ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

VI. KÖTET
1—2. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1974

ÉPÍTÉS-
ÉPITÉSZETTUDOMÁNY

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG
DR. GÁBOR LÁSZLÓ, DR. KALISZKY SÁNDOR, DR. KÉZDY ÁRPÁD,
DR. MAJOR MÁTÉ, DR. PERÉNYI IMRE

TECHNIKAI SZERKESZTŐK:
HORVÁTH TIBORNÉ ÉS DR. VÁMOSSY FERENC

1521 BUDAPEST XI., MŰEGYETEM RAKPART 3. BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
K. H. 60. (ÉPÍTÉSZETTÖRTÉNETI ÉS ELMÉLETI INTÉZET)

ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

VI. KÖTET
1—2. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1974.

TARTALOM

Dr. Perényi Imre: Budapest városépítésének fejlődése 1873—1973 3
Dr. Vidor Ferenc: A kreativitás lehetőségei és korlátai az urbanisztikában 27
Dr. Brenner János: Környezetalakítás és városépítés 39
Dr. Hajnóczi Gyula: Pannónia fürdőépítészete 63
Dr. Horváth Alice: Adatok a XV. századi építészetelmélet kutatásához a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár „Zichy-kódexe" alapján 101
Dr. Szentkirályi Zoltán: Az akadémiák szerepe a francia barokkban 121
Dr. B. Szűcs Margit: Régi könyvek — maradandó gondolatok 139
Dr. Hajnóczi Gábor: Palladio „Rotondájának" jelölői és jelöltjei (Kísérlet az építészeti alkotás szemiotikai analízisére) 147
Dr. Füzy Jenő: Numerikus módszer a háromdimenziós, rugalmas szilárd testek feszültség-analízisére 157
Dr. Tóth Lóránt: Súrlódási jelenségek „Neotopf" rendszerű saruk kamrafalain 165
Szemle 187
Könyvszemle 193

DR. PERÉNYI IMRE,
egyetemi tanár, a műszaki tudományok doktora

BUDAPEST VÁROSÉPÍTÉSÉNEK FEJLŐDÉSE 1873—1973

Budapest, illetve a fővárost alkotó agglomeráció területén létesült települések az ezeréves magyar városépítés jelentős tényezői. Egy részük a Dunamedence városépítésének egész története során kiemelkedő szerepet játszott. Erre a lehetőséget elsődlegesen e terület földrajzi fekvése, kommunikációs helyzete, urbánus potenciája, történelmi folyamatossága és nem utolsósorban környezeti adottságai nyújtották.

A Budapest térségében fekvő települések fejlődésében az adottságoknak sokféle előnye érvényesült: fontos tényező a nyugati és déli-délkeleti közlekedés természetes útját képező Duna, amelynek széles vízmedre ugyanakkor elválasztó-védelmi szerepet is betölt, vízmennyisége és a folyóvíz energiája az ipar lokalizálására is mindenkor hatott. A települések kialakulásában jelentősége volt egykori bőséges halállományának is. A védelem és átkelés a két part településeinek egymásrautaltságát fokozta. Hozzájárult ehhez a két oldal eltérő földrajzi jellege: az egyhangúbb, mocsaras-homokos pesti oldallal szemben a budai oldal törésvonalakkal tagolt hegyei, a völgyek és a hegységek peremei a közlekedési vonalakat néhány jelentősebb pont felé irányították, ahol átkelőhelyek és települések jöhettek létre. A pesti oldallal való kapcsolatok miatt e helyeken ikertelepülések sorozata alakulhatott ki. A Duna különböző szélességű völgye és a terasz-szintek fölé emelkedő dombok, hegyek, a különböző nagyságú és terjedelmű teraszok és azok építőanyaga: mindez a települések kialakítására rendkívül kedvező tényező volt. Fontos adottságot képeznek a feltörő hideg- és melegvizes források, a különböző anyagú, nagyságú, lejtőjű felszínek eltérő növényvilága. A domb- és hegylejtők között kiemelkedő jelentőségűek voltak a déli és keleti tájolású oldalak, melyek a szőlő-, gyümölcstermelésre kitűnő lehetőséget nyújtottak. E sokféle adottság szórt, mozaikszerű elhelyezkedése Budapest területének, szinte minden részének sajátos előnyöket adott. Ezeket gazdag tartalmú egységbe foglalta a kialakuló, növekvő városi szervezet.

Tágabb vonatkozásokban vizsgálva Budapest földrajzi helyzetét, még jelentősebb városfejlesztési adottságokat találunk: Budapest az országot alkotó három legjelentősebb földrajzi tájegység találkozási zónájában fekszik. A Pesti Síkság révén Budapestig felnyúlik a Nagyalföld, a budai oldalon pedig itt végződik a Dunántúli Középhegység vidéke, ill. kezdődik az Északi Középhegység tájegysége. E hegységeket átvágó törésvonalak, folyóvölgyek pedig a távolabbi tájegységekkel való kapcsolatokat is természeti adottságként biztosítják (Kisalföld, Dunántúl, Felvidék stb.). E tájak eltérő irányba fejlődő termelési szerkezete a közös érintkezőpontnál: Budapestnél jut egymással legjobb kapcsolatba. Így a helyi adottságokon túl, az országot alkotó tájegy-

ségek egymás közti kapcsolata Budapestnek mint gazdasági központnak a fejlődési energiáit növeli. Központi fekvése, valamint védelmi jelentősége révén a politikai központ szerepkörének betöltésére is kiválóan alkalmas.

Budapest jelentőségét tovább fokozza, hogy tőle délre és keletre a Kijevig, Konstantinápolyig terjedő térségben — földrajzi, politikai és gazdasági okokból — hosszú történeti periódusokban nem tudott hasonló méretű és súlyú város kialakulni. Ez a körülmény Budapestnek a mindenkori országhatárokon túlnyúló jelentőséget adott.

Így fővárosunk területe Eurázsia legrégebben lakott helyeinek egyike, az emberi tartózkodás nyomai végigvezethetők a kőkorszak, rézkorszak, bronzkorszak és a vaskorszakon keresztül. Illírek, kelták kedvelt letelepedési helye. A Római Birodalom e helyen építi fel katonai és polgári városát, Aquincumot, amely egy időben Pannónia Inferior fővárosa lesz. A nagy népvándorlási időszakban e térség rövidebb vagy hosszabb tartózkodási helye a hunoknak, germánoknak, avaroknak és szlávoknak.

A magyarság honfoglalásától kezdve történelmét szorosan összekapcsolja e terület sorsával. A tatárjárást, a török hódoltságot, a Habsburg elnyomást, a két világháborút, a fasiszta terror uralmát is túlélt agglomeráció városai évszázadokon át őrizték, fejlesztették a magyar kultúrát, tudományt. Itt volt a magyar ipar és a magyar forradalmi munkásosztály bölcsője. Az ezeréves magyar városépítés egész története elválaszthatatlan e térség településeinek, elsősorban: Óbuda, Buda és Pest fejlődésétől.

Amikor ma a három város jogi egyesítésének aktusával kapcsolatosan tartunk megemlékezést, hangsúlyoznunk kell azt a cáfolhatatlan tényt, hogy e városok igazi fővárossá válását, a világvárosi rang elérését csak ez az aktus tette lehetővé.

Nem lehet tárgya jelenlegi értekezésünknek e városfejlődésre annyira kedvező területnek az ezeréves magyar periódus alatti történetét végigkísérni, de ha feladatunk elsődlegesen az egyesülés utáni időszak városépítésének értékelése, akkor is rövid visszapillantást kell tennünk legalább a városegyüttes kapitalizmus korabeli fejlődésének kezdetére, illetve a XIX. század első felének főbb eredményeire.

I.

Amint ismeretes, a XVIII. század vége a magyar történelemben fordulatot hoz: a gyarmati helyzetben levő Magyarországon a feudális viszonyok mélyreható válsága kezdődik, majd a XIX. század elején megindul a polgári átalakulásért, később a függetlenségért folyó küzdelem. Bár késve és lassan, kibontakozik hazánkban is a kapitalista fejlődés.

A kapitalizmust jellemző, a vele járó gyors városodási folyamat hazánkban később indul meg és lényegesen lassúbb, mint a fejlettebb iparral rendelkező országokban. A XIX. század első felében a hazai kapitalizmus fejlődése elsősorban Pestre koncentrálódik. A város már a századfordulón túlnőtte a városfal által vont határt, területe rendezésre szorul, átgondolt fejlesztést igényel.

A XIX. század első nagyjelentőségű városfejlesztési aktusa, amely alapvető nyomot hagyott a város egészének fejlődésében, József nádor 1801-ik évi felterjesztése, melyben Pest kereskedelmi jelentőségére és ezzel kapcso-

latosan a városépítés fontosságára hívja fel a császár figyelmét. Megbízásából 1805-ben Hild János kidolgozza az első városrendezési tervet, mely az 1805-ös József nádor-féle városszépítési programot tartalmazó újabb felterjesztés alapja. A tervnek legnagyobb értéke kétségkívül az, hogy átfogó, szinte Pest egész területére (északon a mai Szent István parkig, délen a Haller utcáig, keleten a mai Mező Imre útig) kiterjed. A már beépített területeken költségesebb városszabályozási műveleteket nem ír elő, csak néhány korrekciót tartalmaz. Az új terület szabályozása a meglevőhöz igazodik, általában geometrikus elrendezésben. Hild idejében a városfaltól északra még csak a mai Engels térbe torkolló három utca: a Bálvány, Sas és Nagykorona utca volt meg. Ezekkel összhangban fejleszti a területet: a Duna irányában több új teret létesít (József nádor tér, Vörösmarty tér), a Duna partjára széles, több fasorral szegélyezett sétányt tervez. Az utóbbi elgondolás nem valósul meg, de a dunapart beépítése, egyrészt a part szélesebb kiképzése által, másrészt az épületek stílusegysége következtében Hild elgondolását tükrözi. Ugyancsak a Hild-féle terv nyomán rendezik azokat a sugárirányú utakat, melyek akkoriban még esetlegesen kialakult útképződmények voltak. A Kálvin tér beépítési vonalát is ez a terv állapítja meg.

1808-ban megalapítják a városrendezés végrehajtására létesülő új szervezetet, a Szépítő Bizottságot. A Bizottság tevékenysége nyomán a lendületet vett építkezés koncentrálódik és szabályozódik. Főleg a Lipótváros épül nagy ütemben: 1813-ban már három tere, 13 utcája és 228 épülete van. Jelentős mértékben átépül a belső Erzsébetváros és a Terézváros. Az új építkezésekhez részben a Hild-féle tervet használják fel, részben újabb szabályozási terveket készítenek. E tervek meglepően egyhangúak, geometrikus, négyszögletes tömbosztással.

Pesttel ellentétben Budán keveset, elszórtan, és kisméretű magánépületeket építenek. A Szépítő Bizottság közreműködésével felépítik a Duna pesti rakpartját, lefektetik a pesti csatornahálózatot, Pesten és Budán bevezetik a gázvilágítást, a Városligetet közparkká építik át.

Ebben az időben két nagy elemi csapás éri a városokat. Az egyik 1810. szeptember 5-i tűzvész a budai oldalon, mely a Tabánból indul ki és a Halászvároson át terjedve elhamvasztja a Víziárost is. A tűzvész után szabályozási tervek hiányában a városszerkezet átépítése nem történik meg: a városrész girbegörbe középkori úthálózattal épül újjá. A másik csapás az 1838. évi nagy árvíz, mely Pesten, Budán és Óbudán 7505 házat önt el, közülük 2882 ház összedől, igen sokat pedig a súlyos rongálódás miatt le kell bontani. A város utcahálózatában ez a majdnem 40%-os újjáépítés is alig hagy nyomot.

Az újjáépítésben nagy szerepe van Széchenyi Istvánnak. Egyébként elsőnek veti fel a városok egyesítésének gondolatát. „Fővárosunk nevét Budapestre kellene változtatni — írja Széchenyi 1828-ban — s' így két város egyesülne, mely most nem a legjobb szemmel nézi egymást." Céljának megvalósítása érdekében kezdeményezi a két várost összekötő állandó híd létesítését és Clark Ádám tervei szerint 1839-ben megkezdődik a Lánchíd felépítése. Jelentősége Budapest városrendezése szempontjából óriási, befolyásolja a városszerkezet jövő fejlődését, a többi híd elhelyezését és közvetve a Belváros, a szomszédos távolabbi területek utcahálózatának további kialakítását. Bár indokolni lehet a híd helyének megválasztását (itt van a folyammedernek hídépítésre legkedvezőbb szakasza, a városcentrum észak felé való

kiterjedése, a minimális szanálás stb.), mégis a hajóhíd (Neue-Brücke) által megjelölt hagyományos átkelési hely (a mai Deák Ferenc utca végén) a forgalomnak esetleg jobban megfelelt volna, a terep természetes alakulata is indokoltabbá tette volna ezt. Hogy a híd helyét tudatosan választották meg, hogy ismerték a hely előnyeit és hátrányait, bizonyítja az, hogy egy évvel a híd megnyitása után megkezdődnek a budai Várhegyen keresztül az alagútépítési munkálatok abból a célból, hogy a Krisztinavárost bekapcsolják a híd forgalmába. A Lánchíd helye így véglegesen eldöntötte a többi pesti híd helyét. Széchenyi tevékenységének eredménye többek között Budapest közúti, vasúti és vízi kapcsolatának kiépítése is: Ő veti fel, hogy Budapestről kiindulva 4—6 utat kell kiépíteni az ország határáig és azon túl, törvénybe foglaltatja azt, hogy Budapesttől négy vasúti vonalat kell építeni, majd egy évtizedig harcol azért, hogy az újpesti Duna-ágban télikikötő létesüljön, felveti a pesti hajózható csatorna építését stb. Különösen ki kell emelni a pesti árvízveszély után azt a fáradhatatlan harcát, amelyet azért az elgondolásáért vív, hogy a várost árvízvédelmi gátakkal védjék meg, a belterületen pedig kőpartok épüljenek. Hogy Széchenyi mennyire a 3 város együtemű fejlesztésére törekedett, az bizonyítja, hogy az ország egyik legfontosabb ipari üzemét, a hajógyárat Óbudára telepítette.

A XIX. század első felének fejlődését a következő adatokkal illusztrálhatjuk: a pesti oldal lakosszáma az 1799. évi 29 870-ről 1850-re 127 935-re emelkedik, a budai oldalon a lakosságszám kevésbé növekszik: ugyanabban az időben mindössze 58 533 fő. Pesten 1765-ben 1146 házat számolnak, 1840-ben már 4706-ot, 24 578 lakással. Ebben az időben Budán kb. 3177, Óbudán 766 ház van (megjegyezzük, hogy ezek a házak sokkal kisebb méretűek, mint a pestiek), a lakások száma 9732, illetve 2722. Ami a város területének fejlődését illeti, a pesti oldalon a történelmi városmag — a Belváros — körül csaknem beépült a Lipótváros, Terézváros, Józsefváros és Ferencváros. A Városliget ez időben Nebbren Henrik századforduló utáni tervei alapján szabályozott park, a pestiek kedvelt szórakozóhelye. Budát külvárosok: a Víziváros, Tabán, Krisztinaváros veszik körül, és már ekkor egybeépült vele Újlak és Óbuda.

Bár a pesti oldal beépítettsége nagyobb sűrűségre utal, mint a budai oldalé, a Vár lakóházai az összes többi városrészeinél nagyobbak a bennük foglalt lakások száma alapján. Kiemelkedik a Lipótváros is, közel akkora értékkel, ez a nemrég felépült új, akkori fogalmak szerint legkorszerűbb, legelegánsabb része Budapestnek. A pesti Belváros házai a lakások számát illetően alig különböznek a Terézvárostól, viszont a Ferenc- és a Józsefváros összetétele a Vízivároshoz, Újlakhoz és Krisztinavároshoz hasonló. A lakóházak nagyságát tekintve a legfalusiasabb jellegű az egész fővárosban a Tabán volt.

Részletesebb adatok maradtak fenn a Belváros, Lipótváros, Teréz- és Ferencváros házairól. A Belvárosban a házaknak csak 32,2%-a, a Lipótvárosban pedig 30,4%-a földszintes volt. A Belvárosban azonban az emeletes házak többsége egyemeletes volt, a Lipótvárosban 2 és ennél magasabb. A Teréz- és Ferencvárosban az épületek 80, ill. 96,4%-a volt földszintes. A Belváros régi jellegére utal, hogy a házak 28,1%-a volt fazsindelyes, és 16,4%-ában falépcső volt. Lipótvárosban a házaknak csak 14,2 %-a volt fazsindelyes. Ez a két városrész lakóházainak magasságával, minőségével messze kiemelkedett a külvárosok gyűrűjéből. A Terézvárosban a lakóházak 11,8%-a,

a Ferencvárosban pedig 38,5%-a szükséglakásnak minősült. A Terézvárosban a házak 47,5%-ában, a Ferencvárosban pedig 63,8%-ában az udvart fészerek, műhelyek foglalták el. A Terézváros házainak 58%-a volt zsindely-tetőzetű (érdekes, hogy a Ferencváros 581 házából mindössze 29-nek volt zsindely teteje).

A társadalom magasabb kategóriái a Várban, a Belvárosban és a Lipótvárosban éltek, és bár azok arisztokrata, nagypolgári és nagyobb tisztviselő-szabadfoglalkozású rétegek voltak, nem különültek el élesen e 3 városrész szerint egymástól, a Vár inkább arisztokrata-hivatalnok jellegű városrész volt, a pesti Belváros inkább a kisiparosok, kiskereskedők — egyes részeiben a mágnások, szabadfoglalkozásúak városrésze volt, a Lipótvárosnak elsősorban az ipar és kereskedelem vezető rétege adta meg a jellegét. A Lipótváros és Vár között épített Lánchíd a kormányzat és tőkések városrészének közvetlen kapcsolatát testesítette meg. A külső városrészek abban hasonlítottak egymáshoz, hogy zömmel a szegényebb, törökös kispolgárság vagy a frissen felvándorolt munkások, proletárelemek lakóhelyei voltak. A szükséglakások, félszerek, udvari műhelyek nagy száma — a pesti oldalon — ezt egyértelműen bizonyítja.

A népességnövekedés elsősorban Pestet érintette, és a foglalkozási statisztika szerint néhány év alatt is észrevehetően megváltoztak a foglalkozási arányok. Az őstermelés erősen lecsökkent, a lakosság több mint felét az ipar foglalkoztatta, nőtt a kereskedelem, közlekedés dolgozóinak száma. A budai oldalon az ipar jelentősége kisebb volt, a mezőgazdaság — elsősorban a szőlőtermelés — aránya növekedett, a kereskedelem jelentősége csökkent. A mai Budapest peremrészén fekvő településeket (számuk kereken 12 és 5 major) e sősorban őstermelők lakják.

A növekvő, társadalmilag, funkcionálisan átalakuló város külső megjelenésében a barokk játékosság helyébe lépő klasszicista építészet szigorúbb rendet, egyöntetűbb homlokzati ritmust, többnyire szimmetrikus elrendezést hoz. Ezek az épületek a kötöttebb kompozíció ellenére is jól illeszkednek az utcák régi vonalvezetéséhez és szépen megférnek a barokk házakkal.

Pollack Mihály, Hild József, Zitterbarth Mátyás és mások munkája nyomán a klasszicizmus Pestje éri el azt a színvonalat, melyhez hasonló fokra esztétikailag a város addig még nem tudott eljutni. A klasszicizmus Pest történeti magjában általában megtartja a régi terek és utcák ritmikáját. A túlzottan is szabályos úthálózatú új városrészben azonban e tömbosztás sematizmusát csak az igényes beépítés tudta feloldani. Ebben az időben alakul ki véglegesen a mai V. kerület utca- és térritmikája. A beépítés magassága megváltozik: 2—3 emeletes épületek (köztük néhány négyemeletes) egyöntetű, harmonikus utcaképeket alkotnak. Megépül a pesti dunapart híres épületsora, amelyből a mai Apáczai Csere János utca keleti vonalán már csak néhány ház áll. Ez az épületsor a mai Roosevelt térnél hátralép és Európa egyik legszebb klasszicista terét, az akkori Kirakodó teret alkotta. A számos főúri palota és középület, a bérházak, szállodák, vendéglők, kávéházak, parkok, fasorok alkotják a mind lüktetőbb városi élet keretét. E korszak építési tevékenységére az egységes, tervszerű kialakítás, az együttesképzésre való törekvés jellemző.

A század második negyedében a függetlenségért és a polgári átalakulásért folyó harc bontakozik ki, mindjobban kialakul az a nemzeti egységfront,

mely az 1848-as európai forradalmi hullámban Magyarországon is győzedelmeskedik. Ennek a forradalmi mozgalomnak a központja az előbb ismertetett Pest, mely éppen ebben az időben vált az ország legnagyobb, a polgári fejlődés tekintetében legelőbbre jutott városává. A mozgalom központjának a súlyát erősen megnövelte volna a 3 város egyesítése. Az 1848—49-es szabadságharc belügyminiszterének, Szemere Bertalannak a rendeletei között van a három város egyesítésére vonatkozó 1849. jún. 29-i rendelet, végrehajtására azonban már nem került sor. Bach ugyan 1850-ben egyesíti Budát és Óbudát, de Budát és Pestet már nem: az osztrák gyarmatosító politika céljának e tagoltság fenntartása, a két városi tanács állandó szembeállítása jobban megfelel.

A szabadságharc leverése után az abszolutista császári hatalom átmenetileg megerősödik, a vámhatárok 1850-ben bekövetkezett eltörlése folytán a fejlettebb osztrák ipar és kereskedelem korlátlanul uralkodik a magyar piacon. De a porosz—osztrák háború következtében már meggyengült Ausztria, az osztrák uralkodóosztály hatalmának fenntartása érdekében engedményekre is hajlandó, és 1867-ben az osztrák birodalom dualisztikus állammá, Osztrák—Magyar Monarchiává alakul. A kiegyezés eredményeképpen a hazai kapitalizmus fejlődésében és a polgári államberendezés kialakításában jelentős fejlődés mutatkozik. A külföldi tőke beáramlása, a nagyarányú vasútépítés, a mezőgazdasági konjunktúra a gyáripar kifejlődéséhez és a mezőgazdaságban a kapitalista gazdálkodás kialakulásához vezet. De az iparban továbbra is a mezőgazdasági jellegű iparok dominálnak, az önálló magyar vámterület hiánya továbbra is akadályozza a magyar gyáripar teljesebb kibontakozását. E keretek között a XIX. század második felével intenzív városodási folyamat és jelentős városépítés indul meg, melyben Pest-Buda jár az élen.

A város lakossága igen gyorsan szaporodik és húsz év alatt — 1850—70 között — majdnem megkétszereződik. A gazdasági, kulturális és politikai élet itteni koncentrálódása hatalmas építési tevékenységet indít el, mely részben új kormányzati, ipari városrészek kialakulásához vezet, részben a meglevő városrészek nagymértékű, de a társadalmi viszonyokhoz alkalmazkodó átépítésében nyilvánul meg. A Hild-féle terv határáig a város területe sűrűn beépül, a beépített területek hamarosan túl is terjednek rajta. Összefogó városrendezési terv nincs, az egyes városrészek közötti kapcsolat rendkívül nehézkes. A Budát Pesttel összekötő Lánchíd sem elégséges már. A Hild-féle terv kétségkívül már régen revízióra szorul, újabb városrendezési koncepciók azonban még nem alakulnak ki. Ugyanakkor újabb parcellázások révén tovább tömörül a beépített terület. Kialakulóban vannak a lipótvárosi, kőbányai, ferencvárosi gyártelepek, melyeket a proletárok által lakott negyedek vesznek körül. A város közművesítése igen kezdetleges: igaz, hogy az első vízműtelep és vízvezeték Budán 1855-ben felépül, de a pesti oldalon csak 1878-ban határozzák el a vízmű építését.

Úgy véljük, itt kell megemlékeznünk e korszak egyik nagy gondolkodójáról, a szociális reformok nagyszerű harcosáról, Táncsics Mihályról. Számos művében foglalkozott Budapest fejlesztésének legalapvetőbb kérdéseivel. Elképzelései, melyek közül később sokat megvalósítottak és száz év távlatában is helytállók, ilyenek: a Margit-híd megépítése, a nagyszabású tabáni fürdőszálló felépítése, Budapest fórumának kialakítása, a pincelakások építésének eltiltása, fásított sétányok a Duna mindkét partján, a pesti és budai indóházak összeépítése stb. Táncsics kiemeli Budapest természeti fekvéséből

adódó szépségét, és fejlesztési elgondolásaiban nagy súlyt helyez ennek érvényesítésére. Úgy véljük, Táncsics gondolataiban a ma aktuálissá váló környezetvédelmi problémák egyik első felvetődését is értékelnünk kell.

Ilyen helyzetben várják a Duna két partján levő települések az egyesítés aktusát, melynek lebonyolításához csak a kiegyezés után érnek meg a politikai, társadalmi, gazdasági feltételek.

II.

A városok egyesítésének útja a kiegyezés után már zavartalan. Nyilvánvalóvá vált, hogy tovább már nem halasztható: a városok közötti állandó közlekedést a Lánchíd biztosította, az országos intézmények mind nagyobb része Pestre települ, mely folyamatosan az ország legnagyobb ipari, kereskedelmi, pénzügyi központjává alakul. Így végre az 1872. évi XXXVI.t.c. kimondja, hogy a főváros Buda, Pest, Óbuda és a Margitsziget területéből alakul, majd 1873 novemberében összeül az egyesített főváros első törvényhatósági bizottsága, mely megválasztja a főváros első tisztikarát.

A főváros egyesítésének 1872-re eltolódott aktusát a városfejlesztés szempontjából egy nagyjelentőségű döntés előzte meg. A városrendezési tervek elkészítése és azok végrehajtása szükségessé tette hatékony szervezet és pénzügyi alap megteremtését. Andrássy Gyula miniszterelnök, Széchenyi majd Kossuth híve, akinek a dualisztikus államszerkezet kialakításában is nagy szerepe volt, még 1869-ben életrehívta a „Buda-Pesti szépítési vegyes bizottságot". E bizottság feladata volt, többek között, a már nélkülözhetetlen kisajátítási törvény előkészítése és a szabályozás fő irányelveinek megállapítása. Ugyancsak Andrássy kezdeményezésére Pest és Buda városépítészeti elképzeléseinek kidolgozására is sor került. Ezek az okmányok több olyan elképzelést vetnek fel, melyek egy része a következő félévszázadban városfejlesztési programmá válik s nagyrészt meg is valósulnak. (Többek között a Margit-híd és Szabadság-híd nyomvonalát, a királyi palota bővítésének, a dunapart szabályozásának gondolatát is ezek rögzítik, illetve tartalmazzák.) Minden valószínűség szerint Andrássy számos városrendezéssel kapcsolatos nyilatkozata és cselekvése mögött Reitter Ferenc elgondolásai állnak, aki többek között felvetette és sürgette Pest-Buda-Óbuda „egységes és változhatatlanul betartandó szabályozási terv megállapítását" és ezt megelőzően a város területének „helyszíni és magassági részletes felvételét". Reitter elképzelései „azon módokról és eszközökről, amelyekkel Buda és Pest városait oda lehetne emelni, hogy a magyar állam fővárosi irányában emelhető igényeknek teljes mértékben megfeleljen" hosszú évtizedeken át nyomot hagytak fővárosunkkal kapcsolatos fejlesztési elképzelések kialakításán és azok végrehajtásában. Körutak, sugárutak, utak, hidak nyomvonalai a pesti oldalon Reitter elképzeléseit tükrözik.

Andrássy még az egyesítés előtt, 1870 márciusában, terjeszti be a képviselőházhoz a Közmunkatanács megalapításáról szóló törvényjavaslatot. Így emelkedik törvényerőre a Közmunkatanács alapokmánya, az 1870. évi X.t.c. „a Duna folyamnak a főváros melletti szabályozásáról s a forgalom és közlekedés érdekében Buda-Pesten létesítendő egyéb közmunkák költségeinek fedezéséről és a közmunkák végrehajtási közegeiről". A törvény a Duna szabályozásának és az ipar és kereskedés fejlődésének előmozdításához szüksé-

ges szabad közlekedés biztosításának érdekében huszonnégy millió forintos sorsolási kölcsön kibocsátását határozza el. Ebből a kölcsönből kívánja fedezni a Lánchíd megváltásának, új hidak létesítésének, a Duna szabályozásának, új főútvonalak nyitásának, valamint az ezekhez szükséges felméréseknek, terveknek, kisajátításoknak költségeit. A kölcsönből eszközölt kisajátítások és szabályozások által nyerendő telkek eladási árából fővárosi pénzalap létesül és ezzel megteremtődik a városrendezés állandó anyagi bázisa. A beruházások végrehajtására és a fővárosi pénzalap kezelésére hivatott a törvény szerint a Fővárosi Közmunkák Tanácsa, amelynek tagjait Pest, Buda és a kormányzat nevezi ki.

A Közmunkatanács feladata, melynek szervezője és első elnöke Andrássy Gyula volt, az 1870. évi X.t.c.-ben szabályozott jogállása szerint:

— az egész városra, vagy egyes városrészekre kiterjedő nagyobb szabályozási munkák végrehajtása;
— az utak és utcák irányzatának és szintjének meghatározása;
— az utcák és közterek elnevezése s a házszámok szabályozása;
— az építési ügyet szabályozó javaslat kidolgozása.

Hatásköre egyrészt szabályalkotó, intézkedő és jóváhagyó. Emellett fellebbviteli joggal bír: másodfokú hatóság minden építési és építészrendészeti ügyben, és felügyeletet gyakorol minden építési és építészrendészeti ügyben a főváros hatósága, valamint az egyes lakosok felett.

