattuk, hogy a szimmetrikus H^s peremteher és az anti-szimmetrikus H^a peremteher okozta hatások ismeretében tetszőleges H peremteher előidézte membránérők és membránalakváltozások is meghatározhatók.

A továbbiakban bemutatjuk a H^s -re, ill. a H^a -ra vonatkozó feladat megoldását.



3. ábra. Az $x = -a$ helyi $H = 1$ peremteher felbontása $H^s = 1/2$ szimmetrikus és $H^a = \pm 1/2$ antiszimmetrikus komponensekre

5. A szimmetrikus H^s peremteher vizsgálata

Terhelje az $x = \pm a$ peremeket H^s egyenletesen megoszló vízszintes erőrendszer. Ebben az esetben az oldalnyomást felvenni nem tudó peremívű héj statikai kerületi feltételei — ha a nyomást jelöljük negatívnak — a következők:

$$F'' \Big|_{x=\pm \frac{l_x}{2}} = n_x \Big|_{x=\pm \frac{l_x}{2}} = -H^s(y) \tag{5.1a-b}$$

$$F'' \Big|_{y=\pm \frac{l_y}{2}} = n_y \Big|_{y=\pm \frac{l_y}{2}} = 0, \tag{5.1c-d}$$

Feltételeztük, hogy a peremívek hajlításra saját síkjukban végtelenül merevek, ezért

$$w \Big|_{x=\pm \frac{l_x}{2}} = 0, \quad (5.2a-b)$$

$$w \Big|_{y=\pm \frac{l_y}{2}} = 0. \quad (5.2c-d)$$

Mivel megoldásunk a membránelmélet alapján áll — vagyis a héj hajlítási merevségét elhanyagoljuk — a peremek menti szögelfordulások értékét nem kötjük meg, hiszen a teljesen hajlékony membrán tetszőleges peremmenti szögelfordulást ellenállás nélkül követni tud.

A levezetés során először az egyenletesen megoszló H^s terhet a

$$H_{(y)}^s = \frac{4}{\pi} H^s \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \sin \frac{m\pi}{2} \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (5.3)$$

Fourier-sorba fejtjük, majd a (3.1) egyensúlyi differenciálegyenletet az

$$\ddot{F} + \frac{l_x^2}{l_y^2} \frac{f_y}{f_x} F'' = 0 \quad (5.4)$$

alakra hozzuk. Ezt követően előállítjuk az (5.4) differenciálegyenletet és az (5.1) peremfeltételeket kielégítő F feszültségfüggvényt. A megoldást Fourier-módszerrel [5] keressük.

Az

$$F(x, y) = X(x) \cdot Y(y) \quad (5.5)$$

szorzatfeltevést az (5.4) egyenletbe helyettesítve, az

$$\frac{\ddot{Y}}{Y} + \frac{l_x^2}{l_y^2} \frac{f_y}{f_x} \frac{X''}{X} = 0 \quad (5.5a)$$

kifejezést kapjuk. Ez szétesik az

$$X'' - k^2 \frac{l_y^2}{l_x^2} \frac{f_x}{f_y} X = 0 \quad (5.6a)$$

és

$$\ddot{Y} + k^2 Y = 0 \quad (5.6b)$$

két közönséges differenciálegyenletre (a k szám majd a kerületi feltételekből adódik ki).

Az (5.6a) egyenlet általános megoldása az

$$X = C_{1m} \cosh k \frac{l_y}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x + C_{2m} \sinh k \frac{l_y}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \quad (5.7a)$$

függvény, az (5.6.b) egyenleté pedig az

$$Y = C_{3m} \cos ky + C_{4m} \sin ky \quad (5.7b)$$

kifejezés.

Az (5.1a–b) kerületi feltételeket az X függvénynek kell kielégítenie, ebből

$$C_{2m} = 0. \quad (5.8)$$

Ha figyelembe vesszük, hogy megoldásunk az xz síkra szimmetrikus esetre vonatkozik, akkor az (5.1c–d) kerületi feltételek szerint

$$C_{4m} = 0.$$

Az F függvény a fentiek alapján

$$F(x, y) = \sum_{m=1,3,5\dots} C_m \cosh k \frac{l_y}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cos ky \quad (5.10)$$

alakú lesz.

Az (5.3) és (5.10) kifejezéseket az (5.1a–b) kerületi feltételekbe helyettesítve az

$$C_m k^2 \cosh k \frac{l_y}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \cos ky = \frac{4}{\pi} H^s \frac{1}{m} \sin \frac{m\pi}{2} \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (5.10a)$$

összefüggés adódik, melyből következik, hogy

$$k = \frac{m\pi}{l_y}, \quad (5.11)$$

és

$$C_m = H^s \frac{4l_y^2}{\pi^3} \frac{1}{m^3} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}}. \quad (5.12)$$

Végeredményben az F feszültségfüggvényre az

$$F = \frac{4H^s}{\pi^3} l_y^2 \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m^3} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (5.13)$$

kifejezést nyertük.

A membrán metszeterők F megfelelő differenciálásával a következőképpen adódnak:

$$n_x = -\frac{4H^s}{\pi} \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cdot \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y, \quad (5.14)$$

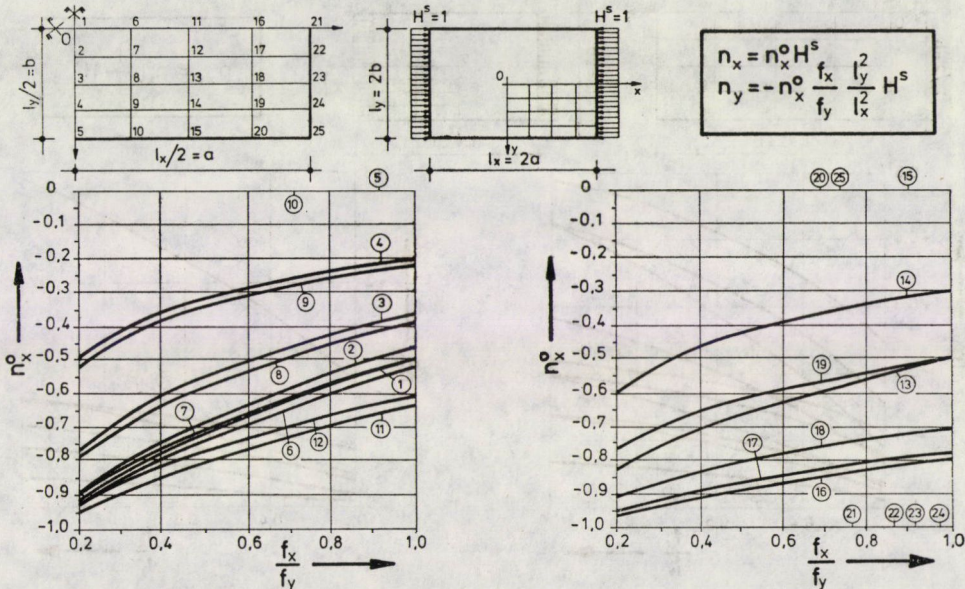
$$n_y = -\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} n_x, \quad (5.15)$$

$$n_{xy} = \frac{4H^s}{\pi} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \frac{l_x}{l_y} \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \sin \frac{m\pi}{l_y} y. \quad (5.16)$$

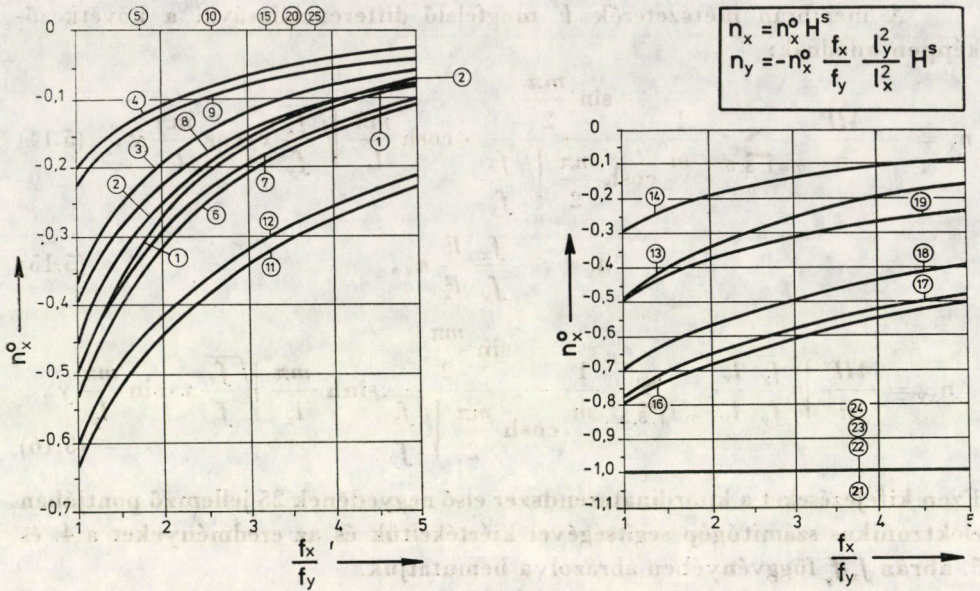
Ezen kifejezéseket a koordinátarendszer első negyedének 25 jellemző pontjában elektronikus számítógép segítségével kiértékeljük és az eredményeket a 4. és 5. ábrán f_x/f_y függvényében ábrázolva bemutatjuk.

A membránelmozdulások meghatározásához szükségünk van a $\Delta\Delta F$ operátor értékére is:

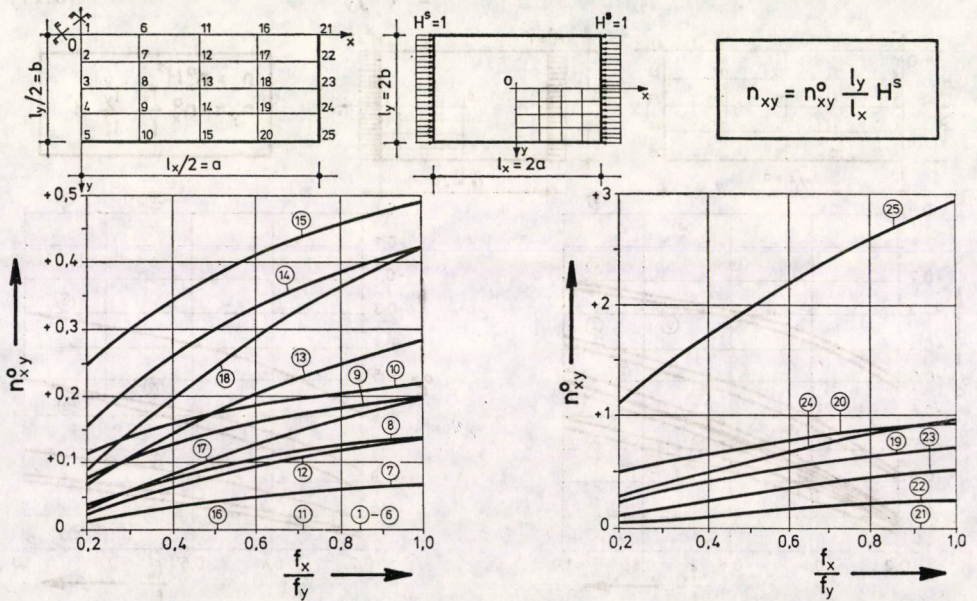
$$\Delta\Delta F = \frac{4H^s \pi}{l_y^2} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \sum_{m=1,3,5\dots} m \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y. \quad (5.17)$$



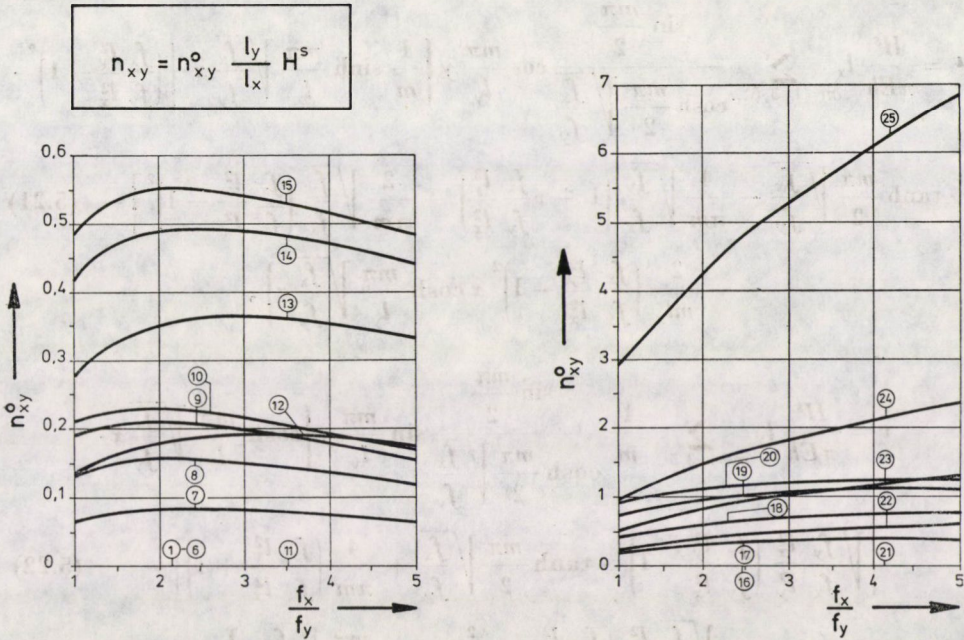
4a. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó n_x és n_y membránerők



4b. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó n_x és n_y membránérők



5a. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó n_{xy} membránnyíróerő



5b. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó n_{xy} membránnyírórő

A (3.2) kompatibilitási egyenlet részletesebben a

$$\ddot{w} + \frac{l_x^2 f_y}{l_y^2 f_x} w'' = - \frac{l_x^2}{8f_x E h} \Delta \Delta F \tag{5.18}$$

formát ölti. Az (5.18) differenciálegyenletnek az (5.2) kerületi feltételeket kielégítő megoldására (Dirichlet-feladat) a

$$w = \sum_{m=1,3,5\dots} w_m \cos \frac{m\pi}{l_y} y \left(x \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x - \frac{l_x}{2} \tanh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right) \tag{5.19}$$

függvényt állítottuk elő, ahol

$$w_m = - \frac{H^s}{4Eh} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \frac{l_x}{f_x} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \tag{5.20}$$

Az u és v eltolódások értékeit F és w (5.13), ill. (5.19) kifejezéseinek a (3.5)-be, ill. (3.6)-ba helyettesítésével kaphatjuk meg:

$$\begin{aligned}
 u = & \frac{H^s}{\pi E h} l_x \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cos \frac{m\pi}{l_y} y \left\{ \frac{1}{m} \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \left[\left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \cdot \right. \right. \\
 & \cdot \tanh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} - \frac{4}{\pi m} \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \left(1 + \nu \frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} \right) - \frac{2}{\pi m} \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \left. \right] - \\
 & \left. - \frac{2}{m l_x} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 x \cosh \frac{m\pi}{l_y} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right\}, \quad (5.21)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 v = & \frac{H^s}{\pi E h} l_y \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \sin \frac{m\pi}{l_y} y \left\{ \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \right. \\
 & \cdot \left[\sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \frac{l_x^2}{l_y^2} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \cdot \tanh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} + \frac{4}{\pi m} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} + \nu \right) \right] - \\
 & \left. - 2 \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \frac{l_x^2}{l_y^2} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 x \cdot \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right\}. \quad (5.22)
 \end{aligned}$$

Az $u_1(y)$ és $v_1(x)$ függvények szimmetria okokból zérusra adódnak.

A gyakorlati szempontokból fontos $w = w(0, 0)$, $u = (a, 0)$, $v(0, b)$ elmozdulásértékeket f_x/f_y és l_x/l_y függvényében a 6. és 7. ábrákról olvashatjuk le ($\nu = 0,2$), vagy jellemző értékeit az 1. táblázatból is kivehetjük.

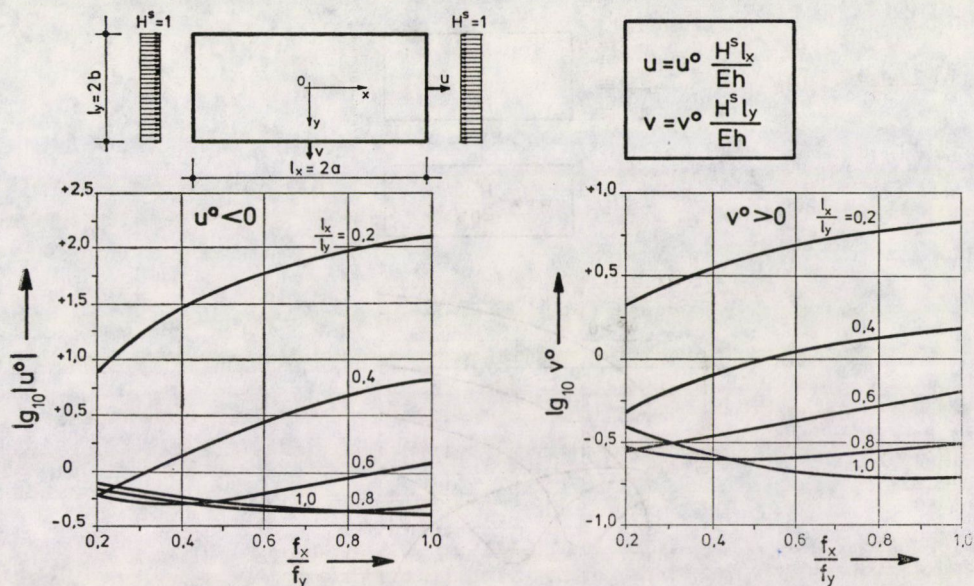
Vizsgáljuk most meg az $f_x = f_y = f$ és $l_x = l_y = 1$ esetet, azaz a forgási paraboloid membránerőit és membránmozgásait:

$$n_x = -\frac{4H^s}{\pi} \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2}} \cos \frac{m\pi}{l} x \cos \frac{m\pi}{l} y, \quad (5.23)$$

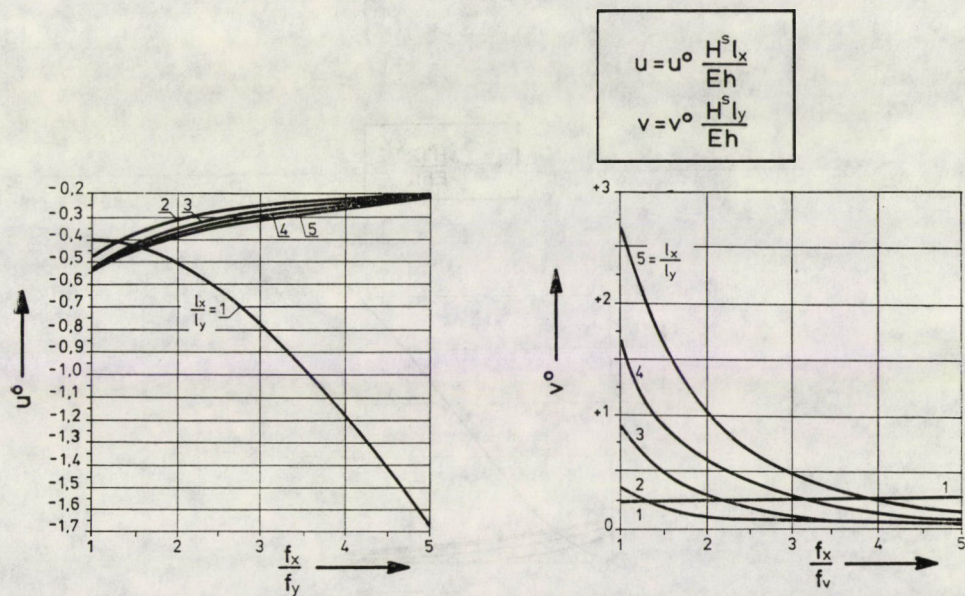
$$n_y = -n_x, \quad (5.24)$$

$$n_{xy} = \frac{4H^s}{\pi} \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2}} \sinh \frac{m\pi}{l} x \sin \frac{m\pi}{l} y, \quad (5.25)$$

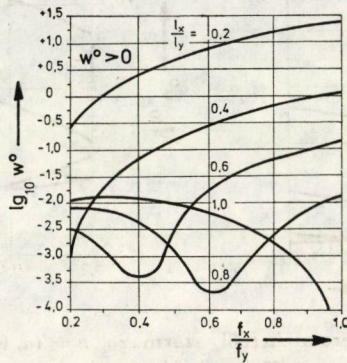
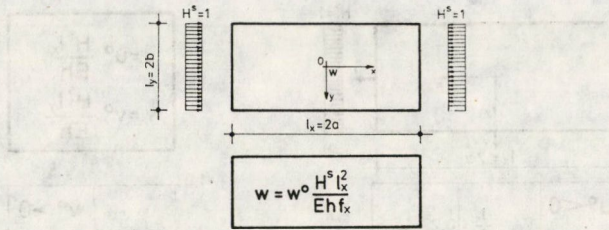
$$w = 0, \quad (5.26)$$



6a. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó $u = (a, 0)$ és $(0, b)$ eltolódások ($w_{perem} = 0$)

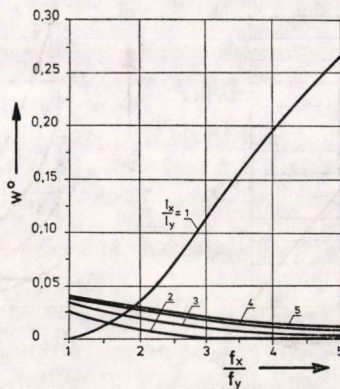


6b. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó $u = (a, 0)$ és $v = v(0, b)$ eltolódások ($w_{perem} = 0$)



7a. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó $w = w(0,0)$ lehajlás ($w_{perem} = 0$)

$$w = w^0 \frac{H^s l_x^2}{E h f_x}$$



7b. ábra. Szimmetrikus $H^s = 1$ peremteherből származó $w = w(0,0)$ lehajlás ($w_{perem} = 0$)

1a. táblázat

$\frac{f_x}{f_y}$	$\frac{l_x}{l_y}$	H^0 szimmetrikus		
		$u^0 = u \frac{E}{H^0} \frac{h}{l_x}$	$v^0 = v \frac{E}{H^0} \frac{h}{l_y}$	$w^0 = w \frac{E}{H^0} \frac{h f_x}{l_x^2}$
0,2	0,2	-7,8913	1,9999	0,2658
	0,4	-0,6224	0,4888	0,0010
	0,6	-0,6148	0,2816	0,0033
	0,8	-0,7110	0,2949	0,0079
	1,0	-0,7728	0,3952	0,0106
0,4	0,2	-29,6873	3,6071	2,5979
	0,4	-1,4381	0,8218	0,0722
	0,6	-0,5336	0,3536	0,0004
	0,8	-0,5365	0,2458	0,0045
	1,0	-0,5939	0,2574	0,0115
0,6	0,2	-58,7543	4,9221	7,7634
	0,4	-2,8975	1,1176	0,2995
	0,6	-0,6565	0,4478	0,0176
	0,8	-0,4704	0,2543	0,0002
	1,0	-0,4892	0,2097	0,0063
0,8	0,2	-92,0706	5,9780	15,4363
	0,4	-4,7277	1,3657	0,6842
	0,6	-0,8990	0,5382	0,0639
	0,8	-0,4704	0,2800	0,0027
	1,0	-0,4320	0,1949	0,0017
1,0	0,2	-128,4235	6,8168	25,0777
	0,4	-6,8084	1,5688	1,2000
	0,6	-1,2191	0,6180	0,1376
	0,8	-0,5128	0,3101	0,0138
	1,0	-0,4054	0,1948	0,0000

$$u = -\frac{4H^0 l}{\pi^2 E h} (1 + \nu) \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2}} \sinh \frac{m\pi}{l} x \cos \frac{m\pi}{l} y, \quad (5.27)$$

$$v = \frac{4H^0 l}{\pi^2 E h} (1 + \nu) \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\cosh \frac{m\pi}{2}} \cosh \frac{m\pi}{l} x \sin \frac{m\pi}{l} y. \quad (5.28)$$

Az (5.26) egyenlet szerint mindenütt $w = 0$.

Ez azzal magyarázható, hogy az x , ill. y irányban azonos görbületű héj minden pontjában a fellépő ellenkező előjelű, de abszolút értékű ($|n_x| = |n_y| = n$) feszítőerők egymás lehajlást okozó hatását éppen kiegyenlítik.

1b. táblázat

$\frac{f_x}{f_y}$	$\frac{l_x}{l_y}$	H^a szimmetrikus		
		$u^0 = u \frac{E}{H^a} \frac{h}{l_x}$	$v^0 = v \frac{E}{H^a} \frac{h}{l_y}$	$w^0 = w \frac{E}{H^a} \frac{h f_x}{l_x^2}$
5,0	5,0	-0,2262	0,1452	0,0106
	4,0	-0,2158	0,0764	0,0079
	3,0	-0,2008	0,0333	0,0033
	2,0	-0,2125	0,0371	0,0010
	1,0	-1,6758	0,2612	0,2658
4,0	5,0	-0,2578	0,2540	0,0151
	4,0	-0,2475	0,1389	0,0121
	3,0	-0,2307	0,0606	0,0066
	2,0	-0,2219	0,0420	0,0000
	1,0	-1,1865	0,2701	0,1930
3,0	5,0	-0,3040	0,4801	0,0217
	4,0	-0,2941	0,2732	0,0185
	3,0	-0,2762	0,1240	0,0125
	2,0	-0,2512	0,0565	0,0018
	1,0	-0,7866	0,2658	0,1121
2,0	5,0	-0,3808	1,0257	0,0310
	4,0	-0,3715	0,6080	0,0280
	3,0	-0,3536	0,2944	0,0221
	2,0	-0,3172	0,1082	0,0091
	1,0	-0,5009	0,2387	0,0366
1,0	5,0	-0,5428	2,7647	0,0401
	4,0	-0,5349	1,7063	0,0383
	3,0	-0,5187	0,8918	0,0344
	2,0	-0,4782	0,3392	0,0245
	1,0	-0,4054	0,1948	0,0000

6. Az antimetrikus H^a peremteher vizsgálata

Ha az $x = +a$ peremen H^a nagyságú húzó, az $x = -a$ peremen pedig ugyanakkora nyomó teher működik, akkor a saját síkjában végtelenül merevnek tekintett, de oldalirányban lágú peremtartójú héj statikai és peremfeltételeit az alábbi módon fogalmazhatjuk meg:

$$F'' \Big|_{x=+\frac{l_x}{2}} = n_x \Big|_{x=+\frac{l_x}{2}} = +H^a, \quad (6.1a)$$

$$F'' \Big|_{x=-\frac{l_x}{2}} = n_x \Big|_{x=-\frac{l_x}{2}} = -H^a, \quad (6.1b)$$

$$F'' \Big|_{y=\pm\frac{l_y}{2}} = n_y \Big|_{y=\pm\frac{l_y}{2}} = 0, \quad (6.1c-d)$$

$$w \Big|_{x=\pm\frac{l_x}{2}} = 0, \quad (6.2a-b)$$

$$w \Big|_{y=\pm\frac{l_y}{2}} = 0. \quad (6.2c-d)$$

A H^a terhet természetesen az (5.3)-mal teljesen megegyező alakú

$$H_{(y)}^a = \frac{4}{\pi} H^a \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \sin \frac{m\pi}{2} \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (6.3)$$

Fourier-sorba fejthetjük.

Ez esetben az (5.4) egyensúlyi differenciálegyenletnek a (6.1) kerületi feltételeket kielégítő — szintén Fourier-módszerrel előállított — xz síkra szimmetrikus megoldása az

$$F = -\frac{4H^a}{\pi^3} l_y^2 \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m^3} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (6.4)$$

függvény, melynek a 2. pontban jelzett parciális differenciálhányadosai a keregett membránerők:

$$n_x = \frac{4H^a}{\pi} \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cdot \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y, \quad (6.5)$$

$$n_y = -\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} n_x, \quad (6.6)$$

$$n_{xy} = -\frac{4H^a}{\pi} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \frac{l_y}{l_x} \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \sin \frac{m\pi}{l_y} y. \quad (6.7)$$

A fenti függvényeket a koordinátarendszer első negyedének 25 jellemző pontjában kiszámított értékek alapján a 8. és 9. ábrák grafikonjai ábrázolják.

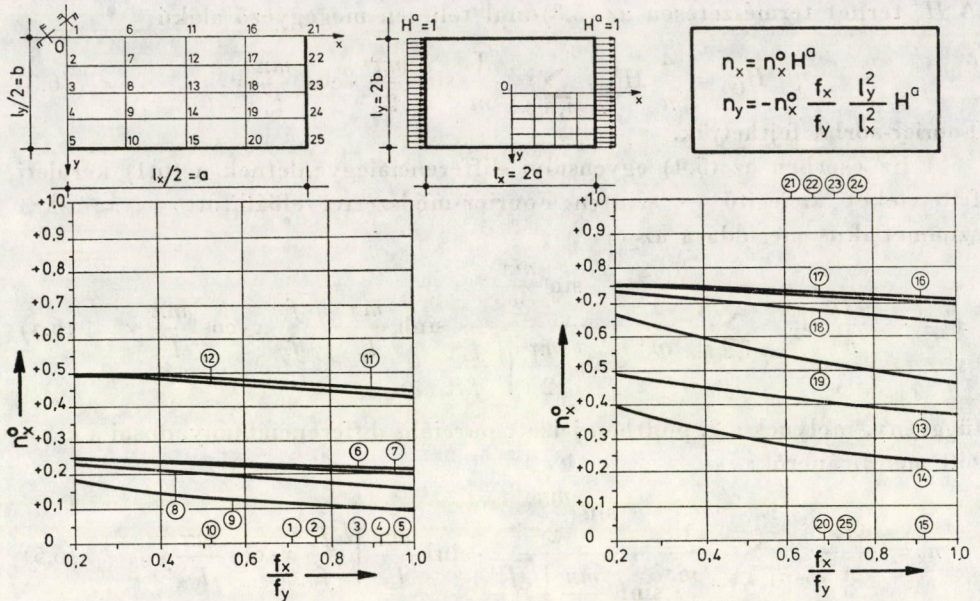
A biharmonikus operátort most F -re alkalmazva adódik a

$$\Delta \Delta F = -\frac{4H^a \pi}{l_y^2} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \sum_{m=1,3,5\dots} m \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \cos \frac{m\pi}{l_y} y \quad (6.8)$$

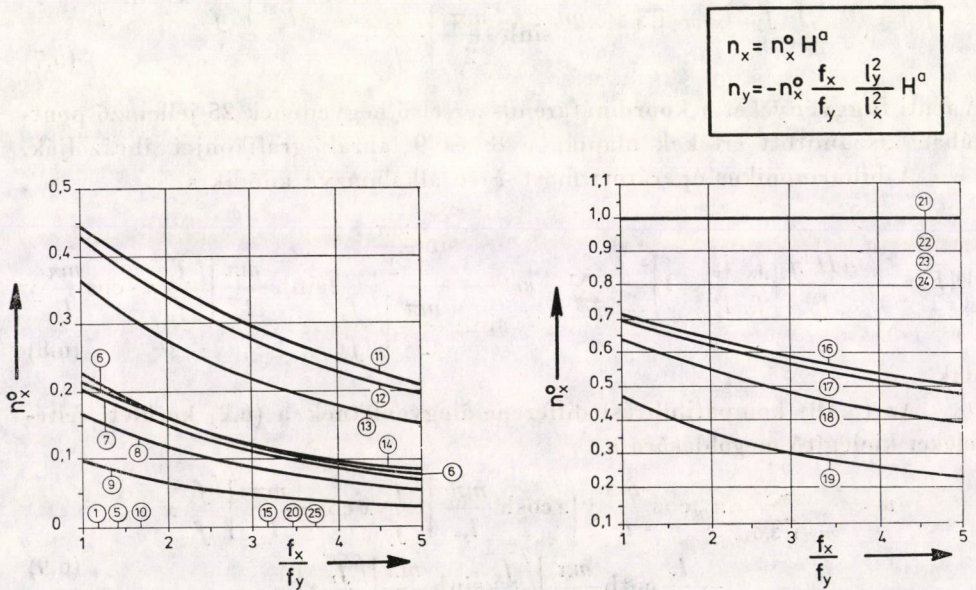
alak.

Az (5.18) kompatibilitási differenciálegyenletnek a (6.2) kerületi feltételeket kielégítő megoldására a

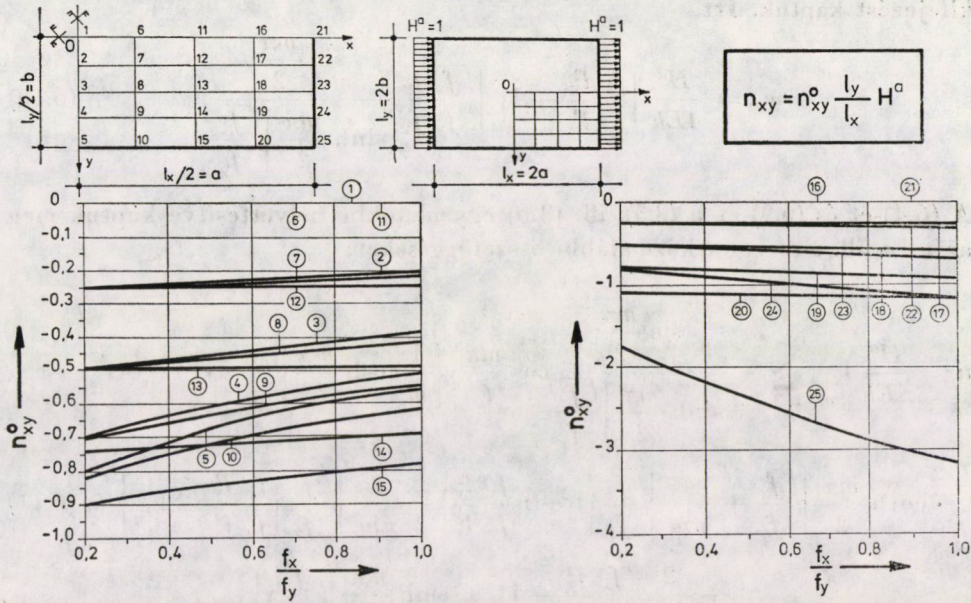
$$w = \sum_{m=1,3,5\dots} w_m \cos \frac{m\pi}{l_y} y \left(x \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x - \frac{l_x}{2} \coth \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right) \quad (6.9)$$



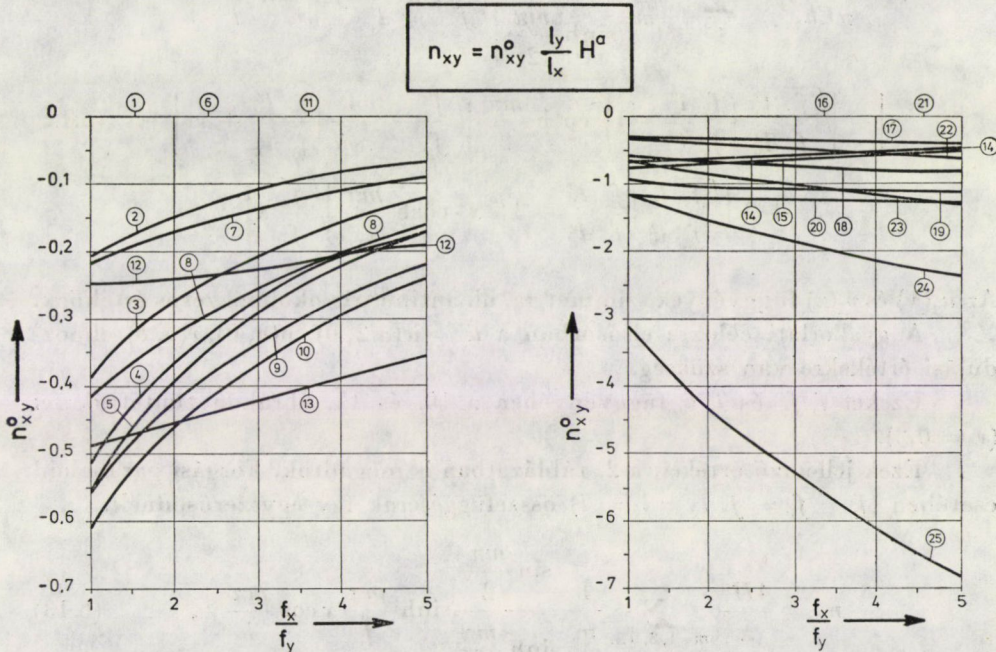
8a. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó n_x és n_y membránérők



8b. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó n_x és n_y membránérők



9a. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó n_{xy} membránnyíróerő



9b. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó n_{xy} membránnyíróerő

kifejezést kaptuk. Itt

$$w_m = \frac{H^a}{4Eh} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} \frac{l_x}{f_x} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}}. \quad (6.10)$$

A (6.4)-et és (6.9)-et a (3.5), ill. (3.6) egyenletekbe helyettesítve kaptuk meg az u -ra, ill. v -re vonatkozó alábbi összefüggéseket:

$$u = \frac{H^a}{\pi Eh} l_x \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \cos \frac{m\pi}{l_y} y \left\{ \frac{1}{m} \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \left[- \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \right. \right. \\ \cdot \coth \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} + \frac{4}{\pi m} \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \left(1 + \nu \frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} \right) - \frac{2}{\pi m} \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \left. \right] + \\ \left. + \frac{2}{ml_x} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 x \cdot \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right\}, \quad (6.11)$$

$$v = \frac{H^a}{\pi Eh} l_y \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}}} \sin \frac{m\pi}{l_y} y \left\{ \sinh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \cdot \right. \\ \cdot \left[- \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \frac{l_x^2}{l_y^2} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 \coth \frac{m\pi}{2} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} - \frac{4}{\pi m} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} + \nu \right) \right] + \\ \left. + 2 \sqrt{\frac{f_y}{f_x}} \frac{l_x}{l_y} \left(\frac{f_x}{f_y} \frac{l_y^2}{l_x^2} - 1 \right)^2 x \cdot \cosh \frac{m\pi}{l_x} \sqrt{\frac{f_x}{f_y}} x \right\}. \quad (6.12)$$

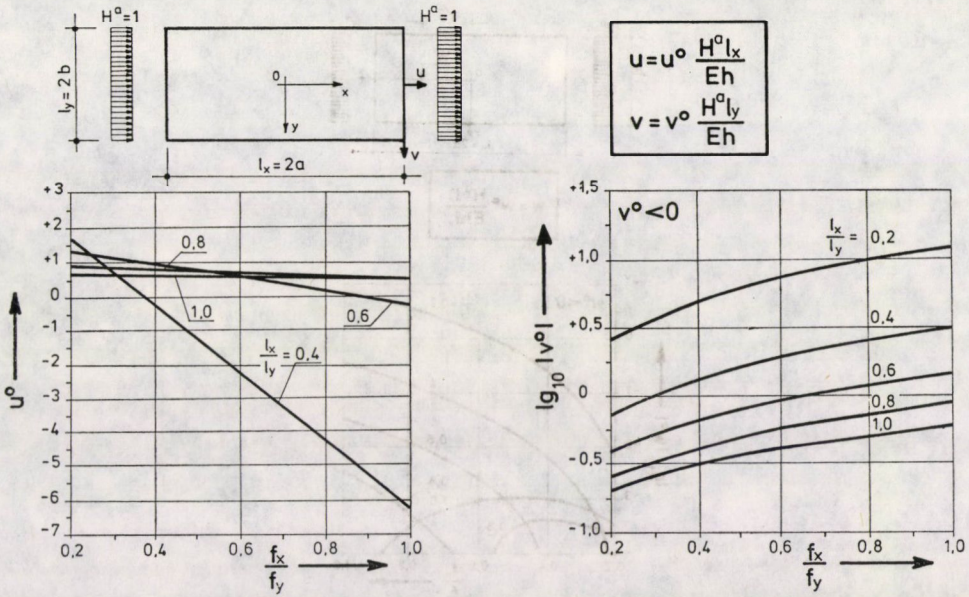
Az $u_1(y)$ és $v_1(x)$ függvények szimmetria, ill. antimetria okokból zérus értékűek.

A gyakorlati célokra elsősorban a $w = w(a/2, 0)$, $u(a, 0)$, $v(a, b)$ elmozdulási értékekre van szükség.

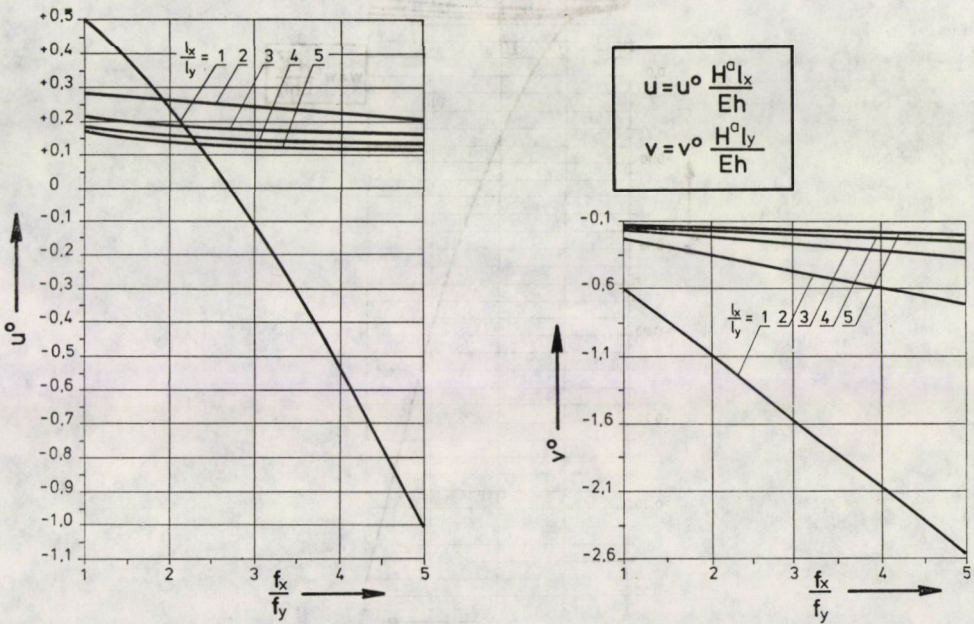
Ezeket f_x/f_y és l_x/l_y függvényében a 10. és 11. ábrákon tüntettük fel ($\nu = 0,2$).

Ezek jellemző értékeit a 2. táblázatban is megadtuk. Forgási paraboloid esetében ($f_x = f_y = f$, $l_x = l_y = l$) összefüggéseink így egyszerűsödnek:

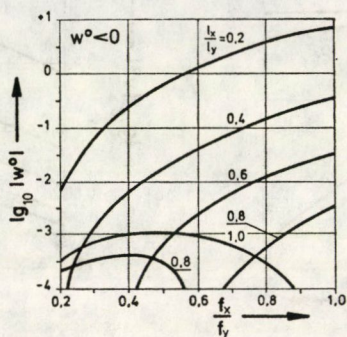
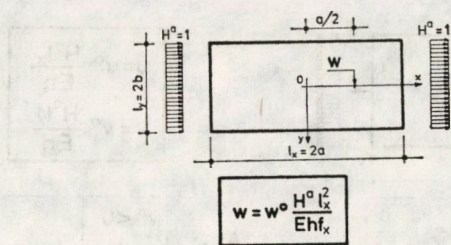
$$n_x = \frac{4H^a}{\pi} \sum_{m=1,3,5,\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2}} \sinh \frac{m\pi}{l} x \cos \frac{m\pi}{l} y, \quad (6.13)$$



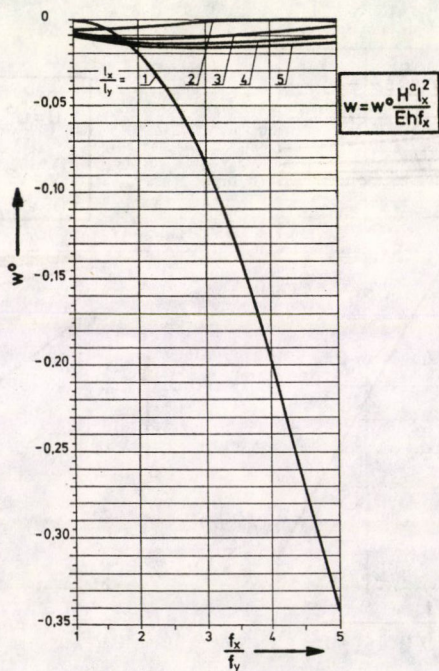
10a. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó $u = u(a, 0)$ és $v = v(a, b)$ eltolódások ($w_{perem} = 0$)



10b. ábra. Antimetrikus $H^a = 1$ peremteherből származó $u = u(a, 0)$ és $v = v(a, b)$ eltolódások ($w_{perem} = 0$)



11a. ábra. Antimetrikus $H^\alpha = 1$ peremteherből származó $w = w(a/2, 0)$ lehajlás ($w_{perem} = 0$)



11b. ábra. Antimetrikus $H^\alpha = 1$ peremteherből származó $w = w(a/2, 0)$ lehajlás ($w_{perem} = 0$)

2a. táblázat

$\frac{f_x}{f_y}$	$\frac{l_x}{l_y}$	H^0 antimetrikus		
		$u^0 = u \frac{E}{H^0} \frac{h}{l_x}$	$v^0 = v \frac{E}{H^0} \frac{h}{l_y}$	$w^0 = w \frac{E}{H^0} \frac{hf_x}{l_x^2}$
0,2	0,2	-17,1794	-2,5690	-0,0080
	0,4	1,6929	-0,7164	-0,0000
	0,6	1,3272	-0,3733	-0,0001
	0,8	0,9142	-0,2532	-0,0002
	1,0	0,6730	-0,1976	-0,0003
0,4	0,2	-48,5493	-5,0392	-0,2229
	0,4	-0,2287	-1,3339	-0,0062
	0,6	0,9584	-0,6477	-0,0000
	0,8	0,8009	-0,4076	-0,0004
	1,0	0,6275	-0,2964	-0,0010
0,6	0,2	-80,7745	-7,5094	-1,0944
	0,4	-2,1911	-1,9515	-0,0422
	0,6	0,5850	-0,9222	-0,0025
	0,8	0,6871	-0,5620	-0,0000
	1,0	0,5818	-0,3952	-0,0009
0,8	0,2	-114,3603	-9,9796	-2,9987
	0,4	-4,2270	-2,5690	-0,1329
	0,6	0,2006	-1,1967	-0,0124
	0,8	0,5714	-0,7164	-0,0005
	1,0	0,5361	-0,4940	-0,0003
1,0	0,2	-149,6567	-12,4498	-6,1764
	0,4	-6,3604	-3,1866	-0,2956
	0,6	-0,1999	-1,4711	-0,0339
	0,8	0,4519	-0,8707	-0,0034
	1,0	0,4896	-0,5928	-0,0000

$$n_y = -n_x, \tag{6.14}$$

$$n_{xy} = -\frac{4H^a}{\pi} \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2}} \cosh \frac{m\pi}{l} x \sin \frac{m\pi}{l} y, \tag{6.15}$$

$$w = 0, \tag{6.16}$$

$$u = \frac{4H^a l}{\pi^2 E h} (1 + \nu) \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2}} \cosh \frac{m\pi}{l} x \cos \frac{m\pi}{l} y, \tag{6.17}$$

$$v = -\frac{4H^a l}{\pi^2 E h} (1 + \nu) \sum_{m=1,3,5\dots} \frac{1}{m} \frac{\sin \frac{m\pi}{2}}{\sinh \frac{m\pi}{2}} \sinh \frac{m\pi}{l} x \sin \frac{m\pi}{l} y. \tag{6.18}$$

2b. táblázat

$\frac{f_x}{f_y}$	$\frac{l_x}{l_y}$	H^a antimetrikus		
		$u^0 = u \frac{E}{H^a} \frac{h}{l_x}$	$v^0 = v \frac{E}{H^a} \frac{h}{l_y}$	$w^0 = w \frac{E}{H^a} \frac{h f_x}{l_x^2}$
5,0	5,0	0,1191	-0,1976	-0,0137
	4,0	0,1370	-0,2532	-0,0101
	3,0	0,1682	-0,3733	-0,0042
	2,0	0,2028	-0,7164	-0,0013
	1,0	-1,0167	-2,5690	-0,3421
4,0	5,0	0,1250	-0,1779	-0,0154
	4,0	0,1420	-0,2223	-0,0122
	3,0	0,1735	-0,3184	-0,0067
	2,0	0,2238	-0,5928	0,0000
	1,0	-0,5249	-2,0750	-0,1959
3,0	5,0	0,1335	-0,1581	-0,0164
	4,0	0,1495	-0,1914	-0,0139
	3,0	0,1803	-0,2635	-0,0094
	2,0	0,2418	-0,4693	-0,0013
	1,0	-0,1089	-1,5809	-0,0845
2,0	5,0	0,1467	-0,1383	-0,0155
	4,0	0,1613	-0,1606	-0,0140
	3,0	0,1906	-0,2086	-0,0111
	2,0	0,2589	-0,3458	-0,0046
	1,0	0,2272	-1,0869	-0,0183
1,0	5,0	0,1679	-0,1186	-0,0099
	4,0	0,1810	-0,1297	-0,0094
	3,0	0,2084	-0,1537	-0,0085
	2,0	0,2799	-0,2223	-0,0060
	1,0	0,4896	-0,5928	-0,0000

7. Alkalmazás a peremtartók csavarási és oldalirányú hajlítási merevsége hatásának közelítő figyelembevételére

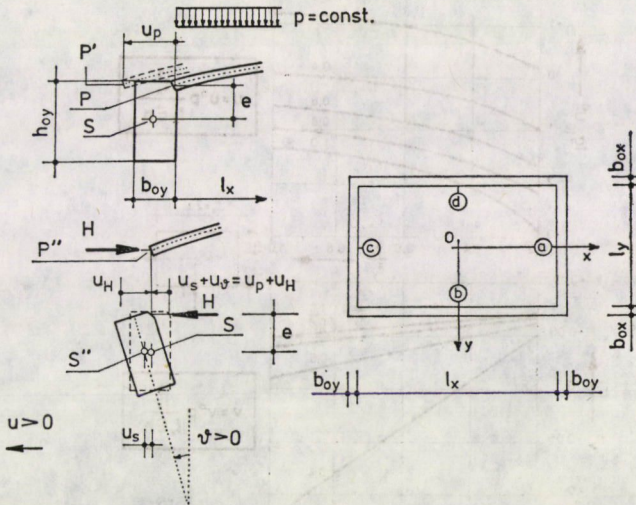
7.1. Elvi alapok

Amennyiben a peremtartók csavarási merevségei (GI_{csx} , GI_{csy}) és oldalirányú hajlítási merevségei (EI_x , EI_y) zérus értékűek lennének, akkor a peremtartók ellenállás nélkül követni tudnák a p felületi teherből származó vízszintes eltolódásokat és így az elliptikus paraboloidhéj erőjátéka a membrán-elmélet keretei között (azaz a héj hajlítási merevségét elhanyagolva) meg lenne oldva. Az irodalomban ismert számítási eljárások [1] a peremtartók saját síkbeli végtelen merevségének feltételezésén kívül ($w_{perem} = 0$) az előbb említett peremtartómerevségek elhanyagolását is magukban foglalják.

A valóságban azonban a peremtartók — véges nagyságú GI_{cs} csavarási és vízszintes síkbeli EI hajlítási merevségüknél fogva — nem tudják akadálytalanul követni a vízszintes héjeltolódásokat.

Ha feltételezzük, hogy a peremtartók saját síkjukban végbemenő hajlításra merevek (mint ahogy ez általában szokásos), akkor a membránhéj és a peremtartók közötti kompatibilitást egy vízszintes kapcsolati erőrendszer tudja biztosítani.

Minthogy az egyenletes felületi teherrel terhelt héj, valamint az egyenletes megoszlású vízszintes peremerő rendszerrel terhelt héj peremmenti alakváltozása azonos szerkezetű Fourier-sorral írható le, jó közelítéssel feltételez-



12. ábra. A héj és a peremtartó azonos vízszintes eltolódása ($w_{\text{perem}} = 0$)

hetjük, hogy a kapcsolati erőrendszer jól jellemezhető az egyenletesen megoszló átlagértékkel. Így az előző pontok eredményei felhasználásával kidolgozhatunk egy közelítő eljárást a héj peremén ébredő oldalnyomások meghatározására.

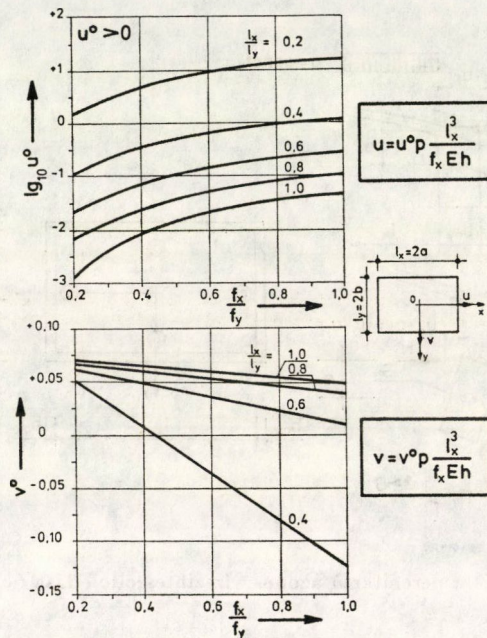
Az említett kompatibilitás kialakulását a 12. ábrán szemléltettük.

Az összeférhetőségi egyenleteket a héjperemek középső pontjaira (a, b, c, d pontok) vonatkoztatva fogjuk felírni, így a kompatibilitás teljes pontossággal csak ezekben a pontokban fog teljesülni.

Ha u_s -sel (v_s -sel) jelöljük a $H = 1$ erőrendszerrel terhelt parabola alakú ívtartó keresztmetszete S súlypontjának vízszintes eltolódását, u_p -val (v_p -val) a P csatlakozási pontnak a peremtartó elcsavarodása következtébeni eltolódását u_H -val (v_H -val) pedig a $H = 1$ erőkből származó héjeltolódásokat (a felső indexek közül az első az eltolódás helyét, a második pedig az eltolódást előidéző H erő helyét jelöli), akkor az

$$\begin{aligned}
 H_a(u_s^{aa} + u_\phi^{aa}) &= u_p^a + u_H^{aa} \cdot H_a + u_H^{ab} \cdot H_b + u_H^{ac} \cdot H_c + u_H^{ad} \cdot H_d \\
 H_b(v_s^{bb} + v_\phi^{bb}) &= v_p^b + v_H^{bb} \cdot H_b + v_H^{bc} \cdot H_c + v_H^{bd} \cdot H_d + v_H^{ba} \cdot H_a \\
 H_c(u_s^{cc} + u_\phi^{cc}) &= u_p^c + u_H^{cc} \cdot H_c + u_H^{cd} \cdot H_d + u_H^{ca} \cdot H_a + u_H^{cb} \cdot H_b \\
 H_d(v_s^{dd} + v_\phi^{dd}) &= v_p^d + v_H^{dd} \cdot H_d + v_H^{da} \cdot H_a + v_H^{db} \cdot H_b + v_H^{dc} \cdot H_c
 \end{aligned} \quad (7.1a-d)$$

inhomogén lineáris egyenletrendszer írhatjuk fel.

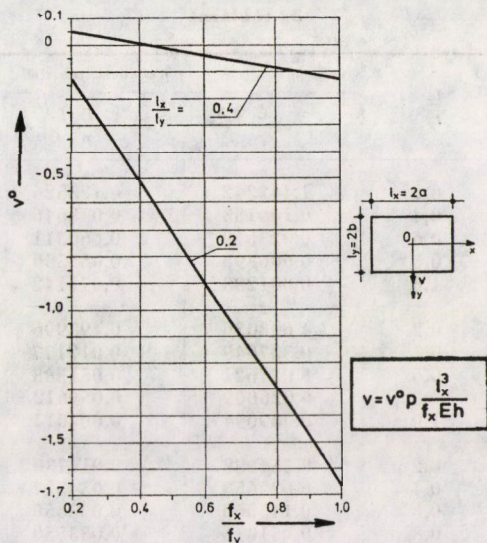


13a. ábra. Oldalnyomásmentes elliptikus paraboloidhéj $p = \text{const.}$ teherből származó $u = u(a, 0)$ és $v = v(0, b)$ peremmenti membráneltolódásai ($w_{\text{perem}} = 0$)

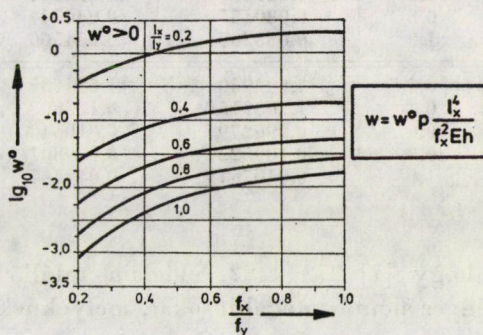
Az egyenletrendszer — az egyszerűség kedvéért — arra az esetekre vonatkozik, amikor a peremívek támaszai vízszintes síkban vagy csuklósak, vagy mereven befogottak ($u_s^{ab} = u^{ab} = 0 \dots$ stb.).

A H erők akkor pozitívak, ha a héjra nyomást gyakorolnak, az u és v egységtényezőket és a terhelési tényezőket pedig a héj peremétől kifelé mutató irányban tekintettük pozitívnak. Az egységtényezőket a tartók statikája közismert módszereivel határozhatók meg (l. 7.2 pont).

A p felületi teherből származó terhelési tényezőket számításához az [1] 264–266. oldalain található Fourier-sorokat elektronikus számítógépen kiértékeltek és az eredményt a 13a–c ábrákon grafikusán feltüntették, illetve a 3. táblázatban is megadtuk.



13b. ábra. Oldalnyomásmentes elliptikus paraboloidhéj $p = \text{const.}$ teherből származó $v = v(0, b)$ peremmenti membráneltolódásai ($w_{\text{perem}} = 0$)



13c. ábra. Oldalnyomásmentes elliptikus paraboloidhéj $p = \text{const.}$ teherből származó $w = w(0, 0)$ membránelhajlása ($w_{\text{perem}} = 0$)

Ez a számítás lényegében a következő célokat szolgálhatja. Bizonyos felületszerkezetek esetében viszonylag erős peremtartókat alakítanak ki, és ekkor már számottevő lehet a vállnyomás hatása. Számítási eljárásunk lehetőséget nyújt — a mind a négy peremén oldalnyomásmentesen megtámasztott héjat törzstartónak tekintve [1] — ezen tetszőleges számú peremén csavarásra és vízszintes síkú hajlításra merev peremtartójú, elliptikus paraboloidhéjak közelítő vizsgálatára is. A módszer alkalmazható továbbá arra az esetre is, ha az elliptikus paraboloidhéjnak más héjakkal (donga, elliptikus paraboloid) összeépíthetősége miatt gyakorlatilag elmozdulásmentes peremtartói is vannak.

3. táblázat

$\frac{f_x}{f_y}$	$\frac{l_x}{l_y}$	$p = \text{const. teherből}$		
		$u^0 = u \frac{E}{P} \frac{f_x h}{l_x^2}$	$x^0 = v \frac{E}{P} \frac{f_x h}{l_x^2}$	$w^0 = w \frac{E}{P} \frac{f_x h}{l_x^2}$
0,2	0,2	1,442842	-0,123526	0,336646
	0,4	0,106183	0,048646	0,024374
	0,6	0,023619	0,060511	0,005616
	0,8	0,006898	0,065550	0,001936
	1,0	0,001298	0,071142	0,000738
0,4	0,2	4,608036	-0,498996	0,941938
	0,4	0,337049	0,012177	0,073502
	0,6	0,077621	0,051388	0,019128
	0,8	0,026069	0,059612	0,007953
	1,0	0,009094	0,064014	0,004160
0,6	0,2	8,554988	-0,911730	1,465292
	0,4	0,622653	-0,034327	0,119870
	0,6	0,145563	0,038650	0,033219
	0,8	0,051816	0,053550	0,014887
	1,0	0,021277	0,059318	0,008508
0,8	0,2	12,931970	-1,303521	1,802736
	0,4	0,935116	-0,081634	0,154225
	0,6	0,219455	0,024547	0,044913
	0,8	0,080155	0,046744	0,021120
	1,0	0,035205	0,054560	0,012647
1,0	0,2	17,602950	-1,654735	1,939704
	0,4	1,263915	-0,125803	0,174762
	0,6	0,296279	0,010648	0,053461
	0,8	0,109523	0,039801	0,026178
	1,0	0,049767	0,049767	0,016215

Megemlítjük, hogy [1] 272–282. oldalain található olyan forgási paraboloidokra érvényes pontos megoldásokat, melyeknek tetszőleges peremtartója hajlításra és csavarásra végtelenül merev.

Általános geometriájú elliptikus paraboloidokra vonatkozóan ($l_x \neq l_y$, $f_x \neq f_y$) azonban sem véges merevséggel bíró, sem végtelenül merev peremtartók esetében nincs egzakt analitikus megoldás. A tárgyalt statikai alapeladat legfontosabb alkalmazási területét így ezen utóbbi problémák közelítő elemzésével kapcsolatban látjuk.

Végül rá kell mutatnunk arra is, hogy a peremívek térbeli stabilitásának a vizsgálatához — még a héj szempontjából elhanyagolhatóan kismértékű vállnyomás esetén is — elengedhetetlenül szükséges a héj és a peremtartók közötti vízszintes kapcsolati erőknél az ismerete.

7.2. Számpéldák

Vizsgáljuk meg a $p = 0,3 \text{ Mp/m}^2$ terhelésű

$$l_x = l_y = l = 20 \text{ m},$$

$$f_x = f_y = f = 2,5 \text{ m},$$

$$h = 0,08 \text{ m}$$

geometriai paraméterekkel bíró elliptikus paraboloidhéjat két különböző peremmegtámasztási esetben.

7.21 Első eset

7.21 *Első eset.* A 12. ábrán vázolt héj mind a négy peremtartója legyen hajlításra és csavarásra végtelenül merev (szomszédos héjakkal való egybeépítettsége folytán). A p felületi teherből a 13. ábra, illetve a 3. táblázat alapján

$$u_p = u_p^a = v_p^b = u_p^c = v_p^d = 0,0498 \cdot \frac{20^3}{2,5 \cdot 0,08} \frac{P}{E} = 1932 \frac{P}{E} = 598 \frac{1}{E} [\text{m}]$$

kifelé irányuló eltolódás lép fel az a, b, c és d jelű pontokban. Az egyik peremen $H = H^s + H^a = 1/2 + 1/2 = 1$, a másik peremen $H = H^s + H^a = 1/2 - 1/2 = 0$ peremterhekből származó héjeltolódások (6a. és 10. ábra, illetve 1. és 2. táblázat):

$$u_H^{aa} = v_H^{bb} = \frac{1}{2} \frac{20}{E0,08} (-0,4054 - 0,4896) = -112 \frac{1}{E} [\text{m}],$$

$$u_H^{ab} = u_H^{ad} = v_H^{bc} = v_H^{bd} = \frac{1}{2} \cdot 0,1948 \frac{20}{E0,08} = +24,35 \frac{1}{E} [\text{m}],$$

$$u_H^{ac} = v_H^{bd} = \frac{1}{2} \frac{20}{E0,08} (-0,4054 + 0,4896) = +10,53 \frac{1}{E} [\text{m}].$$

A kompatibilitási egyenlet:

$$H(-112 + 2 \cdot 24,35 + 10,53) + 598 = 0$$

$$H = \frac{598}{193 \cdot 11} = 3,1 [\text{Mp/m}].$$

Az egzakt megoldás szerint ([1] 287. o.):

$$H = \frac{0,3}{2} \frac{20^2}{8 \cdot 2,5} = 3 [\text{Mp/m}]$$

vállnyomás adódik, tehát eljárásunk ez esetben mintegy 3%-os hibával közelít.

7.22 *Második eset.* Legyen a héj az a és c jelű oldalak mentén végtelenül merev peremtartókkal, a b és d jelű oldalak mentén pedig oldalirányban lágú peremtartókkal megtámasztva. A $b_0 = 0,25$ [m], $h_0 = 0,50$ [m] geometriai adatokkal bíró ívek hajlótási merevsége:

$$EI = 0,5 \frac{0,25^3}{12} E = 6,51 \cdot 10^{-4} E [\text{Mpm}^2],$$

csavarási merevsége:

$$GI_{cs} = 0,23 \cdot 0,5 \cdot 0,25^3 \frac{E}{2(1 + 0,2)} = 7,49 \cdot 10^{-4} E [\text{Mpm}^2].$$

A peremívek középkeresztmetszeteinek a héjhoz való csatlakozási pontja a hajlítási és csavarási hatásból

$$u_s + u_\varphi = (640\,000 + 4170) \frac{1}{E} [\text{m}] = 644\,170 \frac{1}{E} [\text{m}]$$

mértékben tolódik el az egyenletesen megoszló $H = 1$ vízszintes terhelés következtében.

$$v_s + v_\varphi = 0.$$

A kétszeres szimmetria miatt

$$H_a = H_c,$$

$$H_b = H_d.$$

A kompatibilitási egyenletrendszer:

$$H_a 644\,170 = 598 + H_a(-112 + 10,53) + H_b \cdot 24,35 \cdot 2,$$

$$0 = 598 + H_b(-112 + 10,53) + H_a 24,35 \cdot 2,$$

$$H_a 644\,271 - H_b 48,70 = 598,$$

$$-H_a 48,70 + H_b 101,47 = 598.$$

A megoldás:

$$H_a = 0,0014 [\text{Mp/m}],$$

$$H_b = 5,893 [\text{Mp/m}].$$

Ezek szerint majdnem a teljes teher a merev peremek irányában boltozódik át.

IRODALOM

1. BELEŞ, A. A.—SOARE, M. V.: Das elliptische und hyperbolische Paraboloid im Bauwesen Akademie-Verlag, Bukarest, 1970
2. BÖLCSKEI, E.: Membránhéjak alakváltozása. *Magyar Éptudóipar* (1953) 9
3. FLÜGGE, W.: Stresses in Shells. Second Edition. Springer-Verlag, Berlin—Heidelberg—New York 1973
4. GEYLING, F. T.: A General Theory of Deformations of Membrane Shells. Dissertation. Stanford University, Stanford, Calif. 1953
5. ТИХОНОВ, А. N.—СЗАМСАРСКИЈ, А. А.: A matematikai fizika differenciálegyenletei. Akadémiai Kiadó, Budapest 1956

Membrane Forces and Membrane Deflections of Flat Elliptic Paraboloid Shells Subjected to Uniformly Distributed Horizontal Load at the Edges. An analytic method of solution of the membrane stress pattern and membrane deflections of flat elliptic paraboloid shells subjected to uniformly distributed horizontal edge load is presented. The functions describing the effects of the symmetrical and antisymmetrical system of forces acting on the edges have been worked out also in graphic form in order to make easier the calculation by hand. It has been pointed out that by making use of this basic static problem, in the framework of the membrane theory also the internal forces and deflections of the elliptic paraboloid shells supported by edge beams having non negligible flexural and torsional stiffnesses in the horizontal plane can be analysed in an approximate way.

Membrankräfte und Membranformänderungen von flachen elliptischen Paraboloidschalen mit gleichförmig verteilter horizontaler Randbelastung. Behandelt wird die analytische Ermittlung des Membranspannungszustandes und der Membranformänderungen der durch ein gleichmäßig verteiltes horizontales Randkraftsystem belasteten flachen elliptischen Paraboloidschale. Die durch symmetrisch bzw., antimetrisch angeordnete, auf den einander gegenüberliegenden Rändern wirkende Kraftsysteme hervorgerufenen Effekte beschreibenden Funktionen wurden auch zur Erleichterung der Handrechnung in graphischer Form ausgearbeitet. Es wurde hingewiesen, daß durch Anwendung dieses statischen Grundproblems, im Rahmen der Membrantheorie auch die Schnittkräfte und Formänderungen solcher elliptischen Paraboloidschalen annäherungsweise untersucht werden können, die durch Randträger gestützt sind, welche in der horizontalen Richtung nicht vernachlässigbare Biege-, bzw. Drillsteifigkeit besitzen.

AUTOMATIZÁLT TERVEZÉS INTEGER PROGRAMOZÁSSAL

GRÓSZ MIKLÓS*

[Beérkezett 1976. november 9-én]

Jelen dolgozatunkban általános formában megfogalmazzuk a statikai műszaki tervezés automatizálásának egy lehetséges modelljét. A tervezési feladatot úgy értelmezzük, hogy keressük az adott elemkészletből előállítható, adott geometriájú szerkezet olyan tervét, amelyben szereplő elemekre teljesüljenek az egyensúlyi, kompatibilitási és korlátozó feltételek, továbbá valamilyen szempontból (súly, költség, vagy ezek aránya) a szerkezet optimális legyen. Az így megfogalmazott problémára felírjuk a matematikai modellt a korlátozó feltételek linearitása esetén, majd kiterjesztjük azt a nemlineáris esetre is. Mindkét esetben visszavezetjük a problémákat „0–1” egészértékű programozási feladatra, amelynek megoldására a leszámítási módszert hatékonyan lehet alkalmazni. A leszámítási módszer használatához egy nagyméretű mátrix invertálására lenne szükség minden lépésben. Ennek elkerülése céljából bemutatunk egy eljárást a feladat megoldására.

1. Bevezetés

Jelen dolgozatunkban az előregyártott elemekből (rendszerkomponensekből) megvalósított statikai műszaki tervezés automatizálásával foglalkozunk. A bemutatott eljárás értelemszerű változtatások után más műszaki tervezési folyamat automatizálására is felhasználható. A statikai műszaki tervezés automatizálásán egy adott geometriájú statikailag határozatlan szerkezet tervezését értjük, amelyet az iparosított építésmódnak megfelelően bizonyos műszaki és gazdasági feltételeket kielégítő optimális elemösszeválogatás révén érünk el.

E dolgozatban az egyensúlyi és kompatibilitási feltételek kivételével nem foglalkozunk egyéb korlátozó feltételek (szilárdsági, alakváltozási) konkrét felírásával, hanem ezeket adottaknak tekintjük. Külön kitérünk azonban arra az esetre, amelyben e feltételek lineárisak, és arra, amelyben a feltételek nemlineáris vektor-függvény alakjában írhatók fel.

2. A feladat műszaki megfogalmazása

Írjuk fel egy diszkrét elemekből álló szerkezet elsőrendű elmélet szerinti egyensúlyi és kompatibilitási egyenleteit:

* Grósz Miklós 1025 Budapest, Csalit u. 9.

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 0 & & & G^T \\ \hline & \text{hatched} & & \\ \hline & & F & \\ \hline G & & & \text{hatched} \\ \hline & & & \text{hatched} \\ \hline & & & b_i \\ \hline \end{array} \times \begin{array}{|c|} \hline x^1 \\ \hline x^2 \\ \hline \end{array} + \begin{array}{|c|} \hline p^1 \\ \hline p^2 \\ \hline \end{array} = 0$$

A műszaki tartalom és jelölés ismertetése nélkül csupán azt jegyezzük meg, hogy \mathbf{G} csak a szerkezet geometriájától függ, \mathbf{F} pedig az alkalmazott elemek hajlékonysági mátrixait tartalmazza. x^1 és x^2 az ismeretlen alakváltozást és megfelelően az ismeretlen belső erőket jelenti, p^1 a csomóponti, p^2 pedig a kinematikai terhek vektora.

Az (1) egyenletben szereplő b_i -vel jelölt hipervektor egy szerkezeti elemet reprezentál. Az egyszerűség kedvéért, de az általánosság megszorítása nélkül vizsgáljuk csak azt, hogy kizárólag az i -edik elem cserélhető. Az egy-egy szerkezeti elemhez tartozó b_i hipervektorok csak az F_i hajlékonysági mátrixban különböznek egymástól. Az i -edik helyre alkalmas elemek közül egynek a „betervezése” azt jelenti, hogy a mátrixban a b_i helyére a betervezendő elem b'_i hipervektorát helyezzük. Adott geometriájú szerkezet tervezése tehát egyenértékű azzal, hogy beválasztjuk a bázisba azokat a hipervektorokat, amelyek valamilyen szempontból optimálisak.

Most tekintsük azokat a korlátozó feltételeket, amelyek előfordulhatnak egy előregyártott elemekből történő tervezés során. Olyan feltételeket alkalmazunk, amelyek nem írnak le állapotváltozást, s ezért az állapotváltozás leírásától független önkényes nem fizikai jellegű korlátozásoknak tekinthetők. A feltételek tartalmát konstrukciós műszaki szempontok szolgáltatják.

Ezeknek a korlátozó feltételeknek a jobboldalán olyan mennyiségek szerepelnek, amelyek alapján azt döntjük el, hogy bizonyos vektorokat mely vektorokkal helyettesítsük a bázisban.

A korlátozó feltételekre nézve két eset lehetséges:

- a korlátozó feltételek egy lineáris egyenlőtlenség rendszer formájában írhatók fel: $\mathbf{B}\mathbf{x} < \mathbf{S}$,
- a korlátozó feltételek egy nemlineáris egyenlőtlenség rendszer formájában írhatók fel: $\mathbf{D}(\mathbf{x}) < \mathbf{S}$.

A továbbiakban a fenti két esettel külön foglalkozunk.

A korlátozó feltételek között előfordulhatnak olyan feltételek is, amelyek azt biztosítják, hogy bizonyos helyekre csak egymással azonos elemtípus kerüljön.

3. A feladat matematikai modellje lineáris korlátozó feltételek esetén

Adva van egy lineáris egyenlőség és lineáris egyenlőtlenség rendszer:

$$\mathbf{A}(\mathbf{b})\mathbf{x} + \mathbf{p} = 0 \quad (2)$$

$$\mathbf{B}\mathbf{x} < \mathbf{S}(\mathbf{b}), \quad (3)$$

ahol az \mathbf{A} mátrix az (1) egyenletben feltüntetett alakú és nonszinguláris,

$\mathbf{b} = (b_1^i, b_2^i, \dots, b_n^i)$ — az \mathbf{A} mátrix aktuális bázisa

$\mathbf{S}(\mathbf{b})$ — a \mathbf{b} bázistól függő adott vektor-függvény.

Az \mathbf{A} mátrix i -edik hipervektor helyére a bázisba beválasztható elemek egy E_i halmazzal alkotnak:

$$E_i = \{b_i^j \mid j \in J, j = 1, 2, \dots, j^*(i)\},$$

ahol J az elemek halmaza, $j^*(i)$ az i -edik elem helyén alkalmazható elemtípusok száma. Ha az \mathbf{A} mátrixban $b_i^j \rightarrow b_i^{j'}$ (b_i^j és $b_i^{j'} \in E_i$) báziscserére kerül sor, akkor megfelelően megváltoznak az \mathbf{S} vektor komponensei.

(2)—(3) rendszernek egyidejűleg több \mathbf{p} vektorra nézve kell teljesülni. A \mathbf{p} vektorokat egy \mathbf{P} mátrixba összefoglalva a (2)—(3) rendszer a következőképpen írható fel:

$$\mathbf{A}(\mathbf{b})\mathbf{X} + \mathbf{P} = 0, \quad (4)$$

$$\mathbf{B}\mathbf{X} < \mathbf{S}(\mathbf{b}), \quad (5)$$

ahol \mathbf{X} , \mathbf{P} és $\mathbf{S}(\mathbf{b})$ mátrixoknak egyforma oszlopszámuk van. A $b_i^j \rightarrow b_i^{j'}$ báziscsere esetén az $\mathbf{S}(\mathbf{b})$ mátrix bizonyos sorai megfelelően változnak. Az $\mathbf{S}(\mathbf{b})$ mátrix egyforma oszlopokból áll, mivel az egyenlőtlenségnek egyidejűleg minden \mathbf{p} esetén teljesülni kell.

A továbbiakban a (4)—(5) feltétel rendszert szeretnénk egy egyenlőtlenség rendszerrel helyettesíteni, amelyben már az \mathbf{X} mátrix nem szerepel, mivel nem az erő és elmozdulások konkrét nagysága érdekel, hanem hogy teljesülnek-e ezekre nézve a feltételek vagy sem.

Vezessünk be egy olyan \mathbf{Y} mátrixot, amelyre nézve teljesül:

$$\mathbf{B}\mathbf{X} + \mathbf{Y} = \mathbf{S}. \quad (6)$$

Mivel \mathbf{A} mátrix nonszinguláris, ezért a (4) egyenletrendszernek mindig létezik egyértelmű megoldása:

$$\mathbf{X} = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{P}.$$

Behelyettesítve ezt a (6)-ba, fejezzük ki az \mathbf{Y} mátrixot:

$$-\mathbf{BA}^{-1}\mathbf{P} + \mathbf{Y} = \mathbf{S},$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{BA}^{-1}\mathbf{P} + \mathbf{S}.$$

1. tétel: Ha \mathbf{A} nonszinguláris, akkor a (4)–(5) rendszernek akkor és csak akkor létezik megoldása, ha $\mathbf{Y} > 0$.

Szükségesség bizonyítása. Tegyük fel, hogy (4)–(5)-nek létezik megoldása, vagyis

$$\mathbf{X} = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{P} \text{ és } \mathbf{BX} < \mathbf{S},$$

$$-\mathbf{BA}^{-1}\mathbf{P} < \mathbf{S},$$

$$\mathbf{S} + \mathbf{BA}^{-1}\mathbf{P} > 0, \text{ vagyis } \mathbf{Y} > 0.$$

Elégesség bizonyítása. Tegyük fel, hogy $\mathbf{Y} > 0$, vagyis

$$-\mathbf{BA}^{-1}\mathbf{P} < \mathbf{S}.$$

Mivel \mathbf{A} nonszinguláris, ezért

$$\mathbf{X} = -\mathbf{A}^{-1}\mathbf{P} \text{ és } \mathbf{BX} < \mathbf{S}.$$

Ezzel bebizonyítottuk az elégesség feltételét!

A tétel alapján a (4)–(5) rendszer helyettesíthető a következő feltétellel:

$$\mathbf{B}[\mathbf{A}(\mathbf{b})]^{-1}\mathbf{P} + \mathbf{S}(\mathbf{b}) > 0.$$

Vezessünk be egy δ vektort

$$\delta = (\delta_1^1, \delta_1^2, \dots, \delta_1^{j^*(1)}, \delta_2^1, \dots, \delta_2^{j^*(2)}, \dots, \delta_n^{j^*(n)}),$$

ahol

$$\delta_i^j = \begin{cases} 0, & \text{ha } \mathbf{b}_i^j \text{ hipervektor nem tartozik a bázishoz,} \\ 1, & \text{ha } \mathbf{b}_i^j \text{ hipervektor hozzátartozik a bázishoz.} \end{cases}$$

Ezek után a probléma a következő modell alakjában írható fel:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{j^*(i)} c_i^j \cdot \delta_i^j \rightarrow \min, \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^{j^*(i)} \delta_i^j = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{j^*(i)} (\delta_{i_1}^j - \delta_{i_2}^j) = 0 \quad i_1, i_2 \in H_S, \quad S = 1, 2, \dots, S^*, \quad (9)$$

$$\mathbf{B}[\mathbf{A}(\delta)]^{-1}\mathbf{P} + \mathbf{S}(\delta) > 0, \quad (10)$$

c_i^j = az i -edik elem j -ik típusának a súlya, költsége, vagy a kettőnek az aránya,

m = a \mathbf{G} mátrix oszlopainak száma,

$j^*(i)$ = az i -ik elem típusainak száma, ill. E_i halmaz elemeinek száma,

H_S = az előírt azonosnak választandó elemek indexhalmaza,

S^* = a H_S halmazok száma.

A (8) feltétel azt fejezi ki, hogy minden szerkezeti elem helyén egyidejűleg csak egy elemtípus szerepelhet.

A (9) feltétel pedig azt jelenti, hogy a H_S halmazhoz tartozó helyeken csak egyforma elemtípus szerepelhet.

Minden E_i halmazba beveszünk 2 fiktív elemet: egy nagyon „gyenge” és egy nagyon „erős” elemtípust. Ha az első típus bekerül a megoldásba, az azt jelenti, hogy az i -edik helyen nincs szükség elemre. A másokra azért van szükség, hogy mindig létezzen legalább egy lehetséges megoldása.

A fiktív elemekhez tartozó c_i^j értéket a „legerősebb” valós elem c_i^j értéke alapján becsléssel kell felvenni (pl.: a legdrágább elemnek a százszorosa). Ha a nagyon „erős” elemtípus kerül be az optimális megoldásba, akkor az azt jelenti, hogy a megfelelő elemtípusokat ki kell bővíteni.

A 2. pontban körülírt feladatot ezzel sikerült visszavezetni „0–1” egészértékű programozási feladatra, amelynek a megoldására az irodalomból ismert módszerek vannak [4, 5]. Esetünkben a leszámhlási módszerek (implicit enumeration method) látszanak hatékonyaknak, mivel felépítésük független attól, hogy a feltételek lineárisak vagy nemlineárisak-e, és véges számú lépésben szolgálják az optimális megoldást. A leszámhlási módszer használata során minden lépésben vizsgálnunk kell a feltételek teljesülését a megfelelő δ vektorra nézve. Ehhez állandóan invertálni kellene egy nagyméretű \mathbf{A} mátrixot. A következő fejezetben bemutatunk egy olyan eljárást az \mathbf{Y} mátrix elemeinek számítására, melyben elkerüljük ezt a számításigényes műveletet, és a számításhoz elegendő az elemtípusok hajlékonysági és merevségi mátrixainak ismerete.

4. A feladat megoldását szolgáló eljárás

4.1 \mathbf{Y} mátrix számítása báziscsere esetén, lineáris feltételek mellett

Állítsuk elő az $\mathbf{A}(\mathbf{b})$ mátrix inverzét, négy blokkra való particionálása segítségével [1]:

$$\mathbf{A}^{-1} = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{G}^T \\ \mathbf{G} & \mathbf{F} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} -(\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} & (\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \\ \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} (\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} & \mathbf{F}^{-1} - \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} (\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \end{bmatrix}.$$

Tekintsük a mind a négy blokkban szereplő $\mathbf{M} = (\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1}$ mátrixot. Tetszőleges báziscsere esetén változik az \mathbf{F} mátrix, ezért \mathbf{M} mátrix létrehozásához minden egyes báziscsere esetén nagyméretű mátrix invertálása szükséges. Ha

sikerül a \mathbf{M} mátrixot olyan formában előállítani, amely \mathbf{F} inverzét nem tartalmazza, akkor a számításnak ezt a döntő nehézségét elhárítottuk.

2. tétel: Ha a \mathbf{G} mátrix rangja egyenlő az oszlopai számával és \mathbf{F} nem szinguláris mátrix, akkor

$$(\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} = \mathbf{G} + \mathbf{F}(\mathbf{G}^+)^T * ,$$

ahol $\mathbf{G}^+ = (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T$ — a \mathbf{G} mátrix általánosított inverze.

Bizonyítás. Mivel \mathbf{F} nonsinguláris, $\varrho(\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1}) = \varrho(\mathbf{G}^T) = \varrho(\mathbf{G}) = m$.**
Tehát felhasználhatjuk a következő tételt [2]:

Ha \mathbf{A} $n \times m$ és \mathbf{B} $m \times k$ mátrixok, és

$$\varrho(\mathbf{A}) = \varrho(\mathbf{B}) = m, \text{ akkor}$$

$$(\mathbf{AB})^+ = \mathbf{B}^+ \mathbf{A}^+.$$

Eszerint, ha $\mathbf{A} = \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1}$ és $\mathbf{B} = \mathbf{G}$, akkor teljesül

$$(\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G})^{-1} = \mathbf{G} + (\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1})^+ . \quad (11)$$

Most használjuk fel a következő tételt [2]:

$(\mathbf{AB})^+ = \mathbf{B}^+ \mathbf{A}^+$ akkor és csakis akkor, ha

$$\mathbf{A} + \mathbf{ABB}^T \mathbf{A}^T = \mathbf{BB}^T \mathbf{A}^T \text{ és} \quad (12)$$

$$\mathbf{BB}^+ \mathbf{A}^T \mathbf{AB} = \mathbf{A}^T \mathbf{AB} . \quad (13)$$

A mi esetünkben legyen $\mathbf{A} = \mathbf{G}^T$ és $\mathbf{B} = \mathbf{F}^{-1}$. Ellenőrizzük a (12) feltétel teljesülését:

$$(\mathbf{G}^T)^+ + \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} = \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} . \quad (14)$$

Mivel \mathbf{G} oszlopai lineárisan függetlenek, ezért [2]

$$\begin{aligned} \mathbf{G}^+ &= (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T \text{ és } (\mathbf{G}^+)^T = [(\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \mathbf{G}^T]^T = \mathbf{G} [(\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1}]^T = \\ &= \mathbf{G} [(\mathbf{G}^T \mathbf{G})^T]^{-1} = \mathbf{G} (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{G})^{-1} . \end{aligned} \quad (15)$$

Behelyettesítve (15)-t (14)-be, kapjuk:

$$\mathbf{G} (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} = \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} .$$

* \mathbf{A}^+ -jel általánosított Moore–Penrose-inverzest jelent.

** ϱ -val a mátrix rangját jelöljük.

Ha megszorozzuk balról ezt az egyenletet \mathbf{G}^T mátrixszal:

$$\mathbf{G}^T \mathbf{G} (\mathbf{G}^T \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} = \mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G},$$

majd egyszerűsítünk,

$$\mathbf{G}^T \mathbf{F}^{-1} (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G} = \mathbf{G}^T (\mathbf{F}^{-1}) (\mathbf{F}^{-1})^T \mathbf{G}$$

triviális egyenletet kapunk.

Ezzel bebizonyítottuk a (12) feltétel teljesülését.

A (13) feltétel triviálisan teljesül, mivel

$$(\mathbf{F}^{-1}) (\mathbf{F}^{-1})^+ = \mathbf{E}.$$

Ezek után a (11) egyenlet a következő alakban írható fel:

$$\mathbf{M} = \mathbf{G} + \mathbf{F} (\mathbf{G}^T)^+.$$

Figyelembe véve, hogy $(\mathbf{G}^T)^+ = (\mathbf{G}^+)^T$, a tételt bebizonyítottuk.

A 2. tétel alapján az $\mathbf{A}(\mathbf{b})$ mátrix inverze tetszőleges báziscsere esetén kiszámítható, egyetlen $(\mathbf{G}^T \mathbf{G})$ mátrix inverz számítása segítségével, mivel a \mathbf{F}^{-1} merevségi mátrix képletekből számítható és \mathbf{G}^+ konstans mátrix.

$$[\mathbf{A}(\mathbf{b})]^{-1} = \begin{vmatrix} -\mathbf{G} + \mathbf{F} (\mathbf{G}^+)^T & \mathbf{G} + \mathbf{F} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ \mathbf{F}^{-1} \\ \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ \mathbf{F} (\mathbf{G}^+)^T & \mathbf{F}^{-1} - \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ \mathbf{F} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ \mathbf{F}^{-1} \end{vmatrix},$$

mivel

$$(\mathbf{G}^+)^T \cdot \mathbf{G}^T = [(\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T]^T \cdot \mathbf{G}^T = \mathbf{G} (\mathbf{G}^T \cdot \mathbf{G})^{-1} \cdot \mathbf{G}^T = \mathbf{G} \mathbf{G}^+.$$

További célunk olyan algoritmus előállítására, amely az \mathbf{Y} mátrix elemeit fölösleges hipermátrix szorzások kikerülésével, a lehető legtakarékosabban állítja elő.

A mátrixnak megfelelően particionáljuk a \mathbf{P} és \mathbf{B} mátrixokat:

$$\mathbf{B} = [\mathbf{B}^1 \mathbf{B}^2] \quad \mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}^1 \\ \mathbf{P}^2 \end{bmatrix},$$

ahol \mathbf{B}^1 $r \times m$, \mathbf{B}^2 $r \times n$ és \mathbf{P}^1 $m \times k$, \mathbf{P}^2 $n \times k$ méretű mátrixok.

\mathbf{P}^2 mátrix a kinematikai terheket reprezentálja. A további tárgyalásunkban az egyszerűség kedvéért ezeket figyelmen kívül hagyjuk, vagyis $\mathbf{P}^2 = \mathbf{0}$.

Az \mathbf{Y} mátrixot blokkokra bontott formában így írhatjuk fel:

$$\mathbf{Y} = -\mathbf{B}^1 \mathbf{G} + \mathbf{F} (\mathbf{G}^T)^+ \mathbf{P}^1 + \mathbf{B}^2 \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ \mathbf{F} (\mathbf{G}^T)^+ \mathbf{P}^1 + \mathbf{S}.$$

Vezessük be a következő jelöléseket:

$$\mathbf{B}^1 \mathbf{G}^+ = \mathbf{C}^1 (\mathbf{G}^T)^+ \mathbf{P}^1 = \mathbf{C}^2, \quad \mathbf{G} \mathbf{G}^+ = \mathbf{C}^3.$$

F egy hiperdiagonális mátrix, ezért az inverze is hiperdiagonális. Particionáljuk a C^1, C^2, C^3, B^2 és S mátrixokat az F_l blokkoknak megfelelően. Az Y mátrix egy tetszőleges (l, t) eleme ebben az esetben így írható fel:

$$Y_{l,t} = \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} (-C_{l,i}^1 \cdot F_{ij} C_{jt}^2 + \sum_{k \in J} \sum_{m \in J} B_{l,i}^2 F_{i,j}^{-1} \cdot C_{j,k}^3 \cdot F_{k,m} C_{m,t}^2) + S_{l,t}.$$

Mivel $F_{ij} = F_{ij}^{-1} = 0$, ha $i \neq j$, ezért

$$Y_{lt} = \sum_{i \in J} -C_{l,i}^1 F_{ii} C_{it}^2 + \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} B_{l,i}^2 F_{ii}^{-1} \cdot C_{ij}^3 F_{jj} \cdot C_{j,t}^2 + S_{l,t}. \quad (16)$$

Kitűzött problémánk megoldására a (16) képlet jobb oldalát kellene sorozatosan kiszámítani. A számítás ésszerű lebonyolítása érdekében vizsgáljuk meg, hogy az Y mátrix egy tetszőleges (l, t) eleme a báziscsere során hogyan változik.

Tegyük fel, hogy néhány hipervektor helyén báziscserét hajtunk végre. A cserehelyek indexei J^* halmazt alkotnak. Legyen $J' = J/J^*$, vagyis azon hipervektorok indexhalmaza, ahol nem történik báziscsere. A

$$\hat{Y}_{l,t} = (\hat{Y}_{l,t} - Y_{l,t}) + Y_{l,t}$$

triviális bővítéssel végezve és a (16) alapján az $Y_{l,t}$ értékét behelyettesítve kapjuk:

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{l,t} = & - \sum_{i \in J} C_{l,i}^1 (\hat{F}_{ii} - F_{ii}) C_{it}^2 + \sum_{i \in J} \sum_{j \in J} (B_{l,i}^2 \hat{F}_{ii}^{-1} C_{ij}^3 \cdot \hat{F}_{jj} \cdot C_{j,t}^2 - \\ & - B_{l,i}^2 F_{ii}^{-1} C_{i,j}^3 F_{jj} \cdot C_{j,t}^2) + \hat{S}_{l,t} - S_{l,t} + Y_{l,t}. \end{aligned} \quad (17)$$

Alakítsuk át az első összeget:

$$\begin{aligned} \sum_{i \in J} C_{l,i}^1 (\hat{F}_{ii} - F_{ii}) C_{it}^2 &= \sum_{i \in J^*} C_{l,i}^1 (\hat{F}_{ii} - F_{ii}) C_{i,t}^2 + \\ &+ \sum_{i \in J'} C_{l,i}^1 (F_{ii} - F_{ii}) C_{i,t}^2 = \sum_{i \in J^*} C_{l,i}^1 (\hat{F}_{ii} - F_{ii}) C_{i,t}^2. \end{aligned} \quad (18)$$

Most alakítsuk át a (17) második összegét:

$$\sum_{i \in J} \sum_{j \in J} = \sum_{ji \in J^*} \sum_{j \in J} + \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J} = \sum_{i \in J^*} \sum_{j \in J'} + \sum_{i \in J^*} \sum_{j \in J^*} + \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J'} + \sum_{i \in J'} \sum_{j \in J^*}.$$

A J' halmaz értelmezése szerint

$$\sum_{i \in J'} \sum_{j \in J'} = 0.$$

A (17) ezek után a következőképpen írható fel:

$$\begin{aligned}
\hat{Y}_{l,t} = & - \sum_{i \in J^*} \mathbf{C}_{l,i}^1 (\hat{\mathbf{F}}_{ii} - \mathbf{F}_{ii}) \mathbf{C}_{it}^2 + \sum_{i \in J^*} \sum_{j \in J^*} \mathbf{B}_{i,i}^2 (\hat{\mathbf{F}}_{ii}^{-1} - \mathbf{F}_{ii}) \mathbf{C}_{i,j}^3 \mathbf{F}_{jj} \mathbf{C}_{j,t}^2 + \\
& + \sum_{i \in J^*} \sum_{j \in J^*} \mathbf{B}_{i,i}^2 \mathbf{F}_{ii}^{-1} \mathbf{C}_{i,j}^3 (\hat{\mathbf{F}}_{jj} - \mathbf{F}_{jj}) \mathbf{C}_{j,t}^2 + \\
& + \sum_{i \in J^*} \sum_{j \in J^*} \mathbf{B}_{i,i}^2 (\hat{\mathbf{F}}_{ii}^{-1} \mathbf{C}_{i,j}^3 \hat{\mathbf{F}}_{j,j} - \mathbf{F}_{ii}^{-1} \mathbf{C}_{ij}^3 \mathbf{F}_{jj}) \mathbf{C}_{j,t}^2 + \hat{S}_{l,t} - S_{l,t} + Y_{l,t}.
\end{aligned} \quad (19)$$

Látható hogy \mathbf{Y} mátrix tetszőleges eleme számítható invertálás nélkül.

4.2 Nemlineáris feltételek esete

Most vizsgáljuk meg azt az esetet, amikor a korlátozó feltételek egy nemlineáris vektor-függvény és lineáris egyenlet rendszer alakjában adhatók meg:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{A}(\delta) \mathbf{X} + \mathbf{P} &= 0 \\ \mathbf{D}(\mathbf{X}) &< \mathbf{S}(\delta) \end{aligned} \right\}.$$

Ennek az algoritmusnak részletes kifejtéséről eltekintünk, helyette közöljük az eljárás lényeges pontjait.

A 2. tétel alapján és figyelembe véve, hogy $\mathbf{P}^2 = 0$, és \mathbf{A} mátrix nonszinguláris, felírhatjuk, hogy

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}^{-1}(\delta) \mathbf{P}; \quad \begin{bmatrix} \mathbf{X}^1 \\ \mathbf{X}^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\mathbf{G} + \mathbf{F}(\mathbf{G}^+)^T \mathbf{P}^1 \\ \mathbf{F}^{-1} \mathbf{G} \mathbf{G}^+ + \mathbf{F}(\mathbf{G}^+)^T \mathbf{P}^1 \end{bmatrix}.$$

Ha a \mathbf{G}^+ , $\mathbf{G} \mathbf{G}^+$ és $(\mathbf{G}^+)^T \mathbf{P}^1$ mátrixokat az \mathbf{F} mátrix blokkjainak megfelelően particionáljuk, akkor az \mathbf{X} mátrix blokkjai így írhatók:

$$\begin{aligned}
\mathbf{X}_{l,t}^1 &= \sum_{i \in J} \mathbf{G}_{l,i}^+ \mathbf{F}_{ii} \mathbf{C}_{it}^1 \quad (l = 1, 2, \dots, m; t = 1, 2, \dots, k), \\
\mathbf{X}_{s,t}^2 &= \sum_{l=1}^m \mathbf{F}_{ss}^{-1} \mathbf{G}_s \mathbf{X}_{l,t}^1 = - \sum_{i \in J} \mathbf{F}_{ss}^{-1} \mathbf{C}_{si}^2 \cdot \mathbf{F}_{ii} \cdot \mathbf{C}_{it}^1 \quad (s = 1, 2, \dots, n),
\end{aligned}$$

ahol $\mathbf{C}^1 = (\mathbf{G}^+)^T \mathbf{P}^1$, $\mathbf{C}^2 = \mathbf{G} \mathbf{G}^+$.

E formából kiindulva (19) általánosítása képpen az \mathbf{X} mátrix tetszőleges blokkjainak a báziscsere utáni formáját a következőképpen adhatjuk meg:

$$\begin{aligned}
\hat{\mathbf{X}}_{l,t}^1 &= \sum_{i \in J^*} \mathbf{G}_{l,i}^+ (\hat{\mathbf{F}}_{ii} - \mathbf{F}_{ii}) \mathbf{C}_{it}^1 + \mathbf{X}_{l,t}^1, \\
\hat{\mathbf{X}}_{s,t}^2 &= - \sum_{i \in J^*} \mathbf{F}_{ss}^{-1} \mathbf{C}_{si}^2 (\hat{\mathbf{F}}_{ii} - \mathbf{F}_{ii}) \mathbf{C}_{it}^1 + \mathbf{X}_{st}^2, \quad \text{ha } \mathbf{S} \notin J^*, \\
\hat{\mathbf{X}}_{s,t}^2 &= - \sum_{i \in J^*} (\hat{\mathbf{F}}_{ss}^{-1} \mathbf{C}_{si}^2 \hat{\mathbf{F}}_{ii} \mathbf{C}_{it}^1 - \mathbf{F}_{s,s}^{-1} \mathbf{C}_{si}^2 \mathbf{F}_{ii}) \mathbf{C}_{it}^1 + \mathbf{X}_{s,t}^2, \\
&\quad \text{ha } \mathbf{S} \in J^*.
\end{aligned}$$

Tehát nemlineáris esetben a feladat lineáris modelljében levő (10) feltétel helyett a következőt kell szerepeltetni:

$$\mathbf{S}(\delta) - \mathbf{D}(-[\mathbf{A}(\delta)]^{-1}\mathbf{P}) > 0. \quad (20)$$

IRODALOM

1. SZABÓ J.—ROLLER B.: Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1971
2. ALBERT A.: Regression and the Moore-Penrose Pseudoinverse, Academic Press, New York 1972
3. HOLNAPY D.: Adatbank alkalmazása a műszaki tervezés automatizálásához. SZÁMOLÓGÉP, NIM IGÜSZI. 1975/2
4. GARFINKEL R. S.—NEMHAUSER G. L.: Integer Programing, John Wiley, New York 1972
5. GALLAGHER R. H.—ZIENKIEWICZ O. C.: Optimum Structural Design, John Wiley, London 1973

Automated Designing with Integer Programming. In this paper the author presents a possible model for the general solution of automated designing. The design problem is defined as follows: a design of a structure with given geometry and composed from a given stock of elements is looked for, where for the elements the equilibrium, compatibility and limiting conditions are fulfilled and where the structure is optimum from some point of view (weight, cost, or their ratio). For the problem thus defined the mathematical model for linear limiting conditions is established and then it is extended to the case of non-linearity. In both cases the problems are reduced to that of a „0—1” integer programming task to which the enumeration method can be applied. For this method the inversion of a large matrix would be necessary. A solution method is shown for avoiding this.

Automatisiertes Projektieren mittels integer Programmierung. In der vorliegenden Arbeit wird ein mögliches Modell für die Automatisierung des statischen Projektierens in allgemeiner Form definiert. Die Projektierungsaufgabe wird so interpretiert, daß ein, aus dem gegebenen Vorrat an Elementen herstellbares Projekt mit gegebener Geometrie gesucht wird, bei welchem für die Elemente die Gleichgewichts-, Kompatibilitäts- und einschränkenden Bedingungen erfüllt sind und wo ferner unter irgendeinem Gesichtspunkt (Gewicht, Kosten oder deren Verhältnis) die Konstruktion optimal ist. Für das so definierte Problem wird das mathematische Modell für lineare einschränkende Bedingungen aufgeschrieben und dann auch auf nichtlineare Fälle ausgedehnt. In beiden Fällen werden die Probleme auf eine »0—1« ganzzahlige Programmierungsaufgabe zurückgeführt, für deren Lösung die Abzählmethode wirksam angewendet werden kann. Bei der Verwendung der Abzählmethode wäre bei jedem Schritt die Inversion einer großen Matrix notwendig. Es sind auch Lösungsverfahren vorggeführt, wo dies vermieden wird.

VÉKONYFALÚ, NYITOTT KERESZTMETSZETŰ RÚDSZERKEZETEK GÉPI SZÁMÍTÁSA

KURUTZNÉ KOVÁCS MÁRTA*

[Beérkezett: 1976. március 30-án]

A térbeli rúdszerkezet mátrix egyenletei formailag nem változnak, ha a vékonyfalú, nyitott szelvényű rudakat a Vlaszov-elmélet szerinti gátolt csavarással vesszük számításba. A számítási eljárást számpéldákkal is szemléltetjük.

Bevezetés

A könnyűszerkezetes építési mód és általában a rendszer-szerű (system building) építés térhódítása során előtérbe kerül a vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdszerkezetek elmélete. Célszerűnek látszott, a modern számítástechnika lehetőségeit kihasználva, VLASZOV elmélete [1] alapján egy olyan algoritmusrendszert kidolgozni, amellyel kiegészítve a rúdszerkezetek meglevő gépi számítási rendszerét, rúdszerkezetek komplex vizsgálatát végezhetjük el.

Rúdszerkezetek általános elemzésével foglalkozó művekben [2] általában tömör, szimmetrikus keresztmetszetű, szabad öblösödésű rudakból álló szerkezetek gépi számításra alkalmas algoritmusrendszerét találjuk. A [2]-ben leírt számítási módszereket használtuk fel, illetve terjesztettük ki vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelemekből álló szerkezetek esetére.

Jelen dolgozatban e munka eredményeiről számolunk be, számszerű összehasonlítást adva a gátolt, illetve gátolatlan csavarású rúdszerkezetek elmozdulásai, illetve igénybevételei között.

1. A rúdszerkezet alapegyenlete

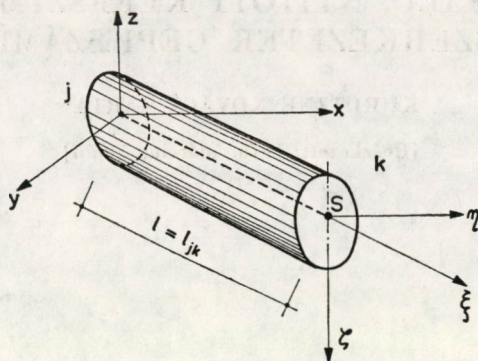
A rúdszerkezetet ([2] jelöléseit felhasználva) az elmozdulásmódszer szerint az

$$\mathbf{u} = \mathbf{K}^{-1}\mathbf{q}$$

egyenlet alapján számítjuk, amelyben

- \mathbf{u} a szerkezet csomópontjainak elmozduláskomponenseit tartalmazza;
- \mathbf{K} az egész szerkezet merevségi mátrixa,
- \mathbf{q} a szerkezet csomópontjain működő terhek vektora.

* Kurutzné Dr. Kovács Márta, 1118 Budapest, Serleg u. 8.



1. ábra

\underline{K}_{jk}

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	$\frac{EA}{l}$						$\frac{EA}{l}$					
2		$\frac{12EI_z}{l^3}$				$\frac{6EI_z}{l^2}$		$-\frac{12EI_z}{l^3}$				$\frac{6EI_z}{l^2}$
3			$\frac{12EI_y}{l^3}$			$\frac{6EI_y}{l^2}$			$\frac{12EI_y}{l^3}$			$-\frac{6EI_y}{l^2}$
4				$\frac{GI_x}{l}$							$-\frac{GI_x}{l}$	
5					$\frac{4EI_y}{l}$				$\frac{6EI_y}{l^2}$		$\frac{2EI_y}{l}$	
6						$\frac{4EI_z}{l}$		$-\frac{6EI_z}{l^2}$				$\frac{2EI_z}{l}$
7							$\frac{EA}{l}$					
8								$\frac{12EI_z}{l^3}$				$-\frac{6EI_z}{l^2}$
9									$\frac{12EI_y}{l^3}$		$\frac{6EI_y}{l^2}$	
10										$\frac{6I_x}{l}$		
11											$\frac{4EI_y}{l}$	
12												$\frac{4EI_z}{l}$

SZIMMETRIKUS

2. ábra

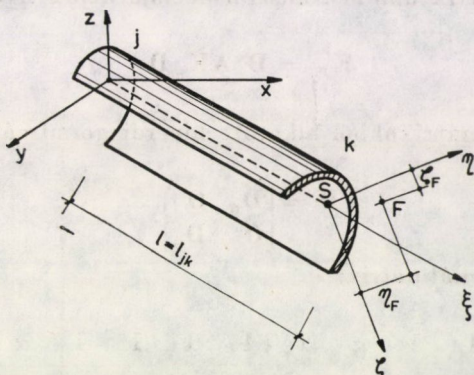
A csomópontok u elmozdulásainak ismeretében a rudakban ébredő igénybevételek meghatározhatók.

A szerkezet \underline{K} merevítési mátrixát az egyes rúdelemek \underline{K}_{jk} elemi merevítési mátrixaiból állítjuk össze. A tömör keresztmetszetű rúdelem elemi merevítési mátrixa a súlypontra vonatkozó keresztmetszeti jellemzőket tartalmazza. Így az 1. ábrán feltüntetett jk rúdelem elemi merevítési mátrixát a 2. ábra

mutatja. A vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelemek elemi merevségi mátrixának levezetése során figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a keresztmetszet más elmozdulásokat végez, ha a terhelés síkja a súlyponton, és mást, ha a nyírási középponton halad át. Az egységes kezelhetőség érdekében tehát célszerű, ha a vékonyfalú, nyitott szelvényű rúdelem merevségi mátrixát is a súlypontra redukált formában adjuk meg.

2. A vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelem elemi merevségi mátrixa

A 3. ábrán egy vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelemet láthatunk, ahol az S súlyponti ξ, η, ζ koordinátarendszerben az F nyírási középpont helyét az η_F és ζ_F koordináták rögzítik. A súlyponton átmenő síkban történő



3. ábra

terhelés esetén a rúd keresztmetszete a nyírási középpont körül elfordul, aminek következtében a súlypont az η_F és ζ_F koordinátákkal arányos eltolódásokat szenved a keresztmetszeti síkban. Ezenkívül a súlypont el is fordul a ξ tengely körül, de ez az elfordulás a nyírási középpont körüli elfordulással egyenlő nagyságú.

Az összefüggést tehát a súlypont és a nyírási középpont elmozdulásai között az

$$\mathbf{u}_S = \mathbf{D}\mathbf{u}_F$$

kifejezés adja meg, amelyben a transzformációt a

$$\mathbf{D}_0 = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 1 & & \xi_F & & \\ & & 1 & -\eta_F & & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix}$$

mátrix biztosítja és

$$\mathbf{u}_S = \begin{bmatrix} v_{\xi, S} \\ v_{\eta, S} \\ v_{\zeta, S} \\ \varphi_{\xi, S} \\ \varphi_{\eta, S} \\ \varphi_{\zeta, S} \end{bmatrix}, \text{ továbbá } \mathbf{u}_F = \begin{bmatrix} v_{\xi, F} \\ v_{\eta, F} \\ v_{\zeta, F} \\ \varphi_{\xi, F} \\ \varphi_{\eta, F} \\ \varphi_{\zeta, F} \end{bmatrix}$$

az S súlypont, illetve az F nyírási középpont elmozdulásait tartalmazó vektorok.

Ezek alapján tehát a vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelem \mathbf{K}_{jk}^v elemi merevségi mátrixát a tömör keresztmetszetű rúdelemnek megfelelő \mathbf{K}_{jk} elemi merevségi mátrix alábbi transzformációja útján nyerjük:

$$\mathbf{K}_{jk}^v = \mathbf{D}^* \mathbf{A} \mathbf{K}_{jk} \mathbf{D},$$

ahol \mathbf{D} a fenti \mathbf{D}_0 mátrixokból alkotott hiperdiagonálmátrix:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{D}_0 & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{D}_0 \end{bmatrix}$$

és \mathbf{A} az alábbi diagonálmátrix:

$$\mathbf{A} = \langle 1 \quad 1 \quad 1 \quad \alpha \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad \alpha \quad 1 \quad 1 \rangle.$$

(A \mathbf{K}_{jk}^v mátrixot a 4. ábra szemlélteti.) Az \mathbf{A} mátrixban szereplő α tényező a rúdelem megtámasztási viszonyaitól, tehát a csavarás gátoltságától függő állandó, amelynek meghatározásával a következő pontban foglalkozunk.

3. A rúdelem megtámasztási viszonyainak hatása a csavarásra

A rúdelem két végén levő megtámasztás határozza meg, hogy a rúdelem csavarása gátolt vagy szabadon létrejöhessen. Sőt, mivel az összetett és főleg térbeli szerkezeteknél az egyes csomópontokban a befogási viszonyok nem is jellemezhetők mindig egyértelműen, a gyakorlatban leggyakrabban az ún. részlegesen gátolt csavarás jelensége lép fel. Bonyolítja még a vizsgálatot az is, hogy több rúd csatlakozási pontja környezetében a geometriai viszonyok sem írhatók le egyértelműen. Ugyanis a súlypontokat tartalmazó szilárdsági tengelyek metszéspontját tekintve csomópontnak, a nyírási középpontokat felfűző tengelyek többnyire kitérő egyeneseket alkotnak. Mindezek alapján a valóságban csak ritka esetben lép fel tökéletesen gátolt vagy szabad csavarás, legtöbbször a kettő kombinációjáról van szó. Az erre vonatkozó vizsgálat

$\frac{EA}{l}$						$-\frac{EA}{l}$					
	$\frac{12EI\zeta}{l^3}$		$\frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F$		$\frac{6EI\zeta}{l^2}$		$-\frac{12EI\zeta}{l^3}$		$-\frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F$	$\frac{6EI\zeta}{l^2}$	
		$\frac{12EI\eta}{l^3}$	$-\frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F$	$-\frac{6EI\eta}{l^2}$			$-\frac{12EI\eta}{l^3}$	$\frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F$	$-\frac{6EI\eta}{l^2}$		
			$\frac{GI\xi}{l} \cdot \alpha + \frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F^2 + \frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F^2$	$\frac{6EI\eta}{l^2} \cdot \eta_F$	$\frac{6EI\zeta}{l^2} \cdot \zeta_F$		$-\frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F$	$\frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F$	$-\frac{GI\xi}{l} \cdot \alpha - \frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F^2 - \frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F^2$	$\frac{6EI\eta}{l^2} \cdot \eta_F$	$\frac{6EI\zeta}{l^2} \cdot \zeta_F$
				$\frac{4EI\eta}{l}$			$\frac{6EI\eta}{l^2}$	$-\frac{6EI\eta}{l^2} \cdot \eta_F$	$\frac{2EI\eta}{l}$		
					$\frac{4EI\zeta}{l}$		$-\frac{6EI\zeta}{l^2}$	$-\frac{6EI\zeta}{l^2} \cdot \zeta_F$		$\frac{2EI\zeta}{l}$	
						$\frac{EA}{l}$					
							$\frac{12EI\zeta}{l^3}$	$\frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F$		$-\frac{6EI\zeta}{l^2}$	
							$\frac{12EI\eta}{l^3}$	$-\frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F$	$\frac{6EI\eta}{l^2}$		
								$\frac{GI\xi}{l} \cdot \alpha + \frac{12EI\eta}{l^3} \cdot \eta_F^2 + \frac{12EI\zeta}{l^3} \cdot \zeta_F^2$	$\frac{6EI\eta}{l^2} \cdot \eta_F$	$\frac{6EI\zeta}{l^2} \cdot \zeta_F$	
									$\frac{4EI\eta}{l}$		
										$\frac{4EI\zeta}{l}$	

SZIMMETRIKUS

4. ábra

meglehetősen bonyolult, így egyelőre az alábbiakban a megtámasztási peremfeltételek legegyszerűbb eseteit fogjuk részletezni, de nem zárjuk ki az általánosítás lehetőségét.

A keresztmetszet saját síkjában történő elfordulásának $\vartheta = \vartheta(\xi)$ függvényét az öblösödés

$$EJ_{\omega} \vartheta^{IV} - GJ_{\xi} \vartheta'' - \frac{dM_{\xi}}{d\xi} = 0$$

differenciálegyenletének megoldásaként kapjuk. Mivel — feltételezésünk szerint — a rúdelem csak a határoló csomópontjain terhelt, így az M_{ξ} csavarónyomaték a rúd mentén konstans, a differenciálegyenlet homogénné válik:

$$EJ_{\omega} \vartheta^{IV} - GJ_{\xi} \vartheta'' = 0.$$

Itt J_ξ a súlypontra vonatkozó csavarási inercianyomaték, J_ω pedig a nyírási középpontra vonatkozó szektorális inercianyomaték. E és G a rugalmassági modulusok.

A differenciálegyenlet általános megoldása:

$$\vartheta = c_1 + c_2 \xi + c_3 \sinh \frac{k}{l} \xi + c_4 \cosh \frac{k}{l} \xi,$$

ahol

$$k = l \sqrt{\frac{GJ_\xi}{EJ_\omega}},$$

és $l = l_{jk}$ a rúdelem hossza. Az

$$M_\xi = -EJ_\omega \vartheta''' + GJ_\xi \vartheta' = \frac{GJ_\xi}{l} \left(l \vartheta' - \frac{k^3}{l^2} \vartheta''' \right) = \frac{GJ_\xi}{l} c_2 l = \text{konstans}$$

csavarónyomaték a rúdelem megtámasztási viszonyaitól függő c_2 állandó függvénye. Ha figyelembe vesszük, hogy a tömör keresztmetszetű rúdelem merevségi mátrixában a csavarásra jellemző tag GJ_ξ/l volt, látható, hogy a vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelem gátolt csavarását az

$$\alpha = c_2 l$$

tényező jellemzi. Most vizsgáljuk meg, milyen értéket vesz fel α a legegyszerűbb megtámasztási viszonyok esetén:

a) Mindkét végén a teljes keresztmetszet mentén mereven befogott rúdelem esetében a

$$\xi = 0 \quad \text{és} \quad \xi = l \quad \text{helyen}$$

$\vartheta = 0$, azaz a keresztmetszet saját síkjában nem fordulhat el, és $\vartheta' = 0$, azaz a teljes befogás miatt nem is öblösödhetik.

Ennek alapján az

$$\alpha = c_2 l = - \frac{k \sinh k}{2 - 2 \cosh k + k \sinh k}$$

érték a mindkét végén befogott rúdelem tökéletesen gátolt csavarásának felel meg.

b) Mindkét végén csupán a keresztmetszet kontúrja mentén mereven befogott rúdelem esetében a

$$\xi = 0 \quad \text{és} \quad \xi = l \quad \text{helyen} \quad \vartheta = 0 \quad \text{és} \quad EJ_\omega \vartheta'' = 0$$

azaz — mivel szabadon öblösödhetik a keresztmetszet — az öblösödési nyomaték zérus. Ebből $\vartheta'' = 0$.

Ennek alapján

$$c_2 = \frac{1}{l} \quad \text{és így} \quad \alpha = 1,$$

amely nyilvánvaló, hiszen a rúd szabad öblösödése biztosítva van.

c) Egyik végén teljesen, másik végén csupán a kontúrja mentén mereven befogott rúdelem esetében

$$\text{a } \xi = 0 \text{ helyen } \vartheta = 0 \text{ és } \vartheta' = 0,$$

$$\text{a } \xi = l \text{ helyen } \vartheta = 0 \text{ és } \vartheta'' = 0.$$

Ezek figyelembevételével:

$$\alpha = \frac{k \cosh k}{k \cosh k - \sinh k}.$$

A legegyszerűbb peremkényszerek esetén tehát α fenti értékeit vesszük figyelembe a vékonyfalú, nyitott keresztmetszetű rúdelem merevségi mátrixának felírásakor. A teljes szerkezet merevségi mátrixát pedig az ilymódon előállított elemi merevségi mátrixokból építjük össze.

4. Példák

A fenti módszer alapján program készült, amely tetszőleges geometriájú, tömör és vékonyfalú keresztmetszetű rudak kombinációjából álló, síkbeli vagy térbeli rúdszerkezet gépi számítására használható. E programmal futtattuk az alábbi számpéldákat is.

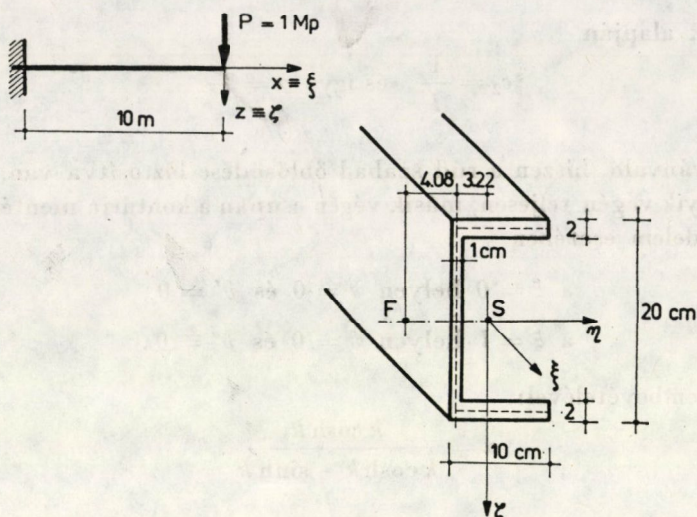
a) A levezetett eredmények ellenőrzéseképpen az 5. ábrán látható konzolt vizsgáltuk. A keresztmetszet adatai az alábbiak:

$$\begin{aligned} F &= 56 \text{ cm}^2 \\ J_{\xi} &= 61,6 \text{ cm}^4 \\ J_{\eta} &= 3592 \text{ cm}^4 \\ J_{\zeta} &= 563 \text{ cm}^4 \\ J_{\omega} &= 32\,650 \text{ cm}^6 \\ \eta_F &= -7,3 \text{ cm} \\ \zeta_F &= 0. \end{aligned}$$

A rugalmassági modulusok: $E = 2100 \text{ Mp/cm}^2$ és $G = 0,4 E$. Ha a konzol végén ható 1 Mp nagyságú ζ irányú teher a súlyponton átmenő függőleges síkban működik, akkor a konzolvégi keresztmetszet súlypontja az alábbi elmozdulásokat végzi:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = -0,131, \\ v_y &= 0, & \varphi_y &= -0,666, \\ v_z &= 0,451 \text{ m}, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Ebből látható, hogy a súlypontján átmenő síkban, de nem szimmetriasíkjában terhelt rúd el is csavarodik. A súlypont (x, z) síkra merőleges eltolódása csak azért nem következik be, mert a keresztmetszet a terhelés síkjára merőlegesen szimmetrikus. Most tegyük át a terhelést a nyírási középponton átmenő síkba. Ezt úgy vesszük figyelembe, hogy egy W erőpár segítségével



5. ábra

a nyírási középponton ható terhet a súlypontra redukáljuk. Ennek az erőpárnak a nagysága az 5. ábra szerint:

$$W = P(0,0408 + 0,0322) = 0,073 \text{ mMp.}$$

A nyírási középponton átmenő síkban történő terhelés hatására a végkeresztmetszet súlypontjának elmozdulásai:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = 0, \\ v_y &= 0, & \varphi_y &= -0,666, \\ v_z &= 0,442 \text{ m}, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Ebből látható, hogy a nyírási középponton terhelt rúd elcsavarodást nem szenved, és ezért a súlypont z irányú (függőleges) eltolódása is csökkent. A csökkenés mértéke az elcsavarodás megszűnéséből adódott:

$$0,451 - 0,442 = 0,131 \cdot 0,073.$$

b) Tekintsük a 6. ábrán látható tartót, amelynek keresztmetszeti jellemzői az alábbiak:

$$\begin{aligned} F &= 30,72 \text{ cm}^2 \\ J_\xi &= 6,17 \text{ cm}^4 \\ J_\eta &= 976,8 \text{ cm}^4 \\ J_\zeta &= 383,8 \text{ cm}^4 \\ J_\omega &= 4829,0 \text{ cm}^6 \\ \eta_F &= 4,25 \text{ cm} \\ \xi_F &= 2,48 \text{ cm}. \end{aligned}$$

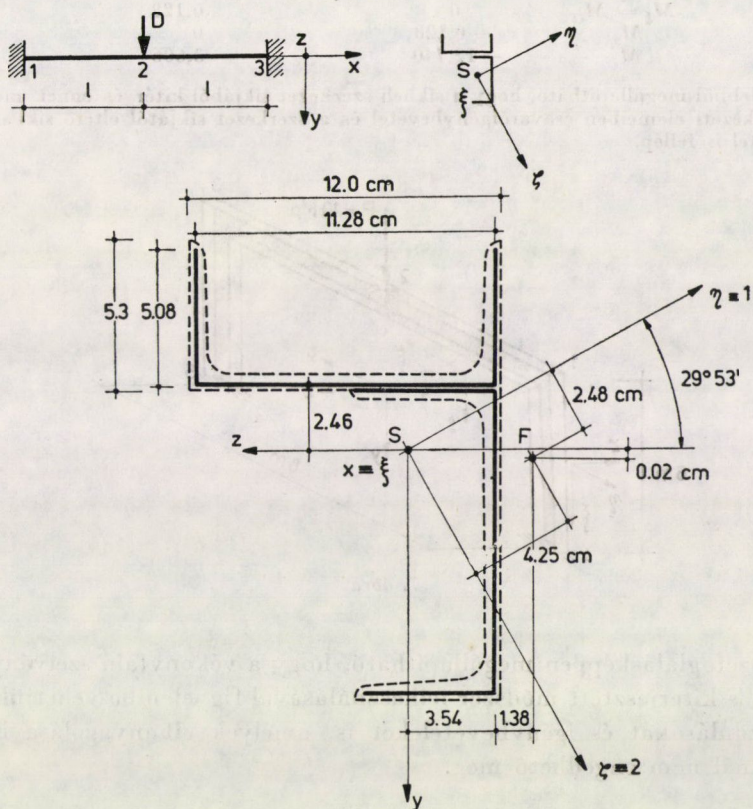
A rugalmassági modulusok: $E = 2100 \text{ Mp/cm}^2$; és $G = 0,4 E$. A tartó közepén 10 Mp nagyságú függőleges terhelés működik a súlypontra átmenő függőleges síkban. Az erő alatti keresztmetszet súlypontjának elmozdulásai:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = 1,005, \\ v_y &= 0,125 \text{ m}, & \varphi_y &= 0, \\ v_z &= -0,037 \text{ m}, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Látható, hogy a keresztmetszet nemcsak elcsavarodik, hanem súlypontja még ki is tér az (x, y) síkból. Most működtessük a terhet a nyírási középponton átmenő függőleges síkban, ekkor a súlypont elmozdulásai:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = 0, \\ v_y &= 0,076, & \varphi_y &= 0, \\ v_z &= -0,0372, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Tehát a nyírási középponton terhelt tartó keresztmetszetei nem csavarodnak el, de súlypontjuk (x, y) síkból való kitérése megmarad, mivel a keresztmetszetnek nincs szimmetriatengelye és a terhelés síkja egyik főiránnyal sem esett egybe. Az eltolódáskülönbségek pedig az elcsavarodás megszűnéséből adódnak.



ó. ábr.

Most a tartó jobb végi befogása helyett villás megtámasztást alkalmazunk, azaz a keresztmetszetnek csak a kontúráját fogjuk be mereven. Ekkor a súlyponton átmenő függőleges teher hatására a rúd szabadon öblösödhetik és ekkor a középső keresztmetszet súlyponti elmozdulásai:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = 1,214, \\ v_y &= 0,136, & \varphi_y &= 0, \\ v_z &= -0,037, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Ha a terhelés a nyírási középponton átmenő függőleges síkban működik, akkor az elmozdulások a két végén mereven befogott tartóéval azonosnak adódnak.

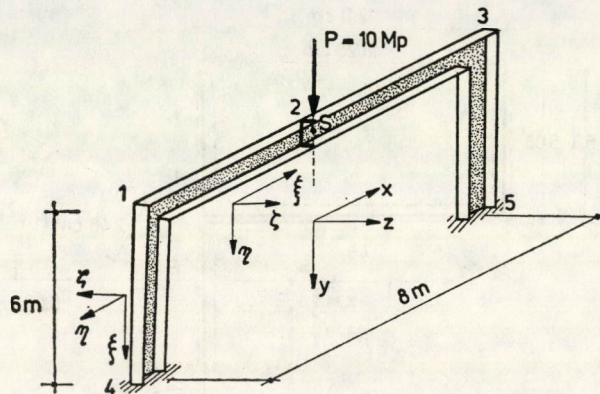
c) Utolsó példaként tekintsük a 7. ábrán levő két végén befogott keretet, amelynek keresztmetszete megegyezik az 5. ábrán szereplő keresztmetszettel. A tartó terhelése a vízszintes rúd közepén, a keresztmetszet súlypontján átmenő függőleges síkban ható 10 Mp nagyságú erő. A vízszintes rúd középső csomópontjának súlyponti elmozdulásai az alábbiak:

$$\begin{aligned} v_x &= 0, & \varphi_x &= \vartheta = 0,231, \\ v_y &= 0,082, & \varphi_y &= 0, \\ v_z &= -0,09, & \varphi_z &= 0. \end{aligned}$$

Miután a szerkezet kitér a síkjából, az egyes rúdvégi igénybevételek is eszerint alakulnak:

	1—2 gerenda	1—4 oszlop
N_{ξ}	-1,811	-5,000
T_{η}	5,000	-1,811
T_{ζ}	0	0
$M_{\xi} = M_{cs}$	0	0,128
M_{η}	-0,128	0
M_{ζ}	-12,740	3,606

Mindebből megállapítható, hogy a síkbeli szerkezet síkjából kitér és ennek megfelelően egyes szerkezeti elemeiben csavaróigénybevétel és a szerkezet síkjától eltérő síkban hajlítóigénybevétel is fellép.



7. ábra

Összefoglalásképpen megállapítható, hogy a vékonyfalú szelvények számítására is kiterjesztett módszer felhasználásával figyelembe vehetjük azokat az elmozdulásokat és igénybevételeket is, amelyek elhanyagolása bizonyos feladatoknál nem engedhető meg.

IRODALOM

1. WLASSOW, W. S.: Dünnwandige elastische Stäbe I—II. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1964
2. SZABÓ J.—ROLLER B.: Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1971
3. OVERRATH, J.: Grosse Stabverformungen und kinetische Stabilität nach der Elementmethode von Szabó. Dissertation. Braunschweig 1975

Computer Calculation of Structures Consisting of Thin-walled Open-section Bars. The matrix equations of space structures do not change in their forms if the thin-walled open-section beams will be taken into account according to Vlassov's theory with a restrained torsion. The computation method is also demonstrated by numerical examples.

Berechnung von dünnwandigen Stabkonstruktionen mit offenen Querschnitten mit Hilfe von Rechenanlagen. Die Matrixgleichungen der räumlichen Fachwerke ändern sich nicht in der Form, wenn man die dünnwandigen Stäbe mit offenem Querschnitt gemäss der Vlassowschen Theorie mit behinderter Drillung in Betracht nimmt. Das Rechenverfahren wird durch numerische Beispiele demonstriert.

IDEÁLISAN RUGALMAS TÉRGÖRBE TENGYELŰ RÚD ALAKJÁNAK MEGHATÁROZÁSA

GÁSPÁR ZSOLT*

(Beérkezett: 1976. július 8-án)

A dolgozatban bemutatjuk az olyan csak végein terhelt térgörbe tengelyű rúd deformálódott alakjának kezdetiérték-feladatát, melynek kezdőpontjában ható erők értéke előírt. A rúd deformációi tetszőlegesen nagyok lehetnek. A közölt eljárás alkalmazását numerikus példákon is bemutatjuk.

1. Bevezetés

Ha a csak csomópontjain terhelt rúdszerkezet elmozdulásait és igénybevételeit a geometriai nemlinearitás miatt prediktor-korrektor módszerrel határozzuk meg [1], akkor az egyes közelítéseknél ellenőrizni kell a csomópontok egyensúlyát és a szerkezet kompatibilitását. A kompatibilitás ellenőrzése úgy történhet, hogy a rúd egy keresztmetszetének igénybevétele alapján meghatározzuk a rúd alakját, és ellenőrizzük, hogy miként illeszkedik a megfelelő csomópontok közé. [1] a rúd alakját elsődrendű elmélettel határozza meg, a pontosságot az elemszám növelésével lehet növelni. Ebben a dolgozatban a terhelt rúd alakjának meghatározására a [2] 151–156. oldalain levezetett differenciálegyenlethez hasonló differenciálegyenletet használunk, a következő módosításokkal:

a) A terheletlen rúd keresztmetszeteinek tehetetlenségi főirányait nem kísérő triéderben — mely egyenes szakasz esetén nem egyértelmű — adjuk meg, hanem a rúdtengely alakjával együtt az (1)-ben definiált két függvényvektorral jellemezzük.

b) A terheletlen állapotban is görbült rudaknál [3] alapján lehetőséget adunk a keresztmetszet igénybevételei által okozott deformáció pontosabb figyelembevételére.

c) A peremfeltételekkel is foglalkozunk.

d) A szereplő kezdetiérték-feladat numerikusan jól kezelhető.

A vizsgált rúd általános esetben már a terheletlen állapotban is térgörbe tengelyű, változó keresztmetszetű, a csomópontokhoz excentrikusan kapcsolódó, de feltételezzük, hogy a rúd

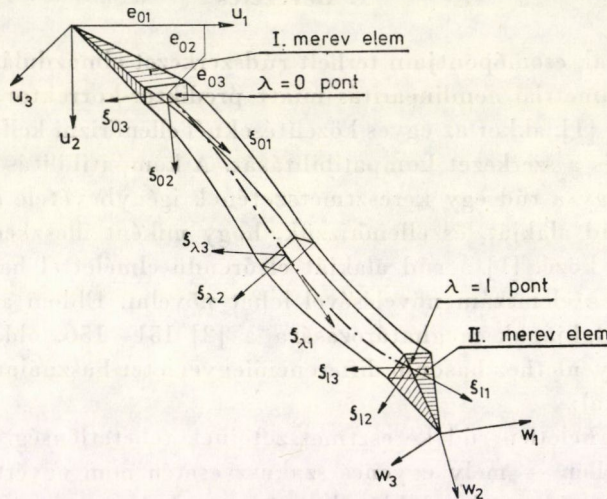
* Dr. Gáspár Zsolt, 1025 Budapest, Kapy u. 40/b.

- anyaga ideálisan lineárisan rugalmas,
- tengelyére merőleges keresztmetszetek nyírási középpontja a súlyponttal megegyezik,
- keresztmetszetek változása folytonos,
- tengelyére merőleges keresztmetszetek a deformáció után is síkok, alaktartóak, és a tengelyre merőlegesek maradnak,
- csak végpontjain terhelhető.

2. A terheletlen rúd alakjának megadása

A rúd három részből áll (1. ábra): két merev rész között helyezkedik el az általánosan térgörbetengelyű változó keresztmetszetű valódi rugalmas rúd. A merev elemekkel vesszük figyelembe.

a) azt, hogy a rugalmas rúd tengelye milyen irányban kapcsolódik a csomópontához,



1. ábra

b) a csomópont és a rugalmas rúdvégék excentrikus kapcsolatát.

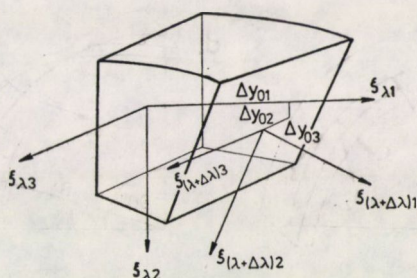
A rugalmas elem tengelyének pontjait a $\lambda \in [0, l]$ paraméterrel jelöljük. A $\lambda = 0$ paraméterű pont a rúd elején levő merev testhez csatlakozik. A rugalmas elem tengelyének minden pontjához rendelünk egy balkezes derékszögű koordinátarendszert. A λ paraméterű ponthoz rendelt Ξ_λ ($\xi_{\lambda 1}$, $\xi_{\lambda 2}$, $\xi_{\lambda 3}$) tengelyei a következők:

- a $\xi_{\lambda 1}$ a λ pontban érinti a tengelyt, és a nagyobb λ felé pozitív értelmű
- a $\xi_{\lambda 2}$ a λ ponthoz tartozó keresztmetszet egyik főtehetetlenségi tengelye
- a $\xi_{\lambda 3}$ az előbbiekkal balsodrású derékszögű koordinátarendszert alkot.

Feltételeztük, hogy a keresztmetszetek legfeljebb folytonosan változnak, így a \mathcal{E}_λ rendszerek is választhatók úgy, hogy a λ függvényében folytonosan változzanak. A rúd alakját a kezdőponthoz rendelt $U(u_1, u_2, u_3)$ balsodrású derékszögű koordinátarendszerben adjuk meg. Az első merev test geometriája határozza meg a $\lambda = 0$ paraméterű pont \mathbf{e}_0 helyvektorát és a \mathcal{E}_0 koordinátarendszerhez tartozó \mathbf{T}_0 forgatómátrixot.

Ha a \mathcal{E}_λ koordinátarendszert a benne megadott

$$\Delta \mathbf{y}_0 = \begin{bmatrix} \Delta y_{01} \\ \Delta y_{02} \\ \Delta y_{03} \end{bmatrix}, \text{ illetve } \Delta \boldsymbol{\varphi}_0 = \begin{bmatrix} \Delta \varphi_{01} \\ \Delta \varphi_{02} \\ \Delta \varphi_{03} \end{bmatrix}$$



2. ábra

eltolással, illetve elforgatással vihetjük át a $\mathcal{E}_{\lambda+\Delta\lambda}$ koordinátarendszerbe (2. ábra), akkor a rúdtengely alakját és a \mathcal{E}_λ koordinátarendszerek állását az

$$\begin{aligned} \mathbf{e}_0(\lambda) &= \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta \mathbf{y}_0}{\Delta\lambda} \\ \mathbf{g}_0(\lambda) &= \lim_{\Delta\lambda \rightarrow 0} \frac{\Delta \boldsymbol{\varphi}_0}{\Delta\lambda} \end{aligned} \quad (1)$$

függvényvektorokkal jellemezhetjük. Megjegyezzük, hogy ha a $\xi_{\lambda 1}$ tengely valóban a tengely érintője, akkor $\varepsilon_{02}(\lambda) = \varepsilon_{03}(\lambda) = 0$. A fajlagos ívhosszváltozást az

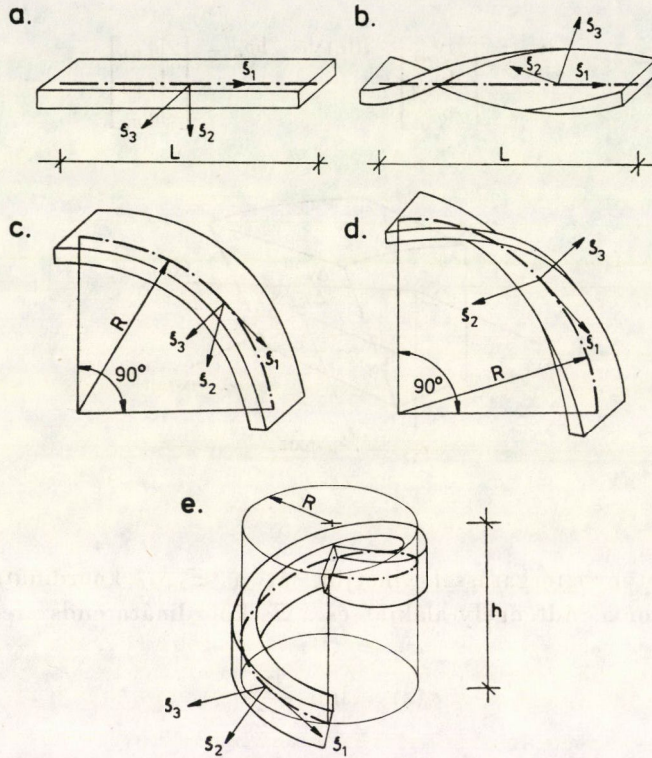
$$s_0(\lambda) = \|\mathbf{e}_0(\lambda)\|$$

függvény adja meg.

A második merev testet a \mathcal{E}_l koordinátarendszerben megadott \mathbf{e}_1 vektorral és \mathbf{T}_1 forgatómátrixszal jellemezzük. Azt a koordinátarendszert, amelyet a \mathcal{E}_l \mathbf{e}_1 nagyságú eltolásával és a \mathbf{T}_1 -nek megfelelő forgatással kapunk, $W(w_1, w_2, w_3)$ koordinátarendszernek nevezzük (1. ábra). A kezdeti alak megadására bemutatjuk a 3. ábrán vázolt rudak \mathbf{e}_0 és \mathbf{g}_0 vektorait.

A 3/a. ábrán látható L hosszúságú egyenes rúdnál válasszuk az ívhosszat paraméternek: $\lambda \in [0, L]$, ekkor

$$\varepsilon_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}_0 = \mathbf{0}.$$



3. ábra

Ha a rúd tengelye egyenes, de a tengely körül egyenletesen csavarodott, mégpedig úgy, hogy a kezdő- és végkeresztmetszet egymáshoz képest 180° -kal fordult el (3/b. ábra), akkor $\lambda \in [0, L]$ paraméter esetén

$$\varepsilon_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}_0 = \begin{bmatrix} \pi/l \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

A 3/c. ábrán vázolt rúd tengelye negyedkör és a ξ_3 tengely mindig merőleges a kör síkjára. Legyen $\lambda \in [0, \pi/2]$, így

$$\mathbf{s}_0 = \begin{bmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Ha a tengely negyedkör alakú, és a rúd még csavarodott is (3/d. ábra), akkor $\lambda \in [0, \pi]$ esetében

$$\mathbf{s}_0 = \begin{bmatrix} R/2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}_0 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,5 \sin \lambda \\ 0,5 \cos \lambda \end{bmatrix}.$$

A 3/e. ábrán bemutatott rúd tengelye csavarvonal és a ξ_3 tengely mindig merőleges a henger tengelyére. Legyen $\lambda \in [0, 1]$, ekkor

$$\mathbf{s}_0 = \begin{bmatrix} \sqrt{h^2 + (2R\pi)^2} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}_0 = \begin{bmatrix} 2h\pi \\ \sqrt{h^2 + (2R\pi)^2} \\ 4R\pi^2 \\ \sqrt{h^2 + (2R\pi)^2} \\ 0 \end{bmatrix}$$

3. A rúd merevségi jellemzői

A rúd merevségi jellemzőit is λ függvényében adjuk meg. Terheletlen állapotban egyenes rúd esetén, vagy ha kicsiny a kezdeti görbeség, és így eltekinthetünk attól, hogy a rúd elemi szálai nem egyforma hosszúak, az $F_0(\lambda)$ fajlagos rugalmassági mátrix diagonálmátrix ([4] 181. old.):

$$F_0(\lambda) = s_0(\lambda) \left\langle \frac{1}{EA_\lambda} \quad \frac{\varrho_{\lambda 2}}{GA_\lambda} \quad \frac{\varrho_{\lambda 3}}{GA_\lambda} \quad \frac{1}{GJ_{\lambda 1}} \quad \frac{1}{EJ_{\lambda 2}} \quad \frac{1}{EJ_{\lambda 3}} \right\rangle, \quad (2)$$

amelyben E , illetve G a rugalmassági, illetve a nyírási modulus és a rúd λ paraméterű keresztmetszeténél

A_λ a terület
 $J_{\lambda 2}, J_{\lambda 3}$ a $\xi_{\lambda 2}, \xi_{\lambda 3}$ tengelyekre vonatkozó tehetetlenségi nyomaték
 $\varrho_{\lambda 2}, \varrho_{\lambda 3}$ a $\xi_{\lambda 2}, \xi_{\lambda 3}$ irányú nyíróerőkhöz tartozó alak tényező
 $GJ_{\lambda 1}$ a csavarási merevség.

Térbeli, erősen görbült rúd deformációja és igénybevételei között fennálló kapcsolatot vizsgálja [3]. Kihaszználva azt az egyszerűsítést, hogy a keresztmetszetek súlypontja és nyírási középpontja egybeesik, valamint csak az (1) vektorok változását kívánjuk meghatározni, a [3] (7.4) egyenletét

$$\mathbf{s}(\lambda) = \mathbf{F}_0^{-1}(\lambda) \begin{bmatrix} \mathbf{s}(\lambda) \\ \mathbf{g}(\lambda) \end{bmatrix} \quad (3)$$

alakba írjuk, ahol

$$s^*(\lambda) = [N \quad T_{\xi\lambda 2} \quad T_{\xi\lambda 3} \quad M_{\xi\lambda 1} \quad M_{\xi\lambda 2} \quad M_{\xi\lambda 3}]$$

a λ paraméterű pont igénybevételei, $s(\lambda)$, illetve $g(\lambda)$ az $s_0(\lambda)$, illetve $g_0(\lambda)$ vektoroknak az $s(\lambda)$ igénybevételek miatt bekövetkező változása. $F^{-1}(\lambda)$ két mátrix összegeként állítható elő:

$$F_0^{-1}(\lambda) = A + B. \quad (4)$$

Az A diagonálmátrix:

$$A = \frac{1}{s_0(\lambda)} \left\langle 0 \quad \frac{GA_\lambda}{\varrho_{\lambda 2}} \quad \frac{GA_\lambda}{\varrho_{\lambda 3}} \quad GJ_{\lambda 1} \quad 0 \quad 0 \right\rangle,$$

ahol (2) jelöléseit használtuk. A B mátrix elemeit integrálással számíthatjuk:

$$B = E \int_{A_\lambda} \frac{dA}{\beta^3} \begin{bmatrix} \alpha^2 & -\alpha hy & \alpha hx & \alpha hr^2 & \alpha^2 y & -\alpha^2 x \\ & h^2 y^2 & -h^2 xy & -h^2 yr^2 & -\alpha hy^2 & \alpha hxy \\ & & h^2 x^2 & h^2 xr^2 & \alpha hxy & -\alpha hx^2 \\ & & & h^2 r^2 & \alpha hyr^2 & -\alpha hxr^2 \\ \text{Szimmetrikus} & & & & \alpha^2 y^2 & -\alpha xy \\ & & & & & \alpha^2 x^2 \end{bmatrix},$$

ahol a λ paraméterű keresztmetszet egy pontjának koordinátáit a $\xi_{\lambda 2}$, $\xi_{\lambda 3}$ koordinátarendszerben x , illetve y jelöli, továbbá:

$$r^2 = x^2 + y^2,$$

$$h = \frac{g_{01}(\lambda)}{s_0(\lambda)},$$

$$\alpha = 1 - \frac{g_{03}(\lambda)}{s_0(\lambda)} x + \frac{g_{02}(\lambda)}{s_0(\lambda)} y,$$

$$\beta = \sqrt{h^2 r^2 + \alpha^2}.$$

Mivel a keresztmetszetek legfeljebb folytonosan változnak, az $F_0(\lambda)$ elemei is folytonos függvények.

4. A terhelt rúd alakjának meghatározása

Feladatunk, hogy meghatározzuk a rúd alakját, ha a kezdőpontjára az U koordinátarendszerben megadott p erő és m erőpárvektor hat. E két vektort az

$$s^* = [p^* \quad m^*] \quad (5)$$

hipervektorba foglaljuk.

Jelöljük a terhelt rúd λ paramétereű tengelypontjának az U koordináta-rendszerben levő koordinátáit $u_1(\lambda)$, $u_2(\lambda)$, $u_3(\lambda)$ -mal, és $\mathbf{T}(\lambda)$ -val annak a koordinátatranszformációnak a mátrixát, mellyel egy U koordináta-rendszerben megadott vektornak a \mathcal{E}_λ koordináta-rendszerben érvényes koordinátáit számíthatjuk.

A λ jelű pont igénybevételei a saját koordináta-rendszerében

$$\mathbf{s}(\lambda) = \tilde{\mathbf{T}}(\lambda)\mathbf{B}(\lambda)\mathbf{s}, \quad (6)$$

ahol

$$\tilde{\mathbf{T}}(\lambda) = \begin{bmatrix} \mathbf{T}(\lambda) & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{T}(\lambda) \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B}(\lambda) = \begin{bmatrix} \mathbf{E} & \mathbf{0} \\ \mathbf{B}_0(\lambda) & \mathbf{E} \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{B}_0(\lambda) = \begin{bmatrix} 0 & u_3(\lambda) & -u_2(\lambda) \\ -u_3(\lambda) & 0 & u_1(\lambda) \\ u_2(\lambda) & -u_1(\lambda) & 0 \end{bmatrix},$$

és \mathbf{E} a harmadrendű egységmátrix.

A (6) igénybevételek okozta fajlagos alakváltozásokat az $\mathbf{e}_0(\lambda)$ és $\mathbf{g}_0(\lambda)$ vektorokhoz adjuk:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{e}_T(\lambda) \\ \mathbf{g}_T(\lambda) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{e}_0(\lambda) \\ \mathbf{g}_0(\lambda) \end{bmatrix} + \mathbf{F}_0(\lambda)\mathbf{s}(\lambda). \quad (7)$$

A kapott vektor alapján felírható a koordináták megváltozását leíró

$$\dot{\mathbf{u}}(\lambda) = \mathbf{T}^*(\lambda)\mathbf{e}_T(\lambda) \quad (8)$$

és a forgatómátrix megváltozását leíró

$$\dot{\mathbf{T}}(\lambda) = \mathbf{G}_T(\lambda)\mathbf{T}(\lambda) \quad (9)$$

differenciálegyenletrendszer, ahol ponttal a λ szerinti deriválást jelöltük, és [2] (152. old. (318) egyenlet) alapján:

$$\mathbf{G}_T(\lambda) = \begin{bmatrix} 0 & g_{T3}(\lambda) & -g_{T2}(\lambda) \\ -g_{T3}(\lambda) & 0 & g_{T1}(\lambda) \\ g_{T2}(\lambda) & -g_{T1}(\lambda) & 0 \end{bmatrix}.$$

A (8) és (9) egyenleteket röviden

$$\dot{\mathbf{y}} = \mathbf{f}(\mathbf{y}, \lambda) \quad (10)$$

alakban írhatjuk, ahol

$$\mathbf{y}^* = [u_1 \ u_2 \ u_3 \ t_{11} \ t_{12} \ t_{13} \ t_{21} \ t_{22} \ t_{23} \ t_{31} \ t_{32} \ t_{33}] .$$

Az \mathbf{y} elemeit a $\lambda = 0$ pontban \mathbf{e}_0 és \mathbf{T}_0 elemei adják. Ez a feltétel a (10) differenciálegyenlet-rendszerrel együtt egy kezdetiérték-feladatot alkot, mely előírt pontossággal megoldható Runge–Kutta-módszerrel (lásd pl. [5] 180 old.).

Ezek alapján meghatározhatók a $\lambda = l$ pont \mathbf{u}_l koordinátái és a \mathcal{E}_l koordinátarendszerhez tartozó $\mathbf{T}(l)$ forgatómátrix.

A rúd végének koordinátáit az

$$\mathbf{u}_w = \begin{bmatrix} u_{w1} \\ u_{w2} \\ u_{w3} \end{bmatrix} = \mathbf{u}_l + \mathbf{T}^*(l)\mathbf{e}_1$$

képlettel, a \mathcal{W} koordinátarendszerhez tartozó forgatómátrixot a

$$\mathbf{T}_w = \mathbf{T}_1\mathbf{T}(l)$$

szorzással kapjuk.

A terhelt rúd alakjának meghatározásánál a deformáció nagyságára nem tettünk korlátozásokat.

5. Síkbeli rúd esete

Ha az egész szerkezet a terhekkel együtt egy síkban fekszik, és e síkból az állapotváltozás során nem léphet ki, akkor a feladat nagymértékben leegyszerűsödik. Egyrészt az elmozdulás komponensek száma felére csökken, másrészt a tengelykereszt-elfordulások algebrailag összegeezhetők, mert csak a síkra merőleges tengely körül történhet az elfordulás. A rúd elején és végén levő merev testeket az

$$\mathbf{e}_0 = \begin{bmatrix} e_{01} \\ e_{02} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{e}_1 = \begin{bmatrix} e_{11} \\ e_{12} \end{bmatrix}$$

vektorok és a

$$\mathbf{T}_0 = \begin{bmatrix} \cos \alpha_0 & \sin \alpha_0 \\ -\sin \alpha_0 & \cos \alpha_0 \end{bmatrix}; \quad \mathbf{T}_1 = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \sin \alpha_1 \\ -\sin \alpha_1 & \cos \alpha_1 \end{bmatrix}$$

forgatómátrixok jellemzik. A forgatómátrixok egy-egy skalár adattal (α_0, α_1) adhatók meg.

A rugalmas rúd terheletlen alakját meghatározó (1) vektorok közül $\mathbf{e}_0(\lambda)$ két elemből áll, míg $\mathbf{g}_0(\lambda)$ skalár függvénné egyszerűsödik. $\mathbf{g}_0(\lambda)$ az u_1 tengely és a $\xi_{\lambda 1}$ tengely által bezárt szög fajlagos változását jelöli.

A λ jelű ponthoz rendelt igénybevételeket meghatározó (6) egyenlet

$$s(\lambda) = \begin{bmatrix} c & s & 0 \\ -s & c & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ u_2(\lambda) & -u_1(\lambda) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ M \end{bmatrix}$$

alakra módosul, ahol

$$c = \cos(\alpha(\lambda)), \\ s = \sin(\alpha(\lambda)).$$

A (10) vektor differenciálegyenlet 12 skalár differenciálegyenletből áll, míg síkbeli esetben az

$$\dot{y} = \begin{bmatrix} \dot{u}(\lambda) \\ \dot{\alpha}(\lambda) \end{bmatrix} = \tilde{T}^*(\lambda) \left(\begin{bmatrix} e_0(\lambda) \\ g_0(\lambda) \end{bmatrix} + F_0(\lambda) \tilde{T}(\lambda) B(\lambda) s \right)$$

vektor differenciálegyenlet csak hátróbból. A W koordinátarendszert jellemző szög

$$\alpha_w = \alpha_l + \alpha_1$$

alapján számítható.

6. Numerikus eredmények

1. Példa

A rúd alakjának meghatározására szolgáló eljárások ellenőrzésére gyakran használják a nyomatékmal terhelt konzoltartót, melynek pontos megoldása is ismeretes ([6] 69. old. [7] [8]).*

Mivel a vizsgált esetben a befogási igénybevételek függetlenek az alakváltozástól, a (10) differenciálegyenlettel egy lépéssel megkapjuk a kívánt alakot.

Ha a konzol hosszát π méternek, az EJ és a nyomaték mérőszámát egyenlőnek választjuk, akkor az egzakt eredmény a 2 m sugarú negyedkör.

Bár a szerkezet deformációja egy síkban következik be, a feladatot a (10) differenciálegyenlet ellenőrzésére térbeli rúdként oldottuk meg, így nemcsak a végpont eltolódásának két koordinátáját, hanem a végponthoz tartozó forgatómátrix pontosságát is ellenőrizhettük. A forgatómátrix hibájának a

$$T^*(l)T(l) = E$$

mátrix legnagyobb abszolútértékű elemét tekintettük.

A végpont két koordinátájának és a $T(l)$ mátrix hibájának változását a Runge—Kutta-eljárásnál használt lépések számának függvényében az 1. táblázat tartalmazza.

* [6] nem közli a numerikus eredményeket, csak azt írja, hogy a teljes körré való hajlítást 5 elemmel 20 teherlépcsőben 40 iterációs lépéssel végezte.

1. táblázat

n	$u_1(l)$	$u_2(l)$	T(l)
	hibája		
2	0,036936	0,145084	0,267755
4	7818	6039	11980
6	1777	831	1657
8	589	200	400
10	246	66	132
12	120	27	53
14	65	12	25
16	38	6	13
18	24	4	7
20	16	2	4
32	2	0	0

Megállapítható, hogy még ilyen naga deformáció esetében is gyors a konvergencia, így kisebb görbeségek esetében csak néhány Runge—Kutta-lépésre van szükség a görbült rúd alakjának meghatározására.

2. Példa

Az eljárás ellenőrzésének másik lehetősége a terheletlen állapotban görbe rudak alakjának számítása.

A 3/b. ábrán vázolt rúd esetében természetesen nincs koordinátaeltérés, és 16 lépést alkalmazva a T(l) mátrix hibája 0,000013. A 3/c. ábrán megadott konzolnál a hibák megegyeznek az 1. táblázatban a görbített konzolnál kapott értékekkel. Ha $l = 2z$ méter hosszú rúdból egy teljes kört állítunk elő, akkor $n = 16$ esetében

$$u_1(l) = -0,001177 \text{ m,}$$

$$u_2(l) = 0,000400 \text{ m}$$

és a T(l) hibája 0,000799.

A 3/d. ábrához tartozó ϵ_0 és $g_0(\lambda)$ vektorokat $R = 2$ m esetén behelyettesítettük a (10) differenciálegyenletrendszerbe, és $e_0 = 0$, $T_0 = E$ kezdeti feltétel mellett több lépésszám esetén is megoldottuk. A végponti koordinátákat a 2. táblázatban, a forgatómátrixot a 3. táblázatban adtuk meg.

2. táblázat

n	$u_1(l)$	$u_2(l)$	$u_3(l)$
5	2,001087	1,996945	0,000388
8	2,000483	1,999055	0,000027
10	2,000232	1,999623	-0,000014
12	2,000122	1,999823	-0,000015
14	2,000070	1,999906	-0,000011
16	2,000043	1,999946	-0,000008
∞	2	2	0

[7] a negyedkörre hajlításhoz szükséges terhet egy lépcsőben teszi a szerkezetre és a kompatibilitási hiba csökkentésére végez iterációt;

[8] a konzol negyedkörre való hajlítását 8 teherlépcsővel éri el, átlagosan öt iterációs lépést alkalmazva. Ha a konzolt négy szakaszra bontja és az eltolódásfüggvényeket szakaszonként harmadfokú polinommal közelíti, akkor a végpont koordinátahibája a konzolhossz 0,027%-a.

3. táblázat

n	t_{11}	$t_{12} = t_{21}$	$t_{31} = -t_{13}$	$-t_{22}$	$t_{23} = -t_{32}$	$-t_{33}$
6	0,002197	0,998573	0,000659	0,001913	0,001957	0,999171
8	748	0,999651	285	680	600	0,999800
10	316	0,999884	134	293	239	0,999934
12	155	0,999953	70	146	112	0,999973
14	84	0,999978	40	80	60	0,999988
16	50	0,999989	24	47	34	0,999994
∞	0	1	0	0	0	1

Meghatároztuk a 3/e. ábrán megadott csavarvonal tengelyű rúd alakját is $h = 12$ m, $R = 8/\pi$ méter esetén. Ekkor

$$\begin{aligned} \varepsilon_{01} &= 20, \\ g_{01} &= 1,2\pi, \\ g_{02} &= 1,6\pi. \end{aligned}$$

Ha az $e_0 = 0$ és

$$T_0 = \begin{bmatrix} 0,6 & -0,8 & 0 \\ 0,8 & 0,6 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

kezdeti feltételből indulunk ki, akkor a $\lambda = 1$ pontnak az u_1 tengelyre kell illeszkednie. Az $u_1(l)$ mindig legalább 8 értékes jegyre pontosan adta h értékét, míg a két másik koordináta értéke és a $T(l)$ hibája a lépésszám függvényében:

n	$u_1(l)$	$u_2(l)$	$T(l)$ hiba
8	0,039575	-0,030818	0,023816
12	0,009044	-0,004236	0,003312
16	0,002997	-0,001019	0,000799

3. Példa

Meghatároztuk egy $L = 5$ m hosszú konzol meggörbült alakját.

A merevségi jellemzők

$$\begin{aligned} GJ_1 &= EJ_2 = EJ_3 = EJ \text{ [m}^2\text{Mp]}, \\ EA &= 3 EJ \text{ [Mp]}, \\ \varrho_2 &= \varrho_3 = 0 \end{aligned}$$

és a rúderők:

$$\begin{aligned} P_1 &= P_2 = P_3 = 0,1 EJ \text{ [Mp]}, \\ M_1 &= M_2 = M_3 = 0,04 EJ \text{ [mMp]}. \end{aligned}$$

A λ paraméternek a terheletlen rúd ívhosszát választottuk, és 8 Runge—Kutta-lépést használtunk. A görbe alakját a 4. táblázat adja meg.

4. táblázat

i	λ_i	$u_1(\lambda_i)$	$u_2(\lambda_i)$	$u_3(\lambda_i)$
0	0,000	0	0	0
1	0,625	0,645373	0,000385	-0,012393
2	1,250	1,286584	-0,001286	-0,067310
3	1,875	1,912645	-0,039731	-0,191750
4	2,500	2,498823	-0,133894	-0,410603
5	3,125	3,001359	-0,300307	-0,739345
6	3,750	3,358831	-0,542106	-1,171961
7	4,375	3,506622	-0,840531	-1,669041
8	5,000	3,404305	-1,152500	-2,157032

A végponthoz tartozó forgatómátrix:

$$T(l) = \begin{bmatrix} -0,387864 & -0,508302 & -0,768738 \\ 0,588936 & 0,504944 & -0,630959 \\ 0,708866 & -0,697600 & 0,103555 \end{bmatrix}.$$

A $(T(l)T^*(l) - E)$ mátrix legnagyobb abszolútértékű eleme: 0,0002329.

IRODALOM

1. SZABÓ, J.—RÓZSA, P.: Große Verschiebungen von Stabkonstruktionen. *Acta Techn. Hung.* 73 (1972), 53—60
2. BÜRGERMEISTER, G.—STEUP, H.—KRETSCHMAR, H.: Stabilitätstheorie II. Akademie-Verlag, Berlin 1963, p. 402
3. WEISSGERBER, V.: Schnittkraft-Verformungs-Beziehungen des räumlich stark gekrümmten Stabes. *Der Stahlbau II* (1974), 348—350
4. SZABÓ J.—KOLLÁR L.: Függőtetők számítása. Műszaki Könyvkiadó. Budapest (1974), 186. o.
5. POPPER, GY.: Numerikus módszerek különös tekintettel az elektronikus számológépekre. Mérnöki Továbbképző Intézet. Jegyzet, (1966), 186 o.
6. BÄCKLUND, J.: Finite Element Analysis of Nonlinear Structures. Doktorsavhandlingar vid Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg 1973, p. 132
7. GÁSPÁR ZS.: Rúdszerkezetek nagy elmozdulásának számítása különböző modellek esetén. *Építés-Építészettudomány* 4 (1973), 345—356
8. EPSTEIN, M.—MURRAY, D. W.: Large Deformation In-plane Analysis of Elastic Beams. *Computers and Structures V. 6* 1976, 1—9

Determination of the Form of an Ideally Elastic Beam with Space Curve Centre Line. The initial-value problem is presented concerning a deformed bar loaded only at its extremities, the values of the forces acting on its starting point being given. The bar may be deformed in an arbitrary way. The application of the method presented is also demonstrated by numerical examples.

Ermittlung der Verformung eines idealelastischen Stabes von räumlich gekrümmter Achse. Behandelt wird das Initialproblem eines idealelastischen Stabes der nur an den Enden belastet ist. Die Größe der auf das Ausgangsende wirkenden Kraft ist bekannt. Die Verformungsgröße des Stabes kann beliebig angenommen werden. Die Anwendung des dargestellten Verfahrens wird mit numerischen Beispielen illustriert.

A KRIOTECHNIKA VILLAMOSENERGETIKAI ALKALMAZÁSÁRA IRÁNYULÓ KUTATÁSOK ÁTTEKINTÉSE

HELYZETKÉP

KOVÁCS K. PÁL*, KRÓMER L. ISTVÁN**

[Beérkezett 1976. november 4-én]

Az elmúlt másfél évtizedben jelentős kutatási erőfeszítéseket tettek a fémek alacsony hőmérsékleten fellépő kedvező vezetési tulajdonságainak gyakorlati alkalmazása érdekében. A tanulmányban a további fejlődés szempontjából legkedvezőbbnek ítélt villamos energetikai berendezések, a kriokábelek és a nagy forgógépek területén összefoglaljuk az eddigi kutatások legfontosabb eredményeit. A nemzetközi méretű áttekintés alapján felmérjük az ipari alkalmazás közeljövőben várható lehetőségeit.

1. Bevezetés

Az elektrotechnika számára az alacsony hőmérsékletű technika és ezen belül a vezetőanyagok alacsony hőmérsékleten fellépő kedvező vezetési tulajdonságainak kutatása az 1950-es évek végéig nem jelentett többet fizikai érdekességnél. Az új szupravezető anyagok megjelenése és ezzel párhuzamosan az alacsony hőmérsékletek előállítására szolgáló hűtőberendezések területén elért jelentős fejlődés a 60-as évek elejétől felkeltette az elektrotechnikusok érdeklődését is.

A hűtéstechnika fejlődése nemcsak a szupravezetés gyakorlati felhasználására ösztönözte a kutatókat, de előtérbe került a nagy tisztaságú fémek alacsony hőmérsékleten fellépő kedvező vezetési tulajdonságainak hasznosíthatósága is, amely viszonylag egyszerűbb hűtési és hőszigetelési problémákat vet fel.

A kriotechnika elektrotechnikai alkalmazásának jövőjét illetően az utóbbi másfél évtizedben meglehetősen változó prognózisok láttak napvilágot. A gyors tendenciaváltások figyelmeztetnek arra, hogy rendkívül gyorsan fejlődő területtel állunk szemben, de az ipari alkalmazás számos technológiai és gazdasági feltétele ma még pontosan nem határozható meg.

Kezdettől fogva nagy reményeket fűztek a kriokábelekhez. Mind jelentősebb hangsúlyt kapnak ugyanis a nagy villamosenergia mennyiség átvitelével és a fogyasztás súlypontjaiban való elosztásával kapcsolatos problémák. A szabadvezetékes energiaátvitel fejlesztésének környezetvédelmi szempontból várható korlátai a földalatti energiaátvitel új műszaki megoldásokkal történő fejlesztését teszik szükségessé.

* Prof. Dr. Kovács K. Pál, 1011 Budapest, Vám u. 2.

** Krómer L. István, 1118 Budapest, Sasadi út 14.

A kriokábelek kutatása másfél évtizede indult meg. Az elkészült demonstrációs modellek bizonyították a kriokábelek technológiai megvalósíthatóságát. A megjelent közlemények számát tekintve megállapítható, hogy a szupravezető kábelek lényegesen nagyobb érdeklődést keltettek, ennek ellenére gazdasági okokból az alacsony hőmérsékletű technika erőátviteli alkalmazásának előkítésére végzett kísérletek jelentős része a kriorezisztens kábelek fejlesztésével kapcsolatos. A kriorezisztens kábelek az energiaátvitel fajlagos költségét egyszerűbb konstrukciójukkal és kedvező anyagkihasználásukkal csökkenthetik. Legalkalmasabb vezetőanyagnak az alumínium, legkedvezőbb hűtőközegnek pedig a folyékony nitrogén látszik.

A szupravezető kábelek fejlesztése lényegesen nagyobb kriotechnikai feladatot jelent, mivel a folyékony hélium hőmérsékletén felmerülő hűtési és hőszigetelési problémák jóval nagyobbak, mint a cseppfolyós nitrogén esetében.

A rakéta- és űrrepüléstechnika már régóta alkalmaz folyékony nitrogénben üzemelő kis villamos forgógépeket. Az erősáramú elektrotechnikusok csak később és akkor is gyanakvással közeledtek a kriotechnika forgógépekben való alkalmazásához.

Ennek ellenére érdekes módon elsőként itt jelentkeztek a gyakorlati alkalmazás szempontjából is kézzelfogható eredmények. A jelenlegi kilátások a legkecsegtetőbbek a szupravezető gerjesztő tekercselésű szinkrongenerátorokat illetően. Úgy tűnik, hogy 1000 MW teljesítményhatár felett a szupravezető gerjesztő tekercselésű, normálvezetőből készült armatúrájú szinkrongenerátorok adják a leggazdaságosabb megoldást.

A következőkben a villamosenergetika e két területén — kábelek és nagy forgógépek — röviden áttekintjük a nemzetközi fejlesztési munka eddig publikált eredményeit.

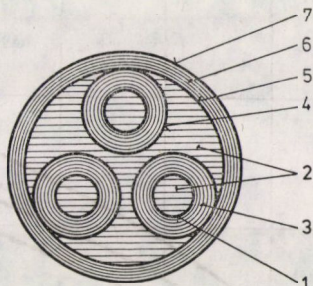
2. Kriorezisztens kábelek

Az első alacsony hőmérsékleten üzemelő kriorezisztens kábel konstrukciókat K. J. R. WILKINSON javasolta 1966-ban [1]. Cikkében folyékony hidrogén hűtésű alumínium és folyékony nitrogén hűtésű berillium vezetőket vizsgált. A 10 ppm szennyezettségű alumínium fajlagos ellenállását 20 K°-on $3 \cdot 10^{-9}$ ohm.cm-re, a 600 ppm szennyezettségű berillium fajlagos ellenállását 77 K°-on $2 \cdot 10^{-8}$ ohm.cm-re vette fel. Számításai szerint a kábel vezetőben keletkező veszteségek minimális értéke akkor érhető el, ha a vezetési és örvényáram veszteségek egyenlők. WILKINSON konstrukciója szerint a 275 kV feszültségű, 760 MVA átviteli teljesítményű egyfázisú kábel 100 000 0,1 mm átmérőjű alumínium érből vagy 16 000 0,3 mm átmérőjű berillium érből kialakított 6 cm külső átmérőjű üreges vezetővel készült volna.

Ez a vezető szerkezet meglehetősen bonyolult, ipari méretekben nem alkalmazható. WILKINSON 20 K°-on 168 W/km veszteséget számított az alu-

mínium vezetőkben, 77 K° -on a berillium vezetőkben pedig 620 W/km veszteség keletkezik számításai szerint. Költségszámításai alapján azt a megállapítást tette, hogy a kriokábelek összköltségének alakulása szempontjából a vezeték veszteségek a meghatározóak. P. GRANEAU 1967-ben publikálta rövid tervezetét, amely szerint egy belülről folyékony nitrogénnel hűtött, alumínium csővezetőkkel álló, vákuum szigetelésű kábel versenyképes lehet az olaj-papír kábelekkel [2].

1968-ban jelent meg WEAL közleménye, amely a folyékony hidrogén hűtésű kábelek egy lehetséges tervezetét tartalmazta [3]. A kábel vezetői vékony, bordázott rézcsövek, ezekben folyik a folyékony hidrogén hűtőközeg (1. ábra).



1. ábra. Neal kriokábel tervezet.

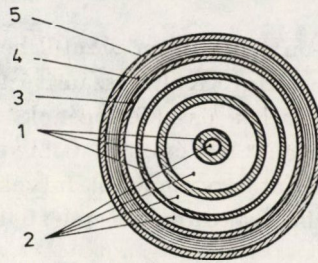
1 — rézvezető; 2 — folyékony nitrogén; 3 — hidrogénnel itatott papír szigetelés; 4 — elektrosztatikus és örvényáram árnyékolás; 5 — belső burkolat; 6 — szuperszigetelés; 7 — külső burkolat

Megállapította, hogy a rézvezetők alumíniummal történő helyettesítése alig gyakorol hatást a kábel gazdaságosságára. A villamos szigetelést folyékony hidrogénnel átitatott papír képezte. A hagyományos kábel konstrukciókhoz hasonlóan minden szigetelt vezetőt földelt elektrosztatikus árnyékolás burkol. A vezetők közötti teret folyékony hidrogén tölti ki. Az 500 kV névleges feszültségű kábel 3000 MVA átvitelére lenne alkalmas.

A francia Compagnie Générale d'Électricité a l'Air Liquide közreműködésével 1968-ban egy húsz méteres, alumínium vezetőcs kábel modellen végzett üzemi jellegű vizsgálatokat.

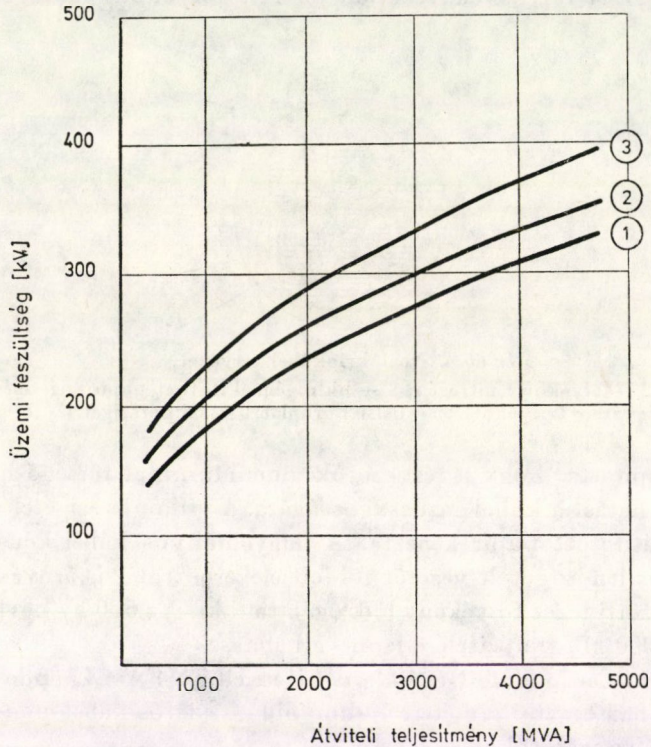
Az egyfázisú kábel modell méreteit a rendelkezésre álló hűtőberendezések szabták meg. A vezető anyag 30 ppm tisztaságú alumínium volt. A vezető keresztmetszete körülbelül 20 cm^2 volt, amelyet a vizsgálatok során 3500 A egyenárammal terheltek. A vezető szigetelése $25\text{ }\mu\text{m}$ vastagságú mylar szalagból készült, összesen 3 mm vastag szalagozást alkalmaztak a 20 kV -os üzemi feszültségnek megfelelően. A hűtés gázállapotú héliummal történt, az üzemi hőmérsékletet 25 K° -on tartották.

Részletes gazdaságossági elemzéseket is tartalmazó közleményeket először 1970-ben publikáltak. Ekkor az EDF kutatói koaxiális háromfázisú kábel konstrukciót dolgoztak ki [4]. Ez a szerkezet a felhasznált vezető anyag



2. ábra. Az EDF kriokábel tervezete 1970-ben,

1 — alumínium vagy berillium fázisvezetők; 2 — folyékony hidrogén vagy nitrogén; 3 — belső burkolat; 4 — vákuum + szuperszigetelés; 5 — külső burkolat



3. ábra. Váltakozó áramú hipervezetős kábelek optimális feszültsége az átviteli teljesítmény függvényében

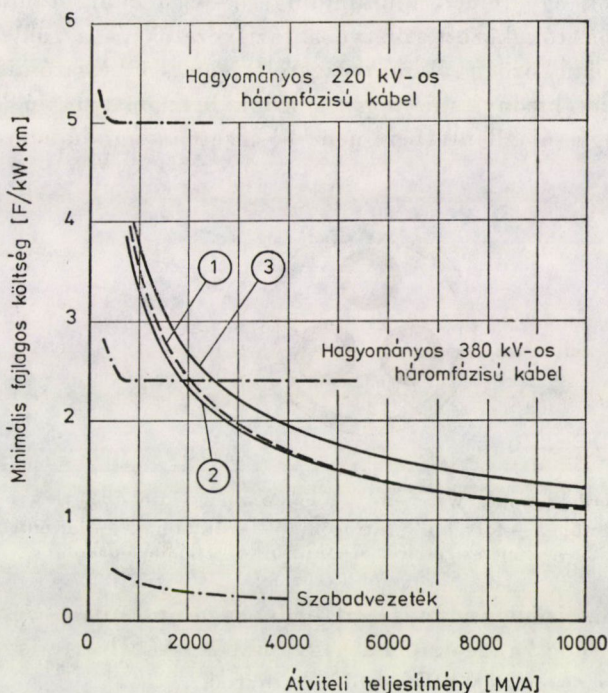
1 — alumínium vezetõ 20 K°-on; 2 — alumínium vezetõ 77 K°-on; 3 — berillium vezetõ 77 K°-on

mennyiséget és a költséges szigetelések méreteit jelentősen csökkenti és így módon kedvezőbb hőszigetelési szempontból is. A koncentrikus fázis elrendezés (2. ábra) és a normál üzemállapotban teljesen kiegyenlített háromfázisú rendszer következtében a hőszigetelés acél burkolatában nem keletkezik örvényáram veszteség.

A hűtőközeg nyomás alatt kering a belső fázis vezetõ belsejében, illetve a fázis vezetők között. Kedvező dielektromos tulajdonságai következtében

a folyékony nitrogén vagy a folyékony hidrogén hűtőközeg biztosítja a villamos szigetelést is.

A hűtőközeg keringetésére két különböző rendszer kialakítását tartották lehetségesnek. Az egyik két párhuzamos kábel alkalmazását jelenti, a másik esetben pedig egy hőszigetelt csővezetékot kell elhelyezni a kábel mellett. A hűtőállomásokat egymástól körülbelül 10 km távolságban célszerű elhelyezni. Ez egyben azt is jelenti, hogy a hűtőrendszer szempontjából gyakorla-



4. ábra. Két párhuzamos kábelből álló rendszer minimális fajlagos költsége az átviteli teljesítmény függvényében

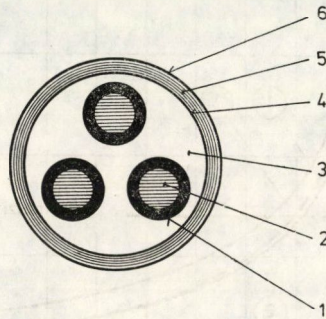
1 — alumínium vezető 20 K°-on; 2 — alumínium vezető 77 K°-on; 3 — berillium vezető 77 K°-on

tilag nincs különbség egy nagy távolságú energiaátvitel, illetve egy rövid nagyvárosi bevezető kábel szakasz kialakítása között.

Számításaik alapján az optimális átviteli feszültséget az átviteli teljesítmény függvényében a 3. ábrán tüntettük fel. Látható, hogy a feszültség az átviteli teljesítménnyel nő, de csak viszonylag nagy teljesítménynél (3000 MW) éri el a hagyományos kábeleknél jelenleg alkalmazott legnagyobb feszültségszintet, 380 kV-ot. A 4. ábrán látható a két párhuzamos kriokábelből álló átviteli rendszer minimális fajlagos költsége az átviteli teljesítmény függvényében. Az ábrából megállapítható, hogy az alumínium vezetőkkal épülő kriokábelek 20, illetve 77 K°-on körülbelül azonosak a fajlagos költségek szem-

pontjából. A nitrogén hűtőközeg alkalmazása azonban biztonsági szempontból sokkal kedvezőbb, továbbá a kábel kriotechnikai kialakítása is sokkal egyszerűbb a folyékony nitrogén hőmérsékletén.

Az Underground Power Corporation 1970-ben tette közzé egy 345 kV-os nitrogénhűtésű alumínium vezetős kábel terveit [5, 6]. A két háromfázisú kábelből álló rendszer 3660 MW átvitelére alkalmas. Egy csőkábel átmérője 38 cm. A vezető anyag keresztmetszete fázisonként 48 cm². A fázis vezetőket rögzítő távtartók egy földelt alumínium cső belső falára támaszkodnak (5. ábra). A fázisvezetők között, illetve a fázisvezetők és a földelt alumínium árnyékoló burkolat között vákuum szigetelés van. Költségszámításaikkal egyrészt azt akarták bizonyítani, hogy a kriokábel konstrukció kialakításakor a korábbi felfogással ellentétben nem a vezetőanyag, hanem a hűtőközeg



5. ábra. Simplex Wire and Cable Company kriokábel tervezete.

1 — alumínium vezető; 2 — folyékony nitrogén; 3 — vákuum; 4 — örvényáram árnyékolás;
5 — szuperszigetelés; 6 — külső korrózióálló burkolat

megválasztása az elsődleges, másrészt pedig igen optimista becsléseik alapján azt mutatták ki, hogy a kriokábel a hagyományos kábelek fajlagos beruházási költségénél lényegesen olcsóbb megoldást biztosít.

A General Electric kutatói 1972-ben számoltak be háromlépcsős kutatási programjuk eredményeiről [7]. Kísérleteik folyékony nitrogénhűtésű, alumínium vezetős kábel kifejlesztésére irányultak. A három flexibilis fázisvezetőt egy kettősfalú, körülbelül 50 cm külső átmérőjű acélsőben helyezik el. A General Electric tervei alapján a Phelps Dodge Cable and Wire Co. készítette az eddigi vizsgálatok során felhasznált 12 méter hosszú kábelmodellt [8]. A modell üreges vezetőjét kb. 22 mm vastagságban nitrogénnel impregnált polietilén szálas papírral szigetelték.

Gazdaságossági értékelésük szerint a nitrogén hűtésű, alumínium vezetős kriokábel a 2000 ÷ 5000 MVA-es átviteli teljesítmény tartományban lehet gazdaságos.

1973-ban hozták nyilvánosságra az EdF újabb flexibilis kriorezisztens kábel tervezetét, amelyet a Cables de Lyon és a L'Air Liquide közreműködésével dolgoztak ki.

Vezetőanyagként nagy tisztaságú, négykilences alumíniumot választottak. A villamos szigetelés 5 bar nyomású folyékony nitrogénnel impregnált polietilén szalagozás volt. A kábel fázisvezetői villamosan szigetelt és radiálisan transzponált elemi szálakból álltak, amelyek négyzet keresztmetszetű csoportokra osztva helyezkedtek el egy perforált műanyag cső palástjában. A fázisvezetőket nagy vezetőképességű elektromágneses árnyékolás veszi körül. Az ebben keletkező veszteségek lényegesen kisebbek, mint amilyenek a kriogén burkolatban jönnének létre. A három flexibilis fázisvezető árnyékolásával együtt folyékony nitrogénnel feltöltött csőben helyezkedett el. Ezt a csövet kellett termikusan szigetelni a környezettől. Az 1000 és 3000 MVA névleges teljesítményű kábelek tervezési adatait az 1. táblázat tartalmazza.

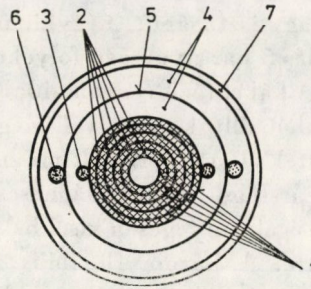
3. Szupravezető kábelek

Az első szupravezető kriokábelre vonatkozó javaslat R. McFEE dolgozatában 1961-ben látott napvilágot [11]. A javasolt egyfázisú kábel 30 cm közepe átmérőjű vezetőre 20 ólom fólia rétegből állt. A fólia rétegek között a papír szigetelés 0,254 cm vastag volt (6. ábra). A kábel fázisfeszültsége 30 kV, az átvihető teljesítmény 2,7 GVA volt. McFee következő munkájában olyan egyfázisú koaxiális kábelre dolgozott ki javaslatot, amelyben a belső ólom vezető átmérője 3 cm, a külsőé pedig 6 cm. A kábel fázisfeszültsége 200 kV,

1. táblázat

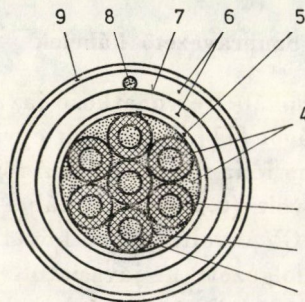
Váltakozó áramú kriorezisztens kábel jellemzői az EdF 1973-as tervezete szerint

A kábel névleges teljesítménye, MVA	1000	3000
A kábel villamos jellemzői:		
— vonali feszültség, kV	400	500
— névleges áram, kA	1,44	3,46
— természetes teljesítmény, MVA	4900	8900
— áramsűrűség a fázisvezetőben, A/mm ²	1,6	1,9
A villamos szigetelés jellemzői:		
— a nitrogén nyomása, bar	5	5
— a térerősség a vezető felületén, kV/cm	94	91
— a veszteségi szög tangense	$2 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$
— vastagság, mm	37	45
A hűtőállomások jellemzői:		
— az állomások távolsága, km	12,6	8,8
— a független hűtőberendezések száma állomásonként	2	2
— a nitrogén hőmérséklete a hűtőgép kimenetén és bemenetén, K ^o	77–87	77–87
— egy hűtőgép hűtőteliesség, kW	255	495
— egy hűtőgép által felvett hálózati teljesítmény, kW	2750	5500
A kábel külső átmérője, mm	564	728



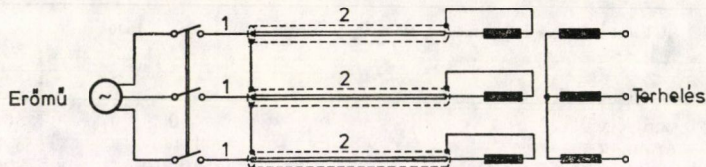
6. ábra. McFee szupravezető kábeltervezete.

1 — ólomfólia rétegek; 2 — papírszigetelés; 3 — folyékony hélium; 4 — vákuum; 5 — közbelső árnyékolás (77 K°); 6 — folyékony nitrogén; 7 — vákuumköpeny



7. ábra. W. Kafka háromfázisú szupravezető kábel szabadalma.

1₁ — belső vezető; 2 — külső vezető; 3 — villamos szigetelés; 4 — folyékony hélium; 5 — hélium cső; 6 — vákuum; 7 — közbelső árnyékolás (77°K); 8 — folyékony nitrogén; 9 — vákuumköpeny



1. a fázis belső vezetője
2. a fázis külső vezetője

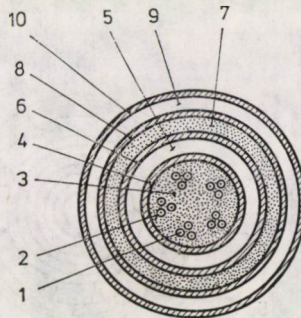
8. ábra. Fázisonként koaxiális kriokábel kapcsolási vázlata

az átvihető teljesítmény 600 MVA. A koaxiális erek számát fázisonként 20-ra növelve 20 kV fázisfeszültségen 1,2 GVA átvitelére van lehetőség [12].

Nem sokkal később W. KAFKA szabadalmaztatta háromfázisú szupravezető kábel konstrukcióját [13] (7. ábra).

A szabadalom lényege, hogy mindegyik fázisvezető koncentrikus elrendezésű és a terhelés minden fázisban a külső és a belső vezető közé kapcsolódik. A fázisokat csak a generátor oldalon kapcsolják össze (8. ábra). Ekkor a koaxiális kábel vezetőiben ellentétes irányú áram folyik. A fázisok belső és külső

vezetői között csak igen vékony szigetelő réteg van, így a kábel hullámellenállása minimális és ennek megfelelően a természetes teljesítmény értéke jelentősen megnő. Ezenkívül a koaxiális vezető párok alkalmazásának eredményeként villamos és mágneses tér csak a külső és a belső vezető között van. A belső vezetőn belül és a külső vezetőn kívül tehát tetszőleges számú és vezetőképességű normál vezető elhelyezhető anélkül, hogy azokban örvényáram veszteségek keletkeznének. Így lehetőség van a szupravezetők normál vezetőkkel történő stabilizálására. Ennekfogva a szupravezetőket nem kell a zárlati áramra méretezni, mert a szupravezető normál állapotba történő átmenete után olyan megfelelő keresztmetszetű, jól hűtött normál vezetőkön folyhat



9. ábra. P. Klaudy szupravezető kábeltervezete.

1 — szupravezető huzal; 2 — villamos szigetelés; 3 — folyékony hélium; 4; 6; 8; 10 — bordázott csövek; 5; 9 — vákuum; 7 — folyékony nitrogén

a zárlati áram, amelyek ezt lényeges hőmérséklet emelkedés nélkül elviselik. Kafka javaslata szerint a fázisokat célszerű lenne több koaxiális vezetőpárból kialakítani, amelyeket a terhelés változásának megfelelően lehet párhuzamosan kapcsolni.

A 7. ábrán feltüntetett metszeten két koncentrikus vezető pár tartozik egy fázishoz. A vezető réteg anyaga Nb—Zr vagy Nb₃Sn, amelyet fém tartócsőre visznek fel.

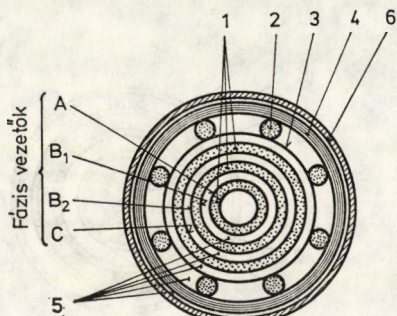
P. KLAUDY 1965-ben a fázisvezetők kis átmérőjű, tömör elemi szálakra bontását javasolta és a vékony huzalokból nagyszámú háromfázisú rendszert alakított ki (9. ábra). Ezzel az elemi vezetőkben folyó áram csökken, ami a II. típusú szupravezetők alkalmazásakor a váltakozó áramú veszteség csökkenését jelenti. A háromfázisú rendszereken kívül csekély villamos, illetve mágneses tér jön létre, így a folyékony héliumot magában foglaló cső és a hőszigetelés fém részeiben nem kell tartani jelentékeny örvényáram veszteségtől.

8500 Nb—Zr elemi szál alkalmazásával (a fémszál átmérője 0,19 mm, szigeteléssel együtt 0,7 mm) 500 km távolságra 6 kV feszültségen 250 MVA átvitele lehetséges [14]. A javasolt konstrukció sajátossága még, hogy először alkalmaz bordázott alumínium csöveket közbenső és külső burkolatként és ezzel a kábel hajlíthatóságát biztosítja és így hosszabb szakaszok készíthetők

egy darabban. A kábel külső átmérője 240 mm, a héliumot tartalmazó cső átmérője 140 mm.

WILKINSON 1966-ban publikálta az 1 fázisú kábelekből álló, 760 MVA átvitelére alkalmas, 275 kV névleges feszültségű kábelrendszerre vonatkozó javaslatát [15]. A szupravezető nióbbium réteg egy 10,4 cm átmérőjű csövön helyezkedik el. A jobb hőszigetelés érdekében a folyékony nitrogénnel hűtött árnyékoláson kívül egy folyékony hidrogénnel hűtött (21 K°) árnyékolás alkalmazását is tervezte.

WILKINSON cikkét követően, amelyben először került összehasonlításra a szupravezető kábel a normál vezető krikábellel, a publikált tervezeteket



10. ábra. BICC szupravezető krikábel konstrukciója,

1 — folyékony hélium; 2 — folyékony nitrogén; 3 — közbenső árnyékolás (77 K°); 4 — szuper-szigetelés; 5 — vákuum; 6 — külső acél burkolat

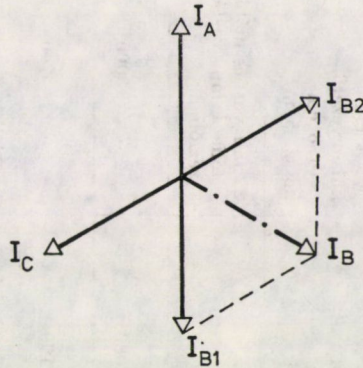
mind teljesebb gazdaságossági elemzéssel egészítették ki és a számított értékek ellenőrzéseként megjelentek az első modell mérésekről szóló beszámolók.

Az egyik legátfogóbb kutatási programot a British Insulated Callender's Cables Ltd (BICC) dolgozta ki a Central Electricity Generating Boarddal (CEGB) kötött megegyezés alapján. A program célja egy 750 MVA átviteli teljesítményű, 33 kV névleges feszültségű szupravezető kábel kidolgozása volt. A minimális költségek elérése érdekében a három fázisvezetőt közös hőszigetelő burkolatban helyezték el és ily módon lehetőség volt a teljes külső méret és a hőbeáramlás csökkentésére. A háromfázisú kábelekre korábban ismertetett vezetőelrendezéseket felülvizsgálva megállapították, hogy a legkisebb külső méret és a legkevesebb vezetőanyag felhasználás úgy érhető el, ha mind a három fázisvezetőt közös tengelyű koncentrikus hengereken helyezik el. A lehetséges változatok közül a 10. ábrán látható konstrukció adja a legkompaktabb megoldást és ehhez szükséges a legkevesebb koncentrikus cső [16, 17]. Négy nióbbium réteg vezeti a fázis áramokat, mivel a B fázist két komponensre bontották.

Az egyes vezetőkben folyó áramokat szimmetrikus üzemiállapotban a 11. ábra vektorábráján tüntettük fel. A nióbbium rétegeket 0,25 cm falvastagságú nagy tisztaságú (99,999%-os) alumínium csöveken helyezik el és

így az alumínium söntöli a szupravezető túlterhelés esetén. Szigetelőanyagként a fázisok között vákuumot alkalmaznak.

A BICC kutatói megtartva a teljesen koncentrikus elrendezést, a kábel konstrukcióját 1967 óta tovább fejlesztették. A [21]-ben közölt megoldásban fázisok közötti szigetelésként a folyékony héliumot használják fel. A kábel külső átmérője 500 mm. A részletesen kidolgozott költségelemzés egyik legfontosabb következtetése, hogy bár a vizsgált teljesítmény- és feszültség szinten a szupravezető kábel gazdaságtalan a hagyományos kábelekkal szemben, egyértelműen megállapítható, hogy magasabb feszültség- és teljesítményszinteken a szupravezető kábel gazdaságosabb lehet, mint a hagyományos



11. ábra. A teljesen koaxiális elrendezésű, egy fázisban osztott vezetős kábel áramainak vektorábrája

kábelek. A minimális átviteli teljesítmény szintet gazdaságossági szempontból 2000 MVA fölötti értékre becsülték és kimutatták, hogy a feszültség szint kétszeres értékre növelése a fajlagos beruházási költséget hozzávetőlegesen 40%-kal csökkentené.

A Siemens A. G. kutatói és P. KLAUDY a korábban kidolgozott vezető elrendezések felhasználásával szintén újabb részletes terveket publikáltak [18, 19]. A Siemens tervezetében szereplő 110 kV-os kábel 48 cm külső átmérőjű, névleges árama 13 kA volt [22]. Fázisonként a nióbium vezető keresztmetszete kb. 4 mm², a stabilizáló alumínium vezető keresztmetszete pedig 3200 mm². KLAUDY 4 mm átmérőjű vörösréz huzalokra elektrolitikusan felvitt ólom réteg felhasználásával készítette el 14, illetve 50 méter hosszú kábel modelljeit [23]. A vezetőket egymástól 8 mm távolságban helyezte el. Modell mérési alapján elkészítette egy 1100 MVA átviteli teljesítményű kábel terveit. A 20 kV névleges feszültségű kábel külső átmérője 25 cm. Újabb tervezetében KLAUDY is áttért a fázisonkénti koaxiális elrendezésre [23]. Ebben a tervezetben 110 kV-os 500 MVA átviteli teljesítményű kábel adatait ismerteti. Az eddig ismertett kutatásokon kívül a Szovjetunióban, a Krzsizsanovszkijról

2. táblázat

Szupravezető kábelmodellek

Hely	Linde Division of Union Carbide Corp, Tarrytown, N.Y.	British Insulated Callendar Cables Ltd. London	Furukawa Electric So Ltd. Tokyo	Technological University, Graz
A modell leírása	merev koaxiális	merev koaxiális	merev koaxiális (műanyag szigetelés)	flexibilis
A vezetők méretei	belső vezető: Ø 1, ill. 3 cm külső vezető: Ø 9; ill. 27 cm hossz: 6 m	belső vezető: Ø 3,5 cm külső vezető: Ø 5,5 cm hossz: 2,7 m	belső vezető: Ø 4 cm külső vezető: Ø 8 cm hossz: 5 m	81 transzponált elemi szál Ø 4 mm, hossz: 50 m
A vezető konstrukciója	nióbbium/réz	nióbbium fólia	25 µm vastag nióbbium fólia 1 mm vastag rézfólián	ólom bevonatú réz, ill. nióbbium
A legnagyobb áram effektív értéke, A	5400	2080	3000	10 700
Maximális felületi áram-sűrűség A/cm	580	190	240	100
A modell alapján tervezett ipari kábel jellemzői	3 merev koaxiális fázisvezető közös Dewar burkolatban, 138 kV 1690 MVA, He dielektrikum	merev csővezetők háromszög elrendezésben, 33 kV, 750 MVA, He vagy vákuum dielektrikum	koaxiális cső, egyenáramú kábel, 110 kV; 45,5 kA, 5000 MVA, Dewar átmérő 30 cm	Flexibilis Nb vezetők hullámos falú, 25 cm átmérőjű Dewar csőben, 1100 MVA; 20 kV, He vagy műanyag dielektrikum
Az ipari kábel becsült költsége \$/MVA.km	380	770	—	440

elnevezett Elektrotechnikai Intézetben is elkészült egy kísérleti szupravezető kriokábel modell [24].

Az Edison Electric Institute 12–15 évre tervezett 8 millió dolláros szupravezető kábel fejlesztési programja keretében készített kábel modell elsősorban a szupravezetők váltakozó áramú veszteségeinek, valamint a jövőendő kriokábel hőszigetelési kérdéseinek vizsgálatára szolgált [20].

A 2. táblázatban foglaltuk össze az ismert szupravezető kábelmodellek jellemző adatait.

Az EdF a kábel és a hűtőgépgyártó cégek bevonásával, az eddigiekben ismertetett konstrukciókkal kapcsolatban felmerült problémák mérlegelése után dolgozta ki legújabb tervezetét [10].

A fázisvezetőket alkotó elemi vezetőket nagytisztaságú rézhordozóra felvitt néhányszor tíz mikron vastagságú nióbbium réteggel alakították ki.

Az elemi vezetők egy 60 mm átmérőjű perforált műanyag cső palástján helyezkednek el. A kábel villamosszigetelése hiperkritikus héliummal impregnált polietilén szalagozás. A villamos szigetelésen kívülről egy, a fázisvezetőhöz hasonló kivitelű villamos árnyékolás van annak érdekében, hogy a kriogén burkolatban örvényáram veszteségek ne lépjenek fel. A három hajlékony fázisvezető egy közös, hiperkritikus héliummal töltött cső belsejében helyezkedik el. Ezt a csövet kell hőszigetelni a környezettől.

A 3000 és 5000 MVA névleges teljesítményű kábelekre vonatkozó tervezet főbb műszaki adatait a 3. táblázatban foglaltuk össze.

3. táblázat

Szupravezető kriokábelek műszaki adatai az EdF 1973-as tervezete szerint [10]

A kábel névleges teljesítménye MVA	3000	5000
A kábel villamos jellemzői:		
– vonali feszültség, kV	140	180
– névleges áram, kA	12,4	16
– természetes teljesítmény, MVA	870	1390
– a fázisvezető felületén fellépő tangenciális mágneses térerősség, kA/m	52	55,5
A villamos szigetelés jellemzői:		
– a hélium nyomása, bar	10	10
– térerősség a vezető felületén, kV/cm	39	38
– a veszteségi szög tangense	$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
– vastagság, mm	28	37
A hűtőállomások jellemzői:		
– az állomások távolsága egymástól, km	15	18,4
– a hűtőberendezések száma állomásonként	1	1
– a hélium hőmérséklet tartománya, K°	4,45–5,4	4,45–5,4
– a hélium hűtőgép hűtőteljesítménye, kW	4,5	7,6
– a hélium hűtőgép által felvett hálózati teljesítmény, kW	2595	4368
A kriokábel külső átmérője, mm	604	708

4. táblázat

Legnagyobb teljesítményű energia átviteli berendezések villamos paramétereit [10]

Villamosenergiaátviteli berendezések	Szalagozott polietilén + SF ₆ kábel forszírozott hűtéssel 750 kV 2—2500 MVA	Gázzigetelésű kábel (SF ₆) 400 kV 3000 MVA	Szabadvezeték 750 kV 2800 MVA	Hipervezetős kriokábel Al-fN ₂ 400 kV 3000 MVA	Szupravezetős kábel Nb-fHe 140 kV 3000 MVA
Fajlagos induktivitás, $\mu\text{H}/\text{m}$	0,56	0,2	0,94	0,17	0,11
Fajlagos kapacitás, pF/m	300	56	12,5	145	224
A villamos térerősség a vezető felületén, kV/cm	200	30	17	95	40
Tangenciális mágneses térerősség a vezető felületén, A/cm	100	70	100	110	500
Az egységnyi szélességű nyomvonalon szállítható teljesítmény, MVA/m	1500	1000	50	3000	3000

A francia szerzők dolgozatukban összehasonlítják a legnagyobb átviteli teljesítményű energiaátviteli módok villamos paramétereit (4. táblázat). Részletes elemzést közölnek a kriokábelek energiarendszerbeli beilleszkedésére vonatkozóan, valamint megvizsgálják a kriokábelek jövőjét gazdasági szempontból is.

Elemzésük, amelyik igyekszik feltárni valamennyi költségösszetevő változásának jövőbeli tendenciáját, azzal a megállapítással zárul, hogy a vizsgált átviteli teljesítmény tartományban (3—5000 MVA) váltakozó áramú átvitel esetén a szupravezető kriokábelek bizonyulnak a leggazdaságosabb átviteli módnak közepes távolságú átvitel esetén. Nagyobb, 100—150 km-es átviteli távolságnál valószínűleg az egyenáramú szupravezető kábelek kedvezőbb megoldást fognak adni. Ez esetben viszont a szabadvezetékes átvitel kiszorítására csak a környezetvédelmi érdekek ellenállhatatlan érvényesülése esetén kerülne sor. A fentiek alapján előzetesen az 1990-es évek után várható az első ipari célú szupravezető kriokábel megépítése Franciaországban [10].

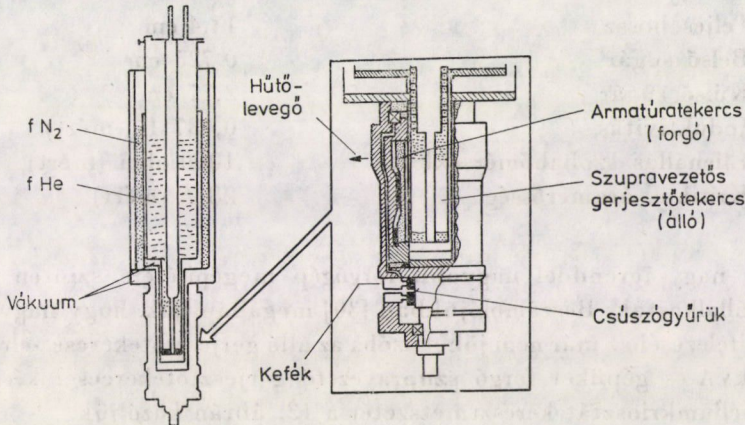
A kriokábelek ipari alkalmazásával kapcsolatban felmerülő technológiai problémák megoldása szempontjából igen biztatóak a flexibilis, hullámosfalú csövekkel végzett AEG-TELEFUNKEN kísérletek [25].

A fejlődés jelenlegi szakaszában úgy ítélik meg, hogy néhány éven belül várható a kriokábelek alkalmazási lehetőségeinek pontosabb behatárolása.

Szupravezetők alkalmazása forgógépekben

A nagy mágneses térerősség esetén is szupravezető állapotban maradó anyagok felfedezésével a szupravezetés alkalmazása mind azokban az esetekben, amikor a gép üzemszerűen egyenáramú gerjesztést igényel, rendkívül

vonzónak látszik. Így elsősorban az egyenáramú gépeket, valamint a turbógenerátorok egyenárammal gerjesztett részét tűnik célszerűnek szupravezető tekercseléssel készíteni. Elsőként STEKLY és WOODSON közleménye [26] vizsgálta szisztematikusan a szupravezetés alkalmazhatóságát a forgógépekben. Érthető, hogy az első javaslatok és megépített kis gépek álló hűtött tekercselésű kivitelre szorítkoztak annak érdekében, hogy a termikus és a mechanika problémákat egyszerűsítsék.



12. ábra. Kísérleti váltakozó áramú generátor sematikus rajza

A legelső kísérletek közül való az a szupravezető gerjesztőtekercsel készített villamosgép [27], amelynek alacsony hőmérsékletű részét 41 mm átmérőjű fém Dewar-edénybe helyezték. A 400 menetből álló Nb_3S_n szolenoidot a Dewar-edényen kívül kör alakú vasmag veszi körül. Az egyik lég-résben az egyenáramú forgórész, a másikban a szupravezető tekercs foglal helyet. Az üresjárási jelleggörbéje alapján ez az elrendezés hússzor nagyobb feszültséget gerjesztett, amikor a gerjesztőtekercs szupravezető állapotba került. Maximális teljesítménye kétszázszorosára emelkedett.

A [25] közlemény szerzői részletesen elemezték a szupravezető tekercselésű váltakozó áramú generátor problémáit. Számításaik helyességét egy felépített gép üzemi jellemzőinek vizsgálatával igazolták [29]. A gép kis méretei miatt azt a megoldást választották, hogy a szupravezető gerjesztőtekercset egy szokásos laboratóriumi héliumkriosztát alján kinyúló részben helyezték el. Az armatúra szobahőmérsékleten üzemelt háromfázisú réztekercsekkel (12. ábra).

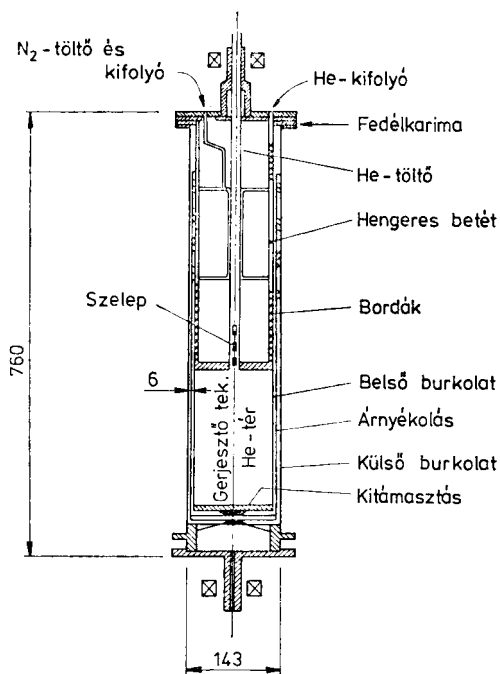
A függőlegesen felszerelt gerjesztőtekercs négy ovális tekercsből áll, egyenként 1700 menettel. A tekercs anyaga 0,25 mm átmérőjű Ni-25% Zr rézbevonattal és Formvarral szigetelve. Az armatúra 12 tekercse egyenként 38 menetet tartalmaz, amelyen 90 °C-os átlagos üzemi hőmérséklet mellett 11 A erősségű áram folyt.

A szupravezetős generátor paramétere:

Teljesítmény	8 kW
Fordulatszám	12 000 ford/min
Frekvencia	400 Hz
A gerjesztőtekeres	4 tekeres, egyenként 1700 menet
Az egyenes rész hossza	7,6 cm
Teljes hossz	11,4 cm
Belső sugár	0,725 cm
Külső sugár	2,77 cm
Induktivitás	0,437 H (mért)
Ellenállás szobahőmérsékleten	1000 ohm (mért)
Kritikus áramerősség	28 A (mért)

Egy nagyságrenddel nagyobb forgógép megépítésére szintén az MIT kutatói vállalkoztak. Beszámolójukban [30] megállapítják, hogy nagyobb forgógép kivitelezéséhez már nem jöhet szóba az álló gerjesztőtekerces-elrendezés.

80 kVA-es gépüket forgó szupravezető gerjesztőtekerccsel készítették. A forgó héliumkriosztát keresztmetszetét a 13. ábrán közöljük.



13. ábra. Forgó héliumkriosztát keresztmetszete

Az egész kriosztát rozsdamentes acélból áll, kivéve az árnyékoló hengert, amely vörösréz. Az edény fala négy koncentrikus hengerből áll. A mágnes mechanikai támasztását hengeres betét biztosítja, amit konzolszerűen a fedélkarimához erősítettek, alulról rozsdamentes acél kitámasztás tartja. A hőszigetelés feladatát a vákuum és a vörösréz árnyékolás látja el. Az árnyékoló hengert hővezetés és hőáramlás útján a folyékony nitrogén hűti.

A héliumgáz a hengerek között a kifolyó felé távozva hűti a különböző burkolatokat. A beépített bordák a héliumgáz hőátadását szabályozzák. Önbeálló görgős csapágyak tartják az egész edényt függőleges helyzetben. A kriosztát kritikus fordulatszáma a tervezett 3600 ford/min névleges fordulatszám felett volt.

Induktivitás	2,64 H
Belső sugár	5,5 cm
Külső sugár	6,55 cm
Aktív hossz	20,3 cm

A gerjesztőtekerceshez kapcsolt vezetékek gázhűtésűek, üvegszövetből és fonott rézszalagból kialakított koncentrikus hengerek, amelyek két rozsdamentes acélső között futnak. A hideg héliumgáz a szalagok hézagain átáramolva hűti ezeket.

A forgórész csúszógyűrűi rozsdamentes acélből, a kefék pedig nagy fém-tartalmú szénből vannak.

Az állórész háromfázisú, a tekerceseket Micarta-szerkezet tartja. Mivel a vezetősálakat nem védi horony, ki vannak téve a teljes mágneses indukciónak, ezért sokkal körültekintőbben és finomabban kell a tekerceselést végezni, hogy az örvényáram-veszteségek ne növekedjenek. A választott állórész méreteiben közel áll az optimálishoz, azaz térfogategységenként maximális teljesítményt szolgáltat. Hűtését a normál légáramlás, valamint a forgórészből származó légmozgás biztosítja.

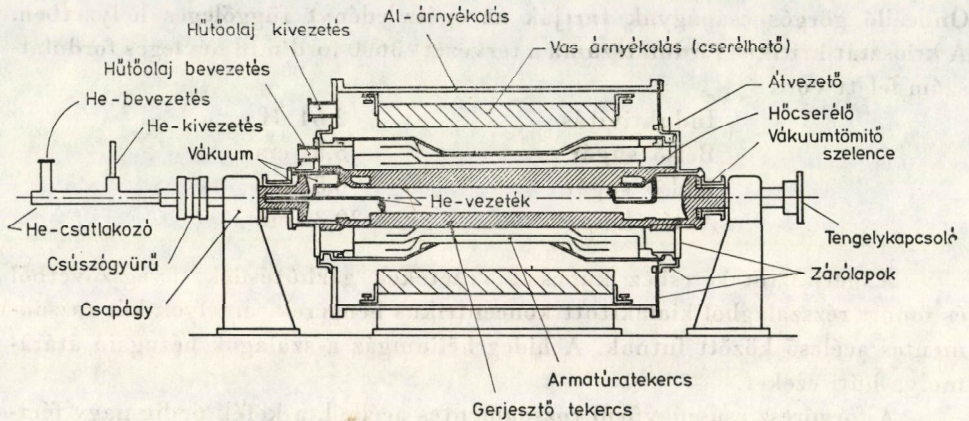
Az állórésztekerces adatai:

Belső sugár	8 cm
Külső sugár	11,5 cm
A mágneses árnyékolás belső sugara	14 cm
A mágneses árnyékolás külső sugara	21 cm
Fázisonkénti menetszám	8
Aktív hossz	11,4 cm
Induktivitás	22,3 μ H

A generátor jellemzői:

Az állórész névleges árama fázisonként	450 A
Névleges feszültség	59,25 V
Névleges teljesítmény	80 kVA
Fajlagos súly	1,7 kg/kVA

Ez a forgókriosztátos villamosgép igazolta, hogy a folyékony hélium megtartható egy gyorsan forgó edényen belül. Másik eredménye volt, hogy sikeresen megvalósította a folyékony hélium utánpótlását üzem közben. Kialakítható volt a szupravezető tekercselés úgy, hogy forgás közben ne szenvedjen sérülést. Ezeket az eredményeket felhasználva, a Massachusettsi Műszaki Intézet két helyen is beszámolót közölt egy továbbfejlesztett, 2 MVA teljesítményű szinkrongépről [31, 32].



14. ábra. Szupravezetős szinkrongép keresztmetszete

A vasmag nélküli nagy forgógép lehetőséget ad a szigetelés geometriájának jelentős egyszerűsítésére, ami sokkal nagyobb kapocsfeszültséget eredményez. A nagy gépek előnye a forgórész inerciájának csökkenése ellenére is kisebb szinkron reaktancia, kisebb kezdeti terhelési szöggel. Így ez a gép kedvezőbb tranzienstabilitással fog rendelkezni.

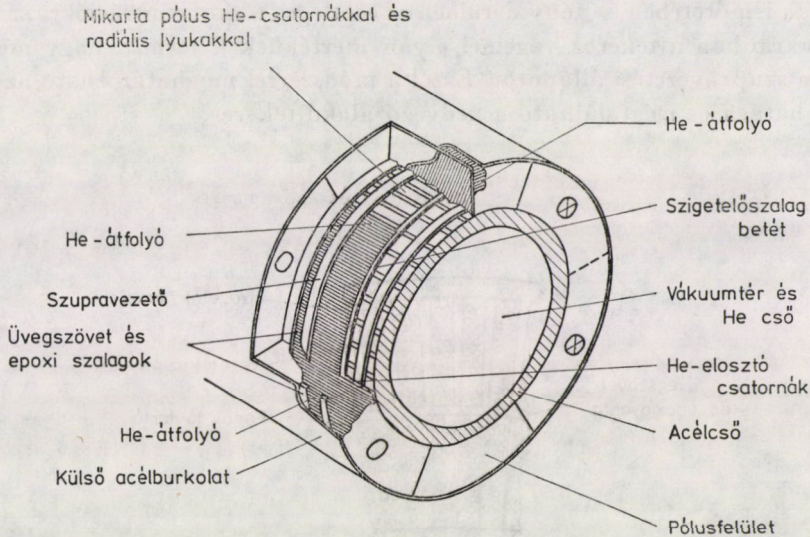
A szinkrongép méreteit a laboratóriumi szerszámok határozták meg, így eredményezett az amerikai kutatók háromfázisú gépe 2 MVA névleges teljesítményt. A megfelelő hőszigetelést a gép hideg részei számára úgy oldották meg, hogy a forgórész folyamatosan elszívás alatt álló vákuumban forog. A kamra külső fala és az armatúratekercselés belső tartószerkezete epoxival bevont henger. A tengely menti levegőszívást olajjal töltött széntömítők akadályozzák meg. Az állórész normál hőmérsékleten olajhűtéssel üzemel.

A szinkrongép lényeges részét a 14. ábrán láthatjuk.

A forgórész ausztenites acél. A gerjesztőtekercset vákuumbiztos rozsdamentes acélburkolat fedi. A belső héliumvezetéket és a hőcserélőt a vákuumtérben helyezték el. A gép összes alacsony hőmérsékleten levő részét vékonyfalú acél távköztartók támasztják alá. A 4,2 K^o-os hőmérsékletű részek hővesztésének csökkentésére a kiáramló héliumgáz egy része a távköztartókon keresztül távozik.

A forgórész külső felén levő vékony rézburkolat a hőcserélő közbenső hőmérsékletén van. Ez a henger mind a hőszugárzás ellen, mind a váltakozó mágneses térrel szemben árnyékolásul szolgál.

A gerjesztőtekerceszt réz csúszógyűrűkön és szénkeféken át táplálják. A gerjesztéshez vezető huzalokat a tekercsek közül távozó hideg gáz hűti.



15. ábra. A gerjesztőtekerces részei

Az állórész a vákuumhengerhez erősített armatúratekercesből, egy lemezt vasból készült mágneses árnyékolásból és egy külső alumínium burkolatból áll. Lehetőség van a vas árnyékolás elhagyására, ekkor a külső alumínium árnyékolás szerepel majd mint örvényáram elleni ernyő.

A gerjesztőtekerces szerkezetét a 15. ábrán mutatjuk be.

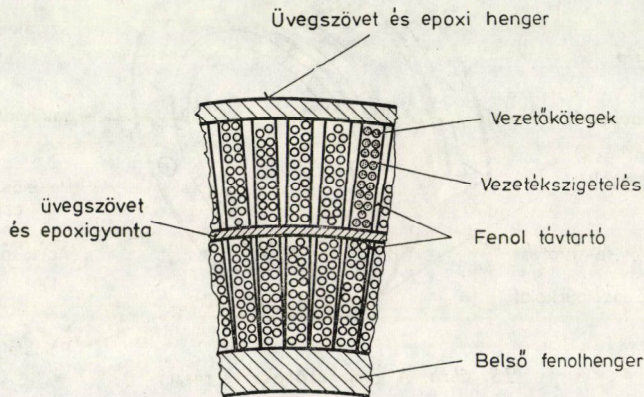
A szupravezető anyaga Ni - 48% Ti, nagy tisztaságú rézbe ágyazva. A $3,16 \times 1,27$ -es mm-es vezeték 24 egymásra helyezett szálból áll, amelyek átmérője 0,25 mm. A vezeték réz/szupravezető aránya 2,5 : 1. A tekercselést 6 rétegben, összesen 665,5 menet alkotja.

A forgórész méretei:

A vezetők belső sugara	7,6 cm
A vezetők külső sugara	10,2 cm
A vezetők teljes hossza	96 cm
A vezeték egyenes részének hossza	65 cm
Az elektrotermikus árnyékolás sugara	11,3 cm
Az elektrotermikus árnyékolás vastagsága	2,15 cm

A 15. ábrán az üvegszövet szalag tartja a centrifugális és mágneses erők ellen a tekercseket, a jó hűtést a tengely- és palástirányú csatornák biztosítják. 800 A gerjesztő áramnál 2,5 T mágneses indukciót értek el.

A [33] közlemény olyan eljárást ismertet, amelynek segítségével a szupra-vezető tekercselések mágneses mezeje meghatározható. A megfelelően kicsinyített tekercset célszerű elektrolitikus kádban vizsgálni. Ekkor — az erővonalak ismeretében — fény derülhet az esetleges térkoncentrációkra, amelyek leggyakrabban a tekercs végeinél olyan mértékűek lehetnek, hogy megszüntetik a szupra-vezetési állapotot. Ezzel a módszerrel meghatározható az árnyékolás hatása és megtalálható a kedvező alakú tekercs.



16. ábra. Az állórész tekercselésének részlete

A [32] közleményben bemutatott szinkrongép álló részének kialakítása olyan, hogy az armatúratekercselés aktív keresztmetszetének növelésével jelentősen emelkedik a feszültség. A tekercselés 228 különálló, hengeres fenolcső körül elhelyezett rúdból áll, a rudakat 18 vezeték alkotja, ezeket 7 db szigetelt szálból sodorták (16. ábra).

A hűtésül szolgáló transzformátorolaj a menetek között, a hengeres vezetőkől képződött réseken át folyik. Ez egyben pótlólagos szigetelést is biztosít.

Az állórész méretei:

A vezetők belső sugara	12,7 cm
A vezetők külső sugara	19,5 cm
A vas árnyékolás belső sugara	30,5 cm
A vas árnyékolás külső sugara	40,6 cm
Az alumínium árnyékolás belső sugara	45,6 cm

A szinkrongépet a közölt méretekkel már elkészítették. A szokásos próbák eredményéről még nem áll rendelkezésre irodalmi forrás. A tervezők által számított villamos jellemzőket az alábbiakban foglaljuk össze:

	Vas árnyékolás	Alumínium árnyékolás
Névleges teljesítmény	3070 kVA	2100 kVA
Fordulatszám	3600/min	3600/min
Pólusszám	2	2
Szinkron reaktancia	30%	29%
Tranziens reaktancia	21%	22%
Subtranziens reaktancia	11%	13%
Fázisonkénti önindukció	1,04 mH	0,68 mH
Összes veszteség (a névleges teljesítmény százalékában)	1,4%	2,8%

A jelenleg ismert legnagyobb szupravezető generátorról először egy rövid közleményben [34], majd később bővebben [35] 1973-ban számoltak be a tervezők.

A Westinghouse Electric Corporation 5 MVA teljesítményű generátorból két fajtát fejlesztett ki: egy 4160 V, 3600 ford/min, 60 Hz paraméterekkel és egy 5000 V, 12 000 ford/min, 400 Hz paraméterekkel rendelkező gépet. Figyelemre méltó a hasonló nagyságú környezeti hőmérsékleten üzemelő gépek 0,23 kg/kVA fajlagos súlyához képest elért súlycsökkentés. A hűtőberendezést is beleszámítva, 0,14 kg/kVA fajlagos súlyt ért el.

Az egyik gép tervezési adatai a következők:

Fordulatszám	12 000 ford/min
A forgórész átmérője	25,4 cm
A tekercs átmérője	20,2 cm
A szupravezetők egyenes része	26,5 cm
A teljes tekercshossz	40,5 cm
A tekercselések közötti légrés	2,5 cm

A gerjesztőtekercsben a szupravezető üzemi hőmérsékletének megfelelő kritikus térerősség 50%-a lép fel.

A hőszugárzást axiális és radiális ernyők csökkentik. Az ernyőket a távozó hélium hűti 20 ÷ 100 K^o-ra. Egy hengeres csillapító ernyő van felszerelve a gerjesztőtekercsek köré azzal a kettős céllal, hogy a forgórészre ható forgatónyomaték a rendszer terhelésváltozásakor ne rongálja meg a szupravezetőt, illetve normál üzemben, valamint a tranziens folyamatok lejátszódásakor az állórész által gerjesztett mágneses mezőt leárnyékolja.

Erre a célra a kis veszteségeket okozó nagy vezetőképességű réz és alumínium felel meg. Bár alacsony hőmérsékleten kis veszteségek keletkeznek

benne, ezt a héliumnak kell elszállítania, amely számára már ez is nagy terhelés. Szobahőmérsékleten nagyobb lesz a veszteség, de ez a környezeti hőmérsékleten levő hűtőközeget terheli. Kedvezőbb megoldás a rövidzárási erőknek ellenálló, szobahőmérsékleten levő árnyékolás.

Az állórész árnyékolását gazdasági megfontolások határozzák meg. A lemezelte vas árnyékolás nagyon terjedelmes és nehéz. Jelenléte a gép mágneses mezejének reluktanciáját csökkenti, javítja a mágneses csatolást az álló- és forgórész között, és minimális aktív forgórész hosszt eredményez. Ez csillapítja a forgó mágneses mezőt és örvényáramai miatt a gerjesztőtekercs demagnetizálása irányába hat. Emiatt egy növelt aktív hosszal rendelkező forgórészt kell készíteni.

Ezeknek a szinkrongépeknek az alkalmazását különösen erőművek turbináihoz csatlakozó generátorként és hajók villamos hajtásaként ajánlják.

A szupravezető forgógépek várhatóan a még nagyobb teljesítmények tartományában további előnyöket ígérnek. Elméletileg foglalkoztak 1 000 ÷ 10 000 MVA-es szinkrongépek kialakításával [36]. A tervezéshez csak a jelenleg kapható anyagokat vették figyelembe.

A főbb kiinduló tervezési adatok:

A gerjesztőtekercs áramsűrűsége	$1,24 \cdot 10^8 \text{ A/m}^2$
Maximális mágneses indukció	
a gerjesztőtekercsben	5,5 T
A réz árnyékolás vastagsága	5,1 cm
A gerjesztő- és állórésztekercsek közötti távolság	7,6 cm

Az elképzelések szerint az állórésztekercselést vagy egy lemezelte mágneses árnyékolás, vagy egy vízűtéses réz ernyő veszi körül, amely az igen erős váltakozó mágneses tér hatását semlegesíti. A tekercselés lényegében megfelel egy szokásos háromfázisú tekercselésnek, mivel a vezetők a teljes mágneses térnek ki vannak téve, ezért kisebb méretűek. Az elektromágneses erők miatt a tekercselést szegmensekre osztották. Az állórész tartja a vákuumköpenyt, a tengelyen vákuumtömítés van, amely az álló- és forgórész közti tér nagy vákuumának tartására megfelel.

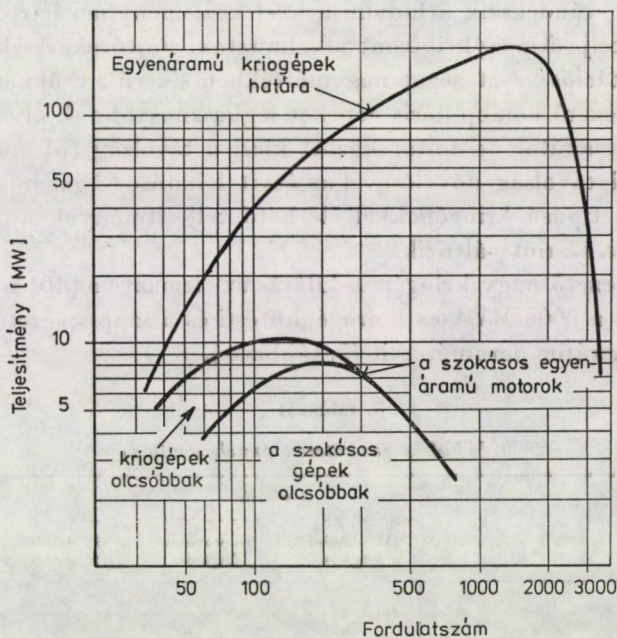
Gázturbinákhoz használható kétpólusú generátorok vizsgálata 15—300 MVA tartományban azt mutatta, hogy réz árnyékolás a nagy veszteségek miatt nem kedvező. A vas árnyékolással számított gépek hűtési teljesítménye a nagyobb gépeknél meglehetősen alacsony, 300 MVA-nél 0,13 W/kVA.

A több ezer MVA-es generátorok 3600 ford/min és 1800 ford/min fordulatszám mellett ígérkeznek előnyösnek.

Néhány közlemény foglalkozik a szupravezetők egyenáramú gépekben való alkalmazásával. A legelső tervhez az ötletet a Faraday-tárcsa adta, amely a rá merőleges mágneses mezőben forog [35].

A mágneses tér előállítását szupravezető légmagos tekercs végzi. A kapcsolófeszültség növelése több hasonló tárcsa sorbakapcsolásával, vagy sugárirányú szegmentekkel érhető el.

Az első 50 LE-s, majd az azt követő 3250 LE-s egyenáramú gépet APPLETON készítette. Beszámolóiból [37, 38] kitűnik, hogy a kisteljesítményű gép egyszerű Faraday-tárcsa volt.



17. ábra. Egyenáramú forgógépek teljesítményhatárai

A második gép nagyméretű szegmensszerű forgórészből állt, ami kb. 20-szorosára növelte az egyes tárcsák feszültségét. A vasmag nélküli Nb—Ti gerjesztőtekercs hélium kriosztátba merült. A 200 ford/perccel forgó és 440 V-ot gerjesztő gép legnagyobb problémája az áram elvezetése volt.

Az áramlevétel kétféle módon képzelhető el: vagy fémmel keményített szén-, ill. grafitkefékkel, vagy folyékony fém rendszerrel.

A szénkefék megengedett áramsűrűsége 500—800 A/cm² között van, a hozzáadott fémtől függően. A homopoláris gépekhez kifejlesztettek már egy jobb, 200 A/cm² áramsűrűségű kefét, de remény van arra, hogy ez 4 000 ÷ 65 000 A/cm²-ig javítható. A szilárd keféket csak lassan forgó gépekhez lehet alkalmazni.

A folyékony fém áramszedőkkel sokkal nagyobb áramsűrűség érhető el, de mindegyik típusánál egyéb jellemzők miatt az alkalmazás nehézkes.

A [35] közlemény egy Franciaországban kifejlesztett, módosított gépről számol be. Őt, újszerűen kiképzett profil lemez nyúlik be az állórészbe. Az álló- és forgórész közötti teret teljesen kitölti a folyékony fém, ezért a lemezek oldalait kellett szigetelni. Ily módon a folyékony fém az áramot a lemezekben folyó árammal párhuzamosan szállítja. A súrlódási veszteségek miatt a gép csak alacsony fordulatszámon üzemelhet.

A homopoláris gépek fejlődésének a legfőbb akadályai az áramlevételi problémák. Ezt szándékszik áthidalni a [39] közleményben leírt egyenáramú gép, amelyben teljesítménykriotront alkalmaztak. Fojtótetekercsek alkalmazásával a kommutációs veszteséget nagymértékben sikerült csökkenteni.

A szupravezető homopoláris gépeket leghasznosabbnak olyan esetekben látják, ahol a generátor és motor között kicsi a távolság (pl. hajóhajtások), mert az átviteli távolság növelésével az átvitel hatásossága erősen csökken.

Ezekkel a típusú kriogépekkel elérhető teljesítmények közelítő határértéke a 17. ábra szerint változik.

A szupravezető nagy kriogépek kilátásait elemezve a [40] közleményben összehasonlítják a 2000 MVA-es hidrogénhűtésű és a szupravezető gerjesztető tekercselésű generátor paramétereit (5. táblázat).

5. táblázat

2000 MVA-es generátorok összehasonlítása

	2 pólusú		4 pólusú	
	H ₂ -hűtésű forgórész	Szupravezető forgórész	H ₂ -hűtésű forgórész	Szupravezető forgórész
Állórész				
Aktív hossza	1	0,37	1	0,33
A vasmag átmérője	1	0,97	1	0,94
Forgórész				
Ampermenetek	1	6,8	1	6,0
A tengely teljes hossza	1	0,5	1	0,5
Külső átmérője	1	1,0	1	0,86
Súly	1	0,3	1	0,3
Hatásfokjavulás	alap	0,5	alap	0,3

A hagyományosnál kb. háromszor nagyobb teljesítménysűrűség figyelembevételével a nagy szupravezető gerjesztő tekercselésű gépeket műszakilag kedvezőnek ítélik.