A Közmunkatanács azonnal felismerte, hogy a további munkálatokhoz elsősorban a város területének felmérésére van szükség. Ezek a munkák már 1867-ben megindultak ugyan, de most meggyorsulnak, és 1872-re a pesti rész, 1876-ra a budai rész térképei és szabályozási tervei is elkészülnek.

A szabályozási tervek elkészítését elősegíti az, hogy a Közmunkatanács 1871-ben Budapest általános beosztási és rendezési tervére nemzetközi tervpályázatot ír ki. Az első díjat Lechner Lajos, a másodikat Feszl Frigyes és társai, a harmadikat Klein és Fraser angol építészek nyerték. A díjazott (és nem díjazott tervek is) számos, értékes gondolatot vetnek fel. Erre egyébként ösztönzést adott a pályázat kiírása is. Eddig a pesti oldalon még csak egy körút volt (a mai Kiskörút), a természetes fejlődés során több sugárirányú út alakult ki, de ilyen út éppen a sűrűn beépített Terézvárosban hiányzik, ott ahol a Városliget megközelítése azt leginkább megkívánta volna. Így természetes, hogy a pályázók javaslatai is elsősorban ilyen irányúak voltak, noha nemcsak Pesttel, hanem Budával is foglalkoztak. Elsősorban Lechner és Feszl tervei érdekesek, akik a körutak és sugárutak rendszerét javasolják továbbfejleszteni. Lechner gondos, de talán túlzottan részletekbe menő megoldásával szemben Feszl terve kétségkívül merészebb volt, sok széles új útvonalat kívánt nyitni, széles parkövezeteket tervezett a pesti oldalon stb.

A Fővárosi Közmunkák Tanácsa részben az előzményekre támaszkodva, és részben a pályázatból nyert gondolatok és eszmék összefoglalásával maga dolgozza ki a város szabályozási tervét. Ez a terv a további városrendezési munkák alapját képezi. Több évtizeden keresztül kiegészült és módosult, közeledve a századfordulóhoz mind több kompromisszummal.

A Közmunkatanács — melynek műszaki osztályvezetője kezdetben Reitter Ferenc volt — elsősorban két feladat megoldásával foglalkozik: a Sugár út (a mai Népköztársaság útja) és a Külső Körút (a mai Nagykörút) létesí-

tésével. E nagyszabású gondolatok kivitelezésének gátjai voltak mindenekelőtt az anyagi lehetőségek korlátozott volta, mely Budapestnek a monarchiában alárendelt szerepéből fakad. Ez világosan látszik, ha összehasonlítja Bécs helyzetét Budapestével. Bécs városa 1857-ben a császártól ingyen kapta meg a lebontott erődök mellett elterülő 4 1/2 km hosszú sávot, melyen a Ring épületegyüttesei és mellettük nagyszabású terek és parkok épülhettek ki. Ezzel szemben Pestnek az aránylag kisösszegű állami támogatással szemben többek között óriási összegeket kellett a kincstárnak fizetnie a megváltandó katonai laktanyákért, házak százait kellett kisajátítania, hogy már elhatározott terveit, a Sugár út és a Nagykörút kiépítését végrehajthassa.

Az egyenes, 2320 m hosszú új sugárút mind koncepciójában, mind gyors megvalósításában elismerésre méltó. Három egymástól eltérő, különböző keresztmetszettel kialakított szakaszt különböztetünk meg, melyek egyenként igen jó arányúak. A kifelé egyre szélesebbé váló út beépítése is egyre lazább, és egészében változatos, harmonikus egység. Hibája a Sugárútnak a Kiskörúttal való kapcsolat megoldatlansága, a rajta elhelyezett egyetlen nagy középület az Opera esetleges elhelyezése és az Oktogon (a mai November 7. tér) kicsinyes és forgalmi szempontból kedvezőtlen megoldása. A legnagyobb hiba kétségkívül a belvárossal való összeköttetés megoldatlansága, amely forgalmi és esztétikai szempontból egyaránt nehezen hozható helyre, továbbá a Dunával és Budával való kapcsolat teljes hiánya.

A Fővárosi Közmunkák Tanácsának másik nagy feladatterve a külső Körút — Nagykörút — létesítése. Építésére a külső kerületek összekapcsolásán kívül egy nagy gyűjtőcsatorna létesítése adja meg az indítékot, és ezért az új körutat a városrész mélyebb pontjain kellett keresztülvezetni. A négy és fél km hosszú és 30 m széles útvonal lényegében középületek és közterek nélkül épül (mindössze három tér van e hosszú útvonal mentén), ezért egyhangú, sőt egyes részeiben sivár. Aránylag nem nagy többletköltséget jelentő, forgalmi és architektonikus terek beiktatásával változatosabb és talán még a későbbi forgalmi igényeknek is megfelelő utca- és térritmikát lehetett volna kialakítani (ezek mintaképei Európa-szerte már megvoltak).

E hiányosságok ellenére a Sugárutat és a Nagykörutat jogosan a korabeli magyar városépítés koncepciózus és kiemelkedő alkotásai közé sorolhatjuk, melyeknek nagy, szinte várost formáló szerepük volt fővárosunk fejlődésében. Ezért röviden tanulságos végigkísérni létrejöttük körülményeit és összegezni kihatásukat környezetükre.

A Közmunkatanács még 1871-ben megkezdi a kisajátítási eljárást és az év végéig 107 egyezség jön létre. Ez előzmények alapján 1872. márc. 9-én a Közmunkatanács megállapodást köt egy bankcsoporttal, amely az egész lebonyolítás ügyét magára vállalja: megveszi a Sugárút valamennyi már kisajátított és még kisajátítandó telkét, kötelezi magát, hogy az utat legkésőbb 1875-ben megnyitja és a házhelyeket 1877-ig beépíti. Azoknak a területeknek a kisajátítási költségét, amelyek a jövőben teret vagy utcát képeznek, a Közmunkatanács, illetőleg a Fővárosi Pénzalap viseli. E megállapodás alapján a bontás és az út építése még az 1872. évben megkezdődik, de az 1873. évi gazdasági válság nem várt akadályokat jelent az építkezésben. A szerződést 1876-ban felmondják. Eddig az ideig a bontást teljesen befejezték és összesen 40 ház épült fel. A felmondást a Közmunkatanács kénytelen elfogadni és ezután maga veszi kezébe a munka folytatását. Az útépítést 1876-ban befejezik és átadják a forgalomnak (az út végleges burkolata azonban

csak 1884-ben készül el). A gazdasági válság megszűnése az építkezésnek az 1880-as évektől kezdve új lendületet ad, úgyhogy 1885-ig az út valamennyi lakóházának építése befejeződik. A Sugárút kiépítése 1871-től 1885-ig, tehát tizennégy évig tartott.

1881-ben a Közmunkatanács jelentést készít Tisza Kálmán miniszterelnöknek a Nagykörút kiépítésének problémáiról és akadályairól. A jelentés szerint az eddigi anyagi eszközök kimerültek. E jelentés alapján a Közmunkatanács és a Főváros közös javaslatot dolgozott ki. Ezen előzmények után készült el az 1884. évi XVIII. t.c., mely a nagykörúti kisajátításokra és útépítésre még szükséges összeget biztosítja és a Nagykörút mentén épülő házak adómentességét meghosszabbítja. Ezután az építkezés meggyorsul, ehhez nyilván hozzájárul az is, hogy a Sugárutat időközben befejezték és a reprezentatív építkezést kereső tőkének új területre van szüksége. 1888 végén a Körút helye — néhány telektől eltekintve — teljes egészében a Fővárosi Közmunkák Tanácsának birtokában van, az útvonal maga a Margit-hídtól az Üllői útig kiépült, sőt egy darabon a Ferenc körút is megnyílt. 1884-től 1890-ig 106 bérház épült, a következő hat évben — 1891-től 1896-ig — további 85 ház épül fel. Ekkor fejeződik be a főgyűjtőcsatorna építése is. 1896. augusztus 31-én a teljes útvonalat átadják a forgalomnak. Ebben az időben már csak a Lipót körúton és a Ferenc körúton van néhány üres telek, ezeket 1896-tól 1906-ig építik be (az Üllői út Nagykörút keresztezésénél levő — a laktanyával szemközt fekvő — telek kivételével, amelyre a két világháború közt kerül a Corvin mozi és az ún. Corvin-házak). A Nagykörút megépítése tehát — 1872-től 1906-ig — három és fél évtizedet vett igénybe, de az építkezések zöme — 75%-a — az 1886—1897. évek közötti időre esik, tehát tizenegy év alatt bonyolódik le.

A fővárosnak a Nagykörút által bezárt területe — a Belváros és a Lipótváros kivételével — zömében az 1880-tól 1900-ig terjedő két évtized alatt épült be, ill. épült át és nyerte el mai alakját. A VI—VII—VIII—IX. kerület teljes belterületének kiépítése a Nagykörút létesítésével szoros összefüggésben áll. A VI. kerület települt be leghamarabb, belterületének lakossága 1880-tól 1900-ig 54 416-ról 104 808-ra növekedett. A VII. kerület — az Erzsébetváros — belterületén 1880-ban 59 282 lakos él, 1900-ra a lakosok száma már 139 649. A VIII. kerület adatai hasonló képet mutatnak, a lakosságszám 1880—1900 között 63 486-ról 132 659 főre növekszik. A IX. kerület belterületének fejlődése valamivel lassúbb ütemű volt.

A Sugárúttal és a Nagykörúttal egyidőben kezdődött a Belső körút vagy Kiskörút szabályozása és kiépítése is. Ezt a Közmunkatanács az 1872. évben kezdte meg, befejezése egészen 1880-ig húzódott. A városfejlődés azonban a Lipótvárost és a Belvárost is érinti. A katonai kormányzattól polgári célokra átvett Újépület lebontásával a Lipótváros további szabályozása vált lehetővé. Egy tervpályázat — főleg Palóczi Antal terve — adja meg a vezető gondolatot, s ennek alapján 1892-ben alakul ki mai formájában a Szabadság tér és környéke.

A 90-es évek elején az új hidak építésének kérdése kerül előtérbe. A Boráros tér, a Fővám tér (a mai Dimitrov tér) és a Belvárosi templom környéke (a mai Felszabadulás tér) a szóba jött áthidalási pontok. Ezek közül az Eskü téri híd, az Erzsébet híd elhelyezésének van mélyebb hatása a város szabályozására, és a régi belvárosi tércsoport — a Sebestyén, Rózsa, Városház és Hal tér — feladását vonja maga után.

A Közmunkák Tanácsának működése a századforduló előtt támadások középpontjává válik. A fővárossal való rivalizáláson túlmenően a kifogás egyik fő tárgya a 70-es évek elejének szabályozási terve, melynek gyökeres átdolgozását igényelte Palóczi Antal indítványára és memoranduma alapján a Magyar Mérnök és Építész Egylet is. Számos európai nagyváros példájára követelték egy új tervpályázat kiírását.

Palóczi a főváros fejlődésének általános kritikája után a város jövőbeni fejlődésére vonatkozólag leszögezi, hogy a külső terjeszkedés és a belső részek átépítése egyaránt szükséges. Szerinte a főváros egyik legnagyobb hiányossága az, hogy a város nem egy, hanem még mindig két város benyomását kelti, mert a két rész között a kapcsolat hiányos és a város súlypontja a Dunától távolabb eső területre tolódott, pedig a fővárosnak természetes főtengelye a Duna vonala. Ennek beépítését, rendezését szorgalmazza, kikötőkkel, úttal stb. való ellátását javasolja. E megállapítások után Palóczi részletes javaslatot tesz a telkek, tömbök méretére, alakjára, az utak szélességére stb. A memorandum célja nyilván nem csupán a budapesti városrendezési terv programjának kialakítása, hanem egyben az időszerű városrendezési elvek összefoglalása is. Palóczi két évtizedes harca eredménytelen: egészen az első világháborúig testületek, bizottságok foglalkoztak a kérdéssel, sőt a pályázat kiírásának előkészítésére is sor került. A Közmunkatanács azonban elutasít minden olyan törekvést, mely egy új tervpályázat kiírásához vezetne.

A szabályozási terv elavulása, valamint a telek- és házépítési spekuláció következményeképpen sokszorozódnak a városrendezési hibák: mindinkább városszerkezeti, morfológiai, városképi ellentmondások és feszültségek keletkeznek.

Az említett rivalizálás következménye, hogy az „Építésügyi szabályzat Budapest fő- és székváros területére" csak 1894-ben készült el. Addig az 1870-ben elkészült és többször módosított ún. „Utasítás" pótolta a hiányzó építésügyi szabályzatot. A szabályzat bizonyos előrehaladást jelentett, noha csak kismértékben tudta a spekulatív építkezést korlátozni.

A XIX. század második felében, tehát 50 év alatt a város lakossága erőteljesen gyarapszik, majdnem megötszöröződik. Pesten 1850-ben 106 379, Budán és Óbudán összesen 50 127, tehát Pesten-Budán összesen 156 506 lakos élt, viszont Budapesten 1900-ban 717 680 főt számolnak. A kiegyezés és a századforduló közt a lakásépítés a főváros népességnövekedésével, a nagyarányú bontások ellenére is lépést tudott tartani. 1869-ben 280 349 lakos összesen 52 583 lakásban helyezkedik el, tehát az egy lakásra eső lakosok száma 5,3 fő. 1900-ban 182 214 bérleményben 733 358 személy — lakásonként kereken 4 fő — lakik. A lakásépítés növekedésével páhuzamosan javul a szobánkénti laksűrűség is. 1869-ben 90 693 szobában átlagosan 3,2 személy, 1900-ban 279 316 szobában átlag 2,6 személy lakik. Az épületállomány minőségi változáson megy keresztül: 1869-ben Budapesten 9351 lakóépületet tartottak nyilván, 1900-ban 16 254-et. Az egy épületre eső lakosok száma 1869 és 1900 között 29,1-ről 46,5-re emelkedik. Ez azt mutatja, hogy a századfordulóig a lakóépületek átlagos nagysága erősen emelkedett, főként bérházak épültek.

A lakásállomány változásának mértékét akkor érzékelhetjük igazán, ha az 1869. évi lakásszámot az 1900. évi állapottal összevetjük: a budapesti lakásállománynak több mint hetven százaléka az 1869—1900 közötti években keletkezett.

A lakásépítés jellegének változása is szembetűnő: 1869-ben az épületállománynak több mint háromnegyed része földszintes, az I—IV. emeletes házak száma mindössze 2108, 1900-ra a helyzet alapvetően megváltozik, a földszintes házak száma csak 1926-tal, az I—IV. emeleteseké 4949-cel bővül és az egész épületmennyiségnek már csaknem felét teszi ki.

A lakásszámszaporulatnak nemcsak abszolút, de viszonylagos értéke is igen magas. Így az 1869 és 1880 közötti 11 és alatt bekövetkezett emelkedés: 24 897 lakás — a fővárosnak e két időpont közötti átlagos lakosszámát figyelembe véve — 1000 lakosonként évi 7,6, az 1880 és 1890 közötti 26 567 lakásszámszaporulat 6,1, az 1890—1900 közti 78 167-es lakásszámszaporulat 12,5 lakásnak felel meg.

Budapest lakásépítésének területi megoszlására elsősorban a nagyarányú szabályozási akciónak, adómentességi rendeleteknek, a közlekedési- és a közműhálózat fejlesztésének van befolyása. Ahogy már említettük, elsősorban a szabályozások által érintett pesti VI—VII—VIII—IX. kerület indul fejlődésnek és ez töretlenül tart a század végéig. Az V. kerület — a Lipótváros — fejlődése csak a század utolsó évtizedében gyorsul meg. A Lipót körút megnyitása, az Újépület lebontása, a malmok kitelepítése, az Országház építése adnak újabb és újabb impulzust a lakásépítésnek, így a fejlődés folyamatossá válik. A X. kerület lakosságszáma a kiegyezéskor még egészen alacsony, mindössze 4353 fő. A növekedés abszolút száma kisebb, mint a külső kerületeké, de viszonylagos értéke igen magas, a lakosságszám 1900-ban 19 718. A IV. kerület — a Belváros — lakosságszáma csaknem változatlan marad, itt a lakásépítés minimális, az 1869. évi 24 952 népességszám 1880-ig mindössze 28 402-re növekszik, ettől kezdve a „cityképződés" miatt csökkenésnek indul és 1900-ban csak 23 168.

A lakásépítés területének eltolódását mutatja a pesti belterületi és külterületi lakosságszámváltozás aránya is. 1869 és 1880 között a külterületi építkezés még minimális, 1880 és 1890 között már emelkedésnek indul. Kőbányán kívül a VI. és VII. kerület külső részei is kezdenek beépülni, 1890 és a századforduló közt a VI. kerület külső részén rohamos letelepedés kezdődik, tíz év alatt a Városliget környékén és Zuglóban a népesség 10 000 fővel növekszik.

A budai oldal a pestinél lassabban indul fejlődésnek. Míg 1869-ben Buda lakosságszáma 70 000, a pesti lakosságszámnak kereken egyharmada, a századforduló idején Budának 122 412, Pestnek 610 946 lakosa van; Buda lakosságszáma a pestinek alig több mint egyötöde. A nagy városépítési akciók Budát elkerülték, a közművek és a közlekedés lassabban épült ki a pesti oldalénál.

A korszak nagyarányú városodása megkívánja a városi közművek kiépítését. A közművesítés azonban igen lassan fejlődik. A vízvezeték Budapesten csak 1876-ban kezd épülni. Budapesten a csatornahálózat tényleges kiépítése csak 1891-ben kezdődik meg. A villanyvilágítás szintén a századforduló idején terjedt el: Budapesten 1893-ban. A gázszolgáltatás megelőzi a többi közmű kiépítését: Budapesten 1870-ben kezdik el.

A főváros vasúti pályaudvarai a századfordulón épülnek meg. A közúti vasutak szintén a századforduló táján létesülnek: a kiegyezés idejétől az omnibuszt a lóvasút, majd a villamosvasút váltja fel. 1887 és 1898 között épül ki a főváros villamosvasúti hálózata. 1896-ra épül fel a sugárút alatt, Európában az elsők között, a földalatti vasút.

A XIX. század második felének építészete: a romantika és eklektika kora erősen rányomja bélyegét Budapestre. A 60-as években a horizontálisan terjeszkedő klasszicista Dunasor középső részén, a régi Vigadó helyén felépül az ország egyik legszebb romantikus épülete, az új Vigadó — Feszl Frigyes alkotása. Ezzel új lépték jelenik meg a pesti dunapart látképében, rövidesen a 2—3 emeletes klasszicista épületek mellett a romantika, majd a koraeklektika 3—4 emeletes beépítése válik uralkodóvá. Ebben az időszakban, a 80-as években — amikor a dunaparti négyemeletes szállodasor is épül — ismét harmonikus városkép alakul ki. Igen sajnálatos, hogy a dunapartot beépítették, de el kell ismerni, hogy a dunaparti épületsor ritmusa és magassága már olyan, amely a folyam túloldaláról is monumentális, nagyvárosias hatást kelt. Ebben az időben még keveset bontottak le az előző korok alkotásaiból, de már felépült az Opera — Ybl Miklós műve, a Bazilika (Ybl által tervezett kupolájával), a Tudományos Akadémia — Stühler Frigyes műve és még számos monumentális épület. A pesti városképnek ezt az előnyös állapotát kialakító jelentős építészek közül, a nevezetteken túl külön említést érdemelnek: Weber Antal, Skalniczky Antal, Petschacher Gusztáv, Schmidt Henrik, Láng Adolf, Bukovick Gyula is. A továbbiakban a kései eklektika, majd a szecesszió az eredeti összhangot már jelentős disszonánsokkal zavarja meg. Az új városszabályozásoknak áldozatul esik a barokk és a klasszicizmus emlékeinek jelentős része. A Duna két partján azonban továbbra is olyan új monumentális épületek létesülnek, amelyekben a fővárosnak már világvárosi jelentősége és léptéke jut kifejezésre. Ilyen a Hauszmann Alajos által átépített királyi palota, Steindl Imre parlamentje, Ybl Miklós fővámháza. Ezek az épületek a folyam szélességéhez jól alkalmazkodnak, a túlpartról a legelőnyösebb látószögben érvényesülnek. Ily módon olyan városkép alakul ki az előnyös táji keretben, mely méltán vált világhírűvé. Ez nem utolsósorban a kor tehetséges, sokszínű építész generációjának a műve, melynek tagjai közül kiemeljük a már említetteken kívül Schickedanz Albert, Schulek Frigyes, Lechner Ödön, Alpár Ignác nevét. E nagy egyéniségek mindegyike egy-egy iskolát jelentett. A kialakult új városképben fontos szerep jutott a köztéri szobroknak és emlékműveknek is. Alkotóik közül mindenekelőtt Engel József, Izsó Miklós, Huszár Adolf, Stróbl Alajos említendő.

*

A kapitalista fejlődés a XX. század elején Magyarországon a monopolkapitalizmus kialakulásához vezetett, az iparfejlődés meggyorsul, 1913-ra az 1898. évi 2747-ről 5060-ra emelkedik a gyári jellegű ipari üzemek száma. Az első világháborút megelőző években az ország egész ipari termelésének 75%-át a nagyüzemek adják. E nagyüzemek jelentős része Budapestre koncentrálódott. 1910-ben az ország 3749 gyáripari üzeméből 1403 működött Budapesten. A gyorsabb iparosítás ellenére 1910-ben az ország lakosságának mindössze 17,4%-a tartozik az ipari népesség kategóriájába.

Ennek ellenére a századforduló után a lakásépítkezések abszolút száma a fővárosban erősen csökken, amelynek következményeképpen 1910-re az egy lakásra eső lakosok száma ismét emelkedett és 4,35 lett. A lakások méreteinek arányszáma is romlott, több mint a fele egyszobás, az egy szobára eső lakók száma 2,7-re emelkedett. Nagy a lakáshiány, a lakások 57%-ában albérlők laknak.

Az építkezést e két évtizedben továbbra is bérházépítés jellemzi: a családiház-építés csak az első világháború utáni időszakban kezd fejlődni. A magasházak arányszáma továbbra is növekszik. A századforduló után a belső területek lakosságának növekedése lelassul, sőt a lakosságszám csökkenése indul meg. Ezeken a területeken az építkezés is lelassul; a túlzsúfolt belső területeken a magas telekárak miatt a lakóházépítés a tőkés számára már nem volt rentábilis. Erősebben fejlődik ezzel szemben az V. kerület, a Lipótváros, az iparosodó X. kerület. Az utóbbi lakosszáma 1920-ig az 1869. évinek csaknem 14-szerese lett. A századforduló utáni években az építkezések mindinkább a város külső területei felé orientálódnak. E területeken a népesség száma jóval gyorsabban növekszik, mint a belső kerületekben.

A századforduló után Buda fejlődése is meggyorsul, 1910 és 1920 között üteme már jelentősen meg is haladja a pesti oldalét. A lakosság növekedése 1880-tól kezdve elsősorban az I. kerületben jelentkezik. Az 1900-at követő két évtizedben az I. kerület fejlődése Budapest valamennyi kerülete közül a legnagyobb, tízévenként kb. 25 000—25 000 fő. 1920-ban a lakosságszám itt 96 609. A népességszám gyors növekedése nyilvánvalóan az Erzsébet-híd és a Szabadság-híd megépülésével, ezzel kapcsolatban a Krisztinaváros, a Gellérthegyi villanegyed és a Lágymányos meginduló kiépülésével függ össze. A külterületek benépesülése Budán is a századforduló után indul meg, de egészen az első világháború végéig nem éri el a belterületi lakosságszám növekedését. Nagyobbarányú családiházépítés a külterületeken csak ezután kezdődik, az első világháborúig zömében az akkori peremközségek területére korlátozódott.

A Monarchia katonai összeomlása — mint ismeretes — maga után vonta az államszervezet szétesését. A kialakuló új politikai keretek között az önállóságát visszanyert Magyarországnak új államformát kellett kialakítania. Ezt a feladatot a haladó politikai erők vállalták. A polgári demokratikus forradalom által létrehozott köztársaság rövid korszakát az 1919-es proletárforradalom győzelme, a Magyar Tanácsköztársaság megalakulása követi. A három hónapnál alig tovább fennálló, az ellenforradalmi erőkkel állandóan harcban álló Tanácsköztársaság városépítéséről nem számolhatunk be. Szándékait szociális, kulturális, közoktatási intézkedései tükrözik. A háború során egyre súlyosbodó lakáskérdés megoldását célozta az egyik legelső intézkedés, a bérházak köztulajdonba vétele. Ezáltal 200 000 ember jut lakáshoz, egyúttal hozzákezdenek új lakótelepek építésének előkészítéséhez is, a gyermeküdültetés megszervezéséhez stb. Ugyancsak felvetődik Budapest és a peremközségek közigazgatási egyesítésének, Nagybudapest megalkotásának gondolata. Kidolgozásra kerül egy tanulmány „Budapest városépítési és építési programja" címen és nem hallgathatjuk el, hogy a Budapesti Műszaki Egyetemen a Városépítési Tanszék felállítása is erre az időre esik. A szociális irányú városfejlesztés teendőinek kimunkálásában kiemelkedik Vágó József, Molnár Béla, Kozma Lajos tevékenysége.

A Tanácsköztársaság elleni imperialista intervenció következtében a két világháború közötti negyedszázadra a Horthy-féle ellenforradalmi rendszer kerül hatalomra. A két világháború közötti korszak az ország lényegesen megváltozott nemzetközi politikai helyzetében a Monarchia idejének társadalmi struktúráját akarja fenntartani, ezért a súlyos társadalmi és gazdasági viszonyok megoldására képtelen. Fokozta a nehézségeket az 1930-as évek elején a világgazdasági válság. A rendszer fennmaradása és revizionista tö-

rekvéseinek sikere érdekében a fasiszta hatalmakkal szövetkezik, a gazdasági életet a háború előkészítése érdekében militarista érdekeinek megfelelően fejleszti. Mindez erős hatással van az ország urbanizálódására és benne Budapest fejlődésére. Az urbanizálódás menetét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy 1914-re a 10 000-nél népesebb települések összlakosságszáma 4 337 552-re növekedik, és míg a községek népessége 100 év alatt (1840—1941) valamivel több mint másfélszeresére emelkedik (158%), a városok népessége több mint ötszörösére szaporodik (540%). A városok felé irányuló nagy belső vándorlás elsősorban a parasztság proletarizálódásának következménye. Legnagyobb a tömörülés Budapesten, lakossága száz év alatt több mint *tízszeresére* növekedett.

Ellentmondónak tűnik, hogy Budapest fejlődése az első világháború utáni helyzetben viszonylag töretlen. Az első világháború után Budapest lakossága az 1920. évi 928 996-ról 1941-re 1 164 963-ra emelkedett. (A mai budapesti határokon belüli lakosszám 1 232 026-ról 1 712 791-re nőtt.) A változás legszembetűnőbb a peremkerületekben. Ez a növekedés messze túlhaladta Magyarország népességének gyarapodását és Budapest nélkül a magyar városok népességének fejlődését. A Budapestet körülvevő települések mindjobban Budapest munkáselővárosaivá alakulnak, ami főleg arra vezethető vissza, hogy a gazagsági válság után következő fellendülés a főváros iparát megnövelte, de nagy szerepet játszott benne az is, hogy a főváros infrastruktúrája minden vidéki városénál sokkal fejlettebb volt, és ez elsősorban az előző korszak örökségeként könyvelhető el.

A város fejlődése is lényegében a korábban kialakult koncepciók szerint ment végbe. Már tárgyaltuk, hogy milyen meddő volt Palóczi Antalnak és a Magyar Mérnök és Építész Egyletnek egy új városrendezési pályázat kiírásáért folyó harca. 1932-ben Harrer Ferenc a Székesfőváros Törvényhatósági Bizottságában veti fel a tervezés előfeltételéül szolgáló *városfejlesztési program* kidolgozását. Ugyancsak Harrer kezdeményezésére sor kerül a városrendezésről és az építésügyről szóló törvény megalkotására. Budapest városfejlesztési programja 1940-ben került publikálásra. A városfejlesztési programot azonban már nem követhette az egész városra kiterjedő általános rendezési terv készítése.

A városépítés a két világháború között elsősorban néhány belső kerület: Új-Lipótváros, Lágymányos, Zugló kiépítésében mutatkozott meg. Meg kell említenünk még néhány érdekes és eredményes akciót: Tabán elavult épületeinek lebontását, a Margitsziget rendezését (amelyen felépült a nemzeti sportuszoda és a Palatinusz strandfürdő, valamint a szabadtéri színpad). Az egyik legnagyobb városépítési akció, az Új-Lipótváros felépítése a 20-as évek második felében indul és összesen 6318 lakás épül meg. A lakások nagyobb része 14 m-es épületmélység mellett az ún. hallos lakás. A beépítés zsúfolt, zöldterület alig van. A korszak többi városrendezési művelete többnyire az újabb beépítési területek parcellázására szorítkozik. Tovább folyik a múlt század végén már nagyarányú telekspekuláció. Hatását a rendkívül tömör, egészségtelen beépítés is mutatja. Nem sokat segített ezen az 1914. évi új építésügyi szabályzat, mely megengedte a telkek 85%-ig való beépítését, a beépítés 70 m-ig terjedő mélységét, az utcaszélesség és épületmagasság közötti 1:2-nek megfelelő légtérarányt. Ez az előírás inkább a beépítés zsúfoltságát mint lazítását tette lehetővé. Bizonyos haladást jelentett az az intenció, hogy az építés a telkek körülépítése helyett csak az utcafront mentén való beépítésre korlátozódjon. Egyes területeken a meglevő beépítés „kiegészítése"

továbbra is a klasszicizmus és a korai eklektika városépítészeti együtteseinek a megbontásával jár.