IRODALOM

1. WILKINSON, K. J. R.: Prospect of Employing Conductors at Low Temperature in Power Cables and in Power Transformer, *Proceedings of IEE*, (1966), 1509–1521
2. GRANEAU, P.: Low Temperature Conductors, *Electronics and Power* (1967) February, p. 55
3. NEAL, S.: Cryogenic Transmission in the Power Industry of the Future, *Cryogenic Engineering News*, (1968) August, p. 30–34
4. SCHWAB, A. M.: Design and Use of Triphase Coaxial Cryocables with Pure Metal Conductors, *ICEC-3*, Berlin (1970), 151–156

5. AFSHARTOUS, S. B.—GRANEAU, P.—JEANMONOD, J.: Economic Assessment of a Liquid-Nitrogen-Cooled-Cable, *IEEE Transaction on PAS*, (1970) No 1., p. 8—16
6. GRANEAU, P.: Economics of Underground Transmission with Cryogenic Cables, *IEEE Transactions on PAS*, (1970) N° 1, p. 1—7
7. FOX, G. R.: General Electric Moves ahead in Cryogenic Transmission R and D, *Electrical World*, (1972), July, 15. p. 125
8. FOX, G. R.: Cryogenic Cables for Underground Power Transmission, *Edison Electric Institute Bulletin* (1970) N° 7. p. 231—234
9. RECHOWICZ, M.: Liquid—Nitrogen Cooled Cryoresistive Cables, *ICEC-4*, Eindhoven (1972)
10. DESCHAMPS, L.—SCHWAB, A. M.—JÉGOU, V.: Transport d'énergie électrique par cryocables, *E.D.F. Bulletin de la Direction des Études et Recherches*, Série B, (1973) 1. sz. p. 45—97
11. MCFEE, R.: Superconducting Transformers and Transmission Lines, *Power Engineering* (1961), N° 10, p. 80—82
12. MCFEE, R.: *Electrical engineering* (1962) N° 2. p. 123—129
13. KAFKA, W.: Superconducting Three-Phase Current Cable, U.S. Patent 3 292016
14. KLAUDY, P.: Elektrische Energieversorgungs- und Übertragungseinrichtungen mit tiefgekühlten Leitern, *Elektrotechnik und Maschinenbau* (1965) N° 6. p. 275—281
15. WILKINSON, K. J. R.: Prospect of Employing Conductors at Low Temperature in Power Cables and in Power Transformers, *Proceedings of IEE*, (1966) N° 9. p. 1509—1521
16. EDWARDS, D. R.—SLAUGHTER, R. J.: Superconducting Power Cables, *Electrical Times* (1967) N° 5 p. 166—169
17. ROGERS, E. C.—EDWARDS, D. R.: Design for a 750 MVA Superconducting Power Cable, *Electrical Revue* (1967), N° 10, p. 348—351
18. KLAUDY, P.: Supraleitendes Kabel, *ETZ-A*. 1968. H. 14., p. 325—330
19. KAFKA, W.: Entwurf eines Supraleitungs-Drehstrom Kabels, *ETZ-A*, 1969. H. 3. p. 89—92
20. LONG, H. M.: Superconducting AC power transmission cables, *Edison Electric Institute Bulletin*, 1970. N° 7. p. 234—237
21. ROGERS, E. C.—SLAUGHTER, R. J.—SWIFT, D. A.: Design for a superconducting a. c. power cable, *Proceedings of IEE*, 1971. N° 10. p. 1493—1500
22. BOGNER, G.—SCHMIDT, F.: Supraleitende Kabel für Drehstromübertragung, *ETZ-A*. 1971. H. 12. p. 740—745
23. KLAUDY, P.: Über tiefstgeköhlte, besonders supraleitende Kabel, *Elektrotechnik und Maschinenbau*, 1972. H. 3. p. 93—110
24. ASZTAHOV, J. N.—VENYIKOV, V. A.—ZNEW, E. N.—OKOLOTYIN, V. Sz.: O nyetradicionnih szposzobah peredaci energii sz iszpolzovanyijem glubokovo ohlazzdényija, *Elektricseszto* (1971), N° 5, p. 1—9
25. BOCHENEK, E.—FRANKE, H.—SIMMERSHOFF, R.: Manufacture and Initial Technical Tests of a High-Power d. c. Cable with Superconductors, *IEEE Transactions on Magnetics*, vol. MAG-11, N° 2., 1975. March, p. 366—372
26. STEKLY, Z. J. J.—WOODSON, H. H.: Roating Machinery Utilizing Superconductors. *IEEE Transactions on Aerospace*, 2 2. sz. (1964) ápr. p. 826—842
27. KAZOVSKIJ, E. J.—KARCEV, V. P.: Primenenie szverhprovodnikov dlja vozbuздnenija elektricseszkih masin. *Elektricseszto*, 6. sz. (1964), p. 74—76
28. WOODSON, H. H.—STEKLY, Z. J. J.—HALAS, E.: A Study of Alternators with Superconducting Field Windings: I-Analysis. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 85 3. sz. (1966) márc. p. 264—274
29. STEKLY, Z. J. J.—WOODSON, H. H.—HATCH, A. M.—HOPPIE, L. O.—HALAS, E.: A Study of Alternators with Superconducting Field Windings: II-Experiment *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 85 3. sz. (1966), márc. p. 274—280
30. THULLEN, P.—DUDLEY, J. C.—GREENS, D. L.—SMITH, J. L.—WOODSON, H. H.: An experimental Alternator with Superconducting Rotating Field Winding. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems* (90), 2. sz. (1971), márc./ápr. p. 661—619
31. KIRTELEY, J. L.—SMITH, J. L.—THULLEN, P.—WOODSON, H. H.: MIT-EEI Program on Large Superconducting Machines, Paper T 73 137—7 IEEE PES Winter Meeting New York (1973) jan./febr. p. 1282—1286
32. KIRTLEY, J. L.—SMITH, J. L.—THULLEN, P.—WOODSON, H. H.: MIT-EEI Program on Large Superconducting Machines. *Proceedings of the IEEE*, 61 (1973) jan. p. 112—115
33. KLAUDY, P. A.: Über ein Verfahren zur Ermittlung des Kraftlinienverlaufes magnetischer Felder in der Umgebung von Supraleitern. *ETZ-A*, 85 13. sz. (1964), p. 414—415
34. Prototype Shown of Superconducting Generator. *Machine Design*, 44 29. sz. (1972), nov. p. 12

35. MOLE, C. J.—BRENNER, W. C.—HALLER, H. E.: Superconducting Electrical Machinery *Proceedings of the IEEE*, 61 1. sz. (1973), jan. p. 95—105
36. WOODSON, H. H.—SMITH, J. L.—THULLEN, P.—KIRTLY, J. L.: The Application of Superconductors in the Field Windings of Large Synchronous Machines. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 90 2. sz. (1971), márc./ápr. p. 620—627
37. APPLETON, A. D.: Development of Superconducting DC Machines at International Research and Development Co., Ltd. *Proceedings of the IEEE*, 61 1. sz. (1973), jan. p. 106—111
38. APPLETON, A. D.: Les machines supraconductrices. *La Recherche*, 3 21. sz. (1972), márc. p. 223—230
39. KAFKA, W.: Eine supraleitende Gleichstrommaschine *ETZ-A*, 94 3. sz. (1973), p. 153—157
40. JEFFERIES, M. M.—GIBBS, E. E.—FOX, G. R.—HOLLEY, C. H.—WILLYOUNG, D. M.: Prospects for Superconductive Generators in the Electric Utility Industry. Paper T 73 252—4 IEEE PES Winter Meeting, New York 1973, jan./febr. p. 1659—1669

Forschungen über die Anwendung der Kryotechnik in der Elektrotechnik — ein Überblick. In den vergangenen anderthalb Jahrzehnten machte die Forschung große Anstrengungen um die vorteilhaften Eigenschaften der Metalle bei tiefen Temperaturen praktisch zu verwenden. In der Arbeit werden für das Gebiet der für die weitere Entwicklung als vorteilhaftest erachteten elektroenergetischen Einrichtungen, die supraleitenden Kabel und die großen Drehmaschinen, die wichtigsten Ergebnisse der bisherigen Forschungen zusammengefaßt. Aufgrund des internationalen Überblicks werden die Möglichkeiten für die in naher Zukunft zu erwartenden industriellen Anwendungen abgeschätzt.

Survey of the Research on the Application of Cryotechnics in Electrical Energetics. In the past one and a half decades considerable research effort went into the practical application of the favourable conductivity qualities of low-temperature metals. In the paper the most important results of the research on the electromagnetic devices most promising for further development, the cryocables and the large rotating machines, are resumed. Based on this international review the expected possibilities of the industrial application in the near future are assessed.

KIÁLLÍTÁS A MAGYAR VASÚT TÖRTÉNETÉNEK IRODALMÁBÓL

1976-ban volt 130 éve annak, hogy Budapest és Vác között megindult az első gőzmozdony-vontatású magyarországi vasút. A Közlekedési Múzeum nagy kiállítást szentelt ennek az eseménynek, a Budapesti Műszaki Egyetem Központi Könyvtárában pedig jó alkalom volt az évforduló arra, hogy az olvasóknak tárlók során mutassák be: milyen szakirodalmi emlékei vannak a magyar vasút történetének.

Jóllehet a kiállítás címében a „130 év” szerepelt, a bemutatott irodalmi dokumentumok a magyar vasútügy korábbi kezdeményeiről is képet adtak. A látogatók metszetekkel illusztrált szakszerű beszámolót olvashattak az 1827. aug. 20-án megnyitott „*Kőbányai lebegő vasút*”-ról, valamint a „*Pozsony–Nagyszombati Lóvasút*” 1840 és 1846 között több szakaszban (Pozsony–Szentgyörgy, Szentgyörgy–Bazin, Bazin–Nagyszombat) kiépített vonaláról épp úgy, mint a *Budapest–váci vonal* megnyitása után a magyar vasútépítésben jelentkező lényeges fejlődési szakaszokról.

A kiállítás csak a műegyetemi könyvtár állományában levő könyvek és folyóiratok feltárására vállalkozott, nem terjedt ki levéltári iratok vagy tervrajzok bemutatására: az olvasókat, kölcsönzőket, látogatókat — nagyrészt az egyetem hallgatóit, mérnökjelölteket — arról akarta tájékoztatni, hogy tudomány- és technikatörténeti érdeklődésükre milyen könyvtári támogatást kaphatnak.

A gazdag irodalmi anyag összeállítója — TIMON László mérnök, a könyvtár tudományos munkatársa — tisztában volt azzal, hogy a rendelkezésére álló anyag mennyisége és a kiállítási tér korlátai közötti ellentétet csak szigorú, következetes rendszerességgel oldhatja fel. Ezért a jól válogatott könyv- és folyóirat-anyagának csak azt a részét tette közzszemlére, amely a *vasúti felépítményekre* (ágyazat, aljak, sinek és sintartozékok) vonatkozó tudományos beszámolók viszonylag teljes, a fejlődés minden lényeges szakaszát dokumentáló legértékesebb darabjaiból állt, valamint a *vasúti járművek* — mozdonyok és kocsik — jellegzetes fejlődési stádiumáról szóló műszaki tanulmányokat. A vasúti vontató-járművek sorában kiemelten szemléltette a *motorkocsik* és a *sínautóbuszok* fejlődését, korabeli felvételek és mai fényképek segítségével.

Hogy a kiállítás megtekintői a magyarországi vasúthálózat fejlődésének ütemét is érzékelhessék, a tárlók mögött elhelyezett tablón több, különböző időpont állapotát tükröző térkép nyújtott erről érzékeltes képet.

A kiállítás nem tért ki viszont a vasúti magasépítmények bemutatására s az alépítményekre sem, csupán a magyar vasúti hálózatban kiemelkedően fontos szerepet játszó budapesti összekötő vasút hídjának (ma: Déli Összekötő Vasúti Híd) minden építési szakaszát dokumentálta az 1877-es (tehát 1977-ben éppen 100 éves!) építéstől az 1913. évi átépítésen keresztül a második világháború rombolása utáni 1946-os újjáépítésig, mert ez a híd volt az első, mely az ország nyugati és keleti vasútvonalait összekötvé egységes vasúthálózatot biztosított Magyarországon.

A Budapesti Műszaki Egyetem Központi Könyvtárának kiállítása, mely szervesen kapcsolódva a műegyetemi könyvtár hagyományaihoz a hallgatók technikatörténeti érdeklődésének felkeltését és elmélyítését szolgálta, képet adott a magyarországi vasútépítés és fejlesztés műszaki kérdéseinek irodalmi emlékeiről, bizonyítva a műszaki irodalom máig ható folytonosságát, valamint a mérnökhallgatók oktatási anyagának kiegészítésében játszott fontos szerepét. Ugyanakkor keresztmetszetet adott a könyvtár tudománytörténeti kutatások szempontjából nélkülözhetetlen, több esetben az országban egyedül itt fellelhető forrásanyagáról is, így mindenképpen hasznos volt a mérnökhallgatók szakmai és általános, történeti szellemű képzése szempontjából.

Végh Ferenc

**1840dik évi Boldogasszony-hava' 7^{ma} és követ-
kező napjain t. ns. Pozsony vármegye' részéről
ugyanazon néven nevezett szabad kir. város-
ban tartatott közgyűléshez a' magyarországi
középponti vagyis Duna-balparti vasut' érde-
mében beadott nyilatkozások, csatolmányaik-
kal együtt.**



Tekintetes Nemes Vármegye!

NB.
NB. NB.

A' Duna' bal partján Pestől Ausztria' határszéléig építeni tervezett vasut' létesítésére ala-
kult részvény-társaság' igazgatóságának megbizásából, 's mint annak egyik tagja, van
szerencsém, a' Tekintetes Karoknak és Rendeknek e' tárgybéli legújabb, biztosítólág felvi-
lágosító nyilatkozásunkat, eredetiben ugyan német, azonban fordítva magyar nyelven is,
és pedig összevonva NB., kiterjedtebben pedig NB. NB. alatt ide mellékelve betérjeszteni.

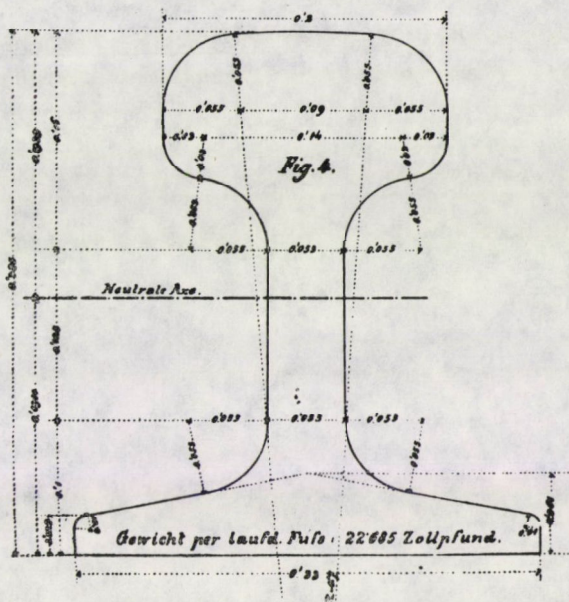
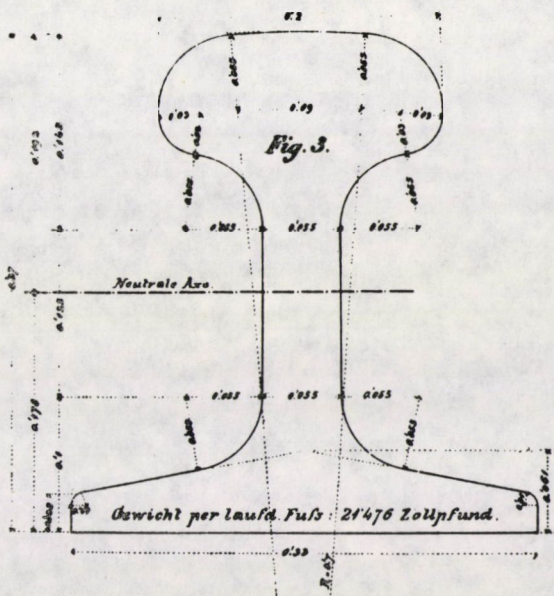
Azon lelkes pártolás, mellyel a' T. Karok 's Rendek ezen ügyet felfogni méltóztattak,
elegendő biznysága annak, hogy jótékonyágát 's hasznait az egész országra nézvest tel-
jesen tudják méltánylani; szabad legyen tehát nekem az ügy' hathatós pártolását a' T. Karok-
tól 's Rendektől jóvendőre is reménylenem, 's ezen remény' kifejezéséhez azon megnyugtató
önérzetből eredő biztos kinyilatkoztatásomat kapcsolnom, hogy idvességes czélt igazán nem
eszközlő 's valótlán vállalatban személyemre nézve részt venni se' tudnék, annál ke-
vesebbé bátorokdnám pedig olyast a' T. Karok 's Rendek' párfogásába ajánlani, ki is tel-
jes tisztelettel vagyok

A' Tekintetes Karoknak 's Rendeknek
Pozsony, januar. 7kén 1840.

alázatos szolgálja

Gróf Sztáray Albert.

1. Az első magyar gőzvontatású vasút jogi előkészítésének dokumentuma



für alle im Jahre 1857 pro-
jectirten Linien angewandt
und auch auf den Linien
Ragelhof-Ofen und Wj-
Krony. Stuhlweisensberg
angewendet.

Nach der Fusion dieser
Gesellschaft mit der Südb.
bahn-Gesellschaft wurde
mit Rücksicht auf die un-
günstigen Bahnenverhält-
nisse andern Bahnstrecken
ein neues Profil aufgestellt
welches die Fig. 4 darstellt.

Dieses Profil Fig. 4 un-
terscheidet sich vom Profil
Fig. 3 nur durch eine grö-
ßere Höhe welche durch Ver-
stärkung des Kopfes entstanden
ist und ist als das
Normalprofil der Südbahn-
Gesellschaft zu betrachten.
Es ist auch bei der Brei-
tenbahn (mit Stahlköpfen)
in Anwendung gekommen.

Die Schienen bestehen theils
aus Eisen theils aus Ei-
sen mit Köpfen aus Besse-
merstahl und theils ganz aus
Bessemerstahl.

Für das beschriebene Trag-
vermögen des beschriebenen
Schienenprofils kann nach-
stehende Tabelle dienen, wo
bei vorausgesetzt ist, daß

2. Sín-keresztmetszetrajz Rudolf Paulus 1867-ben megjelent művéből (az ún. Déli vasút építésénél használt sínről)

HUSZONÖT ÉVES A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA TELEPÜLÉSTUDOMÁNYI BIZOTTSÁGA

A Magyar Tudományos Akadémia Településtudományi Bizottsága fennállásának 25. évfordulója alkalmából 1976. november hó 16-án kibővített ünnepi ülést tartott az Akadémia székházának Képes Termében. Az ülésen a Településtudományi Bizottság tagjain kívül részt vettek a településtudomány és a társtudományok művelői, a szakma tudományos és tervező intézeteinek képviselői. PERÉNYI Irmének, a Bizottság elnökének megnyitó szavai, valamint BOGNÁR Géza akadémikus, osztályelnök üdvözlő levelének felolvasása után GRANASZTÓI Pál c. egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora, a Településtudományi Bizottság alapító tagja tartott előadást „A Településtudományi Bizottság negyedszázados tevékenysége, jövőbeli feladatai” címmel.

GRANASZTÓI Pál előadásának bevezető részében felidézte a Településtudományi Bizottság létrehozásának célját, megalakulásának jelentőségét, körülményeit. Ezt követően áttekintést adott a Bizottság negyedszázados működéséről. A Bizottság huszonöt éves működése során közel kétszáz kérdés megtárgyalását tűzte napirendre és alakította ki véleményét, állásfoglalását azokkal kapcsolatban. Véleményei, állásfoglalásai segítségül szolgáltak az építésügyi és városfejlesztési kormányzat számára a tudomány- és szakterületet érintő kérdésekben, a mindenkor aktuális feladatok megoldásában. A Bizottság munkája során rendszeresen foglalkozott a szakterület tudományok szervezeteinek problémáival, fejlesztésükkel kapcsolatos feladatokkal. Előadásának befejező részében a Bizottság jövőbeli feladatairól szólt. Különösen kiemelte a településtudományi kutatások hatékonysága javításának időszerűségét és fontosságát.

GRANASZTÓI Pál előadását követően több hozzászólásra került sor, melyek szervesen kapcsolódva az előadásban felvetett gondolatokhoz, megállapításokhoz a Településtudományi Bizottság negyedszázados tevékenységének, jövőbeli feladatainak különböző vonatkozásait érintették.

BORSOS József hozzászólásában az Akadémia más műszaki bizottságaival való együttműködés fontosságát és szükségességét hangsúlyozta. Példaként a Közlekedéstudományi Bizottsággal kialakult együttműködést említette. A környezetvédelmi problémák kapcsán külön szólt a Vízgazdálkodási Bizottsággal történő együttműködés feladatáról.

FARAGÓ Kálmán az alapfogalmak értelmezésében jelentkező problémákról szólva kiemelte, hogy ennek következtében bizonytalanná válik a településtudomány kapcsolata más tudományokkal. Felvetette a településtudomány művelésének, szervezettségének (szervezeti feltételeinek) kérdését: a településtudomány művelésének céljai tisztázatlanok, s ez a helyzet kedvezőtlenül befolyásolja a településtudomány művelésének feltételeit. A Bizottság munkájában újszerű módszerek alkalmazásának, a lehetőségek jobb hasznosításának szükségességét hangsúlyozta.

PERCZEL Károly javasolta, hogy a Bizottság jövőbeni munkája során részleteiben is foglalkozzék azokkal a kérdésekkel, melyeket GRANASZTÓI Pál előadásában felvetett, s a Bizottság tevékenysége hatékonyságának javítását hivatottak elősegíteni. Tudományos Tanács felállítására tett javaslatot a Településtudományi Bizottság, valamint a VÁTI és BUVÁTI képviselőinek részvételével.

PONGRÁCZ Pál a Településtudományi Bizottság tevékenységének szakmai értékeit, ennek társadalompolitikai szerepét, jelentőségét hangsúlyozta. Kiemelte a nemzetközi kapcsolatok jelentőségét a tudományterület fejlődésében. Nagyon fontos lenne, hogy a Bizottság még aktívabb szellemi irányítója legyen a tudományterület fejlődésének.

POGÁNY Frigyes méltatta a Településtudományi Bizottság negyedszázados munkáját. Hangsúlyozta a prognosztika jelentőségét a tudomány fejlődésében: szolt a minőség és különösen értékelésének problémáiról. A tervezésben nem mindig érvényesül az objektív tudományos megfontolás, illetve megfontoltság: jobban fel kellene lépni a szűklátókörűség ellen. Kiemelte az esztétikai nevelés szerepét, jelentőségét, a kollektív munka fontosságát az emberek tudatának formálásában, az új műveltség ideállal kapcsolatos követelmények érvényesülésében.

GRANASZTÓI Pál vitazáró összefoglalójában üdvözölte a hozzászólásokban elhangzott javaslatokat, észrevételeket, s azok részletes megvitatását a Bizottság részéről indokoltnak tartja. Kiemelte a kritika, különösen az önmagunkkal szembeni kritika fontosságát a tudományterület további fejlődése érdekében.

PERÉNYI Imre zárszavában köszönetet mondott GRANASZTÓI Pálnak átfogó, a Településtudományi Bizottság negyedszázados tevékenységét, jövőbeli feladatait tömören tár-

gyaló, nagyszerű felépítésű előadásáért. Megköszönte a hozzászólásokat, javaslatokat, melyek a Bizottság jövőbeli tevékenységének még eredményesebbé tételét segíthetik elő. Kérte a Bizottságot, bízza meg annak elnökét és titkárát, hogy az előadásban és a hozzászólásokban elhangzott javaslatokat építsék be a Bizottság közeli évekre vonatkozó munkaterveibe.

Köszegfalvi György

A „DINAMIKUSAN TERHELTE KÉPLÉKENY SZERKEZETEK ÉS KONTINUUMOK” CÍMŰ (EUROMECH 83) KOLLOKVIUMRÓL

Az 1976. november 1–3 között Mátrafüreden megrendezett nemzetközi kollokviumnak az volt a célja, hogy a résztvevők ismertessék a dinamikusan terhelte képlékeny szerkezetek és kontinuumok vizsgálata terén elért legújabb eredményeiket, egymásnak átadják tapasztalataikat és a viták során kialakítsák a tárgyalta téma legfontosabb kutatási irányait.

A kollokviumot az MTA erkölcsi és anyagi támogatásával és az MTA Műszaki Mechanikai Tanszéki Munkaközösség irányítása mellett szerveztük meg. A kollokvium elnöke KALISZKY Sándor, titkára POPPER György, pénzügyi felelőse NÉDLI Péter voltak.

A kollokviumon — a három kísérő személyt is beleértve — 12 országból 39 fő vett részt: Bulgária 1, Egyiptom 1, Finnország 1, Franciaország 2, Irak 1, Lengyelország 3, Magyarország 17 (+1), Nagy-Britannia 2, NDK 1 (+1), NSZK 1, Olaszország 3, USA 2 (+1).

A négy ülésen összesen 21 dolgozatot ismertettek. Ezen kívül három előadás egy-egy fontosabb témakörrel átfogó, tájékoztató képet nyújtott.

A dolgozatok többsége az impulzív és lökésszerű teherrel terhelte merev-képlékeny szerkezetek vizsgálatával foglalkozott és „alakközelítést”, extrémumtételeket, valamint numerikus és kísérleti módszereket alkalmazott a feladatok megoldására. Néhány előadás a nagy alakváltozások hatását és az anyag viszkózitását is figyelembe vette, mások viszont a beállítás és az optimális tervezés kérdéseit tárgyalták, illetve valószínűségelméleti alapon vizsgálták a dinamikai feladatokat. Végül több dolgozat foglalkozott szeizmikus problémákkal, járművek ütközésével, képlékeny kontinuumok dinamikai vizsgálatával és speciális anyagvizsgálati kérdésekkel.

Az MTA által nyújtott anyagi támogatás és a mátrafüredi üdülő rendelkezésre bocsátása lehetővé tette a kollokvium viszonylag alacsony részvételi díj mellett való megrendezését. Négy résztvevő (2 lengyel, 1 bolgár és 1 amerikai) a kollokvium vendége volt. Sajnos, a két meghívott szovjet vendég (prof. RZSANICÜN és KORENEV) nem érkezett meg.

A kollokvium szakmai és szervezési szempontból egyaránt sikeres volt. A külföldi résztvevők meggyőződhetnek a magyar kutatóknak a mechanika egyik speciális területén végzett eredményes tevékenységéről és közvetlenül is megismerkedtek hazánk társadalmi és gazdasági terén elért eredményeivel. Remélhető, hogy ezáltal a kollokvium hozzájárult a magyar mechanikai kutatás nemzetközi kapcsolatainak erősítéséhez.

A hazai kutatók a kollokviumon első kézből vehették át a külföldi kutatók legújabb eredményeit és nemzetközi tekintélyű tudósokkal vitathatták meg kutatási problémáikat. Az elég nagyszámú fiatal magyar résztvevőnek viszont lehetősége nyílt arra, hogy viszonylag igen kis anyagi áldozat árán részt vehessen egy nemzetközi kollokviumon, megismerkedhessenek az ilyen jellegű rendezvények légkörével és az általuk művelt szakterület legkiválóbb képviselőivel. Ez annál is inkább lényeges, mivel fiatal kutatóink nemzetközi kollokviumokon való részvételére és szereplésére egyébként igen szerény lehetőségek állnak rendelkezésre.

Dr. Kaliszky Sándor

AZ IUTAM 14. NEMZETKÖZI KONGRESSZUSA

DELFT (HOLLANDIA), 1976. AUGUSZTUS 30.—SZEPTEMBER 4.

„From Delft — to Delft”:

Az Applied Mechanics Reviews c. referáló folyóirat ezt a jelmondatot állította a kongresszuson rendezett, az eddigi ilyen kongresszusokról szóló kiállítására élére. Erre az adott alkalmat, hogy ugyanitt tartották 1924-ben, az elsőnek tekinthető ilyen nemzetközi tudományos találkozót.

A 14. Kongresszust a Holland Királyi Mérnökegyet Mechanikai Szakosztálya szervezte az IUTAM Kongresszusi Bizottsága és a Helyi Szervező Bizottság vezetésével a Delfti Mű-

egyetemen. A Nevelésügyi és Tudományos Minisztérium, a Delfti Műegyetem és számos ipari intézmény adott anyagi és erkölcsi támogatást hozzá.

A résztvevőket Delftben, Amsterdamban, Rotterdamban és Hágában szállásolták el.

A világ sok tájáról kb. ezer személy vett részt a Kongresszuson.

Az IUTAM kongresszusokon bevált szokás szerint az előzetes felhívásra beküldött dolgozatokból az erre a célra alakított nemzetközi bizottság választotta ki az előadásra elfogadottakat.

A programba 272 előadást vettek fel. Az előadásokat 60 szekcióba osztva adták elő. Hozzászólásra és vitára közvetlenül az érintett előadás után, az illetékes szekció aznapi lezárása előtt is volt lehetőség.

Az előadott témák összességükben igen széles spektrumot öleltek fel, köztük az egyre fokozódó jelentőségű (a fizika más ágaival vagy a matematika egyes fejezeteivel határos) határterületi témákkal.

Sok előadást olyan terjedelmű számpéldával kísérték, ami tekintélyes számítógépi idő felhasználásával készült.

Minden szempontból jól sikerültnek minősíthető a szervező munka. A Delfti Műegyetem valamennyi, a Kongresszus által használt helyiségében technikailag magasszintű kiszolgálásban részesültek a jelenlevők. Az előadások és viták tervezett tartamait nagy pontossággal tartották be.

Magyar részről hat személy vett részt a Kongresszuson, ezek közül ketten tartottak előadást; szereplésük kedvező fogadtatásra talált. A hazai résztvevők a vitákba való bekapcsolódással, kapcsolatfelvétellel, illetve -ápolással is igyekeztek hasznosítani részvételüket.

A Kongresszussal párhuzamosan ülésezett az IUTAM Közgyűlése; ezen hazánk is képviseltette magát. Itt megválasztották az IUTAM új tisztségviselőit; elnök F. NIORDSON, az eddigi főtitkár lett. Az ugyancsak ülést tartó Kongresszusi Bizottság a legközelebbi nemzetközi IUTAM Kongresszus színhelyéül Torontót jelölte ki.

A Kongresszussal egyidőben — a már említetten kívül — tudományos könyvkiállítást is rendeztek.

A Kongresszusi Közlemények 1977 elején kerülnek könyvtvárosi forgalomba.

Dr. Bosznay Ádám

KÖNYVSZEMLE

Hevesi Gyula:

TANULMÁNYOK

Akadémiai Kiadó, Budapest 1976

Ennek a gyűjteményes munkának a kiadásával az Akadémiai Kiadó és a kötet szerkesztői HEVESI Gyulát, a tudóst és a közéleti embert kívánják bemutatni. A tanulmánykötet válogatás egy hosszú és különleges életműből. HEVESI Gyula 1880-ban született. 1912-ben szerzett vegyészmérnöki diplomát. Kutatómérnökként az Egyesült Izzóban kezdte első sikereiben gazdag pályáját. Jelentős eredményeket ért el akkoriban a gáztöltésű izzólámpagyártásban és más vákuumtechnikai témákban.

HEVESI Gyula már a magyar proletárforradalom előkészítésének idején felismerte a kommunista mérnökök feladatait és kötelességeit: az alkotó mérnök nemcsak a műszaki és természettudományok művelésével vezeti a termelést és hoz létre újat, ezeket a tudományokat nemcsak elvontan műveli, hanem a realitásokkal szoros kapcsolatban, különösen pedig a gazdasági lehetőségek figyelembevételével. HEVESI Gyula antiimperialista mérnök-forradalmár. A Tanácsköztársaság idején népbiztos. Később részese a Szovjetunió gazdasági fellendülésének. A Felszabadulás után a modern iparszervezési kutatások hazai kezdeményezője. Az újjászülető Magyar Tudományos Akadémia egyik szervezője: előbb mint a Műszaki Tudományok Osztályának titkára, majd 1957 és 1960 között akadémiai titkár, 1960-tól 1970-ig pedig az MTA egyik alelnöke.

HEVESI Gyula életútját mindvégig a tudománynak és a technikának a tudományos szervezéssel alátámasztott ipari alkalmazása jellemezte a forradalmi társadalmi átalakulás és felemelkedés érdekében. A tanulmány kötetben megjelent írásai is mind erről szólnak.

A kötet első írásai az 1919 nyarán megjelent tanulmányok. Ezeket később írott újságcikkek, továbbá folyóiratokban és szaklapokban megjelent írások és néhány csak kéziratban megjelent tanulmány követik.

HEVESI Gyula cselekvő részese, formálója volt kora társadalmi változásainak. Célja mindig az volt, hogy közel hozza a természettudományt a szocialista forradalom gondolatához. Ezért művelte a természettudományoknak azokat az ágazatait, amelyek a műszaki tudományt a szocialista átalakulás szolgálatába állítják. Életműve bizonyítéka annak, hogy a közgazdasági tudományoknak a szocialista átalakulásokat elősegítő művelésében mennyire fontos a műszaki gondolkodás.

Sokat foglalkoztatta a kutatás és az oktatás helyzete is. Elképzeléseit, terveit mindig a gyakorlati élet, a fejlődés szabályai határozták meg. A Szovjetunióban töltött évtizedeiben még kezdeményezője a gyári mérnökképzésnek. 1960-ban már — felismerve a hazai szükség-szerűségeket és lehetőségeket — központi jelentőségűnek tartja az egyetemek kutatási bázissá fejlesztését.

Amikor világszerte a rohamosan bővülő új ismereteket igyekeztek beleépíteni a tananyagokba, törekedtek a specialisták képzésére, ő a mélyreható alapozást, az általános alapelvek és alaplómódszerek elsajátítását tartotta fontosnak, az egyetemeken a szakosodásnak csak a kezdeteit látta indokoltnak.

A gyűjteményes kötetben megtalálható több történeti értékű visszaemlékezés, elemző, történelmi tanulságokat feltáró írás is.

Ez a könyv méltó emléket állít HEVESI Gyulának, a tudósnek, a közélet fáradhatatlan harcosának. Köszönet illeti a kötet szerkesztőit, BOGNÁR Géza akadémikust, a szerkesztő bizottság elnökét, FRISS István, MAJOR Máté valamint az időközben elhunyt BENEDIKT Ottó és KORACH Mór akadémikust. Az Akadémiai Kiadó gondosan kivitelezett munkával járult hozzá a könyv méltó sikeréhez.

Dr. Csáki Frigyes

Kézdi Árpád:

FRAGEN DER BODENPHYSIK

Akadémiai Kiadó, Budapest 1976. 148 oldal, 215 fénykép és ábra, 6 táblázat

A könyv — melynek angol és spanyol nyelvű kiadása is folyamatban van — a nemzetközi hírű szerző széles körű munkásságának egyik kiemelkedő kutatási területét, a talajfizikát érintő alapvető kérdéseket tárgyalja.

A Bevezetőt követő *első fejezet* a szemcsehalmazok néhány fizikai tulajdonságával foglalkozik, nevezetesen a póruseloszlással, a keveréktalajok tulajdonságaival és a tömöríthetőséggel. Az elsőként említett témában a szerző kísérleti eljárást mutat be a pórusok méreteinek és alakjának meghatározására; ennek alapján eloszlásfüggvényeket szerkeszt, vizsgálva a tömörítés során bekövetkező változásokat. A keveréktalajokra osztályozási rendszert állít fel, módszert dolgozva ki a kritikus adalékmennyiség meghatározására. A fejezet harmadik témáját az átmeneti talajok néhány alapvető sajátossága, elsősorban a tömöríthetőség képezi.

A *második fejezet* a homokok és átmeneti talajok szilárdságával, a kötött talajok húzószilárdságával, valamint a merev törés esetével foglalkozik, érintve az agyagok nyírószilárdságának kérdését is. Ebből a fejezetből újszerűségükkel a következő témák tűnnek ki: a homokok nyírószilárdsága és szemeloszlása közötti összefüggés, az átmeneti talajok egyirányú nyomószilárdságának változása a fázisos összetétellel, a húzó- és nyomószilárdság közötti kapcsolat.

A *harmadik fejezet* a fázismozgás különböző eseteit tárgyalja. Az átteresztőképesség kérdéseit elemezte a szerző részletesen foglalkozik a finom szemcsék mennyiségének hatásával, valamint egy eddig eléggé elhanyagolt jellemzővel, a légáteresztőképességgel. Laboratóriumi kísérletek alapján számos új megállapításra jut a hidraulikus talajtörés kérdésében, melyek közül különösen a tömörségnek a folyamat közbeni változására és a vízmozgás turbulens volta, illetve ezek szerepére vonatkozó megfigyelései figyelemre méltóak. A szuffúzióval és erózióval foglalkozó alfejezet nemcsak a jelenségek egyértelmű osztályozásával, hanem a szerző által definiált „önszűrés” részletes elemzésével és kvantitatív leírásával is kitűnik.

Túlzás nélkül állíthatjuk, hogy a könyv egyik legérdekesebb és legértékesebb része — rendhagyó módon — a 15 oldal terjedelmű *Bevezető*. Ebben foglalja össze a szerző a korszerű talajfizikáról alkotott koncepcióit, részletesen elemezve a fejlődés menetét és várható irányzatait. Itt bizonyítja be, hogy a régi feltételezések, az elméletek alapját képező modellek elavultak. A soron következő feladat olyan új modellek megalkotása, amelyek egységes rendszert alkotnak, és alapját képezik egy új, általános érvényű talajfizikának. (Ez a szemléleti átalakulás már néhány éve megindult, és ebben nem kis része van Kézdi professzornak is.) A Bevezetőben definiálja a szerző — többek között — az átmeneti talaj fogalmát és főbb jellemzőit, a fázismozgást és különböző megjelenési formáit, és osztályozza a talajfizika kérdés-csoportjait.

A könyv mind elméleti, mind gyakorlati szempontból jelentős. Megállapításainak egy része kiforrott és részletesen alátámasztott eredményként jelenik meg, más része olyan alaputatásnak tekinthető, amely a szerző iránymutató koncepcióit elfogadva továbbfejleszhető lesz. Az anyag megértését, a módszerek elsajátítását nagyon megkönnyíti az elméleti megállapításokat alátámasztó kísérletek részletes leírása, valamint a nagyszámú ábra.

A könyv ízléses, szakszerű kiállítása az Akadémiai Kiadó érdeme.

Dr. Rétháti László

Kozák Miklós:

A SZABADFELSZÍNŰ NEMPERMANENS VÍZMOZGÁSOK SZÁMÍTÁSA

Akadémiai Kiadó, 1977, 410 oldal

A könyv a szabadfelszínű nempermanens vízmozgások elméletével (I. rész) és gyakorlati számításával (II. rész) foglalkozik.

A szerző témaválasztása rendkívül időszerű, hiszen a természetben előforduló vízmozgások többsége időben változó, vagyis nempermanens. A vízepítőmérnöki gyakorlatban igen sok olyan feladat van, melyeknél a vízmozgás időben változó jellegének figyelembevétele elengedhetetlen. Ilyenek pl. a vizek összegyülekezése a vízgyűjtőterületen; árhullámok levonulása és előrejelzésük lehetősége; tavak, tározók vízháztartási egyensúlyának vizsgálata; csa-

tornákban és folyókban kialakuló nempermanens áramlások számítása, továbbá folyami víz-lepcsők és csúcserőművek napi szabályozása; a hajózás feltételeinek tervszerű biztosítása; öntöző csatornahálózatok bonyolult, szabályozott üzemének tervszerű üzemeltetése; árapasztó és vízszintszabályozó műtárgyak üzemi próbái stb. Valamennyi felsorolt esetben felmerülhet olyan általános hidraulikai számítások elvégzésének szükségessége, melynek célja a rendszer fontosabb hidraulikai-műszaki jellemzőinek meghatározása a jelenség teljes időtartama alatt. Ezeket a számításokat a nempermanens áramlások elméletével tudjuk elvégezni.

A könyv az ilyen feladatok megoldásához nyújt elméleti alapokat és számos feladathoz pedig gyakorlati útmutatást.

A könyv első részében szerző a probléma elméleti alapjait fekteti le, melyhez részletesen feldolgozta a világirodalmat, hozzáadva saját kutatási eredményeit, különösen az összetett medrekben kialakuló nempermanens vízmozgások számítására vonatkozóan. A szerző érdeme az egyszerűség, a közérthetőség és a tiszta, világos fogalmazás. Igen helyesen, inkább a mérnöki, hidraulikai gondolkodást helyezi előtérbe a közérthetőség érdekében. A nagyon gazdag irodalmi anyagot helyesen vette figyelembe és dolgozta fel, és döntően arra törekedett, hogy az egydimenziós áramlások számítástechnikájához adjon jól használható elméleti alapokat.

A könyvnek külön érdeme a téma számos részletének (árhullámok számítása, kiegészítő felszíni esés, karakterisztikák elmélete, komplex tározók és csatornarendszerek és összetett szelvényű medrek, gátszakadások számítása, méretezése stb.) továbbfejlesztése és különösen a gyakorlati feladatok széleskörű megoldása.

A könyv második részében a szerző kizárólag gyakorlati feladatokat old meg, melyekhez komplett programlistákat mellékel FORTRAN-IV. nyelven.

A szakemberek előtt ui. közzismert, hogy a szabadfelszíni nempermanens vízmozgások — gyakorlatilag — csak digitális számítógéppel számíthatók. Ezért, a szerző valamennyi fontosabb számítási eljáráshoz teljes FORTRAN IV. nyelvű matematikai programot adott. A programok szubrutin rendszerben készültek és így — megfelelően összeválogatva — igen sok feladat megoldására alkalmasak. A programok megértését részletes leírások és mintapéldák segítik elő.

A szubrutin rendszerre épülő számítások lényege, hogy a nempermanens áramlások számításának egy-egy fázisát (szelvényjellemzők, egyenletállandók, szakaszjellemzők, kezdeti és határfeltételek stb. számítása) egy-egy önálló algoritmus csoportba, majd ezt FORTRAN nyelvű szubrutinokba foglalta. És ezzel a szerző egy új utat jelölt ki a hidraulikában: a nempermanens vízmozgások számításának standardizálását, a számítások egyszerűsítését, gépesítését. A szerző önzetlenségét bizonyítja, hogy a könyvben számos olyan teljes, lemásolható program van, amelyet ma számos helyen még hivatali titokként kezelnek.

Az ilyen részletes, lemásolással azonnal felhasználható programoknak könyvszerű közzététele ma még szokatlan. Szerző azonban ezzel is elő akarta segíteni számos hidraulikai feladatnak számítógépes megoldását és a programozási kultúra gyorsabb terjedését.

A könyv a hidraulikai számításokat tekintve hézagpótló. Kutatók és gyakorló mérnökök egyaránt használhatják. Kozák Miklós könyvének külön érdeme, hogy oktatási célokra is felhasználható.

Dr. Bogárdi János

M. Herpy:

ANALOGE INTEGRIERTE SCHALTUNGEN

535 oldal, 373 ábra, tárgymutató, irodalomjegyzék

Az integrált áramkörök megjelenését és elterjedését a digitális technika serkentette, hogy egyszerű logikai feladatot ellátó és sokszor ismétlődő elemi áramkörei olcsón, nagy biztonsággal, nagy tömegben hozzáférhetővé váljanak. A szilícium kristályban, egyazon művelet-sorozattal előállított elektronikai eszközök paramétereinek folyamatos javulása hamarosan lehetővé tette analóg működésű integrált áramkörök előállítását is, amelyek megjelenése az analóg technikában éppen olyan forradalmat eredményezett, ami korábban a digitális integrált áramkörök hihetetlen mértékű elterjedését eredményezte.

Az új és egyre jobb paraméterekkel rendelkező típusokkal bővülő műveleti erősítő család és az analóg szorzó voltak az első olyan áramkörök, amelyek hatására az analóg technikában is elterjedt a nem eszközökben, hanem áramköri egységekben gondolkozó rendszertervezés.

HERPY M. könyve ebbe az új szemléletbe való bekapcsolódást segíti. A szerző az első fejezetekben összefoglalja mindazt, amit a monolitikus integrált áramkörök aktív és passzív áramköri elemeiről, felépítésükről, technológiájukról tudni kell annak, aki jó eredménnyel kívánja alkalmazni az új rendszertechnikai elemeket. Összegyűjti a hálózatelmélet, a tranzisztor-elektronika idevágó eredményeit, majd érzékletesen felépíti és analizálja a kapcsolási elemeket, amelyekből összeáll az egykristály belsejébe zárt áramkör. Részletesen foglalkozik a differenciálerősítővel, amelynek tulajdonságai alapvetően átvethetők a teljes áramkör paramétereire. Igen körültekintően tárgyalja a jellegében különböző feladatok megoldására tervezett műveleti erősítő típusait, ismerteti felépítésüket, adataikat és az alkalmazásukkal kapcsolatos sajátos jellemzőiket.

A könyv műveleti erősítőkkel foglalkozó részének két központi fejezete az alkalmazások széles körét mutatja, mit és hogyan lehet egy vagy több műveleti erősítővel — és további kiegészítő diszkrét áramköri elemek felhasználásával — megvalósítani. Sorra veszi a feszültség-erősítő kapcsolódásokat, kivonó áramköröket, elektronikai áramgenerátorokat, majd az analóg számítástechnika alapáramköreit: az integrátort, a differenciáló kapcsolást, a logaritmikusság és exponenciális feszültségátalakítót. A mintavevő, az analóg komparátor, a műveleti erősítés oszcillátor és hullámforma generátorok, mint olyan áramkörök ismertetése zárja az első alkalmazási fejezetet, amelyek be- és kimeneti jele között nincs folytonos összefüggés, arányosság.

Külön fejezet foglalkozik az aktív RC szűrőkkel, amelyek alkalmazása nagyban felendült az integrált műveleti erősítők megjelenésével. Az alaptípusok összefoglaló bemutatásán túlmenően sikerült táblázatok találhatók a könyvben magasabb fokszámú szűrők alaptagokból való felépítésének megkönnyítésére.

Az analóg szorzó, amely rendszertechnikailag — ha elterjedtségben nem is — összemérhető fontosságú a műveleti erősítővel, jellegzetes integrált áramköri termék. Az együtt készített tranzisztorok jó illeszkedése szokatlanul pontos működést eredményez, így eredményesen alkalmazható számos területen, mint az analóg szorzás, osztás, hatványozás és gyökvonás, effektív érték mérése, amplitúdó moduláció, továbbá a kettős vezérlésből adódó egyéb alkalmazásoknál, mint amilyenek az elektronikus hangolható szűrő, hullámformagenerátor stb. Ezek bemutatásával foglalkozó fejezet zárja a könyv szorzókkal foglalkozó részét, miután megismerkedett az olvasó az áramkörök belső felépítésével, működésével, a hibák analizálásával és kompenzálásának módszereivel.

Számos példakapcsolás bemutatása szolgál az alkalmazások begyakorlására, itt a kapcsolási elemek értékkel szerepelnek. Célja a szerzőnek ezek felhasználásán túlmenően az önálló tervezőkészség kialakítása és ehhez pedagógiailag jó alapot ad azoknak, akik az elektronikai áramkörök tervezéséhez szükséges alaptudással rendelkeznek. Aki alkalmazási példaként, kézikönyvként kívánja a könyvet forgatni, lényeges többletinformációt kap, még akkor is, ha integrált áramkörgyártók igen részletes alkalmazási gyűjteményeit forgatva dolgozott eddig is.

Dr. Házman István

HELYREIGAZÍTÁS

A *Műszaki Tudomány* 51. kötetének 350. oldalán a 4.24. sz. táblázat első oszlopának szövege az alábbiak szerint helyesbítendő:

Téves szöveg	Helyes szöveg
Külföld	Hazai termelés
MNK	hazai felhasználás (termelés + import)

1828—1978
MEGJELENT
AZ AKADÉMIAI KÖNYVKIADÁS
150. ÉVÉBEN

Printed in Hungary

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Sándor István

A kézirat nyomdába érkezett: 1977. V. 13.. — Terjedelem: 24,5 (A/5) fv

78.4519 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György

Megjelent: 1977. VI. 24.

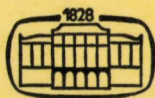
Index: 25.499
ISSN 0375-9423

MŰSZAKI TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

53. KÖTET
3-4. SZÁM



AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1977

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.

BÖLCSKEI ELEMÉR

1917—1977

Pótolhatatlan veszteség érte a magyar tudományt: Bölcskei Elemér akadémikus, a Budapesti Műszaki Egyetem Vasbetonszerkezetek Tanszékének vezető tanára, nagyszabású mérnöki létesítmények tervezője 1977. június 16-án örökre eltávozott körünkből.

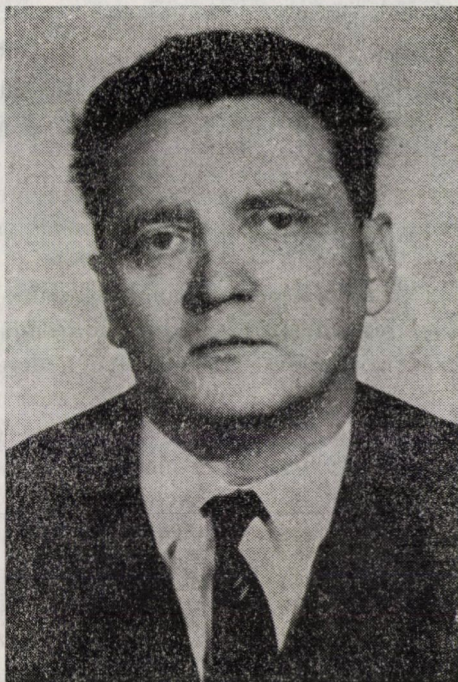
Bölcskei Elemér 1917. november 17-én Pestszentlőrincen született. Középiskolai tanulmányait Budapesten az Állami Kölcsey Ferenc reálgimnáziumban végezte, majd a budapesti József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem mérnöki fakultására iratkozott be, ahol 1940-ben mérnöki oklevelet szerzett.

Még egyetemi tanulmányainak befejezése előtt MENYHÁRD István tervező mérnöki irodájában helyezkedett el, ahol nyolc éven át volt alkalma megismerni és elsajátítani kiváló mesterének különleges képességeit. Az itt eltöltött évek egész életére kiható biztos irányt szabtak mérnöki munkásságának.

1947-ben önálló mérnöki irodát nyitott, majd 1948-ban az Építéstudományi és Tervező Intézet szolgálatába lépett. Innen az ÁMTI-ba került, majd annak átszervezése után előbb a MÉLYÉPTERV, később az UVATERV kebelében dolgozott mint a Hídosztály vezetője.

Az 1955. esztendő életében komoly fordulatot jelentett. Ekkor nevezték ki a műegyetem II. Hídépítési Tanszékén egyetemi docenssé. Itt bő alkalma nyílt értékes tervezőmérnöki tapasztalatait az egyetemi oktatás területén is gyümölcsöztetni. 1956-ban megszerezte a műszaki tudományok kandidátusa, majd 1960-ban a műszaki tudományok doktora tudományos fokozatot.

1961-ben a Művelődési Minisztérium Felsőoktatási Főosztályára helyezték át, majd még ugyanebben az esztendőben a műegyetem II. Hídépítéstani Tanszékén egyetemi tanárrá nevezték ki. 1963 óta mint a Vasbetonszerkezetek Tanszék vezetője fejtett ki értékes tanári tevékenységet.



Tudományos munkássága igen sokrétű volt. Számos dolgozata foglalkozott a hídépítés különböző kérdéseivel. Behatóan tanulmányozta és új megvilágításba helyezte a nyomott rúd kihajlásának problémáját. Több dolgozatban foglalkozott a héjszerkezeteknek alapozásként való alkalmazásával, a szilárdtestek reológiai viselkedésével, újfajta héjszerkezetek kialakításával. Külön is megemlítendő a vasbetonszerkezetek egész körét felölelő — társszerzőkkel írt — ötkötetes *Vasbetonszerkezetek* című könyve, amely nemcsak mint tankönyv, de mint szakkönyv is műszaki irodalmunk jeles terméke.

Tudományos tevékenységének legkiemelkedőbb eredménye a membránhéjak alakváltozását leíró másodrendű parciális differenciálegyenlet felállítása, majd az általános héjelméletnek derékszögű koordinátákkal történő tárgyalása volt. Ezek a munkái nemzetközi szinten is élénk figyelmet keltettek.

Értékes tudományos tevékenysége elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1967-ben levelező tagjává választotta.

Tudományos munkásságán kívül mint tervezőmérnök is sokrétű tevékenységet fejtett ki. Több hidunk újjáépítésében vett részt és különféle újszerű szerkezeti megoldásokat vezetett be. Ő tervezte hazánkban az első V-lábú vasbetonhidat, valamint az első feszített vasbetonhidat. Az ő tervei szerint készült hazánk legnagyobb feszítávolságú vasbetonhídja, a közel 100 m nyílású varasdi völgyhíd is. Nevezetes alkotása az előregyártott elemekkel épített ötnyílású Bolond-úti vasbeton gerendahíd. Nevéhez fűződik Európa legelső könnyűfém szerkezetű hidjának, a szabadszállási alumínium hídnak a tervezése.

Élénken vett részt a mérnöki közéletben. Számos tudományos testületben viselt tisztségeket. Tagja volt a Művelődési Minisztérium Tudományos Tanácsának, elnöke a TMB Építéstudományi Közlekedési Szakbizottságának, a Műszaki Mechanikai Bizottságnak, az Ass. Int. des Ponts et Charpentes magyar nemzeti bizottságának, az MSzH Statika, Méretezés Szakbizottságának, vezetője volt az Igazságügyi Bizottság építőmérnöki albizottságának, szerkesztő bizottsági tagja az MTA Műszaki Tudományok Osztálya két szakfolyóiratának: a Műszaki Tudománynak és az Acta Technicának.

Tevékenyen részt vállalt a hazai szabályzat alkotási munkában is. Az ő vezetésével kerültek kidolgozásra a félvalószínűségeen alapuló méretezés alapelvei, az építmények teherhordó szerkezeteinek tervezésére vonatkozó szabványok és a bauxitbeton építmények felülvizsgálatára kiadott irányelvek.

Munkásságát a Kormányzat az Élmunkás, a Kiváló munkás, a Közlekedés Kiváló dolgozója, az Oktatás Kiváló dolgozója, az Építésügy Kiváló dolgozója címek adományozásával tüntette ki.

Sajnos, hosszú éveken át terhes, egyre súlyosbodó betegség gyötörte. Hihetetlen akaraterővel vette fel a harcot, küzdött az alattomos betegség ellen, és élete utolsó percéig tevékenyen dolgozott. De hiába volt a hősiesség küzdelem, hiába az orvostudomány minden próbálkozása, a család és a tisztelők aggódó

szeretete, a betegség bizonyult erősebbnek: el kellett hagynia őrhelyét, melyen az utolsó percig, még halálos ágyán is a mérnöki tudományok felvirágoztatásán fáradozott.

BÖLCSKEI Elemér örökre eltávozott körünkből, de küzdelmes életének nemes példája továbbra is elevenen él lelkünkben.

Csonka Pál

Bölcskei Elemér tudományos munkássága

1. Olaszország útügye a világháború után. *Technika* (1946), 146—47
2. A szabadszállási alumíniumhíd. *Mélyépitéstudományi Szemle* 1 (1951), 202—208
3. „V” lábú szerkezetek. *Mélyépitéstudományi Szemle* 1 (1951), 342—347
4. Hozzászólás Haviár Győző: „A Szabadszállási alumíniumhíd építésénél szerzett tapasztalatok” c. előadáshoz *MTA VI. Oszl. Közl.* 6 (1953), 279—280
5. Aljuminijevűj moszt v Szabadszállás. *Acta Techn. Hung.* 5 (1952), 163—182 (Társszerző: Haviár Gy.)
6. Poutres sur pieds en “V”. *Acta Techn. Hung.* 4 (1952), 155—168
7. Vastartóval együtt dolgozó vasbeton lemezszerkezetek. *Magyar Építőipar* 1 (1952), 285—288
8. Előrefeszített vasbetonpallós hídszerkezetek. *Mélyépitéstudományi Szemle* 2 (1952), 456—462. (Társszerző: Petur A.)
9. Nagyszilárdságú acélkábel vonórúd. *Mélyépitéstudományi Szemle* 2 (1952), 527—531
10. Előrefeszített betonhidak. *Mérnöki Továbbképző Intézet* M. 28, Budapest 1952
11. Előregyártott vasbeton hídszerkezetek. *Mérnöki Továbbképző Intézet*, M. 28—IV. Budapest 1952
12. Deformation des voiles minces. *Acta Techn. Hung.* 5 (1952), 489—506
13. Előregyártott vasbeton hídszerkezetek. *Mélyépitéstudományi Szemle* 3 (1953), 69—77
14. Membránhéjak alakváltozása. *Magyar Építőipar* 2 (1953), 93—100
15. Két pontra felfüggesztett egyenes tengelyű rúd stabilitása. *Mélyépitéstudományi Szemle* 3 (1953), 433—437
16. Ferdelábú kerethidak. *Mélyépitéstudományi Szemle* 3 (1953), 488—491
17. Előrefeszített hídszerkezetek. Fejezet Böröcz Imre: „Feszített betonszerkezetek” c. könyvében. Közlekedési Kiadó, Budapest 1953, II. kötet, 5—28
18. Legnagyobb hazai ivhidunk tervezése. *Mélyépitéstudományi Szemle*, 4 (1954), 119—130
19. Die Stabilität des an zwei Punkten aufgehängten geraden Balkens. *Acta Techn. Hung.* 8 (1954), 243—256
20. Teherhordó szerkezetek tervezésére vonatkozó előírások alapelveiről. *Mélyépitéstudományi Szemle* 4 (1954), 443—453
21. A Keleti Főcsatorna Közúti hídjai. *Közlekedési Építő* (1954), 172, 189—190
22. An Aluminium Bridge in Hungary. *Light-Metals* (1955), 106—110 (Társszerző: Haviár Gy.)
23. Aluminiumbrücke in Szabadszállás (Ungarn). *Bauplanung-Bautechnik* 9 (1955), 191—197
24. Hozzászólás Garai Tamás „Statikai fogalmak egységes megnevezéséről és meghatározásáról” c. cikkhez. *Mélyépitéstudományi Szemle* 5 (1955), 313—314
25. Rugalmas anyagú nyomott rúd határteherbírása. *Mélyépitéstudományi Szemle*, 5 (1955), 365—369
26. A nyomott rúd határteherbírása. *Magyar Építőipar* 4 (1955), 432—436
27. A nyomott rúd határteherbírásának kiszámításáról. *MTA VI. Oszl. Közl.* 19 (1956), 177—188
28. Külponatosan nyomott négyszögkeresztmetszetű farúd határteherbírásának kiszámítása. *Műszaki Közlemények Mélyépterv* 5. sz. (1955), 3—19
29. A nyomott rúd határteherbírásának kiszámításáról. Előadás az MTA Építési Kongresszusán, 1955. okt. 1.
30. A nyomott rúd teherbírása. *Uvatero Műszaki Fejlesztés* S. 26 (1955)
31. Limit Load Capacity of the Compression Bar. *Acta Techn. Hung.* 15 (1956), 19—36
32. Limit Design of Compressed Bars. *Acta Techn. Hung.* 14 (1956), 377—400
33. V-shaped Frames for Supporting Bridges. *Concrete and Constructional Engineering* 60 (1956), 463—469
34. High-tensile Steel Cable Tie-roads. *Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Közleményei* (1957), 23—39

35. The Limit Load Carrying Capacity of Compression Bar Made of Perfectly Plastic Materials *Acta Techn. Hung.* 17 (1957), 3—24
36. Újszerű hídfők. *Mélyépítéstudományi Szemle* 7 (1957), 355—359
37. New-type Abutments of Bridges. *Acta Techn. Hung.* 22 (1958), 135—148
38. A bauxitbeton építményekről. *Magyar Építőipar* 7 (1958), (Társszerző: Szalai K.)
39. Alapozási héjszerkezetek. *Mélyépítéstudományi Szemle* 9 (1959), 72—73
40. Alapozási héjszerkezetek. *Műszaki Élet* (1959)
41. Hajlított héjak általános elmélete. *Magyar Építőipar* 8 (1959), 494—504
42. Nouveaux types de culées de ponts. *Béton Armé* N° 20 (1959), 33—38
43. Vasbetonhidak. Műszaki Kiadó, Budapest 1959. (Társszerzők: Csabai—Láng—Miticzky)
44. Vasbeton hídszerkezetek. Fejezet a *Mérnöki Kézikönyv* III. kötetében. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1959. 1123—1172
45. Application of Shell Structures for Foundations. *Acta Techn. Hung.* 23 (1960), 199—208
46. Tartószerkezetek. Pelikán J. könyvének ismertetése és bírálata. *Felsőoktatási Szemle* 9 (1960), 502—504
47. Kissüllyedésű alapok. *Mélyépítéstudományi Szemle* 10 (1960), 166—171
48. Hajlított héjak általános elmélete. *Magyar Építőipar* 9 (1960), 511—514
49. Vasbetonszerkezetek elmélete, méretezése és szerkezeti kialakítása. Gyengő T.—Menyhárd I. könyvének ismertetése és bírálata. *Mélyépítéstudományi Szemle* 10 (1960), 527—528
50. Allgemeine Theorie der gekrümmten Schalen. *Acta Techn. Hung.* 31 (1960), 391—428
51. Theorie der allgemein gekrümmten Schalen. *IVBH* (1960), 19—42
52. Csonkakúp héjalapok tervezése. *ÉTI Tudományos Közlemények* 22 (Társszerzők: Brajannisz T.—Kaliszky S.)
53. Foundations with Small Settlement. *Acta Techn. Hung.* 33 (1961) 179—194 (Társszerző: Domján I.)
54. Lapos héjak elmélete és gyakorlati alkalmazása. *Az ÉKME Tudományos Közleményei* 6 (1960)
55. Szilárdtestek alapvető reológiai tulajdonságairól. *Építés- és Építéstudományi Közlemények* 5 (1961), 3—27
56. Über die grundlegenden rheologischen Eigenschaften der Festkörper. *Acta Techn. Hung.* 34 (1961), 369—401
57. Alumíniumszerkezetek. Műszaki Kiadó, Budapest 1962. (Társszerzők: Buray Z.—Csellár Ö.—Domony A.)
58. Statical Problems of Compression Members. *ÉKME Tudományos Közlemények* 9 (1963) (292—310)
59. Ágas tartók. *Mélyépítéstudományi Szemle* 13 (1963), 16—21
60. A nyomott rúd statikai kérdései. *MTA VI. Oszt. Közl.* 34 (1964), 107—125
61. Térbeli ágas tartók. *Mélyépítéstudományi Szemle* 13 (1963), 489—491
62. Stavebné Konstrukcie z hlinika SVTL. Bratislava 1963, 260 o. (Társszerzők: Buray Z.—Csellár Ö.—Domony A.)
63. Vasbetonépítéstan. Feszített betonszerkezetek. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1963. (Társszerző: Tassi G.)
64. Vasbetonépítéstan. Feszített tartók számítása. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1964, 120 o. (Társszerzők: Tassi G.—Klatsmányi T.)
65. Szerkezettervezés. Egyetemi jegyzet 1965. (Társszerző: Juhász B.)
66. Epoxi-beton. *Mélyépítéstudományi Szemle* 15 (1965), 277—288 (Társszerző: Klatsmányi T.)
67. Vasbetonépítéstan. Hídszerkezetek számítása. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó. (Társszerzők: Szerémi L.—Klatsmányi T.)
68. Vasbetonszerkezetek. I. Lemezes szerkezetek, bunkerek, silók. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1965. (Társszerző: Orosz Á.)
69. Vasbetonépítéstan. Általános hídépítés. Vasbeton hidak. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1964.
70. Vasbetonszerkezetek. II. Héjszerkezetek elmélete. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1966. (Társszerző: Orosz Á.)
71. Hídépítéstan. I. rész. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1966. (Társszerző: Klatsmányi T.)
72. A vasbetonépítés újabb eredményei. *Magyar Építőipar* 15 (1966), 365—372 (MTI előadás)
73. A bauxitcementről és a bauxitbetonról általában. MTKI előadás és kiadvány 1966, 26 o.
74. Vasbeton adótoronyok. MTKI előadás és kiadvány 1966, 28 o.
75. Alumínium poradnik. *Rozdzial* 20, *Obliczenia na naprezenia graniczne (przyklady)* c. fejezete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1967, 917—924
76. A vasbetonszerkezetek oktatása az Építőmérnöki Karon. *Magyar Építőipar* 16 (1967), 506—510

77. A bauxitbeton építményekről. *Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények* 11 (1967) 3—17
78. Hídépítéstan II. rész. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest 1967, 310 o. (Társ-szerzők: Szépe F.—Klatsmányi T.)
79. Vasbetonszerkezetek III. Folyadéktartályok. Különleges vasbetonszerkezetek. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967, 128 o. (Társ-szerző: Orosz Á.)
80. V. tervek. Kiegészítés a Vasbetonépítéstan, Hídszerkezetek számítása c. egyetemi jegy-zetthez (Társ-szerzők: Szerémi L.—Klatsmányi T.)
81. A szovjet tudomány főbb eredményei a mérnöki szerkezettan területén. MTA VI. Oszt. Közl. 39 (1967), 41—49. (Társ-szerző: Csonka P.)
82. Méretezés határfeszültségekre. Az Alumínium Kézikönyv 20. fejezete. Műszaki Könyv-kiadó, Budapest 1967, 717—742. o. (Főszerkesztő: Domony Á.)
83. Beton-, vasbeton és feszített betonhidak, Tankönyvkiadó, Budapest 1968, 442 o.
84. A magasépítési vasbetonszabályzat új előírásai. *Magyar Építőipar* 17 (1968), 461—467
85. Bauxitbeton építmények teherbírasi tartaléka. I. rész, *Magyar Építőipar* 18 (1969), 465—486. (Társ-szerző: Szalai K.)
86. Bauxitbeton építmények teherbírasi tartaléka. II. rész, *Magyar Építőipar* 18 (1969), 635—638
87. Prirucka o hliniku, 20. Hlinik v dopravě c. fejezete *Műszaki Könyvkiadó*, Budapest 1969 Szerkesztő: Domony A.
88. Vasbetonszerkezetek. Feszített tartók. Tankönyvkiadó, Budapest 1970, 308 o. (Társ-szerző: Tassi G.)
89. A héjszerkezetek hazai fejlődése. *Magyar Építőipar* 15 (1970), 256—257
90. A gombaszerkezetek a szabályzati előírások tükrében. *Magyar Építőipar* 19 (1970), 310—318
91. Építményeink biztonsága. *Műszaki Tudomány* 41 (1969), 167—184
92. Dr. Menyhárd István, 1902—1969. *Magyar Építőipar* 18 (1969), 565
93. Építmények teherhordó szerkezeteinek tervezésére vonatkozó szabványsorozat. *Építés-ügyi Szemle* 13 (1970), 230—235
94. Menyhárd István élete és munkássága. *Műszaki Tudomány* 43 (1970), 35—46
95. Reinforced Concrete Flat Slabs as Reflected by the Various Specifications. *Acta Techn. Hung.* 68 (1970), 265—282
96. Vasbetonszerkezetek nyírási teherbírása. *Magyar Építőipar* 19 (1970), 449—458. (Társ-szerző: Kármán T.)
97. Építmények biztonsága. Az MSZH Épületek és építmények teherhordó szerkezetei I—II könyv egy fejezete. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest 1970, II, 2067—2085
98. Feszítőhuzalok szilárdsági tulajdonságai. *Mélyépitéstudományi Szemle* 21 (1971), 145—154. (Társ-szerző: Mistéth E.)
99. Vasbetonszerkezetek, Faltartók, Lemezek, Tárolók. Tankönyvkiadó, Budapest 1972. 336 o. (Társ-szerző: Orosz Á.)
100. A szerkezeti tervezés új szabványelőírásai. *Magyar Építőipar* 22 (1973), 65—68
101. Az építmények szerkezeti tervezésének új szabványelőírásai. *Szabványosítás* 25 (1973), 67—71
102. Designing on the Basis of the Theory of Probability. *Acta Techn. Hung.* 74 (1973), 9—20 (Társ-szerző: Mistéth E.)
103. Vasbetonszerkezetek. Héjak. Tankönyvkiadó, Budapest 1973, 476 o. (Társ-szerző: Orosz Á.)
104. Statikusok könyve. Műszaki Kiadó, Budapest 1974. 610 o. (Társ-szerző: Dulácska E.)
105. Forgásfelület alakú membránhéjak alakváltozása. *BME Építőanyagok Tanszék Tudomá-nyos Közleményei* Budapest 1975, 7—24.
106. Fejnelküli gombafödém. *Magyar Építőipar* 23 (1974), 697—701
107. Redőzött kúphéj. *Mélyépitéstudományi Szemle* 25 (1975), 19—21 (Társ-szerző: Sze-rémi L.)
108. Membránhéjak hengerkoordinátákban. *Magyar Építőipar* 24 (1975), 385—390
109. Deformation of Membrane Shells of Revolution *Acta Techn. Hung.* 81 (1975), 3—15
110. Corrugated Conical Shells. *Acta Techn. Hung.* 82 (1976) 1—7
111. Membrane Shells Written in Cylindrical Coordinates. *Acta Techn. Hung.* 82 (1976), 233—244
112. Csuklya alakú héjak. *Műszaki Tudomány* 52 (1976), 375—381
113. Haubenschalen. *Acta Techn. Hung.* 84 (1977), 195—205

GILLEMOT LÁSZLÓ

1912—1977

Dr. Gillemot László akadémikus 1977. augusztus 20-án bekövetkezett halála érzékeny veszteséget jelent a Magyar Tudományos Akadémiának és a Műszaki Tudományok Osztályának. Vele a magyar és a nemzetközi műszaki tudomány fáradhatatlan és gondolatokban gazdag tudósát veszítette el, akinek több mint négy évtizedes tevékenységét alapvetően megszabták a szocializmust építő ország műszaki alkotásokat igénylő feladatai. Elismerést

keltett, és alkotásai mérföldkövekként szegélyezik életútját, emlékeztetve a kortársakat és az utókort a kiváló tudós elévülhetetlen érdemeire.

1912-ben született Budapesten. 1930-ban jeles érettségi bizonyítvánnyal iratkozott be a Budapesti Műszaki Egyetem jogelődjének, az akkori Kir. József Műegyetem Gépészmérnöki karára. Széleskörű érdeklődésének megfelelően műegyetemi tanulmányaival párhuzamosan, a Bölcsészettudományi Karon, négy féléven át rendkívüli hallgatóként matematikát, fizikát és filozófiát is tanult. Gépészmérnöki oklevelét 1935-ben a József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egetemen szerezte meg.

Még ugyanebben az évben a Műegyetem Mechanikai Technológiai Intézetének lett tanársegéde. Gyakorlatilag ez volt az első és haláláig állandó munkahelye. Itt járta végig az egyetemi oktatói pálya valamennyi szakaszát a tanszékvezető egyetemi tanári, ill. intézet-igazgatói funkcióig.

Egyetemi tanárrá 1947-ben nevezték ki. Ekkor már több mint fél éve az államosított nehézipar irányítására létrehozott Nehézipari Központ technológiai kutatásainak irányítója is volt osztályvezetői rangban. Ezt a kettős tevékenységét élete végéig folytatta úgy, hogy egyetemi tevékenységét soha meg nem szakította, míg második munkaköre az állami vezetés kívánta célok szerint többször változott. Így 1948-ban a Gazdasági Főtanács megbízta a Magyar Alumínium- és Könnyűfémipari Kutató Intézet megszervezésével és



vezetésével, melynek 1969-ig igazgatója volt. Alig egy évvel később a Vasipari Kutató Intézet megszervezésére és vezetésére kapott megbízást. Ezt az intézetet 1952-ig vezette. 1970-től pedig folyamatosan ügyvezető alelnöke volt az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság keretében működő Műszaki Kutatókat Koordináló Tanácsnak.

Közben 1954–57 között a Budapesti Műszaki Egyetem rektori, 1965–67 között annak tudományos rektorhelyettesi tisztségét is betöltötte.

Ilyen széleskörű állami vezetési feladatok mellett a magyar műszaki-tudományos életnek kiemelkedő alkotója volt. A tudomány területén megtett első lépései is már sikerrel jártak. 1940-ben Carnegie-díjat kapott „Fatigue of Wire Ropes” című dolgozatáért. Oklevelének megszerzése után hat évvel „A hegesztés röntgenvizsgálata” c. értekezését a Műegyetem doktori cím adományozásával ismerte el. 1945-ben, az akkor állandó híd nélkül maradt főváros két részét összekötő Kossuth-hídnak a felépítésére kapott — többekkel együtt — megbízást. Ennek a feladatnak végrehajtásánál egy, az ilyen nagyméretű hidépítésben akkor még teljesen új és Magyarországon korábban nem használt módszert, a hegesztést vezette be a vasszerkezeti elemek kötésére, mely az elkészítés idejét hónapokkal lerövidítette. Ezt a munkáját a Kormány 1949-ben a Kossuth-díj adományozásával ismerte el. Ugyanezt a tevékenységét összekapcsolta a tudományos kutatással is, mert a hegesztett hidak vizsgálata tárgykörében végzett munkája alapján a Műegyetemen egyetemi magántanári címet kapott.

A hegesztés ügyének élete végéig lelkes és igen eredményes művelője volt mind gyakorlati, mind elméleti területen. Az előbbit néhány idevágó szabadalom, az utóbbit — számos kutatási eredmény alapján — a Nemzetközi Hegesztési Intézet (International Institute of Welding) bizonyította azzal, hogy nemcsak kormányzótanácsának tagjául választotta, hanem 1971–74 között az alelnöki teendőkkel is megbízta.

Műszaki-tudományos működésének maradandó emléket állított azzal, hogy a Fémipari- és Vasipari Kutatóintézet megszervezésével és hosszabb-rövidebb ideig tartó vezetésével mindkettőt nemcsak a hazai színesfém- és vas-kohászati kutatás bázisává, hanem a magyar műszaki-tudományos kutatás nemzetközileg is számontartott tudományos műhelyévé emelte.

Hazai tudományos működésének színhelye a két intézeten kívül a Budapesti Műszaki Egyetem Mechanikai Technológia és Anyagszerkezet-tani Intézete volt. Itt teremtett olyan iskolát, melyben a fiatal szakemberek egész sora kezdte meg tudományos pályáját a kezdő lépéseket. Iskolateremtő munkájának eredményességét dicséri, hogy számos munkatársa és volt aspiránsai közül többen is ma már a tudományos fokozatok valamennyi szintjét elérték és többen egyetemi tanárként járják azt az utat, melyen mesterük indította el őket. Ezen eredménynél is többet mond az a tény, hogy a fiatalok között rangot jelentett, ha valaki a környezetében dolgozhatott.

Nagyszámú munkatársával közösen alkotott maradandót a hegesztés, a kohászat, a képlékeny alakítás, a hőkezelés és az anyagvizsgálat területén. Tevékenységének mostani áttekintése nem adhat számot annak minden területéről. De jól tükrözi az a 156 szakcikk, 24 könyv, ill. könyvrészlet és 22 szabadalom, mely nevéhez fűződik.

Ezekben számolt be többek között az általa kidolgozott kétpálcás hegesztésről, a jól hegeszthető növelt szilárdságú acélokról, a hegeszthető acélok vizsgálati módszereiről. Kezdeményezője és kidolgozója volt a fémtitan előállítási technológiájának, melynek eredményeiért 1957-ben másodízben tüntették ki Kossuth-díjjal.

Szorgalmazója és megteremtője volt a gyorsalakításra alkalmas berendezésnek, melyen a rendkívül nagysebességű képlékeny alakítás tanulmányozása mellett több munkatársával közösen állapították meg az új eredményeket, részben az alakítás idő- és energiaszükségletéről, részben pedig a nagysebességű alakítás anyagi tulajdonságokat megváltoztató hatásáról. E témában számos nemzetközi kongresszuson tartott nagy érdeklődéssel kísért előadást.

Az anyagvizsgálatban új mérési eljárásokat dolgozott ki, a fémek törésének okaira irányuló figyelemre méltó kísérleteket folytatva. Különösen eredményesnek bizonyultak törésmechanikai kutatásai, melyek mind a hazai, mind a külföldi szakemberek körében méltán váltottak ki érdeklődést és elismerést.

Az eddig említett néhány kiragadott példa nemcsak elméleti tevékenységére jellemző, hanem arra is, hogy a tudományos kérdéseket mindig összefűzte a mindennapi hasznosítás lehetőségének vizsgálatával. A népgazdasági érdekeket nemcsak hangoztatta, hanem azokat minden tétben szem előtt tartotta és munkatársaitól is megkövetelte. Ez az oka annak, hogy tevékenységét nemcsak a tudomány, hanem a gyakorlat terén munkálkodók is sokra értékelték, amit megszámlálhatatlan elismerés igazol. Ezek közül legtöbbször értékelték, hogy a Magyar Tudományos Akadémia már 37 éves korában eddigi tudományos teljesítményének az alapján, levelező tagjának választotta, majd 1965-ben az Akadémia rendes tagja lett.

Széleskörű érdeklődését mutatja az is, hogy levelező tagsága után székfoglalóját a gőmbgrafitos öntöttvasokról, rendes tagsága után pedig a fémek tulajdonságai, és egy új, általa bevezetett anyagvizsgálati paraméter, a kontrakciós munka közötti kapcsolatról tartotta.

Az ország határain kívüli elismerést az mutatja, hogy számos nemzetközi tudományos egyesület tagja és tisztségviselője volt. A Jugoszláv Tudományos és Művészeti Akadémia levelező tagjává választotta, a Francia Tudományos Akadémia a Tudományos Kutatási érdemrendjének (Ordre du Merite pour la Recherche et l'Invention) parancsnoki fokozatával tüntette ki. Tagja volt még a Nemzetközi Törési Konferencia (International Congress on Fracture) testületének, a Mechanikai Gyártástechnológia Nemzetközi Szervezetének (College

International pour l'Étude Scientifique des Techniques de Production Mécanique). Két nemzetközi folyóirat, az International Journal of Mechanical Sciences és a Journal of Mechanical Working Technology szerkesztőbizottságában dolgozott.

Oktatási tevékenységében a gépészmérnök hallgatók sorait tanította meg a technológia alapismeretére és szeretetére. Előadásai színesek voltak, a hallgatók nagy érdeklődéssel figyeltek és élvezték egyéniségének varázsát.

Mint a Műegyetem rektora és rektorhelyettese az egyetemen folyó kutatásoknak összefogója és irányítója volt.

GILLEMOT László tudományszervezési munkája is példamutató volt. Mint a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya Gépészeti és Kohászati Tudományok Szakcsoportjának az elnöke évek óta fogta össze és irányította e tudományágakban a kutatási tevékenységet. Emellett az MTA Elméleti Technológiai Bizottságban is ellátta az elnöki teendőket.

Tudományszervezési munkájának egyik legjelentősebb része volt az, amit mint az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság Műszaki Kutatásokat Koordináló Tanácsának ügyvezető alelnöke végzett. Ebben a feladatkörben számos tudománypolitikai irányelvet dolgozott ki egyedül és közösen az OMFB munkatársaival. Elévülhetetlen érdemeket szerzett azzal is, hogy az ország két legnagyobb tekintélyű, a műszaki tudományért felelős testülete, az MTA Műszaki Tudományok Osztálya és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság között, az egyre erősödő kapcsolatok kidolgozóinak egyik fő részese volt.

Megalapítója és különböző tisztségekben tevékeny vezetője volt a Gépipari Tudományos Egyesületnek, mely először Pattantyús Á. Géza emlékéremmel, majd később a Bánki Donát emlékéremmel honorálta fáradozásait.

A tudományos és műszaki fejlődést és fejlesztést még több más funkcióban is szolgálta, így pl. a művelődésügyi miniszter kollégiumában, a kohó- és gépipari miniszter, valamint a nehézipari miniszter műszaki tanácsában.

Számtalan műszaki-tudományos tagsága és tisztsége mellett még arra is futotta erejéből, hogy a társadalmi, politikai közéletben is részt vegyen. Elnökségi tagja volt a Hazafias Népfront Nagybudapesti Bizottságának, az Országos Béketanácsnak, a Legfelsőbb Bíróságnál pedig műszaki ülnökként dolgozott.

GILLEMOT akadémikus életútja elválaszthatatlanul összefonódott a magyar műszaki tudomány útjával, tudományos műszaki tevékenysége példaként szolgálhat mindazoknak, akik hasonló területen dolgoznak.

Prohászka János

Gillemot László irodalmi munkássága

I. Tanulmányok

1. A hegesztés röntgenvizsgálata. *Technika* (1938) 1–4 o.
2. A drótkötélpályák kifáradása. *Bányászati és Kohászati Lapok* (1940), 21., 22. és 23. sz.
3. A hegesztés röntgenvizsgálata. Doktori értekezés. Magyar Anyagvizsgálók Egyesülete Kiadás. Budapest 1941
4. A hegesztés roncsolásmentes vizsgálata. *Rimagil Közlemények* (1941)
5. Méretmeghatározás röntgensugárzással a műszaki anyagvizsgálatban. *Anyagvizsgálók Közlönye* (1938), 5. sz.
6. A szálás anyagok szilárdsági vizsgálatának pontossága. *Magyar Textiltechnológusok Lapja* (1937), 9. sz.
7. A csapágyfémek vizsgálata. *Technika* (1942), 6. sz.
8. Öntött csapágybronzok pótlása alumínium ötvözetekkel. *Technika* (1942), 7. sz.
9. Az öntött önbronzok helyettesítésére szolgáló alumínium ötvözetek szilárdsági tulajdonságai. (Társ szerző: NAGY Ferenc) *Technika* (1942), 8. sz.
10. Nagy pontosságú szakító gép papír- és szövétvizsgálatokhoz. *Technika* (1942), 9. sz.
11. Új rendszerű fásztógép. *Technika* (1943), 2. sz.
12. Kísérletek a könnyűfém kokillaöntések szilárdsági vizsgálatának egységesítésére. (Társ szerző: NAGY Ferenc) *Technika* (1943), 5. sz.
13. Új rendszerű szövetszakító gép. *Magyar Textiltechnológusok Lapja* (1943), 3. sz.
14. A tudományos kutatás hazai problémái. *Bányászati és Kohászati Lapok* (1949), 3. sz.
15. Az alumínium-felhasználás újabb útjai. *Bányászati és Kohászati Lapok. Alumínium* (1949), 265–270. o.
16. A gyártástechnológia új irányai. Különlenyomat (Nehézipari Minisztérium)
17. Kísérletek a magyar bauxitok jobb hasznosítására. *Bányászati és Kohászati Lapok* (1950), 2–3. sz.
18. Ultrahangok alkalmazása műszaki célokra. *Természet és Technika* (1950)
19. Gyorsított fémmegmunkálási módszerek. *Szovjet Kultúra* (1950), III.
20. Fémek gyorsított megmunkálása. *Természet és Technika* (1950)
21. A műszaki felsőoktatás problémái. *Népszava* (1950), VIII. 13.
22. Tudomány és gyakorlat. *Élet és Tudomány* (1950). IX.
23. Tudomány és újítás. *Újítók Lapja* (1950), X. 9.
24. Patentierung von Stahldraht mittels Hochfrequenzerhitzung. *Acta Techn. Hung.* 1 (1950), 50–77. Társ szerző: KONCZ I.
25. A magyar bauxit feldolgozásának új útjai. *Kohászati Lapok* (1951), 2. sz.
26. Porkohászat és precíziós öntés. Akadémiai előadás, 1951. Különlenyomat
27. A gömbszemes grafit kristályosodása. *Kohászati Lapok* (1951), 3. sz.
28. Messeinrichtung zur Untersuchung wahrer Spannungen. *Acta Techn. Hung.* 1 (1951), 191–197
29. Új eljárások a hegesztőiparban. *Élet és Tudomány* (1951). X.
30. Műszaki röntgenvizsgálat. *Élet és Tudomány* (1951), X.
31. Iszledovanijeszferoidalnovo (globuljarnovo) grafita. *Acta Techn. Hung.* 3 (1951), 79–96
32. A gömbgrfit kristályosodásának elmélete. *MTA VI. Oszt. Közl.* 3 (1952), 35–75
33. A titán előállításának hazai útjai. *MTA VI. Oszt. Közl.* 3 (1952), 229–248
34. A gömbgrfit kristályosodásának elmélete. *Kohászati Lapok, Őntöde* (1952), 2. sz.
35. A műszaki aspiránsképzés problémái. *Felsőoktatási Szemle* (1953), III.
36. Titánnal ötvözött szerkezeti acélok. *MTA. VI. Oszt. Közl.* 10 (1953), 231–269
37. Új eljárás a kézi ívhegesztés meggyorsítására. *GÉP* (1953), 4. sz.
38. A kétpálcás gyorshegesztés jellemző adatainak számítása. *GÉP.* (1953), 6. sz.
39. Új eljárás a kézi ívhegesztés meggyorsítására (oroszul) *Acta Techn. Hung.* 7 (1953), 277–292
40. Hazai ötvözőkkel gyártott szerkezeti acélok. *Magyar Technika* (1953), 481–483
41. Egyetemi vizsgarend. *Felsőoktatási Szemle* (1954). 1. sz.
42. A titán. *Magyar Technika* (1954), 362–371
43. Fém titán előállítása bauxitból. *MTA VI. Oszt. Közl.* 14 (1954), 303–341
44. Az egyetemi ifjúság néhány fontosabb szociális kérdése. *Felsőoktatási Szemle* (1954), 11. sz.
45. A titán. *Természet és Technika* (1954), 12. sz.
46. Design and Operation of Reactors for Titanium Production. *Acta Techn. Hung.* 10 (1955), 221–245
47. A mérnök képzés időszéri feladatai. *GÉP* (1955), július
48. Roncsolásmentes anyagvizsgálat a vas- és fémpiparban. *MTA VI. Oszt. Közl.* 16 (1955), 173–184

49. A gépészmérnökök képzése. *Műszaki Élet* (1955), 16. sz.
50. Néhány tapasztalat a szovjet felsőoktatásról. *Felsőoktatási Szemle* (1955), 412–413
51. Tanévnyitó beszéd a Budapesti Műszaki Egyetemen. *Műszaki Élet* (1955), nov. 5.
52. A fémítán feldolgozása. *Kohászati Lapok* (1955), 548–553
53. Die Verarbeitung von metallischem Titan. *Acta Techn. Hung.* **15** (1956), 155–167
54. A titán. *Néphadsereg* (1956), III. 3. sz.
55. Stand und Entwicklungsrichtlinien der Titanmetallurgie. *Neue Hütte*, **2** (1957), 84–91
56. A titánipar mai helyzete és fejlődésének irányvonalai. *Magyar Kémikusok Lapja*. **12** (1957) február 45–52. o.
57. Nitrierbare Titanstähle. *Periodica Polytechnica, Engineering*. **2**. (1958), No. 1. Társszerző: TÖMÖRY Tiborné
58. A kontrakciós munka mint anyagjellemző. *MTA VI. Oszt. Közl.* **22** (1958), 344–366. Társszerző: SINAY Gábor
59. Die Brucharbeit als Werkstoffkenngroße. *Acta Techn. Hung.* (1958), 149–173. Társszerző: SINAY Gábor
60. Über die Rolle der Wirkstoffprüfung bei der zeitgemässen Maschinenbemessung. *Periodica Polytechnica, Maschinen- und Bauwesen*. **2** (1958), 251–273
61. Nitridálható titánacélok. *GÉP.* 177–184. o. Társszerző: TÖMÖRY Tiborné
62. A kontrakciós munka, mint anyagjellemző. *GÉP.* **10** (1958), 237–246. Társszerző: SINAY Gábor
63. Erfahrungen mit der neuen Art von Diplomarbeiten. *Periodica Polytechnica, Maschinen- und Bauwesen*. **3** (1959), 117–122
64. Einfluß der Oberflächenbehandlung auf Ermüdung und Sprödbbruch. *Freiberger Forschungshefte*, B 50. 1960. május, 123–135. Társszerző: TÖMÖRY Tiborné
65. A többtengelyű feszültségi állapot hatása a kontrakciós munkára. *GTE Kongresszusi Kiadványsorozat* (1960), 203–214
66. Az anyagvizsgálat szerepe a korszerű gépméretezésben. *GTE Kongresszusi Kiadványsorozat* (1960) 2. sz. 178–202. o.
67. Kísérletek a CO₂ védőgázos hegesztőhuzalok továbbfejlesztésére. Előadás a Hegesztéstechnológiai Konferencián, Budapest 1960, XII. 1–3.
68. Hegesztőpálcák minőségének megítélése a kontrakciós munka alapján. Előadás a Hegesztéstechnológiai Konferencián. Bp. 1960. XII. 1–3.
69. Hegesztett szerkezeti elemek fokozottabb alkalmazása a gépiparban. Korszerű előregyártási technológiák gazdasági jelentősége a gépiparban konferencia teljes anyaga. Budapest 1960. jan. 18–20. (Szerk: DÉNES Miklós) Budapest 1960. Orsz. Tervhivatal Kohó- és Gépipari Min. Gépipari Tud. Egyesület, Terv ny. 243. o.
70. Einfluß der Schweißfehlern auf die Sprödbbruchneigung der Schweißnähte. Előadás a varsói Hegesztéstechnológiai Konferencián 1961. május
71. Zur rechnerischen Ermittlung der Brucharbeit. *Materialprüfung* **3** (1961) 9. 330–336. Düsseldorf (NSZK)
72. Die Spannungsverteilung in Drahtseilbahn-Tragseilen in der Nähe der Verbindungsmuffen. *ATTI Abhandlungen*, Papers, 2ter. 9–18. o. (németül, olasz kivevással) Internationales Kolloquium über die Ermüdungsfestigkeit von Drahtseilen (Torino)
73. Védőgázos hegesztések mai helyzete. Előadás a GTE Országos Hegesztési Vándorgyűlésén Győrben. 1961. november 13-án
74. Újabb kutatási eredmények az anyagkifáradás területén. Előadás a Gépipari Tudományos Egyesület „Anyagkifáradási Munkabizottsága” ülésén, 1961. december 13
75. Grundlagen von Stählen, in denen die Sprödbbruchneigung durch Kaltverformung nur wenig beeinflusst wird. Korszerű Méretezési Konferencián elhangzott előadás. *Acta Techn. Hung.* **35–36** (1961), 185–195. Társszerző: M. RÓNAY
76. Schlag-ZerreiBversuch an gekerbten Proben. Korszerű Méretezési Konferencián elhangzott előadás. *Acta Techn. Hung.* **35–36** (1961), 197–209. Társszerző: S. NADASAN
77. Der Einfluß mehrachsiger und ungleichmäßig verteilter Spannungszustände auf die Werkstoffeigenschaften. Korszerű Méretezési Konferencián elhangzott előadás. *Acta Techn. Hung.* **35–36** (1961), 165–184.
78. A hegeszthetőség vizsgálata. Előadás a II. Anyagvizsgáló Kongresszuson Budapesten, 1961. júliusban. *GÉP* (1961) 403–412
79. Kísérletek a CO₂ védőgázos ívhegesztés huzalainak továbbfejlesztésére. Előadás Temesváron a Hegesztéstechnológiai Kongresszuson 1962. október 12–14
80. Beiträge zur Frage der Sprödbbruchneigung von Schweißverbindungen. Prágai „Sprödbbruch” Konferencián elhangzott előadás. 1961. november 1–3. *Periodica Polytechnica, Maschinen- und Bauwesen*, **6** (1962), 97–113

81. Hidegalakításra alkalmas új acéltípus. *Gépgyártástechnológia*, 3 (1963), 201—204 és 219. o. Előadás elhangzott a Hidegsajtótolási Tanácskozáson, Budapest 1962. november 15—17
82. Die Beurteilung der Schweißbarkeit an Hand der Brucharbeit. Előadás: III. Int. Kolloquium „Schweißbarkeit der Stähle”, Weimar, 1963. febr. 28—márc. 1. *Schweißtechnik*, 13 (1963), 305—311
83. Die Beurteilung der Werkstoffe auf Grund der Brucharbeit. Előadás Freibergben a XIII. Berg- und Hüttenmännischer Tag-on 1961. május 27-én. *Freiberger Forschungshefte B* 76. Sept. 1963, 5—18. o.
84. Az anyagvizsgálat néhány újabb fejlődési iránya. Előadás a II. Anyagvizsgáló Vándorgyűlésen, Székesfehérvár, 1963. szeptember 5—7
85. Az anyag vizsgálata többtengelyű feszültségi állapotban. Előadás a Gépipari Tudományos Egyesület Anyagvizsgáló Szakosztálya vezetőségválasztó szakosztályi ülésén. Budapest, 1963. december 2
86. Eine neue Methode zur Bestimmung der Sprödbbruchgefahr. *Periodica Polytechnica, Maschinen- und Bauwesen*. 8 (1964), 1—14
87. A Wöhler-görbe néhány jellegzetes pontjának meghatározása. III. Anyagvizsgáló Kongresszus előadásai, I. Mechanikai Technológiai szekció. GTE kiadvány, Budapest 1964, 5—24
88. Fémek és ötvözetek sebességállandójának meghatározása statikus szakítókéísérletek alapján. III. Anyagvizsgáló Kongresszus előadásai, I. Mechanikai Technológiai szekció. *GÉP*, (1965) 17 81—85. o. Társszerző: MIHÁLYI Erika
89. Néhány megjegyzés a szocialista ember kialakulásához. *Társadalmi Szemle*, 19 (1964) 72—76
90. Einfluß der Dehngeschwindigkeit auf die wahre Spannungskurve. *Freiberger Forschungshefte B* 109. Juli 1965, 79—94. o. Társszerző: E. CZOBOLY
91. Simplified Method to Plot Haigh and/or Smith Graphs. (Egyszerűsített módszer a Haigh-illetve Smith-diagram szerkesztésére). *Acta Techn. Hung.* 50 (1965), 81—92
92. Low-Cycle Fatigue by Constant Amplitude True Mean Stress. International Conference on Fracture (1965) Sendai, Japan No 3. D. I. 47—80
93. A természettudományok és műszaki tudományok újabb irányai. *Magyar Tudomány* 10 (1965) 409—412
94. Determination of Fatigue Limit Scatter by the Increasing Amplitude Method. *Proceedings of the Second Conference on Dimensioning and Strength Calculations*. Bpest 5.—10. Oct. 1965. Akadémiai Kiadó, Budapest 1965, 287—301. o. Társszerző: CZOBOLY, E.
95. Brittle Fracture of Welded Materials. Commonwealth Welding Conference, 1965. Session VIII—XI. C. 7. 1—6. (London)
96. Tudomány, egyetem, ipar — akadémikus egyetemi kutatómunkáról. Közli: SZLUKA Emil. *Népszabadság* 23 (1965), 168 sz. 7. o.
97. A fémek tulajdonságainak jellemzése a fajlagos alakváltozás munkájával. *MTA VI. Oszt. Közl.*, 37 (1966). 9—31
98. Kifáradási határ szórásának meghatározása lépcsős terheléssel. *GÉP* 18 (1966), 289—295. Társszerző: CZOBOLY, E.
99. Low-cycle Fatigue by Constant Amplitude True Mean Stress. *Periodica Polytechnica, Engineering*, 10 (1966), 77—94
100. A tudományos munka szervezési kérdései. *Felsőoktatási Szemle* (1966) 641—646
101. Háló-tervezési módszerek alkalmazása a tudományos kutatómunkában. *Magyar Tudomány* II (1966) 92—98
102. The Influence of the Strain Rate on Metal Characteristics. *Periodica Polytechnica, Engineering — Maschinen- und Bauwesen*, 10 (1966) Budapest. 427—436
103. A gazdasági döntéstől a kutatóstervezésig. Beszélgetés. Riporter. N. J. — *Magyar Nemzet*, 22 (1966) 67 sz., 8. o.
104. A ritkafémek és a tisztafémek. — *Népszabadság*, 24 (1966) 109 sz. 9. o. SZAVICKIJ, Evgenij: A kohászat vitaminjai c. cikkéhez
105. Beszámoló a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya munkájáról. Előadó: BOGNÁR Géza (Korreferátum) *MTA M. Oszt. Közl.* 37 (1966) 243—289
106. Die Ermittlung des Zusammenhanges zwischen der wahren Spannung und der Einschnürung an Zugproben. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 37 (1966), 591—598
107. Könyvismertetés L. G. JOHNSON: Theory and Technique of Variation Research, Elsevier Publ. Co. Amsterdam—London—New York, 105. o. és L. G. JOHNSON: The Statistical Treatment of Fatigue Experiments, Elsevier Publ. Co. Amsterdam—London—New York, 1964. 114. o. című könyvekről *Acta Techn. Hung.* 57 (1967) 429 *MTA VI. Oszt. Közl.* (1967), 249

108. Nemesíthető szénacélok törési munkájának változása a hőkezelési paraméterek függvényében. IV. Anyagvizsgáló Kongresszus előadásai, II. Mechanikai-technológiai vizsgálatok. Gépipari Tudományos Egyesület kiadványa. Budapest, 1967, 445–450. Társ-szerző: KRISTYÁK Ernőné
109. A kifáradás jelensége és a fáradásra való méretezés. *GÉP* (1967) 360–369
110. A műszaki mechanika hazai eredményei és jövő feladatai a gépészeti és kohászati tudományok területén. *MTA VI. Oszt. Közl.* 38 (1967), 399–409
111. Transformation des métaux á grande vitesse. *Journées Scientifique et Techniques Hongroises*, Paris, No. 3. 1968. 1–28. o.
112. Stefan NADASAN, 1901–1967, Nekrológ. *Magyar Tudomány* 13 (1968) 300–303
113. Fémek alakítása pneumo-mechanikus módszerrel. *Gépgyártástechnológia* (1968), 201–205
114. Equipment for High Speed Forming. *Hungarian Heavy Industries*, Second Quarter, 1968. Vol. 8. 18–26. o.
115. Hozzászólás az osztálytitkári beszámolóhoz. *Műszaki Tudomány* 41 (1968), 42–43
116. Nagysebességű ütművek szerkesztése. *GÉP.* 20 (1968), 8 297–307. Társ-szerzők: MORZÁL János, ifj. GILLEMOT László
117. Tudomány és gyakorlat. *Magyar Tudomány.* 13 (1968), 554–561
118. High-speed Metal Forming. *Hungarian Scientific and Technical Days*, Helsinki 1968, No. 7. 1–12. o.
119. The Influence of Tensile Testing Machine Hardness on the Flow Curve. *Proceeding of the Third Conference on Dimensioning and Strength Calculation.* Akadémiai Kiadó, Budapest 1968, 427–443. o.
120. Die technische Erziehung in Ungarn. *Die Deutsche Universitätszeitung* 23 (1968), No. 3. 26–29. o.
121. Metallen suurnopeusmuovauksesta. (Fémek nagysebességű alakítása) *Konepajamies*, 22 (1969) 1., 4–9
122. Les outils utilisés pour le forgeage á grande vitesse. *La Métallurgie.* 10 6–7. Juin–Juil (1969), 333–340
123. A műszaki fejlesztés néhány kérdése. *GÉP* 21 (1969), 209–216. *Gépgyártástechnológia*, (1969), 289–296. *Járművek, Mezőgazdasági Gépek* 16 (1969), 201–208
124. The Present Situation of Technical Higher Education in Hungary. *Hungarian Heavy Industries*, First Quarter 1969. Vol. 19. 25–30. o.
125. High-speed Impact Design. *Acta Tech. Hung.* 64 (3–4) (1969), 259–285. Társ-szerzők: MORZÁL János, GILLEMOT László jr.
126. Az Akadémia várható szerepe az új tudományirányítási rendszerben. *Magyar Tudomány* 4 (1969) 734–738
127. Transformation des métaux á grande vitesse. *Mecanique Électricité* 52 (1969), 20–24
128. A bemetszett szakítópróbák arányossági törvénye. V. Anyagvizsgáló Kongresszus előadásai. I. szekció 1–13. oldal. GTE kiadvány, Budapest 1970
129. Some Experiences of High-energy-rate Forging. *Metal Forming* 37 (1970), 137–144. (Anglia)
130. Technológiai fejlesztése hazai gépiparunk korszerűsítése szempontjából. *Budapesti Műszaki Egyetem Jubileumi Tudományos Ülésszak.* 1970. április 23–24. Gépészmérnöki Kari Szekció, 9–16. oldal. Budapest 1970.
131. Entwicklungsrichtlinien der hochfesten Stähle und Aluminiumlegierungen in Schweißkonstruktionen. *Zavarivanje* 13 (1970) 146–149
132. Általánosított törélmélet. VI. Hegesztéstechnikai Konferencia előadásai, Budapest 1970. VI. 8–13. *MTESZ* 5. köt. 338 oldal. Társ-szerző: CZOBOLY E.
133. Generalized Theory of Fracture. *Proceeding of the Second Symposion on Fracture.* Marianska-Lázné 1970. Társ-szerző: CZOBOLY E.
134. Pneumomechanikus alakítás. *Technos* 1970. Tudományos ülésszak. Budapest, 1970. március 2–6. 1. Előregyártási szekció Budapest, 1970. *GTI.* 561. o.
135. Proceedings of the Research Institute for Non-Ferrous Metals. 9. Az Intézet jubileumi kongresszusának anyaga. Akadémiai Nyomda, Budapest 1971. 501
136. Pneumo-mechanikus alakítás. *Gépgyártástechnológia*, 1 (1971), 16–18
137. Experiments with High-speed Forming Machines. *Proceedings of the Research Institute for Non-Ferrous Metals*, Akadémiai Kiadó, Budapest 1971, 359–364. o. Társ-szerzők: SINAY Gábor—VASSEL K. Róbert
138. Twenty Years of the Research Institute for Non-Ferrous Metals. *Proceedings of the Research Instiute for Non-Ferrous Metals.* Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971, 29–40. o.
139. Az acél- és fémszerkezetek anyagainak várható fejlődése. *Magyar Építőipar* 20 (1971) 327–332

140. Korszerű méretezés a valószínűségelmélet alkalmazásával. Szerk. SVÁB János. A GTE Tanfolyamának jegyzete. Budapest, 1971. soksz. Gépipari Tudományos Egyesület műszaki kiadványsorozat 80. Társszerzők: BAJCSAY Pál—KÁDAS Kálmán
141. Material Testing Laboratories. *Engineering Laboratories* I. UNESCO, 1970. Paris. (Printed in Belgium SC. 68. (XXII. 1/A) 1—38 o.
142. Méretezés és anyagvizsgálat. *GÉP.* 23 (1971), 328—332
143. Die Technologie der Hochgeschwindigkeits-Umformung Osteuropa, *Naturwissenschaft und Technik* 15 (1971), 103—118
144. High Energy Rate Forging. SME Technical Paper, Material Forming. Society of Manufacturing Engineer, (USA Dearborn, Michigan) 1971. MF71-200. 1—17. o.
145. Investigation of Die Steels. *Periodica Polytechnica, Mechanical Engineering* 16 (1972), 3—11
146. A méretezési konferenciák. *Magyar Tudomány* (1972), 251—252
147. Some Design Principles of Work Pieces Produced by HERF. *Acta Techn. Hung.* 75 (1973) 161—176
148. Einfluß einer vorangegangenen Dauerbeanspruchung auf die Übergangstemperatur von Stählen. (Társszerző: HAVAS István) *Materialprüfung* 15 (1973), Juni, 206—209
149. M. CONSTANT—M. CAUBO—L. GILLEMOT et al.: Stress Relief Heat Treatments and their Affection Mechanical Properties of Welded Joints. Doc. IIS/IIW X. 707/1973. International Institute of Welding, X. Commissio
150. A hegesztés újabb fejlődési irányai. *Műszaki Élet* (1974), július
151. ERDEY-GRÚZ Tibor—KULCSÁR Kálmán: Science and Scholarship in Hungary. Technical Sciences c. fejezet (GILLEMOT László—CsÁKI Frigyes) Corvina Kiadó, Budapest 1975, 158—186
152. Az alumíniumipar központi kutatási célprogramjának néhány kérdése. *Műszaki Tudomány* 50 (1975), 139—151
153. Lajos KATOR — 1932—1974. (nekrológ) *Acta Techn. Hung.* 81 (3—4) 195—196. (1975), 195—196. KATOR Lajos (1932—1974) (Nekrológ) *Műszaki Tudomány* 50 (1975), 283—284
154. GILLEMOT László—RÉTFALVI Ferenc—DOMANOVSKY Sándor et al.: A növelt folyáshatárú szerkezeti acélananyagok hegesztési kérdései. Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság, 2—7104-It. 1—67. o. 1976. január, OMKDK házi soksz.
155. Hegesztett szerkezetek méretezésének néhány alapelve. *GÉP* 28 (1976) 433—441
156. Criterion of Crack Initiation and Spreading. *Engineering Fracture Mechanics* 5 (1976) 239—253. és megjelent: LIEBOWITZ, H.: Progress in Fatigue and Fracture. Freundenthal Anniversary Volume, Pergamon Press, 1976. pp. 239—253
157. Gépipari technológiai kutatás jelen helyzete és jövő feladata. *Műszaki Tudomány* 53. kötet 3—4 füzet

II. Könyvek, könyvrészek

1. Műszaki röntgenvizsgálat. A Mérnöki Továbbképző Intézet 1941. évi tanfolyamainak anyaga. Budapest, 1942. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, 80. od., 67 ábra
2. Fémek technológiája I. kötet: Fémek alakítása hőhatással.
 1. kiadás: Egyetemi Nyomda, 1947. 265 o. 195 ábra, 17 fénykép
 2. kiadás: Nehézipari Könyv és Folyóiratkiadó Váll. 1950, 270 o. 196 ábra
3. A fa mint építőanyag (könyvrészlet) Szerkesztette: PALOTÁS László GILLEMOT: A fa szilárdsága és fizikai tulajdonságai. 64—85. o.
A Budapesti Építőmesterek Ipartestületének kiadása, Budapest 1949
4. Alumínium kézikönyv. GELEJI Sándor szerkesztésében. Alumínium hegesztése c. fejezet: 368—391. o. Mérnöki Továbbképző Int. 1948. évi alumínium-tanfolyamának anyaga Budapest, 1949
5. Anyagvizsgálat. Kézirat gy. Budapest, 1949. Műegyetemi Jegyzetkiadó, 72 o.
6. Alumínium. Az alumínium technológiájának újabb fejlődése c. fejezet 116—119. o. Alumíniumipari és Kereskedelmi Propaganda Biz. kiadványa, Budapest, 1950
7. Metallográfia és anyagvizsgálat. Egyetemi tankönyv, Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1952, 358 lap, 270 ábra
8. Vas- és Fémipari anyagismeret (GILLEMOT L.—KERPELY Kálmán) *Népszava Kicdó*, Budapest 1952, 598 lap, 215 ábra
9. Szerkezeti anyagok technológiája I. kötet. Tankönyvkiadó Vállalat, Budapest, 1954, 272 lap, 210 ábra. (5. kiadás: Budapest, 1966)
10. Gyorshegesztő eljárások. Mérnöki Továbbképző Intézet, jegyzet, 1954. 36 lap
11. A színesfémek a gépgyártás fontos anyagai (társszerző: JAKOBY László) Útmutató a városi és falusi előadók számára. Művelt Nép Kiadó, Budapest, 1954, 60 lap

12. A magyar tudomány tíz éve. 1945—1955. Fémkohászat, fémipar, timföldipar, alumíniumkohászat, könnyűfém félgyártmányok és készgyártmányok előállítása, magnéziumkohászat c. fejezetek. 302—308. o. Akadémiai Kiadó, Budapest 1955
13. Szerkezeti acélok tulajdonságainak jellemzése a kontrakciós munkával c. fejezet (oroszul) a „Szovrmennije problemi metallurgii” című Bardin akadémikus 70. születésnapja alkalmából kiadott kötetben Szovjetunió Tud. Akadémia kiadásában, 1958. Moszkva, 572—582. o.
14. Szerkezeti anyagok technológiája II. Hegesztés. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó Váll. Budapest, 1960. 292 lap (4. kiadás: 1966)
15. Műszaki értelmező szótár. 11. kötet: Mechanika technológia I. r. Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat. Szerk. GILLEMOT László. Budapest, 1960. Terra, 167 lap. Négy nyelvével szöszedettel. 12. kötet: Mechanikai technológia 2. r. Technológiai műveletek, 212. lap
16. GILLEMOT László—PROHÁSZKA János—KATOR Lajos: Kiegészítő jegyzet a Metallográfia és anyagvizsgálat című tankönyvhöz. Tankönyvkiadó, Budapest, 1963. 77 lap. J 4—366
17. Księga jubileuszowa dla uczczenia zasług naukowych Aleksandra Krupkowskiego című könyvben „A New Type of Steel for Cold Forming” c. fejezet. Polska Akademia Nauk, Warszawa 1965, 193—203
18. Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat I. rész. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó Budapest, 1965, 143 lap
19. Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat II. rész. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó Budapest, 1965, 101 lap
20. Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat III. rész. Egyetemi jegyzet. Tankönyvkiadó, Budapest, 1966, 263 lap
21. Bevezetés az ipari kutatómunkába. (Szerk.: GILLEMOT László és MÉSZÁROS Sándor) Mérnöki Továbbképző Intézet előadássorozatából. Budapest, 1967
22. Anyagszerkezettan és anyagvizsgálat. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967, 429 lap
23. GILLEMOT L.—ZIAJA György: Fémek képlékeny alakítása. Egyetemi jegyzet, Tankönyvkiadó, Budapest, 1968, J 4—458. 386 lap
23. Proceedings of the Research Institute for Non-Ferrous Metals. Szerk.: GILLEMOT László. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1971
24. ARTINGER István—KATOR Lajos—ROMVÁRI Pál: Fémek technológiája. Szerkesztő: GILLEMOT László. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971, 400 lap

KÁNYA ERNŐ

1904–1977

Fél évszázados aktív, alkotó élet, a közlekedés területén kifejtett kimagasló gyakorlati és elméleti munkásság után, mindössze néhány hónappal nyugalomba vonulását követően, 1977. május 20-án 73 éves korában elhunyt KÁNYA Ernő, a közlekedéstudományok doktora, az Út-Vasúttervező Vállalat Gazdasági-Műszaki Elemző Osztályának vezetője.

KÁNYA Ernő 1904-ben született Debrecenben. A budapesti műegyetemen szerzett gépészmérnöki oklevelet, majd 1927-ben lépett a Magyar Államvasutak kötelékébe, ahol gépkocsiüzemi, fűtőházi, majd az akkori igazgatóság vontatási osztályán előadói, a felszabadulás után pedig osztályfőnöki beosztásban dolgozott.

1948-tól fordult érdeklődése az üzemgazdasági problémák felé, ami a következő években mind színvonalasabb és értékesebb, a vasútüzem számos kérdését felölelő tanulmány kidolgozásában öltött testet. 1951–53 közt a Vasúti Tudományos Kutató Intézet osztályvezetőjeként, 1955–59 közt a budapesti műegyetem tanáráként főként a közlekedési önköltségszámítás területén végzett úttörő kutatómunkát, miközben munkássága egyre inkább a közlekedés egész területét, annak minden ágazatát felölelte. 1956-ban kandidátusi, 1965-ben akadémiai doktori fokozatot szerzett. „A közlekedés önköltsége” című könyve a szaktudomány alapvető, úttörő jelentőségű műve, amely fontos, új eredményekkel gazdagította a közlekedéstudományokat.

1965-től csaknem haláláig az UVATERV osztályvezetőjeként számos magas színvonalú tanulmány kidolgozását irányította, amelyekkel messze-menően segítette a közlekedés fejlesztésének munkáját. Utolsó műve 1977 elején jelent meg a Vasúti Technika Kézikönyvében „Vasúti üzemgazdaság” címen, amely a témakör legkorszerűbb feldolgozása.

KÁNYA Ernő évtizedeken át aktív tagja volt a Magyar Tudományos Akadémia Közlekedéstudomány Bizottságának és Vasúti Közlekedési Albizottságának, amelyek keretében nagy felelősségérzettel vett részt a szakterület tudománypolitikai irányításában.

Munkásságáért számos vállalati és miniszteri kitüntetésben részesült, 1976-ban pedig a Munka Érdemrend Ezüst fokozatával tüntették ki.

KÁNYA Ernő személyében olyan tudóst vesztettünk el, akinek életműve jól példázza a gazdag gyakorlati tapasztalatok és a magas szintű elméleti munka, a műszaki és a gazdasági szemlélet összekapcsolásának sikerét és társadalmi hasznosságát. Olyan szerény, elmélyülten alkotó embert tisztelhattunk benne, aki fáradhatatlan szorgalommal dolgozott, miközben önmagával és munkatársaival szemben egyaránt magas igényeket támasztott. Könyvek, egyetemi jegyzetek, tanulmányok, folyóiratcikkek és előadások formájában gazdag szakirodalmi örökséget hagyott ránk, életútja pedig példája lehet a társadalom javán munkálkodó fiatalabb tudósgenerációk számára.

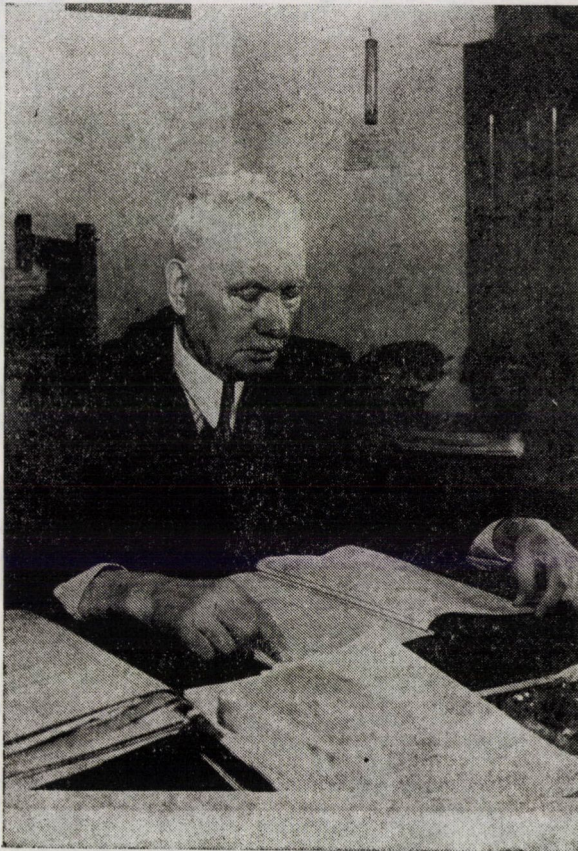
Emlékét kegyelettel megőrizzük.

Czére Béla

EMLÉKEZÉS MIHAILICH GYŐZŐ PROFESSZORRA

„Non omnis moriar ...”

Ezek a sorok a száz éve született tudós professzornak, MIHAILICH Győző akadémikusnak az emlékét óhajtják felidézni, akit szaktudása, mérnöki leleményessége, határozottsága és biztos ítélőképessége a legnagyobb magyar mérnökök sorába emelt. Markáns személye évtizedeken át a mérnöktársadalom vezető egyénisége volt, kinek nevét hazánk határain túl is széles körben ismerték és tisztelettel említették.



Mihailich Győző 1877-ben Temesrékason, egy kis bánáti faluban született, hol apja községi jegyző volt. Kecskeméten, a magyar alföld szívében végezte a gimnáziumot, majd felkerült Pestre, ahol 1899-ben mérnöki oklevelet szerzett. Ekkor a nagynevű KHERNDL Antal professzor mellett vállalt tanársegédi állást. Itt egymásután szerezte meg a tudományos grádusokat: a műszaki doktori, majd a műegyetemi magántanári címet, és rövidesen mint meghívott előadó nyert megbízást a Vasbetonszerkezetek című tárgy előadására. 1916-ban műegyetemi rendkívüli tanári címet kapott, 1920-ban pedig az újonnan felállított II. Hídépítéstani Tanszék nyilvános rendes tanárává nevezték ki. Ezt a munkakörét 1957-ben bekövetkezett nyugdíjazásáig, 37 éven át töltötte be. Közben több évben volt a mérnöki kar dékánja, két ízben a műegyetem rektora.

Fő figyelme már pályája kezdetén az akkor kialakulóban levő, de hazánkban még kevéssé ismert vasbetonépítésmód felé fordult. Első tervét, melyet még egyetemi hallgató korában dolgozott ki, egy vasbeton gerendahíd szerkezeti megoldását, az 1900. évi párizsi világkiállításon dicsérő oklevéllel tüntették ki. Ettől kezdve egyre behatóbban foglalkozott a vasbetonépítés problémájával, és mind tevékenyebben vett részt a hazai vasbetonépítészet kifejlesztésében, melynek ZIELINSKI Szilárddal együtt egyik úttörője lett.

Első tudományos dolgozatai is a vasbetonépítészet időszerű kérdéseit ölelték fel. A Magyar Mérnök- és Építész Egyesület Heti Értesítőjének hasábjain számos közleményben ismertette a külföldi vasbetonépítészet nevezetes alkotásait, majd a Beton u. Eisen folyóiratban az általa tervezett temesvári Bega-hidat, mely korának legnagyobb nyílású vasbetongerenda-hídja volt. Ezzel a művével szakkörökben külföldön is általános elismerésre tett szert. Tervének sikere tevékenyen járult hozzá ahhoz, hogy a vasbetonépítészet hazánkban, számos nagy országot megelőzve, hamarosan jelentős fejlődésnek indult.

Mint tervező mérnök a nagy alkotások egész sorával tette nevét emlékezetessé. Alkotásai közt a már említett temesvári Liget utcai vasbetonhídon kívül nevezetes a szolnoki Tisza-híd (Magyar Mérnök- és Építész Egyesület Közlönye 1912), mely az első szimmetrikus rácozású vashíd volt Magyarországon. Ennek a hídnak a pályalemeze merőben újszerű megoldással vasbetonból készült. Nevéhez fűződik a berekböszörményi Sebes Körös-híd (1910), a temeshidai Fekete Körös-híd (1912) vasbeton terveinek elkészítése is. Tervei szerint készült a budapesti Margit-híd megerősítése és kiszélesítése (1929). A budapesti Árpád-híd tervpályázaton tervét KOSSALKA Jánossal megosztva I. és II. díjjal tüntették ki (1930). A budapesti Petőfi-híd tervpályázatán tervét II. díjjal jutalmazták. Mint tanácsadó komoly részt vett a II. világháborúban felrobbantott budapesti Duna-hidak újjáépítési munkáiban (1945—46), tanszéke munkaközösségének élén pedig a polgári Tisza-híd vasszerkezetének tervezésében.

Ő tervezte a csepeli szabadkikötő gabonatarházát (Beton u. Eisen, 1929). Ezen az építményen elsőként alkalmazott Magyarországon gombafödémeket és csúszózszaluzást. Nevéhez fűződik a Szabó József utcai autóbuszgarázs acélcarnokának tervezése is (Die Bautechnik, 1931), mely újszerű megoldással rácsos kerettartókkal és azok közé besüllyesztett felülvilágító sávokkal készült.

Tudományos munkásságának egyik legjelentősebb terméke az 1922-ben megjelent *Vasbetonszerkezetek* című tankönyve, melyet a Magyar Mérnök- és Építész Egylet aranyéremmel tüntetett ki. Ebben a könyvében gazdag kísérleti anyagra támaszkodva mutatta be a vasbetonépítészet különféle időszzerű problémáit és azok megoldását, köztük több új, eladdig nem ismert megoldást. Könyve évtizedeken át egyedüli tankönyve, ill. kézikönyve volt a vasbetonépítészet kérdései iránt érdeklődő köröknek, és mint ilyen, hézagtöltő jelentőségre tett szert.

A tanszékéhez kapcsolt kutató laboratóriumban kiterjedt kísérleteket végzett. Ezek közt különösen nevezetesek a szilíciumacillal vasalt T-keresztmetszetű gerendákra vonatkozó, a Széchenyi Tudományos Társaság támogatásával végrehajtott összehasonlító vizsgálatai, melyekről, mint a magyar kormány kiküldötte és a kongresszus egyik albizottságának elnöke, az Internationale Vereinigung für Brückenbau und Hochbau 1932. évi kongresszusán számolt be. Kísérleteivel kimutatta, hogy a gerendák nyíróvasalása a szokványos vasalásmóddal szemben a biztonság veszélyeztetése nélkül jelentősen csökkenthető. Később ugyanezen kísérletsorozat folytatásaként értékes összehasonlító kísérleteket végzett folytvas- és acélbetéttel vasalt, portland-, illetve bauxitcementtel készült T-keresztmetszetű gerendákkal (Anyagvizsgálók Közlönye, 1934). Akadémiai székfoglalójában a hőhatásoknak a bauxitbetonok szilárdságára gyakorolt hatását elemezte (Matematikai és Természettudományi Értesítő, 1926). Idevágó kísérletei a bauxitbeton szilárdsági tulajdonságának megismerése szempontjából alapvető jelentőségűeknek bizonyultak. Igen értékesek voltak azok a vizsgálatok is, melyeket a magyar cementek tulajdonságainak megismerésére folytatott (Acta Techn. Hung., 1952). Ezekben főleg a cementek zsugorodásával, a gőzölés hatásával, valamint a beton és acélbetét közti felületi kötés kérdéseivel foglalkozott. Számos dolgozatban foglalkozott a vasbetonépítés újabb meg újabb fejlődésével, illetve jövőbeli fejlesztésének lehetőségeivel.

Irodalmi munkásságát 1957-ben — 80 éves korában — bekövetkezett nyugdíjazása után is tovább folytatta. Ebben az időszakban írta a „XIX. és XX. századbeli magyar hídépítés története” című munkáját, majd PALOTÁS Lászlóval együttműködve, *Vasbetonépítéstan* című könyvét. Legutolsó, HAVIÁR Győzővel együtt írt, „A vasbetonépítés megindítása és első építményei” Magyarországon című munkájának megjelenését sajnos, már nem érthette meg.

Tanári és kutatói tevékenysége mellett igen jelentős szerepet vitt a mérnöki közélet minden területén. Éveken át elnöke és irányítója volt a Budapesti Mérnöki Kamarának, majd igazgatója az általa életre hívott Mérnöki Továbbképző Intézetnek. A Vasbetonbizottság elnökeként tevékenyen vett részt a Magyar Mérnök- és Építész-Egylet, továbbá a Magyar Anyagvizsgálók Egyesületének munkájában is. Irányításával készült el többek közt az 1931. évi új vasbeton szabályzat.

Széles körű szakmai és tudományos működése elismeréseként a Magyar Tudományos Akadémia 1933-ban levelező tagjává, majd 1949-ben rendes tagjává választotta. Az Akadémia kebelében éveken át mint a Műszaki Tudományok Osztályának elnöke tevékenykedett, és jelentős szerepet vitt az Akadémia különféle bizottságaiban, főként pedig az Építéstudományi Főbizottságban, melynek egy évtizeden át elnöki tisztét viselte. Munkája elismeréseként a főbizottság tiszteletbeli elnökévé választotta.

Munkásságát a kormányzat, a hazai és külföldi egyetemek számos kitüntetéssel jutalmazták. Munkájának elismeréseként 1938-ban a Magyar Érdemrend középkeresztjével, 1947-ben a Magyar Köztársasági Érdemrend középkeresztjével tüntették ki. 1948-ban a legnagyobb magyar kitüntetés: a Kossuth-díj aranyfokozatát nyerte el, 1950-ben pedig a Magyar Népköztársasági Érdemrend III. osztályával tüntették ki. A Magyar Népköztársaság Elnöki Tanácsa 1957-ben a Munka Vöröszászló Érdemrendet, 1962-ben a Munka Érdemrendet adományozta számára.

80. majd 85. születésnapja alkalmából a Magyar Tudományos Akadémia, valamint az Építés és Közlekedési Műszaki Egyetem Tanácsa felemelő ünnepségben részesítették és melegen emlékeztek meg alkotásairól a külföldi szakkörök is. Ez alkalmából a Die Bautechnik és a Beton und Stahlbetonbau részletesen ismertette a vasbetonépítéssel kapcsolatos terén szerzett érdemeit.

Értékes tudományos tevékenységének elismeréseként a Budapesti Műszaki Egyetem 1948-ban tiszteletbeli doktori címmel tüntette ki, 1954-ben pedig a Drezdai Műszaki Egyetem tisztelte meg tiszteletbeli doktori cím adományozásával. Az erről szóló okmányt és oklevelet a Drezdai Műszaki Egyetem küldöttségének élén maga a rektor nyújtotta át felemelő ünnepség keretében Budapesten a kitüntetettnek.

Születésének 100. évfordulóján tisztelettel emlékezünk a kiváló tudósra, a kitűnő professzorra, a nagynevű magyar mérnökre. Ha el is távozott körünk-ből, itt áll előttünk példaképként alkotásokban gazdag életének nemes példája. Hatalmas nyílásokat áthidaló merész hídjai, magasbaszókő büszke építményei hosszú emberöltőkön át fogják hirdetni tervezőjüknek, a tudós professzornak elévülhetetlen érdemeit. És továbbra is idézni fogják fennkölt szellemét pompás tankönyvei, irodalmi munkásságának jeles alkotásai. Továbbra is elevenen él bennünk markáns egyéniségének emléke, aki egy hosszú élet

minden percét a fiatal mérnökgeneráció oktatására és a magyar műszaki tudományok továbbfejlesztésére fordította.

MIHAILICH Győző meghalt, de halhatatlanként vonult be a nagy magyar mérnökök pantheonjába.

Csonka Pál

MIHAILICH GYŐZŐ IRODALMI MUNKÁSSÁGA

- A csomópontok merev kötése okozta mellékfeszültségek grafikai meghatározása, Műszaki doktori értekezés. Patria Nyomda, Budapest, 1906. 38 lap
- Rácsos tartók rugalmas elhajlásának meghatározása. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908), 5. sz. 9. lap
- Háromcsuklós fővasúti vb. ívhíd. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 13. sz. 133 lap
- Masszív hidak építése Németországban. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908), 18—19. sz. 185., 192. lap
- Nagynyílású vasbeton hidak építése hazánkban. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908), 21. sz. 209. lap
- 216 m nyúlású vasbeton híd terve. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908), 21. sz. 209. lap
- 59 m nyílású vasúti vasbetonhíd. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 21. sz. 210. lap
- Vásárcsarnok vasbetonból. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 21. sz. 211. lap
- Perronfödelek vasbetonból. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 21. sz. 211. lap
- Közúti betonhíd Guggersbachnál Svájcban. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 29. sz. 266. lap
- Betonegyesület Angliában. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 29. sz.
- Viadukt Frieburgnál Svájcban. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 43. sz. 292. lap
- Vasbeton közúti híd Kéménden. *MMÉE Heti Ért.* 27 (1908) 43. sz. 293. lap
- Partfal vasbetonból. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 1. sz. 9. lap
- St. Karli-híd építése Luzernben. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 7. sz., 79. lap
- Kivándorlók háza Fiumében. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 7. sz. 79. lap
- Vasúti háromcsuklós ívhíd betoncsuklókkal. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 14. sz., 156. lap
- Vasbeton viadukt Pyrimontnál Genf közelében. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 14. sz., 157. lap
- Újabb kő és vasbetonhidak építése. Előadás. *MMÉE Közl.* 28 (1909) 22. sz. 233—238. lap
- A vasbetontartók grafikus méretezése *MMÉE Közl.* 28 (1909) 31. sz. 301—305. lap
- Nickelacél alkalmazása hídszerkezetekben. *MMÉE Heti Ért.* 28 (1909) 31. sz. 307. lap
- Die Parkgassenbrücke in Temesvár. *Beton u. Eisen* 8 (1909) 15. sz. 359—362. lap
- Konzolos vasbetonhidak építése Magyarországon. *MMÉE Heti Ért.* 29 (1910) 31. sz. 345—350. lap
- Nickelacélhidak Németországban *MMÉE Heti Ért.* 29 (1910) 29. sz. 336. lap
- Kátránnyal hajtott Diesel motorok. *MMÉE Közl.* 45 (1911) 25. sz. 349—350. lap
- Az út- vasút- és hídépítési szakosztály kirándulása. *MMÉE Közl.* 45 (1911) 42. sz. 525. lap
- Kirándulás. *MMÉE Közl.* 45 (1911) 45. sz. 570. lap
- A szolnoki közúti Tiszahíd vasszerkezete. *MMÉE Közl.* 31 (1912) 43. sz. 697—703. lap
- Újpest vízművének víztornyáról. *MMÉE Közl.* 47 (1913) 8. sz. 137—142. lap
- Kherndl Antal emlékezete. *A Technikus* 3 (1921—1922) 9—10. sz. 200—201. lap
- Vasbetonszerkezetek I. köt. Németh József Budapest 1922. (A Magyar Mérnök és Ép. Egylet által arany éremmel kitüntetve)
- Kő-, beton- és fahidak (ábragyűjtemény). 2. bőv. kiadás Németh József, Budapest, 1922. 36 lap
- Emlékbeszéd Kherndl Antáról 1923. V. 10-én, Beszédék 1920/25, Patria Irodalmi Vállalat és Nyomdai R. T., Budapest 1924, 60. lap
- A többtámaszú tartók elmélete és behatási ábráik. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Osztern Jenő és Piskóty Ferenc. Technika Nyomda, Budapest, 1925, 28 lap
- Der Getreidespeicher im Freihafen von Budapest, *Beton u. Eisen* 28 (1929) 13. sz. 229—232. lap. 14. sz. 261—264. lap
- Die Halle der Autobusgarage in der J. Szabó Strasse in Budapest. *Bautechnik* 9 (1931)
- Essais comparative avec poutre de béton à section en T avec armatures en acier siliceux et reduction des sections des armatures contre le cisaillement. *Association Internationale des Ponts et Charpentes* 1^{er} Congres Paris 1932
- Dr. Mihailich Győző köszönete a pályadíjat nyertesek nevében. *MMÉE Közl.* 67 (1933) 27—34. sz., 164. lap
- Összehasonlító kísérletek folytvas és acélbetétes portlandcementtel és bauxitcementtel készült T keresztmetszetű gerendákkal. *Anyagvizsgálók Közlönye* 12 (1934) 7—8. sz. 177—208. lap

- Ünnepi beszéd a főiskolai ifjúsághoz 1934. március 15-én
A meleg befolyása a bauxit-cementbeton szilárdságára. Akadémiai székfoglaló. *Matematikai és Természettudományi Értesítő* 54 (1936)
- A Budapesti Mérnöki Kamara jelentése az 1935-évi működéséről. Stádium Sajtóvállalat R. T., Budapest 1936, 1–35. lap
- A Budapesti Mérnöki Kamara jelentése az 1936. évi működéséről. Mérnökök Nyomdája, Budapest 1937, 1–36. lap
- A Budapesti Mérnöki Kamara jelentése az 1937. évi működéséről. Stádium Sajtóvállalat R. T., Budapest 1938, 1–36. lap
- A Mérnöki Továbbképző Intézet beszámolója az Intézet záróülésén 1942. ápr. 28-án. *Technika* 23 (1942) 5. sz. 151–153. lap
- A Mérnöki Továbbképző Intézet 1941. éve (Beszámoló beszéd) *A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai* 1 (1942), 24. lap
- A beton és vasbetonépítés újabb fejlődése. *A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai* 3 (1942), 68. lap
- A Mérnöki Továbbképző Intézet Igazgatójának beszámolója 1942. ápr. 28-án. A Budapesti m. kir. József Nádor Műszaki- és Gazdaságtudományi Egyetem 1941–2. tanévi évkönyve. Budapest 1942, 185–193. lap
- A Mérnöki Továbbképző Intézet 1942. éve. *A Mérnöki Továbbképző Intézet Kiadványai* 19 (1943), 24. lap
- Az 1942/43. évi rektori tanévnyitó és székfoglaló beszéd. A Budapesti m. kir. József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 1941–2. tanévi Évkönyve és az 1942–43. tanévének megnyitásokor tartott beszédek. Budapest 1942, 431–444. lap
- Az 1942. október 4-én tartott megnyitó beszéd., 447–449 lap
- Rektori üdvözlő beszéd (Serlegvacsora) 1943. március 18-án. A Budapesti m. kir. József Nádor Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem 1942–3. tanévi Évkönyve és az 1943–44. tanévének megnyitásokor tartott beszédek. Budapest 1943. 131–132. lap
- Rektori üdvözlő beszéd Vezér Vilmos tiszteletbeli doktorrá avatásán 1943. április 9-én. 149–154. lap
- Rektori üdvözlő beszéd Záborszky János doktorrá avatásán. 1943. június 18-án. 173, 180
- Jelentés a Mérnöki Továbbképző Intézet 1943. évi működéséről. 183–192. lap
- Rektori beszámoló beszéd 1943. szeptember 24-én. 407–416.
- Hídépítéstan I. Mihailich Győző előadásai után összeállította Kadaban György. Stachora Nyomda, Budapest, 1946, 104 lap
- Vasbetonszerkezetek elmélete és számítása. Schwertner Antal és Gyengő Tibor közreműködésével. Teljesen átdolgozott új kiadás. Budapest, Németh József 1946. 434 lap
- A beton és vasbetonépítés újabb fejlődése. *A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványai* 1947. 68 lap, 65 t.
- A vasbetonépítés újabb fejlődése. Előfeszített vasbeton szerkezetek, héjszerkezetek. (A vasbeton). A Budapesti Építőmesterek Ipartestületének kiadványa 1947
- Építőanyagok. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Földeák Árpád, Telekes György és Mohay Kálmán. Műszaki és Természettudományi Egyesületek Szövetsége, Budapest, 1949. 78 lap
- Építőanyagok. A Bp. Műsz. Egyetem II. éves mérnökhallgatói részére. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Földeák Á. Kézirat gy. VKM I. sz. jegyzetsoksz. Iroda Budapest, 1950, 85 lap
- Mihailich—Telekes: Vasbetonépítéstan. A Budapesti Műszaki Egyetem III. éves mérnökhallgatói részére. Kézirat. Jegyzetsokszorosító, Budapest, 1950, 132 lap
- Magyar cementek zsugorodásának, és gőzölésének, valamint a beton és a beleágazott acélhuzal közötti felületi kötésnek vizsgálata. *Acta Technica Hung.* 2 (1951), 2 füz. 461–486. lap
- Vasbetonépítés. A Budapesti Műszaki Egyetem mérnökhallgatói részére. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Telekes György. Kézirat gy. Tankönyvkiadó Budapest, 1951. 221 lap
- Korszerű építési szerkezetek és eljárások. *Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei* I (1951), 740–754 lap
- Elnöki megnyitó. *Az MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei* I (1951), 3–5. lap
- Mihailich—Földeák: Vasbeton és kőhidak. A III. éves hidépítési tagozatos mérnökhallgatók részére. Kézirat. Tankönyvkiadó Budapest, 1951. 64 lap
- Mihailich—Földeák: Vasbeton és kőhidak. Kézirat gy. Tankönyvkiadó Budapest, 1951. 130 lap. 1953. Felsőokt. Jegyzetellátó 186 lap
- Vasbetonépítéstan. (Jegyzetkiegészítés). Kézirat. Felsőoktatási Jegyzetellátó Budapest, 1953, 261 lap

- Építőanyagok. Jegyzet a nappali tagozat 2. éves mérnökhallgatói részére. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Földeák A. Felsőokt. Jegyzetellátó Budapest, 1954. 205 lap
- Vasbetonépítéstan. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján a III. éves mérnökhallg. részére összeállította Tassi Géza, Szalai Kálmán, Telekes György. Kézirat. Felsőokt. Jegyzetellátó. Budapest, 1955. 221 lap
- Elnöki megnyitó. *Az MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl.* 19 (1956) 1–3. sz. 3–5. lap
- Mihailich—Palotás: Építőanyagok. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Földeák Árpád, Veress Sándor. Kézirat. Felsőokt. Jegyzetellátó Budapest, 1956. 265 lap
- Vasbetonépítéstan. I. r. Dr. Mihailich Győző előadásai alapján összeállította Szalai Kálmán. Kézirat. Felsőokt. Jegyzetellátó Budapest, 1957. 185 lap (Utánnym. 1957. 223 lap) Utánnym. 1958)
- A XIX. és XX. századbéli magyar hídépítés története. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1960. 127 lap
- Mihailich Gy.—Palotás L.: Vasbetonépítéstan (I. kötet) A vasbeton szilárdságtana. Tankönyvkiadó, Budapest, 1964, 411 lap
- Mihailich Gy.—Haviár Gy.: A vasbetonépítés megindítása és első építményei Magyarországon. Akadémiai Kiadó.

BESZÁMOLÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1976. ÉVI TEVÉKENYSÉGÉRŐL

BOGNÁR GÉZA

AKADÉMIKUS, OSZTÁLYELNÖK

Az Akadémia ez idei közgyűlése munkaülés jellegű. Ez annyit jelent, hogy a szokásos külsőségek elhagyásával nem a díszteremben, hanem a jóval kisebb befogadóképességű vári kongresszusi teremben tartottuk az együttes ülést. A munkaülés jellegét talán még abban határozhatnánk meg, hogy nem a magyar tudományos élet összes problémáival, nem a Magyar Tudományos Akadémia összes tevékenységével foglalkozunk ezúttal, hanem kiemelünk néhány kérdést, kiemelünk néhány problémát, és azt tárgyaljuk meg.

Mindenekelőtt engedtessek meg, hogy születésének 100. évfordulója esztendejében MIHAILICH Győző akadémikusról és születésük 80. évében BENE-DIKT Ottó és GELEJI Sándor akadémikusainkról tisztelettel megemlékezzünk. Megtestesítői voltak az olyan tudósoknak, akiknek életét a műszaki tudományok alkotó, a népgazdaság fejlődését szolgáló eredményes művelése jellemezte. Osztályunk az év folyamán megfelelő módon gondoskodni fog az évforduló megünnepléséről, munkásságuk, eredményeik méltatásáról.

Az Osztály a legutóbbi közgyűlés óta a testületi munka belső tartalmának elmélyítésére törekedett. Tevékenységének súlypontját a tudományos kutatások egy-egy területének áttekintése, a tudományos kutatás irányítóinak kijelölése, a kutatás eredményeinek, gyakorlati felhasználásának előmozdítása képezte. Osztályüléseink napirendjeit ennek megfelelően állítottuk össze, és az üléseken kialakult élénk vita-szellem, véleményalkotás arra utal, hogy a tudományos testület kutatóbázisainknak hasznos segítséget nyújthat. Az osztályülés munkáját segítik az Osztály tanácskozó jogú tagjai, akik a népgazdasági igényekre orientáltan adhatnak hasznos útmutatást a kutatási feladatokra. Így pl. az OT elnökhelyettesének tájékoztatója a hazai iparpolitika egyes kérdéseiről igen sokrétűen nyújtott számunkra áttekintést az ipar távlati fejlesztésének főirányairól, arról, hogy mit vár az iparpolitika a tudománytól. Az Osztály továbbra is a szakcsoportok munkájára alapozva látta el véleményező, javaslattévő tevékenységét. Azt szeretnénk elérni, hogy csak ott és csak akkor adjunk véleményt, amikor annak érdemi mondanivalója és súlya is van.

A bizottságok szervezetével, összetételével kapcsolatban egységes volt az Osztály állásfoglalása abban, hogy bizottsági rendszerünk megfelelő, ered-

ményes működése a bizottság személyi összetételétől, felelősségérzetétől függ. Ezt szem előtt tartva tovább erősítettük a tudományos és gyakorlati szakemberek együttműködését.

Bizottságaink figyelemmel kísérték a tudományos kutató bázisok munkáját, részt vesznek a kutatási irányok kijelölésében. Különösen azok a bizottságok alakítottak ki előremutató, konstruktív véleményeket, amelyekben a tudományos és gyakorlati szakemberek kellő súllyal és kellő arányban vesznek részt a munkában.

Számos bizottságunk készített tudományos helyzetképet egy-egy szűkebb tudományterületről. A helyzetképek döntő többsége már publikálásra is került.

A következő időszakban arra kell törekednünk, hogy a helyzetképek egy-egy átfogó tudományterületet öleljenek fel, magukba foglalva azokat a tudományterületeket is, amelyek interdiszciplináris együttműködése feltétele a tudományos eredményeknek. Tovább erősödött az együttműködés az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottsággal. Ez évben már három OMFB-vel közös akadémiai bizottság és két munkabizottság működik. Az Osztály szakterületileg illetékes tagjai részt vesznek a Műszaki Kutatások Koordináló Tanács munkájában is.

Osztályunkhoz rendelték az ez évben szervezett Rendszerkutatási Komplex Bizottságot, amelyet a VI., VIII. és a IX. Osztály egy-egy akadémikusa társelnöki minőségben évenként felváltva vezet.

A bizottságok, a szakcsoportok, az osztályülés befejezte az ötéves kutatási tervek felülvizsgálatát és értékelte a középtávú és ötéves kutatási tervek véleményezésével kapcsolatos tapasztalatait. Ezek közül a leglényegesebb az volt, hogy a testületi szervek a rendelkezésre álló rövid határidőn belül csak olyan kutatóhelyekről képesek objektív és konstruktív véleményt alkotni, amelyeknek munkáját folyamatosan figyelemmel kísérték. Ezért a beszámoltatást, a tervezés módszereit, a véleményezés követelményeit tovább kell fejleszteni.

Nemzetközi kapcsolataink legfőbb bázisait, a nemzeti bizottságokat ez évben felülvizsgáltuk. Az osztályülés arra a megállapításra jutott, hogy a nemzetközi szervezetekben való közreműködésünk eredményes, ezért nemzeti bizottságaink további fenntartása feltétlenül indokolt a hazai tudomány fejlődése és nemzetközi tudományos szerepünk biztosítása szempontjából.

Az Osztály az elmúlt közgyűlés óta két nemzetközi konferenciát rendezett és nyolc felolvasó ülést, illetve székfoglalót tartott.

A Műszaki Tudományok Osztálya a Magyar Népköztársaság Elnöki Tanácsa 69. évi 41. számú, a Magyar Tudományos Akadémiáról szóló törvényerejű rendeletben az Akadémia részére előírt tudományirányító szerepet saját tudományterületén akkor töltheti be, ha a tudomány fejlődésének ismeretében tudományos irányítást gyakorol a műszaki kutatóbázisokban folyó kutatá-

sokra, tevékenyen részt vesz a tudományos közélet irányításában, formálásában. Az akadémiai kutatóbázisok irányításának alapfeltétele a tudományos intézetek feladatainak egyértelmű meghatározása. Megítélésünk szerint az Akadémiai intézetek feladata olyan korszerű jelentős tudományos eredmények elérése kell legyen, amelyek a tudomány fejlődését szolgálják, illetve a társadalmi, népgazdasági fejlődést számottevő mértékben segítik elő.

Az Osztályon többször felmerült az a kérdés, hogy tulajdonképpen mit kell értenünk a műszaki alap kutatásokon. Az alap kutatásokra a Természet-tudományi Lexikon a következő meghatározást adja: „Az alap kutatás az objektív valóság jelenségeinek megfigyelésére és megismerésére, a természeti jelenségek belső összefüggéseinek, valamint törvényszerűségeinek feltárására irányuló tudományos tevékenység, amelynek új tudományos ismeretek szerzése a célja.”

E meghatározásban foglaltaknak a műszaki tudományok területén a mechanika, az anyagszerkezet, a rendszerelmélet, az információ-elmélet, a hálózat-elmélet területén folytatott kutatások felelnek meg leginkább. Bár erről a kérdéstről nem érdemes terminológiai vitát nyitni, hiszen a lényeges az, hogy a műszaki tudományos kutatás úgy tudományos, mint népgazdasági szempontból eredményes legyen.

Hazai adottságaink mellett jelentős népgazdasági eredmények elérésére, kivételes esetektől eltekintve — csak olyan területeken számíthatunk, amelyek az alkalmazás feltételei is rendelkezésre állnak. Nem kétséges, hogy az olyan tudományos eredmények, amelyeket a nemzetközi tudományos élet is elismer és dokumentál — szintén igen fontos részei a magyar tudomány nemzetközi megbecsülésének — de nagyobb értéke van számunkra akkor, ha a kutatás olyan tudományos eredményekkel párosul, amelyek alkalmazásának feltételei is rendelkezésre állnak vagy megteremthetők, és ezzel a népgazdaság érdekeit szolgálják.

Ezért jelentős a Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézetnek a Csepel Vas- és Fémművekkel, és a Műszaki Fizikai Kutató Intézetnek az Egyesült Izzóval évekre szóló szerződése, mely szerint a kutató intézet a vállalat egyes témáinak tudományos bázisát képezi.

A kutatásokkal kapcsolatban elmondottak hozzájárulhatnak a testületi kutatásirányítás hatékonyabbá, célratörőbbé tételéhez. A testületi szerveknek arra kell törekedniük, hogy a kutató bázisok munkáját folyamatosan figyelemmel kísérve olyan kutatások végrehajtását javasolják, amelyek eredményessége az adott szellemi és anyagi erők helyes felhasználásával reálisan várható és közvetve vagy közvetlenül a termelésben felhasználható.

Ezeket a szempontokat kell mérlegelni az egyetemi kutató bázisok kutatásainak orientálásával kapcsolatos véleménynyilvánítások során. Az egyetemi kutatások elsődleges célja a tudományos kutatások eredményeinek a követése és annak az oktatásban való felhasználása. Az egyetemi kutatás

egyes területeken olyan tudományos iskolák kialakulására is lehetőséget ad, amelyek új tudományos eredmények forrásaivá válhatnak. Számos nagymúltú tudományos iskola alakult már ki az egyetemeken, új iskolák is fejlődnek. Arra kell tehát törekedni, hogy a tudományos iskolák munkáját segítsük és a tanszékeket olyan tudományos feladatok megoldására orientáljuk, amelyek a tudományos iskolák erősítését, fejlődését szolgálják.

Az Osztálynak tehát a jövőben is jelentős szerepet kell vállalnia az egyetemeken folyó kutatások továbbfejlesztésében olyan akadémiai tudományos kutatási feladatok kijelölésével, amelyeket a rendelkezésre álló szellemi és anyagi erők eredményesen, hasznosíthatóan oldhatnak meg.

Sok szó esett az utóbbi időben az interdiszciplináris kutatások előtérbe helyezéséről, ezek kiszélesítéséről. A műszaki tudományok tekintetében világos és egyértelmű az, hogy egy-egy tudományos feladat megoldása nem nélkülözheti a határ- és társtudomány területekkel — idesorolva a társadalomtudományokat, mint pl. a közgazdaságtudományokat is való együttműködést, az eredmények célratörő felhasználását.

A műszaki kutatások eddig sem nélkülözhatték a fizikai, a matematikai, a kémiai kutatások eredményeit. Korunkban, a technika felgyorsult előrehaladásának időszakában arra van szükség, hogy a kutatási feladat megoldására a különböző tudományterületek kutatói célraorientáltan kapcsolódjanak. Az eredmény a kutatási feladatok helyes meghatározásától és a közös kutatómunka kellő összefonódásától függ.

Indokolt volna megvizsgálni az egyetemeken is — ahol az adottságok erre kellően biztosíthatók —, miként lehetne a tudományos feladatokat interdiszciplináris kutatásokkal elősegíteni. Az Osztály továbbra is arra törekszik, hogy minél jobban erősítse kapcsolatait a társtudományos osztályokkal és közös erőfeszítéseket tesz az interdiszciplináris kutatások kibővítésére.

A kutatóbázisok tudományos tevékenységével kapcsolatos objektív véleményalkotás, javaslattevés szorosan összefügg a kutatási eredmények értékelésével, illetőleg azok hasznosításával. A korszerű, jelentős tudományos eredmények nemzetközi visszhangja is objektív értékelésként fogadható el. Önmagában a publikáció még nem lehet az eredményesség mutatója, erre csak akkor alkalmas, ha az eredményességet elismerő recenziók is rendelkezésre állnak. Nyilvánvaló, hogy a kutatások döntő többségét képező népgazdasági célokra orientált kutatások eredményességét azok gyakorlati felhasználása, azok alkalmazása igazolja. Hazai tudományos életünk egyik legnagyobb problémája a kutatási eredmények nem kellő mértékű hasznosítása. A kutatásban, az iparban egyaránt megtalálhatók az akadályozó tényezők, melyek már a feladat meghatározásánál szükséges követelményrendszer hiányosságaiból indulnak ki. E rendkívül sokrétű problémakör indokoltá és szükségessé teszi azt, hogy Osztályunk tovább foglalkozzék a kutatások gyakorlati hasznosításának problémáival.

A testületnek olyan véleményeket és javaslatokat kell adnia, amelyek tudományos felelősséggel és előrelátással adnak megalapozott útmutatást a kutatások irányaira, a szellemi kapacitások népgazdasági hasznosításának lehetőségeire. Ha az Osztály munkájában e célkitűzések megvalósításában előre lépünk, jelentős szolgáltatásokat tehetünk a tudományos közvélemény formálása, a műszaki kutatások célraorientálása terén.

Az Osztály tudós-társasági tevékenységének bővítése során indokolt, hogy testületi szerveink az eddiginél nagyobb számban és rendszeresebben tartsanak felolvasó- és vitauléseket, ankétokat, kerekasztal konferenciákat. Tovább kell fejlesztenünk a testületi demokratizmust, erősíteni kapcsolatainkat a minisztériumokkal és más országos hatáskörű szervekkel. Az Osztály további munkájával kapcsolatban elmondottak arra utaltak, hogy a műszaki-tudományos kutatások akkor elégitik ki a társadalmi igényeket, ha azok mind jobban közelednek a termeléshez és alkotásaikkal a kutatási ráfordítások többszörösét eredményezik, mint hasznot a termelésben. Ha ezt a követelményt következetesen szem előtt tartjuk és tudományirányító, véleményező tevékenységünkben érvényesítjük, munkánk eredményesebb lehet.

Végezetül engedjék meg, hogy a hazai műszaki tudományok nemzetközi elismerését kifejező eseményt jelentsek be. MAJOR Máté akadémikust kimagasló értékű építészettörténelmi és elméleti munkásságáért Herbert-díjban részesítették. Az Osztály nevében köszöntöm MAJOR Máté akadémikust, aki a holnapi napon veszi át a díjat és így osztályülésünkön nem vehet részt. További erőt, egészséget kívánunk munkájához.

Most engedjék meg, hogy az elmúlt időszak munkájáért köszönetet mondják bizottságaink tagjainak, az Osztály tagjainak, tudományos titkárságunknak azzal, hogy hasonló aktivitással és eredményességgel segítsék az Osztály munkáját a jövőben is.

HOZZÁSZÓLÁSOK AZ OSZTÁLYELNÖKI BESZÁMOLÓHOZ

GILLEMOT LÁSZLÓ

AKADÉMIKUS

Az osztályelnöki beszámolóban egy olyan gondolat hangzott el, amelyet a szünet után következő előadásomban szeretnék részletesebben is taglalni egy bizonyos szempontból, a gépgyártástechnológia szempontjából.

Hogy mégis szót kérek, az azért van, hogy az osztályelnök ama kérdésére: hogy mi az oka annak, hogy a kutatásaink kevésbé hasznosulnak, egy rendkívül általános természetű választ adjak. Nagyon merésznék hangzik, de én felvetném azt a gondolatot, hogy az egyébként helyes irányokban meginduló országos távlati tudományos kutatási tervet egyetlen szempontból érdemes volna végigvizsgálni. Éspedig, ha az összes kutatások volumenét megnézzük, azon belül a technológiák aránya nem tudom, hogy kielégítő-e. Én itt most nemcsak a gépészeti technológiáról beszélek, amit az előadásomban ki szeretnék fejteni, hanem ha végiggondolják a programokat: az egyes célprogramban alumíniumipari technológia, a kettes számú célprogramban műanyagipari technológia, a kémiai technológiák, a mezőgazdasági technológiák egész sorát lehetne vizsgálni és aránybaállítani a tervben szereplő összes kutatásokkal. Ezt az aránybaállítást én nem csináltam meg, de az az érzésem, hogy egy gondos felülvizsgálat azt mutatná ki, hogy a technológiákra való ráfordítás — tehát magyarul mondva a fejlesztési költségek — viszonylag nagyon csekélyek a kutatási költségekhez képest.

Ha azt a célt el akarjuk érni, amit az osztályelnök egyelőre kérdés formájában felvetett, a legelső számú alapkérdés a tényleges kutatás és a fejlesztés vagy ha úgy tetszik, a kutatás és a technologizálás arányának a vizsgálata. A kérdésről itt most nem kívánnék többet beszélni, a gépipari technológiákkal kapcsolatban egy pár gondolatot elmondanék róla, de általában is van egy olyan érzésem, hogy az ipar úgynevezett fogadókészsége azért nem olyan mint amilyennek szeretnénk, és azért nem valósul meg nagyon sok értékes kutatás, mert a technológiai színvonal nem olyan, amely ezen kutatási eredmények fogadására alkalmas. A magam részéről tehát a kérdést nem megoldani képzelem egy pár mondatos hozzászólásban, de annak a vizsgálatát, hogy vajon helyes-e az arány a technológiai kutatás és fejlesztés és az egyéb kutatómunkák között, azt ezen a fórumon viszont, mint vitatémát bátorodom felvetni.

SZENDY KÁROLY

AKADÉMIKUS

Csatlakoznék GILLEMOT akadémikusnak a hozzászólásához, mert valóban a kutatások bevezetésének egyik fő hátráltatója az, hogy a kutatási eredmények a gyártásban nem technologizálhatók és nem válnak gazdaságosan alkalmazhatókká. — Szóval tulajdonképpen teljes vertikálításában kell a problémákat kezelni és a kutatást, a fejlesztést, a technologizálást és a gyártást együtt kellene áttekinteni. Természetesen e munkának különböző fázisai vannak. A kiindulásnál az úgynevezett „feasibility”-t, tehát magát a probléma megoldását kell megállapítani. Lehetséges, hogy már a probléma az eddigi vizsgálatok alapján megoldható, akkor ez elmaradhat. A megoldhatóság részletes vizsgálata azonban igen fontos és sok esetben hiányzik. A megoldhatóság vizsgálata nemcsak a kiemelt programok, hanem minden egyéb más program esetén is lényeges kérdés. Ebben a vonatkozásban is a gyáriparral együtt kell a kutató és a fejlesztő intézeteknek működniük.

LÉVAI ANDRÁS

AKADÉMIKUS

A nyilvános közgyűlésen igen érdekes előadást hallottunk BEREND akadémikustól, amely gazdaságpolitikánk történelmi összefüggéseivel foglalkozott. Az előadás kapcsán igen érdekes hozzászólások is voltak. Az előadásban egyebek között említették, hogy ma a bányászat, kohászat és energia az összes ipari beruházásoknak mintegy 40%-át veszi igénybe. Kérdés, hogy az Akadémia, az akadémiai bizottságok vajon tudnak-e és ha igen, mennyiben tudnak hozzájárulni kutatási munkával vagy a kutatási munkának a befolyásolásával, hogy ezek a nagyhorderejű beruházások mindig a legjobb irányban menjenek. Tegyük mindjárt hozzá, hogy mi e területen a kutatást és a fejlesztést nehezen tudjuk szétválasztani. Kitérek ezért röviden két, energetikai jellegű bizottságunkra.

Tisztelt osztályelnökünk beszámolójában elhangzott, hogy az OMFB-vel három közös bizottságunk van már, ezek között az egyik az Akadémia és az OMFB Energetikai Tudományos Bizottsága, amelyben megpróbálunk időnként — elég rendszeresen — állást foglalni bizonyos energetikai fejlesztési kérdésekben is. E bizottságban részt vesznek az illetékes főhatóságok felelős képviselői, is és így állásfoglalásunkat a népgazdasági összefüggések ismeretében alakíthatjuk ki.

Valószínűleg tévedés folytán nem került megemlítésre az osztályelnöki beszámolóban egy másik hasonló jellegű bizottságunk, amely közös az Országos Atomenergia Bizottsággal, ahol csak elég nagyjelentőségű, a kutatást és a fejlesztést érintő alapkérdések szintén felmerülnek. Így például az, hogy köztudottan atomerőműveink szállításához — amelyek pedig nélkülözhetetlen elemei a jövő energetikának — csak úgy tudunk hozzájutni, ha megfelelő részt vállalunk atomenergetikai berendezések hazai gyártásában, és ha legalább annyit exportálunk ezekből a szocialista integráció keretén belül, amennyi a vásárolni szándékolt atomerőműveknek az értéke. Az eddigi tárgyalások során Magyarországra az atomenergetikai berendezések gyártásában bizonyos profilt tűztek ki. A vállalt feladatok egy része nem okoz nekünk különösebb problémát. Ilyen például a komplett vízelőkészítő berendezés — beleértve a primerköri vízelőkészítést — amelynek komoly tudományos és ipari alapjai vannak: van egy kutatóintézetünk, amely ezzel foglalkozik; vannak tervező irodák, van gyártóbázisa is. Vannak azonban olyan egyéb feladatok is, mint például a reaktort kiszolgáló nehéz daru, amely rendkívül nehéz, bonyolult, drága konstrukció, vagy a manipuláló és javító szerkezetek és így tovább, amelyekre bizony nem rendelkezünk tapasztalattal. Itt felmerül bizonyos hiányérzet annak következtében, hogy az ipar a tárgyalások során elvállal nagyvolumenű szállításokat — itt több milliárd rubelről van szó — ugyanakkor ezek a területek kimaradnak a hazai fejlesztő tevékenység szemszögéből, de az Akadémia szemszögéből is. Ha ilyen nagy ipari vállalatokat vállalunk, mint amilyen beszállításunk az atomreaktoroknál és az atomerőműveknél, részvételünk az atomenergetikai integrációs programban, akkor jó lenne, ha ez gyorsan visszatükröződnék a kutatási és fejlesztési vonalon is. Tudom, hogy ma az MKKT meghatározott témákkal foglalkozik, amit nem könnyű módosítani, de, minthogy a szakosítási tárgyalások az utolsó félévben vagy háromnegyed évben zajlottak le, nekünk kell nagyobb rugalmassággal követnünk az ipari feladatokra való felkészülést. Magának az Akadémiának is feladata, hogy bizottsági rendszerével, testületi munkájával ilyen kérdésekre kellően felhívja a figyelmet. Ösztönözzön azáltal is, hogy, amint az az osztályelnöki beszámolóban elhangzott, üléseit nem csupán az Akadémia termeiben tartja, hanem a kutató-fejlesztő helyeken, ipari intézetekben, sőt iparvállalatoknál is. Igyekezzék motorként odahatni, hogy az időnként módosuló népgazdasági célkitűzések és kutatás-fejlesztési tevékenységünk mihamarabb szinkronba kerüljön.

FERENCZ CSABA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az előzőekben felvetett technológiai kérdéshez, mint nagyon meggondolkodtatóhoz, kívánok én is hozzászólni. Úgy tűnik, hogy a tömeggyártásban, nyereséges ipari-népgazdasági felhasználásban való alkalmazás és a kutatásunk között mindenképpen mutatkozó jelentős távolság két markáns jelenségre is felhívja a figyelmet.

Egyrészről nagyon sok tudományos eredmény ipari-tömeggyártási bevezetéséhez az adott pillanatban nincs meg az ipar részéről a fogadóképes technológia. E kérdést már többen részletezték.

Másrészről azonban célszerűnek tűnik egy másik problémára is figyelni. Tudjuk, hogy sok technológiai kutatás folyik hazánkban. Nem elegendő, de valamennyi azért folyik. Azt is tudjuk, hogy a magyar ipar képes arra, hogy például az űrkutatás területén a szocialista álla-

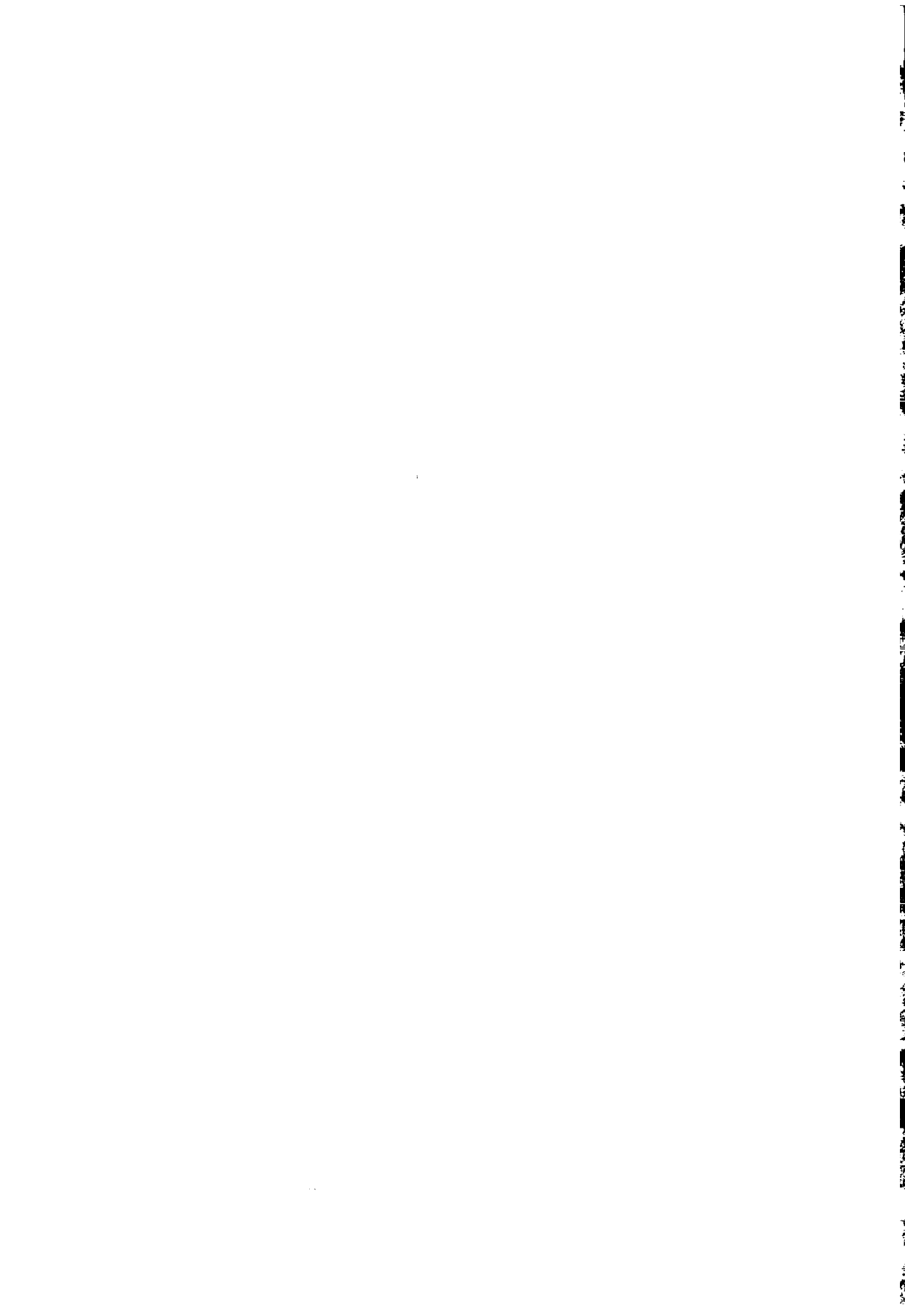
mok között kimagasló technológiai szinten gyártson alkatrészeket olyan berendezésekhez, amelyek a világűrben évhosszat hibátlanul üzemelnek. Mégis az így az iparban kifejlesztett nagymegbízhatóságú technológia stb. ugyanabban az iparban nem kerül át a tömeggyártásba, vagy csak igen lassan.

Ez utóbbi csoportba tartozó jelenségek hívják fel a figyelmet a másik fontos tényezőre. Tudniillik valamely tudományos kutatási, technológiai vagy nem technológiai eredmény megszületése (például: nagy integráltsági fokú áramkörök — LSI — az elektronikában) és a tömeggyártásban gazdaságos alkalmazása között nagy még a szakadék. Minden országban, ahol e két terület mégis élő kapcsolatban van, létezik egy közbenső lépcső. Ez olyan gyártó-felhasználó, amelyik bírja és vállalja az új eredmény kezdetben nagyobb költségeit. Adaptálja az eredményt, és ezzel az adaptálással elvégzi a majdani tömeggyártás számára a további technológiai és nem technológiai jellegű fejlesztést. Az eredmény ez után válik a tömeggyártás számára átvehetővé.

Ilyen közbenső gyártó-felhasználó általában az igényes termékből kis (vagy közepes) szériákat gyártó ipar. Például: az űrkutatás alkalmazott területei (meteorológiai műholdvevők, küsszériás célberendezések stb.), a repülőgépipar (minden iparilag elfogadható szinten levő ország gyárt valamilyen fajta repülőgépet, hazánkat kivéve!) stb.

Nem készültem fel annak mélyebb elemzésére, hogy e jelenségnek hazánkban mi az oka. Felszínesen nézve úgy tűnik, mintha egyfajta felhasználó hiánya lenne. Azonban valószínűnek tartom, hogy e felhasználó hiány attól állott elő, hogy népgazdasági tevékenységünk célszerű, nyereséges irányokba való koncentrálása idején nemcsak a nem-nyereséges tömeggyártást és értelmetlen (autarchikus) küsszériás ipari gyártást szüntettük meg, hanem ezen, szintén kis szériás, igényes és a XX. század technikai-technológiai fejlődésének az élén járó, a gyökeresen újat képviselő „közbenső felhasználó-gyártó” üzemeket is.

Véleményem talán nem támadhatatlan, de e jelenségre a figyelmet szerettem volna felhívni.



A GÉPIPARI TECHNOLÓGIAI KUTATÁS JELEN HELYZETE ÉS JÖVŐ FELADATAI

GILLEMOT LÁSZLÓ

AZ MTA RENDES TAGJA

A gépgyártástechnológia fogalma igen sok technológiára terjed ki. A kiinduló anyag és a félégyártmány gyártási technológia megválasztása igen nagy befolyást gyakorol az alkatrészgyártás befejezését jelentő forgácsoló megmunkálási technológiákra. A technológia eredményessége a szerkesztéstől is nagymértékben függ. A szerkesztés, az anyag, és a technológia összefüggő egységet alkotnak. A technológia területén igen jelentős fejlődést jelentett a számjegyzérlésű szerszámgépek megjelenése. Ezek azonban akkor lesznek a termelésben hatékonyak, ha a félégyártmány-gyártás technológiája is megfelelő szintre fejlődik. A tanulmány rövid összefoglalást ad a hazai technológiai kutatás eredményeiről anélkül azonban, hogy az esetleges hiányosságokat bírálná. Megállapítható, hogy a kutatás főleg ott eredményes, ahol a kutatómunka eredményeképpen a gyártóeszköz is létrejön. A hazai technológiai kutatás egyik fő problémája az, hogy a belföldi piac az új típusú gyártóeszközöket csak kis példányban igényli és így a gyártóeszközök fejlesztési költségei kevésszámú darabra oszthatók csak fel.

1. Célkitűzés

Előadásom megkezdése előtt szeretném nyomatékosan hangsúlyozni, hogy az előadás célja nem egyes kutatási témák bírálata, vagy egyes intézmények működésének felülvizsgálata, hanem a gépipari technológiai kutatás jellegzetességeinek az elemzése és azok a következtetések, amelyeket a hazai és a külföldi fejlődés általános trendjéből le lehet vonni. Éppen ezért az előadásban megemlített kutatási eredmények csupán példaként vannak kiemelve ahhoz, hogy következtéseimet ezekkel a példákkal alátámaszthassam. Természetes és szükségszerű, hogy a kutatómunka volumenét meghatározza a rendelkezésre álló szellemi és anyagi ráfordítás. Nem fogok kitérni arra sem, hogy ez a ráfordítás sok vagy kevés, mert az mélyebb elemzést igényel, mint amennyi egy akadémiai osztályülés keretében rendelkezésre áll, azt azonban meg kellene vizsgálni, hogy a teljes kutatási terven belül a technológia a fontosságának megfelelően van-e dotálva.

Előadásom végén azonban ki szeretnék térni arra, hogy milyen módszer-tannal lehet a rendelkezésre álló erőket felmérni és azok alapján a legfontosabb kutatási feladatokat kiválasztani és az erőket abba az irányba koncentrálni.

Előadásomhoz felhasználtam a rendelkezésre álló publikációkon kívül az intézetek és az érdekelt főhatóságok jelentéseit és a tárgykörhöz tartozó tanulmányait. Főleg a távlati feladatok megfogalmazásánál nagymértékben támaszkodtam arra a nemzetközi munkára, amely a C. I. R. P.-ben (College

International pour l'Étude Scientifique des Techniques de Production Mécanique) folyt és amelynek végeredményét mint a technológia tervezésének távlati lehetőségeit, Magyarországon is közzétették. Ugyancsak nagymértékben támaszkodtam arra a munkára, amelyet a Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Elméleti Technológiai Bizottsága végez immár közel két év óta. Az Elméleti Technológiai Bizottság rendre megvitatja az ország technológiai kutatóhelyein folyó kutatásokat tudományos szempontból; tehát egy olyan analitikus értékelő munkát végez, amelynek szintéziséből értékes következtetéseket lehet majd levonni. Bár ez a munka már két éve folyik, éppen azért, mert az elemzést témánként végezzük, még további kb. 1,5—2 év munka van hátra, amíg egy végleges összefoglaló álláspontot tudunk az érdekelt tárcák, illetve a műszaki közvélemény elé terjeszteni.

2. A technológia szerepe

Fel kell használnom az alkalmat arra, hogy az Akadémia közgyűlésén nagy nyomatékkel hangsúlyozzam a technológia szerepét és fontosságát. A technológia általában a gyártás tudománya, amelynek fontosságát legjobban az bizonyítja, hogy valamennyi tudományos eredmény népgazdasági hasznosítása a technológián keresztül valósul meg. A termelékenység fokozása is — ha az emberi munkaerő jobb kihasználását itt figyelmen kívül hagyjuk — csak a technológia fejlesztésén keresztül valósulhat meg. Bármilyen tiszteletre méltó és értékes eredményt érnek el a tudományos kutatók valamelyik tudományágban — tehát nemcsak a műszaki tudományokban — azoknak eredménye is csak a technológián keresztül realizálható. Elmaradt technológiájú egység új tudományos eredmények fogadására képtelen. Következésképpen a tudomány csak akkor válik valóban termelőerővé, ha megfelelő technológia áll rendelkezésre.

A technológiai kutatás Magyarországon hosszú ideig nem kapta meg a megfelelő helyét. Ezen a helyzeten lényeges változást hozott az, hogy a technológia fontosságát felismerve, az Országos Távlati Tudományos Kutatási Terv már 1972-ben a Kohó- és Gépipari Minisztérium irányítása alatt álló két országos szintű kutatási célprogramot tartalmazott, amelyek közül a K—6 a gépgyártástechnológia kutatás-fejlesztése, a K—7 pedig az elektronikus alkatrészek kutatás-fejlesztésével foglalkozik. Érdemes itt hangsúlyozni, hogy még az OTTKT megindulása előtt a KGM már technológiai jellegű tárcaszintű célprogramokat indított. A két országos szintű célprogram és a technológiai jellegű tárcaszintű célprogramok jelentős fejlődést jelentettek, annak ellenére, hogy a KGM K+F ráfordításában a IV. ötéves tervben még 42,3% volt a gyártmányfejlesztés és 22,3% a technológiai gyártásfejlesztés. A két országos szintű célprogram — bár kölcsönhatásban van —, de egymástól helyesen, széjjel van választva. Előadásomban csupán a gépgyártástechnológia kutatásával, fej-

lesztésével kívánok foglalkozni, de szükségszerűen ki kell térnem arra, hogy pl. a K—1, az alumíniumipar központi fejlesztési programjának kutatási célprogramja is tartalmaz technológiai kutatásokat, továbbá a KGM—3 számú tárcaszintű célprogram (szám irányítású szerszámgépek és integrált gyártórendszerek kutatása-fejlesztése) részben történelmi fejlődési okokból, részben pedig a terület kiemelt fontossága miatt nem része a K—6 célprogramnak. Ki óhajtok térni továbbá olyan kutatásokra is, amelyek nem részei valamely célprogramnak a jelen pillanatban. *Tehát előadásom nem egy célprogramról szól, hanem a gépgyártástechnológia területét kívánja felölelni.* Ugyancsak nem tartozik egy időbeli periódusra, tehát nem jelentés a IV. ötéves tervről vagy más időszakról.

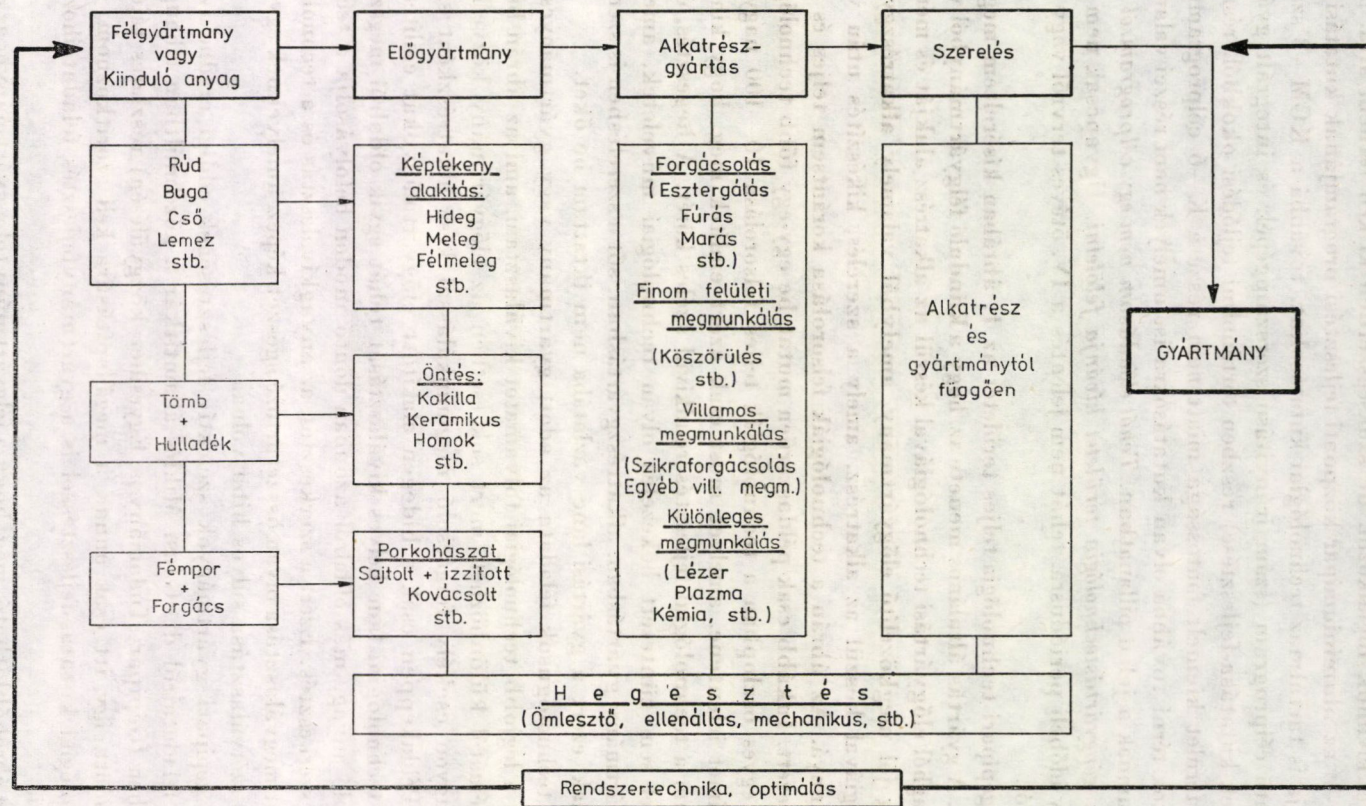
A gépipari technológia teljes területét az 1. ábrában kíséreltem meg bemutatni. A gyártás általános menete az, hogy a kiinduló félgyártmányból vagy alapanyagból előgyártási technológiával készül az alkatrész alakját és méretét lehetőleg jól megközelítő előgyártmány, amelyből valamely alkatrészgyártó technológiával készül az alkatrész, amely a szerelés, kikészítés után válik gyártmánnyá. Az ábrán a technológiák felsorolása korántsem teljes és nem rendszerezett. Inkább csak példaszerűen mutat be egy-egy főbb technológiát. Minden egyes oszlopban a technológiák teljes felsorolása 10—100 nagyságrendű címet jelentene, amelyet most csak azért említek meg, hogy kihangsúlyozzam a technológiai fejlesztés rendkívül széles körét. A hegesztés, és az ábrán fel sem tüntetett hőkezelés olyan technológiai műveletek, amelyek az előgyártmány gyártásban, alkatrészgyártásban, sőt a szerelésben is szerepet kaphatnak, ezért a gyártási lánc vázlatába nem iktattam be őket.

A technológusok feladata az adott gyártmány vagy gyártmánycsalád számára a legjobb technológiai folyamatot kiválasztani, ami az ábrán bemutatott sémától különbözhet, mert sok esetben az előgyártmány közvetlenül vagy nagyon csekély forgácsoló megmunkálással kész alkatrészként szerepelhet. Példaképpen csak a hidegen alakított előgyártmányokat említeném.

A technológiai lánc helyes kiválasztását tehát egyik oldalról megszabja a kiinduló anyag, más oldalról azonban döntő módon befolyásolja a technológiát a szerkesztés. Ezért a szerkesztés, az anyagkiválasztás és a technológiai folyamat megválasztása olyan összetartozó egésznek képez, amelyeknek egymástól való szétválasztása súlyos hiba volna.

A gépipari gyártmányok szelektív fejlesztésének eddigi eredményeiről és jövő feladatairól dr. GÁCSI Miklós államtitkár a közelmúltban elhangzott beszédében (Gépipari Tudományos Egyesület közgyűlésén) részletes tájékoztatást adott, így itt csak annak a megállapítására kell szorítkoznom, hogy a technológiai kutatás-fejlesztéssel is a gyártmányfejlesztés feladataihoz kell igazodni.

Az ábrából látható még, hogy a félgyártmánytól a gyártmányig az egyes technológiai műveleteket összeköti a rendszertechnika és az optimalálás. Ez azt



1. ábra. A technológia folyamatábrája

jelenti, hogy a megmunkálási sorrend és a megmunkálási technológiák, a legkedvezőbb szerszámozás kiválasztásával és sok más összefüggés vizsgálatával az adott gyártmány vagy gyártmánycsalád számára meghatározható az optimális technológia.

Az egyes technológiákat tehát nem önmagukban elszigetelten kell vizsgálni, hanem az eredmény értékelésénél mindig azt kell figyelembe venni, hogy az egész gyártás menetében milyen kihatással van a gyártmány önköltségére és egyéb tényezőkre (pl. munkaerő megtakarítás).

Végül az ábrával kapcsolatban még megjegyzendő a következő: Az utóbbi évek alaptudományi fejlődése rendkívül erős befolyást gyakorolt a technológiákra. Így pl. a képlékenységtan fejlődése lehetővé tette, hogy a képlékeny alakítás technológiájának bármely művelete a megkövetelt pontossággal számítható legyen. Érdekes módon ugyanez a fejlődés még hiányzik a forgácsolás területén, ahol még eléggé általános a sok empiriát tartalmazó számításmód használata.

Külön ki kell emelni, hogy a szilárdtestfizika igen jelentős szerepet játszik az előgyártmány gyártás, továbbá a hegesztés, hőkezelés területén, mert ezek a technológiák befolyásolják, sőt megszabják az anyag tulajdonságait. A forgácsoló technológiák inkább csak a felületi minőséget befolyásolják, és ezen keresztül csak a kifáradási határra vannak befolyással.

A technológia minden területére, akár a technológiai folyamatok számítása, akár a folyamatok számjegyzévezlése, vagy pedig a rendszertervezés területére igen jelentős befolyással van a számítástechnika, amelynek jelentőségét nem lehet vitatni; az alkalmazás üteme és az erre fordított kutatási kapacitások időbeli elosztása, és a nemzetközi munkamegosztásban való részvételünk lehet csak olyan kérdés, amely a jelenlegi alkalomnál jóval mélyrehatóbb elemzést igényel.

A technológiai fejlesztés tehát erősen összefügg az alaptudományokkal, azonban rendkívül nyomatékosan hangsúlyozom azt, hogy az alaptudományi eredmény önmagában nem technológiai eredmény, hanem önmaga is involvál egy technológiai fejlesztési munkát, amely legalább olyan volumenű, legtöbbször azonban még nagyobb, mint maga az alaptudományi eredmény. A technológiához kapcsolódó alaptudományi kutatások és a technológiai kutatások között rendkívül szoros koordináció szükséges anélkül azonban, hogy a két kutatómunka egymással összekeverhető volna.

Mint a gondolatmenetből látszik, a gépipari technológia a K—6 célprogram, a már hivatkozott K—1 alumíniumipari cépprogrammal, a K—3 számítástechnikai célprogrammal, az F—1 szilárdtestfizikai főiránnyal, az alkalmazott mechanika egyes fejezeteivel (képlékenységtan, törésmechanika), sőt még a K—2 petrolkémiai célprogrammal a műanyag gépelemek kifejlesztése miatt kapcsolatban van. Ebből a gondolatmenetből azt a következtetést lehet levonni, hogy a K—6 célprogram szükségszerűen nem ölelheti fel a gép-

K6 Célprogram

Összesen 100 %

Részprogram	Költség %
1, Előalakító technológiák	12
2, Alkatrészgyártó technológiák	6
3, Forgácsoló és alakító szerszámok	39
4, Hegesztéstechnológia	16
5, Szereléstechológia	12
6, Gyártási rendszertechnika	15

2. ábra. A K-6 célprogram részprogramjainak arányai

ipar technológiai fejlesztésével kapcsolatos összes kérdést sem és így a technológia teljes területének vizsgálata olyan tudományos elemző munka, melynek elvégzése után lehet csak következtetéseket a technológiai fejlesztésről és kutatásról részletekbemenően levonni.

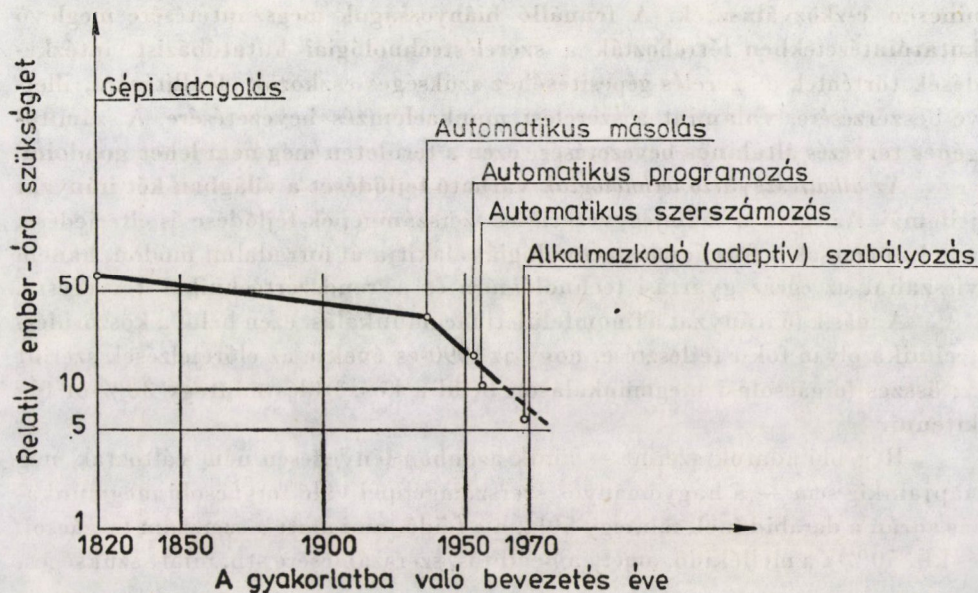
Bár a továbbiakban éppen ezért nem pusztán a K-6 célprogramról fogok beszélni, tájékozódásul a 2. ábrán bemutatom a K-6 célprogram egyes részprogramjainak az arányait is.

Fel szeretném hívni a figyelmet arra, hogy a részprogramok között — igen helyesen — rendkívül nagy súllyal szerepel a forgácsoló és alakító szerszámok fejlesztése. A program készítői ugyanis helyesen ismerték fel, hogy mind az előalakító, mind pedig az alkatrészgyártó technológiák továbbfejlesztésének döntő láncszeme a szerszámkérdés.

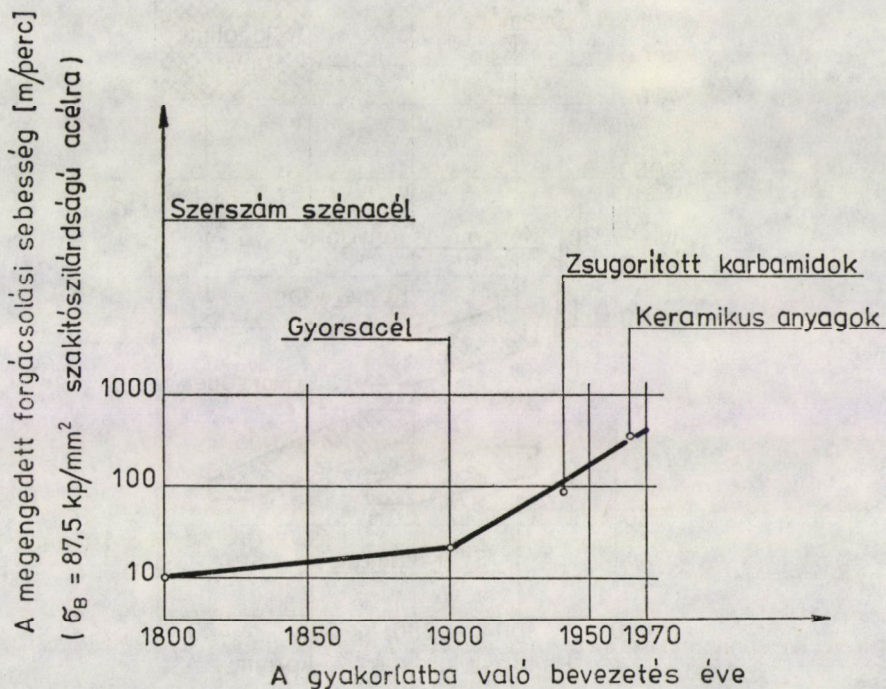
3. Az egyes technológiák fejlesztésében elért eredmények, egybevetve a világ fejlődésével

Az egyes technológiák fejlődését az 1. ábrából kiindulva a gyártmány vagy gyártmánycsaládtól a félgyártmányig visszafelé haladva fogom igen röviden ismertetni.

A szereléstechológia terén kezdeményező lépések történtek a IV. ötéves tervben. Az elvégzett felmérés azt mutatta, hogy a gépipari szerelésben foglalkoztatottak létszáma az összes dolgozó létszámának 14—20%-a. A felmérés szerint kevés a szerelész helyes konstrukció, továbbá a szerelés kiszélesítésére



3. ábra. Mellékidők csökkenése az automatizálás következtében



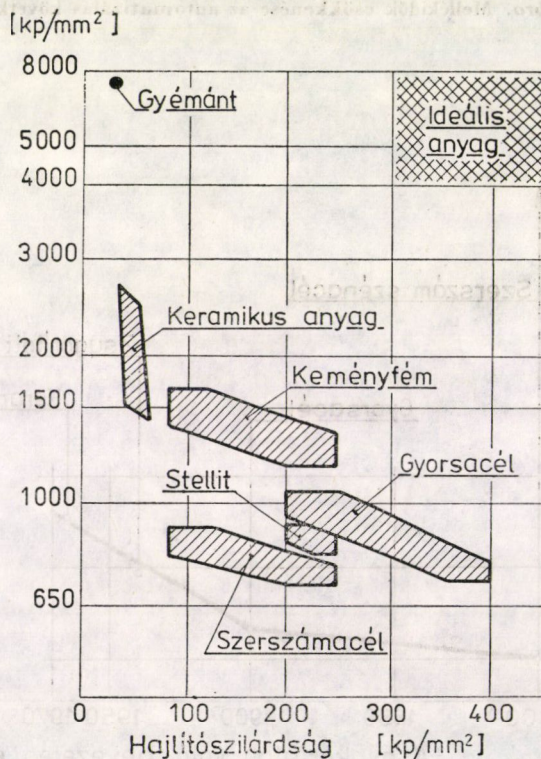
4. ábra. A vágósebesség változása az évek függvényében

nincsen eszközválaszték. A fennálló hiányosságok megszüntetésére meglévő kutatóintézetekben létrehozták a szereléstechnológiai kutatóbázist, intézkedések történtek a szerelés gépesítéséhez szükséges eszközök előállítására, illetve beszerzésére, valamint a szerelési munkaelemzés bevezetésére. A számítógépes tervezés általános bevezetésére ezen a területen még nem lehet gondolni.

Az *alkatrészgyártó technológiák* várható fejlődését a világban két irányzat jellemzi. Az egyik a számjegyvezérléses szerszámgépek fejlődése és elterjedése, amely nemcsak a forgácsolástechnológiát alakítja át forradalmi módon, hanem visszahat az egész gyártási technológiára és a rendszertechnikai tervezésre.

A másik fő irányzat a *finomfelületi megmunkálás*, ezen belül a *köszörülés-technika* olyan fokú fejlesztése, hogy az 1990-es évekre az előrejelzések szerint az összes forgácsolási megmunkáláson belül a köszörülés mintegy 30%-ot fog kitenni.

Régebbi adatok szerint — amik azonban lényegesen nem változtak meg napjainkig sem — a hagyományos szerszámgéppel való forgácsoló megmunkálás során a darabidőnek mintegy 50%-a a főidő, ami alatt a szerszám forgácsol, és kb. 50%-a a mellékidő, amely a beállítás, szerszámcsere stb. miatt szükséges.



5. ábra. Szerszám anyagok keménysége a hajlítószilárdság függvényében

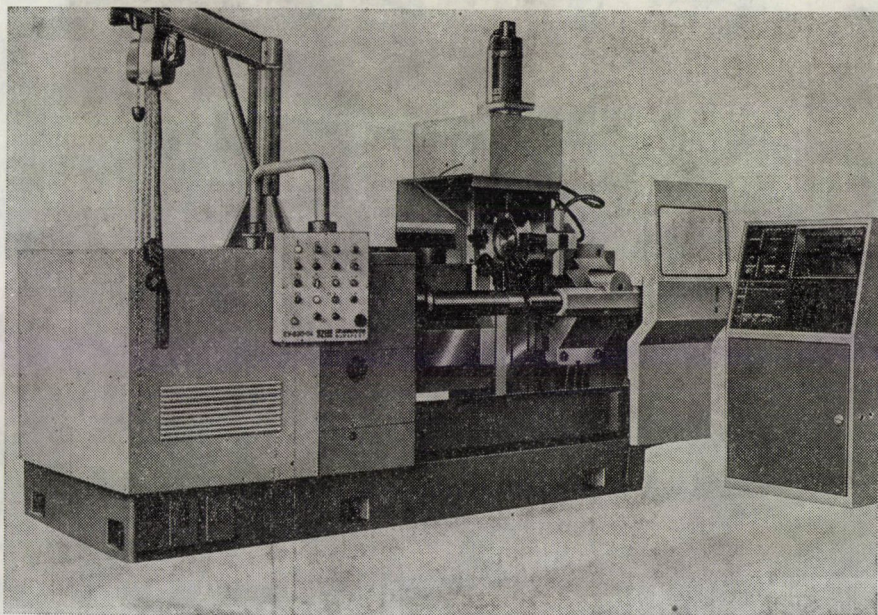
A főidő csökkentése lényegileg a vágósebesség növelésével, a mellékidő csökkentése pedig az automatizálás fokozásával érhető el.

A mellékidő csökkentésének eddigi múltját és jövő lehetőségeit a 3. ábra mutatja. Mint az ábrából látható, a most fejlődőben levő adaptív szabályozás további lehetőségeket nyújt a relatív ember-óra szükséglet csökkentésére. Ezért a görbe szaggatott vonallal extrapolálva van.

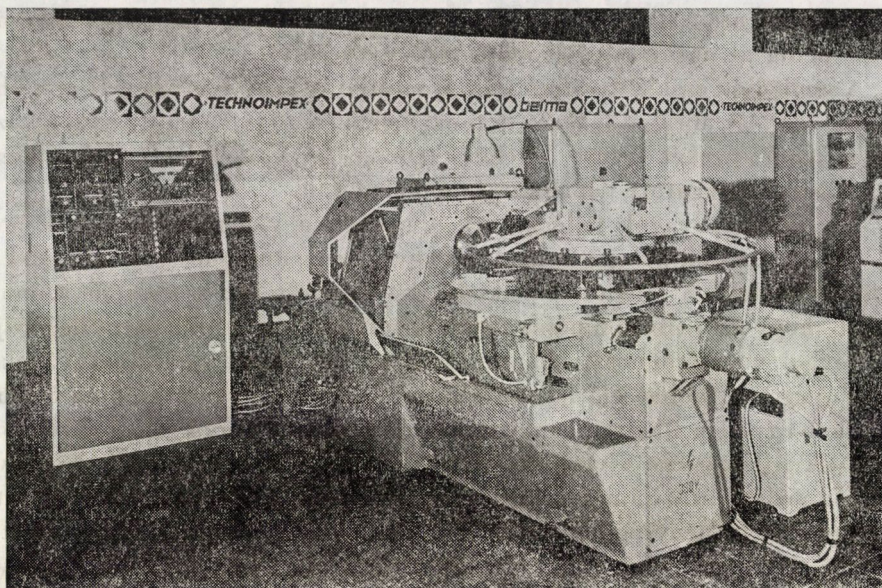
A szerszámanyagok fejlődésének a hatását a vágósebességre a 4. ábra mutatja. Az ábrából kivehető, hogy az egyes szerszámminőségek hatására az utóbbi évtizedekben jelentős emelkedés következett be; szeretném azonban kiemelni, hogy ez a görbe nincsen meghosszabbítva, mert pillanatnyilag teljes biztonsággal nem prognosztizálható az, hogy az ismert szerszámanyagokon kívül lényegesen jobbat elő lehet-e állítani. Ennek magyarázatát az 5. ábra adja, ahol egyetlen diagramban vannak ábrázolva a forgácsoló szerszámok, melyeknek jellemzésére a vízszintes tengelyen a hajlítószilárdság, a függőleges tengelyen pedig a szerszám keménysége van megadva. Mint az ábrából látható, a legnagyobb keménységű gyémántnak hajlítószilárdsága kicsiny, ezért a gyémánt szerszámok bár nagy jelentőségűek, de felhasználásuk bizonyos szempontból korlátozott.

A világlejlődés ezen prognózisával egybevetve, a hazai kutatás-fejlesztés helyes irányban halad és kiváló eredményeket ért el a számjegyvezérléses szerszámgépek fejlesztésében.

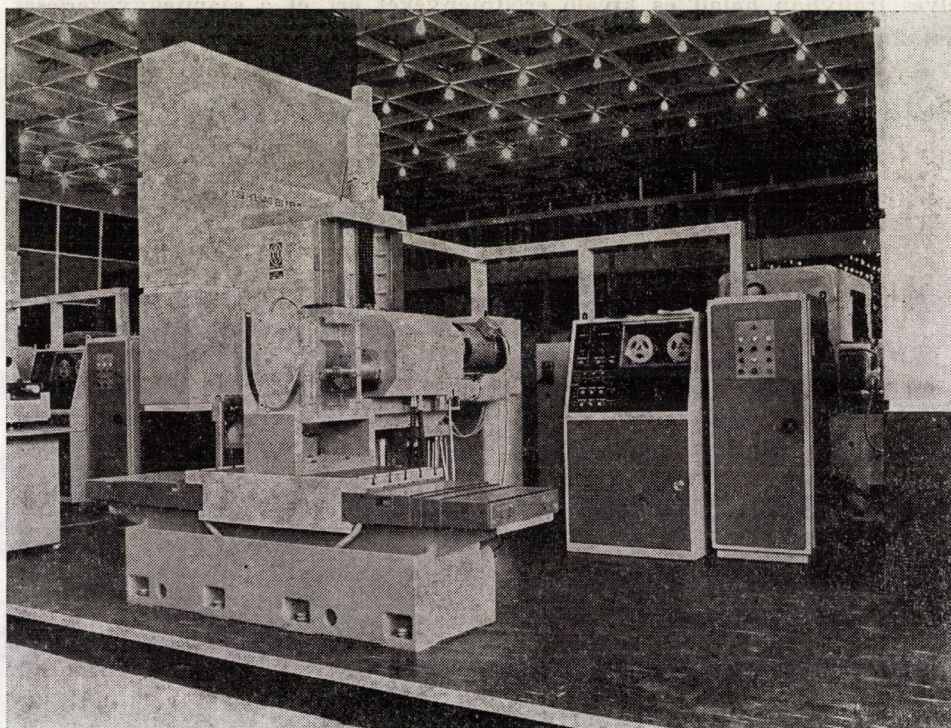
Néhány hazai gyártású NC szerszámgépet a 6., 7., 8., 9. és 10. ábra mutat.



6. ábra. SZIM EV 630-04 eszterga

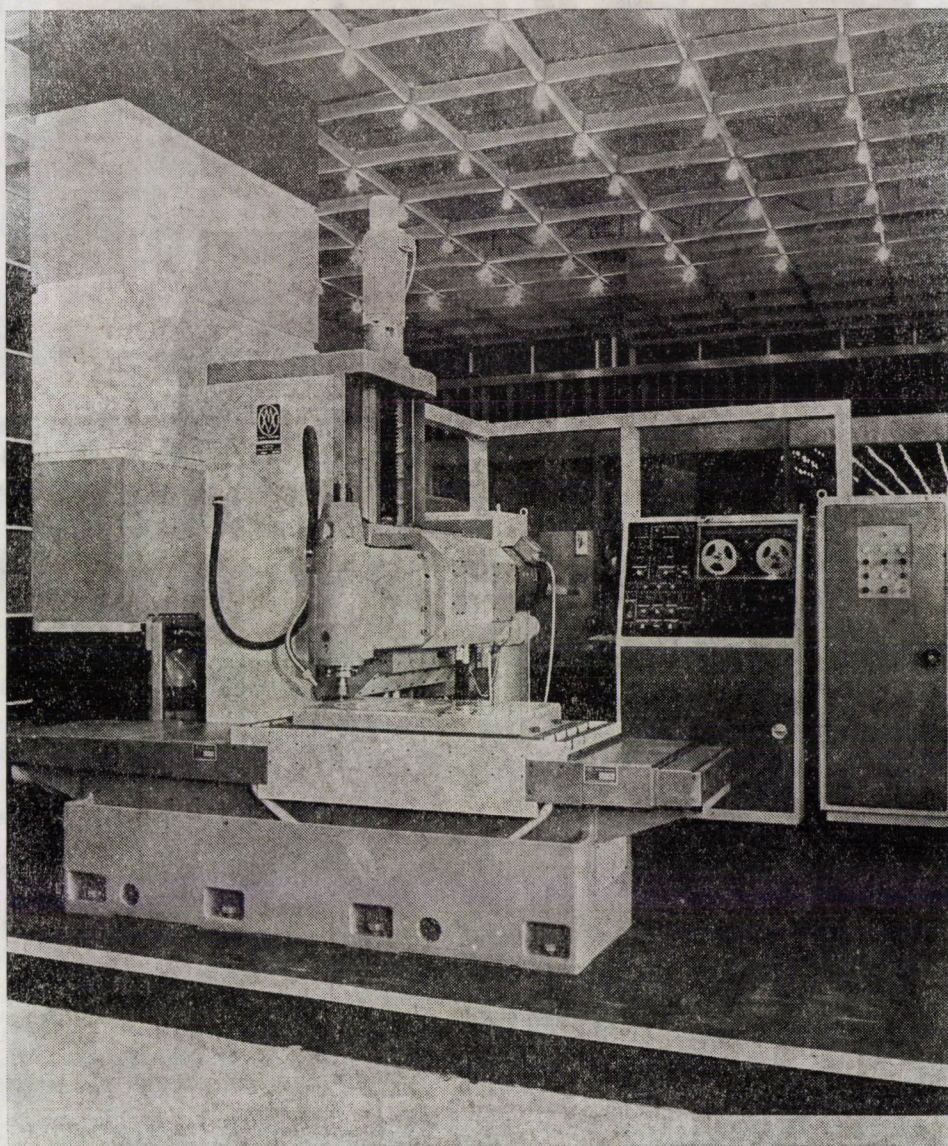


7. ábra. ERI 250 pályavezérlésű eszterga Bosch vezérléssel

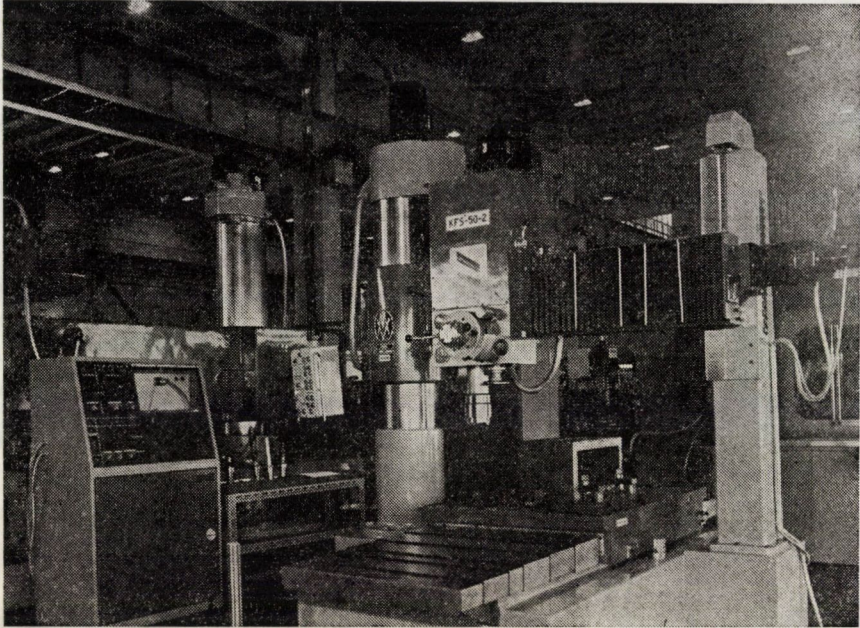


8. ábra. MVI 6-10 pályavezérlésű vízszintes marógép

A számjegyvezérlésű szerszámgépek hazai kifejlesztése jelentős eredmény. A fejlesztésben a hazai kutatómunka, a licenc-vétel és a kooperáció egyaránt nagy szerepet játszott. NC szerszámgépeink a gyártmánycsaládok elve alapján vannak felépítve és így a fogyasztók mindenkori igényeinek megfelelő géptípusok állíthatók elő. Jelenleg 20 különböző fajta gépből mintegy 180 numerikus vezérlésű szerszámgép van üzemben. Ezeknek egy része ugyan kísérleti



9. ábra. MFI 6-10 pályavezérlésű függélyes marógép



10. ábra. KFS 50 NC vezérlésű termelő koordináta fúró-marógép Bosch vezérléssel

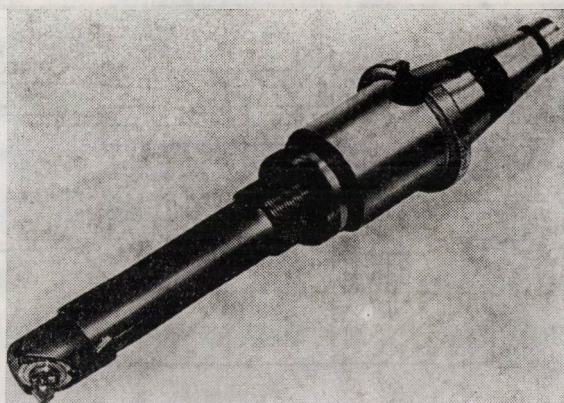
üzem jelleggel működik, azonban a kísérleti üzemek fontosságára a gyártási kultúra elterjesztésében a későbbiekben még rá kívánok mutatni.

Az NC szerszámgépek fejlesztése nem lett volna megoldható a szerszámok fejlesztése nélkül. Az NC gépek számára újfajta, nagyobb pontosságú, jobb termelőképességű, az automatikus szerszámváltást is lehetővé tevő szerszám-típusokat kellett rendszeresíteni.

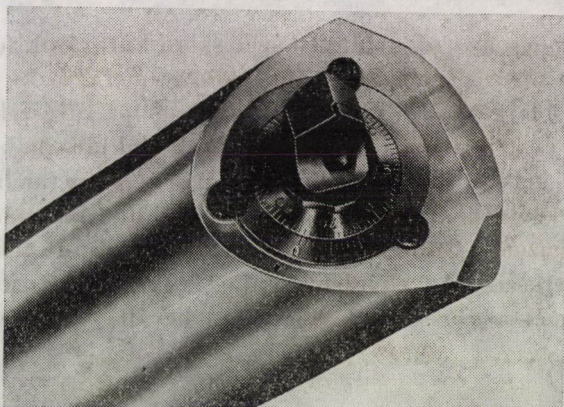
Az új szerszámok is a gyártmánycsalád elv szerint vannak felépítve, ezek közül példát a 11. és 12. ábra mutat.

Jelenleg a számjegyvezérléses szerszámgépek 1 órára eső költsége $1,6 \times - 2 \times$ nagyobb, mint a hagyományos szerszámgépeké. Ennek ellenére a számjegyvezérléses gépek lényegesen csökkenthetik a gyártás szűk keresztmetszetét elsősorban akkor, ha bonyolult alakú munkadarabok megmunkálásáról van szó. A jelentős beruházási költségek miatt a számjegyvezérléses gépeket lehetőleg három, de legalább két műszakban kell üzembentartani és egyelőre csak bonyolult alakú darabok megmunkálására rentábilis az alkalmazásuk.

Nem kétséges azonban, hogy a számjegyvezérléses szerszámgép és az adaptív szabályozási technika a jövő útja, ezért a folyamatos fejlesztés mellett igen nagy gondot kell fordítani arra, hogy a gépek üzemelése rentábilis legyen. Ennek útjai a már említett több-műszakos gyártás és bonyolult alakú darabok megmunkálásán kívül a forgácsolandó anyag helyes megválasztása, lehetőleg nagy pontosságú előgyártmányok alkalmazása stb. Az NC gépek rentabili-



11. ábra. Forgácsoló szerszám NC szerszámgéphez

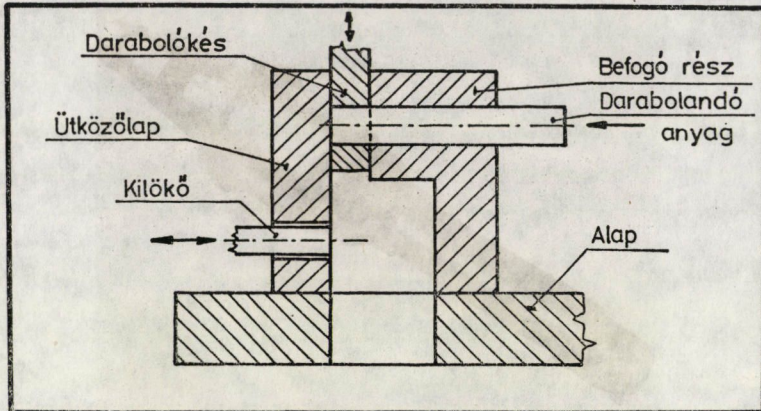


12. ábra. Forgácsoló szerszám NC szerszámgéphez

tásában igen jelentős tényező a technológiai folyamatok helyes megválasztása. A technológiai folyamatok számítógépes tervezésére Magyarországon részben önálló programnyelv kidolgozásával, részben külföldi programnyelv adaptálásával jelentős lépések történtek. Az eddig elért eredmények hatása a termelésre azonban még korántsem kielégítő.

A hagyományos forgácsoló technológia számítógépes tervezésére végzett hazai kutatások szovjet eredmények adaptálásán alapulnak és összhangban vannak a világ fejlődési irányaival, de jobb arányokat kell kialakítani az elvi kutatómunka és az ipari használatbavétel között.

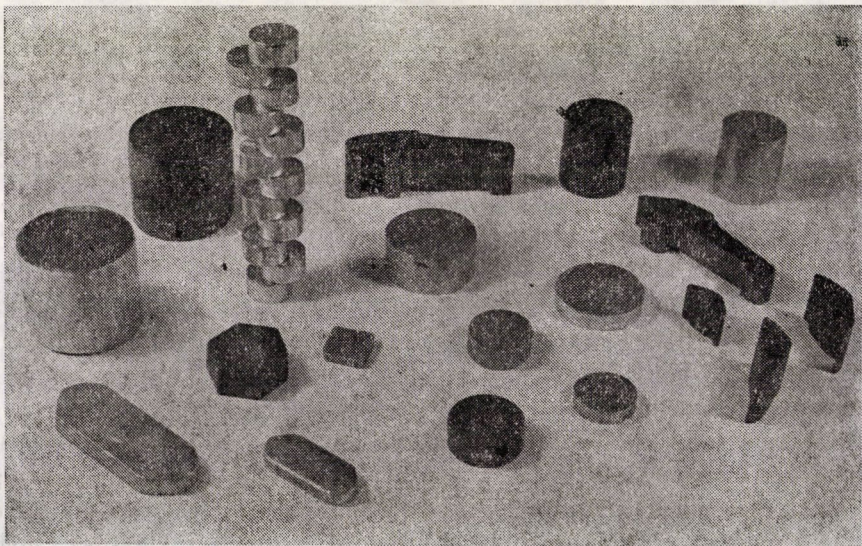
A forgácsolástechnológiai kutatások helyzetét nagyon nehezíti, hogy az igények és a hozzáfűződő érdekek igen heterogének, mert a szerszámgépipari kutatásokkal szemben támasztott igényeket az exportkötelezettség szabja meg, a termelő üzemek és a gyárak olyan kutatási eredményt keresnek, mely a mennyiségi és minőségi termelést segíti lehetőleg rövid idő alatt.



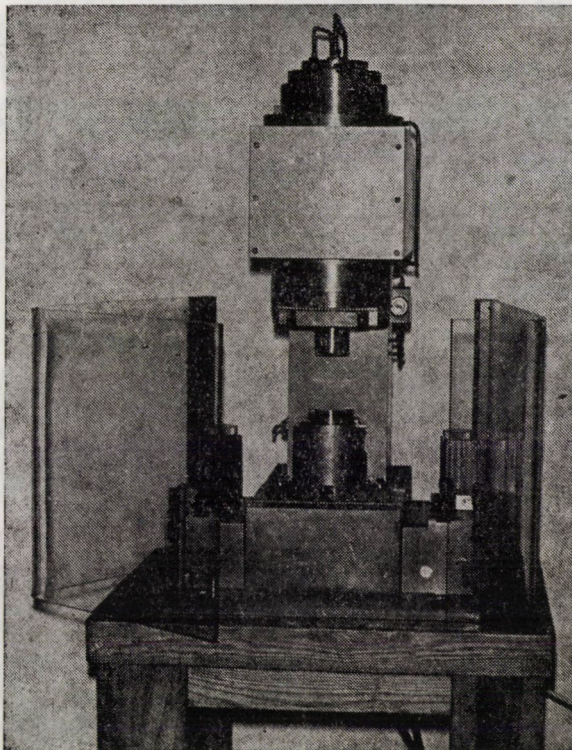
13. ábra. Síkfolyatásos darabolás elvi vázlatja

Az előgyártmány gyártás területén széleskörű kutatások folytak, amelyek közül elsőként a vágás és darabolás tárgykörét emelném ki, mely bizonyos fokig csatlakozik a forgácsoláshoz is. Forgácsolással, pl. fűrészeléssel való vágás bár méretpontos és nem torzítja a vágott darab alakját, de hulladékot okoz.

A darabolás két irányban fejlődött, az egyik magyar találmányon alapuló módszer, melynek elvét a 13. ábra mutatja. A darabolandó anyag hossz-tengelyére alkalmazott axiális nyomás hatására a vágandó felületekben közel tiszta nyírás keletkezik. Az eljárást iparilag is megvalósították több helyen és az alumínium és a vörösréz darabolására bevált. Vörösrézet 5–50 mm,



14. ábra. Síkfolyatott munkadarabok



15. ábra. Pneumatikus lyukasztóberendezés

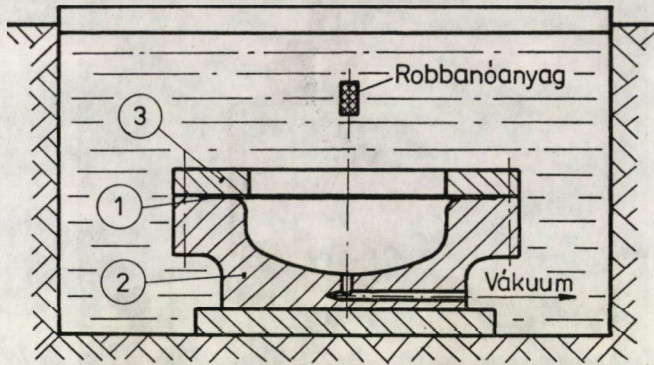
alumíniumot 5–80 mm határok között lehet vele darabolni. A gyártható munkadarabokat a 14. ábra mutatja. Az acél darabolása egyelőre nem megoldott.

Acélanyagok darabolására és lyukasztására a *nagysebességű darabolás* használható. Ebből két géptípust fejlesztettek ki. Egyik külföldi pneumatikus elemekből épült, 1 m/sec vágósebességgel működik. A másik berendezés 10–12 m/sec vágósebességgel működik, elsősorban lyukasztási célokra használható, és a fúrt lyuk minőségével azonos lyukakat állít elő. Ennek a kis lyukasztóműnek a képét mutatja a 15. ábra.

A képlékeny alakítási technológiák egyik leglényegesebb fejlődési trendje a világban az ún. *nagysebességű alakítás* volt, amely sok irányban fejlődött és — mint később be is fogom mutatni — nem szükségképpen a hagyományos technológiák helyettesítésére szolgál.

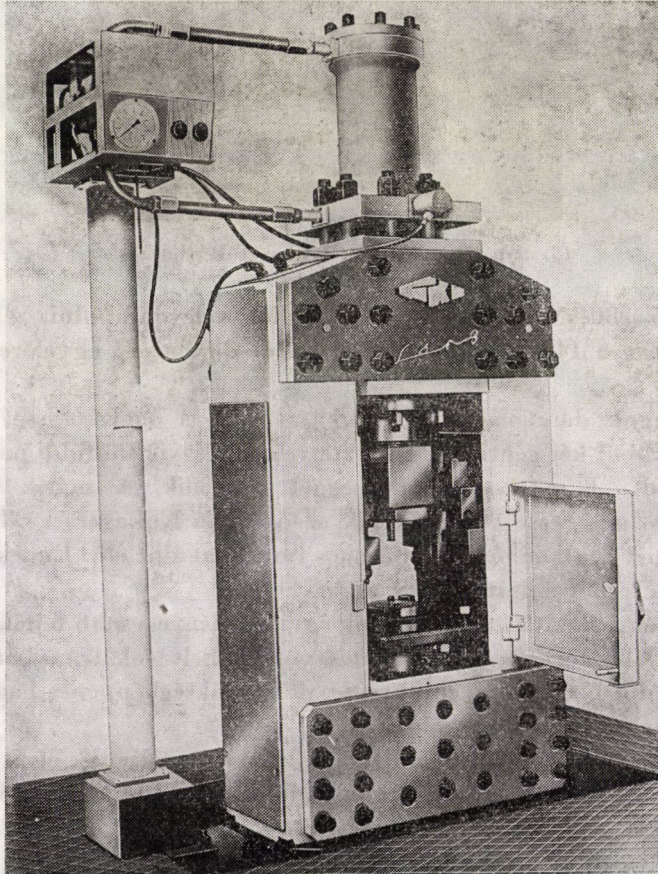
Az egyik fejlődési irány a robbantásos alakítás, melynek elvét a 16. ábra mutatja. Az alakítandó lemez felett folyadékban felrobbantott töltet lökeshulláma a lemezt a kívánt formára alakítja.

A robbantásos alakítás előkészületi ideje eléggé hosszú, maga a művelet ezredsekundum nagyságrendű idő alatt lezajlik. Mivel az alakítás energiája



1. Lemez 2. Matrica 3. Ráncgátó

16. ábra. Robbantásos lemezalakítás elve



17. ábra. 600 mkp-os pneumatikus ütőmű

nincsen korlátozva, ezért elsősorban nagyméretű egyedi darabok gyártására alkalmas és legfőbb előnye az, hogy ezen nagy darabok gyártásához szükséges nagy sajtók beruházási költségei megtakaríthatók.

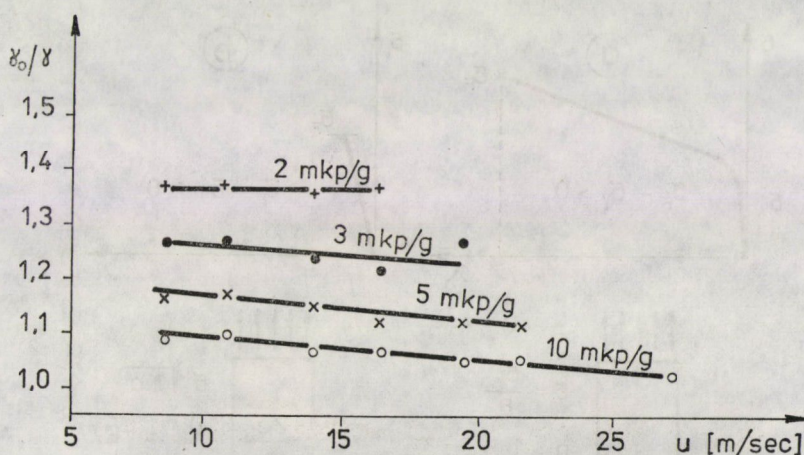
A lemezalakítás területén újonnan kifejlesztett irányzat az elektrodinamikus alakítás is. Magyarországon kifejlesztettek egy 50 kWsec-os teljesítményű berendezést, amely a Német Demokratikus Köztársaságban évek óta működik, itthon hasonló berendezést szerelésre fognak beállítani.

A hagyományos kovácsolás helyett a pneumatikus úton működő nagysebességű ütőműveket kezdték fejleszteni. Ez a fejlesztő munka a legtöbb országban sikertelen volt, Magyarországon azonban sikerült egy 6000 mkp és egy 2500 mkp teljesítményű típusból álló gépcsaládot kialakítani, amelyek évek óta eredményesen működnek (17. ábra). Bár a nagysebességű ütőművek a hagyományos alakítás terén is lényegesen nagyobb méretpontosságot és sorjamentességet eredményeznek, igazi alkalmazási területük mégis csak azokban a különleges lehetőségekben van, amelyeket az anyag és a technológia kölcsönhatása révén a későbbiekben említenék meg.

A *kovácsolási technika* területén figyelmet érdemel az, hogy licenciát vásároltunk az NDK-ból a sorjamentes sajtolás elterjesztésére és figyelemre méltó kísérletek folytak a hidegfolytatás elterjesztésének megalapozására.

A kovácsolás és sajtolás szerszámainak továbbfejlesztésére igen értékes lépés volt, amely kimutatta, hogy a szerszámanyagok vákuumban, illetve salak alatti átömlesztése igen kedvező hatású; tisztázható volt továbbá a szerszámanyag optimális hőkezelésének technológiája. Figyelemre méltó kísérletek folytak öntött süllyeszték anyagokkal is.

A *porkohászat* területén új utakat és lehetőségeket teremt a nagysebességű ütőművek alkalmazása. A 18. ábrán az ütés sebességének függvényében



18. ábra. Vapor relatív tömörsége a sebesség és energia függvényében

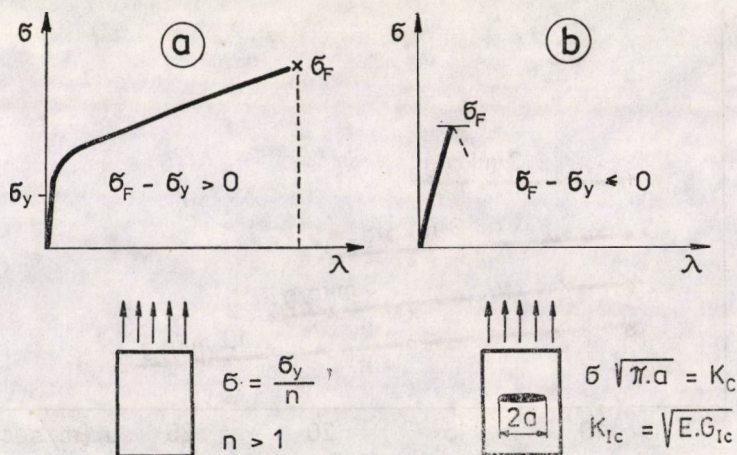
van feltüntetve, hogy milyen a sajtolt test fajsúlya a tömör test fajsúlyához viszonyítva. Mint látható, 10 mkp/g vaspör teljesítménnyel és 25 m/sec-os ütési sebességgel 95—97% körüli relatív tömörség érhető el. Bár folytak kísérletek porkohászati kovácsolásra is, megfelelő méretű izzítókemence hiánya miatt ezeket nem lehetett nagyobb méretekben megvalósítani, jöllehet a 6000 mkp-os ütőművel 0,6 kg súlyú portestek volnának gyárthatók.

Az öntészet területén elsősorban a méretpontos öntvények gyártása került előtérbe. Továbbfejlesztették szovjet együttműködéssel a precíziós öntés formázóanyagait, valamint értékes kísérletek folytak a keramikus formázás fejlesztésére.

A hőkezelés kutatások különösen a szerszámacélok hőkezelése terén voltak eredményesek. Kiemelhetők a termomechanikus hőkezelés terén elért eredmények.

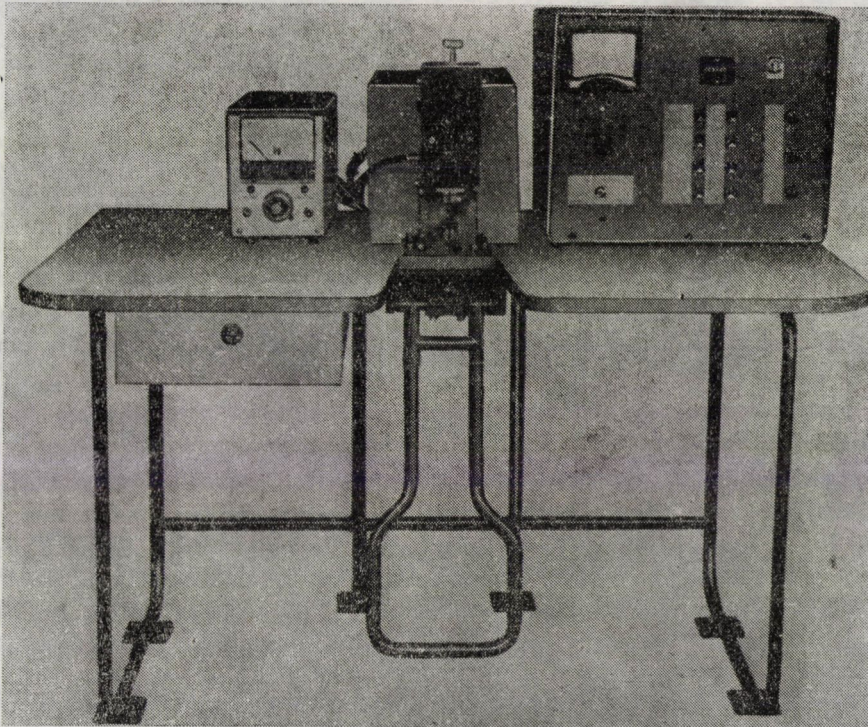
A hegesztési technológia az előgyártmány gyártástól egészen a szerelésig mindenhol befolyásolja a technológiai folyamatot. Az ömlesztő hegesztések területén — beleértve a kézi-, ív-, automata és félautomata hegesztéseket — a hegesztőanyagok gyártásában olyan súlyos az elmaradásunk, hogy ott csak licenccvételrel és új gyár üzembehelyezésével lehet az elmaradást behozni. A legújabb fejlődési irány az ömlesztő hegesztés területén a porbeles hegesztőhuzal, melynek gyártására szovjet licenciát vettünk. A gyártás azonban még nem indult meg.

Sikeres volt azonban a fejlesztő munka a növelt folyáshatárú hegeszthető acélok területén. A 35 kp/mm² folyáshatású acélananyag jó minőségben gyártható; a felmérések szerint hazánkban 45 kp/mm²-nél nagyobb folyáshatású anyag csak csővezetékek céljaira lesz gyártandó, azonban ez is kísérletileg meg van alapozva.