Budapesten ebben a korszakban további két új hídépítésre kerül sor: megépül a Boráros téri híd, de az óbudai hídnak csak a pillérei készülnek el.

1936-ban a Közmunkatanács tervpályázatot ír ki Budapest városközpontjának kialakítására. A pályázat egyik célja volt az Andrássy út és a Lánchíd forgalmi összekötésének megoldása. Ezt a tervpályázatot 1940-ben a központi városház épületére kiírt pályázat követte. Ezekben az években több érdekes gondolat vetődött fel, pl. a Kiskörút rendezésére, a várostengely kialakítására (Ligeti Pál javaslata), az Árpád híd budai és pesti hídfőjének rendezésére, az óbudai Via Antiqua létesítésére (Olgyai testvérek javaslata) stb. Fölvetődött a gondolat a városházzal szemben az Erzsébetvároson át egy új út nyitására (egyébként e gondolat már több évtizede érlelődött), de a telektulajdonosok nyomására évről-évre változtatták a tér méretét és az út szélességét. Az építkezés csak 1937-ben kezdődött meg, felépül Wälder Gyula tervei alapján a Madách téren egy nagyszabású épület, hatalmas árkáddal, de az útvonal kialakítása a mai napig sem következett be.

Ami a lakáshelyzetet illeti, viszonylag nagyobb arányú lakásépítkezés bonyolódott le (a két világháború közötti időben Budapesten kereken 96 000 lakást építettek), melynek eredményeképpen tovább formálódott az építkezés jellege, a város morfológiai szerkezete, a különböző társadalmi osztályok, rétegek elhelyezkedésével összhangban.

A *munkások*, közszolgálati altisztek az említett, erőteljesen fejlesztett területen kívüli „kültelkeken" laktak. A nagyobb munkástömegek inkább az északi és keleti peremeken (a gyáripari övezet itteni erőteljesebb kialakulásának megfelelően), az altisztek viszont inkább a nyugati és déli kültelkeken települtek nagyobb számban. Az *iparosok és kereskedők* elsősorban a városmag pesti oldalán, és ehhez kapcsolódóan Zuglóban tömörültek. A pesti oldalon ugyanezen a területen tömörültek a magántisztviselők és a szabadfoglalkozásúak, azzal a különbséggel, hogy lakásaik áthúzódtak a budai oldalra is. Míg azonban a *szabadfoglalkozású* budaiak főleg a Vár, a Pasarét környékére koncentrálódtak, a *magántisztviselők* lakásai jóval nagyobb területen oszlottak el: a Pasaréten kívül észak felé Újlakon és Óbudán, dél felé az Alkotás u., Böszörményi út, Németvölgyi út környékén, kisebb mértékben Kelenföldön laktak. A *köztisztviselők* a pesti oldalon a Tisztviselőtelepen koncentrálódtak legnagyobb mértékben, a budai oldalon pedig a Pasarét, Szabadsághegy, Vár, Böszörményi út és Kelenföld területén.

A két világháború közötti építészet rendkívül sokirányú, de bérházépítésektől eltekintve aránylag kevés nyomot hagyott a főváros arculatában. Találkozunk a magyaros stílustörekvésekkel is, és neoeklektikus épületekkel: Árkay Aladár, Molnár Béla, Pogány Móric, Hajós Alfréd és mások alkotásaira kell felhívnunk a figyelmet. Ebben az időben bontakozott ki a modern magyar építészet is: A különböző irányzatok közül megemlítem Rimanóczy Gyula, Lauber László és Nyíri István, Csánk Elemér, Birbauer Virgil és Králik László, Kozma Lajos, Wanner János és Molnár Farkas, Hajós Alfréd, Kocsis Iván, Janáky István, Szendrői Jenő alkotásait.

A századforduló utáni négy évtizedben a városfejlődés megtorpan, koncepciózus elgondolás hiányában a város építészeti és morfológiai egysége mind nagyobb veszélybe kerül. Az 1940-ben kiadott program már nem tudja befolyásolni a korszak városépítését.

III.

A második világháború befejezése változást hoz az ország politikai, gazdasági és szociális helyzetében. A felszabadulással kezdetét veszi az ország demokratikus átalakulása. Majd 1948-ban fordulat következik be: az ország a szocialista fejlődés útjára lép.

A második világháború a magyar városoknak nagy kárt okozott. A legtöbbet Budapest szenvedte. A pusztulásra jellemző: teljesen elpusztult, vagy súlyosan megsérült az épületállomány 26%-a, az ipari üzemek 94%-a, jelentős a kár a középületekben (elpusztult a kórházi ágyaknak majdnem 30%-a, hivatali épületek 24,7%-a), szinte teljesen elpusztult a főváros közlekedése, az összes Duna-hidat felrobbantották stb.

A felszabadulás utáni évek első feladata az országban és Budapesten egyaránt a háborús károk helyreállítása volt. Budapesten ideiglenes hidak építésével kezdődött a város két része közötti kapcsolat helyreállítása. A hidak végleges újjáépítése több évet vett igénybe. Aránylag rövid idő alatt sikerült a lakóházakat lakhatóvá tenni, sőt hamarosan új lakóházak, egészségügyi, oktatási intézmények építésére is sor kerül. Az építkezés a munkáslakta területekre összpontosul, ezzel gyakorlatilag megkezdődik az egyik kapitalista örökség, a sivár, avult peremkerületek elmaradottságának felszámolása e területek nagyobb arányú fejlesztése révén.

Az első építkezési területeken, mint a csepeli Béke tér, a kispesti Malinovszky utca, az újpesti Pap tér, a beépítés laza, kötetlen megfogalmazása kétségkívül a korabeli nyugati városépítési törekvések hatását tükrözi. Az 50-es évek elején az említett gyakorlat kritikája következtében újabb irányzatok jelentkeznek a magyar várostervezésben. Az építészet egyrészt a hazai hagyományokhoz nyúlt vissza, másrészt a negyvenes évek szovjet városépítési gyakorlatának hatását mutatja. Ezek az archaizáló, formalista irányzatok a magyar városépítésben nem voltak hosszú életűek, de nyomaik megtalálhatók a budapesti városképben is.

Az ötvenes évek második felétől kibontakozó új, mennyiségileg és megoldási módjukat tekintve egyaránt nagyjelentőségű várostervezési és városépítési tevékenység ismertetését azzal az aktussal kell kezdenünk, melynek eredményeképpen 1949-ben Budapest peremvárosaival és községeivel (Újpest, Rákospalota, Pestújhely, Rákosszentmihály, Sashalom, Mátyásföld, Cinkota, Rákosliget, Rákoscsaba, Rákoskeresztúr, Rákoshegy, Pestszentlőrinc, Pestszentimre, Kispest, Pesterzsébet, Soroksár, Csepel, Budafok, Nagytétény, Budatétény, Albertfalva, Pesthidegkút, Csillaghegy, Békásmegyer) egyesült. Ez a területi kiegészítés általában indokolt volt, hiszen a peremvárosok többsége már régen a főváros szerves részévé vált, és az egyesítés kérdésével évtizedek óta foglalkoztak. Egyes területek kellően nem indokolt becsatolása következtében azonban kedvezőtlenül és szervetlenül nőtt meg a város területe és lakossága. Különösen néhány kimondottan falusi jellegű település bekapcsolása a fővároshoz csatolt többi, fejlettebb terület jövője szempontjából is hátrányos volt. Ettől eltekintve az 1949-es egyesítés lényegében korszerű szerkezetű települési konglomeráció körvonalait jelölte ki, mert a szerkezet meglevő tagoltsága igen kedvező volt.

Az 1949. évi népszámláláskor a peremvárosaival és községeivel egyesített Budapest lakosszáma 1 590 269, területe 525 km² volt. A lakosszám már az egyesítést követő első évtized végére, 1960-ban 1 800 000 fölé emelkedett.

A lakosság növekedése ez időszakban évi 1,2% volt, szemben az országos évi 0,8%-kal. A népességszaporulat zöme az ország egyéb vidékeiről bevándorlókból adódik. Évről évre növekszik a budapesti munkahelyekre naponta bejárók száma. A beingázásban 1960-ban már 140 000-en vettek részt. E tíz év alatt a peremvárosaival és községeivel egyesített Budapest fejlődésére mindenekelőtt az ipar további koncentrációja jellemző. A Budapestre koncentrált ipar fejlődésének korlátozására nem volt lehetőség, mert ez egyenlő lett volna az ország ipari fejlődésének megakadályozásával. Az ipar egyoldalú fejlesztése viszont a város lakáshelyzetére, közlekedésére és közellátására igen kedvezőtlen hatást gyakorolt. A későbbi években az ipar erőteljesebb decentralizációjával párhuzamosan bizonyos korlátozások történnek a városon belüli iparfejlesztéssel kapcsolatosan.

A felszabadulás utáni időszakban az első általános városrendezési tervet 1948-ban az Építéstudományi és Tervező Intézet dolgozza ki, majd 1952—54-ben a Fővárosi Tanács VB. városrendezési és építési osztálya készít újabb tervet. Ezek a tervek nem kerültek jóváhagyásra. A Budapesti Pártbizottság és a Fővárosi Tanács 1960-ban meghatározza Budapest és a környék új általános rendezési tervének irányelveit, amelyek alapján még 1960-ban a terv elkészült és azt a kormány jóváhagyta. Budapest és környékének rendkívül szoros összefüggései azt kívánták, hogy a Budapest határától általában 15 km-nyire terjedő, kb. 300 000 lakosú, 1650 négyzetkilométer kiterjedésű környék rendezési terve a főváros rendezési tervével legyen egységbe foglalva.

E terv koncepciója lényegében két célkitűzésen alapul: *egyrészt* olyan ipartelepítési politika kialakítása, amely az elmúlt évtizedek gyors népességnövekedését Budapest területén fékezné, *másrészt* olyan korszerű városszerkezet és berendezés kialakítása, mely a főváros területének megfelelő tagolását, a szolgáltatások többlépcsős rendszerének kiépítését, túl tömör beépítés sűrűségének lazítását, növényzettel fedett nagyobb területek bővítését, a jó közlekedési és közműellátási viszonyok megteremtését eredményezné.

Ezeknek a terveknek a keretében kezdődött meg a lakónegyedszerű lakásépítés, főleg a város munkáslakta területein, a nagyobb ipari területek közelében: Óbudán, Angyalföldön, Zuglóban, az Üllői úton, Csepelen, Újpesten, Kispesten, Lágymányoson. Ezek a kisebb-nagyobb lakótelepek többnyire kielégítik a korszerű várostervezés követelményét: a zöldterületi ellátást, a közintézményellátást, a közműellátást, a közlekedést stb. Megjelenésük azonban a korszak elveinek kialakulatlanságát, illetve változatosságát tükrözi, hol zártan, nagy belső tömböket körülépítve, hol lazán, szabadon állóan elhelyezve alakultak ki.

1960—1970 között a főváros növekedésének üteme évi 0,8% volt. Emellett a természetes szaporulat negatív volt, a bevándorlás évi 14 000 fő növekedést eredményezett. Budapest környékén, a várost körülvevő 44 községben a lakosság ugyanebben az időben évi 7—8000 fővel nőtt és ez 0,03% növekedést eredményezett. A főváros igazgatási határán belüli lakosságszám 1970-ben 1 940 000, a napi ingázók és egyéb beutazók száma 200—250 ezer főt tesz ki.

Noha az ipari foglalkozásúak arányszáma 1949 és 1970 között az országoshoz képest jelentősen: 45,8%-ról 34%-ra csökkent, abszolút számuk azonban megkétszereződött. Ez a vidék kétségkívül növekvő iparosodása mellett a budapesti ipari koncentráció erős fejlődését mutatja, melynek következ-

ménye a város lakáshelyzetére, közlekedésére, közműellátására, kereskedelmére stb. továbbra is súlyosan hatott. Noha 1960 és 70 között 118 000 lakás épült (13 000 lakást bontottak le) a lakáshiány jelentős, az elégtelen bontások száma miatt a lakásállomány avulása fokozódik. A tömegközlekedés fejlődésében az autóbusz- és trolibuszhálózat növekedése és a gyorsvasút első vonalának kiépítése számottevő erőfeszítés, de ez sem jelentett a megnövekedett igényekhez képest jelentős előrehaladást. A hirtelen megnőtt járműközlekedésnek mindinkább akadálya az utak áteresztőképességének elégtelensége. Nagy fejlődés jelentkezett a víztermelés és a vízműhálózat építése terén. 1960-ban a vízcsőhálózat hossza 2669,1 km volt, az értékesített víz mennyisége 174,1 millió m^3. A hálózat 1971-re 3481,4 km-re, a vízmennyiség 254 millió m^3-re növekedett. A csatornahálózat elégtelensége és elöregedése (1/4 része 75 év előtti) komoly problémát jelent. Rohamosan fejlődött a főváros gázellátása, elsősorban a földgázellátás révén. Jelenleg már a gázzal ellátott lakások száma 344 000. Korszerű fűtésben (távfűtésben, központi fűtésben stb.) mintegy 250 000 lakás részesül.

Az 1960. évi általános városrendezési terv tíz éven keresztül szabályozta és irányította a főváros fejlődését. Alapkoncepciójában most sem tekinthető elavultnak, noha 1970-ben felülvizsgálatra került. A felülvizsgált tervben az előző terv alapkoncepciója nem változott, a környék határa és a város területfelhasználásának bizonyos korrekciója következett be. Az újabb terv távlata a 2 250 000 lakosú Budapest illetve 2 750 000 lakosú budapesti agglomeráció, amely az előrebecslések szerint az ezredforduló távlatainak felel meg.

Ami a város arculatát illeti, a felszabadulás óta eltelt 28 év alatt sikerült a második világháború nagy pusztítását többnyire helyreállítani. A híres dunai panoráma a Szent István parktól a Boráros térig szinte változatlan maradt, újabb színfoltja az új Erzsébet-híd, ami pedig a budavári palota és pesti szállodasor újjáértékelését illeti — lassan hozzászokunk. Számos foghíjbeépítés, árkádsor, egységes portálok, korszerű nagyvárosi világítás gazdagította a régi budapesti városképet. A legnagyobb változás a külső kerületekben ment végbe: lakásépítés nagyobb egységekben zömmel Rákospalotán, Kőbányán, Pesterzsébeten, Csepelen, Budafokon, Kelenföldön, Lágymányoson, Óbudán történt. A törekvés maga kétségkívül helyes: felbontani a belső városmagot körülvevő burkokat. Építészeti megfogalmazásuk azonban veszélyezteti a város morfológiai egységét. Ezen újabb városrészek arculata impozáns, nagytömegű megjelenésük ellenére sem mindig kedvező, hiányzik az egyéni, az adott helyhez illő megoldás. Ez talán legbántóbb Óbudán, ahol a rekonstrukciónak nem sikerült a városrész kontinuitását biztosítani, noha kétségkívül korszerű épületek épülnek, de azok tömegmegjelenése idegen a tájban. Most egy újabb fejlődés küszöbén szükségesnek tartjuk hangsúlyozni, hogy az egyensúly visszaállítása még megoldásra váró feladat.

IV.

Befejezésül néhány, a főváros fejlődése szempontjából jelentős problémára kívánok rámutatni.

Annak ellenére, hogy az ipari decentralizáció elve Magyarország iparfejlesztési politikájának egyik fő célkitűzése, számolni kell azzal, hogy a Budapestre koncentrált ipar bizonyos mértékben még fejlődni fog. Ez népgazda-

sági érdek, s erről — tekintettel a budapesti ipar nagy népgazdasági jelentőségére — nem lehet lemondani. A kulturális, tudományos, szociális stb. intézmények Budapesten való tömörülése is olyan lényeges tényező, amelyet figyelembe kell venni. Mindezért számolni kell azzal, hogy még egy ideig a főváros lakosságának további növekedése elkerülhetetlen. A természetes szaporulat több mint tízéves negatív iránya mellett a vándorlási nyereség nélkül a főváros lakosságszáma csökkenne vagy legalább is stagnálna. A vándorlási nyereség által való növekedés szükségességét indokolja a város lakosságának elöregedése is. A nyugdíjas korúak aránya magas, viszont a munkába állítható lakosság szinte kimerült. A főváros ipara, infrastruktúrája, intézményhálózata ilymódon rászorul a bevándorlásra és ezért a lakosságnövekedés ütemének csak lassúbb fékezésére gondolhatunk. A probléma megoldását csakis az ország egyéb területeinek erőteljesebb iparosításával, és egyúttal a budapesti ipar egy részének kihelyezésével, vagy az iparnak kevesebb munkaerőt igénylő korszerűsítésével (pl. automatizálással) lehet elképzelni.

A lakosságszám távlati alakulására irányuló becslések helyesen azt mutatják, hogy 2000-re a főváros lakosságának száma továbbra is növekszik, de véleményünk szerint is a növekedés a 2 250 000 főn belül maradhat. Előreláthatóan a növekedés az agglomeráció külső gyűrűjében lesz nagyobb mértékű. A budapesti agglomeráció lakosságszáma ez időszak alatt elérheti a 2 750 000 főt. Belátható, hogy ezáltal ez a szűkebben értelmezett városkörnyék mind szorosabb összefüggésbe kerül a fővárossal: délen és délkeleten már többnyire össze is épült vele. Amennyiben az agglomeráció már másfél évtizede sürgetett igazgatása megoldást nem nyer, felmerülhet az együttes fejlődése érdekében a főváros határának revíziója.

Már többször felvetődött a kérdés, hogy ilyen nagy, több milliós lakosszámú városagglomerációban biztosítható-e mindazon követelmények kielégítése, amelyek a korszerű városépítési elvek megvalósítása során szükségessé válnak?

Úgy véljük, hogy a budapesti agglomerációnak a korábbi spontán fejlődés ellenére még nagy részben megvannak a kedvező adottságai: e városagglomeráció több településből alakult ki, melyek még nem mindenhol épültek össze a belső városmaggal és egymással, így több helyen kedvezően tagolt illetve még tagolható a városszerkezet. Ennek a tagoltságnak fenntartása Budapesten mindig is a várostervezés fő feladata volt. A város jövőbeli fejlődését az a felismerés kell hogy vezérelje, mely szerint a budapesti agglomeráció szerkezetének olyan fejlesztésére van szükség, amely révén a spontánul kialakult és fejlődő településhalmaz tervszerűen fejlődő településrendszerré alakulhat át.

A sűrűn beépített központi települési mag mind nagyobb részén az épületállomány egyre inkább elavul, fenntartása helyenként már most is igen költséges. Szanálással, a mainál erőteljesebb szanálással, természetesen csak fokozatosan, lépésről lépésre és csak a lakásépítés egyidejű fokozása mellett megoldható a város belső területének olyan újjáépítése, amely a lakosságszám csökkentését, egyúttal racionális méretű és lakosszámú városi egységek-kerületek létrehozását eredményezheti. Ami pedig az agglomeráció belső (a közigazgatási határokon belüli peremkerületeket) és külső gyűrűjét (a városhatárokhoz tapadó községeket) illeti, ezek részben átépítéssel, részben újabb területek igénybevételével racionális lakosszámú lakónegyedekké, illetőleg ezek

egymás mellé sorolásával, helyenként új lakóterületi egységekkel, megfelelő iparterületekkel kiegészülve nagyvárosi egységekké fejleszthetők.

Az agglomeráció nagy területi kiterjedése következtében csakis több lépcsős városközpont rendszert lehet elképzelni. Ennek kialakítása az anyatelepülés központjainak — a főközpontnak – a továbbfejlesztését, másrészt a volt peremvárosok és községek gyűrűjében alközpontrendszerek kifejlesztését teszi szükségessé.

Az ismertetett szerkezeti rendszer az agglomeráció morfológiai és kompozíciós összefüggéseire is hatást gyakorol. A rendszer különböző elemei, fókuszai az agglomeráció morfológiai felépítésének, kompozíciós rendszere kialakításának is alapját kell hogy képezzék. A kiépülő morfológiai, kompozíciós rendszerben helyet kell kapnia a műemléki és várostörténeti értékek megőrzésének és megfelelő érvényesítésének is. Az ésszerűség határai között a jövőben végbemenő átépítésnek meg kell őriznie Budapest történeti és városépítészeti értékeit.

A termelékenység növekedése a javak növekvő felhalmozódását, a munkában töltött idő csökkentését, a „szabad idő" jelentős növekedését idézi elő. A szabadidő növekedésének tendenciája, amely egybeesik a demográfiai változásokkal is, a területfejlesztésben és a településtervezésben újabb igényeket vet fel és új helyzetet teremt a városépítéssel összefüggő kérdésekben. A várostervezés feladata már nemcsak a munkahely és a lakóhely kialakítása, valamint a munka- és lakóhely közötti kapcsolatok megteremtése. A növekvő szabadidőt az emberek fizikai erőnlétének és személyiségének fejlődése érdekében hasznosítani csakis az erre a célra meghatározott koncepciózus fejlesztési és tervezési elképzelések szerint lehet. És azt is világosan kell látnunk, hogy sem a város mai felépítése, sem a mai városi életforma nem biztosítja a rekreációhoz szükséges feltételeket. Abban is meg kell egyeznünk, hogy a rekreáció fogalma nem azonos a szabadidővel, hanem annál több. Ebben bennfoglaltatik a munkahely korszerű kialakítása, a gyors és kényelmes közlekedés, az egészséges lakókörülmények megteremtése, a levegőtisztaság és az alacsony zajszint mind a lakó-, mind a munkahelyen, és még más kérdések is.

Ezért úgy véljük, hogy a város illetve várostervezés eddigi komponensei mellé (a munka, a lakás, az ellátás, a közlekedés), velük egyenrangúan a *rekreáció* kérdését fel kell venni és minden valószínűség szerint ez több vonatkozásban meg fogja változtatni a várossal és környezetével kapcsolatos elképzeléseket.

A budapesti agglomeráció tervszerű és koncepciós fejlesztésének, az agglomeráció vázolt rendszere kialakításának egyik legfontosabb alapfeltétele a forgalmi rendszer korszerűsége. Többfajta és többlépcsős közlekedési hálózat kiépítése szükséges, mindenekelőtt a lakóhelyek, munkahelyek, a pihenőhelyek illetve az alközpontok és főközpontok megközelítése és kapcsolata érdekében. Ez a személy- és teherszállítás, az egyéni- és tömegközlekedés, a gyalogos és járműforgalom igényeinek egyformán jó kielégítését kívánja meg. Nagy járműparkoló-helyek létesítése és a központok leggyakrabban látogatott részein a gyalogforgalom zavartalan lefolyásának biztosítása alapvető, bár a meglevő városban nem könnyen megoldható feladat.

*

Mindössze néhány témát érintettünk. Természetes, hogy ezzel nem merítettük ki a budapesti agglomeráció fejlesztésével kapcsolatosan még a fontosabb problémák körét sem. Budapest jövőjének kutatása, zavartalan fejlődésének biztosítása komplex erőfeszítéseket igényel: *egyrészt* feltáró, vizsgálati műveleteket, *másrészt* kutatói feladatok kijelölését és végrehajtását, és *végül* azokat a szabályozó-szervező jellegű intézkedéseket, melyek nélkülözhetetlenek a helyes fejlődés számára.

Ugyanakkor éppen előadásunk témája bizonyítja, hogy a jövő fejlődés tervezéséhez rendkívül fontos a városfejlődés múltjának ismerete. A városépítés története szükségszerűen periódusokra tagolódik. Ezek azonban nem különülnek el élesen egymástól és csak egy nagyobb történeti egység részeiként érthetők. A főváros jövő fejlődésének kidolgozása során nem feledkezhetünk meg arról, hogy Budapestet évszázadok munkája alakította ki, és az előttünk álló jövő is egy új — bizonyosan fontos — szakasza lesz Budapest történetének.

IRODALOM

A téma és az időszak rendkívül gazdag irodalmának bármely szűkítésével a puszta felsorolás is lehetetlen. Ezért csak azon néhány mű felsorolására korlátozódunk, amelyek rendszeresen kísérték figyelemmel Budapest egy-egy időszakának városfejlődését, ill. amelyek szerzői tevékenységükkel befolyást gyakoroltak rá.

A magyar városhálózat kialakulásához és fejlődéséhez áttekintést ad Perényi Imre: „A városépítés története" (Budapest, 1961) című műve, amely a magyar városépítés múltját az egyetemes városépítés történetében tárgyalja. Továbbá Rados Jenő: „Magyar építészettörténet" (Budapest, 1971) című műve napjainkig foglalkozik a főváros építészeti alkotásaival. Az egyes korszakokat magában foglaló tanulmányok közül kiemeljük: Major Jenő: „A magyar városhálózatról" (Településtudományi Közlemények, Budapest, 1964) és „A magyar városok és városhálózat kialakulásának kezdetei" (Településtudományi Közlemények, 18. sz. Budapest, 1966).

A budapesti agglomeráció létrejöttét, városépítés-történetét bemutatja és elemzi Preisich Gábor: „Budapest városépítésének története" c. nagyszabású, háromkötetes műve. Az első kötet „Buda visszavételétől a kiegyezésig" (Budapest, 1960), második kötet „Budapest városépítésének története a kiegyezéstől a Tanácsköztársaságig" (Budapest, 1964) és a harmadik kötet „A Tanácsköztársaságtól napjainkig" (Budapest, 1969). Munkánk szempontjából jelentős művek még: Edvi Illés Aladár: „Budapest műszaki útmutatója" Budapest, 1896; Thirring Gusztáv: „Budapest félévszázados fejlődése" Budapest, 1925; Vámos Ferenc: „Budapest városképének kialakulása József nádor korától napjainkig" Budapest, 1926; Illyefalvy Lajos: „A székesfőváros múltja és jelene" Budapest, 1934; Dr. Harrer Ferenc: „A Fővárosi Közmunkák Tanácsa" Budapest, 1941; Kiss György: „A budapesti várospolitika 1873—1944" Budapest, 1954; Borsos—Sódor—Zádor: „Budapest építészettörténte, városképei és műemlékei" (Budapest, 1959). „Magyarország műemléki topográfiája" sorozatban jelent meg Pogány Frigyes szerkesztésében: „Budapest műemlékei" I. és II. kötet, Budapest 1955 és 1962.

A két világháború között Budapest fejlődéséről, városrendezési kérdéseiről számos tanulmány jelent meg: Borbíró Virgil, Granasztói Pál, Harrer Ferenc, Kaffka Péter, Lázár Jenő, Rados Jenő, Thirring Gusztáv és mások tollából, különböző építészeti folyóiratokban (Magyar Építőművészet, Tér és Forma stb.). Itt említjük meg a „Tanulmányok Budapest múltjából" és a „Budapest régiségei" c. folyóiratokat, melyek évtizedek óta közlik a főváros történetével, régészeti és művészeti emlékeivel foglalkozó tanulmányokat. Külön kiemeljük Harrer Ferenc munkájából: „Elnöki előterjesztés Budapest városfejlesztési programjához" (Városi szemle 1933) és „Budapest városfejlesztési programja" (Városi szemle 1940), valamint Borbíró Virgil: „Budapest városépítési problémái" (Tér és Forma, 1933).

A felszabadulás után Budapest városrendezési terveiről nagy számban közreadott tanulmányok közül megemlítjük: Granasztói Pál: „Nagy-Budapest városrendezése" (Városi szemle 1948. 1—2. sz.); Granasztói Pál — Polonyi Károly: „Budapest holnap"

(Budapest, 1959); Perényi Imre: „Budapest és környékének általános városrendezési terve a nagyvárosok fejlesztési problémáinak tükrében" (Településtudományi Közlemények, 13. sz. Budapest, 1961); Preisich—Fodor—Győrffy—Szabó: „A budapesti Belváros rendezési terve" (Városépítés, 1966. 3. sz.); Preisich Gábor szerkesztésében: „Budapest jövője" (Budapest, 1973.) c. munkákat. Ezen túlmenően számos mű jelent meg: Berczik András, Borbíró Virgil, Borsos Béla, Brenner János, Gerő László, Genthon István, Granasztói Pál, Harrer Ferenc, Heim Ernő, Kovácsházy Frigyes, Pogány Frigyes, Princz Gyula és mások tollából. Budapest fejlődéséről gazdag statisztikai anyag található a „Budapest statisztikai évkönyve" c. kiadványsorozat köteteiben.

DR. VIDOR FERENC a műszaki tudományok kandidátusa

A KREATIVITÁS LEHETŐSÉGEI ÉS KORLÁTAI AZ URBANISZTIKÁBAN

BEVEZETÉS

Kevés „szakterület" bizonyítja napjaink tudományos-technikai — és tegyük hozzá — művészi forradalmának egységét, és hat, többnyire anélkül, hogy ezt tudatosan regisztrálni képesek lennénk, oly intenzíven a társadalom legszélesebb rétegeire, mint az urbanisztika. Még az sem túlzás, ha azt állítjuk, hogy az urbanisztikai „szakmájában" voltaképpen kivétel nélkül mindenki érdekelt. Ebben az egyéni és társadalmi érdekeltségben azonban, melyet a XX. századi világkép modern szabásúnak tűnő köntöse övez, és amelynek mélyén a lehető legbiztonságosabb térbeli elhelyezkedésre, illetve helyváltoztatásokra irányuló igyekezetek rejtőznek, ősi nosztalgiák is kifejezésre jutnak. Az egyes ember és az egyes társadalmak egyensúlyra való törekvései, az állandóan változó természeti, művi és társadalmi környezettel való mítikus *egység*, egyben racionális *egész-ség* vágya a legrégibb idők óta részét képezi az emberiség kultúrájának.

A ma urbanisztikája kettős lemaradással küzd a világban. Sok más szakterülethez hasonlóan, az urbanisztikának is egyfelől saját belső korlátait kell tovább feszítenie, másfelől — a külső szakemberekkel való kapcsolatai mellett — végül is az urbanisztikai folyamatokat „záró" igazi érdekeltekkel, a nagyközönséggel való viszonyát kell az eddigieknél szervesebben és nívósabban rendeznie.