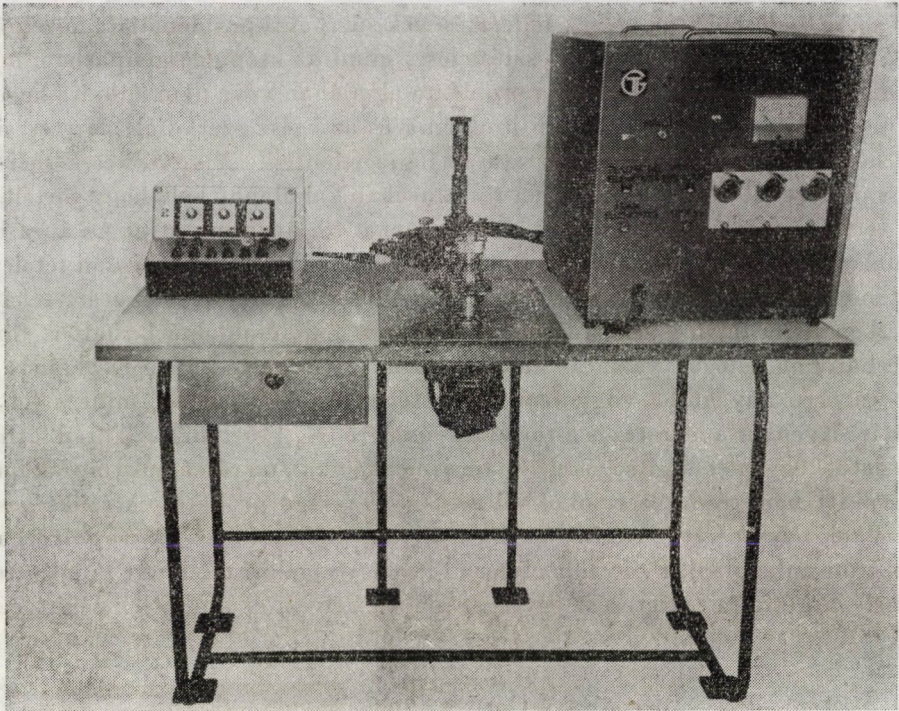


19. ábra. Méretezési elméletek

Az ömlesztő hegesztések fejlesztésének súlyponti problémája a közeljövőben a vastagfalú tartályok hegesztése lesz, mind az atomenergiaiparban, mind pedig a nehézszerkezetiparban. Ez a probléma alapjában véve nem annyira hegesztéstechnológia, mint ridegtörési probléma és az egész szerkezet méretezési és ellenőrzési szemlélet megváltoztatását fogja jelenteni. A szerkezetek méretezése, illetve ellenőrzése a jövőben törésmechanikai alapon kell, hogy történjen. A kétfajta méretezés közti elvi különbséget a 19. ábra mutatja. Az ábra bal oldalán a hagyományos méretezés vázlatát látható. Itt mindig fel van tételezve az, hogy a törést okozó feszültség nagyobb, mint a folyási határ, tehát a szerkezetet a folyási határra lehet méretezni. A jobboldalon látható a törésmechanikai felfogás vázlatát, amely szerint a törési feszültség valamely $2a$ hosszúságú anyaghiba vagy repedés esetében kisebb is lehet, mint a folyási határ. Ilyenkor a méretezés a törési szívósságra (K_{Ic}) történik az ábrán látható vázlatos egyenlet segítségével. A törésmechanikai mérőszámok megállapításához itt nem részletezett okokból nagy vastagságú próbatestek szükségesek, amelyek nagyméretű szakítógépeket igényelnek. Egy közel 15 éve folyó hazai kutatómunka alapján sikerült olyan új anyagvizsgálati módszert kifejleszteni, amely a kétfajta méretezést egységes alpra helyezi és amelynek segítségével



20. ábra. Kondenzátoros asztali ponthegesztőgép



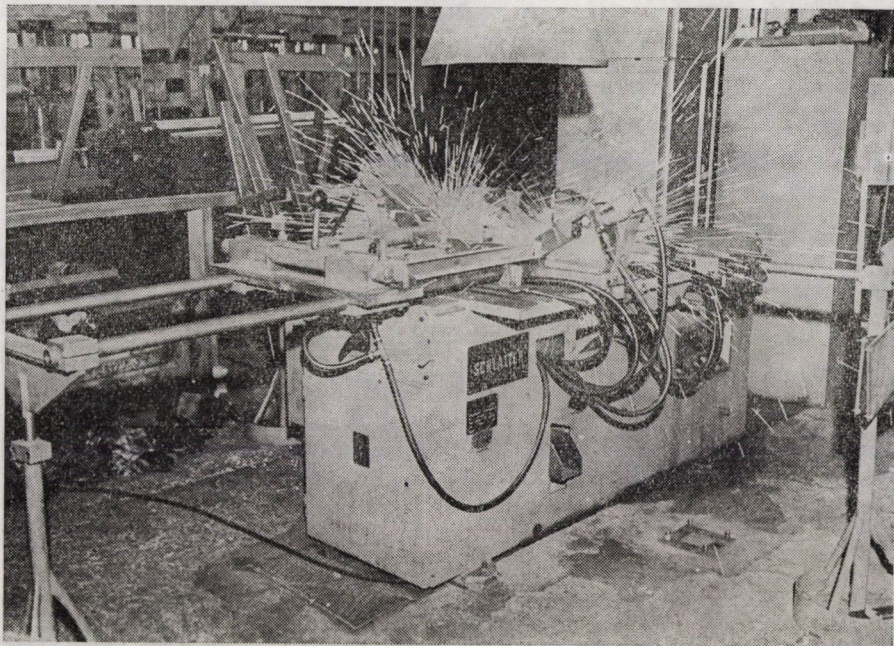
21. ábra. Mikroplazma hegesztő készülék

a szükséges mérőszámokat kisméretű próbatesteken is megbízhatóan lehet meghatározni.

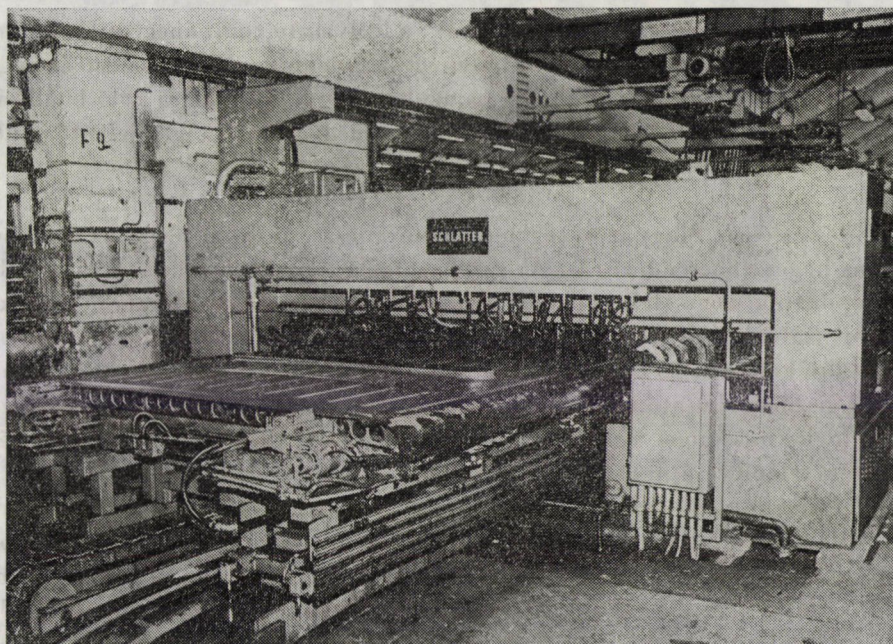
Az utóbbi években gyors fejlődésnek indultak világszerte a precíziós hegesztési eljárások vékony huzalok, lemezek hegesztésére. Ezek közül a hazai fejlesztő munka a 20. ábrán bemutatott kondenzátoros asztali ponthegesztő gépet, és a 21. ábrán látható mikroplazma hegesztő berendezést fejlesztette ki.

A hegesztés technológiájában az elmúlt időszak legszebb eredménye autóbusz kocsikszekrény főegységeihez gyártósorok kialakítása, ezen belül a tetőszerkezet leolvasztó tompahegesztéssel való előállítás, amelyhez csatlakozik a pont- és vonalhegesztés automatizált alkalmazása. Ennek a szép eredménnyel megvalósított technológiának egy-egy jellegzetes mozzanatát a 22., 23. és 24. ábra mutatja be. Bár a gyártás fejlesztése külföldi gépek beállításával történt és a fejlesztés döntő része a beruházás volt, mégis szeretném ezt a példát azért hangsúlyozni, mert

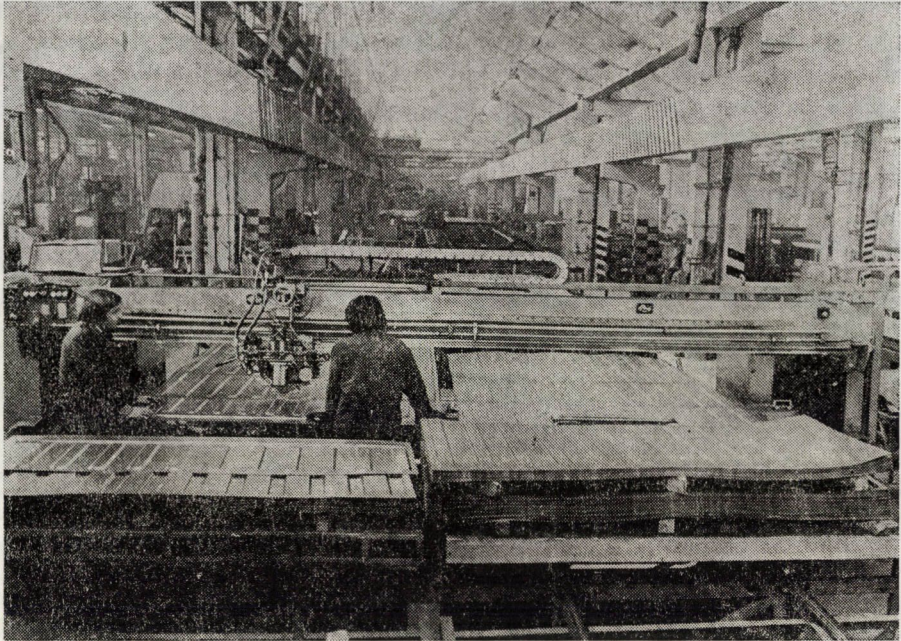
- a közúti járműgyártás fejlesztése a hosszútávú népgazdasági terv előirányzatainak megfelelő;
- az IKARUSZ autóbuszok a család-elv szerint vannak konstruálva, ezen belül egy technológiai fejlesztés tehát több gyártmány fejlesztését jelenti;



22. ábra. IKARUSZ gyári hegesztőtechnológia



23. ábra. IKARUSZ gyári hegesztőtechnológia

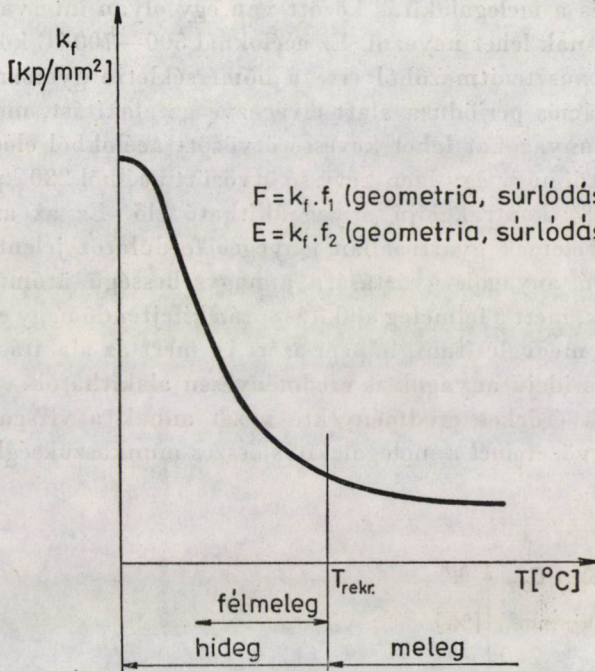


24. ábra. IKARUSZ gyári hegesztőtechnológia

- az egyes hegesztési technológiák: a leolvasztó tompahegesztés, a pont-hegesztés, a vonal- és a fóliahegesztés önmagukban ismert és régen használt technológiák, mégis azoknak egy adott célra való beállítása és a technológiai folyamat optimális megvalósítása igen jelentős kutatási, fejlesztési eredmény.

Megvalósult Magyarországon a hazai fejlesztő munka révén az elektronsugaras hegesztőberendezés is. Az ezzel szerzett tapasztalatok értékesek abból a szempontból, hogy elektronsugaras berendezéseket Magyarországon nem kell és nem szabad gyártani. A berendezéseket a szükséges néhány példányban importálni kell, a hazai célokra való alkalmazás lehetővé tétele azonban igazolja az eddigi hazai kutatómunkát. Az elektronsugaras hegesztés is egyike azon technológiáknak, amelyre szükség van, de célszerűnek látszik külön, speciális üzemben telepítve a netán felmerülő igényeket központilag ellátni.

Végül, de nem utolsósorban azt szeretném nagyon nyomatékosan hangsúlyozni, hogy az anyag és a technológia egymással szoros kölcsönhatásban van, amit a jövőben fokozottabb mértékben kell figyelembe vennünk. Példaképpen említeném meg, hogy ki vannak dolgozva a jól forgácsolható acélok és a forgácsolható alumínium ötvözetek. Az igény azonban a forgácsoló üzemek oldaláról általában nem jelentkezik. Nagyon szeretném hangsúlyozni azt, hogy

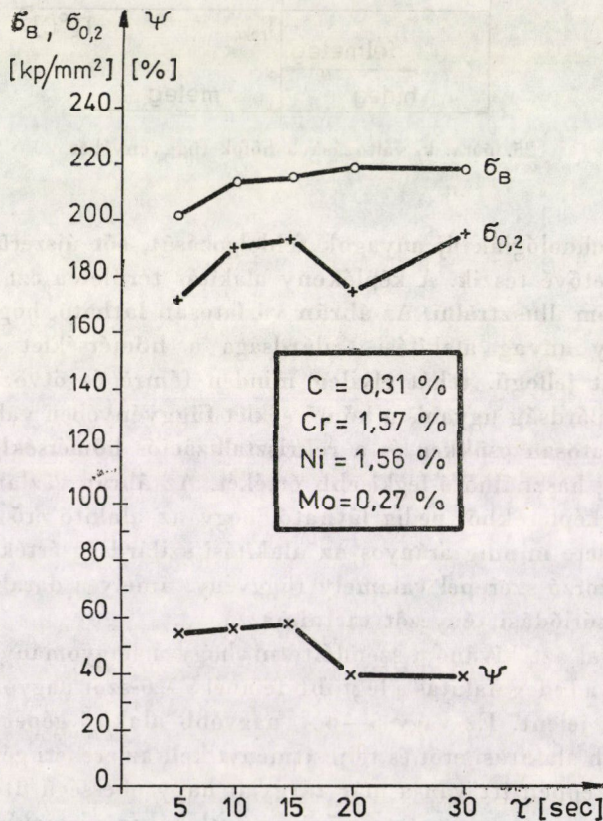
25. ábra. k_f változása a hőfok függvényében

az egyes új technológiák új anyagok feldolgozását, sőt újszerű anyagok előállítását is lehetővé teszik. A képlékeny alakítás területén ezt az elvet a 25. ábrával kívánom illusztrálni. Az ábrán vázlatosan látható, hogy hogyan változik valamely anyag alakítási szilárdsága a hőmérséklet függvényében. Az ábra vázlat jellegű, tehát elvileg minden fémre és ötvözetre érvényes. Az alakítási szilárdság ugyanis a hőmérséklet függvényében valamilyen görbe szerint folyamatosan csökken és a rekrisztallizációs hőmérséklet felett éri el a gyakorlatilag használható legkisebb értékét. Az ábrán vázlatosan feltüntetett számítási képletekből pedig látható, hogy az alakító erő és az alakítás energiaszükséglete mindig arányos az alakítási szilárdság értékével. A képletekben mint szorzó szerepel valamely függvény, amely a darabok geometriai méreteit és a súrlódási tényezőt tartalmazza.

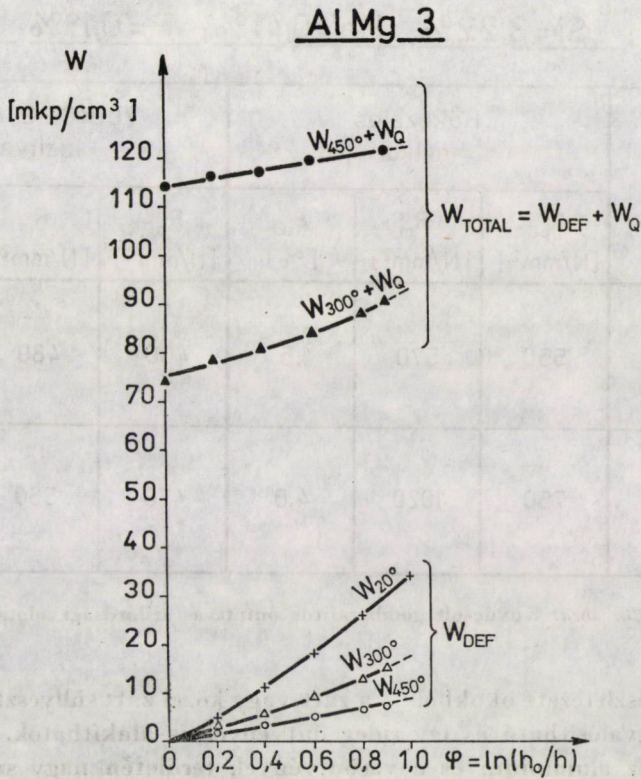
Az ábrával azt kívánom szemléltetni, hogy a hagyományos melegalakítással szemben a hidegalakítás a legtöbb fémnél 5–6-szor nagyobb mechanikai erőszükségletet jelent. Ez vagy 5–6× nagyobb alakító gépet igényel, vagy 5–6× nagyobb alakítási erőt és teljesítményt kell az eredeti gépsúlyba beépíteni. Tulajdonképpen itt van a már tárgyalt nagysebességű ütőműveknek az előnye elrejtve, mert a nagysebességű ütőművek súlya a legjobb hagyományos kovácsberendezéseknek is csak egyötödét teszi ki, azonos teljesítmény esetén.

A hideg- és a melegalakítás között van egy olyan intervallum, amelyet félmeleg alakításnak lehet nevezni. Ez acéloknál 500—700 °C között van. Egy acélanyagot az ausztenitmezőből erre a hőmérsékletre gyorsan hűtve és az ausztenit inkubációs periódusa alatt elvégezve az alakítást, meglepő szilárdságú szerkezeti anyagokat lehet kevésbé ötvözött acélokból előállítani. A 26. ábrából is látható, hogy egy igen kevésbé ötvözött acélból 220 kp/mm² szilárdságú és 40—45% kontrakciójú anyag állítható elő. Ez az anyag a nagy szilárdságú kötőelemek gyártásában lényeges fordulatot jelenthet. Az ilyen nagy szilárdságú anyagok gyártására a nagysebességű ütőművek nemcsak azért alkalmasak, mert a félmeleg alakítás során kifejtendő nagy erőt viszonylag kis géppel lehet megvalósítani, hanem azért is, mert az alakítás igen gyors és rövid inkubációs idejű anyagok is eredményesen alakíthatók.

Ugyancsak érdekes eredményekre vezet annak a vizsgálata, hogy az alumínium és ötvözeteinél a melegalakítás összes munkaszüksége több, mint a hidegalakításé.



26. ábra. Termomechanikus alakítás



27. ábra. Alumínium-öntvözet hideg- és melegalakításának munkaszükséglete

A 27. ábrán az ábra alsó részén levő görbék a képlékeny alakítás munkaszükségletét jelentik, amely nyilvánvalóan a hőmérséklet növelésével csökken, azonban a melegalakításhoz a darab felhevítése is szükséges, amelyhez szükséges hőenergiát mkg -ra átszámítva és hozzáadva a hidegalakítás munkaszükségletéhez, az ábra felső részén látható görbék adódnak. Könnyen belátható, hogy a hidegalakítás összes energiaszükséglete sokkal kisebb, mint a melegalakítás összes energiaszükséglete, csupán ismét olyan gépre van szükség, amelyben kis gépsúlyban nagy energiák koncentrálhatók. Figyelembe véve még a hidegalakítás szilárdságnövelő hatását is, nem kétséges, hogy a nagy szilárdságú alumínium kovácsdarabok előállításának új útját jelenti a nagysebességű alakítás.

A képlékeny alakítás néha elvégezhető egy műveletben, néha több műveletre van szükség. Célszerű megvizsgálni azt, hogy mi történik az öntés és a kovácsolás összekapcsolásával. Ez az ún. *öntvénykovácsolás*. Az öntvények alakítása, különösen a rideg öntvényanyagoké csak akkor eredményes, ha az alakítás lehetőleg zárt süllyesztékben történik. A nagysebességű ütőművekben

C = 3,42 %; Si = 3,22%; Mn = 0,41%; P = 0,11%; Mg = 0,07%

	Hőkezelés nélkül			700 °C 2 órát izzítva		
	R _{p0,2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	ε _u [%]	R _{p0,2} [N/mm ²]	R _m [N/mm ²]	ε _u [%]
Kokilla öntés 950 °C-ról levegőn hűtve	550	570	1,5	400	480	~3
950 °C-on kovácsolva φ = 1,5	750	1020	4,0	420	560	~16

28. ábra. Kovácsolt gömbgrafitos öntöttvas szilárdsági adatai

— itt nem részletezett okokból — a zárt vagy közel zárt süllyesztékekben való alakítás megvalósítható és így rideg öntvények is alakíthatók. Az öntvénykovácsolás az alumínium és a vasöntvények területén nagy szilárdságú, jó nyúlású szerkezeti anyagokat eredményez, a színesfémek esetében pedig jelentős anyagmegtakarításra vezet.

A 28. ábra példaképpen a gömbgrafitos öntöttvas kovácsolásával elérhető szilárdsági adatokat mutatja. A 950 °C-on alakított és 700 °C-on 2 órát megeresztett gömbgrafitos öntvény szilárdsági adatai a jó minőségű acélöntvény adataival egyenértékűek.

Végül a hegesztés területére megemlítem, hogy mind az alumínium, mind az acéllemezek hidegalakításával a szilárdság jelentősen növelhető. Ömlesztő hegesztés hatására természetesen a lemezek kilágyulnak, azonban ponthegesztéssel lágyulás nélkül köthetők. Ilyen módon a lemezek szilárdsága mintegy 30—40%-kal növelhető.

Az így kiragadott néhány példa, amely korántsem jelent teljes felsorolást, csak azt kívánja igazolni, hogy az új technológiák jobb kihasználásához újfajta anyagok is szükségesek, mint ahogy a forgácsolási teljesítmények növelése nemcsak a gépen és a szerszámanyagon múlik, hanem a forgácsolandó anyag minőségén is. Megfordítva, az új technológiák egyben új anyagokat is jelentenek, természetesen azonban csak akkor kerülhetnek használatba, ha a szerkesztő ezeket az új irányzatokat tudomásul véve, ezeknek a figyelembevételével konstruál.

4. Összefoglalás

A példaszerűen beutatott néhány kutatási eredményből egyelőre a következő megállapítások vonhatók le:

1. A K—6 országos szintű kutatási célprogram és a kapcsolódó ágazati szintű célprogramok nagy lendületet adtak a technológiai kutatásnak, azonban ha figyelembe vesszük, hogy a gyártási technológia nemcsak a műszaki, de mindennemű kutatási eredmény realizálásának az útja, akkor nem kétséges az, hogy országos méretekben a technológiának nagyobb szerepet kell kapnia. A gyártástechnológia fejlesztése érdekében további hatékony lépésekre van szükség. Ezek a lépések egyáltalán nem a kutató létszám növelését jelentik, hanem a kutatási kapacitások ésszerűbb kihasználását és a jelenleginél feltétlenül jobb koordinálását.

2. A K—6 célprogram egyes részprogramjaira történő ráfordítások első megközelítésben helyesek. Az arányok esetleges módosításánál feltétlenül figyelembe kell venni azt, hogy az előgyártmányok kutatására nagyobb súlyt lehetne helyezni, illetve — ami ezzel összefügg — nagyobb súlyt kellene helyezni az új technológiák által előállítható új szerkezeti anyagok kifejlesztésére.

3. A technológiai kutatások és az alaptudományok között igen fontos összefüggések állanak fenn, mert az alaptudományok segítik a technológiai fejlődést, de csak akkor, ha az alaptudományi kutatás és a technológia között helyes arányok vannak. A képlékeny alakítás minden művelete számítható pontos alaptudományi bázison. Ezért itt könnyen ki lehetne fejleszteni a számítógépes technológiai tervezést, azonban ilyen igény nem merült fel.

A forgácsolás kutatásában nagyobb súlyt kellene helyezni a folyamatok alaptudományi megalapozására. Ez egyben meggyorsíthatná a forgácsolási folyamatok számítógépes tervezését is. Mint előadásomban kimutattam, a hegesztési technológia fejlesztésének legfontosabb láncszeme most a törésmechanika kutatása és az eredmények elterjesztése mind a szerkesztők, mind az anyagvizsgálók között.

4. Az eredmények gyakorlati hasznosításával kapcsolatban megállapítható, hogy az jelenleg nem kielégítő. Ott, ahol gyors ipari alkalmazást sikerült elérni, ott vagy licenciát, know-how-t vásároltak a szükséges gépparkkal együtt, vagy a kutatóhely az érdekelt gyárral együtt, illetve a gyárban oldotta meg a problémát. Ezekből a tapasztalatokból azt a következtetést lehet levonni, hogy alapvető fontosságú valamely technológiához szükséges gyártóeszköz kifejlesztése, de a gyártóeszközt be kell illeszteni egy gyártási láncba. Az új technológia rendszerint új gyártóeszközt is jelent. A magyar piac kis volumene miatt azonban a fejlesztés költségeit a néhány darabban gyártható szériákra ráterhelni nehéz. Hátráltatja a gyártóeszközök hazai fejlesztését az, hogy az azok révén jelentkező megtakarítás a gyártóeszközt felhasználó vállalatnál jelentkezik, nem pedig a gyártóeszköz előállítójánál. Nyilvánvaló tehát,

hogy a gyártóeszközök gyártását valamilyen módon preferálni kell és a kész új gép vagy berendezés részletes elemzésével és vizsgálatával meg kell állapítani azt, hogy

— a berendezés alkalmas-e sorozatgyártásra és ez esetben döntenünk kell arról, hogy melyik gyár gyártsa;

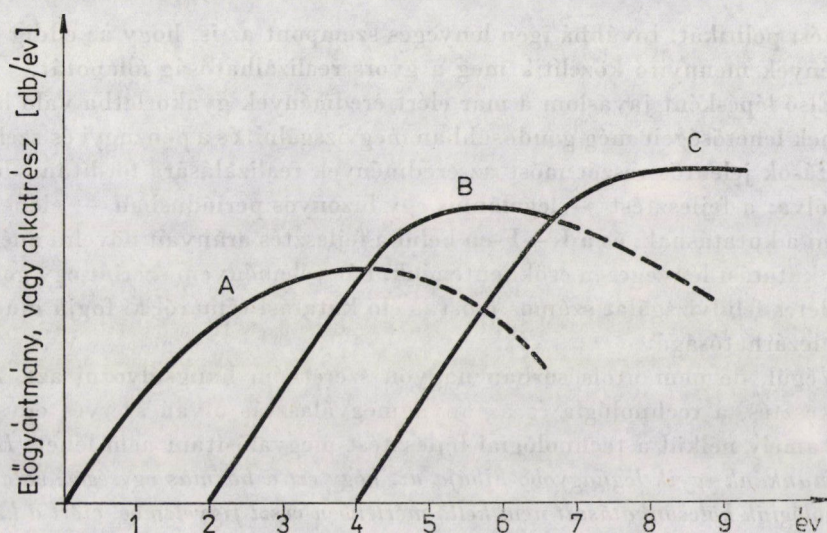
— kisebb egyedi darabok gyártására megfontolandó a kutatóhelyeken (a jelenlegi létszámkereteken belül) alakítandó gyári fejlesztő részlegek szervezése, amely a néhány darabos szériákat legyártja és forgalomba hozza. Semmiképpen nem szabad azonban valamely nagy, centrális műhelyre gondolni, amely általában prototípusokat gyárt. Az ilyen típusú üzemekkel szerzett tapasztalatok nem kedvezőek.

Bármilyen úton is készüljön el az új berendezés, a berendezést kifejlesztő szerv feladata és kötelessége, hogy azt az érdekelt gyárak gyártási folyamatába beállítsa és mindaddig közreműködjön a gyártási folyamat megszervezésében, amíg az kielégítő eredményekre nem vezetett. Az ilyen típusú munkára számos példa akad, pl. az elektronsugaras hegesztést, a nagysebességű pneumatikus ütőműveket vagy a robbantásos alakítást az érdekelt intézmények ma is szolgáltató jelleggel működtetik. Az ilyen, az új technológiák bevezetését célzó szolgáltatásokat célszerű volna az eddiginél jobban megbecsülni, mert ezek jelentik a technológiai eredmények realizálásának első lépéseit. Ennek a gondolatnak a továbbfejlesztése a technológiailag szakosított üzemek létesítése.

A technológiai kutatások realizálásával kapcsolatos tételeket a következőkben lehet megfogalmazni.

Alapvetően meg kell állapítani azt, hogy a meglévő erőket jobban kellene egy-egy feladat gyors megoldására koncentrálni és több licenc- és know-how-vásárlással, valamint importált gépi berendezéssel kellene a hazai kutatást tehermentesíteni, hogy erőit jobban koncentrálhassa. Nyíltan meg kell mondani azt, hogy az előadásomban említett kutatási eredményeknek legfeljebb 10%-a tekinthető tudományos szempontból újdonságnak, ami alapján véve nem baj, mert a sokezer technológia közül nem fejleszthető valamennyi egy kis országban, és tudomásul kell vennünk, hogy túlnyomó többségében a technológiát — esetleg a berendezéssel együtt — külföldről kell átvennünk. Ez felveti az ún. reprodukciós vagy szinttartó kutatások kérdését. A kérdés megválaszolására a 29. ábrát mutatom be, amely a technológiák fejlődésének elvi vázolata. Ha valamely termelési ágban az *A* technológia az évek során bizonyos darabszámban vagy tonnában jellemezhető termelési eredményig fejlődik, akkor a néhány év múlva megjelenő *B* technológia hatására a fejlődése vagy lelassul, vagy csökkenő tendenciájú lesz. Ugyanúgy egy megjelenő harmadik *C* technológia az előző kettőnek a fejlődését is befolyásolhatja.

A követő kutatások fontosságát és helyességét nem lehet vitatni. Nem lehet azonban elfogadni azt az álláspontot, hogy a kutató számára ismeretlen



29. ábra. A technológiák kölcsönhatásának elvi vázlata

technológiát neki okvetlenül kutatnia kell, azt nem mindig kutatni, hanem valamilyen formában megtanulni vagy tanulmányozni kell. Következésképpen nagyon sok helyen a gondos előtanulmányokra nagyobb súlyt kellene fordítani, mint a kutatásokra, mert az ún. követő kutatásnak csak akkor van értelme, ha azt a 29. ábrán bemutatott technológiák még felfelé emelkedő ágában kezdik el és nagyon rövid idő alatt befejezik. A követő kutatás jogcíme alatt folyó kutatásoknak akkor van értelmük, ha azok a megkezdéstől számítva záros határidőn belül lezárulnak.

Előadásom egyik leglényegesebb következtetése az, hogy a technológiák között nem lehet önmagában szelektálni, és valamennyi technológia fontos. Mindegyiknél részletekbe menő tanulmány kell arról, hogy dönthessünk a hazai fejlesztés vagy a licencvétel mellett. Következésképpen a technológiai kutatást is, mint minden kutatást, két csoportra kell osztani:

- az előkísérletek vagy előtanulmányok szakaszára,
- és a tényleges kutatómunka szakaszára, beleértve a realizálás szakaszát is.

Az előtanulmányokat vagy előkísérleteket olyan szintig kell vinni, hogy annak műszaki és gazdasági kihatásait az irányító szerv fel tudja mérni. Ezen előtanulmányok és előkísérletek birtokában lehet dönteni arról, hogy licencvétel, berendezés vagy know-how-vétel történjen, vagy pedig hazai erőkre támaszkodva, gyors és koncentrált kutatómunka induljon meg. Az egyes technológiák kutatásánál és fejlesztésénél természetesen döntő szempont az, hogy mennyiben szolgálják a már meghatározott szelektív gyártmány-

fejlesztési politikát, továbbá igen lényeges szempont az is, hogy az eddig elért eredmények mennyire közelítik meg a gyors realizálhatóság állapotát.

Első lépésként javaslom a már elért eredmények gyakorlatba való bevezetésének lehetőségeit még gondosabban megvizsgálni, és a pénzügyi és szellemi kapacitások jelentős részét most az eredmények realizálására fordítani. Röviden szólva: a fejlesztést — legalábbis egy bizonyos periódusban — elébe kell helyezni a kutatásnak, és a $K + F$ -en belül a fejlesztés arányait növelni anélkül, hogy a kutatást lényegesen csökkentenénk, bár véleményem szerint egy gondos és részletes felülvizsgálat számos most is élő kutatási témáról ki fogja mutatni annak lezárhatóságát.

Végül, de nem utolsósorban nagyon szeretném hangsúlyozni azt, hogy a szerkesztés, a technológia és az anyagmegválasztás olyan szerves egységet képez, amely nélkül a technológiai fejlesztést megvalósítani nem lehet. *Hazai kutatómunkánk egyik legnagyobb hibája az, hogy ezt a hármas egységet, valamint a technológiák kölcsönhatásait nem kellő mértékben veszi figyelembe, ezért a különböző területeken dolgozó technológusok jobb együttműködését a jövőben feltétlenül meg kell valósítani, mert ez egyben a jobb koordináció előfeltétele is.*

Gegenwärtige Lage und zukünftige Aufgaben der technologischen Forschung im Maschinenbau. Der Begriff der Maschinenbautechnologie erstreckt sich auf sehr viele Technologien. Die Wahl des Ausgangsmaterials und die Herstellungstechnologie des Halbzeugs haben großen Einfluß auf die Zerspanungstechnologie, welche die Beendigung der Teilfertigung ist. Die Konstruktion, der Werkstoff und die Technologie bilden eine zusammenhängende Einheit. Auf dem Gebiet der Technologie war ein großer Fortschritt das Erscheinen der NC-Werkzeugmaschinen. Sie werden jedoch dann in der Produktion effektiv, wenn die Technologie des Halbzeugs sich auf die entsprechende Höhe entwickelt. Die Studie bringt eine kurze Zusammenfassung der Ergebnisse der einheimischen Forschung, ohne jedoch die eventuellen Unzulänglichkeiten zu kritisieren. Es kann festgestellt werden, daß die Forschung hauptsächlich dort Ergebnisse zeigt, wo als Ergebnis der Forschungsarbeit auch das Produktionsmittel zustande kommt. Ein Hauptproblem der einheimischen technologischen Forschung ist, daß der inländische Markt die neuartigen Produktionsmittel nur in wenigen Exemplaren beansprucht und so die Entwicklungskosten dieser Produktionsmittel nur auf wenige Stücke verteilt werden können.

The Actual Situation of the Research on Machine Building Technology and the Future Tasks. The concept of Machine Building Technology covers many technologies. The basic material and the choice of the semi-products technology have a great influence on the machining technologies which finish component production. The efficiency of the technology depends also very much on design. Construction, material and technology form a connected whole. In the field of technology a very important development was the appearance of the NC Machine-tools. But they will be efficient in production only if the technology of semi-finished material rises to the adequate level. The study briefly resumes the results of Hungarian technological research but without criticizing eventual deficiencies. It can be said that research is successful mainly where the means of production are realized too. One of the main problems in Hungarian technological research is that the inland market requires only few exemplaries of the new-type means of production, therefore their development costs can be spread only over a small number of pieces.

VÁMOS TIBOR

LEVELEZŐ TAG

Nekem az a feladatom, hogy néhány szóval megpróbáljam GILLEMOT akadémikus előadását kiegészíteni a számítástechnika és a gépgyártástechnológia házasságának néhány eredményével. Ha nem félnék megsérteni azokat a technológus barátainkat, akik velünk szövetségben azon munkálkodnak, miről éppen beszámolok, azt mondanám, megpróbáljuk, mi többet lehet ésszel csinálni, mint erővel, azaz hol lehet a nagy teljesítőképességű technológiai berendezéseket a számítástechnika fufangjaival rugalmasabbakká, sokoldalúbbakká tenni.

A numerikus vezérlés hazai elterjedése és használata ma már ipari valóság. 10 ÷ 15 évvel ezelőtt ezt a jövőt is sokan csak távoli ábrándnak tekintették, a kezdeményező koncepció ekkor az iparvezetéstől és az OMFB-től indult el, először egy csepeli — numerikus vezérléssel ellátott — mintauzem megteremtésével, majd a numerikus vezérlés egyre általánosabb bevezetésével. Ma ott tartunk, hogy a szerszámgép pályavezérlés, amit 10 évvel ezelőtt fejlesztettünk ki és ami akkor még embargós volt és sokak számára megalapozatlan ambíciójú, szükségtelen törekvés, ma az eladhatóság egyik alapfeltétele. Bár a numerikus vezérlés ma már majdnem minden jelentősebb gyárunkban szerepet játszik, a maga teljes keresztmetszetében még nem foglalta el igazi helyét. A programozás-előkészítés, a gyártástervezés, termelésprogramozás egységének megvalósulása után lesz igazán érezhető gazdasági hatása. Ennek ellenére — mint azt egy közelmúltban elfogadott OMFB tanulmány kitűnően összegezte — már jól amortizálódott mindaz az erőfeszítés, amit ebbe az előkészítő fázisba fektettek be.

A feladatunk tehát az, hogy a következő fázist készítsük elő. Ennek egyik lépése a közvetlen számítógépes szerszámgépirányítás, aminek igazi lehetőségeit az elektronika legújabb eredményei, elsősorban a mikrogepek nyitották meg. Az idén a Budapesti Nemzetközi Vásáron a Csepeli Szerszámgépgyárral együttműködésben kiállításra kerül az első mikrogepes szerszámgépvezérlés, ami a következő hónapokban már eladásra szánt termékként jelenik meg. Ezzel párhuzamos — részben megelőző, részben továbbfejlesztő — lépés a számítógépes gépcsoportvezérlés. Az első kísérletet 1973-ban hoztuk létre Csepelen. A második csepeli kísérlet most már egy nagy rendszerrel, korszerű eszközökkel, szintén Csepelen a közeljövőben kezd működni. Közben életre kelt a Budapesti Műszaki Egyetemen az OMFB kezdeményezésére és támogatásával egy olyan kísérleti rendszer, amely az Akadémia, a Gépipari Technológiai Intézet és BME Gépgyártástechnológiai Tanszék közös vállalkozása, új műszaki megoldások kísérleti laboratóriuma, oktató-kiképző központ lesz. Az új rendszerek összekötik integrált egységben a számítógéppel segített gyártmánytervezést, a számjegyes vezérlésű gyártási folyamatot, bekapcsolják ebbe az anyagmozgatást segítő robot manipulátorokat, programozzák a gyártást, mindezt egy kis számítógépes műhelyvezérlés segítségével. Az egész rendszer az ember — gép párbeszéd kapcsolatát működik. Ebben a munkában szerepelnek azok az eredmények, amelyeket az utolsó 10 évben kutatásunk elért, így a nagy teljesítőképességű tervező grafikus display, a számítógépes grafika software eredményei, a számjegyes vezérlés, termelésprogramozás számítástudományi vívmányai.

Bár ezek nagyon előremutató kísérletek, mint említettem, az OMFB és a KGM támogatásával már három mintarendszer épül, a felsorolt csepeli és műszaki egyetemi, továbbá az Egyesült Izzónak elsősorban szikraforgácsolási technológiára kialakított rendszere.

GILLEMOT akadémikus előadásában említette az adaptív irányítást. Az utóbbi években hazánkban jelentős elméleti eredmények születtek ebben, gyakorlati realizálásuk most folyik a Szerszámgépipari Műveknél. Az adaptív irányítás egyik érdekes alkalmazási területe a szikraforgácsolás lesz. A Szerszámgépipari Művekkel és a Csepeli Híradástechnikai Gépgyárral együttműködésben folyó kísérletek talán új lökést adhatnak azoknak a több évtizeddel ezelőtt elért hazai sikereknek, amiknek folytatásában sajnos az utóbbi időszakban elmaradtunk. Ilyenformán a gépiparban viszonylag nem hosszú időn belül ki fognak alakulni számítógépekkel segített integrált rendszerek, amelyek a számítógéppel segített tervezés, a számítógéppel irányított technológiai munkák, a számítógépes termelésprogramozás, termelésirányítás teljes folyamatát képesek átfogni. Ezek a rendszerek lényegében véve hazai előállításúak, és úgy tűnik, hogy exportképesek lesznek. Fontos részeredményekként építünk ezekbe olyan minőségű szerszámgép-mellékajást — tehát a nagy pontosságú szerszámgép-hajtást —, ami megfelel a legjobb amerikai specifikációnak és olyan nagy teljesítőképességű szerszámgép-főhajtást, amelyet szintén eredményeink alapján a magyar ipar most kezd gyártani. Ezeket eddig exportberendezéseinkbe mindig tőkés importból kellett behoznunk.

A zavolt integrált számítógépes rendszerek kialakulása az egész ipar átfogó forradalmát nyilvánvalóan csak 10 ÷ 15, esetleg 20 éven belül hozza meg. Az is világos azonban, hogy nemcsak a szerszámgépgyárak és technológiai berendezéseket előállító üzemek lesznek ver-

senyképtelenek ebben a fejlődésben való részvétel nélkül, hanem az egész ipar, mert a számítógépes integrált rendszerirányítás biztosítja azt a rugalmasságot, amivel a világpiacon hetek vagy hónapok alatt lehet új gyártmányokkal megjelenni. Ez a megállapítás jól kapcsolódik mindazokhoz a megállapításokhoz, amiket BEREND Iván ma délelőtti gazdaságpolitikánk legfőbb feladatairól mondott. Magyarországnak van bizonyos, gyorsan tűnő előnye ebben, amit az OMFБ előrelátása és a gépipar, ezen belül elsősorban Csepel hosszú távú politikája alapozott meg és amit egy jól sikerült akadémiai — ipari — kutatási — egyetemi együttműködés támogat.

Az elmondottak inkább jelzései voltak annak a munkának, ami a gépipari technológia átalakítása terén a számítástechnika oldaláról folyik, sokkal részletesebb ismertetést igényelne.

Záró gondolatként a következőt szeretném újra elmondani: egy ország nemzeti jóvándelmének szintje végső fokon — hacsak nincsenek különös bőségű olajforrásai — attól a műszaki színvonalától függ, amivel a világ technológiai piacán kereskedni tud. Nyilvánvaló számunkra, hogy teljes ipari keretszerművekben önálló eredményekkel ezt lehetetlen elérni, még részterületeken is nagyon nehéz, de csak úgy vagyunk magas színvonalon cserékesek, csak akkor adnak el számunkra is legújabb ismeretanyagot, ha cserébe mi is fel tudunk mutatni elsőrendű értékű eredményeket, különben mindig a másodfutók számára meghatározott, sokkal kisebb jóvándelműségű eredményeket kaphatjuk meg a szellemi cserekereskedelemben. Ezért igyekezzünk dolgozni azon, hogy ilyen kiemelkedő saját eredményeink is lehessenek.

JÁNDY GÉZA

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Tisztelt nyilvános osztályülés! Az osztályelnöki beszámolóban BOGNÁR Géza akadémikus a műszaki tudományok alapkutatásigényes területei közé sorolta a rendszerelméletet, GILLEMOT László akadémikus pedig — azt mondhatnám — egész előadását a rendszertechnika szemléletének keretébe illesztette be, hiszen első ábrájában a technológiai munkafolyamatok kapcsolódási vázlatát körbe fogta a „rendszertechnika, optimalálás” blokkja, második ábrájában a termelés költségtényezői között utalt a rendszertechnika átlagos költségeire is és utolsó ábrájában rendszertechnikai gondolatsorára azzal tett pontot, hogy kihangsúlyozta a gyártmányok életében az idő nagy szerepét, vagyis azt, hogy egy termék gyártásához jó időben kell hozzákezdeni és jó időben kell azt abbahagyni.

Durván fogalmazva, a rendszertechnika vagy más kifejezéssel a műszaki rendszerelmélet a *rendszerelmélet* érvényesítése és a *kibernetika* problémamegközelítésének, valamint az *operációkutatás* módszertanának felhasználása a műszaki tervezésben, a gyártásban, ill. a kivitelezésben és mindezek irányításában.

GILLEMOT akadémikus előadásában többször is — kimondottan és ki nem mondottan — szóba került az eladhatóság problémája, mint a rendszertechnikának egyik fő gondja a többi, így a megvalósíthatóság, alkalmazhatóság, javíthatóság, cserelhetőség, az optimális karbantartási politika kialakítása és a hasonló gondok között. A jó tervező gondol minderre, és 40 ÷ 50 évvel ezelőtt a saját ismeretei, tapasztalatai alapján meg is tudott birkózni az ilyen feladatokkal. Azonban ma, a gyártmányok egyre összetettebbé, bonyolultabbá és költségeesebbé válása, az átfutási idők rövidülése, a gyártó szervezetek nagymértékű megnövekedése és az ismeretek egyre mélyülő szakosodása következtében más a helyzet. A tervezési ismeretek, a tapasztalat és az intuíció már nem elégségesek az ilyen és a hasonló kérdések megválaszolásához.

Említettem, hogy a műszaki rendszerelmélet, mint a rendszerelméletek általában, első sorban szemléleti mód, amely behatol csaknem valamennyi tudomány és a műszaki alkalmazások egész területére. De ugyanakkor lényegesen több is mint csupán szemlélet, hiszen a rendszertechnika magában foglalja az összetettebb műszaki tárgyi és megvalósítási rendszerek, valamint a műszaki folyamatokon, létesítményeken alapuló nagy rendszerek funkciói, struktúrája, dinamikája és értékelési szempontjai elemzésének, tervezésének, működtetésének és rendszerszervezésének (ezen belül a termelésirányításnak) *összertartozó elméletét és diszciplínáit*. Ennek alapján vizsgálja, majd modellezi *kibernetikai*, *szimulációs* vagy *matematikai* modellben) például az előadásban említett gyártási folyamatok részfolyamatainak a dinamikus kölcsönhatásait, a modellben részletesen *elemzi* és ha lehetőség van rá, *optimalja* is azokat.

Az előadás megragadott azért is, mert a Rendszertechnikai Bizottság ugyanúgy fogja fel a rendszertechnika szerepét, mint ahogy GILLEMOT akadémikus előadásában ez itt tükröződött. A rendszertechnika két fő ágon kezdett fejlődni, ezek közül az egyik ág a *gyártmány*, ill. létesítmény és a másik a megvalósítás, vagyis a *gyártás*, ill. kivitelezés rendszertechnikája. A rendszertechnika elterjedésében az egyes gyártmányoktól a bonyolultabb objektumokon keresztül az egyre komplexebb gyártórendszerek, a sok ember — gép alrendszerből összefonódó

társadalmi-műszaki rendszerek felé haladás a jellemző. Felfogásunk szerint a gyártmány és a gyártás dinamikus kölcsönhatását nem lehet kikerülni, rendszertechnikai áruk egyre inkább összefonódik, és ezt láthattuk beigazolódni az elhangzott előadásban is.

A Műszaki Tudományok Osztálya 1970 óta fordít külön figyelmet a rendszertechnika tudományterületének a gondozására és 1976-ban lettünk bizottsággá. BOGNÁR akadémikus a szünetben említette nekem, hogy egyre többen és többen szeretnének tudni erről a fiatal területről. Megígérhetem, hogy ezután is örömmel fogunk megragadni minden jó lehetőséget arra, hogy tudományterületünk helyzetét, gyors fejlődését, sajátos eszközeit, eredményeit és gondjait bemutassuk. Így készülünk az 1978. évi 2. termelésirányítási ankétunkra is.

LUKÁCS JÓZSEF

LEVELEZŐ TAG

Szabad legyen négy gondolattal Gillemot akadémikus előadását kiegészíteni:

első: A magyar ipar 40%-ban nyitott. A világgiazi árat általában az ún. kritikus gyártási sorozat határozza meg. Amennyiben hazai gyártással nem érjük el a kritikus volument, nem alkalmazhatjuk az ehhez tartozó technológiát és ezért társadalmi ráfordításaink, áraink nagyobbak lesznek a világgiazi áraknál.

második: Általánosan megállapítható, hogy a modern technológiák nagyteljesítményű technológiák. A modern szemlélet, amennyiben választhat aközött, hogy megmunkálásnál 5 percig 3 kW teljesítményt működtessen, vagy néhány millisekundumig 3 MW-ot, úgy okvetlenül az utóbbit választja. Az utóbbinál csökkennek a mellékidők, természetesen a megmunkálási idő, az emberi tevékenység jobban ki van használva, és végül nem elhanyagolható előny, a felhasznált energiamennyiség végül is kisebb.

harmadik: több külföldi technológiai tanulmány hangsúlyozza, hogy a munkadarab tolerancián belüli készremunkálása *egy lépésben* a fő cél. Érvényes az a szabály, hogy a munkadarab annyiszor kerül többe, ahányszor valamely megmunkálás céljából kézbeveszik.

negyedik gondolat: 1976-ban több mint 2,8 millió to hengereltacélt termeltünk. Ez a mennyiség az országra vonatkozó hasznosság szempontjából azonban a szerkezetépítésben nyilvánul meg. Pl. ebből a mennyiségből hány darab 20 m-es fesztávú 6 m széles közúti híd építhető. Az anyagok tehát használati értéküket mennyiségükkel és valamilyen szilárdsági faktoruk annak való szorzatával adják. Röviden: a rendelkezésünkre álló nyersanyag nemesítéséről és ily módon a konstrukciókban való csökkentett mennyiségű felhasználásáról kívánok szólni.

Az anyagnemesítés bekövetkezik a nyersanyag előállítás helyén, bekövetkezik azonban a megmunkálás helyén is, a technológia következményeképpen. Gondolok itt a nagysebességű megmunkálásokra, felületi kompressziókra stb. Példa: Olajtartályok mérőúszóit készítettük esztergapadi megmunkálással és elektrodinamikus megmunkálással. Ez utóbbi megmunkálással az összeroppantó nyomás másfélszer nagyobb volt azonos anyagmennyiség felhasználása esetén.

Összefoglalva: Szerkezeti anyagaink kohászati és technológiai nemesítésében jelentős tartalékaink vannak, amelyeket — mint nyersanyagban szegény országnak — ki kell használni.

SÍKBELI HATÁRRÉTEGÁRAMLÁSOK MEGHATÁROZÁSA SZAKADÁSOS ÖRVÉNYRÉTEGEKKEL*

CZIBERE TIBOR**

AZ MTA LEVELEZŐ TAGJA

A nagy Reynolds-számú folyadékáramlásokba helyezett testek felületén kialakuló sűrűlési határrétegben az áramlás örvényes, azon kívül pedig örvénymentesnek tekinthető; következésképpen a határréteg egyben örvényréteget is képez. Az örvény-sűrűségfüggvénynek a test felületén szakadása, ill. pólusa van. A dolgozat ebből az alap gondolatból kiindulva egy eljárást ismertet a síkbeli határrétegáramlások sebességtérének számítására. E sebességtér ugyanis a sűrűlési határréteggel azonos kiterjedésű szakadásos örvényréteg által indukált sebességtérként fogható fel, s így az örvényréteg vektorpotenciáljának meghatározása után deriválással a sebességkomponensek számítására alkalmas integrálösszefüggések származtathatók. Az örvény-sűrűségfüggvények megfelelő megválasztásával — amelyre a dolgozat példákat is bemutat — a számított eredmények és a kísérletek jó egyezést mutatnak.

1. Bevezetés

Ismeretes, hogy a valóságos folyadékok nagy Reynolds-számú áramlási folyamataiban a folyadéksűrűlés hatása a folyadékkal érintkező szilárd falak közvetlen közelében kialakuló vékony rétegre — a határrétegre — korlátozódik, s ezen kívül az áramlás sűrűlésmentes folyadékmodellel is jól leírható. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy nagy Reynolds-számok esetén a határrétegen kívüli valóságos áramlás is potenciálisnak tekinthető és az áramkép meghatározása potenciáleméleti módszerekkel történhet. E módszerek mindegyikének közös jellemzője, hogy az örvénymentes áramlás sebességi potenciál-függvényére (vagy áramfüggvényére) felírt Laplace-egyenletnek az éppen adott peremfeltételeket kielégítő partikuláris megoldására támaszkodnak.

A valóságos folyadékáramlási problémák megoldásában általánosan az a gyakorlat (nagy Reynolds-számokról van szó), miszerint első lépésként sűrűlésmentes folyadékmodellel potenciáleméleti úton határozzuk meg az adott peremfeltételeket kielégítő megoldást, majd a határrétegre vonatkozó számos közelítő eljárás valamelyikének segítségével megbecsüljük a sűrűléses és a potenciális áramlás közti eltéréseket. Ha pl. szárnyprofilról, vagy egy áramlástechnikai gép lapátprofiljáról van szó, a legfontosabb a következő két kérdés megválaszolása: egyrészt milyen mértékben csökken a folyadéksűrűlés követ-

* Akadémiai székhelyi előadás. Elhangzott 1977. március 23-án.

** Prof. Dr. Czibere Tibor, 3529 Miskolc, Aulich u. 9.

keztében a felhajtóerő, másrészt mekkora lesz a súrlódásos folyadékáramlásban a profil ellenállása.

A határrétegben kialakuló áramlás örvényes, s ennek következtében a potenciális áramlások meghatározására jól bevált módszerek a határrétegáramlásra közvetlenül nem alkalmazhatók. Ugyanakkor azonban önként vetődik fel a kérdés: vajon nem vezet-e eredményre az örvényes áramlás *vektorpotenciáljának* meghatározására támaszkodó valamilyen eljárás. Ez az út járható, amennyiben a határréteg örvényeloszlását ismerjük.

A következőkben bemutatunk egy új eljárást vékony profilok körül kialakuló súrlódásos folyadékáramlás — határrétegen belüli és azon kívüli — sebességterének számítására. Az eljárás elvi alapja az, hogy a sebességtér a határrétegáramlásban keletkező *szakadásos örvényrétegek* által indukált térként fogható fel és a sebességek — hasonlóan a súrlódásmentes folyadék örvényes áramlásához — ezen örvényrétegek vektorpotenciáljának segítségével határozhatók meg. Mivel pedig síkbeli áramlások esetén az örvényes sebességtér vektorpotenciálja az áramfüggvénnyel fejezhető ki, végül is az örvényréteg által indukált sebességtér meghatározása a határrétegáramlás áramfüggvényére felírt Poisson-egyenlet megoldására vezethető vissza.

2. A határréteg mint örvényréteg

Tekintsük a súrlódásos összenyomhatatlan folyadék síkbeli örvényes áramlását az x, y síkon és legyen az áramlás stacionárius. Ez esetben a sebességeloszlás és az örvényeloszlás x, y függvényeként a következőképpen írható le:

$$\vec{c} = u(x, y) \vec{i} + v(x, y) \vec{j}$$

$$\vec{\omega} = -\omega(x, y) \vec{k}.$$

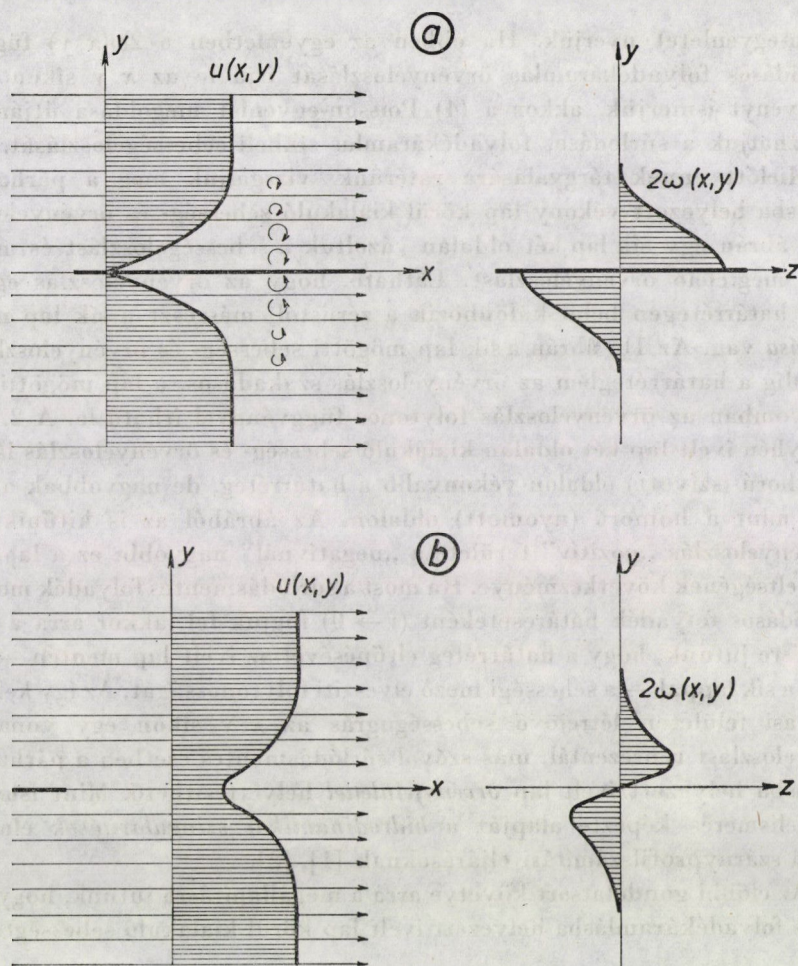
Itt azt a — síkáramlási feladatoknál igen gyakori — kikötést tettük, hogy $\omega(x, y)$ akkor pozitív, ha az örvényvektor forgatási iránya az óramutató járásának irányával megegyezik. A szóban forgó kétdimenziós áramlást leíró két egyenlet: a kontinuitási egyenlet, valamint az áramlás örvényességét kifejező egyenlet:

$$\operatorname{div} \vec{c} = 0, \quad \text{azaz} \quad \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \vec{c} = 2\vec{\omega}, \quad \text{azaz} \quad \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} = -2\omega(x, y). \quad (2)$$

Mint ismeretes, az örvényes áramlás sebességtere egy $\vec{\Omega}$ vektorpotenciálból rotáció-képzéssel származtatható:

$$\vec{c} = \operatorname{rot} \vec{\Omega}. \quad (3)$$



1. ábra

Ha ezt az összefüggést a (2) egyenletbe helyettesítjük és $\vec{\Omega}$ -ra nézve kikötjük, hogy $\text{div } \vec{\Omega} = 0$ legyen, akkor ismert módon a

$$\Delta \vec{\Omega} = -2\vec{\omega}$$

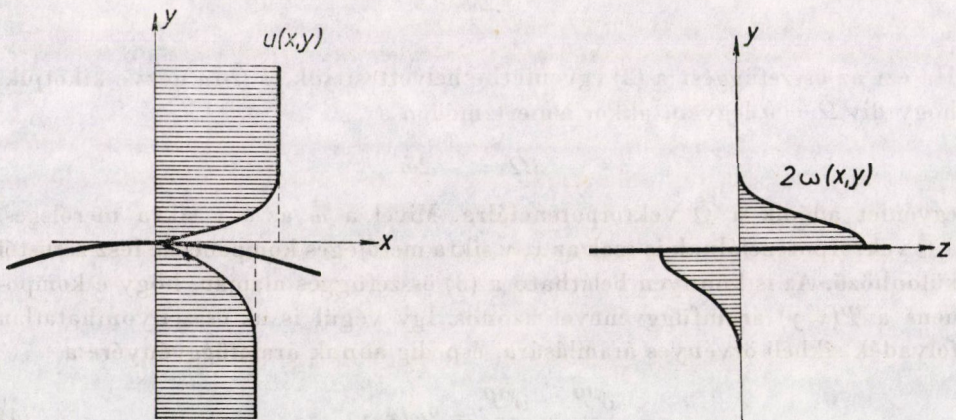
egyenlet adódik a $\vec{\Omega}$ vektorpotenciálra. Mivel a $\vec{\omega}$ az x, y síkra merőleges, a $\vec{\Omega}$ vektorpotenciálnak is csak az x, y síkra merőleges komponense lesz zérustól különböző. Az is könnyen belátható a (3) összefüggés alapján, hogy e komponens a $\Psi(x, y)$ áramfüggvénnyel azonos. Így végül is az összenyomhatatlan folyadék síkbeli örvényes áramlására, éspedig annak áramfüggvényére a

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = 2\omega(x, y) \quad (4)$$

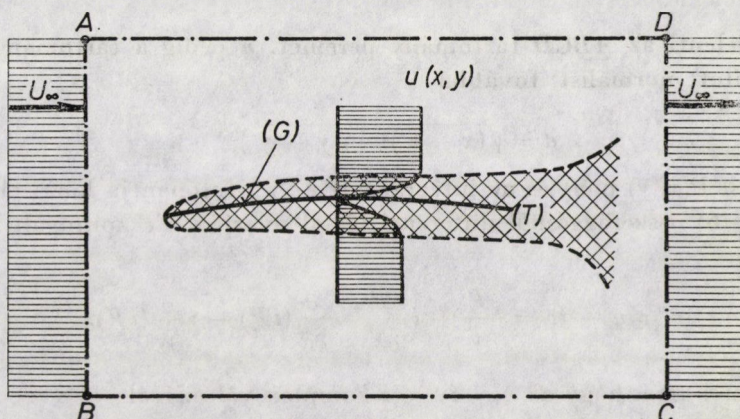
Poisson-egyenletet nyerjük. Ha ebben az egyenletben a $2\omega(x, y)$ függvény a súrlódásos folyadékáramlás örvényeloszlását írja le az x, y síkon és ezt a függvényt ismerjük, akkor a (4) Poisson-egyenlet megoldása útján meghatározhatjuk a súrlódásos folyadékáramlás síkbeli sebességeloszlását.

Mielőtt ennek tárgyalására rátérünk, vizsgáljuk meg a párhuzamos áramlásba helyezett vékony lap körül kialakuló sebesség- és örvényeloszlást. Az 1a. ábrán egy sík lap két oldalán vázoltuk a sebességeloszlást és mellette a neki megfelelő örvényeloszlást. Látható, hogy az örvényeloszlás egyrészt csak a határrétegen belül különbözik a zérustól, másrészt a sík lap mentén *szakadása* van. Az 1b. ábrán a sík lap mögötti sebesség- és örvényeloszlás látható. Míg a határrétegben az örvényeloszlás szakadós, a lap mögötti súrlódási nyomban az örvényeloszlás folytonos függvénnyel írható le. A 2. ábrán egy enyhén ívelt lap két oldalán kialakuló sebesség- és örvényeloszlás látható. A domború (szívott) oldalon vékonyabb a határréteg, de nagyobbak a sebességek, mint a homorú (nyomott) oldalon. Az ábrából az is kitűnik, hogy az örvényeloszlás „pozitív” területe a „negatív” nagyobb; ez a lap „pozitív” íveltségének következménye. Ha most a súrlódásmentes folyadék mozgását a súrlódásos folyadék határeseteként ($\nu \rightarrow 0$) fogjuk fel, akkor arra a következtetésre jutunk, hogy a határréteg eltűnésével az ívelt lap mentén — ellentétben a sík lappal — a sebességi mező elveszíti folytonosságát. Az így keletkező szakadási felületen létrejövő sebességugrás az x, y síkon egy vonalmenti örvényeloszlást reprezentál, más szóval súrlódásmentes esetben a párhuzamos áramlásba helyezett ívelt lap *örvényfelülettel* helyettesíthető. Mint ismeretes, ez a felismerés képezte alapját a *hidrodinamikai szingularitások* elméletén alapuló szárnyprofilszámítási eljárásoknak [1], [2].

Az előbbi gondolatsort követve arra a megállapításra jutunk, hogy a súrlódásos folyadékáramlásba helyezett ívelt lap körül kialakuló sebességtér nem



2. ábra



3. ábra

más, mint egy véges kiterjedésű örvényréteg sebességtere. Az örvényréteg értelmezési tartománya a határréteg és a lapot követő nyom-sáv (3. ábra), amelyben az eredetileg örvénymentes párhuzamos áramlás (a folyadéksúrlódás következtében) örvényessé válik. Ez az értelmezési tartomány az áramlás irányában oly messze terjed ki, ahol már az áramlás ismét zavartalanná válik. Az örvényréteg örvénysűrűségfüggvénye a (4) egyenlet jobb oldalán álló $2\omega(x, y)$ függvény, amelynek a lap mentén a 2. ábrán vázolt szakadása van, a (T) tartományban egyébként folytonos.

3. Örvényréteg sebességtere

A következőkben a 3. ábrán vázolt $ABCD$ tartományban kialakuló áramlás sebességterét fogjuk meghatározni. Az áramlás a (T) tartományban örvényes, az örvénysűrűséget itt a $2\omega(x, y)$ ismert kétváltozós függvény írja le; a (T) tartományon kívül – mivel itt az áramlás örvénymentes – az örvénysűrűség zérus. Ennek az áramlásnak a $\Psi(x, y)$ áramfüggvénye az előbbieket szerint a következő egyenletnek tesz eleget:

$$\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} = \begin{cases} 2\omega(x, y); & \text{ha } x, y \in (T), \\ 0; & \text{ha } x, y \notin (T). \end{cases} \quad (5)$$

A peremfeltétel a vizsgált esetben nagyon egyszerűen adható meg: $ABCD$ tartományt oly nagyra választjuk, hogy annak határán mindenütt a zavartalan párhuzamos áramlás U_∞ sebessége uralkodjék.

A Green-tétel alkalmazásával az $ABCD$ tartomány tetszőleges belső $P(x, y)$ pontjában a $\Psi(x, y)$ áramfüggvény a következő alakban adódik:

$$\Psi(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{(ABCD)} \Delta \Psi \ln d \, dA + \frac{1}{2\pi} \oint_{(L)} \frac{\partial \Psi}{\partial n} \ln d \, ds - \frac{1}{2\pi} \oint_{(L)} \Psi \frac{\partial}{\partial n} (\ln d) \, ds, \quad (6)$$

ahol (L) jelenti az $ABCD$ tartomány peremét, n pedig a tartomány belseje felé irányított normálist, továbbá

$$d = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2} \quad (7)$$

a számítási $P(x, y)$ pont és az integráció $Q(x', y')$ futópontja közti távolságot jelenti. A (6) összefüggésből differenciálással nyerjük a \bar{c} konjugált komplex sebességet:

$$\bar{c} = u - iv = \frac{\partial \Psi}{\partial y} + i \frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} (i\Psi) - i \frac{\partial}{\partial y} (i\Psi). \quad (8)$$

Figyelemmel arra, hogy az $x + iy = z$ komplex változóval

$$\frac{\partial}{\partial x} (\ln d) - i \frac{\partial}{\partial y} (\ln d) = \frac{1}{z - z'},$$

a (6) egyenletből a (8)-nak megfelelő differenciálással az $ABCD$ tartomány bármely belső pontjában ébredő sebesség konjugáltjára a

$$\bar{c} = \frac{i}{2\pi} \int_{(ABCD)} \frac{\Delta \Psi}{z - z'} dA + \frac{i}{2\pi} \oint_{(L)} \frac{\partial \Psi}{\partial n} \frac{ds}{z - z'} - \frac{i}{2\pi} \oint_{(L)} \Psi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{z - z'} \right) ds \quad (9)$$

kifejezést nyerjük. Mivel $1/(z - z')$ az (L) mentén mindenütt reguláris, érvényes a következő:

$$\frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{z - z'} \right) = i \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{z - z'} \right).$$

Ezt az összefüggést felhasználva a (9) egyenlet jobb oldalán álló harmadik integrált átalakíthatjuk:

$$\frac{i}{2\pi} \oint_{(L)} \Psi \frac{\partial}{\partial n} \left(\frac{1}{z - z'} \right) ds = -\frac{1}{2\pi} \oint_{(L)} \Psi \frac{\partial}{\partial s} \left(\frac{1}{z - z'} \right) ds = \frac{1}{2\pi} \oint_{(L)} \frac{\partial \Psi}{\partial s} \frac{ds}{z - z'}.$$

Ezzel a $z = x + iy$ pontban a konjugált komplex sebességre — az (5) differenciálegyenletet is figyelembe véve — a

$$\bar{c}(z) = \frac{i}{2\pi} \int_{(T)} \frac{2\omega}{z - z'} dA + \frac{i}{2\pi} \oint_{(L)} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial n} + i \frac{\partial \Psi}{\partial s} \right) \frac{ds}{z - z'} \quad (10)$$

összefüggést nyerjük. Mivel az (L) mentén a sebesség állandó (ez a feladatra előírt peremfeltétel), azért a jobb oldalon álló második integrál kiszámítható. Ismeretes, hogy

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Psi}{\partial n} + i \frac{\partial \Psi}{\partial s} &= c_t - ic_n = \bar{c} e^{i\alpha} \\ ds &= dz' e^{-i\alpha}, \end{aligned}$$

ahol c_t és c_n a sebesség tangenciális és normális komponense egy adott görbe (jelen esetben (L) határvonal) mentén, amelynek χ a hajlásszöge az x tengelyhez. Mindezek figyelembevételével

$$\frac{i}{2\pi} \oint_{(L)} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial n} + i \frac{\partial \Psi}{\partial s} \right) \frac{ds}{z - z'} = \frac{i}{2\pi} \oint_L U_\infty \frac{dz'}{z - z'} = U_\infty.$$

És ezzel a síkbeli párhuzamos áramlásba helyezett *örvényréteg sebességterére* a (10) egyenletből a

$$\bar{c}(z) = \frac{i}{2\pi} \int_{(T)} \frac{2\omega(x', y')}{z - z'} dA + U_\infty \quad (11)$$

kifejezés adódik; ahol $z = x + iy$ a számítási pont (az $ABCD$ tartomány belsőjében), $z' = x' + iy'$ az integrációs futópont (a (T) tartományban), $2\omega(x, y)$ az örvényréteg sűrűségfüggvénye, amelynek értelmezési tartománya a (T) , és végül U_∞ a zavartalan párhuzamos áramlás sebessége. A (11) egyenlet alapján végül is a sebességkomponensekre a következő integrálkifejezéseket nyerjük:

$$u(x, y) = \frac{1}{2\pi} \int_{(T)} 2\omega(x', y') \frac{y - y'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dA + U_\infty, \quad (12)$$

$$v(x, y) = -\frac{1}{2\pi} \int_{(T)} 2\omega(x', y') \frac{x - x'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dA. \quad (13)$$

Az előbbieket összefoglalásaként — figyelemmel a logaritmus potenciál különböző tulajdonságaira [3], [4] — az alábbiakat rögzíthetjük:

1. A valóságos folyadék síkbeli áramlásának áramfüggvénye a sűrűdési határréteggel azonos tartományban értelmezett örvényréteg logaritmus potenciáljával fejezhető ki.

2. Ha az örvényréteg sűrűségfüggvénye az értelmezési tartományában a helynek szakaszonként egyértékű és folytonos függvénye, akkor ebből az következik, hogy

a) egyrészt az örvényréteg logaritmus potenciálja deriváltjaival együtt véges, egyértékű és folytonos az x, y sík minden olyan pontjában, amely az örvényréteg értelmezési tartományán kívül fekszik;

b) másrészt az örvényréteg logaritmus potenciálja első deriváltjával együtt véges, egyértékű és folytonos minden olyan pontban, amely az örvényréteget kívülről tetszőlegesen megközelíti, a határgörbén vagy azon belül helyezkedik el.

3. A sebességkomponensek a (12) és (13) összefüggések szerint az örvényréteg logaritmus potenciáljának első deriváltjai, következésképpen az egész síkon véges, egyértékű és folytonos függvényei a helynek.

4. Ha az örvényréteg sűrűségfüggvényének az értelmezési tartományán belüli görbe-szakasz mentén annak n normálisa irányában nézve elsőrendű

pólusa van, akkor a 2. és 3. pontban említettek annyiban módosulnak, hogy az örvényréteg logaritmikus potenciáljának n irányban vett deriváltja a görbeszakasz mentén $-\infty$ lesz. Ennek következtében itt a tangenciális sebesség is $-\infty$ -né válik.

4. Az örvényréteg sűrűségfüggvénye

A síkbeli párhuzamos áramlásba helyezett ívelt lap körül kialakuló örvényréteget a 4. ábrán vázoltuk. Az $y_G(x)$ az ívelt lap metszésvonala, $y_G + \delta_s$ a szívott és $y_G - \delta_n$ a nyomott oldalon jelöli az örvényréteg határvonalát. Egy metszetben feltüntettük az örvényréteg sűrűségfüggvényének eloszlását is. Először ennek a $2\omega(x, y)$ sűrűségfüggvénynek mutatjuk meg egy lehetséges megválasztását.

A sűrűségfüggvénynek az örvényréteg (T) tartományára vonatkozó felületi integrálja az ívelt lapra ható *felhajtóerőnek* megfelelő Γ cirkulációt szolgáltatja:

$$\Gamma = \int_{(T)} 2\omega(x, y) dA. \quad (14)$$

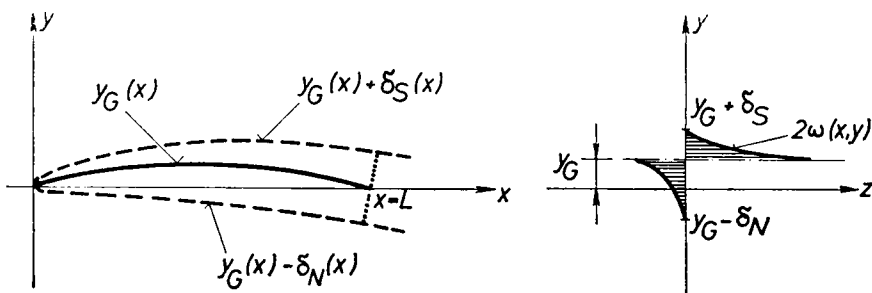
Mivel a lap mögötti nyomban az örvényerősség sűrűségfüggvényének integrálja zérus (1b. ábra), azért az előbbi integrál a

$$\Gamma = \int_{x=0}^L \int_{y=y_G-\delta_n}^{y_G+\delta_s} 2\omega(x, y) dy dx$$

alakba írható. Az y szerinti belső integrálra bevezetjük a következő jelölést:

$$\gamma(x) = \int_{y_G-\delta_n}^{y_G+\delta_s} 2\omega(x, y) dy. \quad (15)$$

Ez a függvény megfelel annak a $\gamma_{id}(x)$ vonalmenti örvényeloszlásnak, amely a sűrűségmentes határesetben megadja a (G) ívelt lapot hidrodinamikailag helyettesítő örvényfelület örvény-sűrűségfüggvényét. Ha sík lapról van szó, amelynek állásszöge az U_∞ sebességű párhuzamos áramláshoz mérten zérus, akkor a (15) integrálnak nyilvánvalóan el kell tűnnie.



4. ábra

A hidrodinamikai *szingularitások* elméletéből ismeretes [2], hogy súrlódásmentes esetben az enyhén ívelt lap mentén ébredő sebességkomponenseket a következőképpen határozhatjuk meg:

$$U(x) = U_\infty \pm \frac{1}{2} \gamma_{id}(x), \quad (16)$$

$$V(x) = -\frac{1}{2\pi} \int_0^L \gamma_{id}(x) \frac{dx'}{x-x'}. \quad (17)$$

Majd pedig — abból a feltételből, hogy a (G) mentén átáramlás nincs, vagyis itt a sebesség normálkomponense zérus — a (G) görbe és a sebességkomponensek között a

$$\frac{dy_G}{dx} = \frac{V(x)}{U_\infty} \quad (18)$$

összefüggés adódik.

Az elmondottakból következik, hogy a (G) görbe alakja és a $\gamma_{id}(x)$ függvény között egyértelmű kapcsolat van. A (16) és (17) összefüggésekkel meghatározott sebességkomponensek számításához a $\gamma_{id}(x)$ örvénysűrűségfüggvénynek adottnak kell lennie. Mint ismeretes, itt két esetet különböztetünk meg, amelyeket a szárnyprofil-elméletben bevett szóhasználatnál első, ill. második főfeladatnak nevezünk. Első főfeladat: adott sebességeloszláshoz (azaz adott $\gamma_{id}(x)$ függvényhez) a profil — jelen esetben az $y_G(x)$ — a meghatározandó. Második főfeladat: adott profil — vagyis az $y_G(x)$ — körül különböző állásszögek mellett kialakuló súrlódásmentes áramlás sebességtere határozandó meg. Ez utóbbi esetben tehát a $\gamma_{id}(x)$ a keresett függvény. A számítások részleteit illetően a szakirodalomra utalunk [2], [5], és a további vizsgálataink során a $\gamma_{id}(x)$ függvényt már adottnak tételezzük fel.

A (G) metszetű ívelt lap körül kialakuló *örvényréteg határvonala* (4. ábra) az itt keletkező súrlódási határrétegével megegyezik, s a határrétegen kívül az áramlás örvénymentes. E határréteg δ vastagságát — akár lamináris, akár turbulens határrétegről is van szó — E. TRUCKENBRODT [6] eljárásából ismert összefüggéssel könnyen meghatározhatjuk. Ez az eljárás, mint ismeretes, a zérustól különböző nyomásgradiensű határrétegek számítására alkalmas. Ívelt lap esetén ugyanis nem hagyható figyelmen kívül, hogy az áramlás irányában a nyomás változik. Ha az egyszerűség kedvéért mind lamináris, mind turbulens esetben a határréteget a lap mentén homogénnek tekintjük (azaz eltekintünk attól, hogy a turbulens határréteg kezdeti szakasza lamináris), akkor a határrétegvastagságra a

$$\frac{\delta}{L} = \alpha \frac{c_e}{2} \left(\frac{U}{U_\infty} \right)^{-3} \left[\int_0^{x/L} \left(\frac{U}{U_\infty} \right)^3 + \frac{2}{n} d \left(\frac{x}{L} \right) \right]^{\frac{n}{n+1}} \quad (19)$$

kifejezést nyerjük, amely mind lamináris, mind turbulens határrétegre érvényes. E kifejezésben α a δ határréteg- és ϑ impulzusvesztés-vastagság arányát, c_e pedig a sík lap ellenállástényezőjét jelenti. Ezek értékei:

lamináris esetben: $c_e = 1,328 \operatorname{Re}^{-1/2}$; $\alpha \approx 7,6$; $n = 1$;

turbulens esetben: $c_e = 0,074 \operatorname{Re}^{-1/5}$; $\alpha \approx 10$; $n = 4$.

Mivel ívelt lap esetén a (15) integrállal értelmezett $\gamma(x)$, ill. az ennek megfelelő $\gamma_{id}(x)$ függvény nem tűnik el, azért $U(x)$ értéke és ennek következtében a határréteg (ill. az örvényréteg) δ vastagsága is különböző a lap szívott és nyomott oldalán. Ezek szerint az örvényréteg határgörbéje:

a szívott oldalon: $y_G(x) + \delta_s(x)$;

a nyomott oldalon: $y_G(x) - \delta_n(x)$.

Az örvényréteg szakadási helye pedig az $y_G(x)$ görbe.

Az örvényréteg örvény-sűrűségfüggvényét a következő alakban választjuk meg:

$$2\omega(x, y) = \begin{cases} \frac{U_\infty}{\delta_s(x)} f_s \left(\frac{x}{L}, \frac{y - y_G(x)}{\delta_s(x)} \right); & y_G < y \leq y_G + \delta_s, \\ \frac{U_\infty}{\delta_n(x)} f_n \left(\frac{x}{L}, \frac{y - y_G(x)}{\delta_n(x)} \right); & y_G - \delta_n \leq y < y_G. \end{cases} \quad (20)$$

Említettük, hogy a $2\omega(x, y)$ sűrűségfüggvénynek az $y_G(x)$ mentén szakadása van (4. ábra) és az örvényréteg (T) tartománya feletti integrálja a lapra ható felhajtóerőnek megfelelő Γ cirkulációt szolgáltatja. Ha tehát egy $y_G(x)$ görbével megadott metszetű ívelt lap mentén a súrlódásos folyadékáramlás sebességterét akarjuk meghatározni, akkor előbb alkalmasan meg kell választanunk a (20) összefüggésben feltüntetett f_s és f_n függvényeket. Ezek a függvények döntő mértékben meghatározzák a lap menti határrétegáramlás sebességprofilját, amelyet a számítások eredményeként kapunk. Éppen ezért úgy kell azokat megválasztani, hogy a segítségükkel nyert számítási eredmények a rendelkezésünkre álló kísérleti eredményekkel összhangban legyenek. Tekintettel arra, hogy a technikai alkalmazásokban túlnyomórészt turbulens határréteggel találkozunk, a továbbiakban az elmélet alkalmazhatóságát a turbulens határréteg példáján mutatjuk be. Az itt elmondottak azután értelemszerűen alkalmazhatók lamináris határrétegre is (lásd a későbbiekben bemutatott számpéldákat). Számítási tapasztalataink szerint *turbulens határréteg* esetén jól használhatók a következő függvények:

$$\begin{aligned} f_s \left(\frac{x}{L}, \frac{y - y_G}{\delta_s} \right) &= A \left(\frac{x}{L} \right) \left[1 - \frac{y - y_G}{\delta_s} \right] + C \frac{\delta_s}{y - y_G}, \\ f_n \left(\frac{x}{L}, \frac{y - y_G}{\delta_n} \right) &= A \left(\frac{x}{L} \right) \left[1 + \frac{y - y_G}{\delta_n} \right] + C \frac{\delta_n}{y - y_G}, \end{aligned} \quad (21)$$

ahol $A(x/L) = \gamma_{id}(x) | U_\infty$ és $C = 0,10 \dots 0,15$. Helyettesítsük be ezeket a

függvényeket a (20) kifejezésbe és a $2\omega(x, y)$ örvény-sűrűségfüggvényre így nyert összefüggést a (15)-nek megfelelően integráljuk y irányban.

Az integrálás eredményeként a

$$\gamma(x) = U_\infty A \left(\frac{x}{L} \right) + U_\infty C \ln \frac{\delta_s}{\delta_n} \quad (22)$$

egyenletet nyerjük a síkbeli párhuzamos áramlásba helyezett ívelt lap mentén ébredő, s a lap metszésvonalára lokalizált örvényeloszlásra. Ennek az egyenletnek a jobb oldalán álló első tag nem más, mint az $y_G(x)$ metszetű ívelt lapot súrlódásmentes esetben hidrodinamikailag helyettesítő $\gamma_{id}(x)$ vonalmenti örvényeloszlás. A második tag pedig — mivel az ívelt lap nagyobb részén $\delta_s < \delta_n$ — egy olyan korrekciót jelent, amelynek integrálja mindig negatív. E korrekció a folyadéksúrlódás következménye és megadja azt a $\Delta\gamma_s$ eloszlást, amellyel a folyadéksúrlódás (turbulens esetben) a $\gamma_{id}(x)$ súrlódásmentes örvényeloszlást módosítja. Mivel a $\Delta\gamma_s$ integrálja negatív, azért a lapon ébredő felhajtóerőre csökkentő hatással van. Így a (22) egyenlettel értelmezett $\gamma(x)$ függvény azonosítható az $y_G(x)$ metszetű ívelt lapot turbulens áramlásban hidrodinamikailag helyettesítő vonalmenti örvényeloszlással, amelynek x szerinti integrálja a valóságos felhajtóerőnek megfelelő circkulációt szolgáltatja.

Az elmondottak alapján könnyen belátható, hogy a zérus állásszögű sík lap esetében $y_G(x) \equiv 0$, $\delta_s(x) \equiv \delta_n(x)$ és $A(x/L) \equiv 0$, aminek következtében $\gamma(x) \equiv 0$. Ez a tapasztalattal egybehangzóan azt jelenti, hogy a sík lappal párhuzamos áramlás esetén az áramlásra merőleges irányú felhajtóerő nem ébred.

5. A sebességkomponensek számítása

A szakadós örvényrétegek által indukált sebességkomponensekre nyert (12) és (13) integrálkifejezéseket a numerikus számításoknak megfelelő alakra kell hoznunk. Az előbbieken kifejtettek szerint a $2\omega(x, y)$ örvény-sűrűségfüggvényt két részre bonthatjuk: az első részt a megfelelő súrlódásmentes áramlásban ébredő felhajtóerőt létrehozó $2\omega_{id}(x, y)$ örvényeloszlás, a második részt pedig a $2\omega_H(x, y)$ szakadós örvényeloszlás képezi, amely a súrlódási határrétegben a sebességcsökkenést okozza. Ennek megfelelően külön felírjuk az ezek által indukált u_{id} és v_{id} , valamint az u_H és v_H sebességkomponensek kifejezéseit.

A következőkben a (21) összefüggésekkel meghatározott sűrűségfüggvényekre írjuk fel az egyes sebességkomponensek számítására alkalmas formulákat. Az elmondottaknak megfelelően egyrészt

$$2\omega_{id}(x, y) = \begin{cases} \frac{U_\infty}{\delta_s} A \left(\frac{x}{L} \right) \left[1 - \frac{y - y_G}{\delta_s} \right]; & y_G < y \leq y_G + \delta_s, \\ \frac{U_\infty}{\delta_n} A \left(\frac{x}{L} \right) \left[1 + \frac{y - y_G}{\delta_n} \right]; & y_G - \delta_n \leq y < y_G \end{cases} \quad (23)$$

a felhajtóerőt indukáló örvényeloszlás, másrészt

$$2\omega_H(x, y) = \begin{cases} U_\infty \frac{C}{y - y_G}; & y_G < y \leq y_G + \delta_s, \\ U_\infty \frac{C}{y - y_G}; & y_G - \delta_n \leq y < y_G \end{cases} \quad (24)$$

a határrétegbeli sebességsökkenést okozó örvényeloszlás. Ha ezeket behelyettesítjük a (12) és (13) integrálkifejezésekbe és az y' szerinti belső integrálokat rendre elvégezzük, akkor a sebességkomponensek numerikus számítását x' szerinti integrálokra vezethetjük vissza. Az említett y' szerinti belső integrálokra bevezetjük a következő jelöléseket:

$$J_{uid}(x, y; x') = \frac{A(x')}{\delta'_n} \int_{y'_G - \delta'_n}^{y'_G} \left(1 + \frac{y' - y'_G}{\delta'_n}\right) \frac{y - y'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy' + \\ + \frac{A(x')}{\delta'_s} \int_{y'_G}^{y'_G + \delta'_s} \left(1 - \frac{y' - y'_G}{\delta'_n}\right) \frac{y - y'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy' \quad (25)$$

$$J_{vid}(x, y; x') = \frac{A(x')}{\delta'_n} \int_{y'_G - \delta'_n}^{y'_G} \left(1 + \frac{y' - y'_G}{\delta'_n}\right) \frac{x - x'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy' + \\ + \frac{A(x')}{\delta'_s} \int_{y'_G}^{y'_G + \delta'_s} \left(1 - \frac{y' - y'_G}{\delta'_n}\right) \frac{x - x'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy' \quad (26)$$

$$J_{uH}(x, y; x') = C \int_{y'_G - \delta'_n}^{y'_G + \delta'_s} \frac{1}{y' - y'_G} \frac{y - y'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy' \quad (27)$$

$$J_{vH}(x, y; x') = C \int_{y'_G - \delta'_n}^{y'_G + \delta'_s} \frac{1}{y' - y'_G} \frac{x - x'}{(x - x')^2 + (y - y')^2} dy'. \quad (28)$$

A (25)–(28) egyenletek felírásánál az egyszerűbb írásmód kedvéért $y_G(x') = y'_G$, $\delta_n(x') = \delta'_n$, $\delta_s(x') = \delta'_s$, $A(x'/L) = A(x')$ jelöléseket használtuk. A (27) és (28) integrálok természetesen Cauchy-féle főértéket jelentenek. Az integrálások elvégzése után e négy összefüggés a következő alakot ölti:

$$J_{uid} = \frac{A(x')}{\delta'_n} \left[\left(1 + \frac{y - y'_G}{\delta'_n}\right) \frac{1}{2} \ln \frac{(x - x')^2 + (y - y'_G + \delta'_n)^2}{(x - x')^2 + (y - y'_G)^2} + \right. \\ \left. + \frac{x - x'}{\delta'_n} \left(\arctan \frac{y - y'_G + \delta'_n}{x - x'} - \arctan \frac{y - y'_G}{x - x'} \right) - 1 \right] - \\ - \frac{A(x')}{\delta'_s} \left[\left(1 - \frac{y - y'_G}{\delta'_s}\right) \frac{1}{2} \ln \frac{(x - x')^2 + (y - y'_G - \delta'_s)^2}{(x - x')^2 + (y - y'_G)^2} - \right.$$

$$-\frac{x-x'}{\delta'_s} \left[\arctan \frac{y-y'_G-\delta'_s}{x-x'} - \arctan \frac{y-y'_G}{x-x'} \right] - 1 \Big]. \quad (29)$$

$$\begin{aligned} J_{vid} = & \frac{A(x')}{\delta'_n} \left[\left(1 + \frac{y-y'_G}{\delta'_n} \right) \left(\arctan \frac{y-y'_G+\delta'_n}{x-x'} - \arctan \frac{y-y'_G}{x-x'} \right) - \right. \\ & \left. - \frac{x-x'}{2\delta'_n} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-y'_G+\delta'_n)^2}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \right] - \\ & - \frac{A(x')}{\delta'_s} \left[\left(1 - \frac{y-y'_G}{\delta'_s} \right) \left(\arctan \frac{y-y'_G-\delta'_s}{x-x'} - \arctan \frac{y-y'_G}{x-x'} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{x-x'}{2\delta'_s} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-y'_G-\delta'_s)^2}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \right], \quad (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{uH} = & C \frac{y-y'_G}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \left[\ln \frac{\delta'_s}{\delta'_n} + \frac{1}{2} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-y'_G+\delta'_n)^2}{(x-x')^2 + (y-y'_G-\delta'_s)^2} \right] + \\ & + C \frac{x-x'}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \left[\arctan \frac{y-y'_G-\delta'_s}{x-x'} - \arctan \frac{y-y'_G+\delta'_n}{x-x'} \right]. \quad (31) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} J_{vH} = & C \frac{x-x'}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \left[\ln \frac{\delta'_s}{\delta'_n} + \frac{1}{2} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-y'_G+\delta'_n)^2}{(x-x')^2 + (y-y'_G-\delta'_s)^2} \right] - \\ & - C \frac{y-y'_G}{(x-x')^2 + (y-y'_G)^2} \left[\arctan \frac{y-y'_G-\delta'_s}{x-x'} - \arctan \frac{y-y'_G+\delta'_n}{x-x'} \right]. \quad (32) \end{aligned}$$

E négy függvény ismeretében a megfelelő négy sebességkomponens numerikus integrációval számítható:

$$\left. \begin{aligned} u_{id}(x, y) \\ u_H(x, y) \end{aligned} \right\} = \frac{U_\infty}{2\pi} \int_0^L J_{uid}(x, y; x') dx' \quad (33)$$

$$\left. \begin{aligned} v_{id}(x, y) \\ v_H(x, y) \end{aligned} \right\} = -\frac{U_\infty}{2\pi} \int_0^L J_{vid}(x, y; x') dx'. \quad (34)$$

A numerikus integráció során ügyelni kell arra, hogy a J_u és J_v integrandusok az $x' = x$ környezetében igen erős változásúak és az $x' = x$ helyen nem deriválhatók, továbbá a J_v az örvényrétegen belüli x, y értékpár esetén szakadást is szenved. Az integrációs futópontok megfelelő számú és elosztású felvételével ez a probléma azonban könnyen áthidalható. A (33) és (34) integrálókkal meghatározott sebességkomponensek ismeretében már számíthatók a síkbeli párhuzamos áramlásba helyezett ívelt lap körüli áramlás sebességkomponensei a határrétegen belül és azon kívül, tehát az egész x, y síkon.

Az előzőekben ívelt lapra bemutatott eljárás kiterjeszthető a *vékony szárnyprofilok* körüli határrétegaramlás számítására is. Mivel vizsgálataink csak enyhén ívelt esetekre vonatkoznak, azért ennek érdekében mindössze

annyit kell tennünk, hogy a (33) és (34) sebességkomponenseket még kiegészítjük a dúcprofil által indukált sebességekkel [2]:

$$u_q(x, y) = \frac{U_\infty}{2\pi} \int_0^L q^*(x') \frac{x - x'}{(x - x')^2 + (y - y'_G)^2} dx' \quad (35)$$

$$v_q(x, y) = -\frac{U_\infty}{2\pi} \int_0^L q^*(x') \frac{y - y'_G}{(x - x')^2 + (y - y'_G)^2} dx', \quad (36)$$

ahol q^* a dúcprofilnak megfelelő dimenziótlan fajlagos forrásnyelő eloszlás:

$$q^* = \frac{B_0}{\sqrt{\frac{x}{L}}} + b_0 + \sum_n b_n \left(\frac{x}{L}\right)^n.$$

Ez esetben a határrétegvastagság számításánál figyelembe kell venni, hogy az $y_G(x)$ mentén a potenciálos áramlás $U(x)$ sebessége az $u_q(x, y_G)$ értékkel nagyobb, mint a (vastagság nélküli) ívelt lap esetében volt. Ebből következően a határréteg (19) összefüggésében álló U sebesség nem a (16) képlettel számítandó, hanem a következőképpen:

$$U(x) = U_\infty + u_q(x, y_G) \pm \frac{1}{2} \gamma_{id}(x). \quad (37)$$

A kiszámított sebességkomponensek szigorúan véve az $y_G(x)$ vázvonala mentén érvényesek. Mivel azonban enyhén ívelt vékony profilokról van szó, nem követünk el nagy hibát, ha — ugyancsak a szárnyelméletből ismert módon — a vázvonala mentén számított $U(x)$ és $V(x)$ sebességkomponenseket a profil kontúrvonalára transzformáljuk, az u_{id} , v_{id} és u_H , v_H sebességkomponenseket pedig változtatás nélkül helyezzük oda át.

A sebességkomponensek számításával kapcsolatban elmondottakhoz még annyit fűzünk hozzá, hogy a (23) és (24) összefüggésekkel megadott örvénysűrűségek csupán alkalmasan megválasztott példák tekintendők, amelyek az ismertetett eljárás használhatóságát hivatottak bemutatni. Az örvénysűrűségeket nemcsak más alakban, hanem pl. pontonként is meg lehet adni. A (23), (24) analitikus kifejezéseket főként számítástechnikai egyszerűsítések érdekében választottuk, a velük kapott eredmények mégis jól egyeznek a kísérletekkel.

6. A felhajtóerő és ellenállás becslése

A (22) összefüggéssel kapcsolatban rámutattunk arra, hogy a folyadék-súrlódás következtében az áramlásba helyezett ívelt lapon ébredő felhajtóerő a súrlódásmentes esetre számítottnál kisebb lesz. Ennek a felhajtóerőcsökkenésnek a becslésére felhasználhatjuk a (22) összefüggés jobb oldalán álló máso-

dik tag integrálját. Jelölje a súrlódás okozta cirkulációcsökkenést $\Delta\Gamma_s$, akkor az előbbiek szerint

$$\Delta\Gamma_s = U_{\infty} C \int_0^L \ln \frac{\delta_n(x)}{\delta_s(x)} dx > 0. \quad (38)$$

Az ennek megfelelő felhajtóerő-csökkenés:

$$\Delta F_f = \rho U_{\infty} \Delta\Gamma_s = \rho U_{\infty}^2 C \int_0^L \ln \frac{\delta_n(x)}{\delta_s(x)} dx. \quad (39)$$

A felhajtóerő a (22) egyenlet integrálásával a következő alakban adódik:

$$F_f = \rho U_{\infty}^2 \left[\int_0^L \frac{\gamma_{id}(x)}{U_{\infty}} dx - C \int_0^L \ln \frac{\delta_n(x)}{\delta_s(x)} dx \right]. \quad (40)$$

Mivel a δ határrétegvastagság és ϑ impulzusvesztés-vastagság között csak egy konstans szorzóban van különbség, a (40) egyenletben a δ_n/δ_s helyett ϑ_n/ϑ_s is vehető. Az ívelt lapon, vagy a szárnyprofilon a folyadéksúrlódás következtében ébredő ellenállásra ismert módon [7] az

$$F_e = \rho U_{\infty}^2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{u}{U_{\infty}} \left(1 - \frac{u}{U_{\infty}} \right) dy = \rho U_{\infty}^2 2\vartheta_{\infty}$$

integrálkifejezést nyerjük, amelyben u/U_{∞} a profil mögött oly távolságban veendő, ahol már a nyomban a környezeti nyomás uralkodik; az itt (egyik oldalon) adódó impulzusvesztés-vastagságot ϑ_{∞} -nel jelöltük. Így a profil mögötti nyomban $2\vartheta_{\infty}$ a teljes impulzusvesztés-vastagság. Mivel ez utóbbi meghatározására nincs megbízható módszerünk, becslésével kell megelégednünk. A legegyszerűbb becslés, ha a $2\vartheta_{\infty}$ értékét a kilépő pontban (a szívott és nyomott oldalra) együttesen adódó impulzusvesztés-vastagsággal vesszük egyenlőnek. Így az ellenállásra az

$$F_e = \rho U_{\infty}^2 (\vartheta_{sk} + \vartheta_{nk}) \quad (41)$$

képlet adódik. Az itt fellépő ϑ_{sk} és ϑ_{nk} értékek a (19) egyenlettel meghatározott határrétegvastagságokból egyszerűen meghatározhatók

$$\vartheta_{sk} + \vartheta_{nk} = \frac{1}{\alpha} (\delta_{sk} + \delta_{nk}). \quad (42)$$

A (40) és (41) egyenletek alapján a ζ_f felhajtóerő- és a ζ_e ellenállástényező a szokásos

$$F = \zeta \frac{\rho}{2} U_{\infty}^2 L$$

összefüggés figyelembevételével végül is a

$$\zeta_f = 2 \left[\int_0^1 \frac{\gamma_{id}}{U_{\infty}} d\left(\frac{x}{L}\right) - C \int_0^1 \ln \frac{\delta_n}{\delta_s} d\left(\frac{x}{L}\right) \right] \quad (43)$$

ill. a

$$\zeta_e = 2 \left(\frac{\vartheta_{sk}}{L} + \frac{\vartheta_{nk}}{L} \right) \quad (44)$$

alakban adódik. A (43) és (44) összefüggések az ívelt lapon, vagy vékony szárnyprofilon ébredő felhajtóerő és ellenállás becslésére alkalmasak.

7. Alkalmazási példák

Az előbbieken ismertetett számítási eljárás alkalmazására néhány példát mutatunk be. Először a párhuzamos áramlásba helyezett sík lap mentén számítjuk ki a lamináris és utána a turbulens határréteg sebességprofilját, majd a kapott számítási eredményeket mérési adatokkal vetjük egybe.

7.1. Lamináris határréteg sík lap mentén

Számításainkat arra az esetre végezzük el, amikor a sík lap állásszöge a párhuzamos áramláshoz mérten zérus. Ekkor a sebességek a sík lap két oldalán azonosak, s így az áramlás irányára merőleges felhajtóerő a lapon nem ébred. Ebből következik, hogy a keletkező örvényréteg sűrűségfüggvényének (14) és (15) szerinti integrálja eltűnik. A lap mentén a nyomás állandó, s így a határréteg vastagságára (ami megegyezik az örvényréteg vastagságával) a (19)-ből $U \equiv U_\infty$ helyettesítéssel a

$$\frac{\delta(x)}{L} = \frac{5}{\sqrt{\text{Re}}} \sqrt{\frac{x}{L}} \quad (45)$$

összefüggés adódik. Sík lapról lévén szó $y_G(x) \equiv 0$, továbbá $\Gamma = 0$ következtében $\delta_s = \delta_n = \delta(x)$. A (20) és (21) összefüggések helyett most — a lamináris határréteg miatt — az örvényréteg örvény-sűrűségfüggvénye a következő:

$$2\omega(x, y) = \begin{cases} \frac{U_\infty}{\delta} C \left(1 - \frac{y}{\delta}\right); & 0 < y < \delta, \\ -\frac{U_\infty}{\delta} C \left(1 + \frac{y}{\delta}\right); & -\delta < y < 0. \end{cases} \quad (46)$$

Ha ezt a függvényt a (12) és (13) integrálkifejezésekbe behelyettesítjük és az y szerinti belső integrálást elvégezzük, akkor a (31) és (32) kifejezéseknek a sík lap menti lamináris határréteg esetén megfelelőket nyerjük:

$$J_{uH} = \frac{C}{\delta'} \left[\left(1 + \frac{y}{\delta'}\right) \frac{1}{2} \ln \frac{(x-x')^2 + y^2}{(x-x')^2 + (y+\delta')^2} - \left(1 - \frac{y}{\delta'}\right) \frac{1}{2} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-\delta')^2}{(x-x')^2 + y^2} + \frac{x-x'}{\delta'} \left(\arctan \frac{y-\delta'}{x-x'} - \arctan \frac{y+\delta'}{x-x'} \right) + 2 \right], \quad (47)$$

$$J_{vH} = \frac{C}{\delta'} \left[\left(1 + \frac{y}{\delta'} \right) \left(\arctan \frac{y}{x-x'} - \arctan \frac{y+\delta'}{x-x'} \right) - \left(1 - \frac{y}{\delta'} \right) \left(\arctan \frac{y-\delta'}{x-x'} - \arctan \frac{y}{x-x'} \right) - \frac{x-x'}{\delta'} \frac{1}{2} \ln \frac{(x-x')^2 + (y-\delta')^2}{(x-x')^2 + (y+\delta')^2} \right]. \quad (48)$$

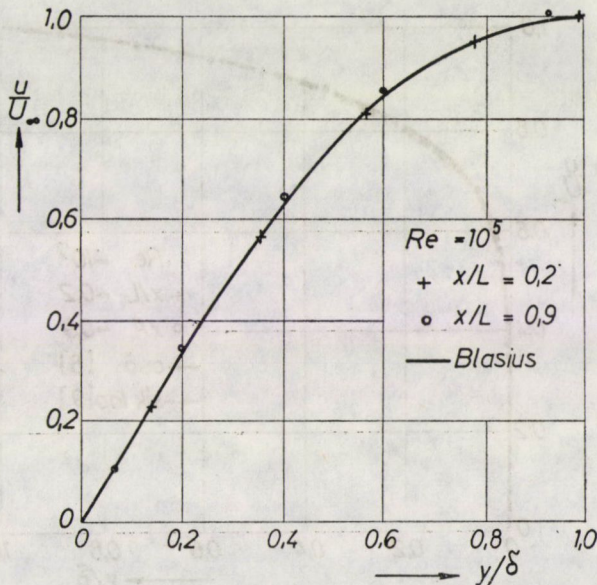
Itt is a $\delta' = \delta(x')$ jelölést használtuk. E függvényeket a (33) és (34) szerint integrálnunk kell, hogy az örvényréteg által indukált sebességeket megkapjuk. A sík lap mentén a sebességkomponenseket ezek után az

$$u(x, y) = u_H(x, y) + U_\infty, \quad (49)$$

$$v(x, y) = v_H(x, y) \quad (50)$$

összefüggésekkel számítjuk. A (47) és (48) egyenletekkel meghatározott J_{uH} és J_{vH} függvények az $x' = x$ környezetében igen erős változásúak és $x' = x$ helyen nem deriválhatók, továbbá a J_{vH} az örvényrétegen belüli x, y értékpár esetén szakadást is szenved. A gépi numerikus integrálás során ezekre ügyelni kell. Megjegyezzük, hogy sík lap esetén a (48) és (50) összefüggésekkel számított $v(x, y)$ sebességkomponens minden pontban gyakorlatilag zérus.

Az 5. ábrán egy számpélda eredményeit mutatjuk be, amelynél a kiindulási adatok a következők voltak: $Re = 10^5$, és a (46) kifejezésben $C = 2,1$. Az ábrán a sík lap mentén több helyen kiszámított sebességprofil pontjait ábrázoltuk az $u/U_\infty, y/\delta$ koordinátarendszerben és azokat összehasonlítottuk



5. ábra

a Blasius-féle sebességprofilal. Az egyezés jó, ami azt jelenti, hogy a sík lap menti lamináris határreteg már egy egészen egyszerű alakú örvény-sűrűségfüggvénnyel is jól közelíthető.

7.2. Turbulens határreteg sík lap mentén

Legyen a sík lap állásszöge a párhuzamos áramlásban most is zérus. Így felhajtóerő most sem ébred a lapon, az örvénysűrűség integrálja ismét eltűnik. A (19)-ből az örvényréteg vastagságára az $U \equiv U_\infty$ helyettesítéssel a

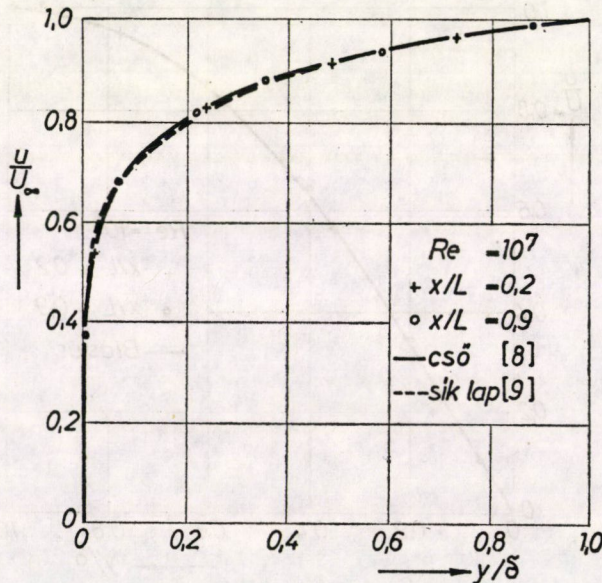
$$\frac{\delta(x)}{L} = \frac{0,37}{\sqrt[5]{Re}} \left(\frac{x}{L} \right)^{\frac{4}{5}} \quad (51)$$

összefüggést nyerjük. Mivel most $\gamma(x) \equiv 0$, azért a (22) egyenletben szereplő $A(x/L)$ függvénynek is el kell tűnnie. Így sík lap esetén az örvényréteg örvény-sűrűségfüggvénye a következő alakú lesz:

$$2\omega(x, y) = U_\infty \frac{C}{y}; \quad -\delta < y < \delta. \quad (52)$$

Ezzel a sűrűségfüggvénnyel a (31) és (32) egyenletek a következőképpen módosulnak:

$$J_{uH} = \frac{C}{2} \frac{y}{(x-x')^2 + y^2} \ln \frac{(x-x')^2 + (y+\delta')^2}{(x-x')^2 + (y-\delta')^2} +$$



6. ábra

$$+ C \frac{x - x'}{(x - x')^2 + y^2} \left(\arctan \frac{y - \delta'}{x - x'} - \arctan \frac{y + \delta'}{x - x'} \right), \quad (53)$$

$$J_{vH} = \frac{C}{2} \frac{x - x'}{(x - x')^2 + y^2} \ln \frac{(x - x')^2 + (y + \delta')^2}{(x - x')^2 + (y - \delta')^2} - C \frac{y}{(x - x')^2 + y^2} \left(\arctan \frac{y - \delta'}{x - x'} - \arctan \frac{y + \delta'}{x - x'} \right). \quad (54)$$

E függvények (33) és (34) szerinti integrálásával nyerjük az örvényréteg által indukált sebességeket, majd pedig a (49) és (50) egyenletekkel a sík lap mentén kialakuló turbulens határrétegáramlás sebességkomponenseit. A $v(x, y)$ ebben az esetben is gyakorlatilag zérusra adódik.

A 6. ábrán egy számpélda eredményeit mutatjuk be; a kiinduló adatok: $Re = 10^7$ és az (52) sűrűségfüggvényben $C = 0,125$. A sík lap mentén több helyen kiszámított sebességprofil pontjait tüntettük fel az ábrán és azokat összehasonlítottuk a sima csőre és sík lapra mérések alapján nyert ún. univerzális turbulens sebességprofilokkal [8], [9]. Az eredmények egyezése itt is jó.

7.3. Turbulens határréteg ívelt lap mentén

A következő példaként egy enyhén ívelt lap mentén kialakuló határrétegáramlást vizsgálunk. A lap íveltsége 4%, amely még elég kicsiny érték ahhoz, hogy a turbulens határrétegről feltételezhessük, hogy a lapról nem válik le. Az ívelt lap az U_∞ sebességű párhuzamos áramlásban úgy van elhelyezve, hogy metszetsíkjának húrja az áramlással párhuzamos (állásszöge tehát zérus). Legyen a lap metszetsíkjának (vázvonalának) egy másodfokú parabola, akkor — amint az a szárnyprofil-elméletből ismeretes — a (16) és (17) összefüggésekben szereplő $\gamma_{id}(x)$ vonalmenti örvényeloszlás elliptikus alakú:

$$\gamma_{id}(x) = \frac{4}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{L} \sqrt{1 - \left(1 - 2 \frac{x}{L}\right)^2}. \quad (55)$$

Ezt a (17) egyenletbe behelyettesítve és az integrálást elvégezve a sűrűdásmentes áramlás $V(x)$ sebességkomponensére (a lap mentén) a következő adódik:

$$V(x) = \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{L} \left(1 - 2 \frac{x}{L}\right). \quad (56)$$

Ebből a (18) összefüggés felhasználásával integrálás után a lap $y_G(x)$ metszetsíkjára nyerjük:

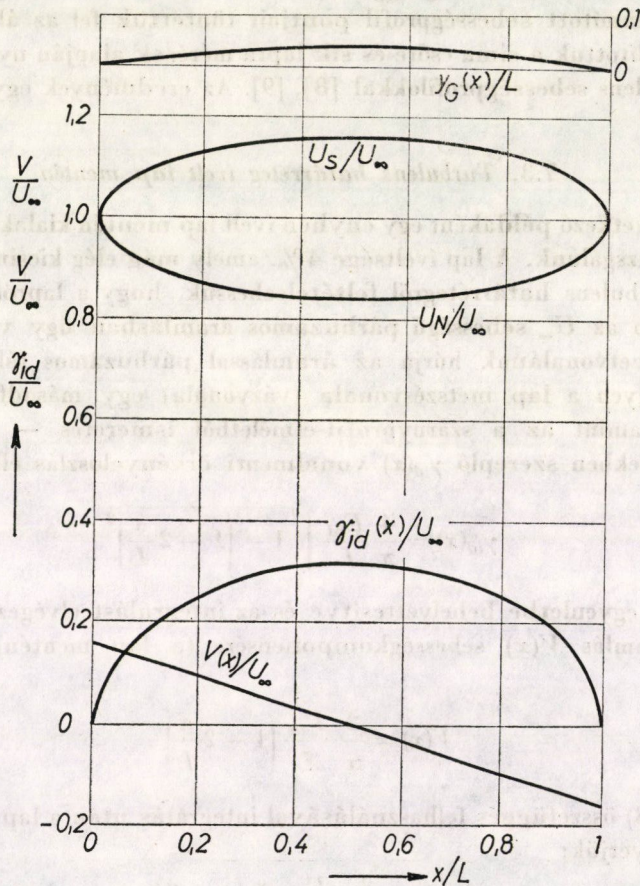
$$\frac{y_G(x)}{L} = \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{U_\infty L} \frac{x}{L} \left(1 - \frac{x}{L}\right). \quad (57)$$

Az örvényréteg vastagságának meghatározásához szükségünk van az U/U_∞ eloszlásra, amely a (16) alapján adódik:

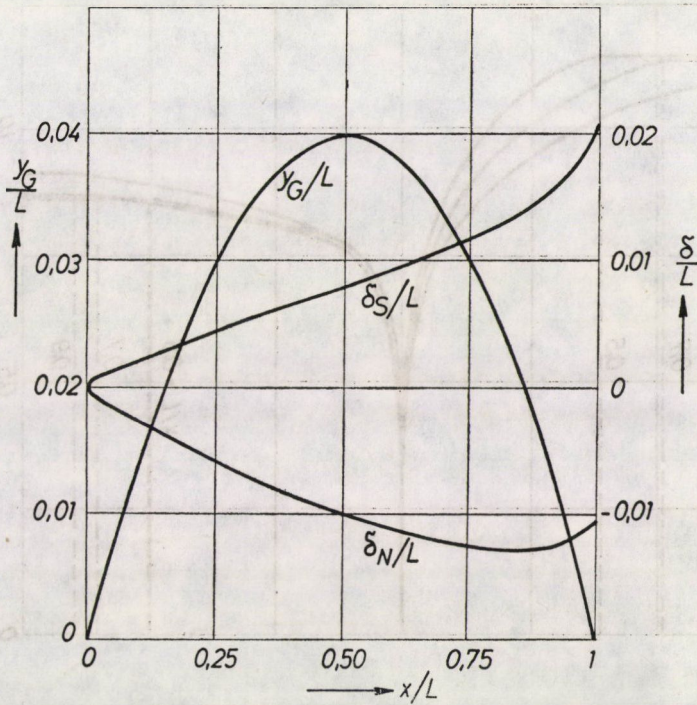
$$\frac{U}{U_\infty} = 1 \pm \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{U_\infty L} \sqrt{1 - \left(1 - 2 \frac{x}{L}\right)^2}, \quad (58)$$

ahol a kettős előjel közül a felső a szívott, az alsó a nyomott oldalra vonatkozik. Az örvényréteg szívott, ill. nyomott oldali δ_s , ill. δ_n vastagságát a (19) összefüggés segítségével számítjuk.

A 7. ábrán $\Gamma_{id}/U_\infty L = 0,25$ esetére (aminek 4%-os íveltségű lap felel meg) ábrázoltuk az (55)–(58) egyenletekkel meghatározott eloszlásokat. A 8. ábrán az $y_G(x)$ és az örvényréteg vastagság-eloszlása látható $Re = 10^7$ mellett (az y irányban a lépték 25-szöröse az x irányúénak).



7. ábra



8. ábra

Az örvény-sűrűségfüggvényben szereplő $A(x/L)$ függvény a következő alakú:

$$A\left(\frac{x}{L}\right) = \frac{\gamma_{id}(x)}{U_\infty} = \frac{4}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{U_\infty L} \sqrt{1 - \left(1 - 2\frac{x}{L}\right)^2}. \quad (59)$$

A (21) eloszlásban szereplő C értékét 0,125-re választottuk (mint előbb a sík lap példájában). Az ívelt lap mentén kialakuló határrétegáramlás indukált sebességkomponenseit a (29)–(34) egyenletek alapján határozzuk meg, majd ezek ismeretében a sík bármely pontjában x és y irányban ébredő sebességkomponenseket az

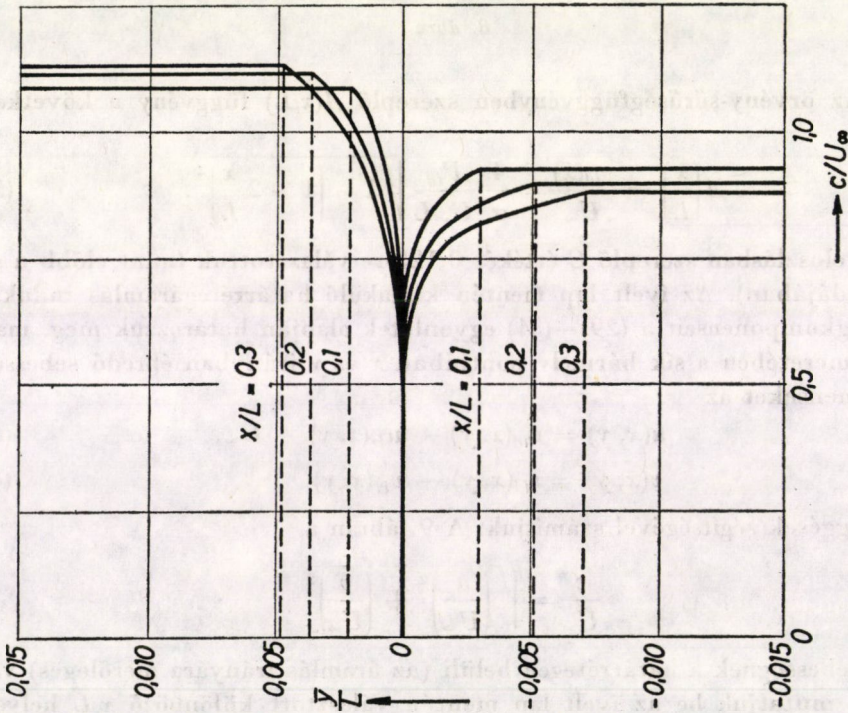
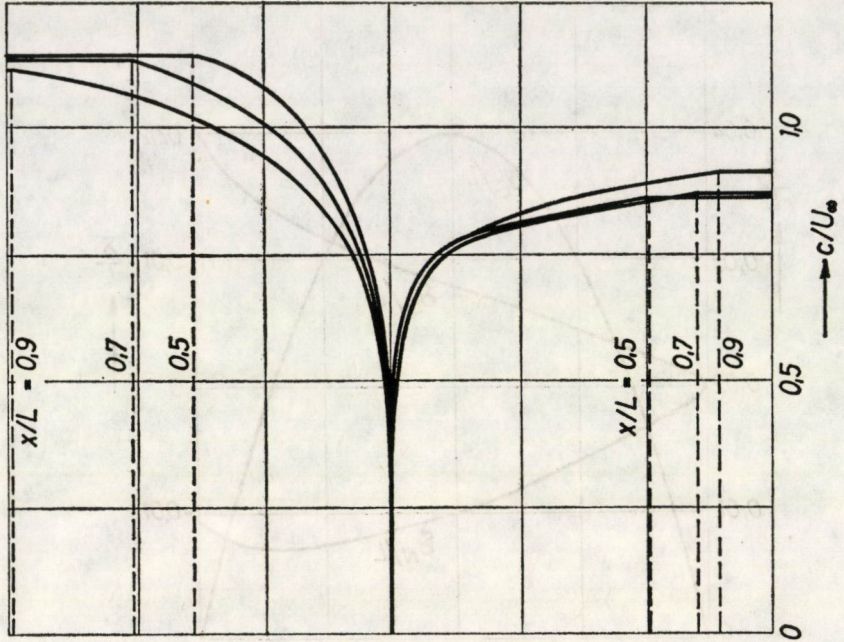
$$u(x, y) = u_{id}(x, y) + u_H(x, y) + U_\infty, \quad (60)$$

$$v(x, y) = v_{id}(x, y) + v_H(x, y) \quad (61)$$

összefüggések segítségével számítjuk. A 9. ábrán a

$$\frac{c}{U_\infty} = \sqrt{\left(\frac{u}{U_\infty}\right)^2 + \left(\frac{v}{U_\infty}\right)^2}$$

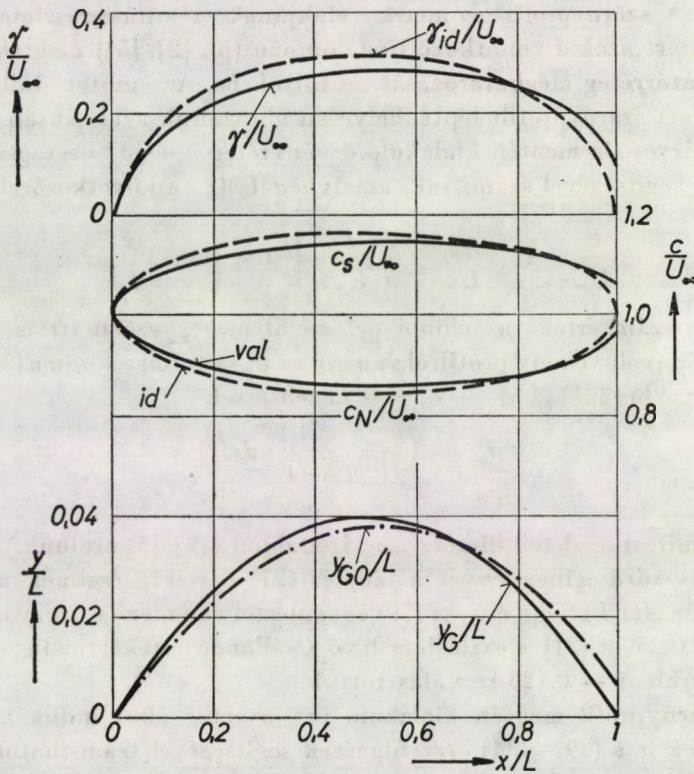
eredő sebességnek a határrétegen belüli (az áramlás irányára merőleges) változását mutatjuk be az ívelt lap mentén választott különböző x/L helyen.



9. ábra

Az örvényréteg határát szaggatott vonallal jelöltük meg. A sebességeloszlás deriváltjának a bemutatott példában az örvényréteg határán szakadása van, mert a (20) és (21) összefüggéseknek megfelelő (a sík lap esetében a kísérletekkel igen jó egyezést eredményező) örvénysűrűség itt — ha a lap felé közelítünk — zérusról hirtelen egy véges értékre ugrik. Ezt a törést a sebességprofilban természetesen elkerülhetjük egy olyan örvény-sűrűségfüggvény megválasztásával, amelynek értéke a határréteg szélén eltűnik.

A folyadéksúrlódás következtében a fajlagos örvényeloszlás a lap mentén a (22) egyenlet szerint megváltozik. A 10. ábrán feltüntettük a potenciális áramláshoz tartozó $\gamma_{id}(x)$ és a súrlódásos áramlás esetére korrigált $\gamma(x)$ fajlagos örvényeloszlásokat. A fajlagos örvényeloszlás megváltozása következtében a súrlódásos folyadékáramlásban más lesz a lap mentén kialakuló sebességeloszlás is. A 10. ábrán vázoltuk az örvényréteg határán kialakuló sebességek változását a lap szívott és nyomott oldalán. E sebességeloszlás képezi most azt a — határrétegen kívüli potenciális — sebességeloszlást, amely végül s meghatározza a határrétegben a nyomás változását. Nagyon tanulságos



10. ábra

még meghatározni a $\gamma(x)$ fajlagos örvényeloszláshoz tartozó „súrlódásmentes” $y_{G0}(x)$ metszetet. Az $y_G(x)$ és az $y_{G0}(x)$ görbék összehasonlítása ugyanis azt mutatja meg, hogy a folyadékúrlódás miatt a lapot milyen mértékben kell „túlgörbíteni” ahhoz, hogy az ívelt lapon a kívánt felhajtóerő ébredjen.

7.4. Turbulens határréteg szárnyprofil mentén

Vegyük végül egy példát enyhén ívelt vékony szárnyprofil mentén kialakuló határretegáramlás meghatározására. A szárnyprofil vázvonala íveltsége legyen az előbbi példával megegyezően 4%. A vázvonatra helyező dúcprofil legyen 8%-os relatív maximális vastagságú, amelyhez tartozó q^* fajlagos forrás-nyelő eloszlást a

$$q^*(x) = 0,0989 \left(\frac{x}{L}\right)^{-\frac{1}{2}} - 0,0344 - 0,4491 \frac{x}{L} - 0,0125 \left(\frac{x}{L}\right)^2 + 0,2850 \left(\frac{x}{L}\right)^3 \quad (60)$$

alakban vesszük fel. A γ_{id} vonalmenti fajlagos örvényeloszlást — mivel a profil vázvonala is 4%-os íveltségű — e példában is az (55)-nek megfelelően választjuk. A szárnyprofil geometriai alakjának számítási részleteit itt mellőzzük — mert azok a vonatkozó irodalomban (pl. [2], [5]) megtalálhatók — csupán a határreteg meghatározását mutatjuk be. Az említett fajlagos eloszlásokkal nyert szárnyprofil léptékhelyesen ábrázoltuk a 11. ábrán. A szárnyprofil kontúrvonala mentén kialakuló örvényréteg δ_s és δ_n vastagságát a (19) összefüggés segítségével számítjuk, amelyben U/U_∞ a következő alakú:

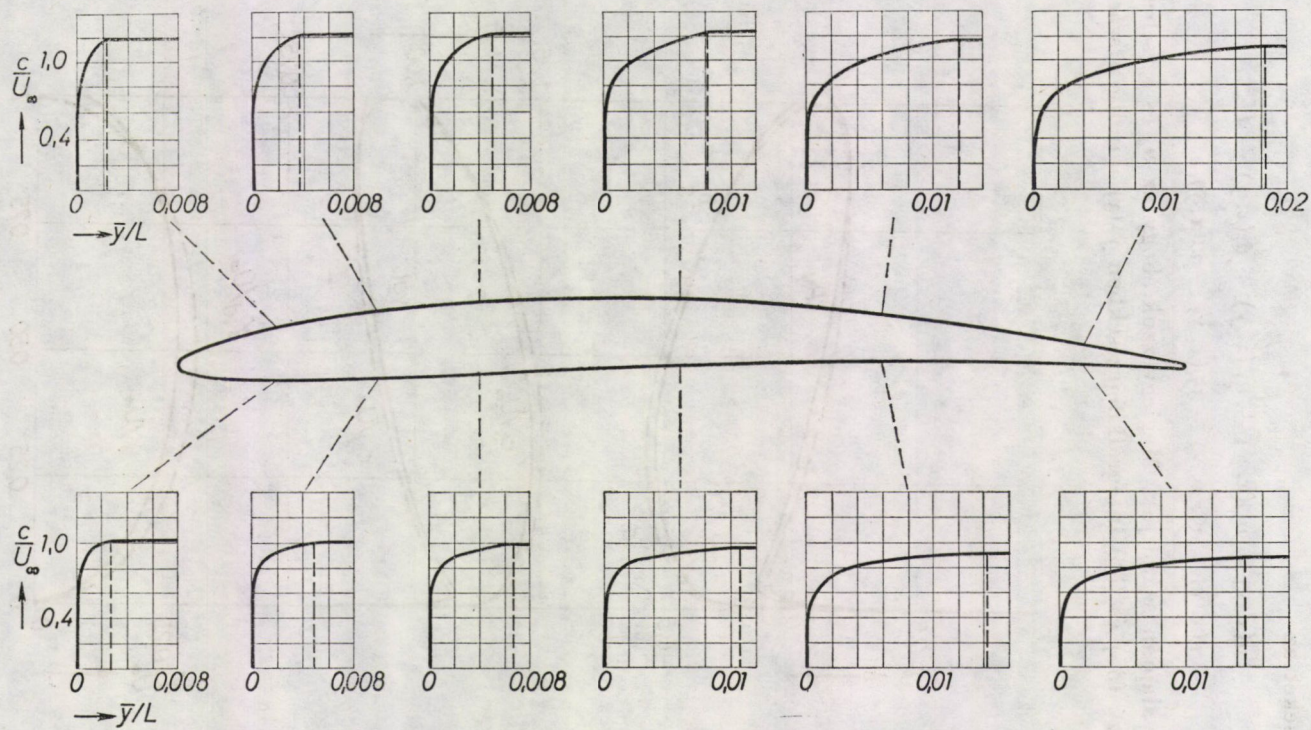
$$\frac{U}{U_\infty} = 1 + \frac{u_q}{U_\infty} \pm \frac{2}{\pi} \frac{\Gamma_{id}}{U_\infty L} \sqrt{1 - \left(1 - 2 \frac{x}{L}\right)^2}. \quad (61)$$

A Reynolds-szám értéke az előbbi példával megegyezően itt is: $Re = 10^7$. Mivel enyhén ívelt vékony profiról van szó az u_q számítása során a (35) integrálkifejezésben élhetünk az $y_G - y'_G = 0$ közelítéssel:

$$\frac{u_q}{U_\infty} = \frac{1}{2\pi} \int_0^L q^*(x') \frac{dx'}{x - x'}. \quad (62)$$

(Ennek számítási részleteit illetően is az irodalomra [2], [5] utalunk.) Az örvényréteg örvény-sűrűségfüggvényét a (20) és (21) összefüggéseknek megfelelően vettük fel; az $A(x/L)$ függvény az (59) egyenlettel van meghatározva, amelyben $\Gamma_{id}/U_\infty L = 0,25$, a (21) eloszlásban levő C állandó értékét pedig — mint az előbbi példákban — 0,125-re választottuk.

A szárnyprofil mentén kialakuló örvényréteg által indukált sebességkomponensek is a (29)–(34) összefüggések segítségével számíthatók. Ez esetben az $y_G(x)$ — szigorúan véve — a szárnyprofil kontúrvonalát jelenti; mégis megtehetjük, hogy a kontúrvonal helyett a profil vázvonala tesszük az $y_G(x)$



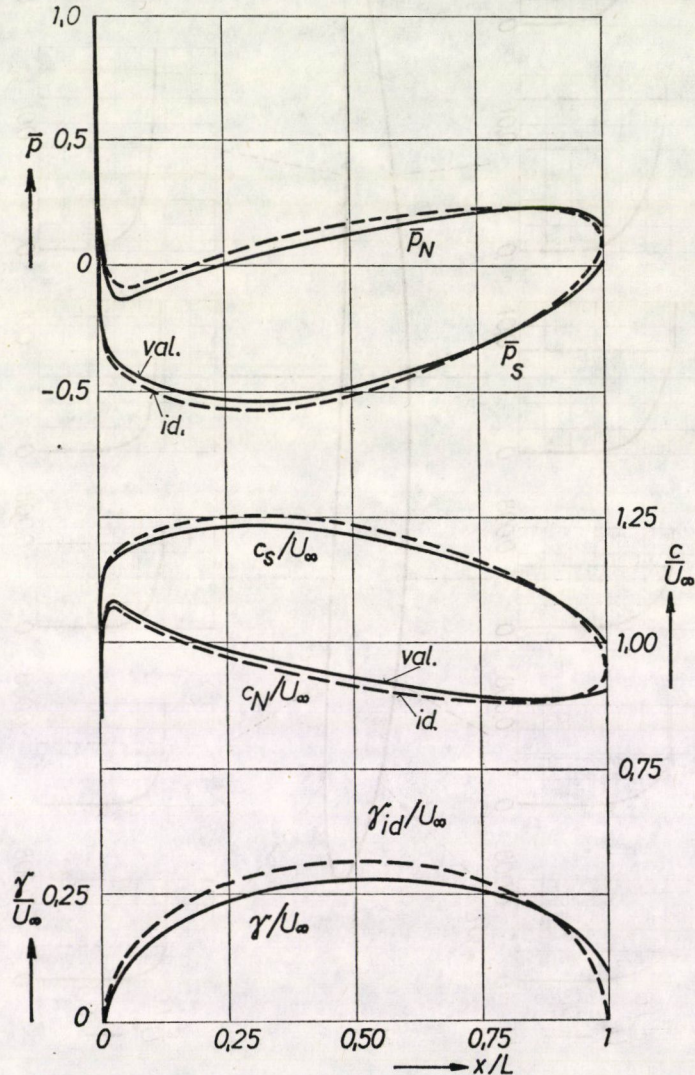
11. ábra

helyébe, mert az így elkövetett hiba (enyhén ívelt vékony profilról van szó!) elhanyagolhatóan kicsiny. Végül az x, y sík bármely pontjában ébredő sebességkomponenseket az

$$u(x, y) = u_{id}(x, y) + u_H(x, y) + u_q(x, y) + U_\infty, \quad (63)$$

$$v(x, y) = v_{id}(x, y) + v_H(x, y) + v_q(x, y) \quad (64)$$

egyenletek alapján számítjuk. Megjegyezzük, hogy az u_q és v_q sebességeket meghatározó (35) és (36) integrálkifejezésekben $y_G(x)$ mindig a szárnyprofil



12. ábra

vázvonalát jelenti (ui. a q^* forrás-nyelő eloszlás a vázvonal mentén van elhelyezve [2], [5]). A 11. ábrán a c/U_∞ eredő sebességnek a szárnyprofil mentén kialakuló határrétegen belüli (az áramlás irányára merőleges) változását is bemutatjuk a kontúrvonal mentén összesen 12 helyen. A sebességeloszlásokat ábrázoló diagramokon a szaggatott vonal az örvényréteg vastagságát jelöli.

Végül a 12. ábrán vázoltuk a súrlódásmentes esethez tartozó γ_{id} és a folyadéksúrlódás következtében a (22) egyenlet szerint megváltozó γ fajlagos örvényeloszlást, továbbá a szárnyprofil kontúrvonala mentén a határrétegen kívül kialakuló sebességeloszlást és a

$$\bar{p} = \frac{p - p_\infty}{\frac{\rho}{2} U_\infty^2} = 1 - \left(\frac{c}{U_\infty} \right)^2 \quad (65)$$

egyenlettel meghatározott dimenziótlan nyomáseloszlást. Az eredmények összehasonlítása érdekében az ábrán feltüntettük a súrlódásmentes folyadékmodellel nyert sebesség- és nyomáseloszlásokat is. A (43) és (44) összefüggések segítségével becsült fehajtóerő- és ellenállástényező értéke: $\zeta_f = 0,46$ és $\zeta_e = 0,0086$.

IRODALOM

1. BIRNBAUM, W.: Die tragende Wirbelfläche als Hilfsmittel zur Behandlung des ebenen Problems der Tragflügeltheorie *ZAMM* 3 (1923), 290
2. SCHOLZ, N.: Aerodynamik der Schaufelgitter Bd. I, G. Braun Karlsruhe 1965, 157—177
3. FRANK, PH.-MISES, R.: Die Differential- und Integralgleichungen der Mechanik und Physik Bd. I, Dover Publ. New York—F. Vieweg Braunschweig 1961, 592—597
4. KORN, A.: Lehrbuch der Potentialtheorie Bd. II. F. Dümmers Verl. Berlin 1901, 41—68
5. CZIBERE T.: A hidrodinamikai rácselmélet két főfeladatának potenciálméleti megoldása, Akadémiai doktori értekezés 1965.
6. TRUCKENBRODT, E.: Ein Quadraturverfahren zur Berechnung der laminaren und turbulenten Reibungsschicht bei ebener und rotationssymmetrischer Strömung, *Ing.-Arch.* 20 1952, 211
7. SCHLICHTING, H.: Grenzschicht-Theorie G. Braun Karlsruhe 1965, 699—709
8. TIETJENS, O.: Strömungslehre, Springer Berlin—Heidelberg—New York 1970, 223
9. SZABLEWSKI, W.: Turbulente Scherströmungen, Akademie-Verlag Berlin 1976, 70

Determination of Plane Boundary Layer Flows by Discontinuous Vortex Layers. The flow in the frictional boundary layers of bodies placed in liquid flows with high Reynolds numbers is turbulent, outside it can be considered as being laminar. Therefore, the boundary layer is also a vortex layer. The vortex-density function has a discontinuity or pole on the surface of the body. Starting from this basic idea the paper presents a method for the calculation of the velocity field of the plane boundary flow. The velocity field can be taken as being induced by a discontinuous turbulent layer of same extension as the friction boundary layer. Hence, after determining the vector potential of the vortex layer, integral equations suitable for the calculation of the velocity components can be determined by derivation. By a suitable choice of the vortex-density functions — for which the paper presents an example — the calculated results and the experiments show good agreement.

Bestimmung von ebenen Grenzschichtströmungen mittels unstetiger Wirbelschichten. Innerhalb der Reibungsgrenzschichten an der Oberfläche von in Flüssigkeitsströmungen mit großer Reynoldszahl eingebrachten Körpern kann die Strömung als wirbelig, außerhalb als wirbelfrei betrachtet werden. Daher bildet die Grenzschicht gleichzeitig auch eine Wirbel-

schicht. Die Wirbel-Dichtefunktion hat auf der Oberfläche des Körpers eine Unstetigkeitsstelle, bzw. einen Pol. Ausgehend von diesem Grundgedanken gibt die Arbeit ein Verfahren für die Berechnung des Geschwindigkeitsfeldes von ebenen Grenzschichtströmungen bekannt. Dieses Geschwindigkeitsfeld kann nämlich als ein von einer mit der Reibungsgrenzschicht gleich ausgedehnten unstetigen Wirbelschicht induziertes Geschwindigkeitsfeld aufgefaßt werden, und so können nach Bestimmung des Vektorpotentials der Wirbelschicht geeignete Integralzusammenhänge für die Berechnung der Geschwindigkeitskomponenten durch Differenzierung abgeleitet werden. Durch geeignete Wahl der Wirbel-Dichtefunktionen — wofür die Arbeit auch Beispiele anführt — zeigen die berechneten Ergebnisse gute Übereinstimmung mit den Versuchen

AZ ENERGIAHELYZET ALAKULÁSA A VILÁGON ÉS MAGYARORSZÁGON, A NUKLEÁRIS ENERGIA JÖVŐJE*

LÉVAI ANDRÁS**

AZ MTA RENDES TAGJA

Az előadás feltárja az energiaigényeknek a következő évtizedekben világszerte és Magyarországon várható fejlődését, elemezve a csökkenő tendenciájú növekedési ütem okait és annak következményeit az energiastruktúrára is. A készletekkel történő egybevetés során utal a különféle bizonytalansági tényezőkre, kiemelve az uránérczek energiatartalmának rossz hasznosítását és az energiatakarékosság fontosságát. A nukleáris energiatermelés és az atomerőműépítés mai helyzetének és várható fejlődésének bemutatása után foglalkozik az egyik, ma leginkább vitatott kérdéscsoporttal, a nukleáris üzemanyagok ciklusával és a szaporító reaktorok kérdésével. Ezzel kapcsolatban röviden elemzi az atomenergia-felzabádítás ún. veszélyességi momentumait megállapítva, hogy a reális veszély csak a reaktorokban termelt plutóniumnak atombomba alapanyagként történő felhasználásából származhatik. Ennek elhárítása a műszaki feltételek irányításán túlmenően ösztársadalmi feladat.

Kevés témáról esik ma világszerte oly sok szó, mint az energiáról, ami érthető, mert rendelkezésre állása minden anyagi termelés és — tegyük nyugodtan hozzá — társadalmi fejlődés egyik nélkülözhetetlen alapja. Ennek az alapnak kielégítő vagy nem kielégítő volta, a kapcsolódó gazdasági és politikai kérdések körül zajló széles körű vita egyik jellemzője a tőkés világ mai válságjelenségeinek. Mint tudjuk, ez a válság a szocialista országokat kevésbé súlyosan érinti, hiszen a szocialista világrendszer és elsősorban a Szovjetunió olyan hatalmas anyag- és energiaforrásokkal rendelkezik, amelyek hosszú évszázadokon át képesek biztosítani a fejlődő társadalmak egyre növekvő igényeit. Ennek ellenére — úgy véljük — helyes, ha nemcsak időnként, hanem folyamatosan figyelünk a világon és annak egyes jelentős területein zajló energiagazdálkodási eseményekre és analizáljuk a kirajzolódó távlatokat a saját szempontunkból is.

Bevezetőként néhány szót az *energiaigények* növekedéséről. Hosszú időszaknak, több mint 100 évnek, regisztrált és kellően kiértékelt adatai egyöntetűen bizonyítják, hogy az egy lakosra számított évi alapenergiához fordított fogyasztás a világon kereken 20 évenként kettőzödik, ami átlagosan 3,6% fajlagos fogyasztás-növekedésnek felel meg évente. Itt nem térhetünk ki most az energiatervezés különféle módszereire, de megállapítható, hogy abban

* Előadás a MTA 1977. évi közgyűlése keretében tartott, az atomenergia hazai hasznosításának tudományos-műszaki kérdéseivel foglalkozó tudományos ülésen (1977. V. 5.)

** Prof. Dr. Lévai András, 1022 Budapest, Filler utca 56.

egyértelműen mutatkozik a különböző országok szakértői között, hogy a világ globális alapenergiahordozó-fogyasztása az elkövetkező 20 ÷ 30 esztendőben is erőteljesen növekedni fog és az 1975. évi 8,8 milliárd tonna egyezményes tüzelőanyag (ETA) szemben 1990-ben mintegy 15 ÷ 17, 2000-re 20 ÷ 25 milliárd tonna ETA-t fog elérni, azaz az átlagos évenkénti növekedési ütem 4% körüli, esetleg annál nagyobb lesz. A népesség előrelátható szaporulatát feltételezve, az 1 főre vetített fajlagos fogyasztásban már csak mintegy évi 2,8%-os átlagos növekedés várható az előbb említett és 100 év statisztikai adataival alátámasztott 3,6%-kal szemben. A két szám közötti különbséget indokolja, hogy a vezető ipari nagyhatalmaknak — mint nagyfogyasztóknak — a világ összenergiafogyasztása alakulásában meghatározó szerepük van. Ebből az is adódik, hogy pl. az USA — amely jelenleg a világ össznépségének kerekén 6%-ával az összenergia-fogyasztás több mint 30%-át veszi igénybe — CARTER elnök most meghirdetett drasztikus energiafogyasztás-csökkentési elképzeléseinek sikere esetén könnyen leszoríthatja a világ évenkénti globális fogyasztás-növekedését a már említett 4% alá.

Másrészt köztudomású, hogy éppen a legnagyobb szaporulatot felmutató országokban van a legkisebb fajlagos energiafogyasztás. Nyilvánvaló, hogy a társadalmi szükségletek, az azok kielégítését biztosító termelő folyamatok, a szolgáltató tevékenység, az ipari és mezőgazdasági termékösszetétel változása és annak bővülése, elsősorban a kitermelésben és a feldolgozásban nagyobb energiaigényű nyersanyagok és hulladékok előtérbe kerülése, általában tehát a műszaki haladás és az életszínvonal emelkedése ma még erősebben járulnak hozzá az összenergiaigény növeléséhez, mint a lakosság lélekszámának szaporodása.

Az igénybecslés bizonytalansága fokozott hangsúlyt érdemel az utóbbi években, jellegzetesen az úgynevezett energiaválság óta. Jellemző példaként említenénk itt megint az Egyesült Államokat, ahol 1972-ben, tehát még az energiakrízis előtt, az arra illetékes hivatali szervek pecsétjével ellátva a 2000. évre 6 ÷ 7,5 milliárd tonna ETA-t elérő összenergiaigényt prognosztizáltak. 1974-ben, amidőn a négyszeresére emelkedett olajárak hatására meghirdették az úgynevezett energiafüggetlenségi programot, a 2000-re szóló előbecslés már csak 3,6 ÷ 4,5 milliárd tonna ETA volt, tehát a két évvel azelőtti becsléshez képest mintegy 40%-kal alacsonyabb. Ennek az erőteljesen csökkentett programnak az első három évre eső időarányos részét az USA messze nem teljesítette, ellenkezőleg, rövid ideig tartó megtorpanás után mind az összenergiaigény, főként pedig a kőolaj import soha eddig nem látott növekedést ért el. Jelenleg már az összes olajfogyasztás 44%-át importálják, ami 1976-ban kb. 35 milliárd dollárjába, az összes import 27%-ába került az Egyesült Államoknak. Az energiafüggetlenségi terv kudarcát nagyrészt a Kongresszus ellenállásával magyarázzák, amely sem a mintegy 100 milliárd dollárt kitevő beruházási hitelrendszert, sem a szénfalhasználás fokozása érdekében a környezet-

védelmi normák lazítását, sem a kőolajtermékek áremelését nem fogadta el. A közeljövőben fog eldőlni, mi lesz CARTER elnök mostani, a régebbinél sokkal radikálisabb energiaprogramjának sorsa a törvényhozásban.

Nem sokkal jobb a helyzet ma az Európai Gazdasági Közösség által 1974-ben bejelentett importcsökkentési program teljesítésével sem. Az import-energia akkori 63%-os részarányának 1985-ig 50%-ra való csökkentése saját bevallásuk szerint nem lesz megvalósítható.

Mindent összevetve bizonyos, hogy a világösszességében nem várható 2000-ig az energiaigények telítődése, tehát az ún. nullanövekedés nem fog beállni.

Az *energiakészletekkel* való összevetés érdekében figyelemmel kell kísérni az összenergiaigényeken belül az egyes *energiahordozók százalékos részarányát*. Így például a kőolajtermelés részesedése — amely 1920-ban még az össz-igények 10%-át sem érte el — az olcsó olajárak időszakában 1950 és 1970 között, világátlagban 30%-ról 44%-ra nőtt; a földgázé, amely 1920-ban még 2%-nál kisebb részarányt képviselt, az 1950. évi 9%-ról 1975-re 19%-ra emelkedett, azaz a szénhidrogének összesített részaránya 39%-ról 63%-ra nőtt 20 év alatt. Ezalatt a szénfeleségek felhasználása 59%-ról 30%-ra csökkent amellet, hogy a széntermelés abszolút mennyisége időközben kb. 20%-kal meg is nőtt. A többi energiahordozó (vízenergia, fa) ma mintegy 7%-os részarányt képvisel.

Az egyes energiahordozók jövőbeni részesedési arányát illetően ma már világos, hogy a szénhidrogének részaránya csökkenni fog, helyüket a következő két-három évtizedben újra a szén és — mint új energiaforrás — a nukleáris energia foglalja el. Középtérteknek számítható mai becslések szerint a századforduló végén várható arányok: szén $28 \div 30\%$, szénhidrogének együtt: $50 \div 55\%$, atomenergia $15 \div 20\%$, víz, geotermia és egyéb mintegy: 5%.

Az ún. „*energiaválság*” egyik fontos hatása volt, hogy mérsékelte a szénfogyasztás csökkentését. Ez a hatás azonban nem azonnali, egyelőre egyes országokban növekednek a kitermelt és felhasználásra váró szénkészletek (így pl. az NSzK-ban jelenleg 28 millió tonna szén van raktáron). Az új szénfogyasztók általában az újonnan építendő szénerőművek lesznek, de emellett mind a Szovjetunióban, mind az Egyesült Államokban és másutt is, átépített olaj- és gáztüzelésű erőműveket vissza akarnak állítani széntüzelésre. Az Európai Gazdasági Közösség például a beruházási költség 30%-át is elérő támogatást nyújt újonnan épülő szénerőműveknek. A szennyezésmentes széntüzelés megvalósítása érdekében széleskörű kísérletek folynak például a lebegőágyas tüzelés kifejlesztésére és a szénelgázosítás olyan új technológiáinak kidolgozására, amellyel a földgázszükséglet és az ellátás közti gyorsan növekvő különbséget gazdaságosan és a környezetre is kevésbé ártalmasan lehet kiegyenlíteni. Sok országban kísérleteznek és létesítenek prototípus üzemeket a szén cseppfolyósítására is. Mindezekkel ki akarják terjeszteni

a szilárd energiahordozók felhasználását az erőműveken túlterjedő területekre, ahol nem kell az atomenergiával mint komoly konkurenciával számolni. Egyébként annak következtében, hogy az atommagok energiájának gazdaságos hasznosítása csak nagy teljesítőképességű erőművekben lehetséges, viszont a villamosenergia fogyasztás az évszázad végére az összes energiahordozóknak legfeljebb 50%-át fogja igénybevenni, marad még elegendő terület a szén felhasználására.

Hazánkban az utolsó 15 év átlagában évente 4,2% volt az *energiaigények* növekedése. A következő 15 évre jelenleg évi mintegy 4%-os növekedést irányoznak elő, ami a nemzeti jövedelemnek kb. évi 5,5%-os növekedését engedi meg. Ez nálunk is már visszafogott, kb. 10%-kal alacsonyabb fejlődést jelent, mint a két évvel ezelőtti elképzelés és még ez is várhatóan csökkenni fog, jóllehet most már kimerítettük a struktúraváltozásból adódó fogyasztás-csökkentések lehetőségeit. Az *energiahordozók összetételét* tekintve, amíg 1950-ben 11% volt csak a szénhidrogének aránya, ez 1970-re 43%-ra nőtt, és 1980-ra kb. 66%-ot fog elérni. Mi kb. most értük el a szénhidrogéneknek azt a százalékos arányát, ami világátlagban kb. 10 évvel ezelőtt volt meg, de amíg a világon ez az arány ma már csökkenőben van, nálunk az új nagy olajerőművek fogyasztása következtében néhány évig még növekedni fog. Saját széntermelésünk százalékos részaránya időközben folyamatosan csökkent, az 1955. évi 88%-ról 1970-re 50%-ra, 1980-ra kb. 28%-ra.

A magyarországi energiasztruktúrára közismerten jellemző az *import-energiának* rendkívül nagy aránya. Így, amíg 1950-ben az összenergiaimport kb. 11% volt, ez 1970-re 37%-ra, 1980-ra 57%-ra és 1990-re kb. 65%-ra nő akkor, ha az atomerőművek alapanyagát importnak tekintjük. Ha a hazai ércek alapján történő nukleáris energiatermelést vesszük számításba — természetesen a Szovjetunióban gyártott üzemanyagelemekből — akkor az energiahordozók importja az 1980. évi 57%-ról 1990-ben nem nő 65%-ra, hanem csökken 54%-ra. Energiabehozatalunknak 85 ÷ 88%-a a Szovjetunióból származik.

Mindeme erősen növekvő és a népgazdaság teherbíróképességét igen nagymértékben igénybevevő energiaigényeknek a legfontosabb népgazdasági mutatókra vetített értékei közben folyamatos javulást mutatnak. Így csökken az 1 (1970. évi) forint nemzeti jövedelemre eső alapenergiahordozó igény, ugyanakkor nő az 1 forint nemzeti jövedelemre eső villamosenergia-fogyasztás. Jellemző az is, hogy amíg a 20-as években energetikai célokra a nemzeti jövedelemnek csupán néhány százalékát kellett fordítani, addig 1975-ben ez az érték már kb. 15% volt és továbbra is egyre nő. Az említett nagy importhányad egyre súlyosabban veszi igénybe külkereskedelmi mérlegünket.

Mindezekből alapvetően következnek nálunk a jövőre nézve azok a legfontosabb *irányelvek*, amiket röviden összefoglalva az alábbiakban lehet megjelölni:

— a hazai energiaforrások, tehát elsősorban a szén és az atomenergia fokozott kihasználása;

— összetételében a legkedvezőbb energiahordozók beszerzése annak figyelembevételével, hogy hazánk, mint a szocialista országok közösségének tagja, energiaproblémáit csakis a KGST keretében és elsősorban a Szovjetunió segítségével tudja megoldani;

— az energiafogyasztásban kedvező felhasználási alternatívák követése;

— az energiahordozókkal való takarékoskodás.

A KGST országokban továbbra is a szén marad az egyik legfontosabb energiahordozó. Az országok közötti kooperációra mutatnak itt is kezdeti eredmények, de ezek lényegesen szorosabbak már ma is a szénhidrogének termelésében, szállításában és kihasználásában. Egyedül 1975-ben a Szovjetunió Magyarországra, NDK-ba, Bulgáriába és Csehszlovákiába 62 millió tonna kőolajat és 14 milliárd m³ földgázt exportált. Az összehangolt fejlesztés jellegzetes példája az orenburgi földgázmező kihasználása és 15,5 milliárd m³/év kapacitású távvezeték létesítése közös vállalkozásként. Egy másik példa a KGST tagországok nagyfeszültségű 400 és 750 kV-os közös villamosenergia rendszerének kiépítése, amely lehetővé teszi a villamosenergia irányszállításon kívül a kapacitások cseréjét és a rendszer előnyeinek kihasználásán keresztül a tartalékok csökkentését. Ezáltal az együttműködő villamosenergia-rendszerben 1990-ben mintegy 4600 MW villamos teljesítőképesség takarítható meg, ami több, mint hazánknak ma beépített teljes teljesítőképessége. A megtakarítás ellenértéke kb. 400 millió rubel.

Jóllehet a szocialista országok, és elsősorban a Szovjetunió hatalmas energiataralékai nálunk ma még nem helyezik olyan élesen előtérbe az energia-ellátási gondokat, mint a világ többi részén, mégis célszerű kitekinteni a *föld készleteire*. Az Energia Világkonferencia 1974. évi évkönyve szerint a ma feltárt és valószínűsíthetőnek elfogadott fosszilis energiakészleteknek több mint 78%-a kőszén, a kőolaj, beleértve a nagyobb részt kitevő, de csak nehezen és drágán kitermelhető olajpalákat és bitumenes homokokat, mintegy 17%, a földgáz mennyisége pedig az összes energiahordozó készleteknek csupán mintegy 5%-a. A jelenlegi fogyasztási előirányzatok alapján tájékoztató számként adódik, hogy az ismert és valószínűsített szénkészlet 150 ÷ 200 év alatt, az olajpalákat és homokokat figyelembe vevő szénhidrogénkészlet pedig — a maihoz képest erősen visszafogott növekedési ütemet feltételezve — nagyságrendileg 60 ÷ 70 év alatt elfogyna. A következtetések azonban hangsúlyozottan csak tájékoztatók lehetnek, tekintettel azokra a bizonytalanságokra, amelyek mind az igények alakulásában, mind a készletek becslésében, mind pedig a kitermelhetőség műszaki és gazdasági feltételeiben fennállnak.

A készletekkel kapcsolatos immanens bizonytalanságok megsokszorozódnak, ha az *atommagok hasadási energiájának* hasznosítása elvén működő reaktorok alapanyagát, az uránt és a tóriumot tesszük vizsgálat tárgyává.

Ekkor ugyanis újabb nagyságrendi bizonytalanságot jelentő tényező lép be, az ugyanis, hogy a természetes ércekben előforduló hasadóképes anyagnak hány százalékát tudjuk a reaktorban hőtermelésre ténylegesen felhasználni. Ez az ún. *anyaghasznosítási fok* a ma használatos reaktortípusok döntő részét kitevő könnyűvízes reaktorokban ugyanis kisebb mint 0,5%. Ennek a számnak a figyelembevételével és a ma ismert, tehát feltárt és bevallott uránérc-készletek kb. 10-szeres mennyiségét alapulvéve, a hasadóképes magokat tartalmazó ércek energiaegyenértéke az összes feltárt és valószínűsített fosszilis készletek tizedszázaléka körül van csupán. Ez azonban csak azokra az ún. gazdaságos ércekre vonatkozik, amelyek urántartalma megközelíti az egy ezreléket és amelyek kitermelési költsége 60 \$/kg U_3O_8 alatt van. Tudvalevő, hogy például a tengervízben is igen nagymennyiségű urán található rendkívül hígított állapotban. Jellemző, hogy Japán, amelynek sem olaja, sem uránérc nincs, ma már egy olyan üzem építését tervezi, amely évente 1000 tonna uránt fog termelni tengervízből.

Ha egyelőre a vizsgálat realitása érdekében nem vesszük figyelembe sem a tengervízben, sem a sovány ércekben található hasadóanyagot, akkor arra az eléggé lehangoló eredményre jutunk, hogy az atomerőműépítés mai üteme mellett a fent említett, tehát a tényleg nyilvántartottnál kb. tízszer nagyobb uránérc készlet a századforduló körül elfogyna. Ezt az eredményt persze megint nem lehet készpénznek elfogadni, hiszen amellet, hogy az ércek megkutatottsága rendkívül kiscokú még, az előbb említett, az ércekben foglalt hasadóanyag tartalomra vonatkoztatott kb. 0,5%-os anyaghasznosítási fok semmi esetre sem lesz tartósan fenntartható. Az emberiség nem engedhet meg magának olyan anyagpocsékolást, amire jellemző, hogy egy mai, 1000 MW-os könnyűvízes reaktorból évente kiserelt, részben kiégetett üzemanyag kb. 250 kg hasadóképes U^{235} izotópot és mintegy 200 kg ugyancsak hasadóképes plutoniumot tartalmaz. Csak az U^{235} mintegy 41 tonna uránoxidnak, a két hasadóképes izotóp együtt pedig kb. 800 ezer tonna kőolajnak felel meg. Így kiszámítható, hogy csupán a Paksi Atomerőmű első, 1760 MW-os kiépítésében kiégetett üzemanyag energiataralma a 2000. évig eléri a 30 millió tonna kőolaj egyenértéket, ami kb. 3 évi kőolaj importunk energiataralmának felel meg.

A reaktorban kiégett üzemanyagokban termelt plutoniumot és a nem teljesen felhasznált U^{235} -t az újrafeldolgozó üzembn kinyerve, majd azt új üzemanyagelemekbe bedolgozva az anyag hasznosítását kb. 10÷15%-kal javítani lehetne ugyan, de még akkor is nagyon alacsony fokú energiahasznosításnál tartanánk. A hasadóanyagoknak nagyságrendileg jobb hasznosítását lehetővé tevő szaporító reaktorokat tehát alkalmazni kell majd, jóllehet velük kapcsolatban ma még igen sok műszaki, gazdasági, biztonsági és környezetvédelmi probléma van, amelyről később még szólni fogunk. Vannak olyan optimista beállítások, miszerint a szaporító reaktorokkal az üzemanyagok

hasadóanyag tartalmát 100%-ig vagy — mondjuk az elkerülhetetlen veszteségeket is figyelembe véve — 50÷75%-ig lehet hasznosítani, amikor is a nukleáris energia szinte tetszés szerinti hosszúságú időre megoldja az energia-gondokat. Egy ilyen állításnak azonban nincs sem műszaki, sem rendszer-szemléleti alapja, mert a szaporító reaktorok kereskedelmileg éretté válható időpontjáig, legalább 3—400 ezer MW mai típusú atomreaktor lesz üzemben, tehát eleve csak mind a termikus, mind a szaporító reaktorokat tartalmazó egyes rendszerek épülhetnek. Ezekben az elérhető anyaghasznosítási fok igen sok tényezőtől függ, amelyek közül a lényegesebbek:

- a szaporító és termikus reaktorok építésének üteme;
- a szaporító reaktorok műszaki felépítése, elsősorban méretük, fajlagos hőterhelésük, az új hasadóanyag-termelés kettőzési üteme, stb. (ilyen értelemben megítélésünk szerint szükséges lesz a mai folyékony nátriummal hűtött reaktorokról áttérni a gázhűtésű reaktorokra);
- a kiégett üzemanyagok tartózkodási ideje a külső ciklusban a nukleáris hűtés, a hasadóanyag kinyerése és újrafeldolgozása céljából.

Számításaink szerint a termikus és gyorsreaktorokból álló egyes rendszerekben az anyag hasznosítási foka a századforduló körül legfeljebb 2%, azaz a mainak kb. 4÷5-szöröse lehet. A fejlődés további fenntartásával elérhető az ún. egyensúlyi vegyes rendszer, amelynek alkalmazása esetén az urán és tórium érckészletek — ha nem is oldják meg véglegesen az emberiség energia-gondjait — évszázadokig elegendők lehetnek. Amint ez azonban közismert, az atomenergiának a ma ismert módszerekkel történő hasznosítása sok ekológiai problémát is felvet, amelyek némelyikére később még visszatérünk. Ezért úgy gondoljuk — és ezt az elvet évek óta valljuk — hogy a készletek oldaláról nézve az energiagondokra végleges megoldást a környezet súlyos veszélyeztetése nélkül csak a termonukleáris reakció alapján történő energia-felszabadítás fog hozni, legyen ez akár a napban lefolyó ilyen reakciónál felszabaduló sugárzás, röviden a napenergia földi energetikai hasznosítása, akár a földön gerjesztett magfúziós eljárások útján. Reálisan azonban egyik eljárás nagyléptékű bevezetése sem várható a jövő évszázad első évtizedei előtt.

Az energiahordozók készleteinek és fogyasztásának szembeállításából, továbbá az egyre súlyosbodó környezeti veszélyeztetettségéből addig is parancsolólag következik az *energiával való takarékoskodás* szüksége, de — tegyük mindjárt hozzá — lehetősége is az energiaellátás valamennyi fázisában. Amíg azonban az energiahordozók szállítása, elosztása és tárolása ma világszerte már elég jól kialakult műszaki-gazdasági paraméterek mellett folyik, a termelő, átalakító, de főként a fogyasztó berendezések igen sok javítási lehetőséget rejtenek még energetikai szempontból. Ha nem is lehet általánosságban elérni azt, amit CARTERnek az utóbbi napokban a Kongresszus elé terjesztett törvényjavaslata előíranyoz, miszerint 15 év alatt kb. 40%-kal kell elsősorban a közlekedési és a kommunális energiatárolást csökkenteni — ami az ottani

pazarlás mellett elég érthető, ha nem is könnyen teljesíthető követelmény — igen figyelemre méltó, hogy pl. Svédországban törvény írja elő az 1945 óta kialakult, évente mintegy 4,5%-ot kitevő energiaigény-növekedésnek 1985-ig évi 2%-ra való csökkentését, elsősorban fogyasztói megtakarítások révén.

Nálunk egy, a közelmúltban elvégzett felmérés szerint 1990-ig mintegy 36 Pcal* energiát lehet évente megtakarítani, azaz az akkori összenergia-fogyasztásunknak kb. 7%-át, ami több mint 3 millió tonna, főként tőkés importból származó kőolajnövekménynek felel meg évente. Ehhez a felmérés szerint mintegy 12 ÷ 15 milliárd forint beruházási ráfordítás lenne szükséges az energiaigényes iparágak technológiai fejlesztésére, a tüzeléstechnika javítására, a közlekedés, az építéstechnika, a villamosenergia-fogyasztás egyes területein. Ilyen nagyságrendű megtakarítás 13 év alatt igen szép eredmény lenne, de elgondolkoztató az a körülmény, hogy az elmúlt 14 év alatt csupán 1/7-ed ennyi megtakarítást lehetett elérni, jöllehet ebben az időben az energiastruktúra-váltás kedvező hatásai is jelentkeztek. Úgy gondoljuk, hogy a szép célkitűzés csak akkor lehet reális, ha az energiaracionalizálási tevékenységet beépítik a közép- és hosszútávú tervekbe és meglesz a központi céltudatos, erős kézzel irányított szabályozó tevékenység. De szerintünk meg kellene fontolni a meglévő villamosenergia- és gáztörvény mintájára, azokat is magába foglaló *energiatörvény* megalkotását.

De említhetünk egy másik, hatásában nem kevésbé jelentős energia-megtakarítási lehetőséget is a villamosenergia-fejlesztés területén, amit mi távolról sem aknázunk ki. A mai hazai villamosenergia-termelés fajlagos hőfogyasztása, amelynek értéke a kiadott energiára vonatkoztatva 1976-ban 2843 kcal|kWh volt, a veszteség hőnek olyan mérvű hasznosításával hőellátási célokra, ami pl. a Szovjetunióban vagy Romániában már régen megvalósult és aminek révén a mieinknél semmivel sem jobb kondenzációs erőműveik rendelkezésre állása mellett évi átlagban mintegy 2400 kcal|kWh fajlagos hőfogyasztást tudtak elérni, a mienk 400—450 kcal|kWh-val csökkenthető lenne. Ezáltal a magyar rendszerben a tavaly termelt 20,8 TWh villamos energiát kb. 1 millió tonna olajnak megfelelő energiamegtakarítással lehetett volna elérni. Sajnos, a *kapcsolt hő- és villamosenergia-termelés* technológiája nálunk nagyon lassan fejlődik. Ennek oka a múltban csak részben volt az a körülmény, hogy az energiahordozók olcsón álltak rendelkezésre. A valódi okok, amelyek nálunk még ma, a drága energiahordozók időszakában is akadályozzák az energetikailag helyes hőszolgáltatási eljárások bevezetését, inkább a különböző forrásokból szükséges beruházási alapok összehangolatlanságában, a hőtermelők és a fogyasztók közötti érdekellentétben keresendő, és — amint említettük — abban a körülményben, hogy nálunk hiányzik az energiagazdálkodásnak mint kiemelt iparágak egy kézből történő hatékony irányítása.

* 1 Pcal = 10^{12} kcal = 143 000 t ETA

Áttérve előadásunk második részére, a *nukleáris energia* termelésre, az ma a világon alig néhány százalékos részesedést jelent, fejlődése azonban kb. mégegyszer olyan gyors, mint az egész villamosenergia termeléséé, pedig az is kb. kétszerese az alapenergiahordozókének. Statisztikai adatok szerint a múlt év végén 190 energetikai atomreaktor volt üzemben a világon, mintegy 85 ezer MW kapacitással, az építés alatt álló vagy megrendelt reaktorok száma pedig 356 volt, összesen 328 ezer MW kapacitással. Az összesen 413 ezer MW atomerőművi kapacitásból a legfontosabb ipari országok a következőképpen részesednek: Egyesült Államok 54%, Franciaország 7,7%, NSZK 6%, Szovjetunió 4,7%, Japán és Spanyolország egyenként 4%. A szocialista országok együttvéve 6,7%-kal szerepelnek. Az üzemben levő kapacitások sorrendjében megint az Egyesült Államok vezet 49%-kal, őt követi japán 8,8%-kal, Nagy-Britannia 8%-kal, a Szovjetunió 7,5%-kal. A szocialista országok együttvéve 9,2%-kal szerepelnek.

Az atomerőműveket típusok szerint csoportosítva továbbra is messze az első helyen állanak a könnyűvizes reaktorok, amelyek együttvéve 87%-ot képviselnek. Ennek megoszlása: 2/3 részben nyomottvizes és 1/3 részben elgőzöltető hűtésű vizes reaktor. A gázhűtésű reaktorok aránya két év alatt a felére esett vissza, nagyjából változatlan maradt a nehézvizes reaktorok aránya 2,5%-kal. (E típusból csupán Kanadában 1988-ig kb. 13 000 MW-t akarnak építeni.)

Jellemző az az adat, miszerint a nyugati országokban gyártott reaktorok 84%-a belföldi felhasználásra került, és csupán 16% volt az exportszállítás, tehát ma még aránylag nehéz atomreaktorokat külföldre eladni, hacsak nem „édesítik” meg az ajánlatot urándúsító és a hasadóanyagokat újrafeldolgozó művek szállításával és technológiájával, amint azt az NSZK tette Brazília, vagy Franciaország Irán esetében. Érdekes az az adat is, miszerint 1975-ben a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által ismertté vált 28 atomerőmű-export rendelésből csak 5 jutott az Egyesült Államokba, míg például a nyugat-német Kraftwerksunion egyedül 9 rendelést kapott. Az USA világcégeinek lemaradásához járult az exportüzletben az általuk eladott licenciákon kívül nyilván az a körülmény is, hogy az Egyesült Államok a külföldi vásárlókat több ízben bizonytalanságban hagyta a folyamatos üzemanyagutánpótlás tekintetében és — amint már említettem — az, hogy nem szállítanak üzemanyagúrafeldolgozó műveket.

Itt joggal felmerülhet az a kérdés, hogy miért lassult az atomerőművek építésének üteme a 60-as évek végén tapasztaltakhoz képest, jöllehet az olajárak ugrásszerű növekedése ellentétes tendenciát indokolna. Az egyik fő ok mindenképpen a tőkés országokban a recesszióval kapcsolatban mutatkozó csökkentmértékű villamosenergia-fogyasztás és az ezzel összefüggő hitel-megszorítás, amely a beruházások költségének erős emelkedése mellett érzékenyebben érinti az eleve költségesebb atomerőműveket, szemben a konven-

cionálisokkal. Egy másik ok az engedélyezési, helykijelölési eljárások rendkívüli elhúzódnása, a biztonsági előírások folyamatos szigorítása, a gyártóművek kapacitáshiánya és az ebből adódó határidő bizonytalanságok. Egy-egy atomerőmű építése $8 \div 10 \div 12$ évre is elhúzódik, hatalmasak a kamatveszteségek. De nem lényegtelen a sok helyen manipulált közvélemény erőteljes, a legtöbb esetben indokolatlan tiltakozása a nukleáris üzemek létesítésével szemben. Végül hozzájárulhat mindehhez néhol a fűtőanyag beszerzésének bizonytalansága és annak lassan, de folyton emelkedő, a kőolajhoz illesztett ára.

Rátérve az egyes *reaktortípusokra*, természetesen elsősorban a könnyűvízes reaktorokat kell említenünk, amelyek — mint láttuk — 87%-os arányt képviselnek a ma létező összes reaktorteljesítményből. Előnyeiket nem kívánjuk itt külön ecsetelni, azok elég ismertek és azok eredményezik a nyomottvízes típusok előretörését. Ilyen egységekkel látja el a Szovjetunió a szocialista országokat, köztük hazánkat is, ilyen helyezett üzembe a közelmúltban Finnországban. Fékezi a fejlődést az amerikai elgőzölögtető típusoknál néhány bekövetkezett üzemzavar, illetve idejében felfedezett hiba elhárítása, az ilyen reaktorokat gyártó svéd ASEA gyár vonatkozásában pedig az atomerőművekkel szemben igen szigorú svéd törvényhozás.

Hátránya az összes könnyűvízes reaktortípusoknak az előzőekben már említett rossz anyaghasznosítási fok. Ezen nem segít ugyan lényegesen, de a beruházási költségek csökkentése vonalán jelentős megtakarítást és egyúttal nagyobb üzembiztonságot, illetve üzemkésztséget is hozhat a Szovjetunióban kifejlesztett csatornatípusú, vízhűtésű, grafittal moderált, elgőzölögtető reaktor, amelyből néhány demonstrációsnak nevezhető kisebb egység után az első 1000 MW-os egységet 1974-ben, a másodikat tavaly helyezték üzembe Leningrádban. További hasonló egységek épülnek Kurszkbau, Cseljabinszkbau, Szmolenszkbau.

A KGST-n belüli összehangolt fejlesztésnek tipikus példája a tagországoknak 1990-ig mintegy $30 \div 32$ ezer MW-ot kitevő, egyelőre nyomottvízes reaktorokra felépített atomerőmű építési programja. Az eközben kooperációban megoldandó kutatási és tudományos feladatokról nyilván a most következő előadások fognak beszámolni. Az atomerőművek létesítése és a hozzájuk tartozó berendezések gyártása az összes KGST tagországok nagyfontosságú integrációs programját képezi. Így hazánk is felkészül egyebek között a teljes, ezen belül a primerköri vízelőkészítő berendezések, a reaktorokat kiszolgáló nehéz daruk és különböző szerelési, valamint manipulációs eszközök, továbbá különleges műszerek gyártására. Tekintettel e program KGST-szintű fontosságára, továbbá arra a körülményre, hogy a saját atomerőműveink részére eszközrendelendő importszállítások volumene döntően attól függ, hogy gyártunk és exportálunk-e legalább annyi reánk profilírozott atomtechnikai berendezést, mint amennyit importálni kívánunk, igen sürgős lenne eme, nekünk nagyrészt

újszerű gyártmányok fejlesztésére egyebek között elegendő szellemi kapacitást koncentrálni és az egész programra való felkészülést kellő magas síkon, központilag irányítani.

Az atomerőművek közötti külső kapcsolat a villamos távvezeték útján a rendszerproblémák egyik részét alkotja, ezenkívül azonban van az atom-energetikának egy másik nagy, az *üzemanyagciklussal* jellemzett rendszerproblémája, amely felöleli a részben kiégett üzemanyagok központi feldolgozását, az azokból a hasadóképes anyagok kivonását és újrahasznosítását az új üzemanyagelemekben, a nagy aktivitású hulladékok ideiglenes és tartós tárolását, az egyes fázisok közé iktatott szállítási problémák megoldását és még sok minden mást.

Úgy érezzük, hogy mielőtt az üzemanyag újrafeldolgozásával kapcsolatos problémakört emlitenénk, röviden ki kell térnünk a jövő nukleáris energetikájában nagy szerepet játszó *szaporító reaktorok* néhány kérdésére. Ezek eddig prototípusként a vezető ipari országokban, elsősorban a Szovjetunióban, Franciaországban, Angliában, az USA-ban és az NSzK-ban kivétel nélkül folyékony nátrium hűtéssel és oxidalapú üzemanyagelemekkel épültek. Az USA ilyen programja néhány kezdeti üzemzavar miatt, továbbá a mindig újabb, s egyre szigorúbb biztonsági követelmények, előírások következtében erősen akadozik. Másutt is vannak még nyitott, főként technológiai kérdések, az üzemeltetés nem kielégítő, ennek ellenére megállapítható az eddig épült prototípus reaktorok üzeme alapján, hogy lényegében megtörtént a technikai megvalósíthatóság bizonyítása. A demonstrációs program tulajdonképpen most kezdődik Franciaországban, a francia—olasz—nyugatnémet—angol—belga kooperációban készülő 1200 MW-os Super Phoenix típusal. Úgy gondoljuk, hogy a szovjet 600 MW-os Bjelorussz reaktort is ide lehet számítani, az 1600 MW-os típus előtervezése most kezdődik. De annak ellenére, hogy ilyen nagy egységek épülnek ma a világon, elég nagy a tisztázatlan, részben elvi kérdések száma is. Úgy gondoljuk, hogy a tenyészreaktor-program széleskörű kereskedelmi elterjesztéséhez még sok kutatásra van szükség. Csak példaként említjük meg az üzemanyagelemek viselkedését helyi túlhevülés esetén, az üregek képződésének mechanizmusát a folyékony nátriumban, a hasadási gázok kibocsátását, az üzemanyag meghibásodását gyorsan jelző műszerek kialakítását stb. Mindezek alapvetően befolyásolják a gyorsreaktorok biztonságát, ami ma a legtöbb aggályra ad okot.

Valószínű, hogy elvileg is más típusú gyorsreaktorra lesz szükség, a biztonsági szempontokon kívül elsősorban annak érdekében, hogy az új hasadóanyag termelése a jelenlegi típusoktól eltérően legalább 2 ÷ 3-szor olyan gyorsan történjék, mint a nátrium-hűtésűekben. Ilyen szempontból nagyon ígéretesek a gázhűtésű, karbid-alapú üzemanyag típusok, amelyeket a Szovjetunióban disszociáló dinitrogén-tetroxid gázhűtéssel, az USA-ban pedig héliumhűtéssel igyekeznek megvalósítani. Ezek a reaktorok azonban még a proto-

típus fázist sem érték el, s így nagyléptékű műszaki megvalósításuk 1990 előtt nem valószínű.

Amint erről a későbbiekben még szó lesz, a gyorsreaktorokban termelt és újrafeldolgozásra alkalmas plutónium mennyisége kb. hatszor annyi, mint a könnyűvízes termikus reaktorokban. Természetesen ennek megfelelően nő az újrafeldolgozás jelentősége is. De — amint már említettük — a termikus reaktorok részben kiégett üzemanyagelemeiben felhalmozott energiatartalékok feltárása az összenergiagazdálkodás szempontjából nagy jelentőségű. Ennek ellenére az újrafeldolgozó (*reprocesszáló*) eljárások alkalmazása iránt nincs túl nagy érdeklődés a nyugati ipar részéről, amit részint az üzemekkel szemben támasztott igen szigorú előírásokkal kapcsolatos költségek, részint az ezzel összefüggő, ma még hiányzó gazdaságosság indokol. De ettől függetlenül, biztonsági és környezetvédelmi szempontból is rendkívül nagy az ellenállás nyugaton az ilyen üzemek létesítésével szemben. Ez indította az USA elnökét a közelmúltban arra, hogy ne engedélyezze reprocesszáló üzemek létesítését az USA-ban, sőt igyekezzék megakadályozni — valószínűleg üzletpolitikai okokból is — ilyenek szállítását más országok részéről. Eközben viszont Franciaország már szerződésileg biztosította újrafeldolgozó üzem szállítását Iránnak, továbbá kanadai nehézvízes reaktorához Pakisztánnak, az NSzK pedig Dél-Afrikának. Dél-Korea francia urándúsító művet kap. CARTER elnök egyúttal megtiltotta a plutónium exportját, sőt annak az Egyesült Államokban üzemanyagként való felhasználását is. Ezzel az egész gyorsreaktor programra súlyos csapást mért a nyugati világban, hiszen az USA plutónium tartalékai igénybevétele nélkül aligha tudják a többi országok ezt a programot indítani.

Egyéni meggyőződésünk, hogy a szaporító reaktorokra a jobb hasadóanyag-gazdálkodás érdekében szükség van akkor is, ha a Ford-Alapítvány közelmúltban közzétett jelentése szerint az urántartalékok akkorák, hogy a szénművek fokozott kiépítése mellett egyedül könnyűvízes reaktorokkal is kielégíthetők az energiaigények a jövő század végéig. A jelentés szakkörökben azonnal éles reflexiókat váltott ki, hiszen az ellentmond minden eddigi ismeretnek és a készletek tükrében tényleg megalapozatlannak tűnik.

Végezetül röviden kitérünk egy, az utóbbi időben a nyugati országokban sokat és szenvedélyesen vitatott kérdésre, az *atomenergia veszélyeire*. A nukleáris energiával szembenállók észrevételeiket három kérdéscsoportra koncentrálják, ezek: a létesítmény biztonsága, a környezet védelme, az üzemanyag újrafeldolgozásánál nyert tiszta plutónium veszélyessége.

Ami az első szempontot, a *létesítmény biztonságát* illeti, tudvalevő, hogy egy atomreaktor elvileg sem robbanhat sohasem úgy fel, mint egy atombomba. Bizonyos különleges, kedvezőtlen feltételek egybeesése esetén azonban olyan kémiai reakciók léphetnek fel, amelyek a reaktormagot súlyosan károsítják, az esetleg meg is olvadhat. Tény, hogy ilyen balesetek ritkán bár, de előfordultak a múltban — igaz, hogy nem kereskedelmileg üzemeltetett tele-

peken — anélkül, hogy a radioaktív termékek jelentős mennyiségben a környezetbe jutottak volna, mert az ilyen reakció következménye mindenképpen a reaktorépületen belül maradt. Balesetek, haváriák a jövőben is előfordulhatnak, aminthogy azok lehetségesek bármely komplex műszaki létesítménynél. Éppen így lehetségesek szabotázs cselekmények, vagy ellenséges (háborús) behatások is, de tekintettel a nukleáris létesítményekben alkalmazott, a mélységben igen erősen tagolt biztonsági és megelőző rendszabályokra, a fokozott gyártási és szerelési ellenőrzésre stb., a nagyközönség veszélyeztetése ilyen szempontból kisebbnek mondható, mint például a konvencionális erőműveknél.

A lakosság szempontjából elsősorban számításba jövő kockázati tényező az atomerőműveknél szerintünk nem a létesítmény biztonságában, hanem a *környezetvédelemben*, illetve ezen belül a nukleáris üzemanyagoknak, elsősorban a *plutóniumnak* nem rendeltetésszerű, azaz diverziós vagy háborús célú igénybevételében keresendő.

Maga az üzemelő vagy már üzemben volt atomreaktor egy rendkívül nagy erősségű radioaktív sugárforrást képez, amelyből azonban a sorbakapcsolt, szilárdan beépített védelmi berendezések következtében üzemszerűen csak olyan kismennyiségű, folyadékhoz vagy gázhoz kötött aktivitás kerülhet ki a reaktor épületéből, amelynek intenzitása a természetes háttérsugárzás 1%-ánál is kisebb.

A magreaktorban levő, ténylegesen rendkívül nagyerősségű radioaktív forrás mintegy 99%-a az igen gondosan lezárt és védett üzemanyagelemekben belül az erőműben marad mindaddig, amíg azokat a kiegészítés és néhány, mintegy 5 éves hűtési időszak közbeiktatása után, az újrafeldolgozó üzembe szállítják. (Ilyen újrafeldolgozó üzem, amely kereskedelmi forgalmat is bonyolít, egyelőre csak kettő van a világon: La Hague, Franciaország és Windscale, Anglia.) Magát a szállítást abszolút biztonságosan méretezett és gondosan ellenőrzött zárt edényekben végzik. Az újrafeldolgozó üzemben, ahol a hasadási termékeknek mintegy 10%-a radioaktív még, az üzemanyagelemeket feldarabolják, majd erős savakban oldják az urán, a plutónium és a hasadási termékek kémiai szétválasztása céljából. A radioaktív maradványokat igen kis térfogatra sűrítve készítik elő a közbenső vagy végleges elhelyezésre. Érthető, hogy az ilyen újrafeldolgozó művek létesítése és üzemeltetése sokhelyütt képezi az atomenergiával szemben mutatkozó ellenállásnak egyik központi témáját.

Ezen nukleáris hulladékokat természetesen úgy kell elhelyezni, hogy azok nagyon hosszú ideig (több ezer évig) ne kerülhessenek kapcsolatba az emberi környezettel. Az eddig nyert tapasztalatok szerint a kérdés több lépcsőben biztonságosan megoldható, a műszaki problémák nem áthidalhatatlanok. (Itt meg lehet jegyezni, hogy egyedül az Egyesült Államokban 1970-ben mintegy 10 millió tonna vegyi és biológiai hulladékot helyeztek el

olyan feltételek mellett, amelyek biztonsága meg sem közelíti a radioaktív hulladékok tárolásánál alkalmazott rendszabályokét.)

A harmadik, és véleményünk szerint messze a legfontosabb mozzanat az atomreaktorban keletkező *plutónium* veszélyessége. De az sem olyan szempontból, hogy az a levegőbe, majd onnan a szervezetbe kerülve tüdőrákot okozhat, ami ugyan elvileg fennáll, de ez ellen az újrafeldolgozó művek technológiájának kialakításánál az aránylag könnyű detektálás segítségével védekezni lehet. Kiszámítható, hogy az összes 2000-ig tervezett atomerőműben keletkezett plutónium mennyisége kb. a már eddig is katonai célokra gyártott mennyiségnek felel meg, a most alkalmazott technológia következtében a szabadba jutó, tehát nukleárisan mérgező plutónium azonban csak kb. egybilliomod része az atombomba kísérleteknél kibocsátott mennyiségnek. Ezeknél sem lehetett okozati összefüggést találni a kísérletek és a tüdőrák növekedésének gyakorisága között, ami persze távolról sem bizonyítja, hogy ilyen összefüggés nem létezik, legfeljebb azt, hogy a kismértékű növekedés statisztikailag nem mutatható ki. A plutónium, mint mérgező anyag, nyugodtan kikerülhet ezért az emberiséget veszélyeztető témák köréből.

Annál kevésbé áll ez a plutóniumra, mint a nukleáris fegyverek egyik alapanyagára; belőle 8–10 kg elegendő egy atombomba gyártásához, feltételezve, hogy az ehhez szükséges tudás és technológia rendelkezésre áll. Egyedül az USA-ban az 1975. évi 4000 kg-ról 1985-re mintegy 37 ezer kg-ra fog nőni a termelt plutónium mennyisége, amihez kb. még egyszer ennyi adódik a világ többi részén. E veszélyes alapanyag nem rendeltetésszerű eltulajdonítására gyakorlatilag csak az üzemanyagfeldolgozó műben van lehetőség, ahol a plutónium aránylag tisztán fordul elő, továbbá ennek az anyagnak a plutóniumot is tartalmazó, új üzemanyagokat gyártó műhöz történő szállítása során, amennyiben egyáltalában ilyenre sor kerül. A plutónium ellenőrzésére rendkívül szigorú biztonsági rendszabályok vannak, de ennek ellenére elvileg nem zárható ki teljesen az a körülmény, hogy az illetéktelenek, visszaélők birtokába jusson. Jelenleg feltételezhető, hogy legalább 14 nemzet rendelkezik az üzemanyag-újrafeldolgozás technológiájával és ezek mindegyike elvileg atombomba gyártó is lehet. A jövőben iparilag fejlett kisebb országok vagy nagy, fejlődő országok is előállíthatják természetes uránnal, vagy enyhén dúsított uránnal működő reaktoraikban a saját bomba-alapanyagukat. Így sok ország lehet abban a helyzetben, hogy atombombát gyártson, ha ezt érdekei úgy kívánják. Az eljárás azonban igen költséges és nehezen tartható titokban, ami nehézzé teszi az ilyen tevékenységet diverzáns csoportoknak vagy terroristáknak. Bizonyos azonban, hogy a biztonsági rendszabályok nem elegendőek, rendkívül széles és nagyszabású társadalmi és diplomáciai tevékenység szükséges a veszély elhárításához. Mindenáron meg kell akadályozni, hogy a nukleáris fegyverek és az ezek gyártásához szükséges technológiai eljárások elterjedhessenek a világon akkor is, ha az egyes országok diszkriminációjával jár

együtt. Az egész világot átfogó olyan garanciahálózatra van szükség, amely minden országnak megengedi az atomenergia békés felhasználását, de megakadályozza a nukleáris fegyverek elterjedését.

Azt hiszem a fentiekből kiviláglik, hogy nincs igazuk azoknak, akik az atomerőművek elterjedésétől az emberi környezet és a civilizáció megsemmisülését várják. Az atomenergia éppen olyan fontos, békés segédeszköze az embernek, mint a villamosság, de nem árt állandóan szem előtt tartani, hogy a veszély elhárításához szükséges biztonsági rendszabályokat folyamatosan finomítani és szigorítani kell.

Alapvető itt is a tudomány szerepe, hiszen csak ez az, ami az emberi találékonysággal párosulva képes arra, hogy megteremtse a feltételeket a növekvő energiaigényeknek kellő biztonsággal, a környezet veszélyeztetése nélküli, műszakilag és gazdaságilag minél tökéletesebb kielégítéséhez. Amint már említettük, a jövő új nagy energiaforrása előreláthatólag a termonukleáris reakción fog alapulni, ennek kozmikus és földi forrása egyaránt kiapadhatatlan. Ehhez jön majd, mint átalakított és a környezetet egyáltalában nem szennyező energiahordozó, a villamosenergia mellett a folyékony hidrogén. Azt hisszük, érezzük mindnyájan, hogy ezen mérhetetlen nagy feladatoknak a gyakorlati megvalósulásig történő előkészítésében milyen hatalmas szerepe van a tudománynak. Úgy gondoljuk, hogyha szerény mértékben is, ebben Akadémiánknak, de az Akadémián kívüli tudományos intézeteknek és a hazai iparnak is ki kell vennie részét.

Development of the Energy Situation in the World and in Hungary; the Future of Nuclear Energy. The lecture uncovers the development to be expected in the coming decades all over the World and in Hungary, analyzing the causes for the dropping rate of increase and also its consequences for the energy situation. After comparison with the stocks it points out the various factors of uncertainty, enhancing the bad utilization of the energy content of the uranium ores and the importance of energy saving. After discussing the present situation and the expected development of the production of nuclear energy and the construction of atomic power plants, it discusses one of to-day's most controversial complex of questions, the cycle of nuclear fuels and the question of breeder reactors. In connection with this the so-called danger moments of the using of atomic energy are briefly analyzed and the author concludes that the real danger is only the utilization of the plutonium produced in the reactors as a basic material for atom bombs. The prevention of this is, above direction of the technical conditions, a task for the whole society.

Entwicklung der Energielage in der Welt und in Ungarn, Zukunft der Kernenergie. Die Vorlesung klärt die in den nächsten Jahrzehnten weltweit und in Ungarn zu erwartende Entwicklung der Energieansprüche auf, wobei die Ursachen für die Gründe des Absinkens der Zuwachsrates und deren Folgen auf die Energiestruktur ebenfalls analysiert werden. Nach Vergleich der Vorräte wird auf die verschiedenen Unsicherheitsfaktoren hingewiesen, wobei die schlechte Ausnutzung des Energieinhalts der Uranerze und die Wichtigkeit der Energiesparsamkeit betont werden. Nach Darlegung der heutigen Situation in der Kernenergieproduktion und dem Bau der Atomkraftwerke beschäftigt sich der Autor mit einem der heute meistumstrittenen Fragenkomplexe, dem Zyklus der nuklearen Brennstoffe und der Frage der Brutreaktoren. Im Zusammenhang hiemit werden die sogen. Gefahrenmomente bei der Freimachung der Atomenergie kurz untersucht und es wird festgestellt daß eine reale Gefahr bloß aus der Verwendung des in den Reaktoren hergestellten Plutoniums als Rohstoff für Atombomben stammen kann. Die Abwehr dieser Gefahr ist über die Lenkung der technischen Vorgänge hinaus eine Aufgabe der ganzen Sozietät.

A TALAJVÍZ-IDŐSOROK AUTOKORRELÁCIÓS VIZSGÁLATA

RÉTHÁTI LÁSZLÓ*

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1976. június 4-én]

A naptári hónapok közül az őszi hónapok átlagos vízállására lehet a legmegbízhatóbb periódusvizsgálatot és autoregresszió alapuló előrejelzést végezni. A csapadék és a felszín közeli talajvíz autokorrelogramja $i = 1$ és 5 év között a zérus-tengely körül oszcillál, a mélyebb talajvíz — a fedőréteg akkumulációjának, késleltető hatásának következményeként — már itt is határozott periodicitást mutat. Az autokorrelogram szélső értékei $i = 6-7, 12-13$ és $25-26$ év körül alakulnak ki; az esetek 80%-ában az ezekre kapott empirikus függvények segítségével jobb előrejelzés adható, mint az előző évi vízállás alapján. Az autoregresszió a talajvíz-idősorok homogenitásának vizsgálatára is alkalmas.

Bevezetés

A hazai figyelőkutak adatainak feldolgozására, általánosabb törvényszerűségek kutatására jelenleg két lehetőségünk van: vagy a keleti terület-részen a 30-as évek közepe óta észlelő kutakra, vagy az ország teljes területét behálózó, a VITUKI által az 50-es évek közepén telepített kúthálózatra támaszkodhatunk. Az első esetben a területi lehatárolás és a kutak kis száma jelentkezik negatívumként az idősorok viszonylag nagy hosszúságával szemben, a második esetben viszont a helyzet éppen fordított.

A rövid idősorú kutakra korábban végzett vizsgálatok [6] a következőket állapították meg:

- az évi KÖV-ek elsőrendű autokorrelációs együtthatója (r_1) az átlagos vízállás és a szórás függvénye;
- a felszínközeli talajvíz σ - és r_1 -értéke gyakorlatilag a csapadékösszeg megfelelő értékeivel azonos;
- mivel a mélység növekedésével σ maximumgörbe szerint változik, a talajvíz emlékezőképessége (r_1) viszont monoton nő, az egyéves előrejelzés abszolút hibája — 3 m körül tetőző maximumgörbével írható le;
- mivel a szórás mind abszolút értékben, mind az átlagos vízállás alapján várható értékhez viszonyítva a Tiszántúlon a legnagyobb, az autokorreláció ezen a terület-részen a legszorosabb;
- a rendellenesen emelkedő idősorú kutakra r_1 anomáliája pozitív, a süllyedőkre negatív.

* Dr. Rétháti László, 1092 Budapest, Ráday u. 43.

A következőkben a hosszú idősorú kutak idősorait fogjuk elemezni, az említett tanulmány megállapításainak újra értékelésén túlmenően olyan összefüggéseket is keresve, amelyek meghatározására a rövid idősorú kutak adathalmaza nem ad lehetőséget. A vizsgálatba elsősorban azt a 24 kutat vonjuk be, amelyekre a korábbi *homogenitásvizsgálat* [5] pozitív eredménnyel zárult, de a tanulmány befejező részében kitérünk a zavart vízjárású kutakra is.

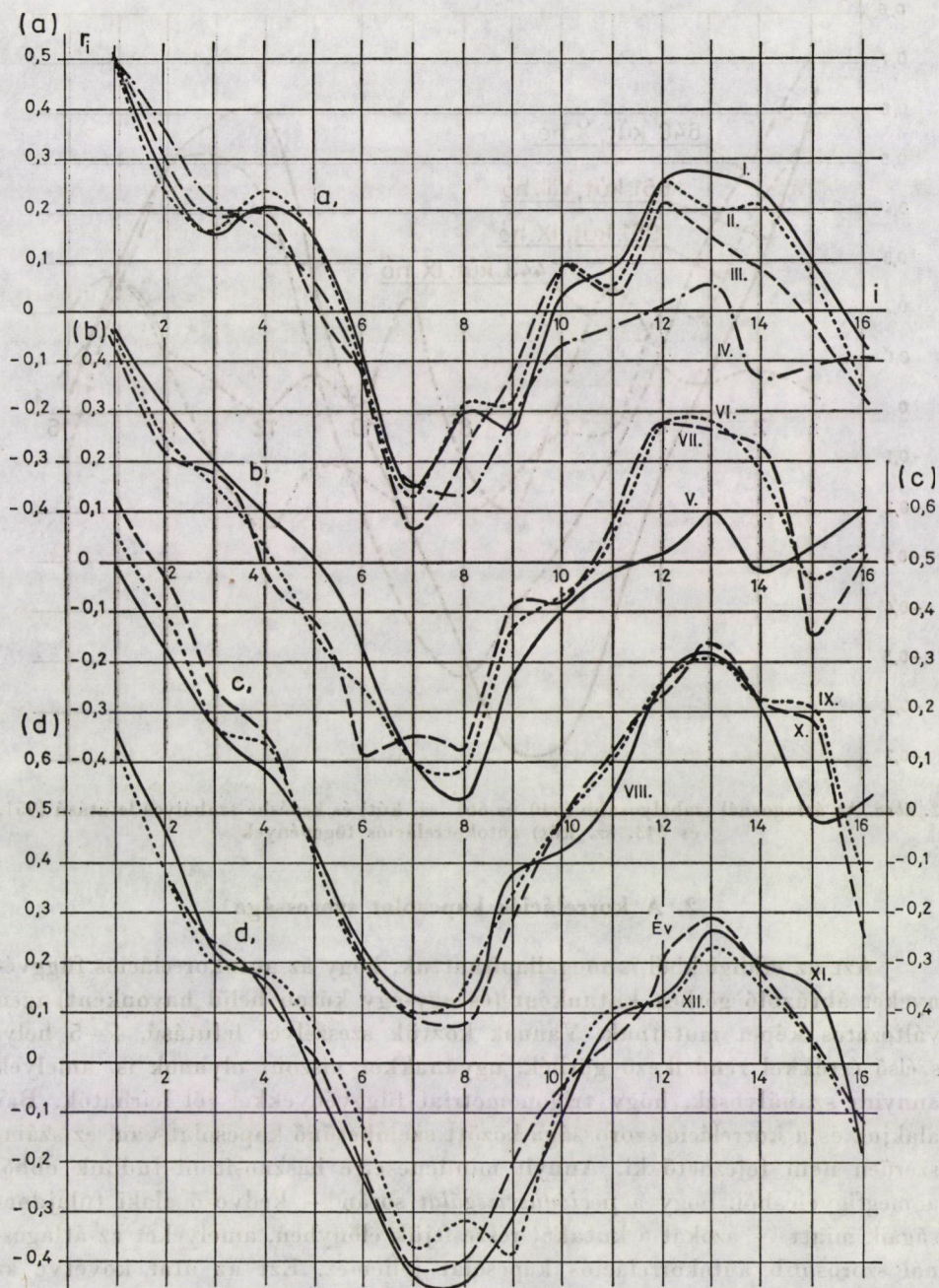
Mivel a vizsgált idősorok elemei (évi KÖV-ek, szeptember havi KÖV-ek) között egy-egy év időköz van, és a trend értéke minden kútra közel zérus, nem volt szükség a ciklikus elemek és a trend előzetes kiszűrésére.

1. A havi és évi KÖV-ek autokorrelációs függvényei

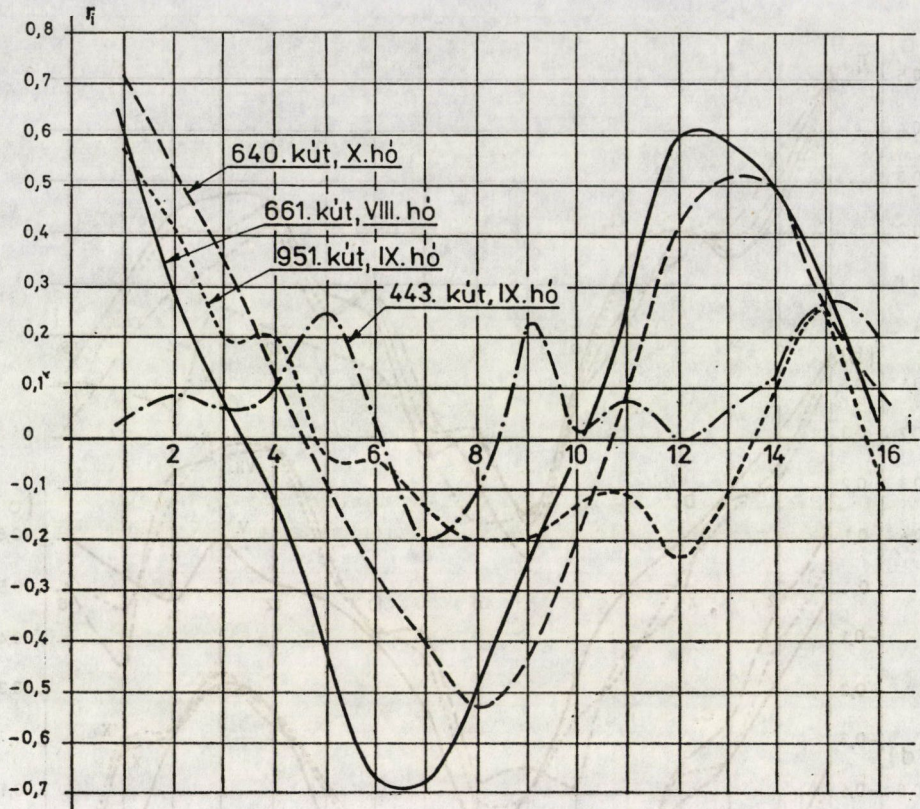
A sokéves talajvízjárás szemléltetésére, az idősor periodikus elemeinek meghatározására elsődlegesen az *évi KÖV-ek* halmaza alkalmas. Emellett látszik szólni az a körülmény is, hogy ebben az esetben egy-egy érték mintegy 120 leolvasás átlagát képviseli, a durva hibákat, a kisebb mesterséges hatásokat vagy egyéb anomáliákat gyakorlatilag így ki tudjuk ejteni. Ennek ellenére megvan a jelentősége a *havi KÖV-ek* elemzésének is, elsősorban akkor, ha a) egy adott naptári hónap vízállását — pl. az őszi minimumot [4] — kell előrejeleznünk, vagy b) ha az idősor nem folyamatos (pl. az 1944/45. évi észlelések hiányosak), és a periódusvizsgálatot valamely teljes idősorú hónap adatai alapján tudjuk csak elvégezni.

A 24 kút között hat olyan van, amelyet 1939 és 1972 között folyamatosan észleltek. Ezek közül egynek a havi és évi autokorrelációs függvényeit tünteti fel az 1. ábra. Bár a görbék jellege hasonló, rögtön szembe tűnnek a köztük levő különbségek is. A III—V. havi görbék nyugtalan lefutásúak, és egymástól is meglehetősen eltérnek. Éppen ellenkező megállapítást tehetünk a VIII—X. havi idősorokra, kiegészítve ezt azzal, hogy itt az 1 és 2 éves előrejelzés lehetőségei is jobbak. Ami az *évi KÖV-ek* r_i -sorozatát illeti, ennek jellemzői az *őszi* hónapok megfelelő értékeihez állnak közel.

A 234. sz. kútra kapott autokorrelációs függvények — mind a görbék lefutását és kisebb-nagyobb konformitását, mind az ordináták számszerűségét illetően — az átlagos típusnak felelnek meg. A kutak egy részére ennél jobb, más részére rosszabb korreláció adódott (2. ábra). Az első csoportba tartozó görbéket (661., 469., 308., 422., 480., 640. sz. kút) az jellemzi, hogy r_i mindhárom szélső értéke meghaladja a 0,5—0,6-ot, másrészt az, hogy a minimum (r_m) és a maximum (r_M) között nincs nagy különbség. A második csoportba tartozó görbék között vannak igen szeszélyesek (951., 443., 121., 337., 880. sz. kút), egy másik válfajukat pedig az jellemzi, hogy az $i = 12 - 15$ körül jelentkező csúcs igen kicsi, vagy éppen negatív (3. ábra). Az utóbbi jelenség a VII—IX. havi idősoroknál igen ritka: itt mindössze egyetlen kút esetében volt r_M negatív. (Az idősorok jellegében mutatkozó különbségek okára később még visszatérünk.)



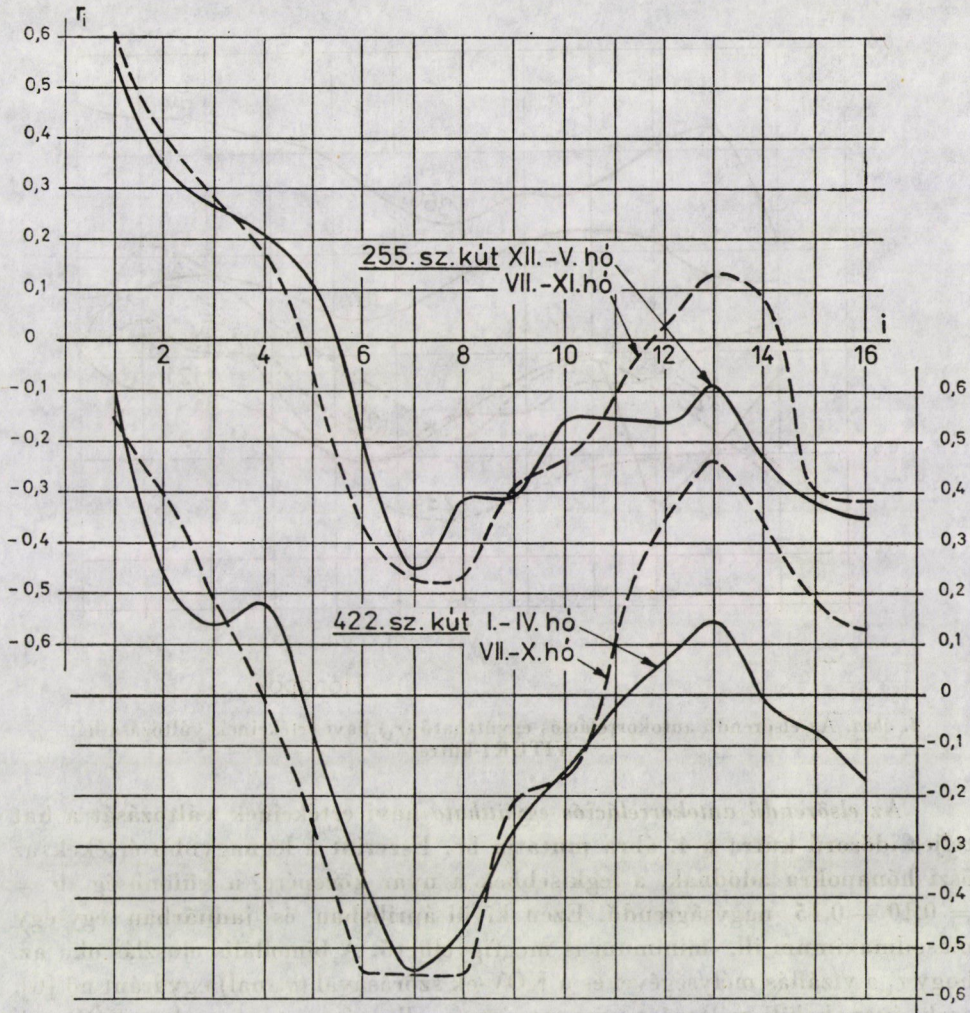
I. ábra. A 234. sz. kút I.—XII. havi és évi KÖV-einek 1939/72. évi idősréből meghatározott autokorrelációs függvények



2. ábra. Az átlagosnál szabályosabb (640. és 661. sz. kút) és kevésbé szabályos lefutású (951. és 443. sz. kút) autokorrelációs függvények

2. A korrelációs kapcsolat szorossága

Azt az eddigiekből is megállapíthattuk, hogy az autokorrelációs függvényeket ábrázoló görbék kutanként (és egy-egy kúton belül havonként) igen változatos képet mutatnak. Vannak köztük szeszélyes lefutású, 4–5 helyi szélső értékkel rendelkező görbék, ugyanakkor viszont olyanok is, amelyek annyira szabályosak, hogy trigonometriai függvényekkel jól leírhatók. Bár alakjuk és a korreláció szorossága között szemebetűnő kapcsolat van, ez számszerűen nem fejezhető ki. Annyit mindenesetre hasznosítani tudunk ebből a megfigyelésből, hogy a *periódusvizsgálat* során — kedvező alaki tulajdonságaik miatt — azokat a kutakat részesítjük előnyben, amelyeket az átlagosnál szorosabb autokorrelációs kapcsolat jellemez. Ezt az utat követve az *előrejelzés* lehetőségeit is a lehető legreálisabban tudjuk majd megítélni, hiszen a prognózis megbízhatóságát adott észlelési adatsor esetén a korrelációs együttműködés nagyságrendje szabja meg, feltéve természetesen, hogy a függvény σ_j -re értelmezve is stacionárius (4. fejezet).



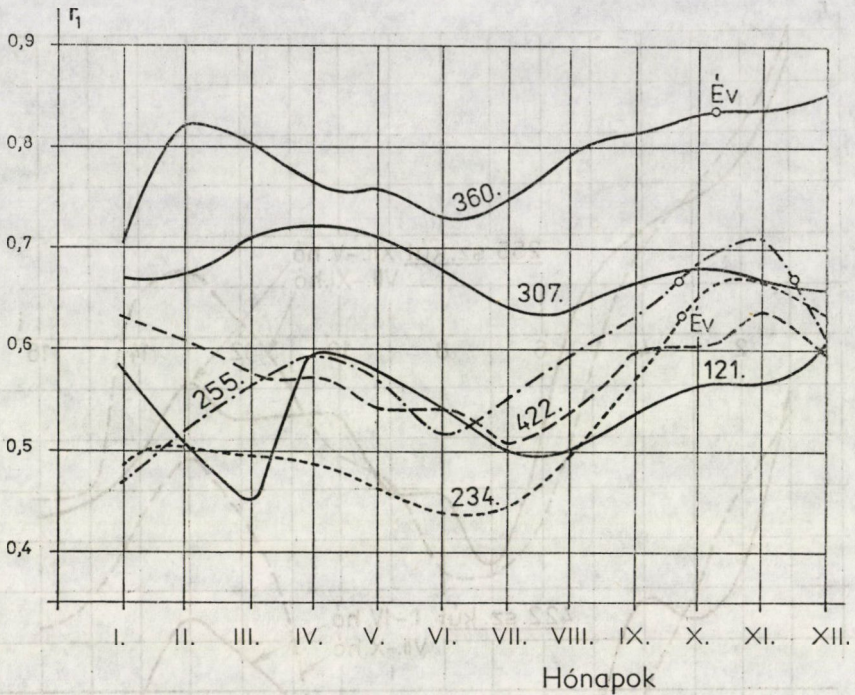
3. ábra. Az autokorrelogram első pozitív maximumának (r_M) változása az évszakoktól függően

Az r_i -idősor céljainknak megfelelő leírására az előzőekben írottak értelmében a következő jellemzők valamelyikét használhatjuk fel:

- az elsőrendű autokorrelációs együtthatót (r_1);
- az $r_1 + |r_m| + r_M$ összeget (ahol r_m az $i = 6 - 8$, r_M az $i = 13 - 15$ körül jelentkező szélső érték);
- az autokorrelációs együtthatók abszolút értékeinek

$$\sum_{i=1}^{16} |r_i|$$

összegét, függetlenül a konfidencia sávhoz (3. fejezet) viszonyított helyzetétől.



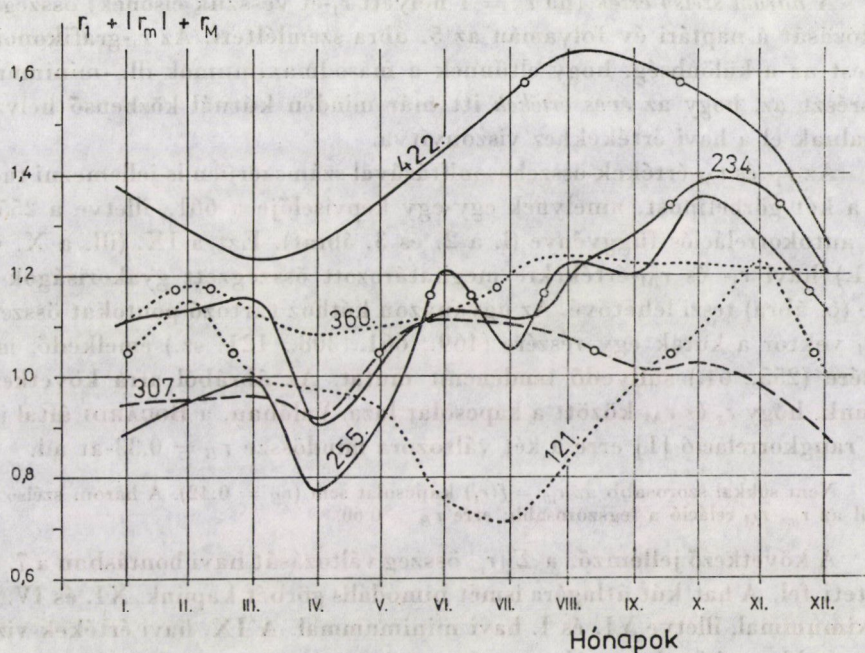
4. ábra. Az elsőrendű autokorrelációs együttható (r_1) havi értékeinek változása hat VITUKI-kútra

Az elsőrendű autokorrelációs együttható havi értékeinek változását a hat teljes idősorú kútra a 4. ábra mutatja be. Eszerint a legnagyobb értékek az őszi hónapokra adódnak, a legkisebbek a nyár közepére, a különbség $\Delta r = 0,10 - 0,15$ nagyságrendű. Ezen kívül áprilisban és januárban egy-egy másodmaximum ill. -minimum is megfigyelhető. A bimodális eloszlás oka az, hogy r_1 a vízállás mélységével és a KÖV-ek szórásával (σ_y -nal) egyaránt nő [6], ezek éven belüli változása viszont éppen ellentétes: tavasszal a KÖV-nek minimuma, σ_y -nak maximuma van, ősszel pedig a helyzet éppen fordított.

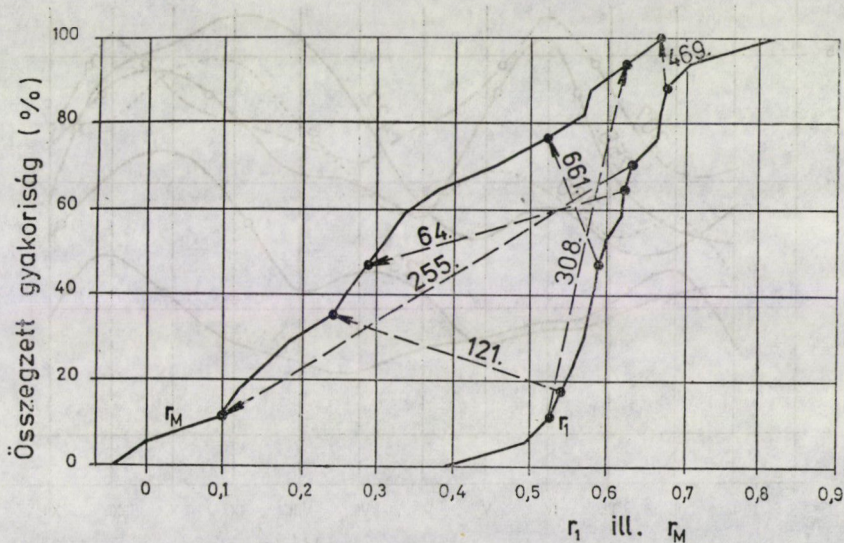
A 4. ábrán nullkörök jelzik az évi KÖV-re kapott értékeket. Ezek három kútnál minden naptári hónap r_1 -értékét meghaladják, a három másiknál két ill. három hónap autokorrelációs együtthatója alatt maradnak.

Hogy az r_1 -értékek számszerű megoszlásáról jobb képet kapjunk, vizsgáljuk meg a IX. (ha ez nem áll rendelkezésre, a X. ill. VIII.) havi értékeket. Az irreálisan kis értéket adó 443. sz. kutat kihagyva az átlag 0,60, a maximum 0,817, a minimum 0,395, az eloszlás pedig a következő:

$$\begin{aligned} r_1 > 0,7 &: 2, \\ 0,6 - 0,7 &: 6, \\ 0,5 - 0,6 &: 8, \\ < 0,5 &: 2 \text{ esetben.} \end{aligned}$$



5. ábra. Az $r_1 + |r_m| + r_M$ összeg havi értékeinek változása hat VITUKI-kútra



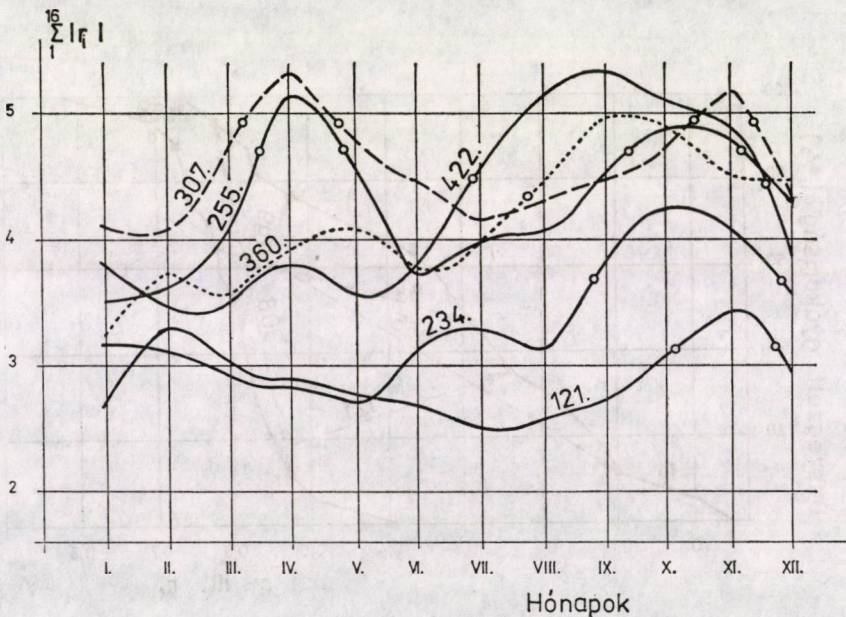
6. ábra. A IX. (ill. X. vagy VIII.) havi r_1 - és r_M -értékek empirikus eloszlásfüggvénye, néhány kútra az összetartozó értékek megjelölésével

A három szélső érték (ha $r_0 = 1$ helyett r_1 -et vesszük elsőnek) összegének változását a naptári év folyamán az 5. ábra szemlélteti. Az r_1 -grafikonokhoz képest az a különbség, hogy eltűnnek a másodmaximumok ill. -minimumok, másrészt az, hogy az éves értékek itt már minden kútnál közbenső helyzetet foglalnak el a havi értékekhez viszonyítva.

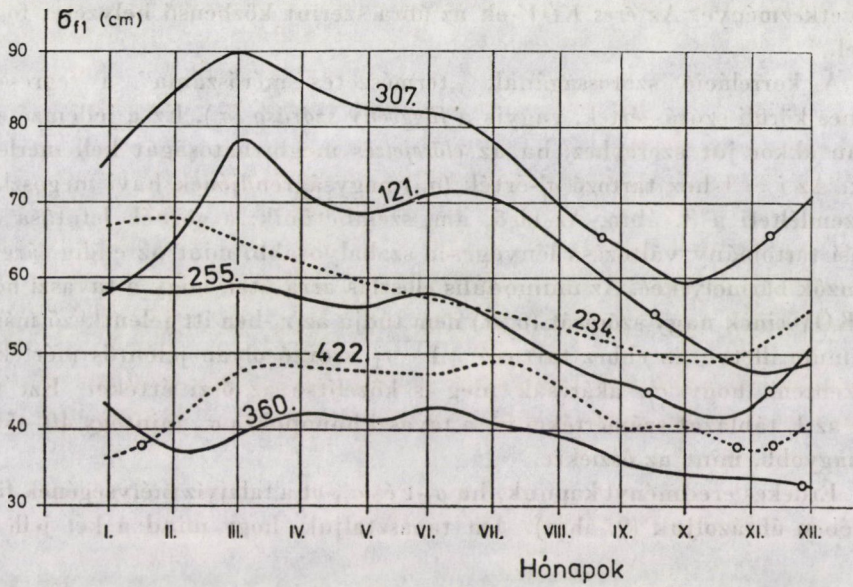
Az r_1 - és r_M -értékek összehasonlításával számszerűen is jellemezni tudjuk azt a két görbetípust, amelynek egy-egy képviselője a 661., illetve a 255. sz. kút autokorrelációs függvénye (l. a 2. és 3. ábrát). Ezt a IX. (ill. a X. vagy VIII.) havi r_1 - és r_M -értékekre meghatározott összegzett gyakoriságok görbéje (6. ábra) teszi lehetővé. Az ugyanazon kúthoz tartozó pontokat összekötő $r_1 r_M$ vektor a kutak egy részére (469., 661., 308., 121. sz.) emelkedő, másik részére (255., 64.) süllyedő tendenciát mutat. Az ábrából arra következtethetünk, hogy r_1 és r_M között a kapcsolat laza. Valóban, a BOGÁRDI által javasolt rangkorreláció [1] erre a két változóra mindössze $r_B = 0,33$ -at ad.

Nem sokkal szorosabb az $r_m = f(r_1)$ kapcsolat sem ($r_B = 0,42$). A három szélső érték közül az r_m , r_M reláció a legszorosabb; erre $r_B = 0,60$.

A következő jellemző, a $\sum |r_i|$ összeg változását havi bontásban a 7. ábra tünteti fel. A hat kút átlagára ismét bimodális görbét kapunk, XI. és IV. havi maximummal, illetve VI. és I. havi minimummal. A IX. havi értékek vizsgálata azt bizonyítja, hogy $\sum |r_i|$ — éppen úgy, mint r_1 — a talajvíz mélységével és a havi KÖV-ek szórásával egyaránt nő, a görbe alakja tehát itt is ennek



7. ábra. A $\sum |r_i|$ összeg havi értékeinek változása hat VITUKI-kútra



8. ábra. A havi KÖV-ek $i = 1$ éves értékek alapján végzett előrejelzésének megbízhatósága hat VITUKI-kútra

I. táblázat

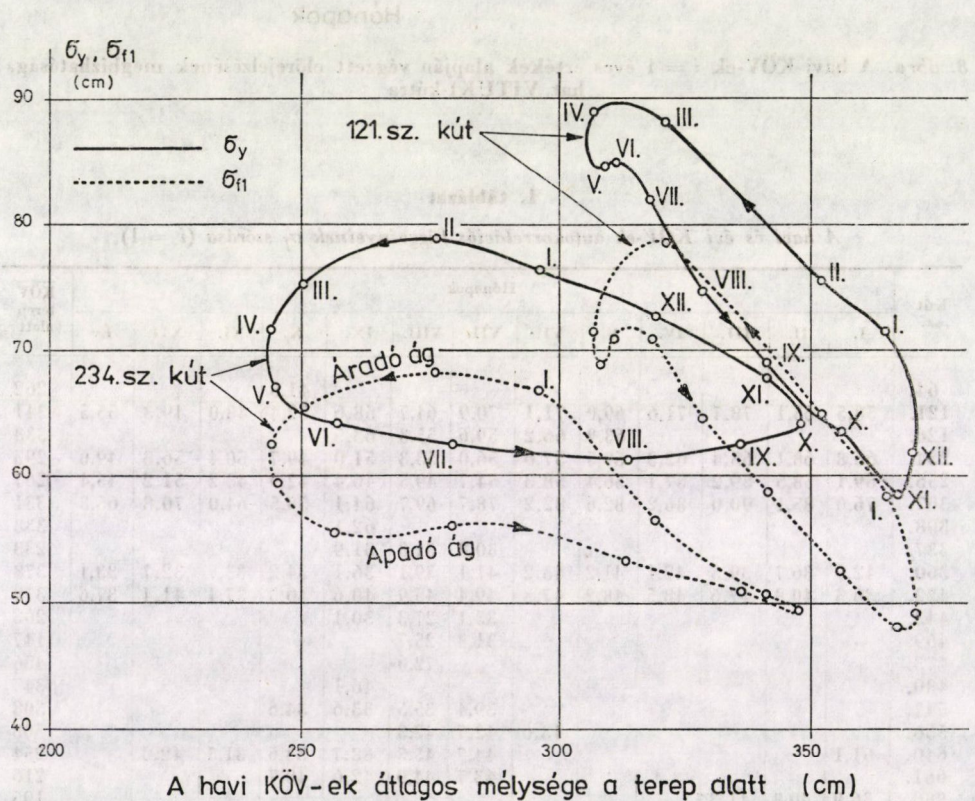
A havi és évi KÖV-ek autokorrelációs függvényeinek σ_f szórása ($i = 1$)

Kút sz.	Hónapok												KÖV terep alatt	
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.		Év
64.										41,5				262
121.	58,5	65,1	78,7	71,6	69,0	71,1	70,9	64,7	58,6	52,4	48,0	49,3	55,5	341
126.					63,9	66,2	59,6	55,3	63,5					338
234.	66,8	68,1	65,4	62,3	59,5	57,6	56,0	53,3	51,0	49,7	50,4	56,3	49,0	293
255.	59,1	58,5	59,2	57,1	56,4	58,3	54,7	49,5	46,4	42,9	43,2	51,2	45,4	267
307.	76,0	85,1	90,0	86,2	82,6	82,2	78,7	69,7	64,1	59,5	64,0	70,8	65,8	331
308.									62,1					338
337.							30,8	31,3	31,9					233
360.	42,9	36,7	39,3	42,1	41,2	43,2	41,1	39,1	36,1	34,2	33,7	32,7	33,1	378
422.	36,3	40,8	47,6	48,5	48,2	47,3	49,4	45,9	40,6	40,3	37,4	41,4	37,6	378
443.							33,1	27,3	30,1					203
469.							31,8	25,7						147
473.								72,0						456
480.									46,1					347
547.							39,4	35,5	33,6	34,6				308
556.						43,6	42,7	42,3						508
640.	61,1						44,7	45,5	38,7	33,6	31,5	42,0		254
661.							43,7	44,0	42,6	40,7				216
880.	36,9	40,8	41,3											195
936.	41,2	42,3	42,3	39,9	35,8	35,4								150
951.							31,6	25,4	27,8					134

a következménye. Az éves KÖV-ek az ábra szerint közbenső helyzetet foglalnak el.

A korreláció szorosságának „természetes mérőszáma” a regressziós egyenes körüli szórás-érték, vagyis a függvény szórása (σ_f). Ez a jellemző első sorban akkor jut szerephez, ha az előrejelzés megbízhatóságát kell mérlegelnünk. Az $i = 1$ -hez tartozó σ_f -érték (σ_{f1}) nagyságrendjének havi megoszlását jól szemlélteti a 8. ábra. Az első, ami szembeötlik: a görbék lefutása és a szórási tartomány változása lényegesen szabályosabb, mint az eddig tárgyalt jellemzők bármelyikéé. Az unimodális eloszlás arra utal, hogy a tavaszi hónapok KÖV-einek nagy szórását (σ_y -t) nem tudja az r_1 -ben itt jelentkező másodmaximum illetve az ehhez tartozó $\sqrt{1 - r_1^2}$ szorzó olyan jelentős mértékben csökkenteni, hogy σ_{f1} akárcsak meg is közelítse az őszi értéket. Ezt tükrözik az 1. táblázat számértékei is: a tavaszi hónapokra σ_{f1} mintegy 40–50%-kal nagyobb, mint az ősziekre.

Érdekes eredményt kapunk, ha σ_y -t és σ_{f1} -et a talajvíz mélységének függvényében ábrázoljuk (9. ábra). Azt tapasztaljuk, hogy mind a két jellemző



9. ábra. A havi KÖV-ek szórása (σ_y) és az egy évvel előbbi KÖV-ből való előrejelzésük megbízhatósága (σ_{f1}) a sokévi havi KÖV függvényében

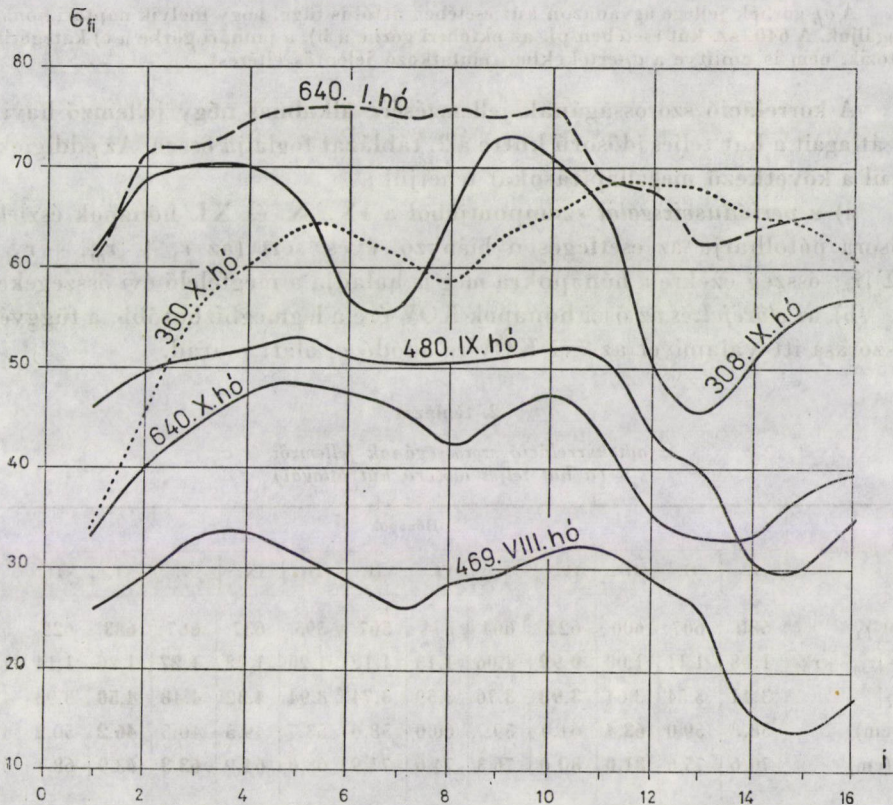
nemcsak a KÖV helyzetétől, hanem attól függően is más-más értéket vesz fel, hogy az *áradó* vagy az *apadó* ágról van szó. A különbség igen jelentős: a 121. sz. kútra 10–11 cm, a 234. sz. kútra 15–16 cm.