E kapcsolat bizonytalansága sokszor tagadhatatlanul következik a szakmai megoldások — fejlesztési, rendezési tervek — problematikus voltából, de legalább olyan mértékben adódik a kellően be nem avatott érdekeltek hol progresszív, hol retrográd szemléletű naivitásából.

Mindez annál is inkább jelenik meg nagyfontosságú társadalmi kérdésként és kapcsolódik az urbanisztikai kreativitás problémavilágához, mivel a kettős lemaradás „circulus-vitiosus"-a elégedetlenséget — a divatos műszót használva, frusztrációt — szül nemcsak a szorosan vett urbanisztikai szakemberekben, a tervezőkben és a kutatókban, hanem a szélesebb körök érdekeltjeiben is. A szakemberekben a frusztráció a régihez való ragaszkodásnak és az új elvek megismerésének, megtanulásának, alkalmazási nehézségeinek összeütközéséből, gyakran a releváns döntések lehetőségeinek hiányából, vagy éppen a dönteni nem tudás ambivalenciájából fakad. A közönség viszont ezt nem nagyon veszi figyelembe; világosabb, rendezettebb képet szeretne kapni azokról az igen komplexen ható erőkről, amelyek egyes városok vagy falvak, avagy nagyobb területi egységek gyorsütemű fejlődését előmozdítják, másokét hátráltatják.

Meg kell mondanunk azonban, hogy sok tekintetben mindkét fél „ártatlan". A téma igen nagy igényeket támasztó, rendkívüli interdiszciplinaritása foly-

tán a tervezőknek és a kutatóknak, valamint a többi érdekelt szakembernek hatalmas mennyiségű, különféle tématerületeket érintő információkat kellene nemcsak megismerni, hanem a maguk számára megfelelően dekódolni és egy sajátos urbanisztikai struktúrába homogenizálni is. Erre a feladatra biztató kísérletek vannak már ugyan a világban, de valójában még csak a kezdet kezdetén tartunk olyan átfogó település vagy regionális rendszermodellek megalkotásának és az ezekkel való operációknak, amelyeknek praktikus alkalmazása már *általánosan* elfogadott, elismert sikerekre vezethetett volna.

Az urbanisztika mai helyzetében amolyan nagy nekirugaszkodásnak a tanúi vagyunk. Az is lehet, hogy ennek következményeként talán egy nem is nagyon távoli jövőben már merészebben átfogó, egyben a mindenkori későbbi valósághoz is közelebb vezető tervezési-prognosztizálási eljárásoknak vagy technikáknak, ezekhez kapcsolódó stratégiáknak és taktikáknak — sokak számára ma még váratlan és meglepő — olyan alkalmazásai előtt állunk, melyek a jelenlegieknél erősebben veszik majd figyelembe az urbanisztikai kreativitás szervezeti-személyi feltételeit.

Egyoldalú lenne azonban állásfoglalásunk, ha a még meg nem oldott problémák kapcsán csupán az urbanisztika kutató- és tervezőgárdáját, valamint a nagyközönséget említenénk. Az urbanisztikai feladatok megoldása, nívós lebonyolítása természetesen igen nagy mértékben függ a teljes folyamatban résztvevő, döntésre illetékes, felelős szervek állásfoglalásától, nem kevésbé a kivitelezési, végrehajtási intézményektől is. Sajnos nem ritkán találkozunk még olyan álláspontokkal, melyek közül egyeseknél a „pars pro toto" szemlélet következményeként számszerűen ugyan látszólag megfogható, de valójában többnyire mégis csak töredékes rész-információkra való építés, míg másoknál a rövid időbeli léptékű gazdaságosság szempontjai adhatnak okot a kritikára.

Az urbanisztikai szférába tartozó döntések igazolása, vagy éppenséggel nem igazolása rendkívül nehéz, szinte lehetetlen néha. Mégis, a sokszor már rendelkezésre is álló, esetleg még begyűjthető információknak a jelenleginél átfogóbb értékelése nyomán megszületó döntésekkel nem csak a szakemberek, de a nagyközönség polémiája is jobban elkerülhetővé válna. Nem egy idevágó példát ismerünk. A Városliget kérdései, az Intercontinental, a még meg sem épült Hilton körüli viták, egyes városközlekedési témák — Budapesten maradva példáinkkal — jelzik azokat a problémákat, amelyekről mind a szakmai körökben, mind a napisajtó hasábjain már a közelmúltban is sok szó esett.

Számos olyan elméleti és gyakorlati urbanisztikai téma van még ezek mellett, melyeknek hordereje sokkal nagyobb, összefüggéseik bonyolultabbak, a széles körű szakmai-társadalmi megragadás lehetőségei azonban — nem utolsósorban éppen a fokozott bonyolultság miatt — még jóval korlátozottabbak.

AZ URBANISZTIKAI MEGKÖZELÍTÉSEK HÁROM LEHETŐSÉGE

Bevezető gondolatainkban mind az urbanisztikának, mind a rendszerszemléletnek a teljesség megragadására irányuló törekvéseire, *holisztikus* jellegére utaltunk. Az urbanisztika esetében, éppen az építészettel való szoros történeti kapcsolódásai folytán is — úgy hisszük — joggal állapítható meg az a tény, hogy a holisztikus jelleg nemcsak tudományos-racionális bázison jelenik meg, hanem az urbanisztika (és az építészet) lényeges vonásaként rögzíthetjük azt,

hogy tudományos-technikai *és* művészi karakterrel egyaránt rendelkezik. Bár a következőkben megfontolásainkból a művészi komponenseket a „verbalizálás" összeférhetetlensége folytán kiiktatjuk, természetesen számot kell vetnünk a *csak* tudományos-technikai megközelítésekből eredő hibaforrásokkal.

A tágan értelmezett urbanisztikai problematika „tudományos" tárgyalásának három fő lehetőségét vázoljuk:

— Az *első* megközelítés centrumában az ember van. Az urbanisztikai szférán belül *antropocentrikusnak* vagy *szociocentrikusnak* nevezhető megközelítés az embernek, illetve a társadalomnak ad primátust és helyezi *direkt* módon az előtérbe. A különféle társadalmi diszciplínák (pl. a szociológia, a pszichológia stb.) az embert hangsúlyozzák és mind a természeti, mind a művi környezet játékterét képezi az embernek az említett diszciplínák bizonyos kiemelt, sajátos szempontjai szerint való megítélésének.

— Egy *második* lehetőség az ember művi környezetét — az emberi *produktumokat* — állítja az előtérbe. Az ember által alkotott művi produktumokat kutató, fejlesztő, tervező — térben és időben realizáló — megközelítésmódot, amely az embert, illetve a társadalmat így *indirekten* fejezi ki és a legközelebb esik a szorosabban vett „klasszikus" urbanisztika hagyományaihoz, *építészeti-urbanisztikai* megközelítésnek jelölhetjük.

— *Harmadik* megközelítési lehetőségként az ember (a társadalom) által (még) meg nem változtatott természeti környezet hangsúlya kínálkozik. E megközelítés mind az embert, mind az emberi produktumokat a *természeti* erők ritmusaiba illeszti, és a művi környezetet hangsúlyozó második megközelítésünknél talán *még indirektebben* fejezi ki a „homo sapiens"-t. E változatot, ennek a természettudományokba (biológiába, fizikába, kémiába vagy akár az asztronómiába stb.) illeszkedő, egymással egyre szorosabban ötvöződő diszciplínáinak idevágó vetületeit a problematika *természetcentrikus*, esetleg *kozmocentrikus* megközelítéseként jellemezhetjük.

Az imént a természettudományokon belüli ötvöződésekre utaltunk, nyilvánvaló azonban, hogy ötvöződések felismerhetők az első, főleg társadalomtudományi jellegű diszciplínák között, nem kevésbé a második, inkább technikai-esztétikai kategóriákon belül is, sőt napjaink problémavilága egyre határozottabban veti fel a három — voltaképpen *primátusokkal* jelzett — lehetőségnek egy-egy adott elméleti vagy gyakorlati cél szempontjából való homogenizálását, a kimaradásra „ítélt" szempontokból eredő *hibaforrások* figyelembevételét.

E rendkívül laza és inkább csak figyelemfelhívó vázlat után röviden utalunk csupán arra, hogy a felvázolt megközelítések szemiotikai értelmezhetőségének is igen tág tere van. Ez a problémakör — legalábbis az urbanisztikát illetően — ma kétségkívül még teoretikus jelentőségű, jelen tanulmányunk keretében mindössze annak a megállapítására szorítkozunk, hogy az urbanisztikai problémák megközelítésében a szemantikai, a pragmatikus és a szintaktikus vizsgálódásoknak komoly aktualitása van és a külföldön, elsősorban Olaszországban folyó ilyen természetű kutatások* megfelelő impulzust adhat-

* Könyveik, egyéb publikációik felsorolása nélkül itt elsősorban Umberto *Eco*, Renato De *Fusco*, Giovanni *Klaus-König*, Manfredo *Tafuri*, Maria Luisa *Scalvini*, továbbá Abraham A. *Moles*, Luis J. *Prieto*, Gillo *Dorfles* és Geoffrey *Broadbent* munkásságára utalunk.

nának a hazai kutatómunkának és jelentőséggel lehetnének az embernek természeti és művi miliőjével való kölcsönhatásainak az elkövetkező években való jobb megítélésére.

AZ URBANISZTIKA ÉS AZ INNOVÁCIÓ

Az urbanisztikához, ezen belül az embernek, illetve művi és természeti környezetének viszonylataihoz kétségtelenül *térbeli* asszociációk társulnak elsősorban. Az eddigiekben — szinte ki sem mondva — az urbanisztikai problémavilágnak mi is inkább a térbeli vonatkozásai mentén tekintettük át a lehetséges megközelítéseket. A következőkben a kérdéskomplexumnak az *időbeli* vonatkozásaival konfrontálunk főleg, azokat a *folyamatokat* vesszük figyelembe, melyeknek minden fázisa a legszorosabb összefüggésben van a korábban felvázolt lehetőségek bármelyikével, illetve azok különféle ötvöződéseivel.

Valamelyest helyesbítenünk kell azonban előbbi állításunkat. Mivel nincs terünk arra, hogy az időbeli folyamatok egyes fázisait teljes részletességgel tárgyaljuk, — nagyrészt elhanyagolva ezúttal a fejlesztés-tervezés-realizálás tartalmi, tematikus vonatkozásait — elsősorban a kreativitás megítélése szempontjából jelentős szervezetek, szubkultúrák néhány jellegzetes sajátosságára irányítjuk figyelmünket.

Az ilyesfajta „súlypontképzés" — úgy hisszük — indokolt lehet, annál is inkább, mivel az urbanisztika szakemberei — akármelyik szektorát is tekintjük a tématerületnek — túlságosan hosszú időn keresztül éltek saját, egymástól is elzárt világukban, nem nagyon törődve az „egész" folyamat szervezeti-személyi összetevőinek az „objektív" megvalósulásokra irányuló hatásával.

Talán hasznosnak bizonyul, ha az urbanisztikai problémavilág ezen komponenseit az általános kutatási-fejlesztési (K + F) problémakörhöz kapcsoljuk és — egyebek között — azt vizsgáljuk, hogy a K + F kutatásában kialakult, valamelyest már általánosított elvek mennyiben érvényesek e területen.

A K + F irodalom óriási anyagának ismertetésére természetesen nem vállalkozhatunk, néhány, az urbanisztikát is érintő, alapvető vonatkozását azonban ki kell emelnünk. A K + F problematikában centrális helyet foglal el az *innováció*. Az innováció *Morton* szerint egymással kölcsönhatásban levő tevékenységek sorozata, nem csupán az új ismeret fölfedezése, új termék vagy gyártási eljárás, esetleg szolgáltatás kifejlesztése, avagy új piac kiépítése, hanem mindezek összessége, — olyan folyamat, melyben a kutatástól a szolgáltatásig az alkotó tevékenység valamennyi eleme jelen van, és azok integráló módon, együttesen gyakorolnak hatást a tevékenységelemek közös céljára. Az innováció összetett folyamat, speciális résztevékenységek sorozata, amelyek a közös cél elérése érdekében szorosan kapcsolódnak egymáshoz. E folyamat valamennyi része és kapcsolata az emberek egyénileg is alkotó, de együttműködésen is alapuló tevékenységeiben gyökerezik.[1]

Az innováció általános problematikájával kapcsolatosan *Hajnal* Albert és *Kiss* István tömören foglalják össze a tudás hiányának állapotából az alkotóképes (kreatív) tudásig vezető átmeneteket.[2]

Az egyes átmenetekre az alábbi jelöléseket alkalmazzák:

I_0 = a *tájékozatlanság* állapota, amelyben sikeres cselekvés próba szerencse módon, csak véletlenszerűen lehetséges;

I_1 = *ismétlődő események észrevétele*, amelynek alapján utólag már le tudjuk írni a jelenséget;

I_2 = *ok-okozati összefüggés-törvényszerűség felismerése és megértése* az ismétlődésekben s ennek birtokában képesség arra, hogy hasonló eseményeket előre megjósoljunk;

I_3 = a felismert törvényszerűség alapján képesség arra, hogy *természetes jelenségek lefolyásába alakítóan beavatkozzunk*, előre látva beavatkozásunk kimenetelét is;

I_4 = az előző állapotok továbbfejlődéseként képesség arra, hogy *új dolgokat hozzunk létre*, céltudatosan és tervszerűen.

Ami az urbanisztikát illeti, voltaképpen mind az öt fokozatot felismerhetjük az olyannyira eltérő nívójú társadalmi, technikai és természettudományos komponensek között. Bár új lakótelepeink, városaink, a létrehozott számos létesítmény és intézmény sokszor „formálisan" olyasmit mutatnak, mintha már a legfelső fokozatot is elértük volna, meg kell vallanunk magunknak, hogy új dolgok létrehozatala ugyan kétség kívül igen gyakran megtörténik, de az urbanisztika igen tág tér- és időléptékéhez tartozó — a beavatkozás kimenetelét is előre látó — alakító beavatkozás (I_3) vagy a megfelelő céltudatosság és tervezés (I_4) még többnyire hiányzik. Még az alacsonyabb fokozatokkal kapcsolatban is problémák vannak, hiszen éppen a tág tér- és időléptékek folytán nem egyszer rendkívül nehezen vesszük észre az ismétlődő eseményeket (I_1), ennek folytán természetesen küszködünk azzal, hogy az ismétlődések idejét és helyét (I_2) előre lássuk, prognosztizáljuk.

Az imént az urbanisztika tág térbeli és időbeli dimenzióit említettük. Egy város élete időben sok generációra terjed ki, és a térbeli áttekintés is nehézségeket okoz. Mindez alighanem jóval kevesebb problémát okozna, ha magából az emberi beavatkozásból eredő bizonytalanságokkal nem kellene számolnunk, ha akár a csillagászathoz, akár a geológiához, avagy más természettudományokhoz hasonlóan jobban „objektiválhatnánk", és nem kellene küszködnünk az *egyszerre* megjelenő — konvencióinkban még nehezen homogenizálható — társadalom- és természettudományos aspektusokkal.

AZ URBANISZTIKAI FOLYAMATOKBAN RÉSZTVEVŐ SZERVEZETEK ÉS SZUBKULTÚRÁK

A következőkben tehát a művi környezetet formáló, főleg az általunk építészeti-urbanisztikainak, jóval kisebb mértékben az antropocentrikusnak vagy szociocentrikusnak nevezett megközelítés szemléletével — inkább pragmatikusan — azoknak a szervezeteknek, illetve informális szubkultúráknak vázoljuk néhány olyan jellemző vonását, melyek — egy valóban kreatív működés megítélésének szempontjaként — elsődlegesen vehetők figyelembe.

Az egyes folyamatokban résztvevő szervezetek (szubkultúrák) öt fő csoportját tárgyaljuk:

1. a tervezői,
2. a kutatói,
3. az igazgatási (döntési),
4. a végrehajtási (kivitelezési, lebonyolítási) szervezeteket, illetve szubkultúrákat, továbbá
5. a lakosság egy-egy megfelelő területi egységben (városban) élő egészét, avagy egyes különféle szempontok szerint homogenizálható rétegeit.

1. A tervezők szervezetei és szubkultúrája

Az urbanisztikai tervezés szervezete Magyarországon súllyal két intézetre, a VÁTI-ra és a BUVÁTI-ra koncentrálódik. A két intézet monopolhelyzetét csak kevéssé érinti, hogy egyes vidéki építészeti tervezőintézetekben is folyt korábban várostervezés, de jelenleg csupán a Debrecenben működő tervezőintézetnek van komolyabb városrendezési irodája.

A várostervezés szervezetének ez az állapota anakronisztikus módon — a budapesti helyzettől, a Fővárosi Tanács irányítása alatt működő BUVÁTI-tól eltekintve — kétségkívül a területi szempont bizonyos elhanyagolására mutat. Bár számos jogos érvet lehet itt felsorakoztatni a hazai várostervezésnek szinte kizárólagosan Budapestre való koncentrálását illetően, kétségtelen, hogy ez a szervezeti forma, a tervezési helyszíntől való elszakadottság, a tervezők, a döntési hierarchia, a kivitelezők provizórikus kontaktusai, vagy kontaktusainak hiánya, emellett az intézeti és helyi igazgatási szervek elbírálási értékrendjének, az eltérő szervezeti, financiális és egyéb érdekeknek az összeütközése gyakran teremt nem indokolt konfrontációt és tényleges nehézségeket. Az igazi akadályok így sokszor aránytalanul nagyra nőnek vagy — éppen ellenkezőleg — aránytalanul törpévé zsugorodnak. A tervezők a rájuk nehezedő terhelések miatt vagy egyáltalán nem, vagy csak csekély mértékben képesek alternatívák kidolgozására, — bár igaz, hogy a jelen tervezési rendszer ezt még nem is igényli.

Ami a — jóformán kizárólag építészekből álló — tervezői szubkultúrák néhány jellegzetes tulajdonságát illeti, nem utolsósorban a szakmai kondicionáltság folytán emelhetők ki az informális jellemzők között

- a korrektív, változtató (néha utópisztikus jellegű) attitűdök,
- van erőteljes szerepe az ösztönösségnek a racionális-logikai gondolkodásformával szemben,
- hangsúlyozottak a qualitatív vonások a quantitatív természetűekkel szemben, végül
- aláhúzható az a tény, hogy az *információ* elsősorban a *változtatni* akarás, a *korrekció* eszközeként jelenik meg.

2. A kutatók szervezete és szubkultúrája

Azzal, hogy a tervezőket (a tervezést) sorrendben a kutatók (a kutatás) elé helyeztük, látszólag logikai hibát követtünk el. Azért tettük ezt, mert a hazai praxisban a várostervezést megelőző konkrét természetű kutatásokat rendszerint maguk a tervezők végzik, és — meg kell vallanunk — a tervezéscentrikus beállítottság többnyire még ma is amolyan szükséges rossznak tekinti az alapos megelőző vizsgálatokat.[3] A probléma maga az említett tervezővállalati szervezeti feltételekből is következik, hiszen nyilvánvaló, ha a *tudott* bizonytalanságainkat tükröző alternatív tervekre nem jut idő, az urbanisztikai spektrum mélységeit elemző, valóban átfogó kutatásoknak és vizsgálódásoknak még kevesebb terük lehet. Az urbanisztikai központi kutatás bázisa a VÁTI tudományos irodája. Bár a kutatási programban néhány komplex természetű főtéma kiemelésre kerül (a rendszerszemlélet igénye is megjelenik), a valóságos hatásfok — különösen a városok tér — idő léptékében — még nem tekinthető kielégítőnek, mivel a kutatások nemcsak a tervezői praxistól, hanem a helyi tényleges feltételektől is némi távolságra vannak. A tudomá-

nyos kutatásban eluralkodó korábbi, nagyrészt normatívákra orientált esztétikai-funkcionális látásmód helyére a legutóbbi években szinte kizárólagosan a nagyobb térségek közgazdasági problémái kerültek, az urbanisztikai fejlesztésben és tervezésben oly nagy szerepet játszó szociológiai, pszichológiai, vagy akár a politikai-igazgatási vonatkozások azonban még mindig periferikusak, nem épülnek be szervesen ezekbe a kutatási programokba sem.

Az urbanisztikai kutatás hazai helyzetét megvilágítja az a tény, hogy rendkívül csekély a valóban komplex érdeklődésű, a szakterületet ténylegesen interdiszciplinárisan szemlélő kutatók száma.

A kislétszámú, jelenleg a közgazdász profil felé eltolódó területi kutatók „informális" tulajdonságaként

— a racionális-logikai gondolkodásforma primátusát,
— a quantifikációra törő szemlélet hangsúlyozottságát állapíthatjuk meg, végül
— azt, hogy az építész-városrendezők korrektív-változtató attitűdjével szemben a kutatói alapállás az *információban* a *megismerés* eszközét látja inkább.

3. A területi igazgatási és az ágazati (döntési) szervezetek és szubkultúrák

A fejlesztési-tervezési elképzelések, illetve maguk a tervek előbb vagy utóbb természetesen a megfelelő igazgatási szervekhez kerülnek döntésre, azok helyességét, realizálhatóságát illetően. Bár a tervek elfogadása az illetékes megyei, vagy városi tanácsok végrehajtóbizottsága által történik, ezt megelőzően — a maga sajátos érdekeinek, szempontjainak képviseletében — több, igazgatási hatáskörrel részben vagy egészben felruházott intézménynek (pl. a tűzrendészetnek, vízügyi hatóságnak, egyes közszolgáltatási intézményeknek, a honvédelmi szerveknek stb.) kell állást foglalnia. E szervek szerepe nagyobbrészt korlátozó jellegű, megfontolásaik — a dolgok természeténél fogva — olyan rész-szempontokra hívják fel a figyelmet, melyeket egy-egy fejlesztési-tervezési koncepció végrehajtásában indokoltnak látnak.

A területi-igazgatási szervek döntéseivel nem egyszer párhuzamosan jelennek meg, vagy inkább jelentek meg korábban — különösen nagyobb jelentőségű beruházások esetében — az ágazati (miniszteriális) állásfoglalások, melyek természetesen az ágazati érdekeket hangsúlyozták. Ezek az állásfoglalások a tér-struktúrának, vagy inkább a tér—idő struktúrának (a mit, mikor és hova, sőt a kiknek és hogyan kérdésekre adott *szinkron* válaszoknak) az elhanyagolásával születtek. Ma is gyakran vagyunk tanúi annak, — megyei és városi léptékekben egyaránt — hogy a kisebb-nagyobb vállalati érdekek korántsem fedik a lakosság szélesebb rétegeit érintő optimális, vagy ahhoz közelálló telepítési változatokat. Így a területi szempontok kiiktatása vagy elhanyagolása végeredményben az ágazatiakra is visszahat, hiszen az üzemeltetésekben, fenntartásokban — bármilyen intézményről legyen is szó — a ma általánosan elismertnél jóval nagyobb szerepe van annak, hogy az *hol* van és *mikor* került oda.

Amennyiben csupán a területi-igazgatási (döntési) hierarchiára szűkítjük érdeklődésünket ezután, megállapíthatjuk, hogy akár szervezeti formációkként, akár egyes személyekből álló szubkultúrákként vesszük szemügyre az apparátust, az értékrendek csúcsán politikai, hatalmi szempontok állanak. Kétségtelen, hogy a hatalom gyakorlásában a formális és az informális vonat-

kozások igen sok változatot mutatnak, és az urbanisztika, avagy a területi fejlesztés és tervezés ennek egyik eszközeként is felfogható. Nyilvánvaló azonban, hogy ez „vice versa" is érvényes, és elképzelhetetlen, hogy nívós urbanisztikai struktúrák jöjjenek létre bárhol is a döntési apparátus aktív közreműködése nélkül.

A területi-igazgatási döntési apparátust tekintve — egyebek között

— a már említett politikus attitűdöt,
az időben viszonylag rövidlejáratú, gyakorlati sikerekre való orientáltságot,
— a gazdasági szempontok kiemelkedő figyelembevételét,
— a nem számszerűsíthetőkkel szemben az egzakt, quantitatív jellegű információk előtérbe helyezését, végül
— az *információknak* elsősorban a *politikai* irányítás és hatalom eszközeként való felhasználását állapíthatjuk meg.

4. A végrehajtási (kivitelezési, lebonyolítási) szervezetek és szubkultúrák

A megfelelő döntések után kerül sor (helyesebben olykor, kellene hogy sor kerüljön) a tervekben, fejlesztési elképzelésekben rögzített objektumok (együttesen: intézmények-létesítmények) megvalósítására. Egy újabb apparátus-csoport, sőt nem is egy, hanem egymástól elég jól elhatárolható két apparátuscsoport kezébe kerül az objektumok életrehívása. Az *egyiknek* a már említett ágazati szempontokat kell immár tovább bontania, és egy-egy *intézmény* vagy intézmények együttes ágazati-területi funkcionális hierarchiájának megteremtésén fáradoznia. A *másik* apparátus feladata, hogy biztosítsa az ún. objektumoknak a *létesítményi* összetevőit, más szóval a materiális keretet, az épületet, utat, hidat stb. Érdemes megjegyeznünk, hogy az urbanisztika egyik érdekes problémáját jelenti az intézmény-létesítmény egységpár együttes számbavétele, rendszermodellekbe való illesztése. Ezúttal azonban — ismét korlátozva túlságosan is tág érdeklődésünket — figyelmünket a *létesítmény* komponensre irányítjuk. Azért adunk ennek az összetevőnek — egyébként indokolatlan — primátust ezúttal, mert a hazai fejlesztési-tervezési praxist befolyásoló tények közül már a kezdeti elképzelések elkészítésében — és később a döntésekében is — aránytalanul nagy szerep jut napjainkban éppen a létesítményeket produkáló építőipari kivitelezés kapacitási, technológiai és egyéb szempontjainak. Úgy tűnik, hogy az építőipar gyakran rövidlejáratú gazdaságossággal számoló érdekei már eleve túlzottan megkötik a fejlesztés, a tervezés lehetőségeit. Nagyon kevés az olyan kutatás még, mint pl. *Preisich* Anikónak az ÉGSZI-ben készült tanulmánya [4], mely a technológiai-gazdasági szempontokat a *lak-ás* folyamatának szociológiai-pszichológiai komponenseivel igyekszik összekapcsolni. Az ilyen természetű kutatómunka iránti növekvő érdeklődés arra mutat, hogy az intézményi-létesítményi összefüggések megfelelő komplex analízise (a lakás „intézményi" funkció a lakóépület létesítményében) természetesen nemcsak a szorosan vett lakásproblematika, hanem a legkülönfélébb ellátási, üzemi stb. objektumok vonatkozásában is hálás és produktív témája lehetne az urbanisztikai vizsgálódásoknak.

Ami a kivitelezési apparátusban dolgozók (műszakiak) szubkultúráját illeti, szemléletükben elsősorban

— néha csak vállalati, néha azonban országos léptékben is gondolkodó, de mindenképpen technikai-gazdasági beállítottságot,

— az ezzel is együttjáró racionalizáló, quantifikáló szemléletet,
— a társadalomtudományi komponenseket is tartalmazó tágabb és komplexebb problematikával szemben jelentkező ellenérzéseket kell észrevennünk;
— az *információk* felhasználása tekintetében főleg a speciális és nem a „problematikus", általánosítható információk jelennek meg eszközként a *technikai-gazdasági* fejlesztés érdekében.

5. A lakosság problematikája

Az előzőkben említett négy szervezeti csoport (vagy szubkultúra) minden tényked ésének végeredményben a lakosság érdekeit kellene szolgálnia. Lehetséges-e azonban a lakosságot — legyen az akár egy falu, város vagy nagyobb területi egység lakossága — homogén egészként tekinteni, s ilyen fajta „egészet" egyértelműen szolgálni? Nyilvánvaló, hogy az igenlő válasz irreális lenne. Szembe kell néznünk azzal a ténnyel, hogy nagyon sokféle — pl. politikai, gazdasági, szociológiai, szociálpszichológiai, nemzetiségi, területi elhelyezkedési stb. stb. — szempont szerint állapítható meg primátus az egyes lakosságrétegek között. Ez — úgy hisszük — nyilvánvaló igazságot fejez ki; mégis hangsúlyoznunk kell, mert ez a szempont az urbanisztikai tématerületnek, különösen a tervezésnek nemcsak a mindennapi praxisában, hanem elméleti írásaiban is — amennyiben egyáltalán megjelenik — még mindig az egyik legelhanyagoltabb elemnek tekinthető.

A prioritások explicitté tételének igen nagy jelentősége van és a lakosságnak a különféle, a területi elhelyezésből származó előnyeinek vagy hátrányainak számbavétele, a hatások, illetve kölcsönhatások figyelembevétele új színekkel gazdagíthatná az urbanisztikai kutatások, de a fejlesztési és tervezési elképzelések színskáláját is. Igazából itt jelenik meg a szervezeti kreativitás problematikája, és egyfelől a lakosság minél szélesebb és értékesebb rétegeinek nyugodt, progresszív magatartásában, másfelől az embereket övező természeti és művi környezet egészséges és harmonikus megjelenésén mérhető le valójában. Több mint 30 évvel ezelőtt közzétett könyvében Eliel *Saarinen*, századunk egyik nagy városépítésze arra is rámutatott, hogy a „sikeres" városfejlesztés és tervezés nemcsak formai rendet jelent, hanem a társadalmi stabilitásnak is elengedhetetlen velejárója.[5]

ÖSSZEFOGLALÁS

Az urbanisztikai kutatásban, fejlesztésben-tervezésben, a döntésekben és a végrehajtásban résztvevő szervezetek és szubkultúrák néhány jellegzetes sajátosságának felvázolásával — mint mondottuk — az általános K + F problematikába igyekeztünk illeszteni a témát. Szembeötlően jelentek meg azok az inhomogenitások, amelyek egyfelől a folyamat egy-egy fázisában a formális szervezetek és az informális szubkultúrák közötti kisebb-nagyobb belső feszültségekre, másfelől az *egész* processzusban résztvevő szervek, szubkultúrák közötti kialakuló, az olyannyira eltérő értékrendekből, prioritásokból származó nyelvi, kommunikációs differenciákra utaltak.

A társadalmi tapasztalat azt mutatja, hogy a fejlesztési-tervezési koncepciók még a legkedvezőbb körülmények között sem realizálódnak az eredeti

elképzelésnek megfelelően. Az említett formális és informális hierarchiák összeütközései, a folyamatban résztvevő szervek kommunikációs nehézségei, és ezen túlmenően még az emberi előrelátás (a pro-gnosztika) számos bizonytalansága végeredményben *de-formálja* az eredetileg elképzelt létesítményi és intézményi rendet. Ezt a deformációt azonban nem kell feltétlenül kizárólagosan a konvencionálisan rossz értelmezésében felfognunk. Miután tudjuk, hogy még beláthatatlanul sokáig leszünk tanúi terveink, fejlesztési koncepcióink „torzulásainak", éppen ezt kellene alaposabb vizsgálat tárgyává tennünk és az eddiginél jobban elemeznünk azokat a rendkívül komplexen ható társadalmi, természeti és technikai komponenseket, melyek a deformációt — *ekkor, itt* és *így* és *éppen így* — hozzák létre. És természetesen ezúttal is meg kell fordítanunk az irányt; igen alaposan kell áttekintenünk az elképzeléseinktől eltért, „elvárásainkhoz" képest deformálódott környezetünknek a társadalom egyes rétegeiben megjelenő „feed back"-jeit.

Nemcsak érdekes, hanem rendkívül hasznos is lenne mindezzel kapcsolatban például — pozitív hazai példát említve — a Salgótarján városközpontjának létrejöttét megelőző fejlesztési és tervezési elképzeléseknek az egyes formális és in-formális hierarchiákon való keresztüljutását végig követni, az akadályokat, azok többnyire sikeres leküzdését megfelelő elemzés, bírálat, értékelés tárgyává tenni. Hasznosnak bizonyulna emellett egy-egy kevésbé sikeres terv-realizálás analízise a lehető legtöbb, korábban elhanyagolt szempont figyelembevételével. Ugyancsak értékes eredményekre vezetne, — nagyobb térbeli dimenziókból véve példánkat — ha az képezhetné egyszer vizsgálat témáját, hogyan él az Országos Településfejlesztési Terv nemcsak az egyes területi és ágazati szervek hivatalos nómenklatúrájában, hanem apparátusának „nem hivatalos" tudatában is.

Az iménti gondolatsor voltaképpen a K + F problematika ún. *innovációs transzferjének* gondolatköréhez kapcsolódik. A K + F irodalom a kutatási eredmények működésbe és alkotásba való átmenetét, az ezzel összefüggő rendező aktivitást nevezi transzferhatásnak. Az urbanisztikai problematika síkján nem utolsósorban a hazai kutatási bázis oly nagyfokú elmaradottsága miatt, de a tématerület sajátos általános adottságai folytán is a transzferhatásokat a korábban vázolt egyes intézmények formális és informális „vetületei" nem kevésbé a kutatási, fejlesztési, tervezési, döntési, realizálási folyamatokban elsősorban érintett szervek között — tehát a hagyományos K + F megközelítésnél tágabban — kell majd figyelembe vennünk. Mindez természetesen igen sok munkát, szakemberek megfelelő „hozzáállását", általában az urbanisztikai szemlélet további szélesedését igényli.

Többször hangsúlyoztuk, hogy tanulmányunk az olyannyira teljességet igénylő urbanisztikai problematikának ezúttal csak egy igen szűk — általunk elhanyagoltnak vélt — szektorát igyekezett megvilágítani. Következtetéseink, megállapításaink így nem a tématerület egészét, hanem elsősorban a tárgyalt problematikát érintik és összegezve, végeredményben a már eddigiekben is megállapított „hiányosságok" kiküszöbölésének néhány lehetőségére mutatnak rá.

Az elkövetkező évek urbanisztikai elméletében és gyakorlatában tehát a hagyományos gondolkodásba illeszkedő, tervezési-fejlesztési metodikai változtatások, a közgazdasági trend-extrapolációk és egyéb matematizáló eljárások mellett — úgy hisszük — egyre nagyobb teret kell kapnia a kreativitás problémájával szorosabban összefüggő, ma még szokatlanabbnak, újszerűbb-

nek tűnő, bizonytalanabb megfogalmazású szempontoknak. E szempontok között kell kiemelnünk

- az értékrendeknek, céloknak, eszközöknek az eddigieknél világosabb, explicitebb kifejtésének szükségességét, ami annál is fontosabb, mert biztosítaná annak lehetőségét, hogy a *magasabbrendű* céloknak egyértelműbben rendelhessük alá az alacsonyabbrendűeket.
- Az információs szférában figyelmünket az információs anyag tartalma, avagy begyűjtésének módszerei mellett az információt felhasználó apparátusokra, a szervezeti és személyi *de-kódolási képességekre* is kell majd fordítanunk.
- A formális szervezetek működésének elemzése mellett a szervezetekben dolgozó szakmai „*szubkultúrákra*", a szakmai és egyéb természetű kondicionáltságokra, az ebből eredő gátló vagy éppen generáló impulzusokra kell nagyobb súlyt fektetnünk.
- Némileg meghaladja ugyan jelen témamegragadásunkat, de a szoros kapcsolódások folytán mégiscsak említenünk kell az urbanisztikai folyamatokban megjelenő *döntési csomópontok* jelenlegi bizonytalanságait; ezek megfontolt vizsgálatokon nyugvó korrigálása, a hivatali-személyi *kompetenciák* alapos kimunkálása ugyancsak nagymértékben járulna hozzá az urbanisztikai kreativitás térnyeréséhez.
- Kétségtelenül hosszabb időt vesz majd igénybe, de elengedhetetlenül szükséges, hogy a hazai urbanisztika — vagy tágabban az egész területfejlesztési és -rendezési tématerület — biztosítsa magának a valóban komplex gondolkodású, a rendszerszemlélet alapján álló, emellett az összefüggések felismerésére intuitív képességgel is rendelkező szakembergárdát. Az *alapképzettség*, az, hogy építészeti, közgazdasági, szociológiai avagy jogi képzettségre épül az interdiszciplináris gondolkodásmód, a *terminológia*, például akár az a tény, hogy mi urbanisztikai szemlélettel, gondolkodásmóddal jelöltünk olyasmit, amit mások esetleg ökológiaival, ekisztikaival, területrendezésivel, avagy másként fejeztek volna ki, *másodlagosnak* tűnik. A lényeg az, hogy széles látókörű, a téridő összefüggéseket egységben látó emberek a jelenleginél nagyobb számban legyenek a jövőben, de megfelelő teret is kapjanak a társadalom számára fontos, ilyen irányú képességeik valóságos kibontakoztatására.

A tanulmány anyagát kevés változtatással az 1973 júniusában Sopronban rendezett RENDSZERELMÉLETI KONFERENCIA '73 alkalmával tartott előadás, illetve a konferencia sokszorosított kiadványa képezi.

IRODALOM

[1] *Morton, J.A.:* The Innovation of Innovation I.E.E.E. Transactions of Engineering Management EM. 15. kötet, 1968. Magyarul: Az innováció megújítása, A kutatás és fejlesztés vezetése c. kötetből: szerk. Hajnal Albert és Kiss István; Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1972.

[2] *Hajnal Albert — Kiss István:* A kutató-fejlesztő szervezetek és vezetésük, A kutatás és fejlesztés vezetése c. kötetből: szerk. Hajnal Albert és Kiss István; Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1972.

[3] *Gutkind, E.A.:* Community and Environment; Watts and Co., London, 1953.

[4] *Preisich Anikó:* Lakásszociológiai vizsgálatok a győri házgyár termékeiből készült lakásokban; Az Építésgazdasági és Szervezési Intézet kiadványa Budapest, 1971.

[5] *Saarinen, Eliel:* The City, its Decay, its Future; Reinhold Publishing Corporation, New York, 1945.

DR. BRENNER JÁNOS

KÖRNYEZETALAKÍTÁS ÉS VÁROSÉPÍTÉS

A következőkben a környezet és alakítása kerül taglalásra néhány jelentősnek tűnő vonatkozásban a városépítés nézőpontjából. A környezet problémája különböző értelmezésben közelíthető meg különböző diszciplínákból kiindulva, már csak a fogalom relatív jellege miatt is. Ezért meg kell jelölni azt a döntő összefüggést, amelynek jegyében egy szaktudomány foglalkozni kíván a környezet problémájával. A városépítés esetében ez kétségtelenül csak *a környezet tudatos alakítása* lehet. Számtalanszor leírt, közkeletű felismerés, hogy a környezet értelmes, körültekintő és előrelátó változtatása az emberiség egyik sorskérdésévé vált. Ezzel a feladattal számos ismeretág foglalkozik, közöttük a területi, illetve a települési tervezéssel kapcsolatos szaktudományágak szembesültek komplex és prognosztikus jellegük következtében a környezet alakításának alapvető kérdéseivel. A környezetnek mint jelenségnek még nincsen megfelelő tudományága, a környezet alakítása még nem képez külön tervezési diszciplínát. A tervezéssel kapcsolatos szaktudományok sem fejlesztették még ki átfogó környezetalakítási elméletüket és módszerüket. A városépítés jelenlegi ismereti szintjén a környezet alakításával kapcsolatos tudományos megismerés áll: számos, még nem rendszerezett ismeretből törvényszerűségek, illetve empirikus tényállások vonatkozásában, preteoretikus ismereti elemekből, széles körű tervezés-metodológiai tételekből, kiterjedt tapasztalatokból tervezési folyamatok irányítása és megvalósítása terén és végül kevés algoritmusból a környezetalakítás folyamatainak megfigyeléséről és kísérletezéséről. A szocialista termelési viszonyok hatalmas hatóerőt képeznek a környezet komplex alakításában is, egyúttal objektív szükségességet és lehetőséget teremtenek a környezet tervszerű fejlesztéséhez. E szükségesség és lehetőség érvényesülésének előfeltétele, hogy a környezetnek a társadalmi tevékenység következtében fellépő folyamatos változása tudományos összegezésre és rendszerezésre kerüljön.

A környezet megközelítése a városépítés (településtervezés) elmélete alapján abból a feltételezésből történik, hogy a városépítés ismeretei alkalmazhatók a tervszerű környezetalakítás szélesebb körében is. A kiindulás helytállóságára a továbbiakban kifejtendők egésze kíván igazolásként szolgálni. A környezet városépítési interpretálásánál jelentős nehézségek is fellépnek: egyrészt meg kell haladni a szakdiszciplína tapasztalatban már kialakult határait a tudományos témabővítésnél jelentkező nehézségek ismert következményeivel; másrészt elkerülhetetlenül kiváltja ez a törekvés a környezetalakítás tárgyának, terminológiájának, módszerének és céljának jórészt még kidolgozatlan de megkerülhetetlen kérdéseit. Mindezek megválaszolása meghaladná egy szaktudomány, még inkább egy tanulmány lehetőségeit, ezért tudva

el kellett tekinteni lényeges kérdések tárgyalásától, melyeknek megválaszolatlansága azonban terheli a kifejtendőket.[1] A dilemma adott, különösen a terminológiában; következményeit vállalni kellett a gondolatmenet esetleges vitathatóságának és egyenetlenségének veszélye mellett is, mert a problémának jelentős időszerűséget lehet tulajdonítani, mely kötelezi az érintett szaktudományokat álláspontjuk vázolására.

Minden társadalomban fellépnek anyagi és szellemi igények, melyek egyrészt az ember létezésének fenntartásához szükségelteket jelentik, másrészt az ember törekvését fejezik ki a társadalom anyagi és szellemi javainak megszerzésére. A létezéshez elengedhetetlenül szükséges anyagi és szellemi feltételek egyik jelentős, általános komplexusa az ember környezete. A terminológiai probléma érintése nélkül is megállapítható kiindulásként, hogy ebben a fogalomban társadalmi, gazdasági, kulturális illetve természeti, térbeni, ökológiai stb. vonatkozások ötvöződnek anyagi és szellemi jellegükben, melyeket közvetlenül vagy közvetve műszaki eszközök is alakítanak, befolyásolnak vagy érintenek. Ezáltal létrejön egy szűkebb kör is a sokrétű halmazon belül, amely a műszaki tudományok — közöttük a városépítés — sajátos feladataihoz kapcsolódik.

A szaktudományok tartalmi és módszerbeli közelítése a környezethez csak átfogó alapokon oldható meg, mert a környezet folyamatai általános társadalmi folyamatokat tükröznek, illetve azok révén határozódnak meg. Ennek következtében a városépítés tudományos alapja az ember létfeltételei egyik jelentős anyagi változatának, a környezetnek megragadásában csupán a mindenkori konkrét társadalom tudományosan igazolt struktúrája lehet. Ugyanígy a környezet alakítására irányuló feladatokat, azok stratégiáját és taktikáját mindenkor az uralkodó társadalmi forma, annak ideológiája és politikája határozza meg.

A városépítés fundamentális kérdése a jelenlegi ismereti szinten a tudományág feltételeiben, összefüggéseiben és funkciójában jelentkezik. Az első komplexus jelenti a városépítés gyakorlati és tudományos függésének miként jét a társadalomtól és a természettől, vagyis a termelőerők szintjétől, a társadalom szükségletétől, a tudományos fejlődéstől, ill. munkamegosztástól, a természet általános feltételeitől és az uralkodó ideológiától. A második komplexus tartalmazza a városépítés tudományának belső és külső összefüggéseit, vagyis a városépítés ismeretanyagának osztályozását és struktúráját, az elmélet és metodika kapcsolatát, a városépítés tudományának és társadalmi gyakorlatának viszonyát, a diszciplína helyét a tudományok között. A harmadik komplexus kifejezi a városépítés tudományának és gyakorlatának visszahatását a társadalomra és természetre, tehát az előbbi tényezőket tartalmazza ellenkező előjelű viszonylatban. A városépítés tudományának feltételei, összefüggései és funkciói a szakma fejlődése szempontjából, de társadalmi feladatából eredően is alapvető kérdést képeznek. A korszerű elmélet, valamint az emberiség évezredes városépítő, fejlesztő, fenntartó és felújító tapasztalata igazolni látszik, hogy a városépítés hármas alapkérdése *az emberi környezet tágabb körén belül*, a társadalom és a természet összefüggésében válaszolható meg átfogóan. Ez a hipotézis feltételezi annak helytállóságát, hogy *a városépítés alapjai levezethetők az átfogóbb környezetből kiindulva, továbbá, hogy a környezet problémája megközelíthető a városépítésből kiindulva.*

[1] Jelen tanulmány nem ismétli azokat az állásfoglalásokat a városépítés és a környezetalakítás összefüggéseiről, melyek a szerző más publikációiban már megjelentek. Teljesség kedvéért legyen szabad utalni az irodalomjegyzék [1, 2, 3, 4, 5] tételeire.

A KÖRNYEZET ALAKÍTÁSÁNAK ALAPJAIRÓL

Az ember reális társadalmi életfolyamataiból keletkeznek mind a létfenntartás anyagi eszközei és a társadalom szociális viszonyai, mind a szellemi tevékenységek, melyek révén tudatosul az emberben társadalmi és természeti környezete és önmaga is. Minden társadalmi jelenség és viszony döntő meghatározója a munka, ez képezi az ember és környezete viszonyának alapvető vonatkozását is. A munka folyamatában az ember „. . . a természeti anyaggal szemben maga is mint természeti erő lép fel . . ., hogy a természeti anyagot a saját élete számára használható formában elsajátítsa. Miközben az ember hat a rajta kívüli természetre és azt megváltoztatja, egyben megváltoztatja saját természetét is."[6] Az ember és a természet közötti viszony egyik döntő jellegzetessége tehát egyrészt a munka által a természetre gyakorolt hatásban nyilvánul meg, másrészt ennek a folyamatnak visszahatásában az emberre. „. . . A munka mint hasznos munka . . . az embernek minden társadalmi formától független létfeltétele, örök természeti szükségszerűsége abból a célból, hogy az ember és a természet közötti anyagcserét, tehát az emberi életet közvetítse."[7] A természet megváltoztatása munka révén, a természetnek elsajátítása emberi szükségletek számára, a munkafolyamatok során létrejövő anyagcsere a társadalmon belül a munkamegosztás és a tulajdoni viszonyok adott, történelmileg meghatározott formái között alakul ki, amelyekben kifejezésre jutnak a konkrét termelési viszonyok és a konkrét termelőerők (utóbbiak révén a tényleges természeti feltételek is konkrét terükben).

A két oldal egységéből létrejövő és történelmileg változó termelési módok határozzák meg a környezethez fűződő viszonyt, mivel azokban kifejezésre jut az ember helyzete a társadalomban és a természetben, következésképpen azoknak bármely részrendszerében vagy közös komplexusában. Ebben az értelmezésben „környezet" önmagában nem létezhet: ez a fogalom konkrét társadalomhoz és konkrét térhez kapcsolható csupán.

A környezet felfogható közegként a végtelen anyagi világon belül, amelyben a társadalmi munka és az általa létrejövő anyagcsere realizálódik. Ez a hatásterület a növekvő társadalmi munkateljesítmény révén állandóan bővül. Társadalmi munka közegeként a környezet mind társadalmi, mind természeti jellegű. (Ezért nem tekinthető kizárólagosan társadalmi vagy természeti problémának a tudományos megközelítésben sem; ezzel az indokolással vitatható az a felfogás, mely környezeten csak természeti környezetet, a környezet tudományos problémájában csak a természettudományi vonatkozást érti.) A környezeten belül összetett, sokrétű és különféle jellegű anyagcsere zajlik le a társadalom és a természet között, a szónak alapvető értelmében is. Ennek az anyagcserének egyik jellemzője, hogy a munka oldalán elvben nem korlátozott és állandó növekvésben levő potenciál áll, mely mindinkább fokozza és gyorsítja a „természet" felvételét a társadalom rendszerébe, kiterjeszti a környezetet és ezzel a természet „fogyasztását"; a másik oldalon viszont a Föld áll, mint az anyagi világ egyik véges rendszere, mely még hosszú időn át gyakorlati határt szab a társadalmi munka hatásterületének, a környezet kiterjesztésének és a természeti erőforrások körének, azaz a természet „kitermelésének". Földünk egésze rohamos ütemben „környezetté" válik korunkban, ezzel az emberiség történelmében először a társadalmi munka hatásterülete megközelíti a Föld egész terjedelmét és nem növelhető tetszőlegesen. A környezet problémája ezzel mindinkább egybeesik az ember földi létfeltételei

határának problémájával is. (Ezért nem tekinthető a környezet csupán az ember társadalmi expanziójának áldozatul esett „érintetlen természetnek", melyet valamilyen formában meg kell óvni a társadalom „aggressziójától". A környezet problémája nem redukálható a természetvédelem kérdésére.) A környezet a természetnek a társadalom által integrált részét képezi, mellyel értelmesen és előrelátóan bánni kell, azaz társadalmi léptékben gazdálkodni. Az anyagcserének további jellemzője, hogy nem képez zárt folyamatokat, miáltal „exkrementumok" is létrejönnek szennyeződések formájában, melyek mindinkább rontják a környezet minőségét és ezzel az ember létfeltételeit. A szennyeződés a környezet egyik lényeges, de nem kizárólagos problémája. (A környezet tudományos kérdése ez okból nem redukálható csupán a környezet szennyeződésének illetve a szennyeződés felszámolásának ügyére.)

A sajátos emberi munkafolyamat megmunkált, létrehozott azaz technikai munkaeszközökön keresztül érvényesül, amelyek a munka hatását közvetítik tárgyukra. Az ember munkája révén megvalósítja céljait a természetben, ez pedig megváltoztatja saját természeti korlátjait, amivel fokozódó lehetősége nyílik társadalmi és természeti, így környezeti folyamatokba is alakítóan beavatkozni. Ebben a lehetőségben rejlik a környezet sarkalatos problémája. Ha ugyanis az ember maga megszabhatja és alakíthatja életének meghatározott módját egy potenciálisan nem befejeződő fejlődési folyamat keretében, akkor az ember tudatos tevékenysége nyomán felléphetnek folyamatok a környezetében:

— melyek csak az emberi munka és annak technikája következményeként jöhetnek létre és csak azzal magyarázhatók;
— melyek csak emberi munkával és annak technikájával módosíthatók;
— melyek változó szinten újratermelődhetnek a technikai fejlődés keretében;
— melyek különféleképpen érvényesülhetnek, tehát tévesen, helytelenül, károsan sőt pusztítóan is.

Ezek a környezeti folyamatok egyrészt objektív természeti törvényszerűségek feltételei szerint alakulnak, másrészt a társadalom fejlődési formái szerint determinálódnak anyagilag és ezek szintjén objektív jellegűek. A környezet változásának folyamatait „egyrészt szubjektív emberi tevékenységek, másrészt ezeknek a tevékenységeknek objektív társadalmi erői, formái és feltételei"[8] határozzák meg materiális dialektikájukban. Így ezeknél a folyamatoknál is objektív társadalmi törvények érvényesülnek végső fokon, melyek egyrészt lehetővé teszik a társadalom és környezete összefüggéseinek objektív tárgyalását, másrészt felismerni engedik ezeknek az összefüggéseknek létrejöttében és érvényesülésében rejlő erőket. Az ember tudatos társadalmi cselekvése mögötti hatóerők a környezet vonatkozásában is létfenntartási szükségletek, politikai célok, morális elképzelések, érzelmi vonatkozások stb. által jönnek létre. Mivel az emberi környezetben fellépő folyamatokat objektív társadalmi törvények határozzák meg, nem ítélhetők meg sem szubjektív értékeléssel, sem voluntarisztikus elképzelésekkel (miszerint maguktól értetődő és magukban megoldódó vagy tetszőlegesen irányítható jelenségekről lenne szó), sem pedig fatalisztikus beletörődéssel (miszerint ezek a folyamatok már befolyásolhatatlan, megoldhatatlan és ezért végzetszerű méreteket öltöttek volna).

A környezet értelmezéséhez hozzátartozik annak felismerése is, hogy a társadalmi munkafolyamatokban kialakuló technika az emberiség létezéséhez

elengedhetetlenül szükséges. Az ember a technika révén megsokszorozza saját természetes képességeit, hogy környezetét a saját igényei szerint alakítsa; ezzel azonban megteremt egy hatalmi eszközt is a környezet birtokbavételére és alakítására, de kizsarolására és elpusztítására is. Ezért döntő, hogy milyen termelési módban és milyen társadalmi céllal konfrontálódik az ember környezetével. Nem az ember „hatalma" környezete felett, hanem e „hatalomnak" körültekintés, felelősség, előrelátás nélküli gyakorlása teszi a környezet problémáját korunk egyik alapvető, az egész emberiséget érintő kérdésévé. A környezet problémája ezzel végső fokon elsőrendű politikum is. A technikai munkaeszközökkel létrejövő és csak ilyenekkel szabályozható környezeti folyamatok egyúttal elsőrendű technikai és ökonómiai feladatot is jelentenek. (Állítható ezért, hogy a környezetalakítás problémája megközelíthető a politikai-gazdasági-technikai vonalon át.)

A társadalom és a környezet viszonyának alakulását konfliktusok jellemzik. A termelőerők fejlődése a környezetben is ellentmondásokat, feszültségeket, kríziseket vált ki. Társadalmunkban a termelőerők és a termelési viszonyok között fellépő ellentmondások, valamint a nyomukban keletkező konfliktusok a környezet alakulásában nem feloldhatatlanok. Hiba lenne azonban a környezet változásának dialektikus ellentmondásait tagadni, azokat egyszerűen felszámolható fejlődési rendellenességeknek vagy szubjektív hibáknak minősíteni. Ilyen kétségtelenül szintén előforduló negatívumok mellett sokkal jelentősebbek az objektív módon létrejövő ellentmondások a környezet alakulásában, melyek termelési és újratermelési folyamatokból állnak szükségszerűen elő. Ember és környezet kapcsolatát a társadalmi munka által kiváltott anyagcsere határozza meg, mely termelésben és újratermelésben nyilvánul meg. Termelés, anyagi javak megteremtése, meghatározott társadalmi viszonyok között jön létre és létalapja minden társadalomnak. A termelés magában foglalja a munka két oldalát: egyrészt a társadalom termelőerőit, melyek ember és környezet kölcsönhatását is megszabják, másrészt a termelési viszonyokat, melyek meghatározzák az emberek egymás közötti viszonyát és ezzel hatásuk jellegét a környezetre. A termelés mindig társadalmi termelés, az általa kiváltott környezeti hatás is mindig társadalmi léptékű. A termelés határozza meg a társadalom fejlődését, szocális és térbeni szerkezetét, politikai berendezkedését, ideológiai felfogását — és ezek között ember és környezete viszonyát valamint annak tudatos alakítására vonatkozó elképzeléseket is. Az újratermelés, a termelési folyamat állandó ismétlése, egyik objektív szükségessége az emberi társadalomnak. Úgyszintén az ember felhasznált munkaerejét is reprodukálni kell a szó legtágabb értelmében. Az újratermelésben a termelés tárgyi feltételei mellett a társadalmi viszonyok — így a környezet elsajátításának feltételei is — reprodukálódnak. Amennyiben a termelési folyamatban elhasznált eszközök pótlása után többlet mutatkozik a termelőeszközökben, bővített újratermelés jön létre, melyben a többlettermék a termelés kiterjesztésére fordítható. Korunk fejlett társadalmaira a bővített újratermelés jellemző. Az újratermelés négy fázisa a környezet funkcionális tagolására, az ember életének és munkálkodásának térbeli jellemzésére is alkalmas a városépítés szemszögéből:

— anyagi javak termelése (megfelelője a környezetben az ipari, bányászati, mezőgazdasági, erdőgazdasági stb. termelés funkcionális területeinek kategóriája);

— anyagi javak elosztása (megfelelője a környezetben a társadalmi-közösségi intézmények — mint igazgatási, oktatási, egészségügyi, kulturális, kereskedelmi, szolgáltatási stb. létesítmények — funkcionális területének kategóriája);
— anyagi javak cseréje, cirkulációja (megfelelője a környezetben az anyagi, információs, energetikus kommunikációk funkcionális területe);
— anyagi javak fogyasztása, mely részben produktív jellegű a termelés folytatása érdekében (megfelelője a környezetben ismét a termelés funkcionális területe), részben pedig improduktív jellegű annak érdekében, hogy a társadalom tagjainak egyéni és közösségi igényeit kielégítse (megfelelője a környezetben a funkcionális lakóterület, illetve az előbbi funkciók által nem kizárólagosan igénybevett főként szabadterületek).

A bővített újratermelés minden fázisa két egymással kombinálható módon történhet: a bővített újratermelés extenzív, ha a termelési tényezők mennyiségi növekedéséből áll elő; intenzív, ha azok minőségi változásából jön létre. A műszaki fejlődés, a környezet bővítésének természeti és politikai korlátja törvényszerűen hat az intenzív fejlődés irányában. A bővített újratermelés folyamatában szükségszerűen konfliktusok alakulnak ki a termelés és a környezet strukturái között, mert utóbbiak nem azonnal és nem automatikusan változnak a termelés szerkezetének változásával, hanem annak következményeként és annak utána. A konfliktusok feloldásának kulcsa részben magában a társadalmi formában adott vagy nem; de a feloldás lehetősége csak akkor realizálódhat, ha a társadalom hajlandó annak érdekében prognosztikus, tervszerű és főként költséges megoldásokat vállalni.

Az újratermelés felöleli a termelőeszközök, a munkaerő és a termelési viszonyok reprodukcióját. Ezekből következtetni lehet a környezetalakítás fő vonatkozásaira is, melyek tartalmazzák:

— a termelés térbeni, művi és természeti környezeti feltételeinek újratermelését (pl. a termelés létesítményeinek, anyag- és energiaellátásának reprodukcióját);
— a munkaerő térbeni, művi és természeti feltételeinek újratermelését (pl. az infrastruktúra, a rekreációs lehetőségek reprodukcióját, az élet- és munkafeltételek biztosítását és javítását);
— a termelési viszonyok újratermelését a környezetben (pl. a társadalmi munka és lét külső környezeti feltételeinek reprodukcióját, mint a víz és a levegő tisztaságának megőrzését, bányászati területek rekultiválását stb.).

A környezet „újratermelése" korunk egyik alapvető kérdésévé vált, mivel — sajnos tekintet nélkül a társadalmi formára majd mindenütt — a környezet számos, főként természeti elemének nemhogy bővített, hanem „csökkentett" újratermelése, sőt egyszerű „fogyasztása" folyik napjainkban is, ami csak katasztrófához vezethet. A környezet bővített újratermelése elengedhetetlen feltétele a termelés további bővítésének, ami két irányban történhet. Extenzív, ha Földünk „környezetként" hasznosítható részei kiterjedésben bővülnek (beleértve pl. a tengerek hasznosítását is — de nem óriási szemétlerakóként! — vagy a jelenlegi sarkvidéki, őserdei, magashegyvidéki, sivatagi területek felhasználását, szárazföld nyerését a vizektől stb.). Az extenzív fejlesztésnek határt szabnak geográfiai tényezők ill. politikai feltételek. Utóbbiak a

jelenleginél magasabbfokú nemzetek közötti együttműködést tételeznének fel. Intenzív a fejlődés — és ez az általánosabb, közelebb fekvő megoldás — ha a környezet minőségileg magasabb szinten, nagyobb hatékonysággal, a termelési módnak mind megfelelőbben (a termelési mód pedig a környezeti feltételeknek mind megfelelőbben) reprodukálódik.