Ez az ábrázolási mód egyéb hidrológiai és matematikai összefüggések elemzésére is alkalmas. Így pl. az azonos hónapokat összekötő függőlegesek a korrelációs együttható mérőszámai, hosszuk ugyanis

$$\sigma_y (1 - \sqrt{1 - r^2})\text{-tel,}$$

a σ_f és σ_y ordináták hányadosa pedig $\sqrt{1 - r^2}$ -tel azonos. Az ellipszishez hasonló görbékéről leolvashatók a maximális és minimális KÖV-ű hónapok, az ezekhez tartozó vízállások átlaga és szórása; a tengely két vetülete a vízjáték és a szórástartomány nagyságára utal. A 234. sz. kút σ_y és σ_f görbéinek egymásba metsződése azt jelzi, hogy vannak vízállások, melyeket a sokévi átlagból (várható értéként ezt véve fel) jobban előre tudunk jelezni, mint ugyanezt a vízállást más hónapokban egy jónak mondható korrelációs kapcsolat segítségével (vö. a σ_y -görbe VI. és VII. havi értékeit a σ_f -görbe I. és II. havi értékeivel). Az egyes naptári hónapokat jelző pontok ciklikus sűrűsödéséből következtetni tudunk az átlagos menetgörbe szabályosságára is (a két kút közötti különbség pl. ebben a vonatkozásban is szembetűnő).

A következő kérdés, ami érdeklődésre tarthat számot: hogyan alakul a függvény szórása a lépésköz (i) növelésével. A 10. ábra szerint — amint az várható volt — az egyes kutak között igen jelentős különbségek mutat-



10. ábra. Néhány kút autokorrelációs függvényének szórása (σ_{fi}) $i = 1$ és 16 között

koznak. Az $i = 1$ évet véve viszonyítási alapnak, három jellegzetes esetet különböztethetünk meg:

- a) $\sigma_{f1} > \sigma_{fm}$ és $\sigma_{f1} > \sigma_{fM}$ (308. sz. kút);
- b) $\sigma_{fm} > \sigma_{f1} > \sigma_{fM}$ vagy $\sigma_{fm} < \sigma_{f1} < \sigma_{fM}$ (469., 480. és 640. sz. kút);
- c) $\sigma_{f1} < \sigma_{fm}$ és $\sigma_{f1} > \sigma_{fM}$ (360. sz. kút).

A korábban tárgyalt 18 kút IX. (ill. X. vagy VIII.) havi idősorát vizsgálva, a három típus a következőképpen oszlik meg:

- az a) csoportba 4,
- a b) csoportba 11,
- a c) csoportba 3

kút sorolható. Ez egyben azt jelenti, hogy az esetek 5/6-ában nem a megelőző év KÖV-ével való számítás adja a legjobb előrejelzést. (Az észlelési időszak viszonylagos rövidege miatt ezt a megállapítást bizonyos fenntartással kell fogadnunk, az $i > 8 - 10$ évhez tartozó korrelációs kapcsolatok realitása vitatható.)

A σ_{fi} görbék jellege ugyanazon kút esetében attól is függ, hogy melyik naptári hónapot vizsgáljuk. A 640. sz. kút esetében pl. az októberi görbe a b), a januári görbe a c) kategóriába tartozik, nem is említve a σ_f -értékekben mutatkozó jelentős eltérést.

A korreláció szorosságának jellemzésére alkalmas négy jellemző havi és évi átlagait a hat teljes idősorú kútra a 2. táblázat foglalja össze. Az eddigieken kívül a következő megállapításokat tehetjük:

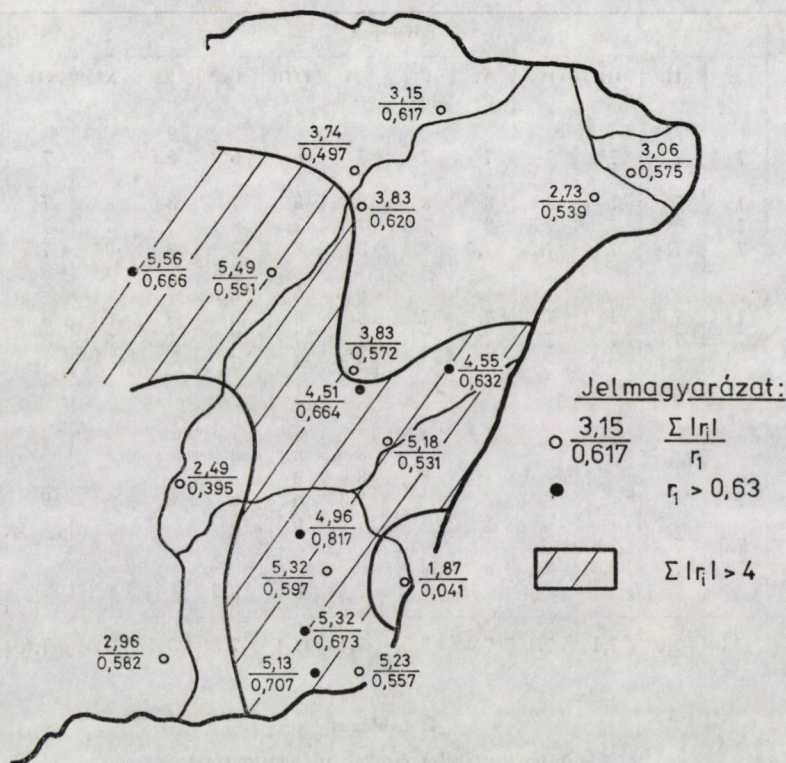
- a) a *periódusvizsgálat* szempontjából a IX., X. és XI. hónapok észlelési idősora pótolhatja az esetlegesen hiányzó éves sort (az $r_1 + |r_m| + r_M$ és a $\Sigma |r_i|$ összeg ezekre a hónapokra meg is haladja a megfelelő évi összegeket);
- b) az *előrejelzés* az őszi hónapok KÖV-ére a legmegbízhatóbb, a függvény σ_f szórása itt valamivel az évi KÖV-re adódó σ_f alatt marad.

2. táblázat

Az autokorreláció szorosságának jellemzői és σ_y
(a hat teljes idősorú kút átlagai)

A jellemző	Hónapok												Év
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
1000 r_1	580	607	600	622	604	574	567	595	637	667	683	622	694
$r_1 + r_m + r_M$	1,08	1,11	1,08	0,99	1,06	1,13	1,12	1,20	1,22	1,27	1,26	1,14	1,22
$\Sigma r_i $	3,41	3,54	3,64	3,98	3,76	3,59	3,74	3,94	4,32	4,48	4,50	3,93	4,22
σ_{f1} (cm)	58,3	59,0	63,4	61,4	59,7	60,0	58,6	53,7	49,5	46,5	46,2	50,2	47,7
σ_y^* (cm)	70,6	75,6	81,0	80,0	76,3	74,6	71,9	68,0	64,9	63,3	63,9	68,1	67,5

* $i = 1$ évről



11. ábra. Az r_1 -érték és a $\sum |r_i|$ összeg területi megoszlása (a IX., ill. X. vagy VIII. havi KÖV-ek autokorrelációs függvényéből)

A 11. ábra a $\sum |r_i|$ összeg területi megoszlását mutatja be. Az ábra szerint egyértelműen lehatárolható a Tiszántúlnak az a része, ahol ez az összeg 4-nél nagyobb. Ide esnek kivétel nélkül azok a kutak is, amelyekre $r_1 > 0,63$. Az eredmény összhangban van azzal a korábbi megállapítással [6], hogy az autokorrelációs kapcsolatok itt a legszorosabbak.

3. A vizsgált idősorok periodikus elemei

Az autokorrelációs függvények alapján egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a 16 lépésig kiszámított autokorrelációs függvény mindegyikében egy *negatív* és egy *pozitív* szélső érték rajzolódik ki (l. pl. az 1–3. ábrákat). Ez azt bizonyítja, hogy az átlagos havi és évi KÖV-ek naptári évek szerint rendezett sorozatában periodikus elemek is vannak.

A *negatív minimum* időpontja (i_m) az esetek 98,4%-ában 6 és 8 év közé esik. Amint azt az 1. ábrán is megfigyelhetjük, i_m egyértelmű meghatározása nem mindig lehetséges: egyes autokorrelogramokon két mélypont is jelentkezik, másokon pedig az $i = 7$ körüli két szomszédos r_i -érték gyakorlatilag

3. táblázat
A negatív szélső értékek időpontja (i_m)

Kút sz.	Hónapok												Év
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
64.										8			
121.	7	7	7	7	7	7	7	6	6	6,5	6	7	7
126.					7	7	7	7	7				
234.	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	7	7
255.	7	7	7	7,5	8	7,5	7,5	7,5	8	7,5	7	7	7
307.	7	7.	7	7,5	7,5	8	8	8	8	8	8	7,5	7,5
308.										6,5			
337.							6	6	6				
360.	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8
422.	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7,5	8	8	7
443.							8	8	7				
469.							7	7					
473.								7					
480.										7,5			
547.							8	8	8	8			
556.						8	8	8					
640.	7						7,5	8	8	8	8	9	
661.							7	6,5	6				
880.	7,5	7	7										
936.	7	7	7,5	8	8	8							
951.							7	8	8,5				
Á.:	7,1	7,0	7,1	7,4	7,4	7,5	7,4	7,4	7,2	7,7	7,6	7,6	7,1

4. táblázat
A pozitív szélső értékek időpontja (i_M)

Kút sz.	Hónapok												Év
	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	
64.										15			
121.	10	12	11	11	11	14	12	12	13	12,5	12	10	12
126.					11	12	12	13	14				
234.	13	12	12	13	13	13	12	13	13	13	13	13	13
255.	13	12	13	11	13	13	13	13	13	13	13	13	13
307.	12,5	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12,5
308.									13				
337.							13	13	13				
360.	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	12,5	12	12
422.	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	12	12
443.							14	16	16				
469.							16	15					
473.								14					
480.										15			
547.							13	15	14	14			
556.						15	15	15					
640.	13						13	13	13	13	13	13	
661.							12	12	12				
880.	14	14	14										
936.	15	14,5	14	14	14	14							
951.							13,5	15	15				
Á.:	12,8	12,7	12,6	12,6	12,6	13,3	13,2	13,6	13,5	13,3	12,8	12,3	12,6

azonos. Ugyanazon kút különböző hónapokhoz tartozó idősorait összehasonlítva azt is megállapíthatjuk, hogy

a) az őszi hónapok grafikonjai egyértelműbben értékelhetők, mint a tavaszi hónapoké,

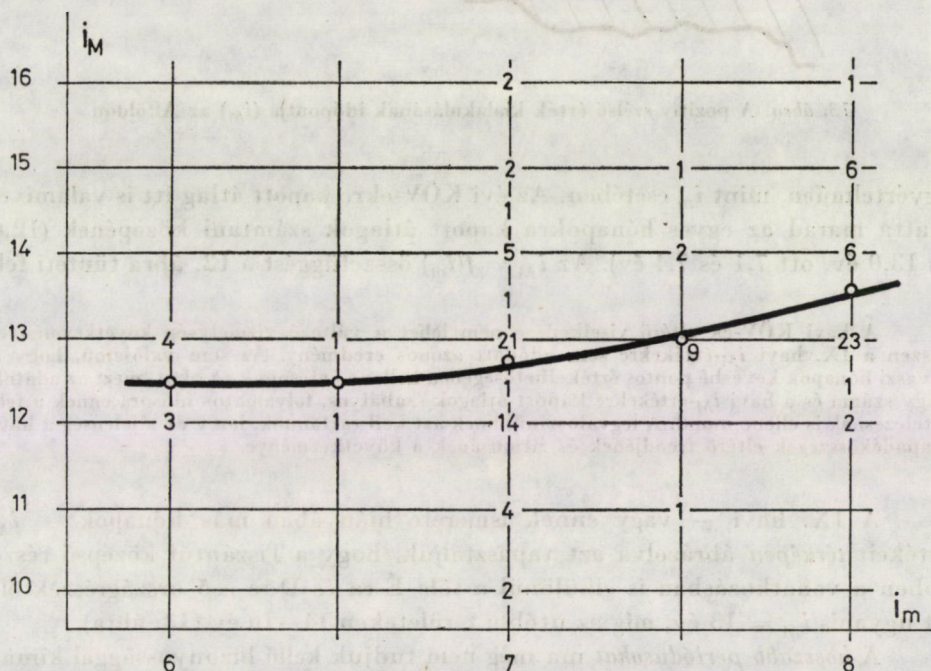
b) i_m számszerű értéke — kivétel nélkül — nem azonos minden naptári hónapra.

A 3. táblázat szerint ugyanazon kútra vonatkozóan i_m -ben az eltérés 0,5—1 év, kivételesen (l. a 640. sz. kút adatait) 1,5 év. Az évi menetben — amint arra az átlagokból egyértelműen következtethetünk — határozott ritmus mutatkozik, októberi maximummal ($i_m = 7,7$) és februári minimummal ($i_m = 7,0$). Az évi KÖV-ekre $i_m = 7$, a hat kút közül egynél $|r_8| > |r_7|$.

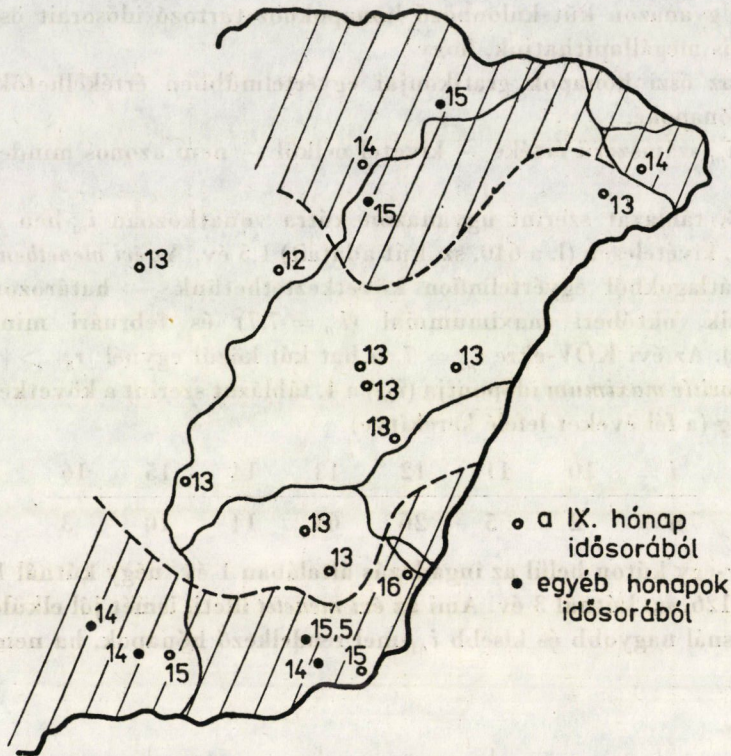
A pozitív maximum időpontja (i_M) a 4. táblázat szerint a következőképpen oszlik meg (a fél éveket lefelé kerekítve)

$i =$	10	11	12	13	14	15	16
$n =$	2	5	26	64	14	10	3

Egy-egy kúton belül az ingadozás általában 1 év, négy kútnál 1,5—2 év, a 121. és 126. sz. kútnál 3 év. Ami az évi menetet illeti, ismét jól elkülöníthetők az átlagnál nagyobb és kisebb i_M -mel rendelkező hónapok, ha nem is olyan



12. ábra. Összefüggés a negatív (i_m) és pozitív (i_M) szélső érték kialakulásának időpontja között



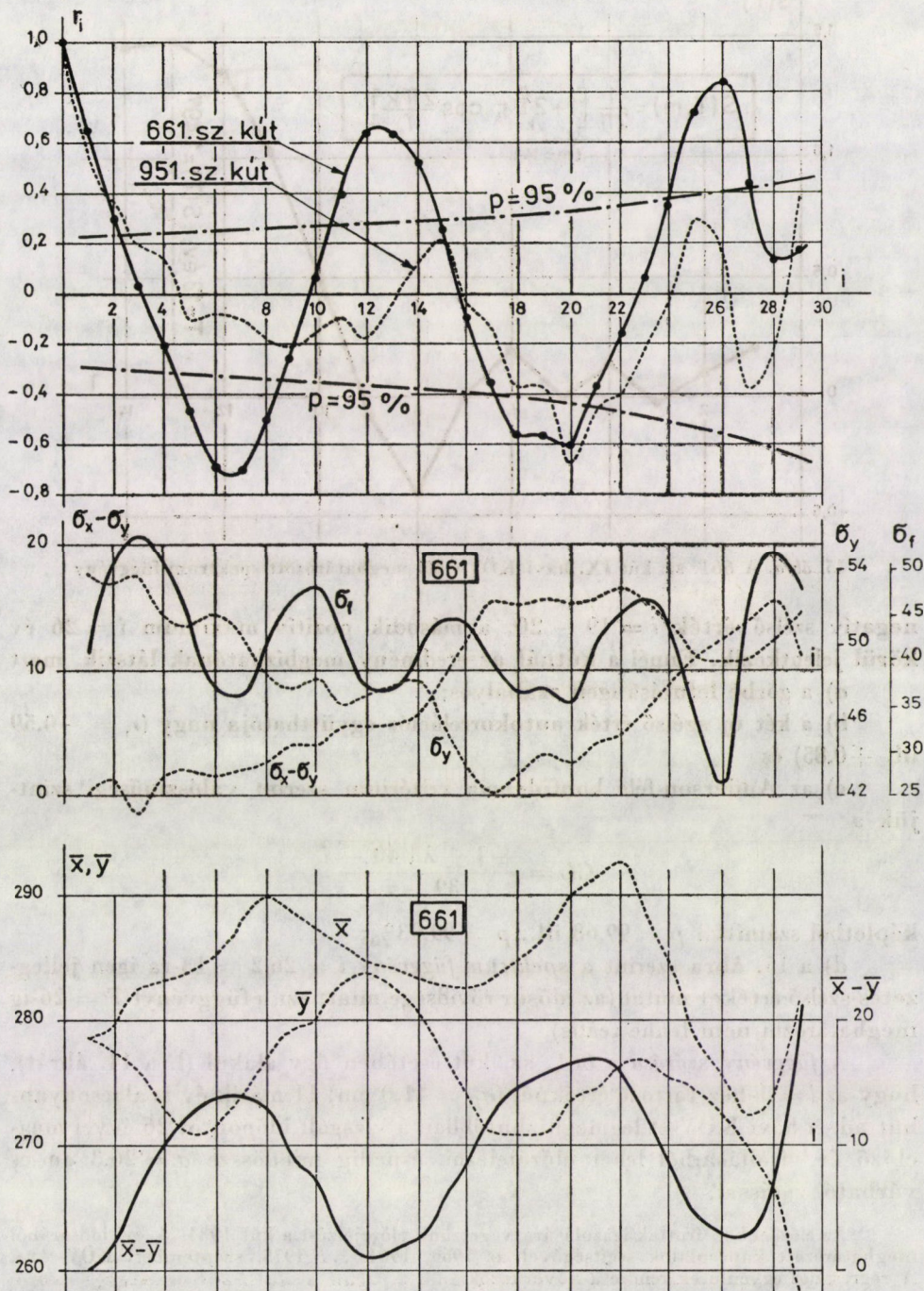
13. ábra. A pozitív szélső érték kialakulásának időpontja (i_M) az Alföldön

egyértelműen, mint i_m esetében. Az évi KÖV-ekre kapott átlag itt is valamivel alatta marad az egyes hónapokra kapott átlagok számtani közepének (12,6 és 13,0 év, ott 7,1 és 7,4 év). Az $i_M = f(i_m)$ összefüggést a 12. ábra tünteti fel.

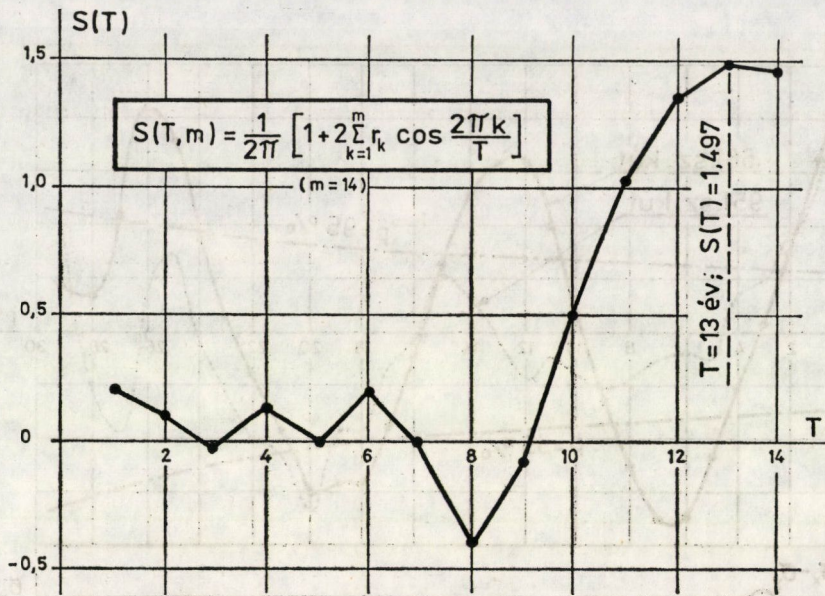
A havi KÖV-ek eltérő viselkedése nem lehet a változó vízmélység következménye, hiszen a IX. havi i_M -értékekre sem adódott azonos eredmény. Az sem valószínű, hogy a tavaszi hónapok kevésbé pontos értékeltségében kellene keresnünk az okot, mert az adatok nagy száma és a havi i_M -értékekre kapott átlagok szabályos, folyamatos idősora ennek a feltételezésnek is ellene mond. A legvalószínűbbnek azt kell tartanunk, hogy ez a jelenség a havi csapadékösszegek eltérő trendjének és ritmusának a következménye.

A IX. havi — vagy ennek ismerete hiányában más hónapok — i_M értékeit térképen ábrázolva azt tapasztaljuk, hogy a Tiszántúl középső része ebben a vonatkozásban is elkülönül a tőle É-ra és D-re eső országrészekről: itt ugyanis $i_M = 13$ év, míg az utóbbi területeken 14–16 év (13. ábra).

A hosszabb periódusokat ma még nem tudjuk kellő bizonyossággal kimutatni, legalábbis nem sok kútra. Az egyik legszabályosabb idősorral rendelkező kút autokorrelációs függvényét a 14. ábra mutatja be. Eszerint a második



14. ábra. A 661. és 951. sz. kút autokorrelogramja, valamint a különböző lépésközökhöz (i) tartozó $\sigma_y, \sigma_x - \sigma_y, \sigma_f, \bar{x}, \bar{y}$ és $\bar{x} - \bar{y}$ értékek a 661. sz. kútra



15. ábra. A 661. sz. kút IX. havi KÖV-eiből meghatározott spektrum-függvény

negatív szélső érték $i = 19 - 20$, a második pozitív maximum $i = 26$ év körül jelentkezik. Ennél a kútnál az eredmény megbízhatónak látszik, mert

a) a görbe lefutása igen szabályos;

b) a két új szélső érték autokorrelációs együtthatója nagy ($r_i = -0,59$ ill. $+0,85$) és

c) az Anderson-féle konfidencia kritérium szerint valószínűségi szintjük a

$$CL = \frac{-1 \pm \lambda \sqrt{40 - i}}{39 - i}$$

képletből számítva $p = 99,68$ ill., $p = 99,93\%$;

d) a 15. ábra szerint a spektrum-függvény $i = 26/2 = 13$ -ra igen jellegzetes-szélső értéket mutat (az idősor rövidsége miatt ezt a függvényt $T = 26$ -ig meghatározni nem lenne reális).

A függvény szórása a 661. sz. kút esetében úgy alakul (l. a 14. ábrát), hogy az $i = 1$ -hez tartozó értéknél ($\sigma_{f1} = 41,0$ cm) 11 másik év is alacsonyabbat ad. A havi KÖV-et legmegbízhatóbban a vizsgált időpontot 26 évvel megelőző év vízállásából lehet előrejelezni, éspedig mindössze $\sigma = 26,3$ cm-es várható szórással.

Az előzőekben írottak igazolására végezzünk előrejelzést a kút 1934/75. évi idősorából meghatározott kapcsolatok segítségével az 1960, 1961 ... 1975. szeptemberi KÖV-ekre. A regressziós egyenletek rendre a következők:

$$\begin{array}{ll} i = 1\text{-re} & y = 0,656x + 96,5; \\ i = 12\text{-re} & y = 0,614x + 109,9; \\ i = 26\text{-ra} & y = 0,713x + 75,1. \end{array}$$

A számított és tényleges értékeket, valamint ezek különbségeit az 5. táblázat tünteti fel. Mint ebből is látjuk, a vizsgált évet 26 évvel megelőző vizállásból 25%-kal kisebb hibával tudunk előrejelezni, mint az előző évből. A számítás megbízhatóságát jellemző $\pm 28,2$ cm-es érték mindössze 12,5%-a a teljes vízjátéknak, így az előrejelzés meglehetősen jónak mondható. (Érdekes megfigyelni, mennyire egyöntetűen „nem emlékezett” a talajvíz 1970-ben az 1, 12 és 26 évvel azelőtti vizállásokra.)

5. táblázat

A 661. sz. kút 1960–1975. IX. havi KÖV-einek előrejelzése a vizsgált évet megelőző 1., 12. és 26. év havi KÖV-éből

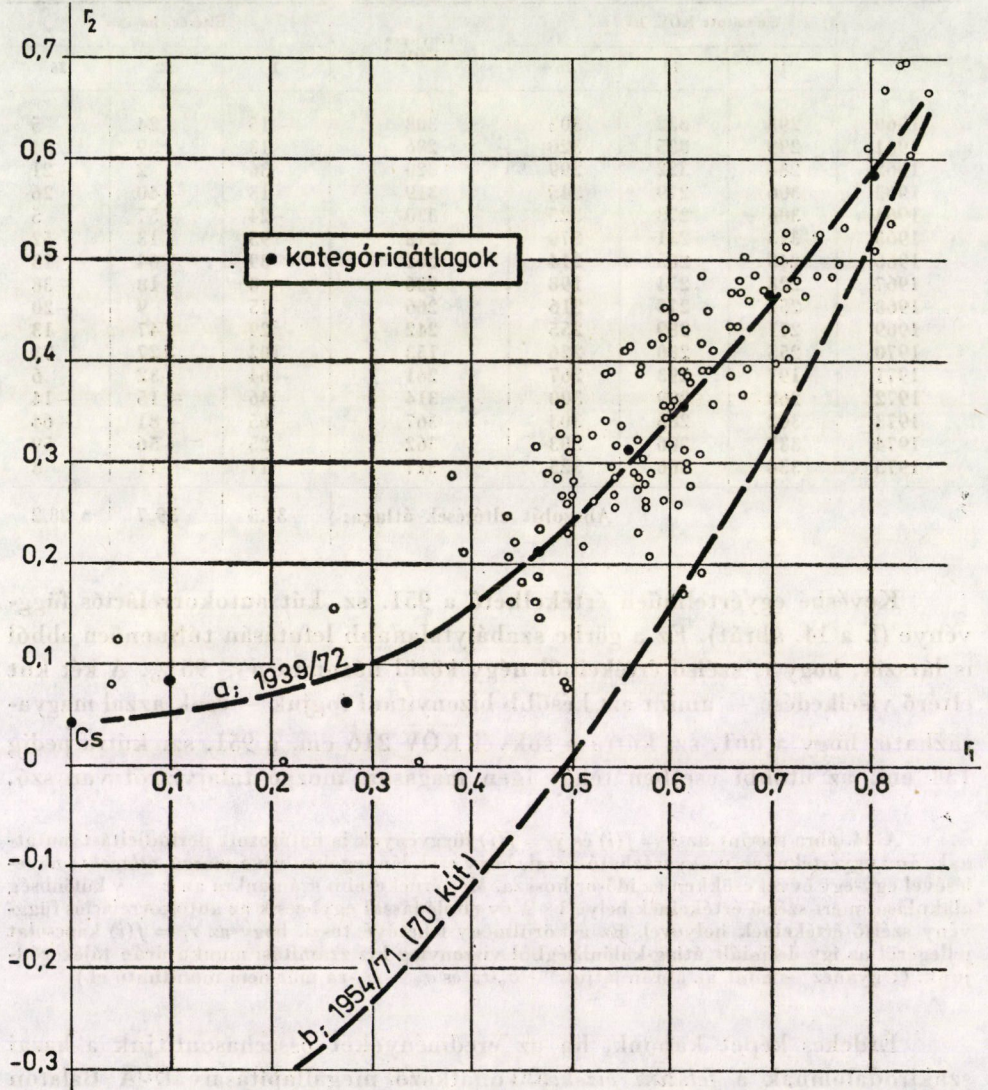
Év	Számított KÖV, ha $i =$			Tényleges KÖV	Eltérés, ha $i =$		
	1	12	26		1	12	26
1960	293	332	303	308	-15	24	-5
1961	299	325	320	286	13	39	34
1962	284	322	299	320	-36	2	-21
1963	306	279	345	319	-13	-40	26
1964	306	273	325	330	-24	-57	-5
1965	313	231	270	218	95	13	52
1966	240	265	214	201	39	64	13
1967	228	254	198	236	-8	18	-38
1968	251	275	216	266	-15	9	-20
1969	271	289	255	242	29	47	13
1970	255	280	226	153	102	127	73
1971	197	293	267	261	-64	32	6
1972	268	299	300	314	-46	-15	-14
1973	302	286	303	367	-65	-81	-64
1974	337	306	303	362	-25	-56	-59
1975	334	306	325	317	17	-11	8
Abszolút eltérések átlaga:					37,3	39,7	28,2

Kevésbé egyértelműen értékelhető a 951. sz. kút autokorrelációs függvénye (l. a 14. ábrát). Ez a görbe szabálytalanabb lefutásán túlmenően abból is látszik, hogy r_i szélső értékeiből négy közül háromra $p < 95\%$. A két kút eltérő viselkedése — amint azt később bizonyítani fogjuk — csak azzal magyarázható, hogy a 661. sz. kútra a sokévi $\overline{\text{KÖV}}$ 216 cm, a 951. sz. kútra pedig 134 cm, az utóbbi esetben tehát igen magasan mozgó talajvízről van szó.

A 14. ábra szerint az $\bar{x} = f(i)$ és $\bar{y} = f(i)$ függvények is határozott periodicitást mutatnak, ami egyértelműen magyarázható azzal, hogy ezek lényegében véve *mozgó átlagok*: i növelésével egy-egy évvel csökken az idősor hossza. Még érdekesebb számunkra az $\bar{x} - \bar{y}$ különbség alakulása, mert szélső értékeinek helye 1–1 év eltolódással egybeesik az autokorrelációs függvény szélső értékeinek helyével. Ez a körülmény lehetővé teszi, hogy az $r_i = f(i)$ kapcsolat jellegeről az így definiált átlag-különbségből viszonylag kis számítási munka árán tájékozódjunk. (Ugyanez — mint az ábrán látjuk — σ_y -ra és $\sigma_x - \sigma_y$ -ra már nem mondható el.)

Érdekes képet kapunk, ha az eredményeket összehasonlítjuk a hazai szakirodalomnak a *felszíni vizekre* vonatkozó megállapításaival. A Balaton természetes vízkészletváltozásait vizsgálva KONTUR [2] egy 25 éves „nagyperiódust” mutatott ki, a kevésbé jellegzetes, kisebb periódusok $i = 6, 11$

és 17-nél jelentkeztek. A Tisza szolnoki vízmércéjén leolvasott éves vízállás-maximumok autokorrelációs függvénye már kevésbé szabályos [3], de itt is a 25 év adta a legjellegzetesebb szélső értéket ($p > 99\%$). A Zagyva Pásztón mért évi középvízhozamaira meghatározott autokorrelációs függvény szélső értékei TOKÁRNÉ RUDAS J. [7] számításai szerint $i = 7 - 8, 13$ és 26 évnél rajzolódnak ki (a második negatív maximum helye bizonytalanul értékelhető); a szélső értékek mindegyikére $p > 95\%$ adódott.



16. ábra. Az $r_2 = f(r_1)$ összefüggés a vizsgált 21 kút 1939/72. évi idősorából (a), valamint korábban [6] vizsgált 70 kút 1954/71. évi idősorából

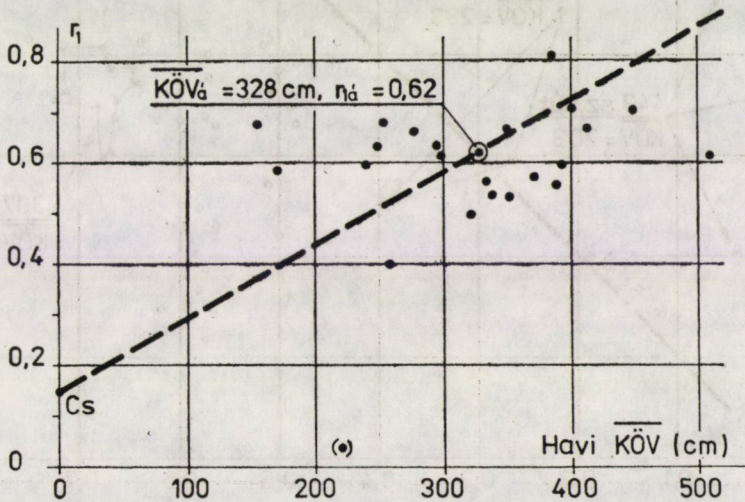
A 25—26 éves periódust a talajvíz vonatkozásában a megfigyelések egyértelműen igazolják. Az Alföldön 1915-ben észleltek magas talajvízállást, ezt követően 1940/42-ben, majd 1967-ben. Az autokorrelációs függvények szerint a következő hasonló jellegű időszak 1993 körül fog kialakulni, ezt azonban — minden valószínűség szerint — 1980 körül meg fogja előzni egy valamivel mérsékeltebb talajvíz-árhullám.

4. Az autokorrelogramok matematikai és hidrológiai sajátosságai

Az autokorrelációs függvény matematikai és hidrológiai jellemzésekor célszerű az r_1 -értékekből kiindulnunk, nemcsak azért, mert ennek számszerű értékéből a teljes görbére következtetni tudunk, hanem azért is, mert — az adatsorok viszonylagos rövidege miatt — általában az elsőrendű együttható tekinthető a legmegbízhatóbb értéknek.

A bevezetőben említett korábbi vizsgálatok szerint [6] r_1 és r_2 között viszonylag szabályos összefüggés áll fenn. Az ott említett kutak 18 éves észlelési adatsorából azt a következtetést kellett levonnunk, hogy — a kategóriaátlagok szerint — r_2 monoton nő r_1 -gyel, és negatív értéket vesz fel, ha $r_1 < 0,50$. A hosszú idősorú kutakra az utóbbi megállapítás már nem helytálló: itt r_2 az esetek 98,7%-ában pozitív volt (16. ábra). A kategóriaátlagokból arra következtethetünk, hogy a felszínközeli talajvíz r_2 -értékei közel azonosak a VIII—IV. havi csapadékösszegre 18 észlelőállomás átlagaként kapott $r_2 \sim 0,04$ -dal (l. később).

Az elsőrendű autokorrelációs együtthatónak a sokévi $\overline{KÖV}$ -től való függőségét a IX. (X. vagy VIII.) havi értékek alakulásából ítélni lehet meg. A 17. ábra szerint az összefüggés meglehetősen szoros. Az ábrán látható



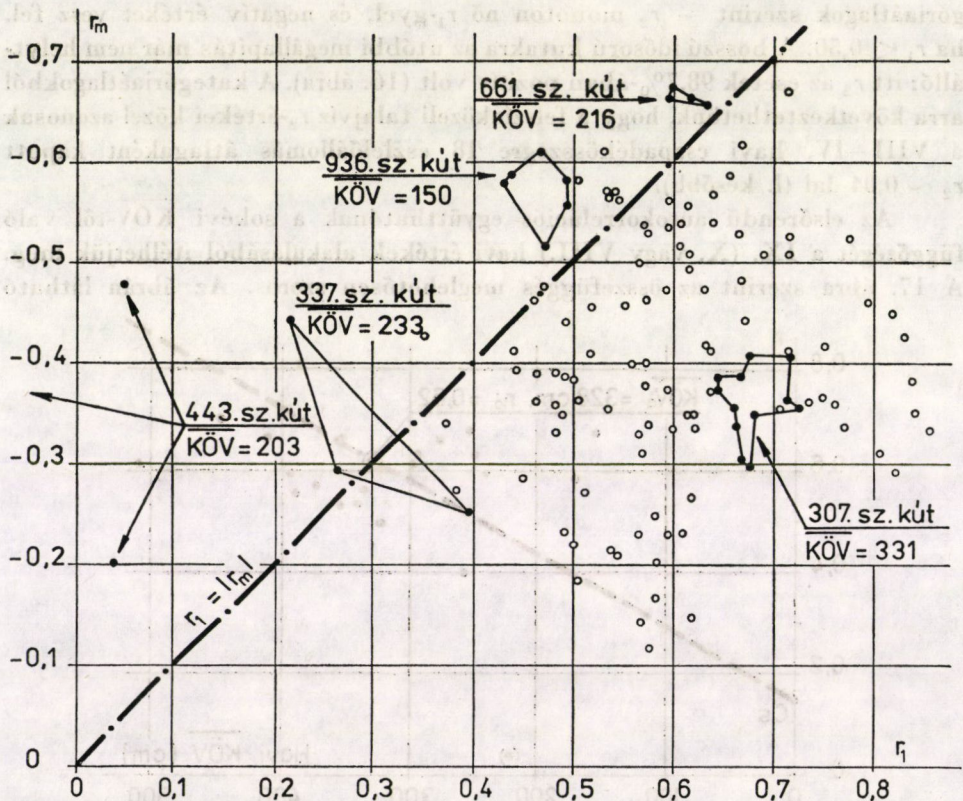
17. ábra. Összefüggés az elsőrendű autokorrelációs együttható (r_1) és a $\overline{KÖV}$ terep alatti mélysége között (a IX., ill. X. vagy VIII. havi értékekből)

kiegyenlítő egyenes abból a feltételezésből született, hogy át kell mennie az évi csapadékösszegekre kapott átlagos r_1 -en (az ehhez tartozó abszcissa természetesen zérus).

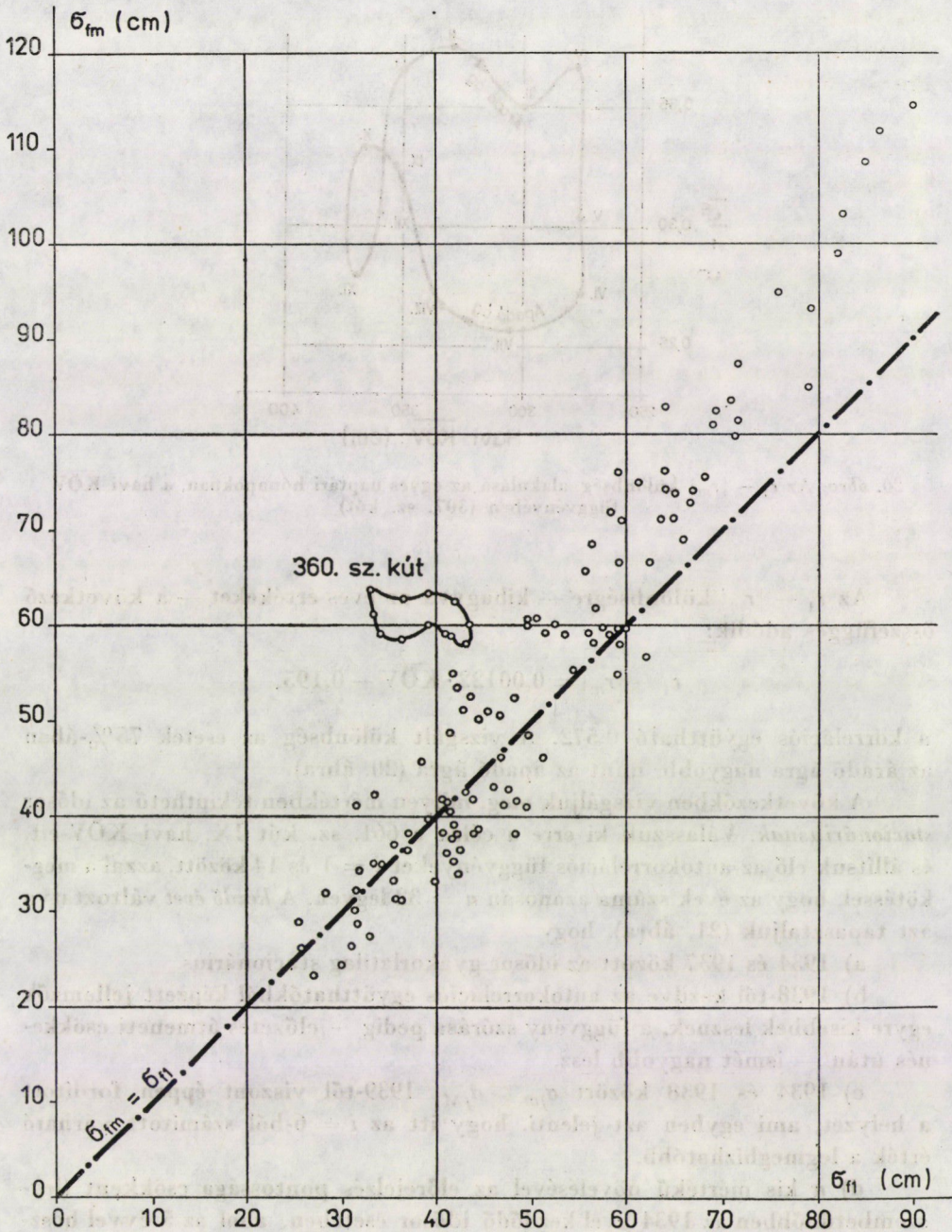
A következő kérdés, amit megvizsgálhatunk, a negatív szélső érték (r_m) és r_1 kapcsolata. A 2. fejezet szerint erre a relációra a rangkorreláció mindössze 0,42. A kapcsolat viszonylagos lazaságára a 18. ábrából is egyértelműen következtethetünk; egyben azt is leolvashatjuk erről, hogy $|r_m|$ az esetek 1/6-ában nagyobb r_1 -nél. Az $r_1 = |r_m|$ egyenes fölé eső pontok többsége a magas vízállású kutakat képviseli.

Sokkal szorosabb összefüggés áll fenn σ_{fm} és σ_{f1} között (19. ábra). A pontseregéből azt is megállapíthatjuk, hogy az esetek 30%-ában $\sigma_{fm} < \sigma_{f1}$, tehát ennyi a valószínűsége, hogy a 6–8 évvel korábbi vízállásokból pontosabb előrejelzést kapunk, mint a megelőző évből. A kategóriaátlagokra rajzolható görbe egyenlete (a 360. sz. kúthoz tartozó pontokat kihagyva):

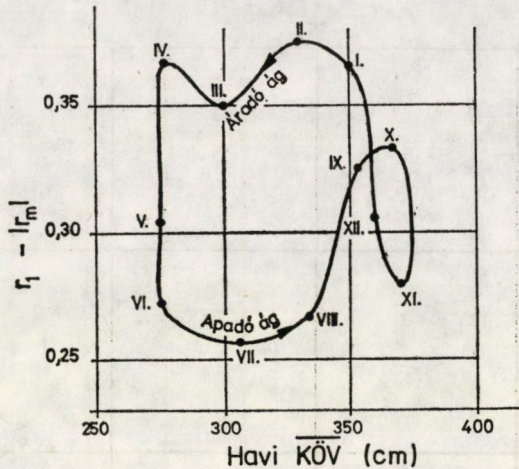
$$\sigma_{fm} = e^{1,2185\sigma_{f1}^3}$$



18. ábra. Összefüggés az elsőrendű (r_1) és a negatív szélső értékhez tartozó (r_m) autokorrelációs együtthatók között



19. ábra. Összefüggés az $i = 1$ -hez és az $i = i_m$ -hez tartozó σ_f értékek között



20. ábra. Az $r_1 - |r_m|$ különbség alakulása az egyes naptári hónapokban, a havi $\overline{\text{KÖV}}$ függvényében (307. sz. kút)

Az $r_1 - |r_m|$ különbségre — kihagyva az éves értékeket — a következő összefüggés adódik:

$$r_1 - |r_m| = 0,00122 \cdot \overline{\text{KÖV}} - 0,195,$$

a korrelációs együttható 0,572. A vizsgált különbség az esetek 75%-ában az áradó ágra nagyobb, mint az apadó ágra (20. ábra).

A következőkben vizsgáljuk meg, milyen mértékben tekinthető az idősor *stacionáriusnak*. Válasszuk ki erre a célra a 661. sz. kút IX. havi KÖV-eit, és állítsuk elő az autokorrelációs függvényeket $i = 1$ és 14 között, azzal a megkötéssel, hogy az évek száma azonosan $n = 32$ legyen. A *kezdő évet* változtatva azt tapasztaljuk (21. ábra), hogy

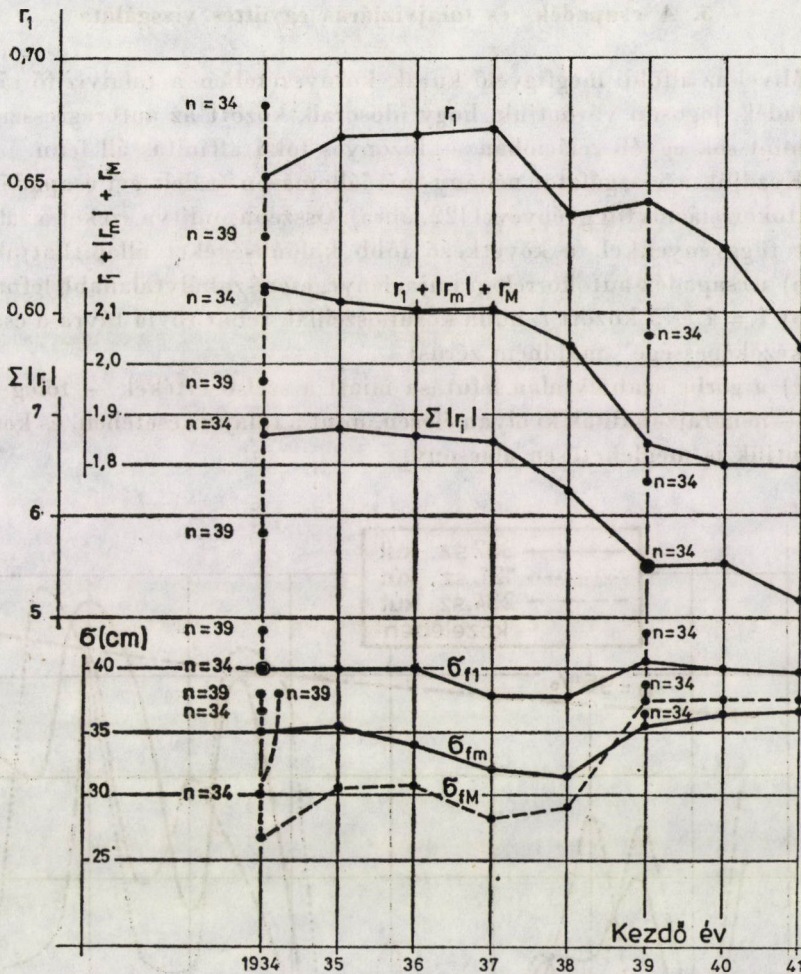
a) 1934 és 1937 között az idősor gyakorlatilag *stacionárius*,

b) 1938-tól kezdve az autokorrelációs együtthatókból képzett jellemzők egyre kisebbek lesznek, a függvény szórása pedig — előzetes átmeneti csökkenés után — ismét nagyobb lesz,

c) 1934 és 1938 között $\sigma_{jm} > \sigma_{fM}$, 1939-től viszont éppen fordított a helyzet, ami egyben azt jelenti, hogy itt az $i = 6$ -ból számított várható érték a legmegbízhatóbb,

d) n kis mértékű növelésével az előrejelzés pontossága csökkent (legszembetűnőbben az 1934-gyel kezdődő idősor esetében, ahol az 5 évvel hosszabb idősorra 45%-kal nagyobb σ_f adódik).

Az autokorrelációs függvények szélső értékei $i_m = 6$ és $i_M = 12$ évnél jelentkeznek. Ez alól csak az 1939- és 1940-nel kezdődő idősorok kivételek: itt r_{13} 0,006- ill. 0,011-gyel nagyobb, mint r_{12} . A „labilis” helyzetre jellemző,



21. ábra. Az r_1 , $r_1 + |r_m| + r_M$, $\Sigma |r_i|$, σ_{f1} , σ_{fm} és σ_{fM} -értékek változása a kezdő év függvényében, azonosan $n = 32$ -re, ill. egyes éveknél $n = 34$ - és 39 -re (a 661. sz. kút IX. havi vízállásaiából)

hogy az 1937- és 1938-cal kezdődő idősorokra $r_{12} > r_{13}$, de σ_{f12} valamivel nagyobb σ_{f13} -nál, 1939- és 1940-ben pedig $r_{12} < r_{13}$, viszont $\sigma_{f12} > \sigma_{f13}$.

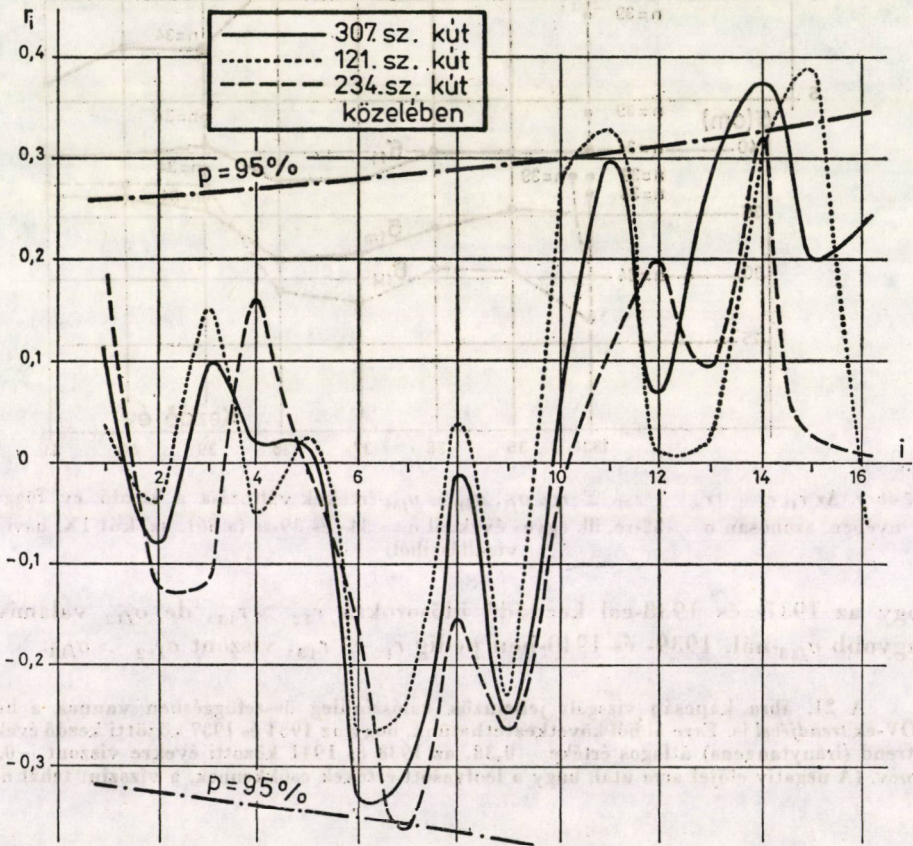
A 21. ábra kapcsán vizsgált jellemzők valószínűleg összefüggésben vannak a havi KÖV-ek trendjével is. Erre abból következtethetünk, hogy az 1934 és 1937 közötti kezdő évekre a trend (iránytangens) átlagos értéke $-0,38$, az 1938 és 1941 közötti évekre viszont $-0,03$ cm/év. (A negatív előjel arra utal, hogy a leolvasott értékek csökkennek, a vízszint tehát nő.)

5. A csapadék- és talajvízjárás együttes vizsgálata

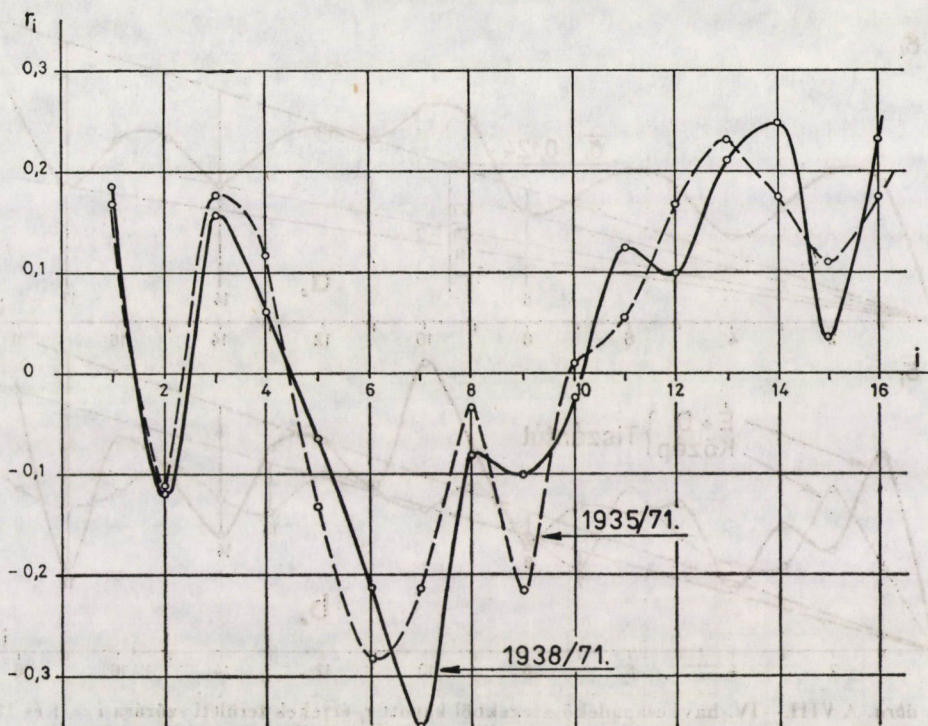
Mivel az alföldi megfigyelő kutak környezetében a talajvíz fő táplálója a csapadék, jogosan várhatjuk, hogy idősoraik között az autoregresszió terén is — mint sok egyéb relációban — bizonyos fokú affinitás áll fenn.

Kezdjük a vizsgálatot néhány mérőállomáson észlelt évi csapadékösszegek autokorrelációs függvényével (22. ábra). Összehasonlítva ezeket a talajvízre kapott függvényekkel, a következő főbb különbségeket állapíthatjuk meg:

- a csapadék autokorrelogramjai lényegesen szabálytalanabb lefutásúak;
- $i = 1$ és 5 között r_i nulla körül oszcillál, tehát rövid távra a csapadék „emlékezőképessége” majdnem zérus;
- a görbe szabálytalan lefutása miatt a szélső értékek — főleg a pozitívak — nem rajzolódnak ki olyan élesen, mint a talajvíz esetében, és konfidencia-szintjük is meglehetősen alacsony.



22. ábra. Néhány mérőállomás 1938|71. évi idősorából számított éves csapadékösszegek autokorrelációs függvényei



23. ábra. A csorvási mérőállomás 1935/71. és 1938/71. évi idősorából az éves csapadékösszegekre meghatározott autokorrelogramok összehasonlítása

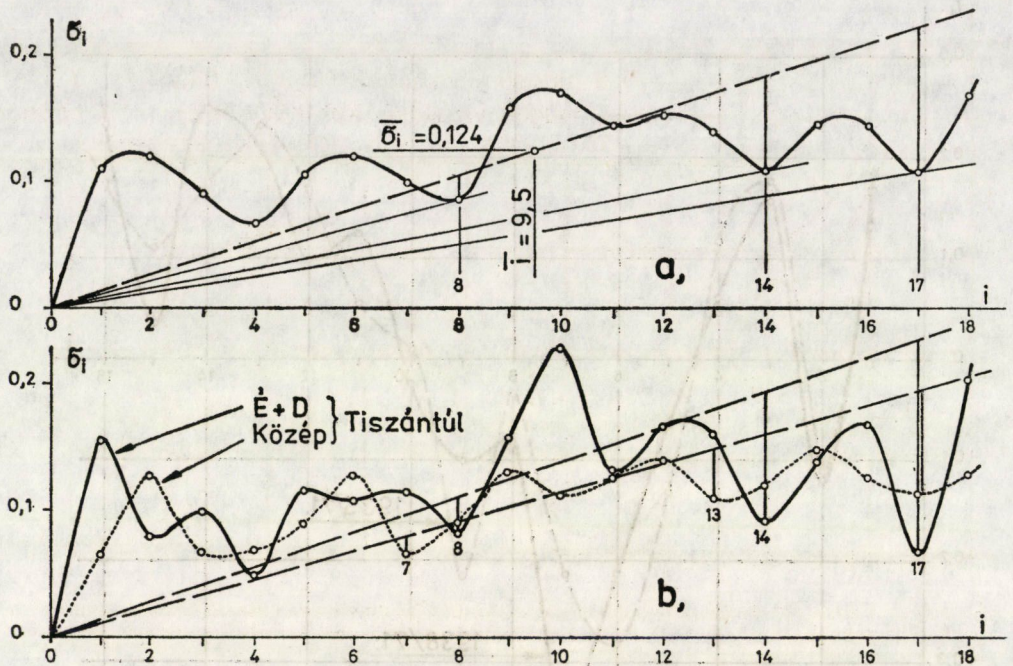
A 23. ábra azt bizonyítja, hogy a csapadékösszegek idősora *kevésbé stationárius*, mint a talajvízjárásé: az adott esetben 3 év eltolódás elegendő volt ahhoz, hogy a szélső értékek helye 1–1 évvel elmozduljon.

18 mérőállomás vizsgálata azt bizonyítja, hogy r_1 az éves összegek σ_y szórásával van a legszorosabb kapcsolatban ($r = -0,61$), a $\sigma_r = \sigma_y/\bar{cs}$ relatív szórással és a sokévi csapadék-átlaggal már kisebb mértékben (ezekre $r = -0,48$ ill. $r = -0,40$ jellemzi a kapcsolat szoroságát).

A következőkben a talajvíz szempontjából mértékadó VIII–IV. havi csapadékösszegeket ill. ezek sajátosságait fogjuk vizsgálni. A jellegzetes periódusok kimutatására egy-egy autokorreleációs függvény önmagában nem alkalmas, ezért a következő megoldások valamelyikéhez kell folyamodnunk:

- kiszámítjuk minden egyes r_i érték területi szórását, vagy
- képezzük az r_i -értékek számtani közepét.

Az első utat választva a 24a. ábrán látható grafikont kapjuk. (Egy-egy pontja a 18 mérőállomás VIII–IV. havi csapadékösszegeire kapott $r_1, r_2 \dots r_{16}$ -értékek négyzetes szórását ábrázolja.) Mivel az $i = 0$ helyen $\sigma = 0$, a kiegyenlítő egyenesnek a $\bar{\sigma}, \bar{n}$ ponton kell áthaladnia. Ha most az origóból sugársort rajzolunk a kiegyenlítő egyenes alatt fekvő pontokra, egyértelműen ki tudjuk



24. ábra. A VIII.—IV. havi csapadékösszegekből kapott r_i -értékek területi szórása $i = 1$ és 18 között a vizsgált 18 mérőállomásra (a), ill. ugyanez a 13. ábra szerinti bontásban (b)

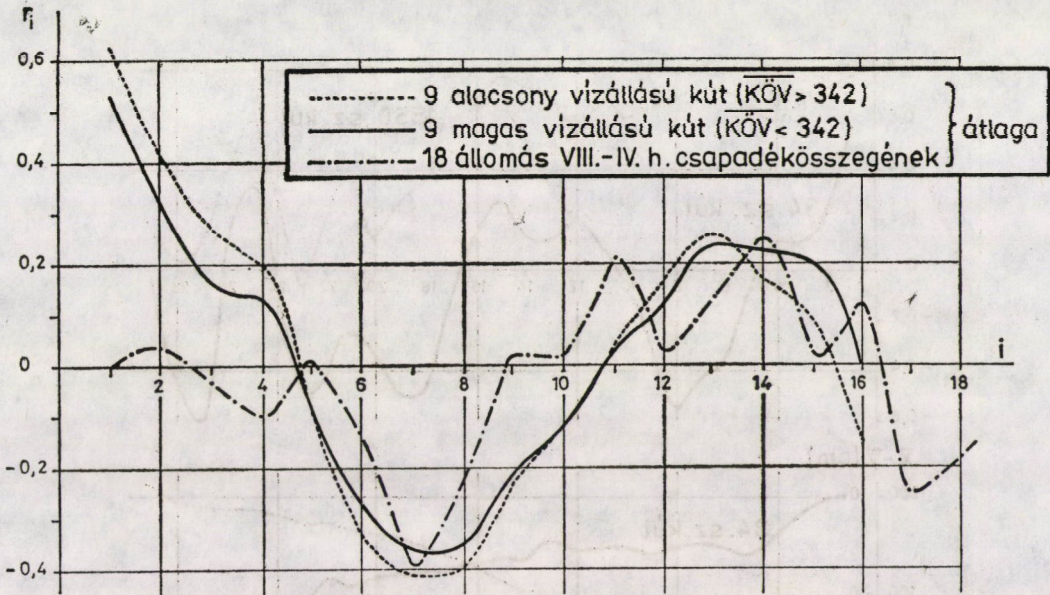
jelölni a keresett periódusokat. Mivel a legvalószínűbb érték az lesz, amelyre a sugár iránytangense a legkisebb, a keresett periódusok rendre a következők:

$$i = 17, 14 \text{ és } 8.$$

A második megoldást választva a 25. ábrán látható görbét kapjuk. A negatív szélső értékek ($i_m = 7$ ill. 17) itt is egyértelműen kirajzolódnak, i_M azonban már nem: $i = 11$ és 14 évhez azonos nagyságrendű r -érték tartozik.

A 25. ábra egyértelműen bizonyítja, hogy a talajvízjárás periodicitása a csapadék idősorok periodikus változásának a következménye. A két autokorrelációs függvény szélső értékeinek koordinátái (nemcsak i , hanem r is!) egybeesnek, a különbség közöttük csak az, hogy a *fedőréteg késleltető és akkumuláló hatása* következtében a talajvíz emlékezőképessége az első négy évben nagyobb, az autokorrelációs függvény pedig — ugyanezen okból — szabályosabb lefutású. Hogy ez mennyire így van, azt az is bizonyítja, hogy a mélyebben mozgó talajvízre mindez fokozottabban igaz, mint a felszínközeli (l. a 25. ábrát).

Térjünk most vissza a 13. ábra kapcsán írottakra. A Tiszántúl középső részére eső kutak 1939/72. évi $\overline{KÖV}$ -einek átlaga 303 cm, a többi kúté 277 cm. Ez a különbség kicsi ahhoz, hogy ilyen jelentős eltéréseket tudjon okozni i_M -ben (vö. még a 25. ábrán látható két talajvíz-görbével). A 24b. ábra szerint



25. ábra. A VIII.—IV. havi csapadékösszegre, valamint az alacsony és magas vízállású kutak IX. (X. vagy VIII.) havi KÖV-eire meghatározott átlagos autokorrelációs függvények

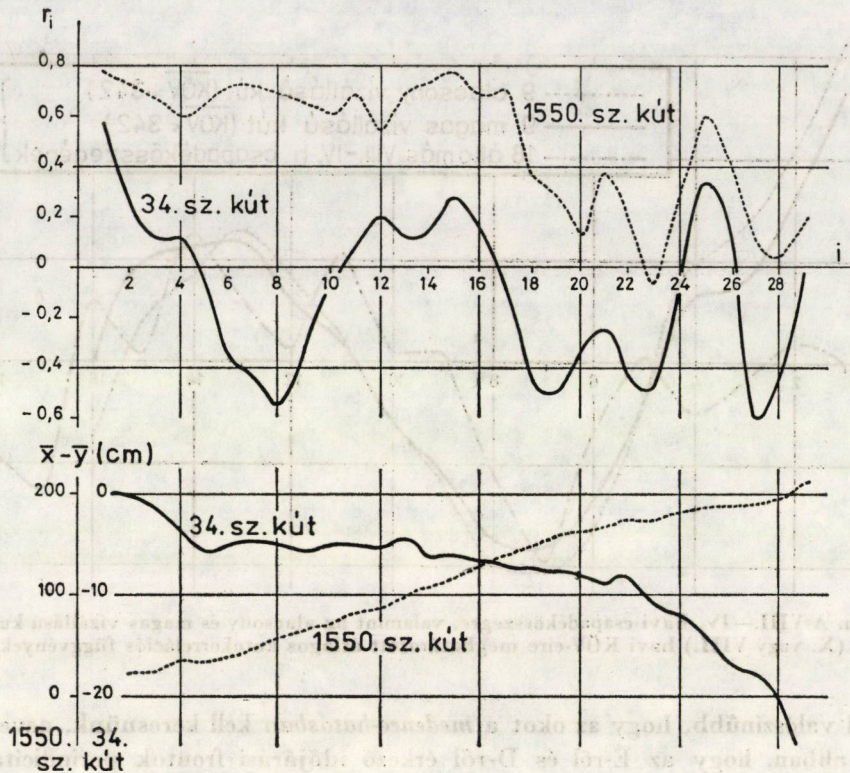
sokkal valószínűbb, hogy az okot a *medence-hatásban* kell keresnünk, nevezetesen abban, hogy az É-ről és D-ről érkező időjárási frontok periodicitása nem volt azonos a medence belsejében érvényesülő periodicitással. (Az adatok kis száma miatt ez a megállapítás további bizonyításra szorul; könnyen lehetséges pl. az is, hogy érvényessége csak a vizsgált időszakra korlátozódik.)

A csapadékjárás autoregressziós jellemzői tükröződnek abban is, hogy az $r_2 = f(r_1)$ és az $r_1 = f(\overline{\text{KÖV}})$ összefüggések a csapadékra jellemző értékekből indulnak (l. a 16. és 17. ábrát). A kisebb mértékű késleltetés és akkumuláció az oka, hogy az $r_1 - |r_m|$ különbség a $\overline{\text{KÖV}}$ csökkenésével kisebb lesz (vö. a 4. fejezetben írottakkal és a 18. ábrával).

6. Zavart vízjárású kutak

A korábbi vizsgálatok szerint [6] a *rendellenesen emelkedő* vízállású kutakra az elsőrendű autokorrelációs együttható az esetek 85%-ában a várható értéknél nagyobb, a süllyedő vízállásúakra az esetek 80%-ában kisebb. (Az anomália a zavartalan vízjárású kutakra kapott $r_1 = f(\overline{\text{KÖV}}, \sigma_y)$ empirikus függvényhez való viszonyítás alapján volt számítható.)

A hosszabb idősorú kutak lehetővé teszik, hogy az autokorrelációs függvénynek egy nagyobb szakaszát vizsgálhassuk meg. Válasszuk ki erre a célra az 1550. sz. kút IX. havi vízállásainak 1936|72., és a 34. sz. kút IX. havi víz-



26. ábra. A zavart vízjárású 1550. sz. (rendellenesen emelkedő) és 34. sz. (rendellenesen süllyedő) kút autokorrelogramjai, valamint az $\bar{x} - \bar{y}$ különbségek idősora

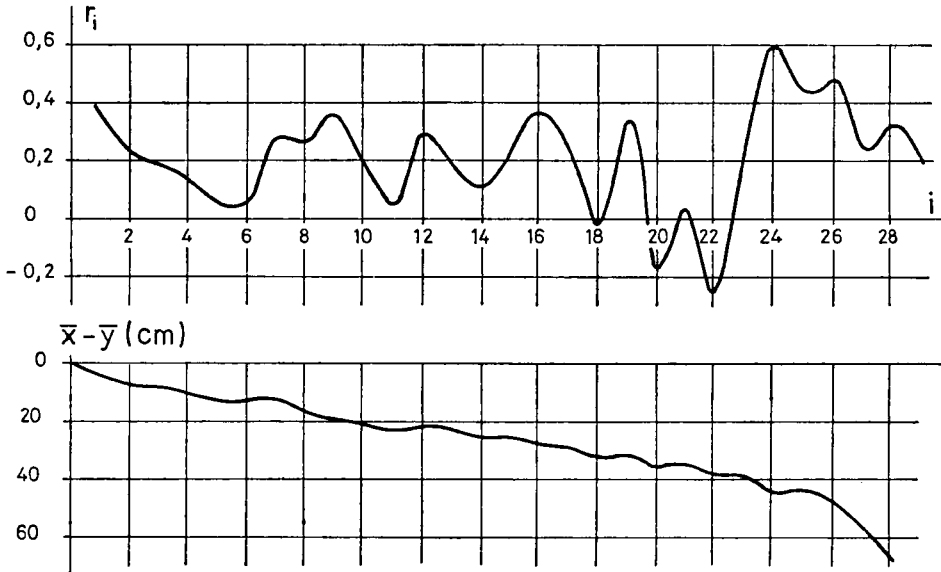
állásainak 1938/72. évi idősorát. Előbbi 2e típusú (komparatív idősora pozitív iránytangensű egyenessel egyenlíthető ki), trendje $a = -5,67$ cm/év, utóbbi 2s típusú, trendje $a = +0,50$ cm/év. (Összehasonlításul: a zavartalan vízjárású kutak 1939/72. évi átlagos trendje $a = -1,81$ cm/év [5].)

Az autokorrelációs függvényeket a 26. ábra tünteti fel. A két idősor közül a 34. sz. kúté viszonylag normális, mindössze abban nem, hogy az $\bar{x} - \bar{y}$ különbség nem mutat periodicitást. Annál meglepőbb eredményt kaptunk az 1550. sz. kútra:

- r_i -értékei $-r_{23}$ kivételével — mind pozitívek és
- $i = 1 - 17$ között gyakorlatilag azonosak,
- az $\bar{x} - \bar{y}$ különbség igen nagy értékeket vesz fel, és
- nem mutat semmiféle periodicitást.

Az r_1 -re tett megállapítások az ábra szerint a $\sum r_i$ összegre is általánosíthatók: $a = -5,67$ -hez $+14,55$, $a = +0,50$ -hez $-3,02$ tartozik.

A periódusvizsgálat szempontjából az 1550. sz. kút korrelogramja használhatatlan (bár a 25 éves periódus — viszonylagos erőssége miatt — halványan itt is jelentkezik), a 34. sz. kúté viszont ebben a vonatkozásban is elfogad-



27. ábra. A korábban zavartalan vízjárásúnak minősített 443. sz. kút autokorrelációs függvénye, valamint az $\bar{x} - \bar{y}$ különbség időszora

ható. A két kút eltérő viselkedése azzal magyarázható, hogy a 34. sz. kútra kapott trend viszonylag nem nagy, hiszen a zavartalan vízjárású kutak közül három (mind magas vízállású!) is volt, amelyre a trend $+0,20$ körüli érték [5].

A zavartalan vízjárású kutak autokorrelogramjai közül rendkívüli viselkedésével már korábban kitűnt a 443. sz. kút (1. a 2. ábrát): az r_i -értékek igen alacsonyak, r_1 majdnem zérus, és a pozitív maximum nem $i = 13$ körül, hanem $i = 9$ és 15 évnél jelentkezett. A kút rendhagyó viselkedésére még hangsúlyozottabban rámutat az 1935/72. évi idősorából $i = 1$ és 29 között meghatározott autokorrelációs függvénye (27. ábra): r_i végig alacsony, és két érték kivételével pozitív ($\sum r_i = +5,98$), így a periódusok (az $\bar{x} - \bar{y}$ különbségben is) elmosódnak. Ez a jelenség a trend ($a = -1,09$) és a $\bar{KÖV}$ ($= 203$ cm) számszerű értékével nem magyarázható sokkal inkább azzal, hogy a kút *mindössze 300 m-re van az Élővíz-csatornától.*

A 443. sz. kút esete arra is felhívja a figyelmet, hogy *a vízjárás zavartalan-ságának vizsgálatára az autokorrelogram is igen jó segédeszköz.*

7. Összefoglalás

Az elsők között telepített, *zavartalan vízjárású* alföldi kutak 1939/72. évi idősorának autokorrelációs vizsgálatából az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

A *havi KÖV-ekre* meghatározott autokorrelogramoknak három fő típusa

különböztethető meg: a) az elsőrendű (r_1), valamint a negatív és pozitív szélső értékhez tartozó autokorrelációs együttható (r_m , ill. r_M) egyaránt nagy, b) r_1 jelentős érték, de r_m — és főleg r_M (amely negatív is lehet) — már lényegesen kisebb, c) a görbe szabálytalan lefutású, a szélső értékek elmosódva jelentkeznek.

A kapcsolat szorosságára utaló jellemzők közül r_1 és $\Sigma |r_i|$ az év folyamán bimodális görbe szerint változik: a maximum ősszel, a minimum nyáron, a másodmaximum áprilisban, a másodminimum januárban alakul ki. Ez azzal magyarázható, hogy e két jellemző σ_y -nal és a KÖV mélységével nő, ezek ugyanakkor ellentétesen változnak az év folyamán. Az $r_1 + |r_m| + r_M$ ordinátaösszegnek októberi maximuma és áprilisi minimuma van.

Az egyéves előrejelzés megbízhatóságára jellemző σ_{f_1} -értékek éven belüli eloszlása unimodális; a tavaszi értékek 40 ÷ 50%-kal nagyobbak az ősziéknél. Ez a jellemző — akárcsak a havi vagy évi KÖV-ek σ_y szórása — nemcsak a talajvíz mélységétől, hanem attól is függ, hogy az áradó vagy az apadó ágról van szó; a kapcsolatot mindkét esetben ellipszishez hasonló görbe írja le.

Ami az évi KÖV-re számolt jellemzőket illeti, ezek általában az őszi hónapok megfelelő értékeivel azonosak. Ez azt jelenti, hogy — annak ellenére, hogy az évi KÖV 12-szer annyi adatot tartalmaz — az őszi hónapok KÖV-eire mind a *periódusvizsgálat*, mind az *előrejelzés* legalább annyira megbízható, mint ugyanazon kút évi KÖV-ére.

Az elsőrendű autokorrelációs együttható a sokévi átlagos $\overline{\text{KÖV}}$ függvénye; felszínközeli talajvizeknél a csapadékösszegekre meghatározott r_1 -gyel azonos. Az $r_2 = f(r_1)$ összefüggést monoton növekvő görbe írja le, kezdőpontja azonos a csapadékösszegekre kapott r_1, r_2 ponttal. Előjele az esetek 98,7%-ában pozitív.

Az $r_m = f(r_1)$ összefüggésre a rangkorreláció 0,42-t, $r_M = f(r_1)$ -re 0,33-at, $r_M = f(r_m)$ -re 0,60-at adott. A laza kapcsolat egyik oka az, hogy az említett r együtthatók aránya a talajvíz átlagos vízállásával is változik: az $r_1 - |r_m|$ különbség pl. a felszín közelében zérus nagyságrendű (ami összhangban van azzal, hogy a csapadékra ez a különbség már negatív), majd a mélység növekedésével fokozatosan nő. A másik irányító tényező ebben a vonatkozásban valószínűleg a vízállások idősorának a trendje. (Ez annál valószínűbb, mert a korábbi vizsgálatok szerint az elmúlt 3—3,5 évtizedre kiadódó trend és az átlagos vízállás között szoros összefüggés van.)

A *periódusvizsgálat* lényegesebb megállapításai a következők voltak:

- $i = 1$ és 16 között az autokorrelogramok negatív szélső értékei $i_m = 7$ év, a pozitívek $i_M = 13$ év körül jelentkeznek;
- az egyes hónapok KÖV-eire kapott i_m - és i_M -értékek 0,5—1 ill. 1—2 év szórást mutatnak, őszi maximummal és tavaszi minimummal;
- a függvény szórása az esetek 80%-ában valamelyik szélső érték helyén, ezen belül i_m -nél az esetek 30%-ában kisebb, mint $i = 1$ -re;

d) a különböző i -értékekre kapott $\bar{x} - \bar{y}$ különbség szintén periodikusan változik, ami lehetővé teszi a gyors tájékozódást;

e) az autokorrelációs jellemzők nem teljes mértékben stacionáriusak, függenek az időszak hosszától (n) és a kezdő évtől egyaránt ($n = 32$ -re pl. 1937 után hirtelen megváltoznak);

f) $i = 26$ év körül — hasonlóan a felszíni vizekhez — igen jellegzetes pozitív maximum jelentkezik; eszerint igen magas vízállások legközelebb 1993 körül várhatók.

A csapadékösszeg autokorrelogramja a) a talajvizéhez viszonyítva szabálytalanabb lefutású, b) a szélső értékek helye nem rajzolódik ki egyértelműen, c) az idősor még kevésbé stacionárius, d) $i = 1$ és 5 között a görbe zérus körül oszcillál. Ennek ellenére egyértelműen bizonyítható, hogy a csapadék- és a talajvízjárás periodicitása között szoros okozati összefüggés van. Erre utal többek között az, hogy

a) a felszínközeli talajvíz egyes jellemzői (r_1 , az $r_1 - |r_m|$ különbség, az r_1, r_2 pont helyzete stb.) gyakorlatilag azonosak a csapadékösszegekre meghatározott hasonló jellemzőkkel;

b) a szélső értékek helye (különösen r_m -é) azonos,

c) a csapadék r_i -értékeinek területi szórására a Közép-Tiszántúlon $i = 17, 13$ és 7 évnél, D- és É-Tiszántúlon $i = 17, 14$ és 8 évnél adódik minimum, és ez az eltérés a talajvízre ugyanígy jellemző.

A talajvíz autokorrelogramjainak szabályosabb lefutása a *fedőréteg* akkumulációjának, késleltető hatásának a következménye. Ez eredményezi azt is, hogy a talajvíz „emlékezőképessége” az utolsó három évre nagyobb, mint a csapadéké, és pedig annál fokozottabb mértékben, minél mélyebben helyezkedik el a terep alatt.

A *zavart vízjárású kutak* autokorrelációs függvényei jelentős torzulást szenvednek. Egy igen rendellenes mértékben emelkedő vízjárású kútra az adódott, hogy a) r_i majdnem minden i -re pozitív, és alig ingadozik, b) az $\bar{x} - \bar{y}$ különbség nagy, és alig van periodicitása, c) csak a 25–26 éves periódust mutatja ki, azt is elmosódva. Egy élő vízfolyás közelében telepített — és komparatív idősora alapján korábban zavartalan vízjárásúnak minősített — kút autoregressziós vizsgálata arra hívja fel a figyelmet, hogy a homogenitásvizsgálat egyik eszközeként az autokorreláció is igen eredményesen felhasználható.

IRODALOM

1. BOGÁRDI J.: Alkalmazott hidrológia. Tankönyvkiadó. Budapest 1962
2. KONTUR I.: A Balaton vízháztartási elemeinek idősor-vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* (1972), 9
3. KONTUR I.: A szolnoki Tisza-vízállások idősor-vizsgálata. *Hidrológiai Közöny* (1973), 1
4. RÉTHÁTI L.: Prognose des Herbstminimums des Grundwasserspiegels. *Acta Techn. Hung.* 75 1973,

5. RÉTHÁTI L.: A csapadék szekuláris változásai és a talajvízjárás trendje. *Műszaki Tudomány* 48 (1974)
6. RÉTHÁTI L.: Az évi közepes talajvízállások elsőrendű autokorrelációs együtthatójának sajátosságai. *Hidrológiai Közlöny* (1975)
7. TOKÁRNÉ RUDAS J.: Vízhozamsorozatok autokorrelációs függvényei. *Hidrológiai Közlöny* (1973)

Investigation of Ground-water Hydrographs by Autocorrelation. The most reliable investigation of the periodicity and forecast based on the autoregression might be carried out in connection with the water-level of the autumn-months. The autocorrelogram of the precipitation and surface-near ground-water varies between $i = 1$ and 5 years round the zero-axis, while deeper ground-water, in consequence of the lagging effect, the accumulation of the mantle, shows even here a periodicity. The extreme values of the autocorrelogram develop round the values $i = 6$ to 7, 12 to 13 and 25 to 26 years; in the 80 per cent of the cases, with the aid of the empirical functions obtained for the above values a more correct forecast might be given than on the basis of the water-level of the preceding year. The autoregression is suitable also for the investigation of the homogeneity of the ground-water hydrographs.

Untersuchung der Grundwasserhydrographen mit Hilfe der Autokorrelation. Die zuverlässigste Periodenuntersuchung und die auf der Autoregression ruhende Vorhersage können über dem Mittelwasser der Herbsmonaten durchgeführt werden. Das Autokorrelogramm des Niederschlags und des in der Nähe der Bodenfläche befindlichen Grundwassers wechselt sich von $i = 1$ bis 5 Jahre um die Nullachse herum. Das tiefere Grundwasser — infolge der Verzögerungswirkung der Akkumulation der Überlage — zeigt schon hier eine genaue Periodizität auf. Die Randwerte des Autokorrelogramms entwickeln sich um $i = 6$ bis 7, 12 bis 13 und 25 bis 26 Jahre; im 80 Prozent der Fälle, mit Hilfe der für diese Werte erhaltenen empirischen Funktionen kann eine genauere Vorhersage als die aufgrund des Wasserstandes des vorhergehenden Jahres. Die Autoregression ist auch zur Untersuchung der Homogenität des Grundwasserhydrographs geeignet.

A HAJDÚHÁTSÁGI TÖBBCÉLÚ VÍZGAZDÁLKODÁSI RENDSZER KIÉPÍTÉSÉNEK GAZDASÁGILAG INDOKOLT ÜTEMEZÉSE

BOGÁRDI ISTVÁN* és SZIDAROVSKY FERENC**

[Beérkezett 1976. április 16-án]

A Hajdúhátasági Többcélu Vízgazdálkodási Rendszer Debrecen és a Hajdúhátaság társadalmi-gazdasági fejlődése érdekében javasolt megoldás. Feladata kielégíteni Debrecen ivó és ipari vízigényét, öntöző vízzel ellátni a hajdúhátasági löszhát területeket, megteremteni az alapot a vízparti üdülésre, valamint segíteni a süllyedő felszín alatti vízszint miatt előforduló környezeti problémákon. A rendszer gazdaságilag indokolt megvalósítási ütemezését dinamikus programozással állapítják meg. A célfüggvény minimálja tetszőleges hosszúságú időszakra a beruházási és üzemeltetési költségek, valamint a vízhiányokból származó károk várható értékének összegét. Az érzékenység vizsgálat elemzi a megváltoztatott bemenő adatok hatását az optimális ütemezésre

1. Bevezetés

A tanulmány célja, hogy a rendszerelemzés módszereinek segítségével javaslatot adjon a Hajdúhátasági Többcélu Vízgazdálkodási Rendszer (HTVR) kiépítésének gazdaságilag indokolt ütemezésére. A HTVR Debrecen és a Hajdúhátaság vízgazdálkodásának fejlesztése szempontjából javasolt megoldás. Feladata kielégíteni Debrecen ivó- és ipari vízigényét, öntöző vízzel ellátni a hajdúhátasági löszhát területeket, megteremteni az alapot a vízparti üdülésre, valamint segíteni a süllyedő felszín alatti vízszint miatt előforduló környezeti problémákon.

A javasolt teljes rendszer kiépítése kereken félmilliárd forintba kerül. Nyilvánvaló, hogy az ország teherbíróképességének megfelelően valószínűleg nem indokolt a rendszer egy lépésben történő kiépítése, de ugyanakkor nem célszerű az egyre növekvő problémák miatt a fejlesztés hosszú ideig történő elhalasztása sem.

Alapvető népgazdasági érdek, hogy csak olyan fejlesztéseket valósítsunk meg, amelyek népgazdasági szinten gazdaságosak és a fejlesztés ütemezését szintén gazdasági szempontból mérlegeljük. A tanulmány témája azért időszerű, mert a különböző jellegű ki nem elégített vízigények és a fejlesztési költségek együttes mérlegelése alapján elemzi, hogy gazdasági szempontból mennyi idő alatt és milyen ütemezéssel célszerű a HTVR-t létrehozni.

* Dr. Bogárdi István, 1055 Budapest, Markó u. 1.

** Dr. Szidarovszky Ferenc

A tanulmány a HTVR leírásával kezdődik, majd részletesen ismertetik a beruházások optimális ütemezéséhez alkalmazható dinamikus programozás módszerét. Számos külföldi és hazai példa mutatja, hogy ez a módszer előnyösen alkalmazható a kitűzött feladat megoldására. *Cél a rendszer kiválasztott hosszú időszakára a legkisebbre szorítani a beruházási és üzemelési költségek, valamint a vízhiányokból származó károk várható értékének összegét.* Bemutatjuk, hogy a célszerű ütemezést milyen lehetséges alternatívák közötti választással állapítja meg a dinamikus programozás módszere. Rámutatunk arra, hogy a numerikus megoldás a gyakorlatban számos esetben — a dinamikus programozás elvi alapjait megtartva — viszonylag egyszerű programozási feladat.

A tanulmány alapvető része az *érzékenység vizsgálata*, amelynek során elemezzük a megváltoztatott vízigények, kamatláb, valamint a vízhiányból származó fajlagos károk hatását. Az érzékenység vizsgálat lényeges segítséget nyújt a valóban célszerű ütemezés kiválasztásához.

Előljáróban szeretnénk lerögzíteni, hogy a tanulmányt egyidejűleg módszertani jellegűnek és gyakorlati alkalmazásnak tekintjük, hiszen a rendszer-elemzés ismert módszerét újszerű felfogásban alkalmazzuk fontos gyakorlati feladat megoldására.

Hangsúlyozni kell, hogy ilyen nagy volumenű regionális feladat megoldása számos műszaki, gazdasági és társadalmi szempont körültekintő vizsgálata révén lehetséges csak. Éppen ezért ezt a tanulmányt első lépésként kell tekinteni a HTVR megvalósítását előkészítő rendszer-elemzések szélesebb körében. Ebben az első közelítésben a rendszer különböző céljait gazdasági alapon fogalmazzuk meg. Tudatában vagyunk a jelentős társadalmi céloknak is és ezeket az optimalizálásba közvetett módon vonjuk be úgy, hogy gazdasági veszteséget, tehát kárt tételezünk fel bizonyos társadalmi célok ki nem elégítettsége következtében (például üdülési igény).

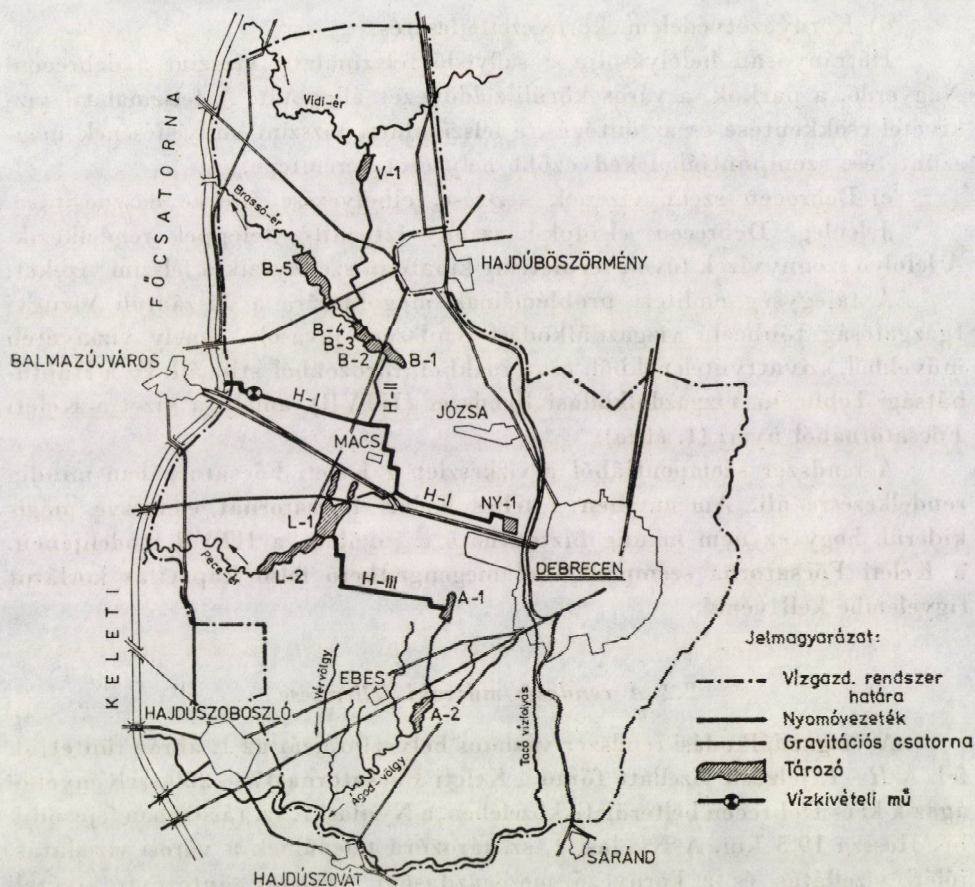
2. A HTVR ismertetése

2.1 Általános ismertetés

A HTVR-rel foglalkozó tanulmányok [1, 2] egybehangzó megállapítása, hogy a Hajdúháttság területén sürgős és fontos feladat a vízgazdálkodás fejlesztése. Vízgazdálkodási szempontból ugyanis Debrecen térségét és a Hajdúháttság területét az alábbi problémák jellemzik:

a) Debrecen ivó- és ipari vízigényének jelenlegi és távlati kielégítése.

Debrecen jelenleg az ivó- és ipari vízigényét felszínalatti vízkészletből elégíti ki. Mivel a vízadó rétegből kitermelt víz mennyisége már jelenleg is lényegesen több, mint a talajvíz természetes utánpótlódása, a felszínalatti vízszint folyamatosan csökken. 1913-ban a terepszint alatt 2—3 méterre volt,



1. ábra. A hajdúhátasági vízgazdálkodási rendszer helyszínrajza

ma már 20–32 méterre. A jelenlegi kitermelés mellett ez az érték 1990-ig várhatóan 65–60 méter lesz.

b) A hajdúhátasági löszháti területek öntözésének fejlesztése.

A Debrecenről nyugatra eső hajdúhátasági területek talaja, éghajlati viszonyai kedvezőek a hatékony öntözéses mezőgazdaság kialakítására. Jelenleg az öntözésben rejlő lehetőségek kihasználása kismértékű. Az eddigi tapasztalatok szerint az öntözés gazdasági eredményei az öntözéses gazdálkodás fejlesztését indokolják.

c) Vízparti üdülés fejlesztése.

Debrecenben és a Hajdúhátaság területén kevés a vízparti üdülésre alkalmas vízfelület. A vízparti üdüléshez fűződő jelentős társadalmi előny indokolja, hogy erre a célra is további felszíni vízből származó vízkészlet álljon rendelkezésre.

d) Környezetvédelem, környezetfejlesztés.

Hátrányosan befolyásolja a süllyedő felszínalatti vízszint a debreceni Nagyerdő, a parkok, a város körüli zöldövezet állapotát. A felszínalatti vízkivétel csökkentése és az öntözés, a felszínalatti vízszint süllyedésének megszüntetése szempontjából kedvezőbb helyzetet teremtene.

e) Debrecen szennyvizének kezelése, elhelyezése, illetve hasznosítása.

Jelenleg Debrecen elsőfokú szennyvíztisztító teleppel rendelkezik. A lefolyó szennyvizek távoli területekre kihatóan szennyezik a felszíni vizeket.

A tájegység említett problémáinak megoldására a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság többcélú vízgazdálkodási rendszert javasolt, amely vízkivételi művekből, szivattyútelepekből, csatornákból, tározókból stb. áll. Ez a Hajdúhásági Többcélú Vízgazdálkodási Rendszer (HTVR), amely a vizet a Keleti Főcsatornából nyeri (1. ábra).

A rendszer szempontjából a vízkészlet a Keleti Főcsatornában mindig rendelkezésre áll. Amennyiben a teljes Keleti Főcsatornát elemezve mégis kiderül, hogy ez nem mindig biztosítható a jövőben, a HTVR modelljében, a Keleti Főcsatorna szempontjából megengedhető felső kapacitás korlátot figyelembe kell venni.

2.2 A rendszer műszaki jellemzése

A vízgazdálkodási rendszer vázlatos helyszínrajzát az 1. ábrán tüntetjük fel. A $H-I$. jelzésű vízellátó főmű a Keleti Főcsatorna $47 + 200$ szelvényéből ágazik ki és Debrecen belterülete közelében, a Nyulasi 1. sz. tározóban fejeződik be. Hossza 19,5 km. A Nyulasi 1. sz. tározóra települnek a városi vízellátás, jóléti vízellátás és a környező mezőgazdasági területek öntözővíz kivételi művei. A $H-I$. vízellátó főműből két öntözési főmű ágazik le, észak felé a Brassó-ér, Vidi-ér területét érinti $H-II$., dél felé a Pece-ér, Ágod-völgyi területet átszelő $H-III$. csatorna. Ez a két vízvezető útvonal és a hozzákapcsolódó tározórendszer jelenti az öntözési főműveket. A $H-II$. csatorna hossza 16,7 km. A kiágazás után szerkezetileg nyílt gravitációs vasbetoncsatorna, amely a $B-1$, $B-2$, $B-3$, $B-4$ tározókban folytatódik, majd ismét vasbeton csatornaszelvényvel éri el a $V-1$ jelű tározót. A $H-III$. csatorna hossza 22,1 km. A kiágazás után fenéklépcsőkkel kialakított vasbeton csatorna, majd az $L-1$ tározón halad keresztül és innen kilépve ismét nyílt vasbeton csatorna szelvényben csatlakozik az $A-1$ tározóhoz. A csatorna egy közbenső, 1,5 km hosszúságú szakaszon a nagy bevágás miatt zárt-szelvényű, az $A-1$ és $A-2$ tározók között földmedrű csatorna. A $H-I$, $H-II$. és $H-III$. vízvezető útvonalakhoz kapcsolódó tározók főbb adatait az I. táblázatban foglaltuk össze.

A terv szerint a HTVR-ből nyernek vizet a Nyulasi tározók és a Nagyerdei tórendszer. A Tóócó völgyben, illetve Kondoros-Cserei-ág völgyében ter-

I. táblázat

A HTVR tározóinak főbb adatai

Tározó jele	Hasznos térfogat m ³	Tározó felület ha
B-1	0,44	24,0
B-2	0,40	19,5
B-3	0,20	13,5
B-4	0,30	18,5
B-5	2,74	164,0
V-1	0,44	29,0
L-1	4,00	214,0
L-2	3,30	165,0
A-1	0,50	29,0
A-2	1,10	64,5
Összesen	13,42	741,0
Ny-1	1,50	49,0
Mindösszesen	14,92	790,0

vezett tározók feltöltése és részben a vízpótlás is természetes vízkészletből történik, de vízfrissítést, aszályos időben a vízpótlást a többcélú vízellátó rendszerből végzik.

2.3 Jövőbeni vízigények

A jövőben várható lakossági, ipari, mezőgazdasági (öntöző) és környezeti (vízparti üdülés) vízigényeket a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság (TIVIZIG) adatai alapján vettük figyelembe. A vízigényeket két fajta *bizonytalanság* terheli:

a) A vízigény jellegéből eredő *természeti bizonytalanság* abból származik, hogy az egyik évben kisebb, a másik évben nagyobb a vízigény. Öntöző vízigény esetén pl. csapadékmennyiségtől, hőmérséklettől, párolgástól és más természeti tényezőktől függően az egyes években más és más a növények tényleges öntözővíz igénye. Az ivó- és ipari vízigények esetén ez a természeti bizonytalanság igen kismértékű, mert az éves igények többé-kevésbé állandók.

b) A másik fajta bizonytalanság a vízigények *előrejelzési bizonytalansága*. Minél hosszabb távra jelzünk előre, a vízigényt befolyásoló társadalmi-gazdasági tényezők nem kellő ismerete miatt a becsült vízigények egyre bizonytalanabbak.

A korábbi rendszerelemzési módszerek több esetben figyelembe vették a vízigények említett természeti bizonytalanságát, de az előrejelzésből származó bizonytalanságot legtöbbször elhanyagolták és csupán egyetlen, vagy legfeljebb egy lehető legnagyobb és legkisebbnek tekintett értéket vettek figyelembe. *Ebben a tanulmányban a jövőben várható vízigényeket valószínűségi*

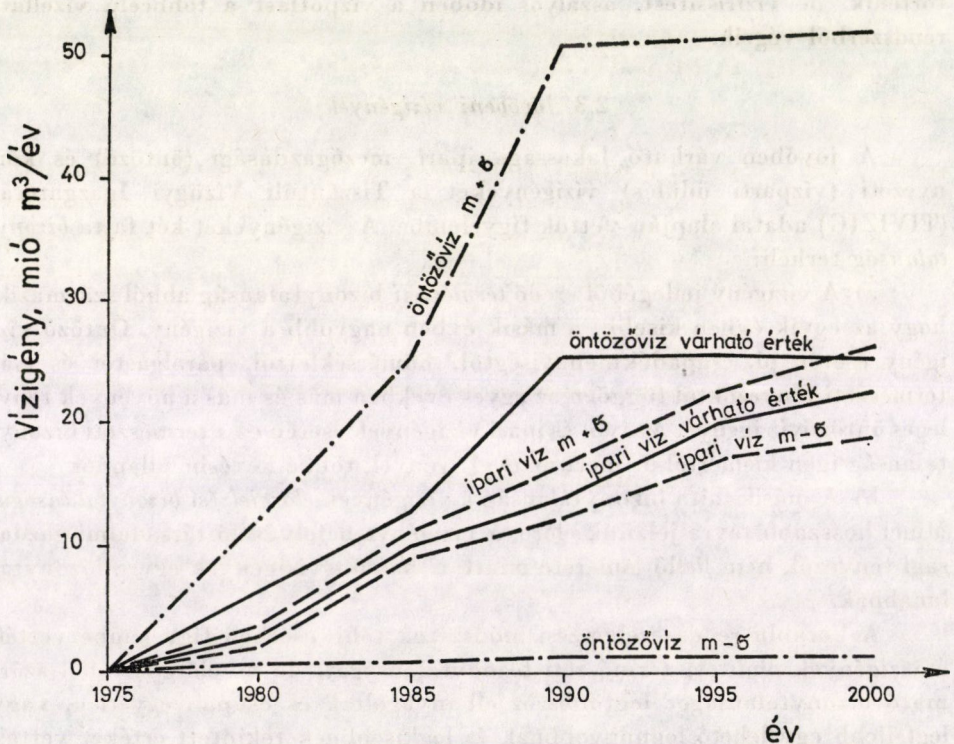
II. táblázat

Vízigények várható értékei és szórása, mió m³/év 1975–2000

Év	Ivóvíz		Ipari víz		Öntöző víz		Környezeti víz	
	m ₁	δ ₁	m ₂	δ ₂	m ₃	δ ₃	m ₄	δ ₄
1975	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	0	2,7	0,3	6,5	6,0	1,2	0,1
1985	0	0	10,3	1,0	13,0	2,3	3,6	0,2
1990	5,2	1,2	13,7	1,7	26,0	24,2	3,6	0,3
1995	8,3	1,5	20,0	2,5	26,0	24,7	3,6	0,7
2000	14,6	2,4	22,6	3,2	26,0	25,1	3,6	1,0

változóként vesszük figyelembe. Ez a valószínűségi változó egyaránt tükrözi a vízigeny természeti bizonytalanságát, valamint az előrejelzésből származó bizonytalanságokat. A korábbi elemzésekkel összhangban feltételezzük, hogy a vízigenyek normális eloszlást követnek [3]. A vízigenyek 1975–2000 közötti időszakra érvényes várható értékeit és szórásait a II. táblázatban tüntetjük fel (2. ábra).

Előrebocsátjuk, hogy az érzékenység vizsgálat során a II. táblázatban levő szórásokat megváltoztattuk.



2. ábra. Az öntöző- és ipari vízigenyek előrejelzése 2000-ig

A II. táblázatban feltüntetett adatokhoz az alábbi megjegyzéseket fűzzük: Debrecen ivó-, ipari és környezeti vízigényét a TIVIZIG tervezői úgy számították, hogy a teljes igényből levonták a rétegvízről és a különálló vízműből ($40\,000\text{ m}^3/\text{nap}$ csúcsidei kapacitás) kiszolgáltatható vízmennyiségeket. A lakossági, ipari és környezeti vízigényekre a TIVIZIG adatai alapján csupán az m várható értékek álltak rendelkezésünkre. Az ezekhez tartozó szórásokat, amelyek a becsült távlati értékek bizonytalanságait jellemzik, az irodalomban található adatok és a helyi tapasztalatok alapján becsültük. Mivel a szórások viszonylag kis értékek, a becslés azt mutatja, hogy a vízigény előrejelzést viszonylag megbízhatónak tekintjük és így a vízigény sűrűségfüggvénye meredek. Az öntözés esetében éghajlati változókból (csapadék, hőmérséklet, stb.) álló 50 éves adatsort használtak az évi lehetséges öntözési vízigények becslésére. Ebből az adatsorból számítottuk az m és σ értékeket.

2.3. A kiépítési és üzemelési költségek, valamint a vízhiány okozta károk

A HTVR-rel kapcsolatos gazdasági adatokat a TIVIZIG költségbeceklése alapján vettük figyelembe.

Az előzetes becslés szerint a HTVR teljes kiépítési költsége 466 millió forint.

Hasonló rendszerek üzemköltsége $0,5-1,8\text{ Ft/m}^3$ között változik. Kiseb az üzemköltség az öntözővízellátásnál és nagyobb az ivó- és ipari vízellátásnál.

A ki nem elégített vízigény, tehát a vízhiány gazdasági károkat okoz, amely a HTVR esetén a vizsgálatok szerint $3-8\text{ Ft/m}^3$ között változhatik. Természetesen a gazdasági adatok az időben módosulhatnak: növekedhet az üzemköltség, vagy pl. az anyagár változás miatt a beruházási költség, illetve a társadalmi-gazdasági fejlődés miatt a jövőben nagyobbak lehetnek a vízhiányból származó károk. Ebből következik, hogy az optimális ütemezés megállapítására szolgáló modellnek időben változó gazdasági adatok esetében is megoldást kell adnia.

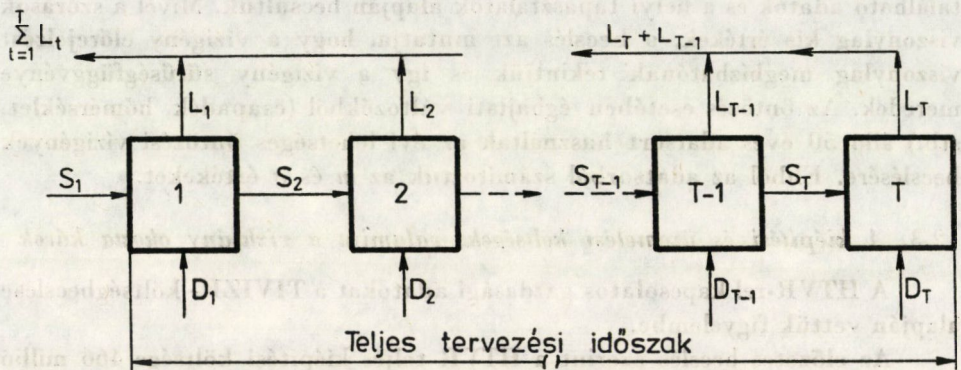
3. A gazdaságilag optimális kiépítési ütemezés megállapításának módszere

Az időben növekedő vízigények kielégítése fokozatos kapacitásbővítéseket igényel. Ha a hosszútávú tervezési időszak végén felmerülő igényeknek megfelelő kapacitásra a fejlesztési időszak elején építenénk ki, akkor ki nem használt kapacitásokkal kellene számolni, ami gazdasági kárt jelent. Ha a bővítést egyetlen lépcsőben, a fejlesztési időszak végén végeznék el, akkor a teljes időszak alatt a ki nem elégített vízigények következtében szintén gazdasági károkkal számolhatnánk. *Az ellentétes érdekek közti optimális megoldás keresésére a dinamikus programozás módszere nyújt lehetőséget.*

3.1 A dinamikus programozás

A dinamikus programozás alapjával ezen a helyen részletesen nem foglalkozunk, de hivatkozunk arra, hogy a módszer a rendszerelemzés területén ma már klasszikusnak tekinthető [4, 5, 15].

A dinamikus programozás egyik fontos előnye, hogy segítségével bonyolult, nem lineáris célfüggvények egyaránt — más programozási eljárásoknál



3. ábra. A dinamikus programozás elvi vázlata

sokkal gyorsabban megoldhatók. Ugyanakkor a gyakorlati alkalmazás során bebizonyosodott, hogy a változók és alternatívák számának növekedésével a dinamikus programozás számológép memória igénye annyira megnő, hogy gyakran lehetetlenné teszi gyakorlati alkalmazását. Ezzel a nehézséggel gyakran találkozhatunk a vízgazdálkodási és környezetvédelmi alkalmazás során. Az utóbbi időben a kutatások arra irányultak, hogy különböző közelítő módszerek segítségével sikerüljön ezt az ún. „többdimenzióság átkát” [4] kiküszöbölni. Ezekre a módszerekre még visszatérünk.

Vizsgáljuk meg ezután a rendszer kiépítési ütemezésének meghatározására szolgáló dinamikus programozási modellt. Ennek sematikus vázlatát a 3. ábrán tüntetjük fel. Az egyes négyzetek: 1, 2, ..., T - 1, T a lehetséges fejlesztési időpontokat jelzik. Az S állapotváltozó, valamely fejlesztési időpont kezdetén a rendszer kiépítési mértékét jelzi. A D döntési változó a fejlesztési időpontban bekövetkező kiépítés növelést méri. Valamelyik t fejlesztési időpontban az S_t állapotváltozó és a D_t döntési változó függvényében L_t gazdasági jellegű kiadások (költségek + károk) lépnek fel, amelyeket a következő $t + 1$ időpontig vesszük figyelembe. A teljes időszak végén a rendszer S_T állapotban van, ez tehát a végső kiépítés mértéke. A teljes időszak alatt fellépő kiadások az egyes időpontokban figyelembe vett kiadásokból tevődnek össze:

$$L = \sum_{t=1}^T L_t(S_t, D_t). \quad (1)$$

Célunk olyan döntési sorozat, D_1, D_2, \dots, D_T meghatározása, amelynek révén a teljes időszak alatt fellépő kiadások a lehető legkisebbek:

$$L^* = \min_{D_1, D_2, \dots, D_T} \sum_{t=1}^T L_t(S_t, D_t). \quad (2)$$

Ennek a célfüggvénynek a megoldása a dinamikus programozás elvének felhasználása nélkül hosszadalmas és gyakran, ha az L_t függvények nem lineárisak, klasszikus programozási módszerrel nem végezhető el.

A dinamikus programozás terminológiája szerint attól függően, hogy a kezdeti (S_1) vagy a végső (S_T) állapot ismert, megkülönböztetünk kezdeti vagy végső helyzetű feladatot. Például, ha egy tározó vagy tó optimális szabályozási rendjét akarjuk megállapítani, akkor nyilvánvalóan kezdeti problémával állunk szemben, mivel a kezdeti időszak elején adott a tó vagy tározó vízszintje [6]. A beruházás optimális ütemezésének vizsgálatakor hasonló az eset, hiszen az első időszak elején a rendszer kiépítése zérus, tehát $S_1 = 0$. A Bellman-féle optimalizációs elv [4, 5] lehetővé teszi, hogy ilyen feladatoknál a (2) célfüggvényt az alábbi rekurzív egyenlet ismételt alkalmazásával oldjuk meg:

$$f_{t-1}(S_{t-1}) = \min_{D_{t-1}} [L_{t-1}(D_{t-1}, S_{t-1}) + f_t(D_{t-1}, S_{t-1})]. \quad (3)$$

Ha a kezdeti időpontra vonatkozó állapot (S_1) adott, akkor a dinamikus programozás rekurzíóját a teljes időszak végétől *visszafelé* kell végeznünk. Nyilvánvalóan $f_1 = L^*$, azaz megkapjuk a keresett (2) célfüggvény értékét. Ezután visszahelyettesítve a célfüggvény értékét az S_1 állapotváltozó függvényében, mivel ez esetünkben ismert $S_1 = 0$, visszafelé most már kikereshetjük a D_1, D_2, \dots, D_T döntési változók optimumhoz tartozó értékét. A (3) egyenletből látható, hogy minden egyes időpontra ki kell számítani a $[t-1, t]$ időszakra érvényes L_{t-1} kiadás értékét az S_{t-1} állapotváltozó és D_{t-1} döntési változó valamennyi lehetséges értékére. Ezen túlmenően minden egyes időszakra meg kell oldani a (3) rekurzív egyenletben kijelölt minimálást. Ezért a dinamikus programozás klasszikus módszere szerint a (3) kifejezés kapcsos zárójelben levő részét valamennyi lehetséges állapotváltozó és döntési változó értékre meghatározzák, tehát az ún. teljes végigszámolást hajtják végre és ebből választják ki a legkisebb értéket. Ha az egyes időpontokban az állapotváltozók, illetve döntési változók dimenziója egynél nagyobb, a számítás időszükséglete gyorsan növekszik. A tapasztalatok szerint *kettőnél több állapotváltozó esetében a dinamikus programozás a gyakorlatban a klasszikus módon ritkán alkalmazható*. A vízgazdálkodásban gyakran találkozunk ezzel a problémával, és a kutatás eljutott odáig, hogy bizonyos közelítő módszerek révén programozási eljárást is alkalmazhatunk az egyes időpontokra kijelölt minimalizálás végrehajtására. Így a dinamikus programozást *lineáris programozással* szokták kombinálni [7, 8, 9]. Az ún. *véges különbségeken alapuló dinamikus programozás*

III. táblázat

A lehetséges fejlesztési ütemek- és a többlet-

D_t döntés	S_t állapot									
	0	1+7	1+9	1+10	3+11	3+13	3+14	3+7+ +11	3+10+ +14	4+10
1+ 7	75									
1+ 9	106	31								
1+10	156	81	50							
3+11	126									
3+13	158				32					
3+14	229				103	71				
3+ 7+11	146	71			20					
3+10+14	330	255	224	174	204	172	101	184		
4+10	219	144	113	63						
4+10+14	372	297	266	216	246	214	143	226	42	153
5+ 7	180	105								
5+ 9	211	136	105							
5+10	261	186	155	105						42
5+11	210				84					
5+13	242				116	84				
5+14	313				187	155	84			
5+7 +11	230	155			104			84		
5+9 +13	293	218	187		167	135		147		
5+10+13	343	268	237	187	217	185		197		124
6+ 7+11	276	201			150			130		
6+10+13	389	314	283	233	263	231		243		170
6+10+14	460	385	354	304	334	302	231	314	130	241
6+10+14+15	466	391	360	310	340	308	237	320	136	247

(DDDP) fokozatos közelítések segítségével keresi az optimális megoldást [10, 11].

Újszerű közelítő módszer az is, amikor a belső optimalizálásra külön, egy kisebb terjedelmű dinamikus programozási módszert alkalmaznak, tehát ez valamilyen din + din programozási módszer [12].

3.2. Az egyes időszakokra vonatkozó kárfüggvények meghatározása

Mint a (3) egyenlet mutatja, a dinamikus programozás során mindegyik időpontra meg kell állapítani a teljes kiadás értékét valamennyi lehetséges döntésre és állapotra. Nézzük meg, hogy feladatunk, a HTVR kiépítésének optimális ütemezésének keresésekor hogyan határozható meg ez az $L(S, D)$ függvény. Az egyszerűség kedvéért az időszak indexét elhagytuk, de tudatában vagyunk, hogy a függvényt ténylegesen minden időpontra meg kell állapítani.

Az időszakra vonatkozó teljes kiadás az időszakban felmerülő *beruházási költségből*, az időszak alatti *üzemeltetési költségből*, valamint az időszak alatt előforduló vízhiányok okozta *károkból* tevődik össze. A következőkben nézzük meg a *három költségössztevő kiszámítását*.

A t időpontban felmerülő *beruházási költség* jelenre diszkontált értékét a $d_t B_t(S_t, D_t)$ függvény értéke adja. A beruházási költség egyaránt függ tehát

bővítés költségei 10⁶ Ft-ban B(S, D) értékek

4+10+ +14	5+7	5+9	5+10	5+11	5+13	5+14	5+7+ +11	5+9+ +13	5+10+ +13	6+7+ +11	6+10+ +13	6+10+ +14
	31											
	81	50										
				32								
				103	71							
	50			20								
	113	82		83	51							
	163	132	82	133	101		113	50				
	36			66			46					
	209	178	128	179	147		159	96	46	113		
88	280	249	199	250	218	147	230	167	117	184	71	
94	286	255	205	256	224	153	236	173	123	190	77	7

az időponttól (a d_t diszkont tényező veszi figyelembe), az időpontot megelőző kiépítés mértékétől (S_t), valamint a tényleges D_t fejlesztéstől. A HTVR esetén a III. táblázatban tüntetjük fel S , illetve D függvényében a beruházási költségadatokat a TIVIZIG költségbecslései alapján. A B_t költségfüggvényt esetünkben az időben állandónak tekintjük. A költségfüggvény természetesen nem lineáris, hanem általában a mérnöki létesítményekre jellemzően, az egyszeri nagyobb kiépítés viszonylag olcsóbb, tehát a költségfüggvény konkáv. A III. táblázatban csupán a vizsgált lehetséges állapotokhoz és döntésekhez adtuk meg a költségeket. A lehetséges alternatívákra a későbbiek során visszatérünk.