Különös jelentőséget nyer a környezet problémájában a munkaerő újratermelésének térbeli feltétele, mert ez a feladat ebben az aspektusban jelenik meg leginkább összefüggő egységként. A munkaerő újratermelésének feltételei — összehasonlítva a termelőeszközök jól feldolgozott és gyakorlatban megvalósított újratermelésével — ma még szétforgácsoltan jelentkeznek különböző összefüggésekben és ágazatokban. A munkaerő bővített újratermelése magában foglalja a mind bővebb ellátás, az egészségügyi és jóléti színvonal emelése, a kvalifikációs struktúra fejlesztése mellett a népesség szociális-ökonómiai és térbeni átcsoportulását valamint az általános életfeltételek állandó javulását is: ezek a célok önmagukban, logikailag ellentmondásos rendszert képeznek és megvalósíthatatlanok a környezet megfelelő feltételeinek stabilizálása, sőt javítása nélkül.

A termelőeszközök társadalmi tulajdona, a szocializmus gazdasági törvényei és az ehhez szükséges feltételeket létrehozó politikai hatalom lehetővé teszik, hogy a szocialista újratermelési folyamat lényegének megfelelően tervszerűen következzék be a környezet alakulásánál is. A környezet tervszerű alakítása folyamatos, célra irányuló változást, fejlődést tesz lehetővé. A tervszerű környezetalakításhoz tudományosan megalapozott és összehangolt intézkedések átfogó rendszere szükséges, mely lehetővé teszi a társadalom tudatos irányítását ebben a folyamatban, felismert törvényszerűségek alapján. A tervszerű környezetalakítás elméleti alapkérdései, melyek kapcsolódnak a társadalmi törvények tudatos alkalmazásával hozandó intézkedésekhez, három komplexust eredményeznek a városépítésben:

— a társadalom jövőbeni fejlődésének illetve a környezet alakulására gyakorolt hatásának *prognózisa* (beleértve a környezet alakulásának visszahatását a társadalom fejlődésére);
— a társadalom tevékenységének *terve* a környezet célra irányuló fejlesztésében;
— a környezet fejlesztési tervének *megvalósítása* a társadalmi erők hatékony vezetésével és bevetésével.

A városépítés feladatai a környezetalakítás alapkérdéseinél a diszciplína jellege folytán elsősorban a prognózis és a terv terén jelentkeznek. A környezetalakítás tervének megvalósítása a prognózis és a terv döntő kritériuma ugyan, de feladatként az egész társadalom közös ügye.

A társadalom jövőbeni fejlődésének és a környezet alakulására gyakorolt hatásának prognózisa csak a társadalom egészére és fejlődésére vonatkozó törvényekből vezethető le. A prognózis társadalmi események jövőbeni bekövetkeztét mondja előre, tudományos felismerésen alapul és mindig komplex társadalmi folyamatokra vonatkozik. A környezet problémája a legszorosabban összefügg össztársadalmi folyamatokkal és nem vezethető le a társadalom egyik vagy másik részrendszeréből, a környezet prognózisa sem alapozható azokból valamilyen társadalmi részprognózisra. Ha a környezetet az alakító társadalom „lenyomatának" tekintjük — és ez a feltételezés aligha téves — akkor a környezet prognózisa csak a társadalom egészének fejlődésére

vonatkozó prognózis egyik kifejeződése lehet. A prognózisban viszonylag komplex folyamatok környezeti hatása illetve a környezet visszahatása kerül elemzésre. A környezet prognózisát így lényegében a termelőerőknek, a technikának, a társadalom szociális és térbeni szerkezetének, a foglalkozási struktúrának, a műveltségi színvonalnak, a népesség számának és struktúrájának, az életszínvonalnak és életmódnak, az időmérlegnek, a szabadidő alakításának, a kommunikációnak, a nemzetközi viszonyoknak stb. várható fejlődése határozza meg.

A városépítés környezeti prognózisának nehézsége nem az általános össztársadalmi prognózis jelentőségének felismerésében, hanem annak alkalmazásában rejlik. Az össztársadalmi prognózisok ugyanis általában még nem tartalmaznak elegendő alapot a környezet komplex prognózisához, másrészt a környezet prognosztikája is fejletlen a városépítésben. (Ez az információhiány illetve metodikai bizonytalanság a városépítés egyéb feladatainál is visszatérő probléma, melynek következtében a tervezési programok gyakran megalapozatlanok, szakszerűtlenek vagy illuzórikusak.) A környezet prognózisához össztársadalmi folyamatok alapján megalapozott ismeretek szükségesek a következő fő összefüggésekben:

- a környezet alakulását meghatározó társadalmi tényezőkről és törvényekről, melyeknek addig a mértékig konkretizálhatónak kell lenniük, hogy alapulvételükkel a jelenlegi ismeretekből következtetni lehessen a környezet még nem ismert fejlődési folyamataira;
- a döntő kiindulási feltételekről és adottságokról, melyekkel a prognosztizálandó környezeti folyamat kezdődik és melyek lényegesek annak jövőbeni alakulására;
- a fejlődési folyamatra ható erőkről és azokról a feltételekről, amelyek a jövőben jönnek létre;
- a prognózis módszeréről a környezetalakításban.

További bizonyítás nélkül is megállapítható, hogy a városépítés prognosztikája még nem tud eleget tenni ezeknek a követelményeknek. A környezet alakulását megszabó társadalmi törvények általánosságukban ismertek, hiányzik azonban a környezetre vonatkozó specifikus társadalmi elmélet, amely az általános törvényeket részletezné és interpretálná a környezet fejlődésének tényezőire.

A KÖRNYEZET FOGALMA A VÁROSÉPÍTÉSBEN

Az ember társadalmi és biológiai lény: mind életmegnyilvánulásában, mind történelmileg konkrét társadalmi jelenség, mind pedig térben konkrét természeti jelenség. Mivel az ember más emberekkel közösségben élő, tudattal rendelkező, anyagilag és szellemileg tevékenykedő társas lény, munkája révén mindig konkrét kapcsolatba kerül történelmileg konkrét társadalmi, valamint természetileg konkrét térbeni környezetével.

„Az emberi társadalom történelmi fejlődése során fokozódó mértékben felveszi környezetét rendszerébe. Az ember specifikus emberi tevékenységével a külső világát (Umwelt) belső világgá (Innenwelt) alakítja; integrálja a gyakorlatilag birtokolt és intellektuálisan megismert természetet rendszerébe és

állandó folyamatban tovább viszi a még nem megismert vagy a még nem specifikusan emberi módon megváltoztatott környezet bekebelezését saját rendszerébe. Ezzel azonban a fejlődés okai áttevődnek szinte kizárólagosan az emberi társadalom rendszerébe. . . . A termelőerők társadalmon belüli természetét külön nem kell igazolni. Ők képezik azokat a tényezőket a társadalmi képződményben, amelyek segítségével a környezet belső világgá alakítható át."[9]

Általános értelmezésben „egy anyagi rendszer környezete mindazoknak, ettől a rendszertől különböző rendszereknek összességéből áll, melyek hatnak a rendszerre vagy attól hatásokat vesznek át. A rendszer hatása a környezetére illetve a környezet hatása a rendszerre visszahatásokkal párosul".[10] Ezt az összefüggést számtalan közvetlen észlelés is alátámasztja. Mind nyilvánvalóbb, hogy a fokozódó gazdasági-műszaki fejlődés révén egyre jelentősebb változások lépnek fel az ember környezetében, melyek társadalmi és természeti vonatkozásban visszahatnak az emberre. A hatások és visszahatások folyamatos láncolata konfliktusok sorát váltja ki, melyek sok tekintetben már aggasztó formát öltenek, amennyiben súlyos zavarként jelentkeznek az ember társadalmi és természeti életfeltételeinek alakulásában.

A környezet általános fogalma csak egy konkrét társadalmi-történelmi és térbeni helyzetből értelmezhető, nemkülönben csak egy konkrét ismeretág szempontjából, mert az előbbi általános környezetfogalom viszonylagos. A környezet fogalmának alakulását egyrészt a visszatükrözött környezet változása önmagában, másrészt a vonatkozó tárgykör tudományos megismerésének haladása szabja meg. Következésképpen a környezet fogalmának terjedelme és tartalma folyamatosan változik és ezen belül mind megfelelőbben tükröződhet a vonatkozó tárgykör.

A környezet tárgykörének nincs még olyan tudományos megfelelője önálló diszciplínaként, amely a környezet fogalmának egészét komplex módon tartalmazná és — többek között — a terminológiai kérdésben illetékes lenne. Ezzel szemben számos társadalomtudományi, természettudományi és műszaki diszciplína foglalkozik a problémahalmaz különböző tartományaival vagy vonatkozásaival, melyeknek még nincs vagy alig van közös ismereti bázisuk. Az érdekelt tudományágak között szerepel a városépítés diszciplínája is. A környezet kérdésével foglalkozó tudományágak — általában és érthetően — specifikus szempontjaikat és feladataikat helyezik előtérbe és csak részben lépnek fel általános törvényszerűségek meghatározásának igényével. Ezért voltaképpen az is tisztázatlan, hogy az egyes diszciplínáknak — így a városépítésnek is — milyen tárgykörben és irányban vannak környezeti vonatkozású feladatai. A következőkben ezért a környezet relatív fogalmának köre a városépítés társadalmi feladatából kerül levezetésre azzal a céllal, hogy a városépítés környezeti vonatkozású feladatai vázolhatók legyenek, másrészt azzal a törekvéssel, hogy a városépítés környezeti vonatkozású ismeretei integrálhatók legyenek a műszaki tudományok körében.

A környezet általános fogalmából következik, hogy az ember környezetét egyaránt lehet társadalmi és természeti-térbeni jelenségként értelmezni. Az ilyen irányú felosztás csak bizonyos határokon belül és csupán a tudományos munkamegosztás érdekében fogadható el, bármennyire is kézenfekvőnek tűnik. Ha ugyanis az ember nem választható ketté egy társadalmi illetve egy biológiai lénnyé, akkor a környezete sem osztható fel egy társadalmi illetve egy természeti jelenségre. Felismerhető, hogy a társadalmi illetve a természeti

környezet fogalma sem nem azonos, sem nem különálló, hanem valamilyen formában kapcsolt: mindkét részfogalomban számos eltérő, de számos közös elem is van, ami viszonyukat átfedővé teszi. A közös elemek átmeneti területet képeznek, melyen belül mind társadalmi, mind természeti-térbeni elemek és viszonylatok is fellépnek. Ezek nagyrészt a társadalom térbeni megjelenésével, azon belül a településsel hozhatók leginkább vonatkozásba. A környezet általános érvényű jelenség, mely a társadalom egészét vagy meghatározott jelentős csoportjait törvényszerűen veszi körül és független az egyes személy akaratától vagy tevékenységétől, tehát objektív jelenségnek tekinthető. A társadalmi és a természeti-térbeni környezetnek közös elemei általában tárgyi jellegűek és mind természeti, mind művi eredetűek lehetnek. A környezetnek ez a tartománya képezi több diszciplína mellett a városépítés feladatkörét is.

Az előbbi határfeltétel szerint — minek alapján a környezet a társadalom egészére vagy jelentős csoportjaira, de nem egyénekre vonatkozik — kiesik a fogalom köréből az ember csak egyénileg vagy családi léptékben alakított „kis-környezete" (mint pl. ruházat, lakásberendezés, házikert, jármű, tüzelés, szellőztetés stb.). Viszont természetesen bennfoglaltatik a lakásállomány egésze, a közlekedés rendszere, az energiaellátás rendszere, a zöldterületek struktúrája stb. Talán megengedhető az a hasonlat, hogy az egyén és környezete viszonyának jellege emlékeztet egy adott termelési módhoz tartozáshoz annyiban, hogy az egyénen kívüli körülmények határozzák meg. Ezzel szemben a „kis-környezet" az egyén akaratától, tudatától, döntésétől, lehetőségétől, igényeitől stb. függően változtatható és meghatározható: az ehhez tartozás emlékeztet az egyénnek az adott termelési módon belüli előre nem determinált szociális és térbeni elhelyezkedéséhez.

A társadalom tárgyi környezete számos összetevőből áll, melyek jellegük szerint két alapvető kategóriára vezethetők vissza: egyrészt az ember által alakított, változtatott, megteremtett környezeti elemekre, melyeknek fejlődési (mozgási) formája főként társadalmi törvényekre (munkára) vezethetők vissza; továbbá természeti környezeti elemekre, melyeknek fejlődési (mozgás-) formája elsősorban természeti törvényeken nyugszik. A környezeti elemeknek két osztálya nem függetleníthető egymástól, mert egységükben képezik a környezetet, annak két oldalát. A társadalmi (munka-) folyamatok révén alakított vagy létrejött környezeti elemek ugyanis anyagcsere-folyamatok keretében kerülnek elsajátításra a természeti környezettől és anyagiságukban továbbra is természeti törvényeknek vannak alávetve; másrészt a természeti környezeti elemeket is (mint pl. levegő, víz, klíma, talaj, növényzet) fokozódó mértékben befolyásolják társadalmi folyamatok és azok törvényszerűségei, Egy bizonyos mértékű megkülönböztetésre csupán az érintett környezeti elemen mutatkozó társadalmi hatás terjedelme alapján van lehetőség: amennyiben az elem elsősorban munka révén nyeri el lényeges környezetreleváns tulajdonságait, alakított vagy létrehozott elemnek minősíthető; amennyiben pedig elsősorban természeti folyamatok alapján éri el lényeges környezeti tulajdonságait, természeti elemnek számítható.

A környezet problémája a városépítés tekintetében elsősorban a létesített elemek tekintetében, azok vonatkozásában a társadalomhoz és a természethez jelentkezik, tehát sem csupán az ember társadalmi vagy természeti feltételeiben, sem csak a művi környezet műszaki-gazdasági vonatkozásában, hanem a két komplexus sokrétű településméretű összefüggésében mutatkozik.

Számos jelenség bizonyítja, hogy ezek az összefüggések nem zavartalanok. A városok növekedése, a termelés fejlődése, a városiasodó életforma, a természeti erőforrások fokozódó kiaknázása, a motorizáció stb. egyaránt terhelik a természeti és művi környezet potenciálját. Erre a fokozódó igénybevételre sem a természeti, sem a művi környezet nem állhat korlátlanul rendelkezésre — főként megfelelő intézkedések nélkül, — ennek révén egyre élesebb problémák jelentkeznek, mint pl. a levegőszennyeződés és zajártalom, a közlekedés keringési zavarai (egészen a kollapszusig) és közműcsődök, a városkép elértéktelenedése és szemantikai elszegényesedése, a város „elembertelenedése" és sok más ismert negatív jelenség. Társadalmi rendszerünk potenciálisan tartalmazza a probléma megoldásához szükséges feltételeket, mégsem hagyható figyelmen kívül, hogy a környezetalakítás feladatai ebben a termelési módban sem szűnnek meg automatikusan, sőt itt is reprodukálódhatnak. A kérdés felismeréséhez tudatossá kell válni, hogy az embernek minden termelő-építő tevékenysége a környezet valamilyen tartományának megterhelésével jár és hogy az anyagi életfeltételek megváltoztatására irányuló minden lépés egyúttal vissza is hat azokra. Az előnyök és a hátrányok, a hatások és a visszahatások dialektikus viszonya a környezet vonatkozásában még nem eléggé ismert. Mindaddig, amíg ezeknek konkrét és szabatos meghatározása nem történt meg, csak az a feltételezés szolgálhat alapul, hogy minden környezetre gyakorolt hatásnak visszahatása van, hogy ezek a visszahatások nem állanak szükségszerűen közvetlen kapcsolatban a hatás tartományával illetve mértékével és ezért nem mechanikus törvényszerűségek szerint alakulnak, továbbá, hogy a visszahatások a társadalom gazdasági és természeti életfeltételeit egyaránt érinthetik, függetlenül a kiváltó hatás természetétől.

Téves lenne az ember és környezete kapcsolatát kizárólag a természetes, illetve a művi környezeti elemek védelmeként vagy konstans feladatként értelmezni. A környezet társadalmi-gazdasági folyamatok lényeges alkotója, ezért elkerülhetetlen, hogy a növekvő termelés, a fokozódó városodás és városiasodás, a bővülő népességszám, a tudományos-technikai fejlődés stb. révén mind kiterjedtebb kapcsolatok jöjjenek létre a társadalom és környezete között. A társadalom saját léte és fejlődése érdekében mindig is kényszerül a művi és természeti környezet mind intenzívebb felhasználására, mind több természeti környezet „elfogyasztására", művi jellegűvé formálására. Valóságellenes illúzió lenne feltételezni, hogy belátható időn belül megszűnik a természetes környezet kiaknázása és a velejáró „elépítményesedése", hogy az épített művi környezet növekedése és intenzívebb felhasználása megállna, és hogy a társadalom feladata egy állapot konzerválásában mutatkozna.

A környezet végeredményben mindig művi és természeti jellegű jelenség, amely törvényszerűen körülveszi az embert és amelyet az ember szakadatlanul alakít saját szükségletei, ideológiai elképzelései, gazdasági lehetőségei és termeléstechnikai feltételei szerint. A környezet ezért növekvő komplexust képez a végtelen anyagi világon belül, melyet a társadalom ismer és saját céljaira munka révén elsajátít. Ez a komplexus különböző tudományágak szempontjából különböző vonatkozásokban tárgyalható.

A termelés és a fogyasztás növekedése a jövőben is új ellentmondásokat fog kiváltani a környezet alakulásában, ezek viszont visszahatnak majd a termelésre és a fogyasztásra és új feladatokat hoznak létre. Amennyiben e feladatok tudatos, célra irányuló és folyamatos tevékenységben kerülnek megoldásra, tervszerű környezetalakításról lehet beszélni. A környezetala-

kítás feladata az ember és környezete között kialakuló és bővülő összefüggések tervszerű irányításában áll, melynek révén ez a változó viszony mind magasabb síkon, gyorsabban és hatékonyabban stabilizálható felismert törvényszerűségei alapján. A viszonylatban fellépő zavarok fundamentális adottságnak tekintendők és nem számíthatók pusztán nemkívánatos esetlegességnek. Ebben az értelmezésben lényeges különbség áll fenn a „környezetvédelem" és a „környezetalakítás" között. Környezetvédelem a tervezés stratégiájában defenzivát, a környezetalakítás offenzívát jelent. A környezetalakítás a városépítés szempontjából a tervezés alapvető fogalmából is megközelíthető, amennyiben feladatát úgy értelmezi, mint a nemzeti jövedelem lehetséges legmagasabb növelésére és annak leghatékonyabb felhasználására irányuló feltételek megteremtését olyan módon, hogy azzal a társadalom életfeltételei optimálisan alakuljanak a környezet vonatkozásában is. Helytelen lenne a problémát leszűkíteni egy vagylagos kérdésre: egyik oldalon elfogadhatatlan és a szocializmus gazdasági alaptörvényével ellentétes (valamint megvalósíthatatlan) lenne a környezet kérdését a maximálisan elérhető nemzeti jövedelem érdekeinek mindenben alárendelni. A másik oldalon illuzórikus lenne a gazdasági fejlődés problémáját kizárólag a környezet védelmének szempontjából megítélni. Az itt mutatkozó ellentmondás csupán dialektikus egységében ragadható meg, mely szerint a nemzeti jövedelem lehetséges legnagyobb növelése szükséges, de nem kívánatos minden áron. Korunk egyik égető és elodázhatatlan kérdése, hogy ennek hol jelentkeznek az értelmes határai. A helyes válaszhoz tárgyi-tudományos ismeretek mellett tudati-gondolkodási változások is szükségesek.

A környezet tervszerű alakítása csak akkor lehet hatékony, ha megfelelően beilleszkedik a társadalom komplex tervezésének rendszerébe. Ehhez elengedhetetlenül szükséges, hogy a környezet önmagában is önálló, összefüggő tervezési feladatként jelentkezzék. A környezetalakítás stratégiájához meg kell oldani e feladat ökonómiáját is. A környezetet alakító tényezők és befolyások, a révükön fellépő károsodások, illetve ezek felszámolása társadalmi és műszaki eszközökkel ugyanis még alig felmérhető gazdasági következményekkel jár. A környezetnek a gazdasági fejlődéssel párhuzamos fejlesztése, a koncepciózus környezetalakítás jelentős és alig megállapítható volumenű ráfordításokkal jár, melyeknek hatékonysága és eredménye ugyancsak alig kimutatható. A környezeti folyamatok mechanizmusának tisztázatlansága részben hiányzó tudományos ismeretekre, illetve integrációra, részben e folyamatok társadalmi, közegészségügyi, esztétikai, közérzeti stb. hatásainak alig megoldható „mérésére" vezethető vissza. Tudományosan még az az alapvető kérdés sem tekinthető tisztázottnak, hogy a környezetalakításhoz szükséges ráfordításoknak lehet-e meghatározható eredménye, vagy pedig, hogy ezeket a szükséges tehervállalásokat a társadalom léte biztosításához elengedhetetlen áldozatoknak kell-e tekinteni. Ha ugyanis a környezet alakításához felhasznált eszközök a társadalom jelenének és későbbi nemzedékeknek normális, biztonságos életéhez szükséges áldozatok, akkor az eredménynek nem kell ökonómiailag is mérhetőnek lennie (hasonlóan pl. a megelőző tűzvédelemhez, a közlekedésbiztonsághoz, az egészségügyi gondozáshoz). Bonyolítja a kérdést, hogy a ráfordítások hatása — amennyiben egyáltalán kimutatható — a legritkább esetben mutatkozik a gazdaságilag érintett ágazatokban, inkább egy általános minőségben. (Így pl. egy, a zajártalommal szemben fokozottan védett lakóterület létesítése nyilvánvalóan magasabb ráfordítással jár, mint egy ilyen

szempontból nem védett lakóterületé. A többletráfordítás nem mutatkozik pozitív formában a beruházás közvetlen hatékonyságában, sőt minden bizonnyal rontja a vonatkozó értéket. Az így létrehozott minőségi többlet más, alig követhető társadalmi síkokon jön létre.) Ebben a sajátos jellegében a környezet általános helyzete emlékeztet az infrastruktúráéra: mindkettő fenntartásához és fejlesztéséhez szükséges ráfordítások nem hozzák eredményeiket azokban az ágazatokban, melyek a terheket viselik. Végeredményben a környezet pozitív alakulásának eredményei az ország egészében, sőt nemzetközi összefüggésekben jelentkeznek. (Egy állam környezeti feltételeiben nemcsak azok a hatások érvényesülnek, melyek okai az érintett állam felségterületén belül keletkeznek. Ezért a környezet problémájának egy része csak nemzetközi együttműködésben oldható meg.) A hatásos környezetalakítás ezért feltételezi a népgazdaság egészének tehervállalását, sőt a nemzetek közötti együttműködést. Nem kell megjegyezni, hogy ezek a feltételek nem tekinthetők még adottnak.

A környezetalakítás fogalmát és feladatát össztársadalmi követelmények határozzák meg a termelési mód, az életmód és a politikai-ideológiai felépítmény összefüggésében.[11] Ebben az értelmezésben és a városépítés felfogásában a környezetalakítás nem jelentheti csupán gazdasági folyamatok következményeinek „csinosítását", „megszépítését" egy stimuláló környezet értelmében; nem fogadható el az a nézet sem, hogy a környezet alakítása egy sor esztétikai ismérvre korlátozódna vagy pedig valamilyen dekorációt képezne gazdasági folyamatok függönyeként. A tárgyi környezeti valóság alakítása nemcsak annak művészi, hanem gyakorlati elsajátítását is jelenti, ezért csak a kettő egységében szemlélhető.

A tárgyi környezettel számos ismeretág foglalkozik, mivel annak természeti elemei egyúttal a természettudományok tárgyát is képezik, a művi elemek viszont a műszaki tudományok köréhez tartoznak és a gazdaság, a technika, a kultúra alkotórészeiként egyúttal a társadalomtudományok tárgyát is képezik. A környezet művi elemei az alkotás vonatkozásában is szemlélhetők, mert rajtuk lemérhető egy korszak társadalmi tevékenységére jellemző gyakorlati, intellektuális és esztétikai képességeknek és nézeteknek, nemkülönben igényeknek a színvonala is.

A KÖRNYEZET VÁLTOZÁSÁNAK KONCEPCIÓJÁRÓL

A bővített újratermelési folyamat mennyiségi és minőségi változásokat hoz létre a környezetben. Ezt a tételt közvetlen tapasztalatok igazolják. Mennyiségi változások a környezeti elemek térbeni és időbeni távolságát, azok számát, terjedelmét stb. érintik és rendszerint kimutathatók „méréssel". Mennyiségi változások a környezeti elemek növekedését vagy csökkenését, azok átrendeződését vagy átcsatolását jelentik: bekövetkezhetnek azonos minőségben annak változása nélkül vagy minőségi változással. Mennyiségi változások abban az esetben jelenthetnek fejlődést, ha eleget tesznek bizonyos minőségi feltételeknek, vagyis egy adott minőségen belül az arra jellegzetes határ meghaladásához vezetnek. Minden fejlődés mennyiségi és minőségi változások egységében jön létre, melynek következtében a környezet valamely objektuma (eleme, része) megsemmisülhet (rendszert bontó változás) vagy megerősödhet lényegében (rendszert erősítő változás). A minőségi változás következtében az új állapot-

ban a réginek egyes összetevői megmaradnak, mások megváltoznak, tagadásra kerülnek. Azt a minőséget, melynek tagadása döntő a fejlődés szempontjából, a jelenség objektív dialektikus ellentmondása határozza meg. A fejlődés irányát és eredményét akkor lehet objektíve megragadni és előrelátni, ha a fejlődés hatóereje ismert, amely ellentmondásokban és azok dialektikájában ismerhető fel.

A dialektikus materializmus fejlődési koncepciója szerint az anyag állandó változásban van, amely egyre magasabb és bonyolultabb formákhoz vezet véges anyagi rendszerekben. A fejlődés általános kritériumai mellett az egyes véges anyagi rendszereknek specifikus fejlődési ismérvei és törvényszerűségei is vannak, melyeknek feltárása az egyes szaktudományok feladata. A környezet fejlődését különböző jellegű ellentmondások váltják ki: belső, azonos minőségen belüli ellentmondások (mint pl. aránytalanságok) és külső, eltérő minőségek közötti ellentmondások (mint pl. a társadalom termelési módja és a környezete közötti ellentmondások). Külső és belső ellentmondások nem függetlenek egymástól, mert kölcsönösen befolyásolják egymást és mint strukturális, illetve folyamati ellentmondások lényegiek vagy nem-lényegiek lehetnek.

A természet, a társadalom és a gondolkodás általános és specifikus mozgási, illetve fejlődési összefüggéseinek figyelembevétele a környezet problematikájában elmélet és módszer kérdése. Ehhez a jelentős és még kidolgozatlan tudományos feladathoz tartoznak olyan problémák, mint az objektív dialektika elméletének, az általános fejlődési törvényeknek, a dialektikus fejlődési koncepciónak vonatkoztatása a környezet jelenségeire, továbbá a dialektika alaptörvényeit kiegészítő törvényszerűségeknek, a környezet specifikus törvényszerűségeinek feltárása. Ebben a komplexusban különösen jelentősnek látszik a dialektika alkalmazásának megoldása tervezési módszerként, tehát a dialektika törvényeinek és elveinek módszeres és tudatos alkalmazása a környezet alakításában. Alapvető módszerbeli problémaként kell még megoldani a környezetalakításon belül például, hogyan szemlélhetők a környezet dolgai és jelenségei változásukban, hogyan határozhatók meg a környezet valós dolgainak fogalmai ebben a változásban, hogyan elemezhetők a környezet jelenségei sokrétű összefüggésükben, hogyan minősíthetők egyes jelenségek környezeti relációjukban stb. A környezet még nem kidolgozott dialektikája nem az elvont elmélet gondja, hanem a gyakorlatot súlyosan érintő hiány a tudományos mezőnyben. Így pl. a tagadás tagadásának törvényéből levezethető a településhálózat, az egyes települések vagy településrészek rekonstrukciójának elmélete. E törvény szerint a fejlődés magasabb szintre jutást és nem a régi egyszerű megsemmisitését jelenti; a dialektikus tagadásban a régebbi stádiumok meghaladásra kerülnek, de pozitív és fejlődőképes (fejleszthető) elemeik megmaradnak. A városépítés jelenleg még nem ismer — néhány történelmi, esztétikai, gazdasági ismérven kívül — olyan komplex módszert, melynek alapján objektív kritériumok szerint meghatározhatók lennének egy települési jelenség pozitív és fejlődőképes elemei. Ez a körülmény a tervezés szubjektivizmusához vezethet, ami kimutatható a városépítési rekonstrukció problematikájában. A tagadás túlértékelése a meglevő állomány felszámolásával gazdasági és kulturális javak károsodásához vezethet; a tagadás alulértékelése egy meghaladott állapot konzerválását eredményezheti. A fejlődési kontinuitás és diszkontinuitás dialektikus egységének érvényesítése szintén alapul szolgálhat elméleti modellekhez. Jelenleg általában csak-kontinuus vagy csak-diszkontinuus modellek kerülnek alkalmazásra a városépítés tervezési gyakorlatában.; előbbiek rendszerint prakticizmushoz,

utóbbiak utópizmushoz vezetnek. Nem tisztázott átfogóan, hogy a környezeti elem fejlődése, átcsapása új minőségbe miként következik be a legelőnyösebben. Elméletileg nem megoldott, milyen esetben célszerű rendszert bontó, illetve erősítő minőségváltozást kiváltani a környezetben. (A környezeti elem változása rendszert erősítő, ha a környezet megváltozott feltételeihez alkalmazkodó, stabilizáló megoldáshoz vezet, mint pl. egy régi, elavult városrész felújítása és korszerűsítése. A változás rendszert bontó, ha a meglevő környezeti elem megsemmisítésével és a megváltozott feltételeknek jobban megfelelő új elem létesítésével jár, mint pl. egy elavult városrész lebontása és újra beépítése.) Ilyen és hasonló kérdéseket általában csak szorosabb összefüggésükben mérlegel a tervezési gyakorlat annak figyelembevétele nélkül, hogy egy környezeti elem megváltoztatása bizonyos feltételek mellett mások változását is indukálhatja. (Így egy környezeti elem rendszert bontó változása megkövetelheti vagy kiválthatja, hogy más elem — vagy részrendszer — is ennek megfelelően változzék minőségében. Az előbbi példánál maradva: egy elavult városrész teljes lebontása és újra beépítése kiválthatja a közlekedés és a közművek részrendszerének rendszert bontó fejlesztését is, mégha az érintett részrendszer állapota ezt önmagában nem tenné szükségessé.) A tervezés hajlik pragmatikus módszerekre a részrendszerek változtatásában a meglevő alkalmazása vagy új létesítése közötti döntés esetében gazdasági megfontolások alapján; következményként a két eltérő — és a maga helyén indokolt — módszer ütközésekhez vezethet, melyekben negatív hatások összegeződnek. Jellegzetes példája ennek az új lakóterületek krónikus közintézmény-hiánya, melyet a meglevő elemek felhasználásával próbálnak megoldani akkor is, amikor az új lakásállománynak megfelelő módszer csak rendszert bontó (tehát újat létesítő) lehetne. Ilyen a közműhálózat késleltetett és rendszert-erősítő fejlesztése is, amely nagymértékben akadályozhatja a városfejlődés új minőségének létrejöttét.

Az értékelés további problémája adódik a környezet jelenségeinek sokrétű minőségéből. A környezetnek minőségileg azonos jelenségei — mint pl. egy művi elem létrehozásának gazdasági vonatkozásai — mennyiségileg általában megragadhatók bizonyos időkorlátokon belül, ezzel szemben a minőségileg különnemű jelenségek vagy vonatkozások — mint pl. az építési tevékenység által létrejövő változások a felhasználó embercsoport magatartásában, egészségügyi feltételeiben, emócióiban stb., az esztétikai és kulturális értékváltozások — aligha mutathatók ki egybevethetően. Ez csak abban az esetben lenne megoldható, ha kialakulna a különnemű környezeti jelenségeknek vonatkozási rendje. Ezért nehéz jelenleg tudományosan szabatos választ adni arra, hogy műszakilag és gazdaságilag értékelt környezeti változások egy komplex értelmű fejlődés irányában hatnak-e valóban. (Kérdéses egyáltalán, van-e olyan tudományág, amely képes és illetékes ilyen vélemény nyilvánítására.)

A környezet szemléleti módja többnyire statikus jellegű a városépítésben is. A legtöbb statikus leképzés figyelmen kívül hagyja, hogy minden környezeti jelenség összefügg és szakadatlan mozgásban van. A környezet különböző „tartósságú" elemekből áll: természeti adottságok és néhány emberkéz alkotta elem ugyan — mint pl. a topográfiai, meteorológiai, geológiai adottságok, a települések fekvése, a főútvonalak és a vasutak nyomvonala, a közművek fővezetékei — alig vagy lassan változnak, mozgásuk vagy elhanyagolható ütemben vagy lehatárolható esetekben következik be. Más elemek viszont gyorsan és alig áttekinthető vonatkozásokban változnak. Ezért minden környezeti rendszerben felléphetnek látszólag állandó és változó elemek. Ennek alapján a környezet elemei

között is létrejöhetnek vonatkozások, melyek gyakorlatilag konstansak és statikusan értelmezhetők, továbbá olyanok, melyek a változásban részt vesznek és dinamikusnak felfoghatók. A környezet konstans viszonylataira alapított statikus leképzések nemcsak a szakadatlan változást hanyagolják el, hanem tudva vagy nem tudva csak olyan viszonylatokat emelnek ki, melyek gyakorlatilag valóban statikusak és ezzel megtörik az objektív valóság összefüggéseinek dialektikus egységét. A környezettel foglalkozó ismeretágakban a konstans összefüggések elég jó biztonsággal, a változó viszonylatok kisebb szabatossággal tárgyalhatók. Ebből származik az állandóságok túlhangsúlyozásának hibája. Mivel az invarianciák a környezetben többnyire természeti, a varianciák viszont társadalmi jellegűek, a természeti összefüggések túlzott hangsúlyt kaphatnak a környezet problematikájában.

A változó és nem változó elemek viszonyának tisztázásával megközelíthető lenne annak problémája is, hogy a környezet épített, művi elemei milyen újabb, az eddigitől eltérő vonatkozásba hozhatók, aminek révén fokozottabb flexibilitásuk és variabilitásuk megoldható lenne. Közismert az építmények csekély változtathatóságának és a velük szemben támasztott igények változásának ellentmondása, illetve az ebből származó és jelenleg megoldatlan elvi-gyakorlati probléma. Ugyanez a kérdés fennáll településméretű együtteseknél is. Végeredményben egy strukturális probléma jelentkezéséről van itt szó, melynek megoldásához alapokat kell teremteni. A távoli cél az lenne, hogy az építmények és a település struktúrája mind szorosabb kapcsolatba kerülne, esetleg egybeolvadna és együttesen reagálna a velük szemben támasztott változó igényekre. Településméretű építési rendszerek minőségileg magasabb szintet jelenthetnének, mert a vonatkozások összefonódásának és egymásrarétegeződésének fejlettebb formáit tartalmazhatnák.

A környezet változása, az abból származó ellentmondások ellentétes folyamatokhoz és irányzatokhoz vezetnek. A városépítés elmélete és gyakorlata hajlik a „változás" fogalmának bizonyos szimplifikálására. Így pl. a környezet elemeit és viszonylatait nem különböztetik meg e lényeges tulajdonságuk és annak jellege szerint. A környezet elemeinek különböző konkrét változási (mozgási) formái vannak, mivel materiális objektumaik, kölcsönhatásaik, törvényszerűségeik nem egyneműek. (A környezetben egyaránt fellelhetők anorganikus, organikus, társadalmi, specifikus mozgási, változási formák.) Ezért nem tekinthetők a környezet természeti és művi elemei mozgási formájukban azonosnak a társadalmi elemekkel. A környezet természeti és művi elemei viszonylagosan merevek és állandók, csak bizonyos határokon belül képesek változni vagy változásokra reagálni; változási formájuk alacsonyabb típusú (például az épületek fizikai elhasználódása). A környezet változásának magasabb típusai a társadalom fejlődéséből jönnek létre. Jelenleg még nem tisztázott kielégítően, hogy milyen módon váltják ki társadalmi folyamatok a környezet változását, milyen relációk révén hatnak, milyen társadalmi és tárgyi összetevők ellentétében alakul ki a változás hatóereje.

A társadalom és környezete között társadalmi és természeti viszonylatok állnak fenn. Ezek a viszonylatok azonban nem jelentenek teljes azonosságot a két jelenség között, mert megnemfelelést és ellentmondást is tartalmaznak. A környezet rendszere a termelőerők fejlődésének függvényében változik, de nem automatikusan, nem azonnal és nem egyetlen lehetséges módon. A környezet változása történelmi folyamatot képez sajátos ritmussal: minőségi változása mennyiségi változásokat tételez fel, illetve minőségi változások szükségesek

mennyiségi változásokhoz is. A környezet rendszere relatíve önálló, amelyben általános törvények mellett specifikus törvényszerűségek is érvényesülnek, ezért az objektíven szükséges és lehetséges fejlődés előrejelzése tudományos műveleteket tesz szükségessé. Nem hagyható az sem figyelmen kívül, hogy a szubjektív döntésnek is jelentősége van a környezet lehetséges változásának meghatározásában. Egy téves környezeti koncepció megvalósítása a lehetséges körébe tartozik. A társadalom és környezete közötti kölcsönhatásban az is figyelembe veendő, hogy a társadalom képes bizonyos határokon belül alkalmazkodni bármely környezeti szituációhoz.

A környezet tudományos megragadásának adott kezdeti szakaszában még nem áll rendelkezésre összefoglaló elmélet minden lényeges viszonylatról; inkább részeredmények halmazáról van szó, melyek részben ellentmondók, néha egymást kizárók, nemegyszer egyoldalúan előtérbe helyezik tárgyalt vonatkozásaikat és többnyire csak újraértelmezéssel alkalmasak tudományos integrációra. Ez az állapot egy alakulóban levő tudomány jellegzetességének is tekinthető, bár következményei nem maradnak hatás nélkül a tervezési gyakorlatra, a nem-megalapozott eszmék átvitele révén a valóságra. Ennek egy példája: bármely környezeti objektum jelenlegi és jövőbeni fejlődési állapotának ábrázolása, vagyis a gondolkodás két időbeni fázisban feltételezi, hogy a két fázis és az átmenet módja a fázisok között meghatározható. Ez a probléma fennáll minden tervezésnél valamilyen formában; megoldatlansága esetén vagy a változás válik illúzióvá vagy a feltételezett jövőbeni állapot. Utóbbinál vitatható az a feltételezés, miszerint egy jövőbeni állapot befejezettnek tekinthető a környezet alakulásában (pl. egy város tervezett lakosszáma vagy területi kiterjedése). Nem feltételezhető, hogy bármely térbeni folyamat egy jövőbeni fejlődési stádium elérésével nyugalmi állapotba kerül, mozgását veszti; ezzel szemben csak az képzelhető el, hogy bizonyos határok meghaladásával minőségi változások lépnek fel majd a mozgásformában és hogy ezek a fejlődés jellegzetes lépcsőfokait képviselik, melyek egyúttal a prognózis és a tervezés értelemszerű tartományai. Ide tartozik a változás jellegének értelmezése is. A környezet egyes változásai megfordíthatatlan irányúak, mert irreverzibilis társadalmi folyamatok eredményei, (pl. városok léte és fejlődése). Mások változtatható irányúak bizonyos határokon belül, mert megfordítható folyamatok következményei (pl. az élővizek szennyezése). Ezért a változás jellege sem egynemű a környezetben és esetenként konkrét elemzést kíván meg. Mivel e törvényszerűségek érvényesülése még nem tisztázott a városépítésben, felmerülhetnek elképzelések, melyek a környezet összességét megfordítható vagy megfordíthatatlan irányú változásban látják kizárólagosan. A konkrét esetekből elég utalni a „lebontási" elképzelésekre, melyek meglevő nagyvárosok vagy agglomerációk felosztásával, szétdarabolásával kívánnák a környezet problémáját megoldani. Nyilvánvaló, hogy a nagyvárosok és a nagy ipari tömörülések további léte sőt tovább fejlődése mindaddig megfordíthatatlan folyamat, ameddig a társadalmi fejlődés objektív szükségszerűsége váltja ki. Ugyanígy hibás lenne a környezet egészének alakulását valamilyen gigantikus méretű globális katasztrófa felé haladó folyamatnak látni (habár erre sajnos reális veszély áll fenn), melyen változtatni már nem lehet. A környezet témájával nem lehet más elvi alapon foglalkozni, mint abból a feltételezésből, hogy sorsdöntő környezeti folyamatok nem megfordíthatatlanok, illetve még nem érték el a megfordíthatatlanság öngyilkos küszöbét.

A KÖRNYEZET ALAKULÁSÁNAK SPECIFIKUS TÖRVÉNYSZERŰSÉGEIRŐL

A környezet materiális dolgok, folyamatok, jelenségek stb. sokrétűségéből áll; a környezetre vonatkozó ismeretanyag fogalmak, tételek, tapasztalatok stb. rendezett sokrétűségéből tevődik össze. A környezet fogalma mindkét értelemben relatív, mert egy konkrét jelenség vetületében a környezet teljességének csak bizonyos elemei és vonatkozásai mutatkoznak meg. A környezet problematikájában a társadalom és a természet összes törvénye, törvényszerűsége és összefüggése nem jelenhet meg, amennyiben nincs relevanciája egy konkrét környezeti jelenséggel. A környezet relatív volta egyúttal jelenti relatív önállóságát is, ezért nem azonosítható közvetlenül a társadalom vagy a természet valamelyik komplexusával. Nem tételezhető fel, hogy a környezet akár a társadalomnak, akár a természetnek, akár mindkettőnek teljesen tartalmazott eleme, mert a környezetnek specifikus változási formái is vannak, melyek sokrétű belső okok és külső feltételek összehatásából jönnek létre. A környezet fejlődését a mindenkori termelési mód fejlődése szabja meg, ez a folyamat azonban tényezők során át érvényesül. A termelési mód fejlődése a környezet változásának oka, de nem a változás maga.

A bővített újratermelés minden fejlett társadalomban az intenzív irányában halad, amelyen belül — így a környezet elsajátításában is — belátható időnkben intenzív és extenzív mozzanatok egyaránt jelentkezhetnek. Mivel a környezet változását főként társadalmi folyamatok, elsősorban a termelőerők növekedése váltja ki, továbbá, mivel a környezet fejlődése alacsonyabból magasabb, egyszerűből összetettebb minőségek irányában halad, a környezet változásának kritériumai a bővített újratermelés jellegzetes ismérveiből levezethetők. A teljesség igénye nélkül a következő változási kritériumok jelölhetők meg a fejlődés jellegzetességeként: [12]

- a művi környezeti elemek mennyiségi növekedése (mint pl. az infrastrukturális létesítmények bővülése);
- a környezet strukturális változásának gyorsulása (mint pl. a létesítmények fokozódó avulása és sürgősebb helyettesítése);
- növekvő összefonódás, kölcsönhatás a környezet részrendszerei között; a rész és az egész viszonyának változása, amelyben az egész minősége mindinkább meghatározza részeinek minőségét (mint pl. a funkcionális elemek összefonódása, egymásra rétegződése, fokozódó kommunikációja);
- az időtényező jelentőségének növekedése és érvényesülése (mint pl. az út—idő vonatkozás a lakóhely és munkahely között);
- a környezet használati értékének fokozódása (mint pl. kedvezőbb környezeti feltételek a társadalom egésze számára);
- a környezet fejlődésének tervszerű, ebben a minőségben javuló irányítása (mint pl. a városépítési tervezés és végrehajtás minőségi változása);
- a természeti környezeti elemek fokozódó védelme (mint pl. a tájvédelem hatékonyságának javulása);
- a szabad javak felhasználásának (mint pl. víz, levegő, zavartalanság) okszerű gazdálkodássá alakítása, az elhasznált elemek reprodukciója.

Nem állítható, hogy a környezet jelenlegi változása általánosságban fejlődésnek mondható. A települések műszaki részrendszerei nem változnak a kívánatos mértékben vagy pozitív ismérvek szerint. Jóllehet a részrendszerek száma, összefonódása és kommunikációja szükségszerűen fokozódik a társadalom fejlő-

dése következtében, mégis csak korlátozással állítható, hogy a környezet változásának tervszerűsége, az időtényező jelentősége, a változás gyorsulása, a természet védelme, a szabad javak gazdálkodása valóban elérné a kívánatos és lehetséges szintet. Ebben a körülményben mindinkább kibontakozik a jelen és a jövő egyik nagy horderejű kérdése, mivel a környezet alakulása nemcsak szenvedően reagál társadalmi folyamatokra, hanem visszaüt is azokra, ha sorozatos és mind élesebb ellentmondásba kerül a termelőerők fejlődésével.

A környezet fejlődésében fellépő ellentmondások objektív és szubjektív jellegűek. Objektív ellentmondások a termelőerők fejlődéséből keletkeznek és szükséges, nem mellőzhető feltételként, hatóerőként jelentkeznek bizonyos határokon belül. Szubjektív ellentmondások főként az összefüggések fel nem ismeréséből vagy elhanyagolásából keletkeznek a környezet fejlődésében, ami végeredményben elégtelen tudományos ismeretekre vagy a tudományos felismerések elhanyagolására vezethető vissza. Elégtelen ismeretek következtében nemegyszer olyan gyakorlati hatások kerülnek a környezet rendszerébe, melyeknek következményei figyelmen kívül maradnak és zavarok okozóivá válnak. Gyakori hiba, hogy az egyes részrendszerekbe bevezetett hatásokat csupán ugyanabban a részrendszerben kísérik figyelemmel, anélkül, hogy a más részrendszerekben jelentkező — és gyakran súlyos — következményeket bármely formában felfognák. Ennek tipikus példája a környezet fokozódó elszennyeződése (mint pl. anyagok tömeges termelése, melyeknek hulladékként való kezelése megoldatlan; a levegő és a vizek „felfűtése", a fokozódó zajártalom, vegyszerek átgondolatlan alkalmazása, ökológiai rendszerek megbontása, a radioaktivitás növekedése). A probléma azonban nem mutatkozik kizárólagosan a szennyeződés terén. Egyes részrendszereknek az összefüggésből kiragadott, önkényes kezelése előállhat más kedvezőtlen következményekkel is. A kimutatható parciális érdek a legtöbb esetben megelőzi a nem kimutatható, de gyakran jelentősebb átfogó érdeket, mint például a közvetlen gazdasági érdek szinte minden esetben előnyben van a település egészének „lakhatóságával", urbanitásával, kellemességével. Fel kell ismerni, hogy az egyes részfeladatok túl szűk, az összefüggésből kiragadott „optimalizálása", „gazdaságossága" révén más részrendszerekben ellenkező hatások léphetnek fel, melyek nincsenek elfogadható arányban a vélt eredménnyel. Így például a kereskedelem és a szolgáltatás koncentrálási törekvése ugyan csökkentette a gépi szállítás gondjait és javította e létesítmények „gazdaságosságát", viszont ugrásszerűen megnövelte a lakosság élőmunka-szállítását e létesítmények és a lakás között. Ezzel a tendenciával nagyjában egybeesett a felvonó nélkül építhető épületszintszám emelése, a tömegközlekedési eszközök megálló-távolságának növelése. Mindegyike ezeknek a változásoknak az egyes részrendszerek belső optimumából indult ki és a jelentkező hátrányokat más részrendszerekre hárította át, tekintet nélkül a következményekre. Az említett esetek hatása igen sokrétű és így természetesen pozitív is volt, hátrányaik azonban egy irányban bizonyára szuperponálódtak: megnövelték a gyalogos mozgások úthosszát és a mindennapos szükségletekkel kapcsolatos szállítási teljesítményt élőmunkában. Még kedvezőtlenebb a következmények megítélése annak figyelembevételénél, hogy a megnövelt „egyéni teherszállítás" elsősorban azokat a rétegeket érinti, amelyek hátrányosabb helyzetben vannak és a következmények elől nem tudnak kitérni (mint pl. idős korúak, betegek, rokkantak, gépkocsival vagy hűtőszekrénnyel nem rendelkezők, sokgyermekesek). Nyilvánvaló, hogy ilyen tendenciák sok más téren is jelentkezhetnek a környezetben és hogy nem minden változás tekinthető eleve fejlődésnek.

Művi környezetünk csekély alkalmazkodóképessége miatt még pozitív változások esetében is aggasztó mellékjelenségek léphetnek fel. Ezeket általában nem a kiváltó hatás irányából közelíti meg a gyakorlat, hanem a következmények tüneti kezelésével, miáltal újra áttekinthetetlen hatások váltódnak ki. A környezet sokkal komplexebb és komplikáltabb, olyan volumenű társadalmi munkát testesít meg, hogy nem fejleszthető egyszerű, az egyes részrendszerekre vonatkozó elképzelésekkel, hanem csak az egészre vonatkozó koncepcióból levezetett részműveletekkel. A gyakorlat hajlik a probléma megkerülésére vagy látszólagos felszámolására is. Előbbire jellegzetes példa a lakásépítés technológiájának alakulása: nyilvánvaló, hogy a gyorsulva változó igények művi környezetünk alapegységével szemben vagy nagyobb változtathatóságot, vagy rövidebb élettartamot kívánnának meg. Ezzel szemben a mindinkább terjedő zárt technológiai rendszerek még a hagyományosnál is kisebb — sőt semmiféle — változást nem tesznek lehetővé a lakás méretében, elrendezésében és felszerelésében; ráadásként a várható élettartam sem csökkent. A probléma látszólagos megszüntetésére (mely a legtöbb esetben annak másutt jelentkezéséhez vezet) példa lehet a városközpontok közlekedési gondjainak olyan irányú megoldási kísérlete, mely a közismerten bonyolult és költséges műszaki létesítmények helyett tilalmakkal operálna. Ha erre bizonyos esetekben van is lehetőség, ez az elv általános tervezési irányzatként nem fogadható el, mivel egy objektív kommunikációs igény nem szüntethető meg tilalmakkal, legfeljebb helyileg korlátozható, viszont ez esetben máshol vagy másként elégítendő ki.

Nem kevésbé problematikus a környezet fejlődése szempontjából az a feltételezés, miszerint a gazdasági fejlődés irányítása automatikusan magában foglalja a környezet fejlődésének kielégítő és megfelelő irányítását is, illetve, hogy a probléma gazdasági természetű csupán. Nyilvánvalóan legalább annyiban az, amennyiben minden társadalmi jelenség gazdasági természetű is. A környezet problémáját — különösen az épített, településméretű környezetét — azonosnak venni a gazdaság problémájával magának a kérdésnek és sajátosságának elfedését jelentené. Bizonyosra vehető, hogy általános és gazdasági törvények mellett specifikus törvényszerűségek is érvényesülnek a környezet alakulásában, melyek felismerése és alkalmazása specifikus ismereteket, illetve eszközöket is igényel.

A tudományos munkamegosztás és illetékesség kérdésének felvetése elől egyik diszciplína sem térhet ki. A környezet problémájának tudományos elrendezéséhez ezért elvben meg kell jegyezni, hogy:

- módszerek és eljárások átvétele bármely diszciplínából illetve a környezeti probléma átutalása bármely diszciplínába addig értelemszerű, ameddig lehetőség és szándék mutatkozik, a módszereket illetve magát a diszciplínát a feladathoz hasonlítani;
- hibás az a törekvés, mely annak vélt érdekében, hogy a környezettel kapcsolatos feladatok objektív ismérvek szerint legyenek megítélhetők, megfelelő tudományos alapok hiányában vagy addig módosítja magát a problémát, ameddig valóban „objektívvé" válik; vagy szimplifikálja a sokrétű összefüggéseket, amíg egysíkúvá és látszólag kezelhetővé válnak a vélt „objektív" vonatkozásban. Ha ezek a műveletek nem vezetnek eredményre, általában figyelmen kívül maradnak a probléma más természetű részei;
- a társadalom mindenkori helyzetére jellemző „napi" tényezők kiemelése és „napi" színvonalon alkalmazása a környezetalakításban elsősorban a

nem mérhető minőségi tényezők és a hosszabb folyamatok elhanyagolásához vezet;
— a probléma valós feltárása helyett annak redukálása az adott módszerek és eljárások szintjére, az általános minőség kérdésének eliminálása zavaró tényezőként, a komplex társadalmi érdekek és értékek elhanyagolása a tényleges társadalmi háttér mellőzéséhez vezet a környezetalakításban;
— a társadalom környezetének alakulása a komplex racionalitás ügye, melyben a gazdasági mellett átfogóbb ésszerűség is érvényesül.

Nem tűnik kielégítőnek a művi környezet fejlődésének üteme, összevetve a termelés és a tudomány gyors ütemben elért újabb mennyiségi és minőségi fázisaival. Ennek következtében számolni kell a termelőerők és a környezet ellentmondásának súlyosbodásával. Ez a megállapítás szubjektívnek tűnhet, igazolására szolgáljon, hogy még nem létezik olyan tudományos értékű megállapítás, amellyel kimutatható lenne a produktív jellegű, illetve az általuk szükségessé vált környezeti ráfordítások helyes aránya. Az itt fennálló diszproporciók olyan mérvűek, hogy feleslegessé teszik a további magyarázatot.

Társadalmi rendszerünk sajátossága a környezet fejlődése terén nem az ellentmondások hiányában mutatkozik, hanem abban a sajátos módban, ahogy a dialektikus törvény érvényesül. De ennek érdekében tenni is kell — sokmindent.

KÖVETKEZTETÉS

A szocializmus bővített újratermelési folyamata lényegének megfelelően és szükségesen tervszerű: ebből a tényből indokoltan támasztható a környezetalakítással szemben a tervszerűség követelménye. A környezet változása nem felel még meg ennek a kritériumnak, ezért *gyakorlati és tudományos problémák sora jelentkezik a környezet alakulásában.* A környezet tervszerű alakítása csupán össztársadalmi fejlődési folyamatok alapján oldható meg, mivel a környezet változásának okai is ezekben mutatkoznak.

A gyakorlati probléma a környezet tervszerű alakításában magában a feladat megragadásában jelentkezik. A környezet a gazdaság és a társadalom tervezése szempontjából analóg esetet képez az infrastruktúrához. Ebben a jellegében a tárgyi-térbeni környezet összességét mint feladatot még nem tartalmazza a tervezés. Sem a gazdasági tervezés, sem a településtervezés nem foglalja magában önálló tervezési feladatként a környezet alakítását. Ez a megállapítás nem jelenti, hogy a környezet problémája teljesen kiesne a tervezés köréből, hanem arra utal, hogy a környezet kérdései különböző vonatkozásokban és eltérő tervezési feladatként jelentkeznek különböző tervezési ágazatokban, melyek nem kapcsolódnak szorosan egymáshoz és a probléma teljességét nem fogják át. Mint minden ilyen esetben, itt is fellép a koordinálás igénye annak minden ismert megoldatlanságával és gondjával.

A környezet tervezése szorosan kapcsolódik a territoriális vonatkozásokhoz. A gazdasági tervezés ágazati rendszerének természetesen szintén van territoriális vetülete, mivel hatása konkrét térben jelentkezik. Nem foglalkozik azonban a gazdasági tervezés azokkal a komplex hatásokkal, melyeket a környezet alakulásában kivált. A városépítés gyakorlata átfogja ugyan egy konkrét tér (territorum) társadalmi és gazdasági fejlődésének elképzeléseit és ebben a jellegében képes is lenne azok bizonyos hatását a környezetre figyelembe venni, viszont

nem tartalmazza a környezet összes vonatkozását. Számos környezeti problémának oka ugyanis nem a konkrét tervezési területen belül fekszik, vagy nem kötődik territoriális vonatkozásokhoz, illetve nem társadalmi-gazdasági, hanem természeti jellegű. Nem utolsósorban azért sem képes a városépítés gyakorlata minden környezetalakítási feladatot megoldani, mivel a környezet változása több vonatkozásban már megközelítette azt a kritikus fokot, ahol minőségének negatív átcsapása várható és ahol különösen súlyos, csak központi erőforrásokból megoldható problémák álltak elő. Ezért szükségesnek látszik, hogy egy új és eddig nem gyakorolt tervezési ág létrejöjjön a környezet komplex fejlesztésére, melynek helyét a műszaki tervezés körében, szoros kapcsolatban a városépítéssel látszik célszerűnek kijelölni a feladatok döntően műszaki és településtervezési jellege miatt. Ehhez a posztulátumhoz hozzá kell fűzni, hogy a környezettervezés elmélete és gyakorlata a tervgazdálkodás keretében sem egyszerűen megoldható feladat, mert megvalósításához még számos tudományos, szervezési, gyakorlati, végrehajtási de főként anyagi feltételt biztosítani kell.

A környezet tervszerű alakításában várható nehézségek ellenére is feltételezhető, hogy ezen az úton létrejön a környezet problémájának helyesebb megértése a társadalmi tudatban. A környezet, tervszerű alakításának aspektusában, új szemléleti alapot nyer. A tervezés ebben az értelmezésben a környezet objektív valóságának mind megváltoztatását, mind megismerését szolgálja. A környezet megváltoztatásának társadalmi gyakorlata tervezés révén és az abból származó ismeretek kiegészítik és hatványozzák egymást. A környezet tervezési gyakorlati és tudományos funkciója mellett a szükséges ismeretek megszerzésének célja és hatóereje, nemkülönben hatékony ellenőrzési lehetősége is. A környezettervezésnek tudományos megalapozása magasabb fejlődési szinten magával fogja hozni további ismeretek megszerzésének szükségességét és lehetőségét, melyek a gyakorlati környezetalakításban közvetlen termelőerőként hathatnak.

A környezet és visszatükrözése a társadalmi tudatban sokrétű kapcsolatban áll. A történelem során különböző képzetek alakultak ki a társadalmi tudatban a környezetről, melyeket az ember alakítóan át is vitt mindenkor a térbeni valóságra. A környezet tudati képe viszonylag önálló, ezért bizonyos elképzelések még akkor is hathatnak társadalmi léptékben, amikor anyagi alapjuk már megváltozott. Másrészt tudományos elképzelések megelőzhetik az objektív környezeti valóság alakulását. Aligha lehet kétséges, hogy napjainkra az előbbi eset jellemző, amikor a környezet problémájának súlyossága sőt veszélyessége még nem tudatosult eléggé a társadalomban. A környezetre vonatkozó elképzelések változása az anyagi társadalmi viszonyok reflexiójaként jön létre és nem magyarázható csupán már meglevő eszmék folytatásaként. A környezet fejlődésének érdekében döntő jelentőségű, hogy a társadalmi viszonyok megfelelően sőt előremutatóan reflektálódjanak a probléma feltárásában. A megfelelő és előremutató reflektálás kérdése tudományos és gyakorlati téren egyaránt fennáll a környezet tervezésében.