Az időszak alatt felmerülő üzemelési költségek, valamint a vízhiányból származó károk meghatározása bonyolultabb. Ennek a két költségtényezőnek a kiszámítását együttesen elemezzük. Tételezzük fel elsőként, hogy csupán egyfajta vízigénnyel kell számolni. Jelölje \dot{U} az üzemköltséget, V a vízhiányból származó kárt, ekkor a h együttes üzemköltség és kár:

$$h(S, R) = \begin{cases} \dot{U}(S) + V(S - R), & S < R, \\ \dot{U}(R), & S \geq R, \end{cases} \quad (4)$$

ahol az ismert jelöléseken kívül R a vízigény.

Az előzőekben rámutattunk arra, hogy az R vízigényt valószínűségi változónak tekintjük, hiszen egyaránt mutathat természeti bizonytalanságot és véletlen jellegű előrejelzési bizonytalanságot. A HTVR esetén a vízigények várható értékeit és szórásait 1975 ÷ 2000 között, 5 éves időszakokra a II. táblázat mutatja. Mivel az R érték valószínűségi változó, az egyes időszakokban ténylegesen felmerülő üzemköltséget és kárt nem tudjuk megállapítani, ezért ezek várható értékeivel dolgozunk a továbbiakban. Ekkor a $H(S)$ várható együttes kár és üzemköltség csak az S teljes kiépítéstől függ:

$$H(S) = \int_{-\infty}^R h(S, R) f(R) dR. \quad (5)$$

Felhasználva h definícióját [(4) egyenlet], az (5) kifejezés átalakítható:

$$H(S) = \int_{-\infty}^S \dot{U}(R) f(R) dR + \int_S^{\infty} [\dot{U}(S) + V(R - S)] f(R) dR. \quad (6)$$

A HTVR esetén a vízhiányból származó kárfüggvény és az üzemelési költség lineárisnak tekinthető, vagyis a két függvényt az alábbiakban fejezhetjük ki:

$$\dot{U}(R) = c \cdot R,$$

ahol c a fajlagos üzemköltség, Ft/m³/év.

A Tiszántúli VIZIG költségbecslése alapján egyébként a lakossági és ipari vízellátás esetén 1,8 Ft/m³/év, a mezőgazdasági vízellátás és a környezeti vízellátás esetén 0,5 Ft/m³/év a fajlagos üzemköltség.

A lineáris kárfüggvény az alábbi alakú:

$$V(R - S) = v \cdot (R - S)$$

ahol v a fajlagos kár, Ft/m³/év.

A HTVR esetén a vízhiányból származó fajlagos károkat

- lakossági vízellátás és ipari vízellátás esetén a 8 Ft/m³/év,
- mezőgazdasági és környezeti vízellátás esetén 3 Ft/m³/év

értékkel vettük számításba.

A II. táblázatban megadott vízigény statisztikák alapján a különböző jellegű vízigények sűrűségfüggvényét normál vagy csonkított normál eloszlásnak tekintjük. A normál eloszlás csonkítását mezőgazdasági vízellátásnál a 0 alsó határnál (a vízigény zérusnál semmiképpen nem lehet kisebb), illetve egyéb esetben ± 3 szigma távolságban hajtottuk végre. A fenti alapadatok segítségével a (6) egyenletben kijelölt várható értéket számítógépen határoztuk meg.

A (6) egyenletet egyfajta vízigényre vezettük le. A HTVR esetén – mint a legtöbb vízgazdálkodási rendszerrel – többféle vízhasználó van és a kielégítetlen vízigényekből származó kár attól is függ, hogy a rendelkezésre álló vízmennyiséget hogy osztjuk fel az egyes igénylők között. Mindenesetre olyan felosztásra kell törekedni, hogy az együttes kár a lehető legkisebb legyen.

Írjuk fel most a (6) egyenletet tehát annak figyelembevételével, hogy m számú vízhasználatot kell kielégíteni: A t indexet most is elhagyjuk, de ismét hangsúlyozzuk, hogy minden t időpontban felmerül a feladat.

$$H(S) = \sum_{i=1}^m \left\{ \int_{-\infty}^{S_i} \dot{U}_i(R) f_i(R) dR + \int_{S_i}^{\infty} [\dot{U}_i(S_i) + V_i(R - S_i)] f_i(R) dR \right\}. \quad (7)$$

Ha a kapcsos zárójelben levő mennyiséget $H_i(S_i)$ -vel jelöljük, a (7) képlet az alábbi alakú lesz:

$$H(S) = \sum_{i=1}^m H_i(S_i). \quad (8)$$

Attól függően tehát, hogy a teljes S kapacitást hogyan osztjuk szét az m számú vízhasználó között, különböző H teljes költséget kapunk. Azt a stratégiát követjük, amikor az együttes költség és kár összege minimális lesz. Tehát feladatunk

$$H = \sum_{i=1}^m H_i(S_i) \rightarrow \min, \quad (9)$$

$$\sum_{i=1}^m S_i \leq S$$

feltételes szélső érték keresése.

Ilyen jellegű másodlagos optimum keresés szükségessége a dinamikus programozás esetében gyakran merül fel. A (9) feladat nemlineáris programozási feladat, amelyet gyakran közelítően lineáris programozási módszerrel oldanak meg. A kérdés azért lényeges, mivel a (9) *feladat optimális megoldását valamennyi lehetséges időpontra és valamennyi lehetséges állapotra (kiépítési szintre) meg kell határozni*. Tehát gyakran igen nagyszámú ilyen másodlagos optimalizálást kell végrehajtani. Ezért egyik lehetőség a közelítő lineáris programozás alkalmazása. Ezt a módszert alkalmazták egyébként hazánkban a Tiszai vízlépcsők üzemelési rendjének kidolgozása során, ahol a havi lehetséges tározott vízmennyiségeknek, mint állapotváltozónak optimális szétosztását kellett sorozatban megállapítani [13, 14].

A (9) célfüggvény a nemlineáris programozás módszerével és a célfüggvény additivitása alapján a dinamikus programozás módszerével is optimalizálható.

Jelölje tehát a (9) feladat optimális megoldását a $\min H(S)$ kifejezés. Nyilvánvalóan ezt kell visszahelyettesíteni a dinamikus programozás (3) egyenletébe, hogy megkapjuk az optimális ütemezés meghatározására szolgáló rekurziós egyenletet. A t időszakban fellépő teljes kiadásnak jelenre diszkontált értéke az alábbi:

$$L_t(S_t, D_t) = d_t [B_t(S_t, D_t) + \min H_t(S_t + D_t)]. \quad (10)$$

Az L_t érték tehát a $[t - 1, t]$ fejlesztési időszakban felmerülő összkiadásokat adja meg. A teljes fejlesztési időszak végén, a T időpontban azonban a költségeket (üzemeltetési költségek és vízhiányból származó károk) tovább kell számítani a létesítmény teljes élettartamára. Azzal a feltételezéssel éltünk, hogy a $T = 25$ éves fejlesztési időszak után tovább nem növekednek a víz-igények és a létesítmény élettartama végtelen. Egyébként ez az utóbbi feltételezés 50 éves tényleges élettartamot figyelembe véve, az ellenőrző számítások alapján nem jelent számottevő hibát. Az utolsó T fejlesztési időpontra az L_T értéket a fentiek figyelembevételével úgy állapítottuk meg, hogy a T időponthoz alkalmas diszkont tényezőt választottunk az alábbi módon:

Fejezze ki a d_T diszkont-tényező a T időpont és végtelen között évente figyelembe vehető diszkont tényezők összegét. Ily módon az alábbi eredményre jutottunk:

$$d_T \sum_{t=T}^{\infty} \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{i(1+i)^{T-1}}, \quad (11)$$

ahol i az évi diszkontláb.

3.3 A HTVR fejlesztési lehetőségei (az állapotváltozó lehetséges értékei)

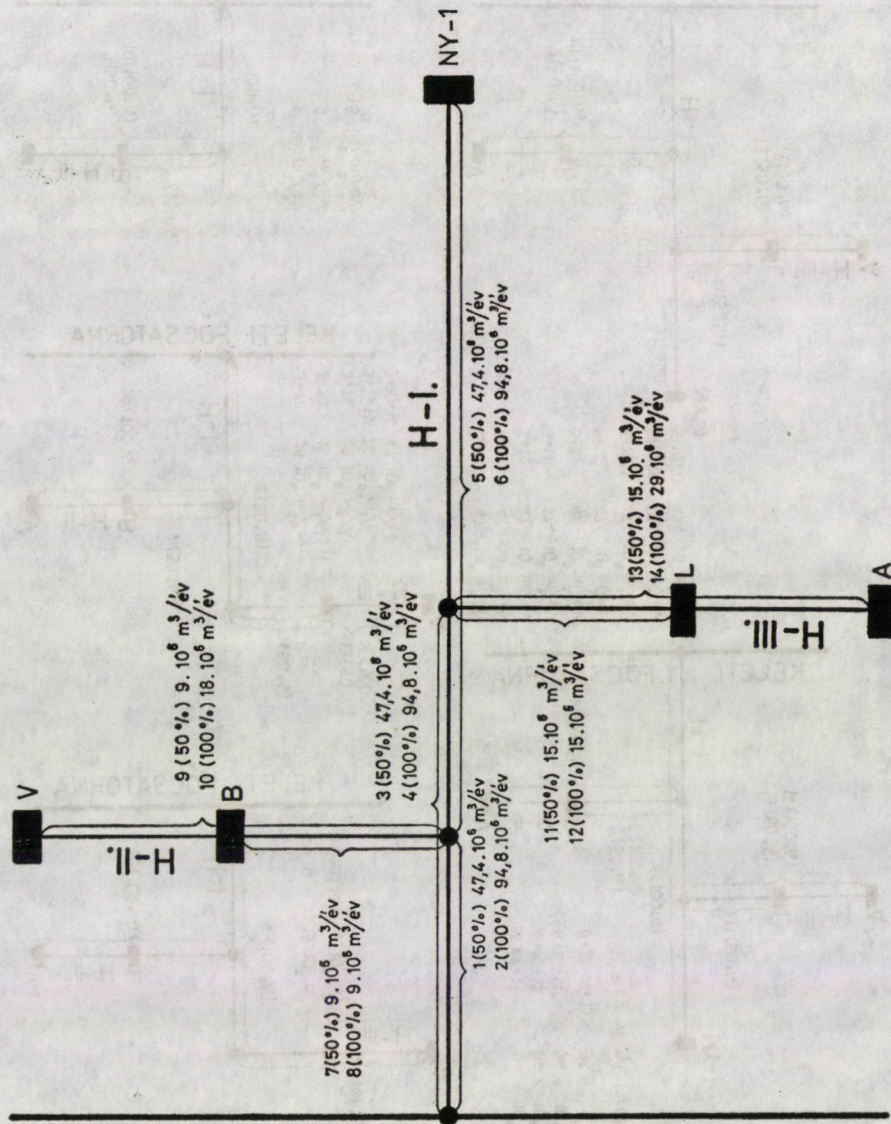
A dinamikus programozás módszerét a gyakorlatban, az esetek legnagyobb részében az állapotváltozók és döntési változók véges számú lehetséges értékeire alkalmazzák. A HTVR esetén sem végtelen a gyakorlatban figyelembe vehető lehetséges fejlesztési ütemek száma. Ezeket az alábbi három szempont alapján állapítottuk meg:

- a) Bármelyik fejlesztési lépcső önmagában is hasznosítható legyen, tehát alkalmas legyen vízigény kielégítésére.
- b) Új fejlesztési alternatívának olyat tekintünk, amely valamilyen korábbi fejlesztési alternatívához történő hozzáépítésből vagy bővítésből áll.
- c) Az alábbiakban ismertetett fejlesztési alternatívákat a beruházó Tiszántúli Vízügyi Igazgatósággal együttesen határoztuk meg.

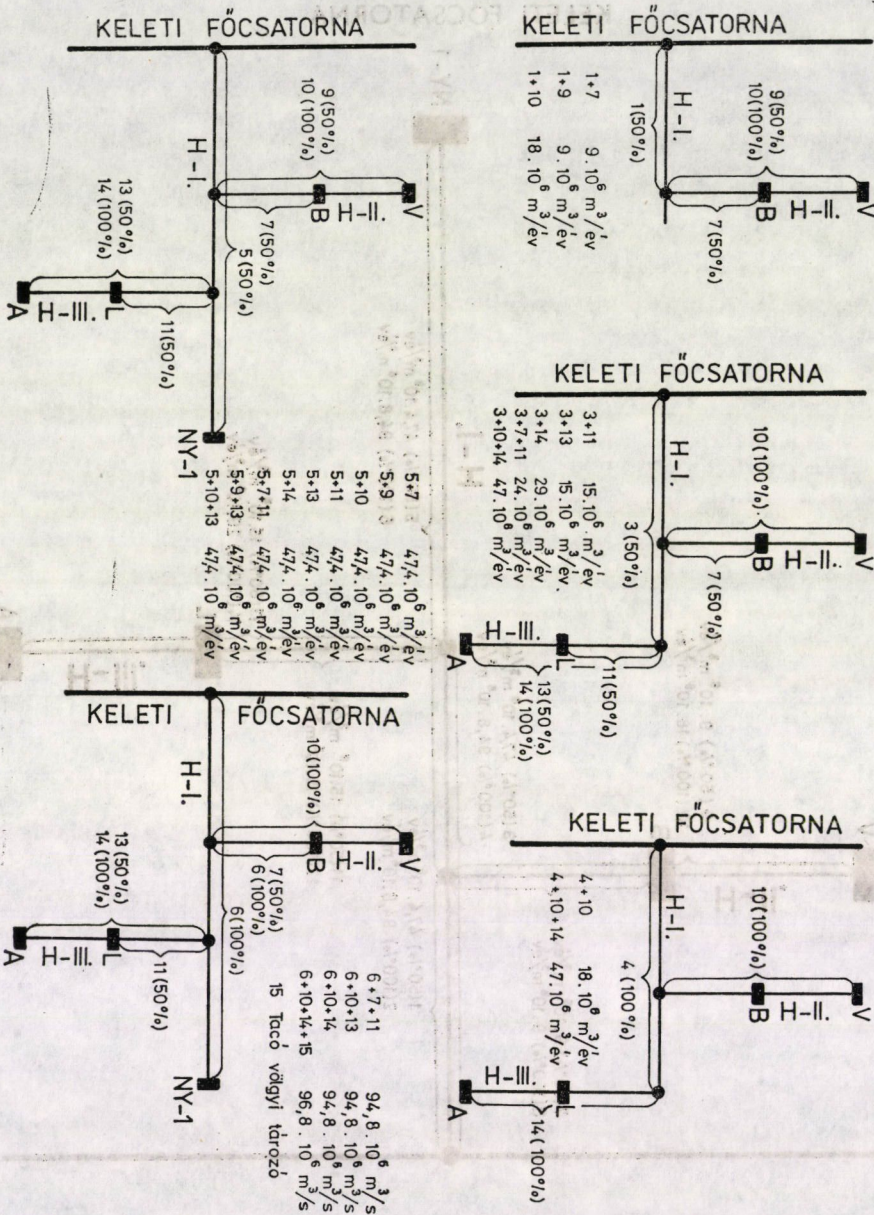
A jövőben várható vízigények kielégítése céljából a $H-I$. vízellátó főmű, valamint $H-II$. és $H-III$. öntözési főművek többféle módon fejleszthetők: a főművek hosszának szakaszos kiépítésével, a főművek kapacitásának növelésével és a kettő együttes variálásával. A főművek kapacitásának növelésére két esetet vettünk figyelembe, az 50%-os és 100%-os kapacitást. A főművek fejlesztési ütemeit a 4. ábrán tüntetjük fel. A vízellátó $H-I$. és az öntözési főművek $H-II$., $H-III$., 50%-os kapacitású lehetséges kiépítését 7 szakaszra, a 100%-os kapacitást ugyancsak 7 szakaszra osztottuk.

A 4. ábrán feltüntetjük a vízszolgáltató rendszer 50 és 100%-os kapacitásához tartozó vízmennyiség értékeket a 14 féle vízszolgáltató útvonal-szakaszra.

KELETI FŐCSATORNA



4. ábra. A HTVR lehetséges szakaszolása



5. ábra. A HVTR lehetséges fejlesztési lépései

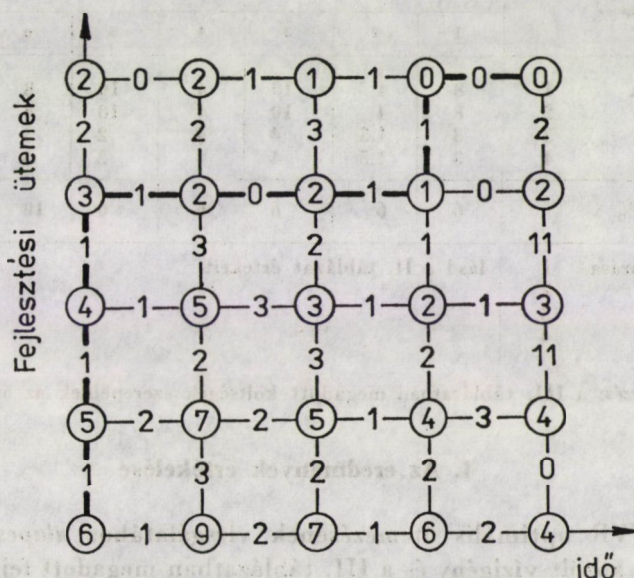
A HTVR fejlesztésére kiválasztott lehetséges 23 féle esetet az 5. ábrán tüntettük fel. Az ábrán bemutatott fejlesztési ütemeket és azok költségeit, illetve a többletbővítés (D döntés) egyszeri költségét a III. táblázatban foglaltuk össze.

3.4 A megoldás numerikus módszere

A numerikus megoldás érdekében a számológép meghatározta a:

$$d_t B_t(S_t, D_t) \text{ és } \min H_t(S_t + D_t)$$

függvényértékeket valamennyi lehetséges időpontra, t (25 db), kiépítési állapotra, S és fejlesztési döntésre, D . Ez összesen 1102 függvényérték kiszámítását igényelte. A dinamikus programozás (3) rekurzív egyenletének a megoldását ennek alapján a 6. ábrán vázolt feladatra vezetjük vissza. A 6. ábrán függőlegesen az egymást követő lehetséges kiépítési változatokat, vízszintesen az időt tüntetjük fel. Az így kapott beosztás vízszintes szakaszaihoz az adott időszakra kiszámított $d_t \min H_t(S_t + D_T)$ költségeket, míg a függőleges szakaszokhoz a kérdéses fejlesztés $d_t B_t(S_t, D_t)$ költségeit rendeljük hozzá. Feladat: *a T végső időpontban lehetséges állapotok közül valahonnan kiindulva úgy jussunk el a $t = 1$ kezdeti időpontban az $S_1 = 0$ kiépítéséhez, hogy a függőleges és vízszintes szakaszokból álló út mentén az utakhoz rendelt költségadatok összege a lehető legkisebb legyen.* A gépi számítás programja ezt a feladatot oldja meg. Az optimum kiszámítása 22 perc gépidőt igényel az ELTE TTK ODRA 1304-es típusú számítógépén.



6. ábra. A numerikus megoldás elvi vázolata

3.5 Érzékenység vizsgálat

A rendszerelemzési módszerek gyakorlati alkalmazásának egyik fontos feltétele, hogy a bemenő adatoknak az optimális megoldásra gyakorolt hatását érzékenységi vizsgálattal elemezzük. A HTVR fejlesztési ütemeinek meghatározása során az érzékenység vizsgálat alapvetően két célt szolgál:

a) Amennyiben befolyásolni tudunk valamilyen bemenő adatot, pl. diszkontlábat, vízigényeket, stb., akkor az érzékenység vizsgálat révén megállapíthatjuk, hogy bizonyos cél érdekében (a beruházás elhúzása vagy csökkentése) a befolyásolható input értékének milyen nagyságúnak kell lennie, hogy az általunk várt eredmény legyen gazdasági szempontból optimális.

b) A bemenő adatok gyakran bizonytalanok és ennek a bizonytalanságnak az optimális megoldásra gyakorolt hatását szintén érzékenység vizsgálat révén állapíthatjuk meg.

A HTVR ütemezésével kapcsolatban az érzékenység vizsgálat során háromfajta bemenő adatot változtattunk:

- a vízhiány miatti fajlagos károkat,
- a diszkontlábat és
- a különféle vízigényeknek, mint valószínűségi változóknak a szórását.

A figyelembe vett változatokat a IV. táblázat tünteti fel.

IV. táblázat

Az érzékenység vizsgálat jellemző input adatai

Input típusa		Változatok							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Fajlagos károk	1	8	4	10	4	10	8	8	8
	2	8	4	10	4	10	8	8	8
	3	3	1,5	4	4	2	3	3	3
	4	3	1,5	4	4	2	3	3	3
Diszkont láb %		6	6	6	6	6	10	4	6
Vízigények szórása	1	lásd a II. táblázat értékeit							$1/2 \delta_1$
	2								$1/2 \delta_2$
	3								$1/2 \delta_3$
	4								$1/2 \delta_4$

Megjegyzés: a III. táblázatban megadott költségek szerepelnek az összes változatban.

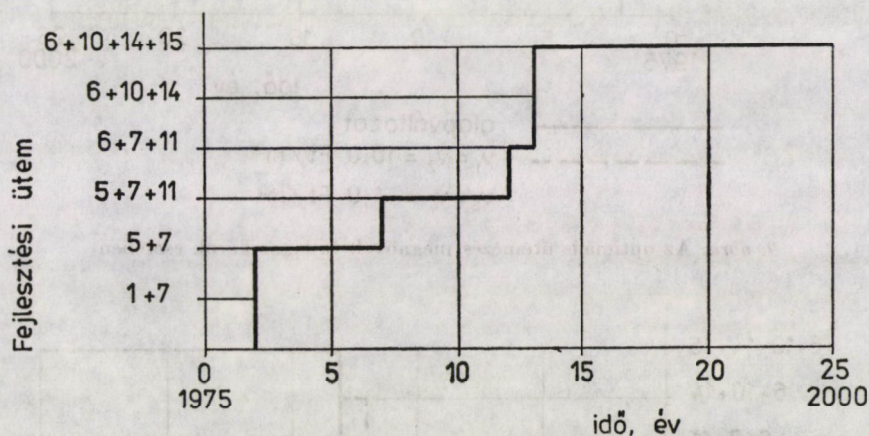
4. Az eredmények értékelése

A HTVR optimális ütemezésének vizsgálatához *alapesetenként* a II. táblázatban közölt vízigény és a III. táblázatban megadott fejlesztési költség adatokat, a 8, illetve 3 Ft/m³/év fajlagos károkat és az 1,8, illetve 0,5 Ft/m³/év

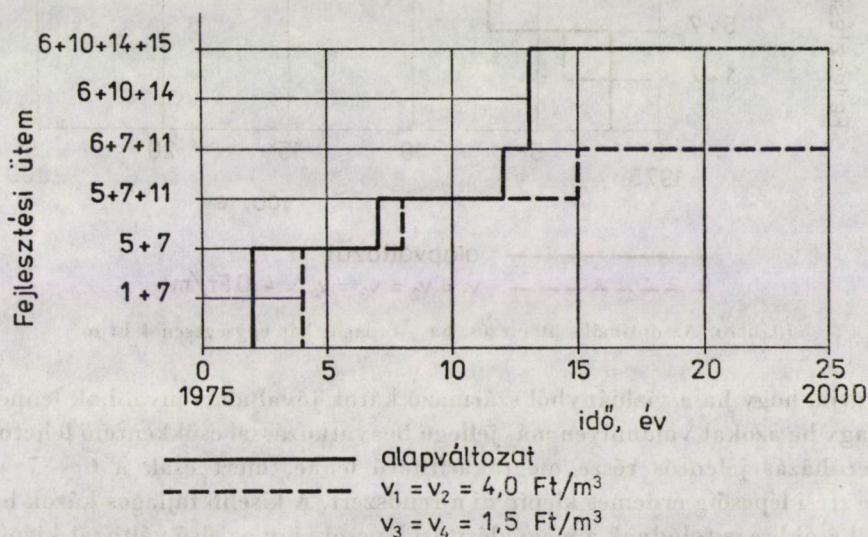
fajlagos üzemköltségeket, továbbá a 6% kamatlábat tekintettük. A víz-igénynek valószínűségi eloszlásfüggvényét csonkított normál típusúnak vettük.

A dinamikus programozás (3) rekurzív egyenletének számítógépes megoldása révén, az *alapesetnek megfelelő optimális kiépítés ütemezését* a 7. ábra tünteti fel. Látható, hogy célszerű a vízhiányból származó jelentős károk miatt, a kezdeti időponttól számított 13 éven belül a teljes rendszert kiépíteni.

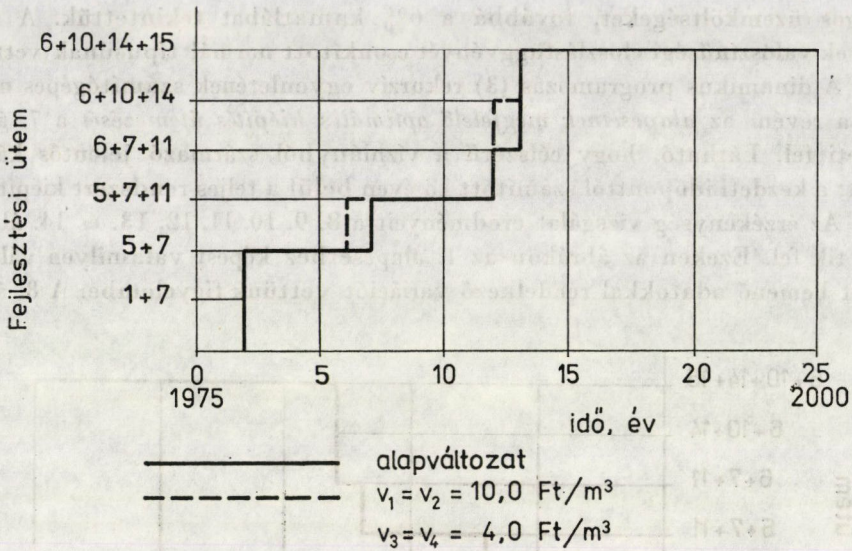
Az érzékenység vizsgálat eredményeit a 8, 9, 10, 11, 12, 13. és 14. ábrák tüntetik fel. Ezekon az ábrákon az 1. alapesethez képest valamilyen változtatott bemenő adatokkal rendelkező variációt vettünk figyelembe. A 8. ábra



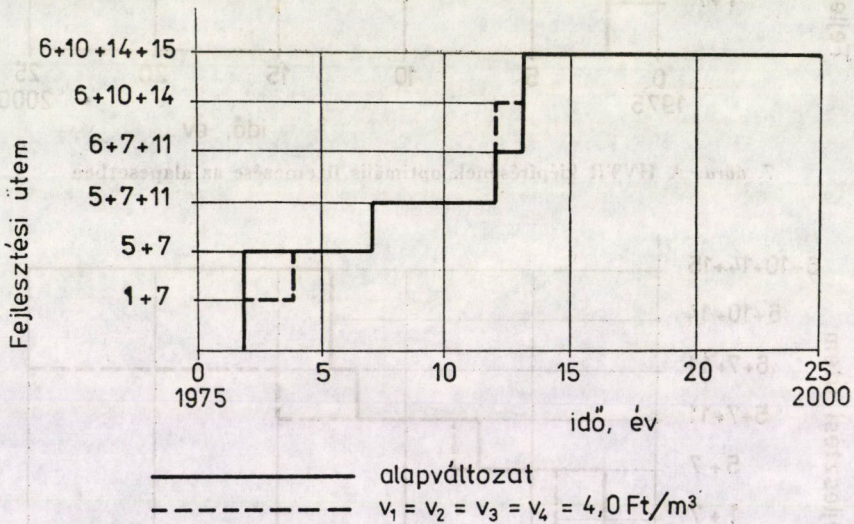
7. ábra. A HVTR kiépítésének optimális ütemezése az alapesetben



8. ábra. Az optimális ütemezés csökkentett fajlagos károk esetében



9. ábra. Az optimális ütemezés megnövelt fajlagos károk esetében

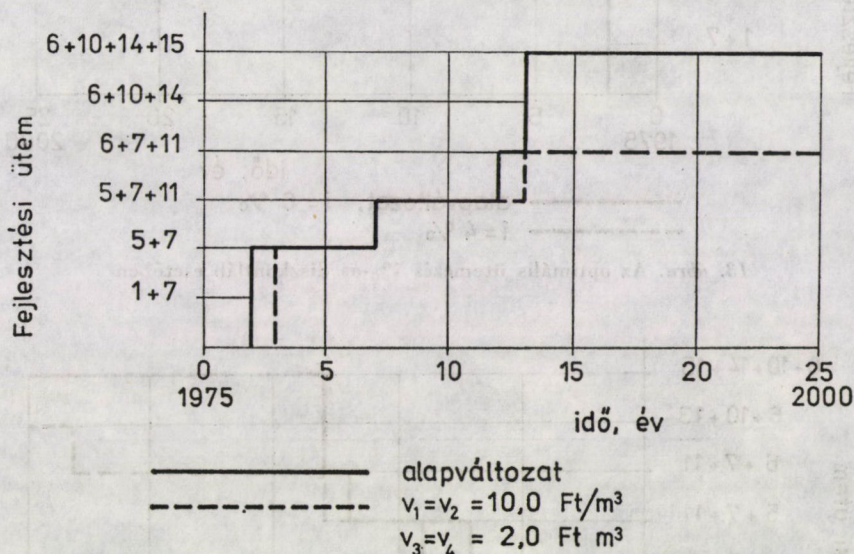


10. ábra. Az optimális ütemezés, ha a fajlagos kár egységeseen 4 Ft/m^3

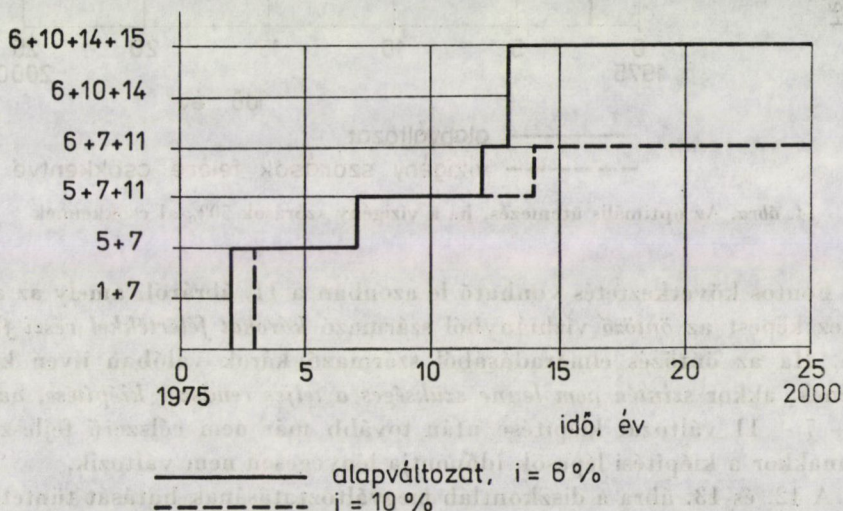
mutatja, hogy ha a vízhiányból származó károk jóval alacsonyabbak lennének — vagy ha azokat valamilyen más jellegű beavatkozással csökkenteni lehetne — a beruházás jelentős része megtakarítható lenne, mert csak a 6 + 7 + 11 fejlesztési lépcsőig érdemes kiépíteni a rendszert. A kisebb fajlagos károk hatására későbbre is tolnának a megvalósítási lépcsők, így az első változat kiépítése is, a második év helyett csupán a negyedik évben szükséges.

Igen érdekes a 9. ábrából levonható következtetés: amennyiben a vízhiányból származó károk az eredetinel nagyobbak (10 illetve 4 Ft/m³év), a teljes rendszert ugyanúgy ki kell építeni és a fejlesztési időpontok is csaknem ugyanazok (csupán két lépcsőnél célszerű egy-egy év gyorsítás).

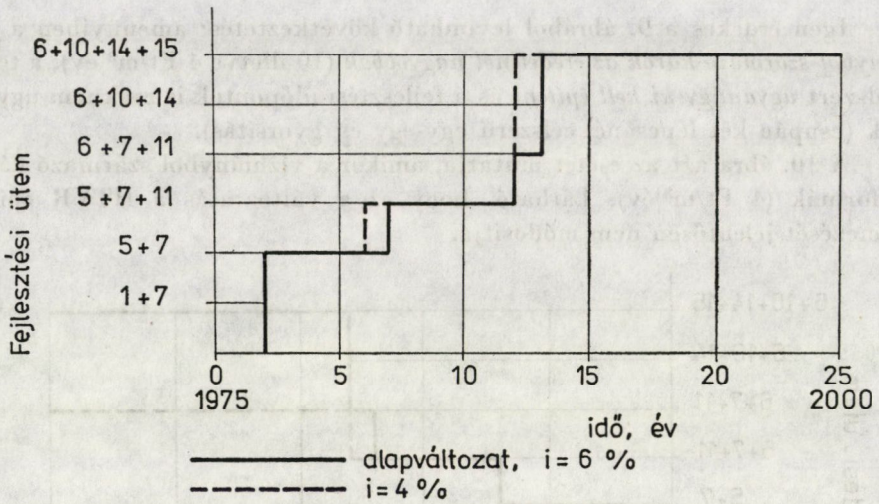
A 10. ábra azt az esetet mutatja, amikor a vízhiányból származó károk egyformák (4 Ft/m³év). Látható, hogy ez a változtatás a HTVR építési ütemezését jelentősen nem módosítja.



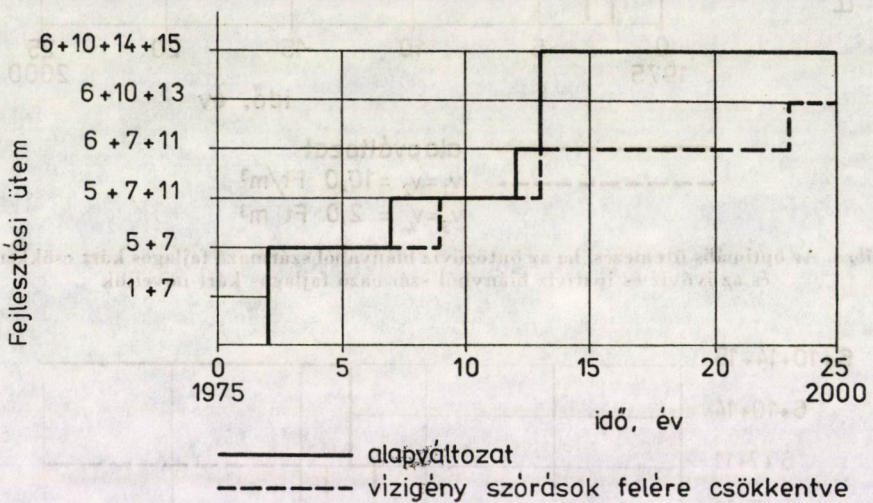
11. ábra. Az optimális ütemezés, ha az öntözővíz hiányából származó fajlagos kárt csökkentjük és az ivóvíz és iparvíz hiányból származó fajlagos kárt növeljük



12. ábra. Az optimális ütemezés 10%-os diszkontláb esetében



13. ábra. Az optimális ütemezés 4%-os diszkontláb esetében



14. ábra. Az optimális ütemezés, ha a vízigény szórások 50%-al csökkennek

Fontos következtetés vonható le azonban a 11. ábráról, amely az alapesethez képest az öntöző vízhiányból származó károkat féltértekkel veszi figyelembe. Ha az öntözés elmaradásából származó károk valóban ilyen kicsik lennének, akkor szintén nem lenne szükséges a teljes rendszer kiépítése, hanem a 6 + 7 + 11 változat kiépítése után tovább már nem célszerű fejleszteni. Ugyanakkor a kiépítési lépcsők időpontja lényegesen nem változik.

A 12. és 13. ábra a diszkontláb megváltoztatásának hatását tünteti fel. Amennyiben a diszkontláb az eredeti 6% helyett 10%, akkor nem gazdaságos

a teljes beruházást megvalósítani, azaz a $6 + 7 + 11$ kiépítés után tovább nem célszerű fejleszteni a rendszert. Ez az eredmény összhangban van a közgazdasági törvénnyel, hogy a magas diszkontláb a beruházások csökkentését idézi elő. Nyilvánvalóan ezzel ellentétes hatást vált ki a *diszkontláb csökkentése*. A 13. ábrából látható, hogy ha az eredeti 6%-ról 4%-ra csökken a diszkontláb — ha kismértékben is —, de néhány *fejlesztési lépcső 1–1 évvel előbbre kerül*. Mindenesetre a diszkontláb csökkenésének a hatása nem olyan jelentős, mint növekedéséé.

A 14. ábra azt mutatja, hogy a rendszer eredetileg tervezett teljes kiépítésének igényét a bizonytalan vízigények nagymértékben befolyásolják. Látható, hogy ha a *vízigények bizonytalansága felére csökkenne*, amelyet 50%-os szórás jellemez — akkor *kisebb rendszer kiépítés* lenne hosszú időszakon keresztül gazdaságilag optimális; csupán a 23. évben közelítenénk meg az eredeti teljes kiépítést.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a *HTVR kiépítések ütemezésére bőséges információt szereztünk*. A tényleges gazdasági helyzet (vízhiányból származó károk, beruházási költségek, diszkontláb, vízigény bizonytalanság) figyelembevételével a döntéshozó kiválaszthatja a többfajta optimális megoldásból a számára legkedvezőbb változatot. Ebben rejlik a rendszerelemzés módszereit alkalmazó döntéselőkészítő tanulmányok gyakorlati jelentősége.

5. Következtetések

A tanulmány alapján levonható következtetéseket két csoportba foglaljuk össze:

A. Módszertani következtetések

1. A *dinamikus programozás módszere* hatékony eljárás beruházások optimális ütemezésének meghatározásához [16, 17].

2. Az optimális kiépítést, a dinamikus programozás segítségével olyan célfüggvény minimálása révén határozzuk meg, amely a távlatban hosszú időszakra a *legkisebbre csökkenti a beruházási és üzemköltségekből, valamint a vízhiányból származó károk jelenlegi értékét*.

3. A módszer lehetővé teszi, hogy a jövőben várható vízigényeket, a vízigény természetéből eredő (pl. öntözés) és az előrejelzés miatti bizonytalansággal együttesen, *mint valószínűségi változókat vegyük figyelembe*.

4. A stochasztikus jellegű vízigények miatt az üzemköltség és a vízhiányból származó károk *várható értékét* számoljuk.

5. A módszer lehetővé teszi, hogy minden egyes időszakban a rendelkezésre álló *vízmennyiséget a lehető legcélszerűbben osszuk fel a különböző jellegű igények között* (lakossági, ipari, mezőgazdasági és környezeti vízigény).

6. Az eljárást hazánkban alkalmazott számológépre programoztuk és hasonló jellegű feladatok megoldására a számológép program közvetlenül alkalmazható.

7. Az eredmények alapján javasoljuk nagyobb tervezett vízgazdálkodási és környezetvédelmi beruházások kiépítésének ütemezésére hasonló, rendszer-
elemzési alapon nyugvó, műszaki-gazdasági elemzés végrehajtását.

B. A HTVR kiépítése

1. A dinamikus programozással megállapított kiépítési ütemezés megerősíti és pontosítja a korábbi vizsgálatok eredményeit, amelyek szerint az alapesetnek megfelelő gazdasági környezetben (fajlagos károk, üzemköltségek, beruházási költségek, kamatláb, vízigények) *érdemes a teljes HTVR-t viszonylag rövid idő (14 év) alatt, nagyjából 5 éves időszakonként, 3 lépcsőben kiépíteni.*

2. Az érzékenység vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a rendszer optimális kiépítési mértéke és ütemezése leginkább a vízhiányból származó károk nagyságára, valamint a népgazdasági szinten érvényes diszkontlábra érzékeny.

3. A vizsgálatok eredményei lehetőséget adnak arra, hogy a mindenkori gazdasági adottságok tükrében gazdaságos döntés szülessen a HTVR kiépítésének ütemezésére.

Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönettel tartoznak PAPP Ferencnek, MOLNÁR Lászlónak és CSIPAI Imrénnek, akik a Tiszántúli Vízügyi Igazgatóság részéről hasznos gyakorlati tanácsokat adtak, és az alapadatokat bocsátották rendelkezésünkre. Ugyancsak köszönet illeti SZÉP Gabriellát a számológép program elkészítéséért és RUSZ Ervinnét a tanulmány összeállításában való közreműködéséért. Dr. JÁNDY Géza és Dr. IJJAS István lektorok részletes bírálata nagymértékben segítette a tanulmány végső formájának elkészítését.

IRODALOM

1. PAPP Ferenc: Debrecen térségének vízgazdálkodása, *Vízügyi Közlemények* (1974) 4
2. A Hajdúhátási Többcélú Vízgazdálkodási Rendszer, a TÍVIZIG tanulmányterve, Debrecen 1974
3. DÁVID László: Az öntözőrendszer vízigényének jellemzése és vízgazdálkodási vonatkozásai. *Hidrológiai Közöny*, (1971) 6
4. BELLMAN, R. E.—DREYFUS, S.: *Applied Dynamic Programming*, Princeton Univ., Princeton, N9Y 1962
5. WILDE, D. J.—BEIGHTLER, C. S.: *Foundations of Optimization*, Prentice-Hall, Inc. 1967
6. L. DUCKSTEIN—METLER, W. és BOGÁRDI, I.: Szél okozta vízszint és a tavak optimális vízszintszabályozása. *Hidrológiai Közöny* (1973) 12
7. BURAS, N.: *Scientific Allocation of Water Resources*, Elsevier, Publishing Comp. 1972
8. HALL, W. A.—SHEPARD, R. W.: „Optimum Operations for Planning of a Complex Water Resources System.” Water Resources Center Contribution No. 122, University of California, Los Angeles, Calif., 1967
9. BECKER, L.—YEH, W. W.-G.: Timing and Sizing of Complex Water Resources Systems. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 100, No. HY10, October, 1974
10. HEIDARI, M., et al.: „Discrete Differential Dynamic Programming Approach to Water Resources Systems Optimization”, *Water Resources Research*, 7, No. 2, Apr., 1971

11. CHOW, V. T.—CORTES-RIVERA, G.: Application of DDDP in Water Resources Planning Univ. of Illinois, Research Report. No. 78, January, 1974
12. ISAILOVIC, D.: *Optimal operation of coupled surface-underground storage*. Doktori értekezés, Colorado, USA, 1975
13. IJJAS István: Tiszai vízkészletek optimális elosztása determinisztikus modellel. Együttműködő folyami vízlépcsők hidrológiai vizsgálata, különös tekintettel a tárolt víz többcélú optimális hasznosítására. BME. Vízgazdálkodási és Vízépítési Intézet kutatási jelentése (Kézirat) V. fejezete. VSzSzI. 1974
14. BREINICH Miklós: A kiskörei vízlépcső tározójának optimális többcélú hasznosítása. Műszaki doktori értekezés. Budapest 1975
15. JÁNDY Géza: Bevezetés az operációkutatásba II, Egyetemi jegyzet
16. BUTCHER, W. S.—HAIMES, Y. Y.—HALL, W. A.: Dynamic Programming for the Optima Sequencing of Water-Supply Projects, Water Resources Res. 5, 1196—1204, 1969
17. ERLINKOTTER, D.: Sequencing Expansion Projects, Operations Research, 21, (1973) 542—553

An Economically Motivated Construction Program of a Multipurpose Water Management System for the Hajdúháttság (Hajdú table-land). The multipurpose water management system of the region Hajdúháttság is a project which should foster the socio-economical development of this region and of the town Debrecen. Its function will be to satisfy the drinking and industrial water demand of Debrecen, to supply water for the irrigation of the areas of the loess soil of the Hajdúháttság, to create a basis for the recreation open-air bath as well as to overcome the environmental problems caused by the sinking of the subsurface water level. The execution program of the project motivated economically should be established by dynamic programming. The object function minimizes the sum of the first costs, operating costs and that of the mean value of the damages caused by lack of water for an arbitrarily long period. The sensitivity investigation analyses the effect of the changed input data on the optimal operation.

Eine wirtschaftlich motivierte Festlegung des Termins für den Ausbau des Mehrzweck-Wasserwirtschaftssystems auf dem Gebiet Hajdúháttság. Das Mehrzweck-Wasserwirtschaftssystem für das Gebiet Hajdúháttság ist ein Projekt zur Förderung der sozial-wirtschaftlichen Entwicklung dieses Gebiets und der Stadt Debrecen. Das Projekt hat zum Zweck die Versorgung von Debrecen mit Trinkwasser und Industrierwasser sowie vom Bewässerungssystem für die Lößgebiete von Hajdúháttság und die Begründung einer Erholungsmöglichkeit am Badestrand, sowie die Bekämpfung der durch die Senkung des Grundwasserspiegels verursachten Umgebungsprobleme. Die wirtschaftlich motivierte Festlegung des Termins für die der Ausführung des Bauvorhabens erfolgt durch dynamische Programmierung. Die Zielfunktion minimalisiert die Summe der Investitions- und Betriebskosten und des Mittelwertes der aus dem Wassermangel herrührenden Schäden auf eine beliebig lange Zeitdauer. Die Empfindlichkeitsuntersuchung analysiert den Einfluß der veränderten Eingangswerte auf den optimalen Betrieb.



RENDSZERÖSSZEKÖTTETÉSEK MAXIMÁLIS TERHELÉSÉNEK BECSLÉSE

TERSZTYÁNSZKY TIBOR*—TUSNÁDY GÁBOR**

[Beérkezett 1977. január 25-én]

A rendszerösszeköttetések átviteli képességét meghaladó terhelések rendszerüzemzavart okozhatnak. A tanulmány célkitűzése olyan elméleti módszer kidolgozása és bemutatása, amelynek segítségével meghatározható a véletlen jellegű terhelések maximumának adott értéknél nagyobb előfordulásának valószínűsége. Az elméleti úton így kapott értékeket a dolgozat gyakorlatban mért adatokkal összehasonlítja. A módszer alkalmas arra, hogy a villamosenergiarendszerek összeköttetése üzembiztonságának tervezésénél alkalmazzák.

1. Bevezetés

A villamosenergia rendszereket összekötő vezetékeken valósul meg a rendszerek közötti együttműködés, amely lehetővé teszi az erőművek észszerűbb, hatékonyabb kihasználását és a fogyasztók jobb minőségű villamosenergia ellátását. Ez az együttműködés állandóan változó teljesítményáramlásban realizálódik és igen jelentősen hozzájárul a gazdaságos üzemvitelhez, illetve az üzemzavar elhárításához. A rendszerösszeköttetések hasznossága az üzemzavarok idején különösen nagy, és ilyenkor döntő fontosságú, hogy a megfelelő átviteli képesség rendelkezésre álljon. Gyakran éppen ennek a következménye, hogy ezek az összeköttetések nincsenek elég jól kihasználva. Különösen a kisebb energiarendszernek a nagyobbakkal való kapcsolatánál jelentős a szükséges átviteli képességű összeköttetés, mert a kisebb rendszer viszonylag nagyobb kiegészítéseket igényel, ha kihasználja a rendszeregyesülés adta előnyöket (gépegység növelés, erőművi koncentráció stb.).

Kézenfekvő, hogy az üzembiztonság megítéléséhez ez esetben ismerni kell azokat a maximális terheléseket, amelyek a rendszerösszeköttetéseken felléphetnek. Dolgozatunkban javaslatot teszünk az adott időszak alatti átlag teljesítmény maximumának becslésére, amelyet a hálózat és üzemvitel tervezésénél lehet felhasználni.

* Tersztyánszky Tibor H-1363 Budapest P. O. B. 35 (NIM)

** Tusnány György H-1051 Budapest, Reáltanoda u. 13–15. (MTA MAT. KUT.)

2. A rendszerösszeköttetések terhelése

A villamosenergia rendszerek közötti párhuzamos üzem lehetővé teszi a termelés és fogyasztás mindenkori egyensúlyhiányából adódó villamosenergia-cserét. Ezeket általánosságban a következő főbb csoportokra oszthatjuk:

- szerződéses szállítások ÷ determinisztikus szállítás,
- esetenkénti villamosenergia-cserék (teljesítményfrekvencia szabályozás pontatlanság, ad hoc jellegű gazdaságos szállítás, erőművi tartalékok kölcsönös kihasználása, üzemzavari kisegítés stb.) ÷ véletlen jellegű szállítás.

A szerződéses szállításokat előre megtervezik és ennek megfelelően napi, heti, havi periodicitásuk van. Ezen tendenciális változások a konkrét adottságoktól, megállapodásoktól függenek, maximális értékük előre meghatározott és rendszerösszeköttetések erre méretezhetők.

Nem ez a helyzet az esetenkénti villamosenergia szállításokkal, melyek részben az adott rendszer sajátosságai szerint szükségszerűen lépnek fel (ezek az ún. szabályozatlan lengések), részben emberi beavatkozás vagy éppen a be nem avatkozás eredményeképpen jönnek létre (ezek komplex rendszerközi hatások). Ez utóbbi szállítások pl. 1/4, 1/2 órás időintervallumban szélső esetben zérussá szabályozhatók, de ekkor az energiarendszerek együttműködési hasznának jó része elvesznék. Az üzemvitel előnyök érdekében (pl. terhelési görbe hirtelen emelkedése, üzemzavar kisegítés, gazdaságos vétel-eladás) ezért véletlen jellegű tartósabb szállítások indokoltak. A véletlen jellegű szállítások statisztikai jellegű, elméleti alapon nyugvó feldolgozásáról több közlemény jelent már meg, ezek egy része a rövid idejű lengéseket vizsgálja [1, 2], mások a tartósabb szállításokkal foglalkoznak [3]. A kétféle elemzés a teljesítmények átlagolásában tér el egymástól, ti. az egyik másodperces és perces, a másik órás átlagolású. A közleményekből tudjuk, hogy olyan matematikai apparátust használtak, amelynek alapján külön-külön meghatározták a sztochasztikus folyamat stacionárius statisztikai jellemzőit. A valóságban természetesen együtt jelentkezik ez a kétféle terhelés.

A véletlen jellegű szállítások közül igen fontos ismerni a legnagyobb terheléseket, mert ezek éppen akkor lépnek fel, amikor üzemzavari kisegítés is van, és ha a rendszerösszeköttetések átviteli képességét túllépi, akkor rendszerüzemzavar keletkezhetik. Ezért a továbbiakban meg kívánjuk határozni a véletlenszerű teljesítményingadozás várható maximumát.

A vizsgálatunkban a valóságot úgy kívánjuk megközelíteni, hogy a tartós és a rövid idejű véletlen terhelések realizációit külön-külön független eseménynek tekintjük, és a kétfajta terhelés együttes vizsgálatakor az eredő terhelést már nem vesszük függetlennek, mert a tartós terhelésre szuperponálódik a rövid idejű lengés.

3. A villamosenergia-fogyasztás matematikai modellje

Legyen $\xi(t)$ a rendszer pillanatnyi teljesítménye a t időpontban és Δ egy alkalmasan választott időszakasz. A Δ időszakaszra vett átlagos fogyasztás jelentheti az

$$\eta(t) = \frac{1}{\Delta} \int_{t-\Delta/2}^{t+\Delta/2} \xi(t) dt, \quad t \geq \Delta/2$$

integrálközepek folyamatát, vagy ennek diszkrétizált

$$\zeta_i = \eta(i\Delta), \quad i = 1, 2, \dots$$

sorozatát. Feladatunk ennek megfelelően vagy az

$$Y(T, \Delta) = \max_{\Delta/2 < t < T - \Delta/2} \eta(t)$$

vagy a

$$Z(N, \Delta) = \max_{1 \leq i \leq N} \zeta_i$$

valószínűségi változó eloszlásának a meghatározása. Ha feltesszük, hogy $\xi(t)$ Gauss-folyamat, elegendő az

$$E\xi(t) = \mu,$$

$$E(\xi(t) - \mu)(\xi(0) - \mu) = B(t)$$

momentumokat ismerni. Ezeket alkalmas mérésekkel határozhatjuk meg. Mi most néhány egyszerű közelítést adunk erre a függvényre, és ezek mellett határozzuk meg a $Z(N, \Delta)$ valószínűségi változó eloszlását.

4. Független, egyforma eloszlású változók maximuma

Ha a $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_N$ valószínűségi változók függetlenek és egyforma eloszlásúak, akkor a maximumuk eloszlása

$$P(Z < z) = P(\max_{1 \leq i \leq N} \zeta_i < z) = [P(\zeta_1 < z)]^N = F^N(z), \quad (1)$$

ahol F a ζ -k eloszlása. Ha tetszőleges ε -hoz meghatározzuk azt az $M = M(N, \varepsilon)$ számot, melyre

$$\left(1 - \frac{1}{M}\right)^N = 1 - \varepsilon, \quad (2)$$

és ehhez az M -hez az eredeti F eloszlásból az

$$F(z_M) = 1 - \frac{1}{M} \quad (3)$$

egyenlettel definiált kvantiliseket, akkor ez a z_M egyben a maximum ε -szintű felső tolerancia-határát is megadja, ami azt jelenti, hogy ε valószínűséggel fordul elő z_M -nél nagyobb maximum.

Mindezek alapján az 1. táblázatban megadjuk a standard normális eloszlásból számított tolerancia-határokat. A 2. táblázatban pedig a standard

1. táblázat

Független standard normálisok maximumának tolerancia-határai

$\varepsilon =$	0,9	0,5	0,33	0,25	0,2	0,1	0,01	0,001	0,0001
$N =$ 1	— 1,282	0,000	0,431	0,675	0,842	1,282	2,326	3,090	3,719
2	— 0,478	0,545	0,902	1,108	1,251	1,632	2,576	3,290	3,890
5	0,334	1,128	1,420	1,590	1,710	2,036	2,878	3,540	4,108
10	0,822	1,498	1,753	1,904	2,014	2,309	3,090	3,719	4,265
20	1,233	1,826	2,053	2,190	2,287	2,559	3,290	3,890	4,417
50	1,700	2,204	2,405	2,528	2,616	2,862	3,540	4,108	4,612
100	2,015	2,462	2,648	2,761	2,844	3,077	3,719	4,265	4,753
200	2,275	2,701	2,875	2,980	3,057	3,276	3,890	4,417	4,892
500	2,607	2,992	3,153	3,251	3,322	3,527	4,108	4,612	5,069
1000	2,834	3,198	3,350	3,443	3,514	3,705	4,265	4,753	5,199
2000	3,050	3,392	3,537	3,626	3,690	3,879	4,417	4,892	5,327
5000	3,315	3,636	3,772	3,857	3,919	4,096	4,612	5,069	5,491
10000	3,503	3,811	3,941	4,023	4,082	4,252	4,753	5,199	5,612
20000	3,685	3,980	4,104	4,181	4,240	4,407	4,892	5,327	5,730
50000	3,911	4,190	4,312	4,387	4,440	4,600	5,069	5,491	5,885
100000	4,075	4,347	4,462	4,534	4,587	4,743	5,199	5,612	5,998

2. táblázat

A standard normális eloszlás kvantilisei

M	z_M	\tilde{z}_M	s	M_z	\tilde{M}_z
2	0,000	--	2,5	161	142
5	0,842	1,323	2,6	215	191
10	1,282	1,563	2,7	288	259
20	1,645	1,850	2,8	391	353
50	2,054	2,211	2,9	534	487
10^2	2,326	2,463	3,0	741	676
$2 \cdot 10^2$	2,576	2,698	3,1	1036	948
$5 \cdot 10^2$	2,878	2,987	3,2	1455	1342
10^3	3,090	3,192	3,3	2069	1915
$2 \cdot 10^3$	3,290	3,386	3,4	2968	2759
$5 \cdot 10^3$	3,540	3,629	3,5	4299	4010
10^4	3,719	3,804	3,6	6285	5883
$2 \cdot 10^4$	3,890	3,972	3,7	9276	8710
$5 \cdot 10^4$	4,108	4,184	3,8	13831	13015
10^5	4,265	4,339	3,9	20790	19631
$2 \cdot 10^5$	4,417	4,489	4,0	31545	29887
$5 \cdot 10^5$	4,612	4,680	4,1	48458	45930
10^6	4,753	4,820	4,2	75107	71251
$2 \cdot 10^6$	4,892	4,957	4,3	117308	111580
$5 \cdot 10^6$	5,069	5,132	4,4	184957	176396
10^7	5,199	5,261	4,5	294316	281520
$2 \cdot 10^7$	5,327	5,388	4,6	473373	353583
$5 \cdot 10^7$	5,491	5,551	4,7	768758	737807
10^8	5,612	5,670	4,8	1260557	1211640
$2 \cdot 10^8$	5,730	5,787	4,9	2086811	2008910
$5 \cdot 10^8$	5,885	5,941	5,0	3487967	3362848

normális eloszláshoz tartozó z_M értékeket, valamint ennek inverzeként a

$$F(z) = 1 - \frac{1}{M_z} \quad (3a)$$

összefüggésből számított M_z értékeket adjuk meg.

Nagy N -ek mellett jó közelítést kapunk abból, hogy (2) szerint

$$M = \frac{1}{1 - (1 - \varepsilon)^{1/N}} \sim N \cdot E, \quad (4)$$

ahol

$$E = \frac{1}{\log \frac{1}{1 - \varepsilon}} = \frac{1}{\varepsilon} - \frac{1}{2} - \frac{\varepsilon}{12} - \frac{\varepsilon^2}{24} - \dots$$

Ennek a függvénynek néhány értéke a következő:

ε	0,9	0,5	0,33	0,25	0,2	0,1	0,01	0,001
E	0,435	1,44	2,47	3,48	4,48	9,49	99,5	999,5

Ezek alapján közelítő értékeket adhatunk a 2. táblázat z_M és M_z számaira felhasználva, hogy nagy z mellett $F(z)$ közelíthető $1 - (1/z)\varphi(z)$ -vel. Így kapjuk, hogy

$$\tilde{z}_M = \sqrt{2C_M - \log C_M}, \text{ ahol } C_M = \log \frac{M}{\sqrt{2\pi}}, \quad (5)$$

illetve az

$$\tilde{M} = z/\varphi(z) \quad (5a)$$

függvényekkel, ahol $\varphi(z)$ a standard normális sűrűségfüggvény.

Az összehasonlítás kedvéért ezeknek az értékeit is megadtuk a 2. táblázatban. Például ezer normális valószínűségi változó maximum az 1. táblázat szerint 0,1 valószínűséggel kerül 3,705 fölé. Mivel $E(0,1) = 9,49$, ez a szám közelíthető az $M = 9490$ elemszámhoz tartozó z_M kvantilissel, ami a 2. táblázat szerint kb. 3,7 és ugyanerre az értékre (5) alapján a $\tilde{z}_{9490} \sim 3,8$ közelítést kapjuk.

5. Nem függetlenek egy speciális esete: Ekvikorrelált normálisak maximuma

Említettük már, hogy ha a $\zeta_1, \zeta_2, \dots, \zeta_N$ valószínűségi változók eloszlása standard normális, a maximumok eloszlása csak a kovariancia-matrixuktól függ. Ennek i -edik sorának j -edik eleme a

$$\varrho_{ij} = E\zeta_i\zeta_j$$

kovariancia (mivel a szórások egységnyiek, $i \neq j$ mellett az egyben a korrelációs együttható értékét is megadja). Tegyük fel, hogy

$$\rho_{ij} = \rho, \text{ ha } i \neq j,$$

azaz a ζ -k közül bármelyik kettő korrelációs együtthatója ugyanaz az érték. Azt is feltesszük, hogy $\rho \geq 0$, hiszen a vizsgálat feladatban ennek van realitása. Ebben az esetben (1) már nem lesz igaz, viszont annak semmi akadálya, hogy tetszőleges N, z mellett megkeressük azt a

$$\mu = \mu(N, Z, \rho)$$

számot, melyre

$$P_N(z, \rho) = P(\max_{1 \leq i \leq N} \zeta_i > Z) = \Phi^\mu(Z)$$

teljesül, ahol $\Phi(z)$ a standard normális eloszlásfüggvény. (Eszerint μ darab független standard normális maximuma ugyanolyan valószínűséggel kisebb z -nél, mint N darab ρ korrelációjú standard normális maximuma.)

A ζ változók előállíthatók

$$\zeta_i = \rho\beta + \kappa\gamma_i \quad i = 1, 2, \dots$$

alakban, ahol β és a γ_i -k független standard normálisok, és $\kappa = \sqrt{1 - \rho^2}$.

Emiatt a teljes valószínűség tételéből kapjuk, hogy

$$P_N(z, \rho) = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) \Phi^N\left(\frac{z - \rho t}{\kappa}\right) dt.$$

Ennek alapján a 3. táblázatban megadjuk példaként numerikus integrálással a $\rho = 0,8575$ értékhez tartozó μ exponensek néhány értékét. Ez az a korrelációs együttható, mely mellett $c = \kappa/\rho = 0,6$, tehát a ζ -kban levő független hatás (ez a $\kappa\gamma$) szórása a közös tényező (azaz a $\rho\beta$) szórásának 60%-a.

3. táblázat

Ekvikorrelált standard normálisok maximumához tartozó függetlenek száma $\rho = 0,8575$ mellett

	$z = 3$	$z = 4$	$z = 5$
$N = 4$	3,0257	3,5129	3,7818
16	7,8232	10,7093	13,1451
64	16,5000	27,9983	40,8044
256	30,3231	63,6575	112,8025
1024	48,4094	115,7842	272,0648

6. A kovariancia-függvény mátrix-közelítése

A bevezetőben mondottak alapján indokoltnak látszik, ha a tartósabb és a rövidebb terhelések eredőjét reprezentáló ζ_i változókat a

$$\zeta_i = \alpha_{jk} = \rho\beta_j + \kappa\gamma_{jk}$$

mátrix elemeivel közelítjük, ahol $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, m$; a β_j, γ_{jk} változók független standard normálisok, és $\rho^2 + \kappa^2 = 1$.

Ebben az előállításban az első tag a hosszabb időegységre (pl. 1 óra) vett átlagfogyasztás, a második pedig a rövidebb időszakos (pl. 5–10 s) átlagfogyasztásának ettől való eltérése.

Az α_{jk} mátrix elemeinek a maximumát az ún. Monte Carlo-módszerrel vizsgáltuk meg. E módszer lényege, hogy a számológép maga generál véletlen számokat, és a számítandó mennyiséget közvetlenül ezekből határozzuk meg. A forgalomban levő számológépek általában olyan véletlen számokat generálnak, amelyek a (0, 1) intervallumban egyenletesen oszlanak meg, és ebből úgy állítanak elő normális eloszlású változókat, hogy tizenkettőt összeadnak, és az összegből levonnak hatot. Véleményünk szerint ez a nagy értékek felé torzít, ezért megpróbáltuk ezt az eljárást egy MASAGLIATÓL származó módszerrel helyettesíteni. A kapott eredmények elfogadhatatlanok voltak, ennek oka valószínűleg a módszer érzékenysége. Így mégis visszatértünk a várhatóan kicsit torzító, de stabilisnak látszó könyvtári rutinhoz.

Ezzel kétféle futást végeztünk. Az elsőben a paraméterek értéke

$$n = 100, \quad m = 10, \quad \rho = 0,8575$$

volt és összesen 100 mátrixot generáltunk. Ennek eredményeit a 4. táblázatban adjuk meg. A második futásnál a paraméterek értéke

$$n = 700, \quad m = 70, \quad \rho = 0,8575$$

volt és összesen 10 mátrixot generáltunk. Az eredményeket az 5. táblázatban adjuk meg. Mindkét esetben a kapott maximumok közül a nagyság szerint S-ediket adjuk meg S néhány értéke mellett. Jelöljük ennek értékét z_s -sel, ehhez a 2. táblázat alapján meghatároztuk az

$$M = M_z,$$

4. táblázat

Száz mátrix maximuma: $n = 100, m = 10, \rho = 0,8575$

S	z	M	μ
1	4,09000	43981	4,40
2	4,05808	38317	7,66
5	3,89750	19429	9,71
10	3,72512	9626	9,63
20	3,50950	4157	8,31
25	3,43405	3130	7,82
33	3,37123	2481	8,27
50	3,22357	1458	7,29

5. táblázat

Tíz mátrix maximuma: $n = 700$, $m = 70$, $\rho = 0,8575$

S	z	M	μ
1	4,73941	896160	128,02
2	4,26516	95334	27,24
3	4,12294	50757	21,75
4	4,03199	34257	19,58
5	3,97263	26615	19,01

értéket, majd a

$$\mu = \frac{SM}{nG}$$

hányadost, ahol G a generált mátrixok száma.

Ez a μ azt adja meg, hogy hány független standard normálist kellene a mátrix soraiba tennünk, ha azt akarnánk, hogy G mátrix maximuma közül a nagyság szerint S -edik várhatóan épp annyi legyen, mint z_s .

Mint látjuk, a kapott μ értékek összhangban vannak a 3. táblázat eredményeivel, bár az 5. táblázat μ -jeiben már jelentkezik a mondott torzító hatás.

Köszönettel kell itt megemlítenünk, hogy az összes számítógépen végrehajtott számításokat a VEIKI R-40 típusú számítógépen SZENDY Dezső végezte.

7. Az elméleti és gyakorlati adatok egyezése

A következőkben megvizsgáljuk, hogy a leírt elméleti megfontolások alapján a különböző biztonsági szintekhez milyen maximális értékek tartoznak és összehasonlítjuk a magyar villamosenergia-rendszer tényleges maximális, tervenkívüli import vételezésével. A vizsgálatot az órás átlagú terhelésre végezzük el.

A maximális terhelésnek egy z terhelésnél nagyobb érték előfordulásának valószínűsége

$$P(\max \zeta > z) = 1 - \Phi^N(z),$$

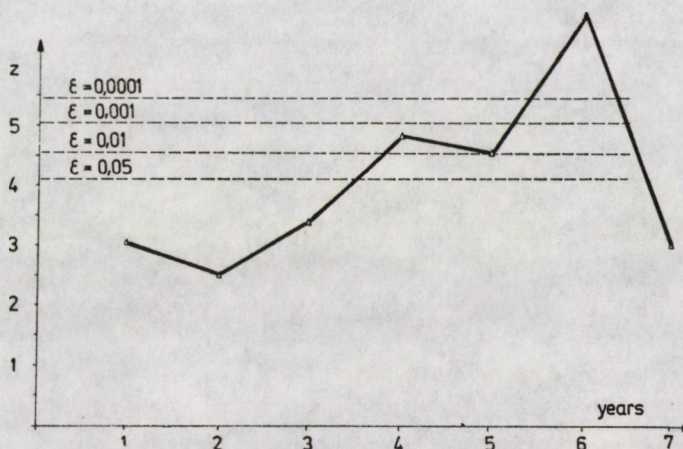
ahol N a vizsgált terhelések számát jelenti, Φ a terhelés eloszlásfüggvénye. Ha ε valószínűséggel kívánjuk meghatározni azt a legnagyobb terhelést, amelyet a maximum nem lépi túl, akkor

$$\Phi(z) = \sqrt[N]{1 - \varepsilon} \sim 1 - \frac{\varepsilon}{N}.$$

Feltételezve, hogy a terhelések normális eloszlással rendelkeznek, akkor a 2. táblázatból meghatározzuk az $M = N/\varepsilon$ -hez tartozó értéket.

Számszerű összehasonlítást az évente mintegy 3800 órás nagyterhelésű időszakra 6 éven át végzett terhelésmérések alapján az 1. ábra mutatja be.

Megjegyezzük, hogy az $\varepsilon = 0,0001$ valószínűséghez tartozó értéket azért számítottuk ki, mert az amerikai gyakorlatban a garantált szállítást biztosító rendszerösszeköttetések üzembiztonságát 0,9999-re veszik fel.



1. ábra

A kiugró érték azt mutatja, hogy a tényleges maximális értékek nem mindig a számítás alapjául felvett normális eloszlású terhelésekből adódnak. Megállapítható azonban, hogy a további felhasználás céljaira pl. a rendszerösszeköttetések tervezése, a kidolgozott módszer gyakorlatilag megfelel.

IRODALOM

1. PORTNOJ—TIMCSENKO: Ucset neregularnüh kolebanij mosnoszti — *Elektricseszto* (1968), 8. sz.
2. PORTNOJ—SZOVALOV—TIMCSENKO—KUSZTOV: Verojatnue karakterisztiki neregularnüh kolebanij — *Elektricseszkie Sztancii* (1976), 3. sz.
3. ESZTERHÁS—TERSZTYÁNSZKY: Analysis of One-Hour Average Power Flows between Systems with the Probability Theory — *Acta Techn. Hung.* **84**, (1977)

An Estimation of the Maximum Loads of Interconnexions. Loads in excess of transmission capacities of tie-lines may cause system disturbances. The paper presents a theoretical method which can be used for determining the probability of maximum loads of random character occurring above a given value. The obtained theoretical values are compared with data measured in practice. The method is suitable for planning the reliability of interconnexions between electrical power systems.

Abschätzung der maximalen Belastung von Systemverbindungen. Belastungen, welche die Übertragungsfähigkeit von Systemverbindungen übersteigen, können Systemstörungen verursachen. Ziel der Arbeit ist es, eine solche theoretische Methode auszuarbeiten und vorzustellen, mit welcher die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines einen gegebenen Wert übersteigenden Maximums der stochastischen Leistung bestimmt werden kann. Die derart theoretisch erhaltenen Werte werden mit in der Praxis gemessenen Werten verglichen. Das Verfahren kann zweckmässig, bei der Projektierung der Betriebssicherheit von Verbindungen zwischen elektrischen Energiesystemen angewendet werden.

MEGJEGYZÉSEK A FOGASKEREK FOGSÚRLÓDÁSI VESZTESÉGÉNEK SZÁMÍTÁSÁHOZ

HUSZTHY LÁSZLÓ*

[Beérkezett 1975. február 24-én]

Fogaskerékpárok fogsúrlódási veszteségeivel számos könyv és szakcikk foglalkozik. A különböző szerzők által — evolvens fogazatú kerékpárookra — levezetett és lényegükben egyenértékű képletekben a súrlódási tényező valamilyen kísérlettel meghatározott átlagérték. E cikk az „átlagos” súrlódási tényező értelmezését kívánja pontosabbá tenni, ill. azokat a feltételeket tisztázni, amelyek mellett a fogsúrlódási veszteségre vonatkozó összefüggések érvényesek.

Jelölések

a	= tengelytáv,
d_1, d_2	= a kis, ill. a nagy kerék gördülőkörének átmérője,
e_1, e_2	= kapcsolószakasz-hosszak a főponttól a fejkörökig,
i	= áttétel,
k, l	= a kettős kapcsolódásnak megfelelő szakaszok hossza a kapcsolóvonalon,
r_1, r_2	= a kis, ill. a nagy kerék gördülőkörének sugara,
r_{a1}, r_{a2}	= a kis, ill. a nagy kerék alapkörének sugara,
i	= osztás,
t_a	= alaposztás,
u_1, u_2	= egyedi kapcsolódási szakaszok hossza a kapcsolóvonalon,
v	= kerületi sebesség a főpontban,
v_1, v_2	= a kis, ill. a nagy kerék fogprofiljához érintőleges sebesség-összetevők a kapcsolódási pontban,
v_a	= az átlagos csúszási sebesség a fogak között,
$v_r = v_1 - v_2$	= relatív csúszási sebesség a fogak között,
$v_s = v_1 + v_2$	= ún. szállító sebesség,
z_1, z_2	= a kis, ill. a nagy kerék fogszáma,
x, y	= koordináták,
A, E	= a kapcsolószakasz végpontjai,
E_1, E_2	= az egyedi kapcsolószakasz végpontjai,
C	= főpont,
F_n	= a normális irányú fogerő nagysága,
M	= forgató nyomaték,
P	= teljesítmény,
W_0	= az időegységre eső fogsúrlódási munka,
W_a	= a kapcsolóvonal t_a alaposztásnyi szakaszára eső fogsúrlódási munka,
W_k	= egy fogpár kapcsolódásának időtartamára eső fogsúrlódási munka,
α	= kapcsolószög,
ε	= kapcsolószám,
ξ	= a kenőanyag viszkozitása,
η	= hatásfok,
μ	= súrlódási tényező,
τ	= idő,
ω_1, ω_2	= a kis, ill. a nagy kerék szögsebessége.

Az ezektől esetenként eltérő jelölések magyarázata a szövegben megtalálható.

* Huszthy László, 3552 Miskolc, Rác Ádám u. 13.

Bevezetés

A gyakorlatban a fogaskerékpárok méretezésének többféle elve valósul meg aszerint, hogy a hajtómű milyen célra készül, milyen várható üzemi viszonyok között fog működni. A rendkívül bő irodalomban megtalálhatók azok a méretezési eljárások, amelyek a tervezett fogaskerékpárnál a hosszú élettartamot, a nagy szilárdságot (töréssel és felületi károsodással szemben), a hidrodinamikai kenésállapot megvalósításának lehetőségét, a nyugodt, zajtalan járást stb. biztosítják, ill. esetleg több kedvező tulajdonság együttes elérését célozzák [2], [3], [11], [12], [14].

A fogaskerék-hajtóművek alkalmazási területein a fogsúrlódási veszteségnek *általában* nincs különösebb jelentősége. Megfelelő anyagból készült, pontosan megmunkált és szerelt, jól karbantartott hajtóműveknél egy-egy kerékpár fogsúrlódási veszteségének százalékos értéke általában elhanyagolható az átvitt teljesítményhez képest ($0,2 \div 1,5\%$).

Mégis vannak esetek, amikor a fogsúrlódási veszteség lényeges nagyságú lehet, illetve amikor a súrlódás a fogakon károsodást okozhat.

THOMAS „Die Tragfähigkeiten der Zahnräder” c. könyvében [12] megemlíti: „Egészen kis fordulatszámoknál a kis csúszási sebesség miatt fémes súrlódással és ezért aránylag kisebb élettartammal kell számolni — kb. feleakkorával, mint közepes fordulatszámoknál — . . . egészen nagy fordulatszámoknál a kenőanyag kicsapódása miatt éppúgy fémes súrlódás lép fel. Ilyen kerek már kis terhelésnél is hajlamosak a hőfutásra és a berágódásra.”

DUDLEY „Gear Handbook”-jában [3] arra is felhívja a figyelmet, hogy „. . . ha gyorsító hajtással kell teljesítményt átvinnünk a lehető legkevesebb energiavesztéssel, . . . a csúszást a lehető legkisebb értéken kell tartani; . . . a gyorsító hajtás a legérzékenyebb a fogak közötti súrlódásra”. Továbbá: „Gyorsító hajtásoknál a nagyobb hatásfoknak figyelemreméltó jelentősége lehet; megtörténtek esetek, amikor a nagy súrlódás és elégtelen kenés miatt a gyorsító hajtómű önzáró lett.” (Nagy súrlódási tényező esetén a hajtott kerékre ható normális irányú fogerő és a súrlódási erő eredője a kapcsolódás belépő szakaszában erősen eltérhet a fognormális irányától a hajtott kerék tengelye felé, így az átvitt forgatónyomaték lényegesen csökkenhet; gyorsító hajtásnál a kapcsolódás belépő szakaszában a hajtó kerék fogának láb részén bemélyedés, a hajtott kerék fogának fejrészén dudor keletkezik [13], ami fékező hatású.)

Nagy teljesítmények átvitelekor a fogsúrlódási veszteség — ha százalékosan nem is —, de nagy értéket tehet ki, ilyen esetekben feltétlenül hasznos a súrlódás csökkentése [11].

A súrlódási hő elvezetése szempontjából mindenképpen lényeges a fogsúrlódási veszteség értékének ismerete, és lehetőleg csökkentése.

A következőkben az egyenes fogú hengeres fogaskerékpárok fogsúrlódási veszteségének számításával kapcsolatban teszünk néhány megjegyzést.

Feltesszük, hogy pontosan gyártott és szerelt hajtóművekről van szó.

1. A fogsúrlódási veszteségekről általában

Fogaskerekek kapcsolódásakor a fogsúrlódási teljesítmény pillanatnyi értéke

$$P = \mu F_n |v_r|. \quad (1)$$

Ha egy fogaskerékpár a tengelytávon i áttétellel működik, és az egyik kerék (általában a kis kerék) fogprofilját valamilyen $\tau = 0$ időpontban alkalmas koordináarendszerben (1. ábra) az

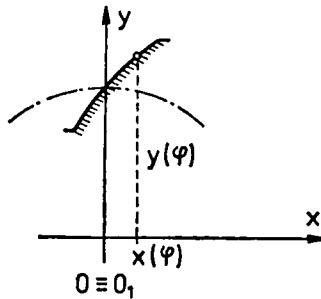
$$x = x(\varphi) \quad (2)$$

$$y = y(\varphi)$$

egyenletek írják le, ahol φ geometriai paraméter, akkor az ezzel kapcsolódó másik kerék fogprofilját leíró egyenletek is egyértelműen kiadódnak, és meghatározható a kapcsolódó fogprofilok relatív csúszási sebessége, valamint a normális irányú fogerő is a kapcsolódási pontban.*

A fogsúrlódási teljesítmény (1) képletében v_r kiszámítása a legegyszerűbb. A [6] szerinti, (29) összefüggés alapján

$$|v_r| = \frac{\omega_1}{i} \sqrt{a^2 - 2a(1+i)(x \sin \omega_1 \tau + y \cos \omega_1 \tau) + (1+i)^2(x^2 + y^2)} \quad (3)$$



1. ábra

* A φ paraméter konkrét jelentése e cikk további fejtegetéseiben nem lényeges; e paraméter geometriai jellegének van jelentősége (φ lehet szög, ívhossz, távolság stb.). Úi. ha a sík-görbe profil leírására a $z = x(\varphi) + jy(\varphi)$ síkvektort (komplex számot) használjuk (j a képzetes egység), akkor a $z' = x'(\varphi) + jy'(\varphi)$ derivált jelentése a profil valamely pontjabeli érintővektor, míg a forgó profil $z = x(\varphi; \tau) + jy(\varphi; \tau)$ vektorának τ szerinti deriváltja sebesség jellegű.

és fennáll még a [6] cikk (13) képletének megfelelően a

$$\tau(\varphi) = \frac{1}{\omega_1} \left[\arcsin \frac{(1+i)(xx' + yy')}{a\sqrt{x'^2 + y'^2}} - \arctan \frac{y'}{x'} \right] \quad (4)$$

$x' \neq 0$

összefüggés is. (A vesszős jelölés φ szerinti deriváltat jelent.)

A (4) összefüggés kapcsolatot létesít a kezdő helyzetben adott profil tetszőleges pontjának φ paramétere és azon τ időpont között, amelyben a kérdéses φ paraméterű pont kapcsolódási helyzetbe kerül.

A (3) és (4) összefüggés egybevetésével $|v_r|$ kifejezhető csak φ -nek, vagy csak τ -nak a függvényeként.

Nagy terhelések esetén a fogak (és a hajtómű többi elemei is) deformálódnak ugyan, de ezek a deformációk nincsenek lényeges befolyással a $v_r(\tau)$ függvényre.

Nagyobb gondot okoz az F_n normális irányú fogerő kiszámítása. Ha a fogak alakja matematikailag pontos (pontosan eleget tesz az $i =$ állandó feltételnek), továbbá csak olyan kis terhelések vannak, vagy a hajtómű felépítése olyan merev, hogy nincsenek számottevő deformációk, akkor az egyik kerék fogprofilját meghatározó (2) függvények az F_n erő nagyságát is meghatározzák: [6] (40) képlete szerint

$$F_n = M_1 \frac{\sqrt{x'^2 + y'^2}}{xx' + yy'}, \quad (5)$$

és itt is érvényes a (4) összefüggés, amelynek segítségével F_n is felírható vagy csak φ , vagy csak τ függvényeként. Feltesszük, hogy a fognyomás eloszlása a fog hossza mentén egyenletes.

Ha azonban nagy terhelések és a hajtómű szerkezeti kialakítása miatt a hajtómű elemein számottevő deformációk keletkeznek, akkor a fognyomás eloszlása a fog hossza mentén jóval bonyolultabb. Ilyen esetekre is van megfelelő számítási eljárás, amellyel a fognyomás eloszlása jó közelítéssel meghatározható [15], ekkor azonban már olyan bonyolult kifejezés adódik az $F_n|v_r|$ szorzatra, hogy annak gyakorlati felhasználása igen nehézkes volna. A fognyomás pontról pontra változó, csak annyi igaz, hogy a fognyomásnak a fog hossza mentén vett integrálja az (5) képlettel adott erővel egyenlő.

A fogsúrlódásnak a valóságot jól közelítő, tisztán elméleti számítását a súrlódási tényezőt leíró függvény bonyolultsága teszi szinte lehetetlenné.

A súrlódási tényező sok változótól függ [1], [7], [8], [9], [10], [13]. Az irodalomban megtalálható részletek mellőzésével csak azokat a lényegesebb paramétereket soroljuk fel, amelyek a súrlódási tényező értékét erősen befolyásolják:

- a kapcsolódó profilok alakja,
- a fogfelületek érdessége,

a fogak anyagjellemzői,
 a fogak relatív csúszási sebessége,
 a kenőanyag pillanatnyi viszkozitása,
 a súrlódási állapot (tiszta fémes súrlódás, határreteg-súrlódás, többé-kevésbé hidrodinamikai kenésállapot),
 a fogfelületeket bevonó esetleges oxidréteg, szennyeződés, stb.
 A felsorolt paraméterek egymással is igen bonyolult kapcsolatban vannak, hogy csak a legfontosabbakat említsük:
 terhelés alatt a fogak — a hajtómű elemeivel bonyolult összefüggésben — deformálódnak,

a deformációk megváltoztatják a fognyomás eloszlását,
 a kenőanyag viszkozitása erősen változik a hőmérséklettel,
 a mechanikai erőhatások, de a kenőanyag jelenléte miatt is a fogak felületi rétegeiben megváltoznak az anyagjellemzők stb.

A kísérletekre támaszkodó, részben empirikus képletek segítségével elvileg lehetséges volna a súrlódási tényezőnek a kapcsolódás alatti időbeli változását leíró $\mu(\tau)$ függvény, vagy a $\mu(\varphi)$ függvény megszerkesztése; így a pillanatnyi súrlódási teljesítmény felírható lenne $P(\tau)$ vagy $P(\varphi)$ alakban, s ezzel vizsgálni lehetne a súrlódási teljesítményt időpontról időpontra, vagy profilpontról profilpontra a legkülönbözőbb fogazatoknál is. Egy ilyen $P(\tau)$ vagy $P(\varphi)$ függvény azonban rendkívül bonyolult, ha viszont a számítás könnyítése céljából elhanyagolásokat teszünk, az amúgy is viszonylagosan kis súrlódási veszteség számértékének megbízhatósága irreálissá válik.

2. Az evolvens fogazat fogsúrlódási vesztesége

a) Ha $\omega_1 =$ állandó, akkor a profilok kapcsolódási pontja $r_{a1}\omega_1 =$ állandó sebességgel futja be az \overline{EA} kapcsolószakaszt (2. ábra). Ebben az esetben a kapcsolóvonal egyúttal egyenletes beosztású időtengelynek is tekinthető. Ha a C főponthoz rendeljük a $\tau = 0$ időpontot, akkor

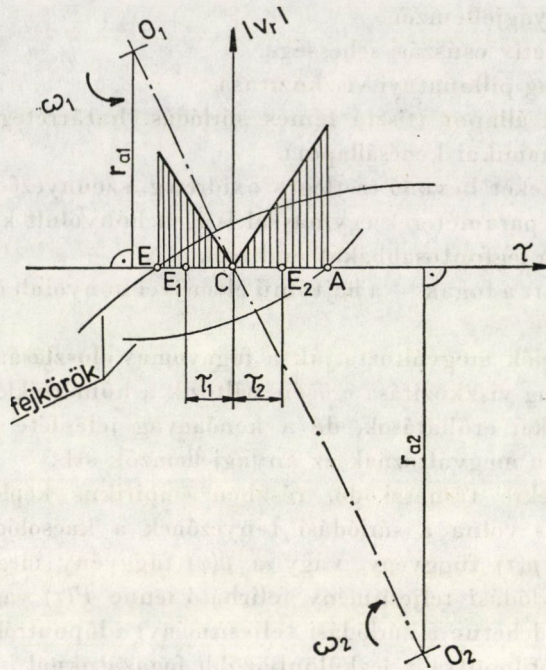
$$|v_r| = (\omega_1 + \omega_2)r_{a1}\omega_1 |\tau|. \quad (6)$$

Ha feltesszük, hogy $\mu =$ állandó, akkor az egyedi kapcsolódás $\overline{K_1K_2}$ szakaszán a súrlódási munka [5] szerint:

$$\begin{aligned} W &= \mu F_n \int_{-\tau_1}^{\tau_1} |v_r| d\tau = \mu F_n (\omega_1 + \omega_2) r_{a1} \omega_1 \int_{-\tau_1}^{\tau_1} |\tau| d\tau = \\ &= \frac{1}{2} \mu F_n (\omega_1 + \omega_2) r_{a1} \omega_1 (\tau_1^2 + \tau_2^2). \end{aligned}$$

Mivel

$$\tau_1^2 + \tau_2^2 = \left(\frac{\overline{E_1C}}{r_{a1}\omega_1} \right)^2 + \left(\frac{\overline{CE_2}}{r_{a1}\omega_1} \right)^2 = \frac{\overline{E_1C^2} + \overline{E_2C^2}}{r_{a1}^2\omega_1^2},$$



2. ábra

illetve

$$\overline{E_1C} = u_1$$

$$\overline{E_2C} = u_2$$

jelöléssel

$$\tau_1^2 + \tau_2^2 = \frac{u_1^2 + u_2^2}{r_{a1}^2 \omega_1^2},$$

ezért

$$W = \frac{1}{2} \mu F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{r_{a1} \omega_1} (u_1^2 + u_2^2). \quad (7)$$

Ha $\varepsilon = 1$, akkor $u_1 = e_1$, $u_2 = e_2$ és

$$W_k = \frac{1}{2} \mu F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{r_{a1} \omega_1} (e_1^2 + e_2^2). \quad (8)$$

Állandó súrlódási tényező és egyedi kapcsolódás esetén a pillanatnyi súrlódási teljesítmény (1) alapján $|v_r|$ értékével arányos (3. ábra). A (7) szerinti súrlódási munka a grafikon alatti területtel arányos.

Vizsgáljuk azt az esetet, amikor kettős kapcsolódás is van (4. ábra).

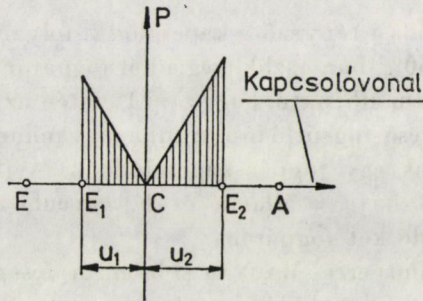
Tegyük fel egyelőre, hogy $\mu =$ állandó és hogy a kettős kapcsolódás k , ill. l szakaszain az F_n normális irányú fogerő fele-fele arányban oszlik meg az egyidejűleg kapcsolódó két fogpáron. Ekkor az egyes szakaszokon a súrló-

dási teljesítményt a 4. ábra grafikonja mutatja; a súrlódási munka a grafikon alatti területtel arányos.

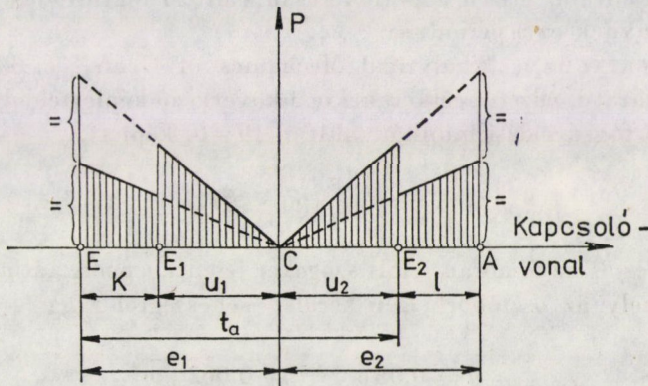
Mialatt egy kiválasztott fogpár kapcsolódási pontja $E \rightarrow A$ irányban végigfut a kapcsolóhosszon, az elfogyasztott súrlódási munkát — most már csak a szemléletre támaszkodva — a következőképpen kapjuk:

Összeadjuk a kettős kapcsolódás k , ill. l szakasza feletti területeket (miközben ui. a vizsgált fogpár kapcsolódási pontja az $\overline{EE_1}$ szakaszt végigfutja, ezzel egyidőben futja be a szomszédos — előző — fogpárnak az előbbbitől t_a távolságban levő kapcsolódási pontja az $\overline{E_2A}$ szakaszt), ehhez hozzáadjuk az egyedi kapcsolódás u_1, u_2 szakaszai feletti területeket, végül az így kapott összeghez még egyszer hozzáadjuk a k és l szakaszok feletti területeket (ui. a vizsgált fogpár $\overline{E_2A}$ szakaszbeli kapcsolódásával egyidőben futja be a szomszédos — következő — fogpár kapcsolódási pontja az $\overline{EE_1}$ szakaszt).

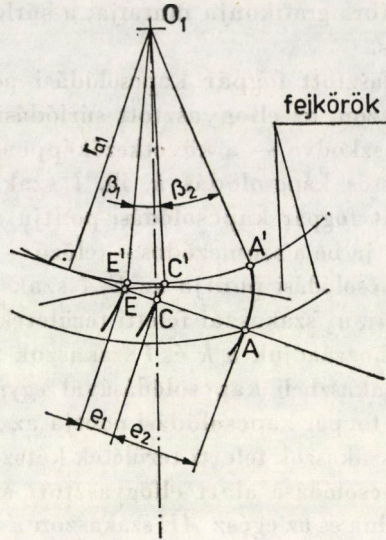
Mivel így a k és l szakaszok feletti területek kétszerese szerepel az összegben, az egy fogpár kapcsolódása alatt elfogyasztott súrlódási munka ugyanannyi, mintha $\varepsilon = 1$ volna és az egész \overline{AE} szakaszon a teljes F_n fogerő működne egyetlen fogpáron, tehát a (8) keplet ekkor is helyes.



3. ábra



4. ábra



5. ábra

Valójában a súrlódási tényező a kapcsolódás folyamán változó és az F_n erő sem pontosan $50 \div 50\%$ -ban oszlik meg a két fogpáron a kettős kapcsolódás alatt, ezért általában nem állítható, hogy $\varepsilon \neq 1$ esetén az egy fogpár kapcsolódásának időtartamára eső fogsúrlódási munka ugyanannyi volna, mintha az egész \overline{AE} szakszon csak egy fogpár kapcsolódnék. A (8) képlet tehát csak akkor igaz, $\varepsilon \neq 1$ -re is, ha $\mu =$ állandó és F_n egyenlő arányban oszlik meg az egyidőben kapcsolódó két fogpáron.

Egyébként — mint erre MAGYAR József professzor felhívta a szerző figyelmét — ésszerűbb a fogsúrlódási munkát nem egy fogpár teljes kapcsolódásának időtartamára, hanem a $t_a = \overline{EE}_2$ szakasz befutásához szükséges időtartamra számítani, hiszen a periodikusan változó fogsúrlódási teljesítményt leíró függvénynek ez a periódusa.

b) BUCKINGHAM „Analytical Mechanics of Gears” c. könyvében [2] evolvens fogazatú, edzett acélkerekekre a következő képlettel adja meg az időegységre eső fogsúrlódási munkát (401. o. 19–6. képlet):

$$W_0 = \frac{F_n r_{a1} \omega_1}{\beta_1 + \beta_2} \left[\frac{\mu}{2} (\beta_1^2 + \beta_2^2) \left(1 + \frac{1}{i} \right) \right]. \quad (9)$$

Itt β_1 és β_2 az 5. ábrán jelölt szögeket jelenti, μ pedig „átlagos” súrlódási tényező, amely az osztókörbéli v kerületi sebességtől függ (406. o. 19–12. képlet):

$$\mu = 0,05 e^{-0,125v} + 0,002 \sqrt{v}. \quad (10)$$

itt v dimenziója láb/perc.

Hasonló összefüggések találhatóak [2]-ben más anyagú kerekre is.

Megjegyzés. A hivatkozott könyvben a W_0 munkára vonatkozó képlet hibás; az egyenlőségjel utáni tört nevezőjében a könyvben $\beta_1 + \beta_2$ helyett $W_1 + W_2$ áll, ami a könyv jelölései szerint a hajtó kerék által a kapcsolódás belépő, ill. kilépő szakaszán leadott munka.

Ha figyelembe vesszük, hogy a $\beta_1 + \beta_2$ szög befutásához szükséges időtartam

$$\tau_{12} = \frac{\beta_1 + \beta_2}{\omega_1},$$

akkor egy fogpár teljes kapcsolódási tartományában a fogsúrlódási munka

$$\begin{aligned} W_k &= W_0 \tau_{12} = \frac{F_n r_{a1} \omega_1}{\beta_1 + \beta_1} \left[\frac{\mu}{2} (\beta_1^2 + \beta_2^2) \left(1 + \frac{1}{i} \right) \right] \frac{\beta_1 + \beta_2}{\omega_1} = \\ &= \frac{\mu}{2} F_n r_{a1} (\beta_1^2 + \beta_2^2) \left(1 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \right) = \frac{\mu}{2} F_n r_{a1} \frac{\omega_1 + \omega_2}{\omega_1} (\beta_1^2 + \beta_2^2). \end{aligned}$$

Az 5. ábrából leolvasható, hogy

$$\beta_1^2 + \beta_2^2 = \left(\frac{E'C'}{r_{a1}} \right)^2 + \left(\frac{C'A'}{r_{a1}} \right)^2 = \frac{EC^2 + CA^2}{r_{a1}^2} = \frac{e_1^2 + e_2^2}{r_{a1}^2},$$

így végül

$$W_k = \frac{\mu}{2} F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{r_{a1} \omega_1} (e_1^2 + e_2^2),$$

ami azonos a (8) képlettel.

Az a) pontban tett megállapítások alapján a Buckingham-féle (9) képlet — amely formailag az $\varepsilon = 1$ kapcsolószámú, vagy $\varepsilon \neq 1$ mellett a kettős kapcsolódás tartományában $F_n/2 - F_n/2$ erőmegoszlású és állandó súrlódási együtthatójú esetet tükrözi, csak úgy használható, ha μ kísérlettel meghatározott „átlagos” érték.

c) A „Lubrication of Industrial Gears” c. Shell-kiadvány [9] az evolvens fogazatú kerékpárok hatásfokára az

$$\eta = 100 - \mu \delta \quad (11)$$

képletet adja meg, ahol μ „átlagos” súrlódási tényező:

$$\mu = \frac{3,5}{\zeta^{0,25} \sin \alpha \left(\frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)^{0,5} \cdot v^{0,5}} \quad (12)$$

ebben a képletben az állandók az angol mértékrendszernek megfelelő értékek, ζ dimenziója centistokes, az átmérőké inch, a sebességé láb/perc.

A (11)-ben szereplő alaktényező:

$$\delta = \frac{100}{\cos \alpha} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2}. \quad (13)$$

Megfelelő átalakításokkal

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{100}{\cos \alpha} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right) \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = 100 \left(\frac{1}{2r_1 \cos \alpha} + \frac{1}{2r_2 \cos \alpha} \right) \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = \\ &= 100 \left(\frac{1}{2r_{a1}} + \frac{1}{2r_{a2}} \right) \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = 100 \frac{r_{a1} + r_{a2}}{2r_{a1}r_{a2}} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = \\ &= 100 \frac{r_{a1} + 1}{2r_{a1}} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = 100 \frac{\omega_2 + 1}{2r_{a1}} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = \\ &= 100 \frac{\omega_1 + \omega_2}{2r_{a1}\omega_1} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{e_1 + e_2} = 100 F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{2r_{a1}\omega_1} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{F_n(e_1 + e_2)}. \end{aligned}$$

Itt az utolsó tört nevezőjében álló $F_n(e_1 + e_2)$ kifejezés az egy fogpár kapcsolódása alatt *bevezetett* munka.

Végül

$$\begin{aligned} \eta &= 100 - \mu\delta = 100 - 100\mu F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{2r_{a1}\omega_1} \cdot \frac{e_1^2 + e_2^2}{F_n(e_1 + e_2)} = \\ &= 100 \left[1 - \frac{\frac{\mu}{2} F_n \frac{\omega_1 + \omega_2}{r_{a1}\omega_1} (e_1^2 + e_2^2)}{W_{\text{bevezetett}}} \right]. \end{aligned}$$

Ez a képlet megfelel a hatásfok definíciójának, a zárójelben álló tört számlálója azonos a (8) szerinti fogsúrlódási munkaveszteséggel.

μ ebben a képletben is kísérlettel megállapított „átlagos” érték.

Az említett Shell-kiadvány a súrlódási tényező mérésére a korong-kísérletekre hivatkozik; ilyenek más irodalomban is megtalálhatók (pl. [10]). Egymáshoz nyomott, alkotó mentén érintkező, egymással szemben forgó korongokkal végzik ezeket a kísérleteket. A korongok sugarának, a nyomóerő nagyságának, a korongok kerületi sebességének és a kenőolaj viszkozitásának változtatásával képletbe foglalható összefüggéseket kaptak a súrlódási tényező és annak paraméterei között.

A szerző megítélése szerint ezeknek a képleteknek a felhasználása fogsúrlódási veszteség számítására vitatható. Igaz, hogy a profilok kapcsolódási pontbeli görbületének és a csúszási sebességeknek a kapcsolódás közbeni változása matematikailag pontosan leírható, már sokkal nehezebb a súrlódási tényezőre lényeges befolyással levő deformációk figyelembe vétele és az olaj viszkozitásának a hőmérséklettel való változása konkrét fogaskerékpár esetén erősen eltérhet a korong-kísérleteknél tapasztalt változásoktól.

3. Általános megjegyzések

a) Az előzőekben „átlagos”-nak mondott súrlódási tényező a $\mu(\tau)$ függvénynek *nem* a kapcsolódás időtartamára számított, matematikai értelemben vett középértékét jelenti. Ha ui. az (1) kifejezésben az $F_n|v_r| = \Phi(\tau)$ jelölést használjuk, akkor az adott

$$\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2$$

intervallumban a súrlódási munka

$$W = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \mu(\tau) \Phi(\tau) d\tau.$$

Ilyen integrálokra, ha $\mu(\tau)$ és $\Phi(\tau)$ az integrációs intervallumban folytonos és $\Phi(\tau)$ állandó előjelű (ezek a feltételek fogaskerekeknél általában fennállnak), érvényes az általánosított integrálközépérték-tétel:

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} \mu(\tau) \Phi(\tau) d\tau = \mu(\tau_k) \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Phi(\tau) d\tau, \quad (14)$$

ahol $\mu(\tau_k)$ a súrlódási tényezőnek a $[\tau_1; \tau_2]$ intervallumban levő valamely közbülső τ_k helyen felvett értéke.

Ha $\Phi(\tau) \equiv 1$, akkor $\mu(\tau_k)$ éppen μ -nek a szóban forgó intervallumra kiszámított közönséges integrálközépértéke (számtani közepe), egyébként azonban semmi biztosíték sincs arra, hogy $\mu(\tau_k)$ éppen matematikai értelemben vett számtani középérték legyen. Célszerűbb az „átlagos” súrlódási tényező helyett inkább a „közepes” súrlódási tényező elnevezést használni; legyen ennek jele $\bar{\mu}$.

b) Mindaddig, amíg technikailag lehetővé nem válik a fogsúrlódási tényező időbeli változásának többé-kevésbé pontos mérése, a következő eljárás látszik célszerűnek — ha nem is olcsónak — a fogsúrlódási veszteségek előzetes számításához:

1. Készítsünk gondosan megmunkált és szerelt hajtóművet adott tengelytávra és áttételre.

2. A fogprofilok alakjának ismeretében, adott M_1 hajtó nyomaték és ω_1 szögsebesség mellett számítsuk ki az

$$\int_{\tau_1}^{\tau_2} F_n |v_r| d\tau = G(M_1; \omega_1)$$

integrált. F_n -et az (5) és (4), $|v_r|$ -et a (3) és (4) képletekből fejezzük ki τ függvényeként. A $G(M_1; \omega_1)$ érték kiszámításánál így nincs figyelembe véve sem a fognyomás eloszlásának a deformációktól való függése, sem az, hogy $\varepsilon \neq 1$ esetén a kettős kapcsolódás tartományában a deformációk miatt a két fogpáron nem egyenlő arányban oszlik meg a normális irányú fogerő.

3. *Mérjük meg* kísérletileg adott kenőanyagot használva a $[\tau_1; \tau_2]$ időtartamra eső fogsúrlódási veszteséget és a

$$W = \mu(\tau_k)G(M_1; \omega_1) = \bar{\mu}G(M_1; \omega_1)$$

egyenletből számítsuk ki $\bar{\mu}$ értékét. Ez a $\bar{\mu}$ érték impliciten tartalmazza mindazon tényezők hatását, amelyeket G kiszámításánál nem vettünk figyelembe, hiszen W a *valóságos* hajtóművön megmért számérték.

4. Ez a $\bar{\mu}$ közepes súrlódási tényező az adott geometriai kialakítású, adott anyagokból készült hajtóműre (és csak erre) érvényes a felvett M_1 és ω_1 mellett.

5. *Ugyanazon* hajtóműnél M_1 -et és ω_1 -et változtatva a terhelés és a sebesség hatását mérhetjük meg $\bar{\mu}$ -re nézve;

6. majd hasonló méréssorozatot végezve ugyanerre, de más anyagpárosítású, más felületi finomságú fogazattal ellátott hajtóműre, más kenőanyaggal az anyagminőségnek, a súrlódó felületek érdességének és a kenőanyagnak a hatása állapítható meg $\bar{\mu}$ -re.

7. Végül az előbbi méréseket más geometriájú hajtóművekre is megismételve megkaphatjuk (táblázatos alakban) $\bar{\mu}$ -nek a legjellemzőbb paramétereiktől való függését. Ezek a $\bar{\mu}$ értékek hasonló geometriájú hajtóművek tervezésénél már elég jó közelítést biztosíthatnak a fogsúrlódási veszteség előzetes számításakor.

Ez az eljárás természetesen igen költséges és hosszadalmas; lehet, hogy nem is térül meg a befektetett munka; annyi azonban bizonyos, hogy egy adott kísérlettel meghatározott súrlódási tényező csak nagyon pontatlan eredményt ad egy teljesen más hajtómű súrlódási veszteségeinek kiszámításánál, hiszen az anyagminőség, a felületek minősége, a hajtómű geometriája, a terhelés, a fordulatszám stb. erősen befolyásolja a súrlódási tényező értékét.

IRODALOM

1. BOWDEN, F. P.—TABOR, D.: *The Friction and Lubrication of Solids*. Clarendon Press, Oxford 1954
2. BUCKINGHAM, E.: *Analytical Mechanics of Gears*. Mc Grow-Hill Book Comp., New York 1949
3. DUDLEY, D. W.: *Gear Handbook*. Mc Grow-Hill Book Comp., New York 1962
4. HERRMANN M.: Gépelemek (Németh József technikai Könyvkereskedése, Budapest 1924)
5. HUSZTHY L.: Súrlódási munka evolvens fogfelületeken. *Gép*, (1960), 223—230
6. HUSZTHY L.: Gear Calculation by Using Complex Expressions *Acta Techn. Hung.* 73 (1972), 363—399
7. KRAGELSZKI, I. V.—VINOGRAĐOVA, I. E.: A súrlódási tényező. Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1961
8. LECHNER, G.: Untersuchungen zur Schmierfilmbildung an Zahnrädern. *VDI-Z.* III, (1969)
9. *Lubrication of Industrial Gears*, Shell, London 1964
10. NIEMANN, G.: Schneckengetriebe mit flüssiger Reibung *VDI-Forschungsheft*, Ausg. B, Band 13., 1942
11. TEN BOSCH, M.: Gépelemek Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1957
12. THOMAS, A. K.: *Die Tragfähigkeit der Zahnräder*. Karl Hanser, München 1950
13. VIDÉKY E.: A súrlódás analízise fogaskerék szempontból. *MTA VI. Oszt. Közl.*, I. évf. 2
14. VÖRÖS I.: Gépelemek III. Tankönyvkiadó, Budapest 1956
15. ZABLONSKIJ, K. I.: Zsésztkosztyi zubcsatüh peredacs, Tehnika, Kiev 1967

Remarks on the Calculation of the Tooth Friction Losses of Gears. Numerous books and papers have dealt with the tooth friction losses of gear pairs. In the basically equivalent formulae deduced by different authors the coefficient of friction is a mean value determined by some experiment. The present paper aims at a more accurate definition of the "mean" friction coefficient and at clarifying the conditions under which the relations for tooth friction are valid.

Bemerkungen zur Berechnung der Zahnreibungsverluste von Zahnrädern. Mit den Zahnreibungsverlusten von Zahnradpaaren befassen sich zahlreiche Bücher und Aufsätze. In den von verschiedenen Autoren — für Zahnradpaare mit Evolventenverzahnung — abgeleiteten und im wesentlichen gleichwertigen Formeln ist der Reibungskoeffizient ein durch irgendeinen Versuch bestimmter Durchschnittswert. In vorliegender Arbeit versucht der Verfasser die Definition des "durchschnittlichen" Reibungskoeffizienten zu präzisieren, bzw. diejenigen Bedingungen zu klären unter welchen die Zusammenhänge für die Zahnreibungsverluste gültig sind.

TARTALOMJEGYZÉK

Bölcseki Elemér	1917—1977	277
Gillemot László	1912—1977	283
Kánya Ernő	1904—1977	293
Emlékezés Mihailich Győző professzorra		295

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK 1977. MÁJUS 5-ÉN TARTOTT KIBŐVÍTETT OSZTÁLYÜLÉSE ÉS TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

<i>Bognár Géza</i> : Beszámoló a Műszaki Tudományok Osztályának 1976. évi tevékenységéről	303
Hozzászólások az osztályelnöki beszámolóhoz	
Szendy Károly	309
Lévai András	310
Ferencz Csaba	310
<i>Gillemot László</i> : A gépipari technológiai kutatás jelen helyzete és jövő feladata	313
Hozzászólások:	
Vámos Tibor	343
Jándy Géza	344
Lukács József	345

TANULMÁNYOK, SZÉKFOGLALÓK

<i>Czibere Tibor</i> : Síkbeli határrétegáramlások meghatározása szakadós örvényrétegekkel	347
<i>Lévai András</i> : Az energiahelyzet alakulása a világon és Magyarországon, a nukleáris energia jövője	375
<i>Rétháti László</i> : A talajvíz-idősorok autokorrelációs vizsgálata	392
<i>Bogárdi János—Szidarovszky Ferenc</i> : A hajdúhátsági többcélú vízgazdálkodási rendszer kiépítésének gazdaságilag indokolt ütemezése	425
<i>Tersztyánszky Tibor—Tusnady Gábor</i> : Rendszerösszeköttetések maximális terhelésének becslése	451
<i>Huszthy László</i> : Megjegyzések a fogaskerekű fogsúrlódási veszteségének számításához ..	461

CONTENT

OBITUARIES

Bölcseki, E.	1917—1977	277
Gillemot, L.	1912—1977	283
Kánya, E.	1904—1977	293
In Memory of Gy. Michailich		295

EXTENDED MEETING AND SCIENTIFIC SESSION OF THE DEPARTMENT OF TECHNICAL SCIENCES HELD THE 5TH MAY 1977

<i>Bognár, G.</i> : Report on the Work of the Department of Technical Sciences from 1976 ..	303
Contributions to the Report of the Departments President	
Szendy, K.	309
Lévai, A.	310
Ferencz, Cs.	310
<i>Gillemot, L.</i> : The Actual Situation of the Research on Machine Building Technology and the Future Tasks	313
Contributions	
Vámos, T.	343
Jándy, G.	344
Lukács, J.	345

PAPERS

<i>Czibere, T.</i> : Determination of Plane Boundary Layer Flows by Discontinuous Vortex Layers	347
<i>Lévai, A.</i> : Development of the Energy Situation in the World and in Hungary; the Future of Nuclear Energy	375
<i>Rétháti, L.</i> : Investigation of Ground-Water Hydrographs by AutoCorrelation	392
<i>Bogárdi, I.—Szidarovszky, F.</i> : An Economically Motivated Construction Program of a Multipurpose Water Management System for the Hajdúháttság —	425
<i>Tersztyánszky, T.—Tusnády, G.</i> : An Estimation of the Maximum Loads of Intercon- nexions	451
<i>Huszthy, L.</i> : Remarks on the Calculation of the Tooth Friction Losses of Gears	461

INHALTSVERZEICHNIS

NACHRUFE

Bölcskei, E.	1917—1977	277
Gillemot, L.	1912—1977	283
Kánya, E.	1904—1977	293
Andenken an Győző Michailich		295

ERWEITERTE ABTEILUNGSSITZUNG UND WISSENSCHAFTLICHE SITZUNG DER ABTEILUNG DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

<i>Bognár, G.</i> : Bericht über die Tätigkeit der Abteilung der Technischen Wissenschaften im Jahre 1976.....	303
Beiträge zum Bericht des Abteilungsvorsitzenden	
Szendy, K.	309
Lévai, A.	310
Ferencz, Cs.	310
<i>Gillemot, L.</i> : Gegenwärtige Lage und zukünftige Aufgaben der technologischen Forschung im Maschinenbau	313
Beiträge zur Vorlesung	
Vámos, T.	343
Jándy, G.	344
Lukács, J.	345

ABHANDLUNGEN

<i>Čizbere, T.</i> : Bestimmung von ebenen Grenzschichtströmungen mittels unstätiger Wirbel- schichten	347
<i>Lévai, A.</i> : Entwicklung der Energielage in der Welt und in Ungarn, Zukunft der Kern- energie	375
<i>Rétháti, L.</i> : Untersuchung der Grundwasserhydrographen mit Hilfe der Autokorre- lation.....	392
<i>Bogárdi, I.</i> — <i>Szidarovszky, F.</i> : Eine wirtschaftlich motivierte Festlegung des Termins für den Ausbau des Mehrzweck-Wasserwirtschaftssystems auf dem Gebiet Hajdú- hátság	425
<i>Tersztyánszky, T.</i> — <i>Tusnády, G.</i> : Abschätzung der maximalen Belastung von System- verbindungen	451
<i>Huszthy, L.</i> : Bemerkungen zur Berechnung der Zahnreibungsverluste von Zahnrädern ..	461

СОДЕРЖАНИЕ

Элемер Бельчкеи	1917—1977	277
Ласло ЖИЛЬМО	1912—1977	283
Эрнэ Канья	1904—1977	293
Памяти профессора Дьезе Михайлич		295

РАСШИРЕННОЕ СОБРАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ И НАУЧНАЯ СЕРИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК АКАДЕМИИ НАУК ВЕНГРИИ, СОСТОЯВШИЕСЯ 5 МАЯ 1977. Г

<i>Геза Богнар</i> : Отчетный доклад о работе Отделения технических наук Академии наук Венгрии за 1977 год	303
Выступления по докладу председателя отделения	
Карой Сенеди	309
Андраш Леваи	310
Чаба Ференц	310
<i>Ласло Жильмо</i> : Теперешнее положение и будущие задачи в области технологических исследований в машиностроении	313
Выступления:	
Тибор Вамош	343
Геза Янди	344
Йожеф Лукач	345

РАБОТЫ, ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ ДОКЛАДЫ

<i>Тибор Цибере</i> : Определение движения потоков в плоских граничных слоях с помощью вихревых слоев с разрывами	347
<i>Андраш Леваи</i> : Формирование в мире и в Венгрии энергоположения, будущее ядерной энергии	375
<i>Ласло Ретхати</i> : Автокорреляционное исследование временных рядов грунтовых вод	392
<i>Янош Богарди, Ференц Сидаровски</i> : Экономически обоснованный график создания системы многоцелевого водного хозяйства в районе Хайдухатшага	425
<i>Тибор Терстьянски, Габор Тушнади</i> : Оценка максимальной нагрузки соединений систем	451

Printed in Hungary

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója

Műszaki szerkesztő: Sándor István

A kézirat nyomdába érkezett: 1977. XI. 17. — Terjedelem: 19,25 (A/5) lv

78.5193 Akadémiai Nyomda, Budapest — Felelős vezető: Bernát György





39,— Ft

INDEX: 25.499
ISSN 0375-9423

1828—1978
MEGJELENT
AZ AKADÉMIAI KÖNYVKIADÁS
150. ÉVÉBEN

Megjelent: 1978. VI. 24.