Tudományos problémák elsősorban a környezettervezés tartalmának, körének, feladatának, módszerének stb. terén, valamint a még hiányos koordinációban és kooperációban jelentkeznek. Jelenleg még nem létezik olyan diszciplína, amely az ember környezetét általánosságában és összességében tárgyalná. A tudományos fejlődés szempontjából ez valószínűleg nem elsődleges kérdés, inkább az, hogy a különböző szaktudományok által kidolgozott részeredmények mennyiben illeszthetők össze és alkalmazhatók a környezet tervszerű alakításában.

A környezetre vonatkozó ismeretágak terjedelmükben ugyan gyorsan növekednek, ez a folyamat azonban túlzott differenciálódáshoz, szétforgácsolódáshoz vezetett. A tudományos integráció szükségessége mindinkább előtérbe kerül, ennek viszont előfeltétele lenne a rendszerezésnek és a szemléletnek egy megalapozott, általános elve. Az integráció problémája elsősorban a térbeni összefüggés módjában, az időbeniségben, a különböző jelenségek jellegében és azok rendszerezésében mutatkozik, valamint annak kérdésében, melyik diszciplína képes és kész az integrációt vállalni. A környezet problémája tudományosan egy határ- és átmeneti területen fekszik. Az ismeretek integrálása ezért csak általánosabb, különböző mozgásformákat átfogó alapokon oldható meg, amihez a filozófia és a keresztmetszeti, valamint metodikai tudományok nyújtanak használható kiindulási alapot.

Jelen munka álláspontja végeredményben, hogy a környezet tervezése képezi azt a döntő kritériumot, amely meghatározza az érintett tudományágak közös alapját és feladatát.

IRODALOM

[1] *Brenner, J.:* Über einige wissenschaftstheoretische Probleme in den Planungsdisziplinen der Umwelt. Wissenschaftliche Zeitschrift der Technischen Universität Dresden, 18 (1969) 5. sz. 993—1007. o.

[2] *Brenner, J.:* Das terminologische Problem „Umwelt" in den technischen Disziplinen. Universitätsreden der TU Dresden, 22. sz. (1969) 55—61. o.

[3] *Brenner J.:* A településtudomány néhány ismeretelméleti problémájáról. Építés-Építészettudomány I. kötet (1970) 3—4. sz. 411—437. o.

[4] *Brenner. J.:* Über das Problem „Umwelt" im Städtebau. Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doctor scientiae technicarum, Dresden 1971. 86. o.

[5] *Brenner J.:* Egy koncepció a településtudomány tárgyáról, elméletéről és gyakorlatáról. Építés- Építészettudomány III. kötet (1971) 2—3. sz. 237—256. o.

[6] *Marx, K.:* Das Kapital. Erster Band. In: Marx/Engels: Werke. 23. kötet, Dietz Verlag Berlin, 192. o. (fordítás tőlem BJ)

[7] *Marx, K.* i.m. [6] 192. o. (fordítás tőlem BJ).

[8] Marxistische Philosophie, Lehrbuch, Dietz Verlag Berlin. 1967, 329. o. (fordítás tőlem BJ).

[9] Marxistische Philosophie i.m. [8] 409. o. (fordítás tőlem BJ).

[10] *Klaus, G. und Bahr, M.:* Philosophisches Wörterbuch. Bibliographisches Institut Leipzig. 6., überarb. und erweit. Auflage, 1969, II. kötet 1100. o. (fordítás tőlem BJ).

[11] Kulturpolitisches Wörterbuch. Dietz Verlag Berlin, 1970.

[12] Ökonomisches Lexikon. Verlag Die Wirtschaft Berlin. 1967. II. kötet 535. o.

Szerző: Prof.Dr.sc.techn. Brenner János, a Drezdai Műszaki Egyetem városépítési tanszékének vezetője.

DR. HAJNÓCZI GYULA, a műszaki tudományok kandidátusa

PANNÓNIA FÜRDŐÉPÍTÉSZETE

A fürdés története szinte olyan régi, mint magának az emberiségnek a története. Már korán — mint annyi más szokás — rituális értelmezést kapott, s a vallási-szellemi megtisztulás szimbóluma lett, és ez a Keleten kialakult jelentése fennmaradt még a kereszténység korában is.[1] A rómaiaknál is kapcsolódtak a fürdéshez bizonyos vallásos hiedelmek,[2] de általánosan köznapi ténykedésként gyakorolták, olyan értelemben, mint ahogyan a görögök éltek vele: a testedzést, a testápolást és a tisztálkodást szolgálta.[3]

A fürdők a római ember gyakorlatias gondolkodásmódjának, az építészetben is megnyilatkozó racionalizmusának és magas színvonalú építéstechnikájának ma is — bátran mondhatjuk — megcsodált eredményei és alkotásai. A fürdő — és itt most magára a fürdőépületre gondolunk — szerves része a római építészet azon ágának, amelyet a tudomány mint mérnöki alkotásokat tart számon, mintegy koronája azoknak a létesítményeknek, amelyek létrehozásáért — a civilizált életkörülmények megteremtése érdekében — a római olyan nagy erőfeszítéseket tett, amikor szinte száz kilométernyi távolságról is bevezette az egészséges vizet a településeibe, amikor a kútházak sorát építette és amikor bonyolult csatornahálózatot telepített a lakóházak és a középületek: a fürdők igényeinek kielégítésére. A fürdők elválaszthatatlanul beletartoztak ezeknek az alkotásoknak a sorába, ugyanakkor valamiféleképpen mások is voltak, mert bennük a technika építészetté változott, a mérnöki szervezés az architektonikus rend megteremtéseként jelentkezett, a megformálás során pedig — ahol a körülmények erre lehetőséget adtak — szinte maradéktalanul kibontakozhatott a rómainak az az adottsága és tehetsége, hogy az építészeti téralakítást és térszervezést művészi szintre emelje. Talán nem véletlen, hogy a római termű-

[1] *Sz.Póczy K.—Hajnóczy Gy.:* Római fürdők Budán (1960) 7—.

[2] Természetesen elsősorban a gyógyvizek táplálta fürdőkhöz fűződtek vallásos képzetek. Pannóniában több oltárkő utal a „gyógyító", az „örökké csergedező" nymphák tiszteletére; *Nagy L.:* Aquincum fürdői. Bud. Ókor. II. (1942) 532—. Augusta Rauricaban az egyik fürdő mellett Apollo—Aesculapius szentély állt, a fürdőt, a feltevések szerint gyógyforrás vize táplálta; *F.Staehelin:* Die Schweiz in römischer Zeit[3] (1948) 475—. A táborok fürdőiben gyakran kerülnek elő Fortuna balnearis, Fortuna conservatrix kultuszának emlékei; *H.Koethe:* Die Bäder römischer Villen im Trierer Bezirk. XXX.Ber.d.RGK (1940) 113—. Galliában pedig egész szentélykörzetek épültek ki gyógyvizek mellett *A.Grenier:* Manuel d'Archeologie Gallo—Romaine IV. (1960) 475—.

[3] A fürdés szokásának a történetét a görögöknél *A.Mau:* Bäder PW II. (1896) 2743— foglalta össze, ugyanitt a római fürdőkről is rövid összefoglalás. L. ezenkívül: *A.Mau:* Caldarium PW III. (1899) 1346—. *A.Mau:* Frigidarium PW VII. (1912) 103—. *J.Durm:* Die Baukunst der Etrusker. Die Baukunst der Römer[2] (1905) 700—.

vészet éppen a technikai és a funkcionális feltételek által annyira kötött fürdőkben érte el egyik csúcsát.

Természetesen mindez nem kezdődött ilyen nagyvonalúan, mert a római közfürdők kialakulásának az idején, — a köztársaság kor végén[4] — egyszerű fürdőházakat, balneumokat[5] emeltek azok után, hogy a fürdőzés szokásának a gyakorlata kinőtte a lakóházak ilyen jellegű berendezéseinek, felszereléseinek a kereteit. Ezek a balneumok azonban csak látszólag voltak egyszerűek, az épület tájolásának meghatározása,[6] a fürdés rendjének ügyes megszervezése,[7] a fürdő-

[4] *L.Crema:* L'architettura romana (1959) 68—.

[5] Az antik fürdőkkel kapcsolatosan nagyon sok szakkifejezés használatos, ezek közül néhány értelmezése bizonytalan. Magát a fürdőt — a közfürdőt — *balnea, balneae, balineae, thermae* szavakkal jelölték, a megnevezés általában többes számban van, ami az épület összetettségére utal, bár van aki e szóhasználatot úgy értelmezi, hogy a többes szám a kiindulást jelentő ún. kettős fürdők — a balnea mixta — megjelölésének az emlékét őrizte meg. Az egyesszámú alak — pl. balneum — a feltevések szerint magánfürdőt jelentett. A thermat kiegészítő épületrészek: *palaestra* — oszlopsoros testgyakorló udvar, *basilica thermarum* — nagyméretű oszlopsoros udvar vagy térség, jelentése összeolvad néha a palaestráéval, *popinae* — a fürdők melletti üzletsor, *forica* — nagyméretű, vízöblítéses latrina, amely a fürdő közelében, de a fürdőn kívül helyezkedett el. A fürdőhelyiségek megnevezései: *apodyterium* — vetkőzőhelyiség, *unctorium* — dörzsölő, masszírozó helyiség, *frigidarium* — hideg hőmérsékletű, fűtetlen tér; e megjelölést Vitruvius nem használja (*Vitruvius* V.11. *Fuchs—Bódiss* fordítása 1898, 97.), *tepidarium* — langyos hőmérsékletűre felfűtött tér; a nagyméretű tepidariumnak *cella maedia* volt a neve; *caldarium* — meleg hőmérsékletűre felfűtött tér; *sudatio, laconicum* — izzasztó, gőzfürdő; nem tisztázott, hogy milyen különbséget takar a két különböző megnevezés. *Vitruvius* (V.11.) arról ír, hogy a tepidariumhoz izzasztást elősegítő szobát (sudatio) kell kapcsolni, de külön izzasztókamrát (laconicum) is említ. Lehetséges, hogy az önálló gőzfürdő a laconicum és a szokványos fürdőhelyiségeket kiegészítő izzasztó a sudatio. *A.Grenier:* Manuel IV. 232.3 megj. összefoglalja az idevonatkozó irodalmat. *R. Hermann:* Das Laconicum der römischen Thermen. Röm.Mitt. XXXV. (1920) 152—159. *B.Lugari:* Il laconicum e la sudatio nell' antico bagno romano. Diss.della Pont. Accad. romana di arch.Ser. 2. X. (1910) 121—139. Lugari szerint a laconicum mozgatható, különleges berendezésű tűzhely, s a helyiség, ahová ezt felállították átvette annak nevét; *latrina* — a fürdőépülethez közvetlenül kapcsolódó WC. A fürdőhelyiségek berendezése: *piscina* — hideg vizet tartalmazó, nagyméretű medence a frigidariumban; *alveus* — ülőpadkával ellátott, süllyesztett, melegvizes, közös használatú medence a caldariumban; *labrum* — hideg vizet tartalmazó, lapos fürdőtál vagy kád a caldariumban; *vasarium* — forró víz tárolására alkalmas tartály; *natatio* — fürdőmedence a szabad ég alatt, mélysége az úszást is lehetővé tette; *solium* — egy személy fürdésére alkalmas kád, *balteus* — a beépített fürdőkád mellvédje. A fűtéssel kapcsolatos szakkifejezések: *praefurnium* — a fürdő külső oldalához épített kemence; *hypocausis, hypocaustum* — fűthető, üreges padozat, és a fűthető padozat által felmelegített helyiség neve; *suspensura* — lebegő padozat; *balineae pensiles* — lebegő padozattal ellátott fürdők; *tubulus* — üreges tégla; *tubulatio, tubulatura* — a fürdőtér falának belső felületére helyezett tubulusok sora, csoportja. — Ezek mellett vannak olyan helyiségek, berendezési tárgyak, amelyeknek a neve nem ismeretes, vagy a megszokott értelmezés nem illik rájuk. Ilyen pl. az olyan medence, amely a natatio fogalmát csak részben elégíti ki, mert van ugyan körbejárható padkája, de olyan sekély, hogy úszni nem lehet benne. *H.Koethe:* im. 113. Nincs külön nevük a tepidarium és a caldarium között elhelyezkedő — feltehetően a meleg légfürdő célját betöltő — helyiségeknek sem, ezeket *D.Krencker:* Vergleichende Untersuchungen römischer Thermen (Die Trierer Kaiserthermen) (1929) 184 — tipológiájában — jobb híján — I.II.III. számokkal jelöli.

[6] *Vitruvius* V.11. szerint az épületet úgy kell elhelyezni, hogy a tepidariuma és a caldariuma DNY felé nézzen, hogy a délutáni napsütés is melegítse a fűtött helyiségeket, éppen abban az időben, amikor azokat használni szokták. Ezt a tájolási előírást azonban nem minden fürdőnél tartották be, s inkább a víz bevezetésének a lehetőségeihez igazodtak.

[7] A fürdés sorrendjére vonatkozóan *Galenus* (De methodo medendi XI.15) azt ajánlja, hogy a meleg légfürdővel kell kezdeni, meleg fürdővel folytatni és hidegvizes lemosdással kell befejezni a fürdést. *Lucianus* (Hippias sive balneum 4) ezzel szemben magukból a

terek térformáinak, téraránya inak célszerű megválasztása,[8] a térlefedés új módjának, a boltozatnak az alkalmazása,[9] s nem utolsó sorban a fűtés technikai megoldása[10] már előre érzékeltették egy jól átgondolt, célját szinte minden tekintetben betöltő épületfajta kibontakozásának a lehetőségét. Jellemző módon mindez először ún. kettős fürdőben, a pompeji Stabiaei thermában öltött építészeti formát, olyanban tehát, amelyben a férfiak és a nők egymástól elkülönítetten, egyidőben fürödhettek, és ebben a megoldásban megmaradt valami a görög fürdőszokásokból, amelynek emléke a későbbiekben is fel-felbukkant,

fürdőépületekből megismert beosztást — a szokványos rendet — írja le: a szolgálók szobáját és a pihenőt a frigidarium, a tepidarium majd a caldarium követi. Galenus leírása a „fürdőút" végére vonatkozhat: a tepidarium melletti sudatioból kilépve a fürdőző az alveusban megfürdik, s utána a labrumból hideg vizet locsol magára.

[8]Az egyes helyiségek csak bizonyos kísérletezés után nyerték el a funkciójuknak megfelelő formát. Jellemző pl. hogy a korai közfürdőkben (Pompeji, Stabiaei és Forum fürdő, *M.J.Sergejenko:* Pompeji, 1954.Abb.84.86.) a caldarium hosszan elnyúló tér volt, s a frigidarium központos, és csak később érvényesült — elsősorban a nagyméretű alkotásokban — Vitruvius szabálya, hogy a caldariumot kell centrális térnek kialakítani, hogy a meleg egyenletesen terjedjen szét a helyiségben. Lehetséges emellett, hogy a kör alaprajzú frigidarium még görög hagyományokat őrzött meg, ui. *baptisterium* néven ismert volt ilyen formájú térség náluk.

[9]Dél-Olaszországban olyan votívtárgyakat találtak, amelyek forrásmodellek voltak. A hellenisztikus korból származó modellek kőbe vájt, negyedgömbbel fedett, elölről nyitott exedrák formáját mutatták, s barlangszerű kialakításukat kapcsolatba hozták az épített nymphaeumok boltozott tereivel *P.E.Arias:* Modelli fittili di fontane d'eta ellenistica. Palladio (1941) 193. — Nagyon valószínű, hogy a fürdők boltozata megőrzött valamit a nymphaeumok e lefedésmódjának jelentéséből, amire az is utal, hogy Vitruvius egyedül a fürdők tárgyalása során beszél a boltozatról, fémzsaluzatos készítésmódjáról, a kettős kupola szerkezetéről, a megvilágításmódról. A boltozatoknak a páralecsapódás megakadályozása érdekében történő „megkettőzését", egy újabban feltárt svájci fürdő igazolta, amelyben a dongaboltozatokat tubulusokból készítették el! *A.Gerster:* Das römische Heilbad in der Grienmatt in Augusta Raurica. Zeitschrift für Schweizerische Archeologie und Kunstgeschichte. Band 25. Heft 2. (1968) 60.

[10]A római épületek fűtésének megértése szempontjából alapvető annak a kísérletnek a leírása és értékelése, amelyet F.Kretzschmer tett közzé — *F.Kretzschmer:* Hypocausten. Saalburg Jahrbuch XII (1953) 8. — a Saalburgban 1951/52 telén eszközölt próbafűtés alapján. Észrevételeit kiegészítette: *F.Kretzschmer:* Bilddokumente römischer Technik (1958) 31. Kretzschmer tapasztalatai szerint a fürdők fűtése a következőképpen történt: fával, vagy faszénnel tüzet raktak a rostély nélküli praefurniumban, amelynek két bélésfala a fürdőkben benyúlott a suspensura alá, a lakóházak kemencéinél azonban nem. A bélésfalak között áramlott be a felmelegített levegő a lebegőpadozat alá, amelyet téglából, kőből, elvétve fémből és tubulusokból épített, cca. 2 láb magas pillérecskék sora tartott. A hypocausis pillérecskéi vízszintes padozaton álltak, Vitruvius azon figyelmeztetésének, hogy az alsó padló a praefurniumtól kezdve emelkedjék a meleg levegő könnyű tovaterjedésének az érdekében — fűtéstechnikailag nem volt értelme. A meleg levegő felfűtötte a kő fedlapokból és a vastag terrazzorétegből összetett felső padozatot, ez volt tehát a hőátadó közeg: a padozat fűtötte a helyiségeket. Maga a hypocausis és a levegőelvezetés rendszere három féle lehetett: csatornafűtés kéménnyel, pilléres hypocausis tubulatio nélkül és pilléres hypocausis tubulatioval. A római sohasem használt csak egy kéményt, hanem legalább négyet, a szoba négy sarkában, ahova a padlócsatornák futottak, előfordult emellett, hogy a helyiségek határfalának a közepére is helyeztek egyet-egyet. A kémény egy sor tubulusból készült, s vagy bevésték a falba belülről, vagy a fal belső felületére erősítették s vakolattal takarták, a födém alatt meg áttörték a falat és vízszintes irányban vezették ki a kéményt a szabadba. A kémény fűtőtestként is szolgált, szemben a tubulaturával, amelynek hőátadó képessége minimális volt, s célja a helyiség bepárásodásának a megakadályozása, a falfelületek szárazon tartása, és ezáltal a boltozat, a concameratio védelme. A tubulatioval ellátott helyiségeket tehát egyedül a padló fűtötte, a fal nem. Kretzschmer ezen megállapítása lezárta a tubulatio körül régóta tartó vitát

színezve a fürdők mind bonyolultabbá váló fejlődésének az útját.[11] Tény az, hogy az épületfajta már Nero korában elérte legfejlettebb formáját, a keresztengelyes császártherma típusban, hogy példaképe legyen a későbbi hasonlóan nagyszerű megoldásoknak, amilyenekkel egyedül csak Itália dicsekedhetett.[12] S hogy mennyire áthatotta a mindennapi életet is az effajta — s az ezeknél szerényebb — létesítmények emelésének a szüksége, azt mi sem bizonyítja jobban, mint az, hogy míg Augustus korában 133 fürdőt számoltak össze Rómában, addig a 4. sz.-ban ezernél is több balneum és thermae gazdagította a város középületeinek a sorát.[13]

Fürdőépületeket természetesen Olaszországon kívül is építettek, először az itáliaiak mintájára, de hamarosan a különböző éghajlati viszonyok,[14] az egymástól eltérő társadalmi, politikai, művelődési és műszaki feltételek sajátos típusokat érleltek ki az egyes tartományokban. Franciaországban nagyon korán megindult a fürdők építése, St.Rémy de Provence fürdőjét pl. ie. 45-ben építették, s elrendezése még nagyon emlékeztetett a pompejiekére. A galliai szerényebb igényű fürdők általános jellemzője az volt, hogy gyakran hiányzott az apodyteriumuk — valószínűleg, mint annyi más helyen a frigidariumban vetkőztek —, másrészt eléggé általánosan elterjedt a terjengős palaestrák építése. A drága és költséges építőanyagot, a téglát — opus mixtum formájában — gyakran felhasználták, különösen a nagyvonalú, egy főtengelyes — a vele párhuzamos két melléktengelyes — császártípust képviselő thermákban (Arles Thermes de la Trouille, Paris Thermes du Palais de Cluny),

---

(vö. *G.Wolff:* Kastelle und Bäder im Limesgebiet, XI. Ber.d.RGK 1918)19.92. „Waren die Hypocausten Heizanlagen oder nur Mittel zur Trockenlegung der Fussboden und Wände?", annak ellenére, hogy *A.Grenier:* Manuel IV. 238. l.megj. *E.D.Thatcher:* The Open Rooms of the Terms del Foro at Ostia, Mem.of the Am.Acad. in Rome XXIV. 1956. 190—191. 6. megj. szerint alkalmazták a tubulatiot nyitott és piscina nélküli — tehát páraszegény — terekben is. Kretzschmer 51 épület összehasonlításából nyert statisztikája szerint a tubulatiot kizárólag csak fürdőépületekben használták, lakóházakban nem, ez a következtetése azonban ilyen kategórikus formában nem általánosítható. Végül megállapítja, hogy a római építéstechnika három csúcsteljesítményének: az égetett tégla, a hypocausis-tubulatio és nem utolsósorban az ablaküveg, együttes előfordulása alapján a thermák a római építészet legfejlettebb épületei. A megvilágításra vonatkozóan igaznak bizonyult Vitruvius leírása: a sok helyütt előkerült táblaüveg-maradványok után Pölich villájának fürdőjében ui. az alveus fölött megtalálták az üvegezett ablakokat is *H.Koethe:* im. 110. és azóta máshol is találtak az ablakra utaló építészeti nyomokat.

[11] *H.Kähler:* Terme (Thermae, balnea, balneae), Enciklopedia dell'arte antica VII. (1966) 716. Delos és Olympia görög — nemek szerint különválasztott, egyedi tusolókból álló — fürdőinek tárgyalása kapcsán említi a szétválasztottság hagyományként való továbbélésének a lehetőségét. A későbbiekben alakult ki az együttes fürdés szokása, amit azután a császárok tiltottak, először Hadrianus (Hist.Aug.Hadr. 18.22.), majd M.Aurelius és A.Severus is, de Elagabalus megengedte *A.Mau:*im. 2750.

[12] *L.Crema:* im. 68.185.287.403.531.586.

[13] *A.Grenier:* Manuel IV. 238. 3. megj. idézi *J.Carcopino:* La vie quotidienne a Rome. 298

[14] *E.Pfretzschner:* Die Grundrissentwicklung der römischen Thermen (1909) 33. — az éghajlati viszonyok különbsége alapján quantitatív szempontból veti össze a thermákat és arra a következtetésre jut, hogy Észak-Afrikában nagy frigidariumokat építettek, s a piscina mellett jelentős szabad padlófelület maradt ki, a tepidariumot roppant kicsire képezték ki s aláfűtötték, a caldarium sem volt nagyméretű. Itáliában ezzel szemben a piscina majdnem kitöltötte a viszonylag nagy frigidarium alapterületét, a cella maediát képezték ki a legnagyobbra, s a caldarium nagysága kb. megegyezett az afrikaiakéval. Galliában és Germániában az igen szerény méretű tepidariumot viszonylag nagy frigidarium és caldarium fogta közre.

amelyeknek hatására sok kisebb fürdő is szabályos, szimmetrikus kialakítást nyert (Rodez, Drevant, Verdes).[15] Jellemző, hogy az épületek tömegkialakítása zárt volt, apsisok meglehetősen ritkán türemkedtek ki az épületek testéből. Raetia fürdőépületeinek legszebb példáit — Vindonissa, Augusta Raurica Zentrálthermen) a szimmetrikus elrendezés jellemezte és a caldarium sajátos kiképzése, ami abban nyilvánult meg, hogy a tér egyik falát igen vastagra építették meg, s a kádakat, labrumokat szinte besüllyesztették a falba, gazdag nymphaeum-fal hatását keltve.[16] A Rajna vidéken érte el az egy-főtengelyes császártherma típus a legérettebb formáját (Trier, Barbara therma, Császár therma)[17] betetőzve azoknak a megoldásoknak a sorát, amelyek Észak-Afrikától kezdve (Lambesis, Timgad, Cherchel Palais du Sultan stb.) Gallián keresztül Germániáig valamiféle egységet alkottak az itáliai kereszttengelyes monumentális megoldásokkal szemben.

A közép-európai tartományok fürdőépítészetének a megértése szempontjából azonban azok a szerényebb kiképzésű Rajna vidéki fürdők bírnak jelentőséggel, amelyek „Kastellbäder" elnevezéssel mentek át a tudományos köztudatba, s amelyek a kezdeti italikus balneumok „szűkszavúságát" mutatták, a funkció egyszerű, sallangmentes megoldását követték. Ezeket az észak-nyugat-európai épületeket vizsgálták meg és rendszerezték a legtüzetesebben — a táborokét és a magánépületekét egyaránt — úgyhogy még a szűkebb területegységek közötti különbségek felfedésére is sor kerülhetett.[18] A tájolás különlegessége, a haránttengelyes helyiségek egyszerű egymás mögé sorolása, az apodyterium gyakori hiánya, a tepidarium szerény volta, a palaestra ritkasága, a laconicum és a sudatio kedvelése és az épülettömeg mozgalmassága, az exedrák, medencék kitüremkedése az épületoldalakon — azok a szembetűnőbb sajátságok, amelyek a Rajnától a Duna körzetéig a fürdőépületek legtöbbjében nyomon követhetők.[19]

Pannónia éghajlati viszonyai és természeti adottságai segítették az épület általános elterjedését, a meglehetősen szélsőséges időjárás, és a viszonylag sok gyógyvíz és ásványvíz is oka volt — az általános igényeken túlmenően — annak, hogy nagyon sok balneum, sőt therma népesítette be a települések utcáit és környékét.[20] Fürdőkből épült a legtöbb a különböző épületfajták közül a római korban — természetesen a lakóházakon kívül —, és nem is egyféle: a pol-

[15] *A.Grenier:* Manuel IV. 245. 256.311.288.294.320.

[16] *T.Staehelin:* im. 473—.

[17] *D.Krencker:* im. 180—.

[18] *H.Koethe:* im. 103. 29.megj. idézi O.Paret: Die Römer in Würtenberg 3. (1932) 70. és ennek során összeveti a trieri körzet és a Mosel-vidék villáinak fürdőit és megkísérli a különbségeket meghatározni.

[19] *G.Wolff:* im. 80. A tábori fürdők tájolása sok esetben nem igazodott az égtájak irányához s velük szöget alkotott, de Vitruvius előírását se követte. A Kastellbäderekre vonatkozóan l.: *G.von Rössler:* Die Bäder der Grenzcastelle. Westdeutsche Zeitschrift IX.1. (1890) 315 — 332. *E.Pfretzschner:* im. 36—42. — *D.Krencker:* im. 235 — 239.

[20] A korábbi kutatás minden olyan épületet, amelynek hypocaustuma volt, fürdőnek határozott meg. De még ma is sok, töredékesen ismert épület balneumként szerepel, ezek bemutatása természetesen meghaladja a tárgyalás kereteit, mint ahogyan azoknak az épületeknek az elemzése is, amelyek bebizonyítottan fürdő céljára épültek ugyan, de teljes alaprajzuk ismeretlen, és így építészeti teljességükben nem értékelhetők. A pannóniai fürdőkre vonatkozó irodalmat l. *A.Mócsy:* Pannonia PW.Suppl. IX. (1962) 704—.

gári és a katonai közfürdők,[21] a villafürdők,[22] a magánfürdők, s a gyógyfürdők[23] mind sajátos szerepet töltöttek be az itt lakók életében és ezek a sajátosságok az építészeti jellegzetességekben is igen gyakran kifejezésre jutottak.

[21] *Nagy L.:* im. 536—. Aquincum fürdőépületei c. fejezetben a következőket sorolja fel: A) *Az aquincumi katonai fürdők*: 1 .III.ker. Flórián téri katonai nagyfürdő (thermae maiores) 2. Hajógyárszigeti parancsnoki épület fürdője 3. III.ker. Külső-Szentendrei úti fürdő, amelyről csak említés történik 4. III. ker.Laktanya utcai fürdőmaradvány 5. A folyamőrlaktanya fürdőmaradványa 6. III.ker. Szentlélek-téri fürdőmaradvány 7. A pesti castellum fürdője. B) *Az aquincumi polgárváros fürdői:* 1. A papföldi (Hampel-féle) nagy fürdő 2. A papföldi (Torma-féle) kettős fürdő 3. A Torma-féle kisebb közfürdő 4. A Gázgyári sporttelepen Nagy Lajos által talált közfürdő. 5. Kuzsinszky által kiásott magánfürdő 6. A csúcshegyi villa magánfürdője. Az aquincumi katonai fürdőknek megjelöltekből egyedül csak a Hajógyár-szigeti alaprajza ismeretes teljes terjedelmében. A Flórián tér fürdőnek csak két helyiségét ismerjük, az újabb ásatási eredményeket Kaba M. még nem publikálta. A fürdő topográfiailag, műszakilag, történetileg, művelődsstörténetileg s még műemlékvédelmileg is jelentős emléke Óbudának. A therma egyik tere — valószínűleg a tepidariuma — apsisszal zárult, 50x26 láb méretű volt, mozaikpadozatát feltűnően magas: 4 láb méretű hypocausis pillérek hordták. A tepidariumtól északra hidegvizes medencével rendelkező tér helyezkedett el. A fürdő újjáépítésének korát felirat örökítette meg — CIL III. 10 492 —, e szerint 268-ban állították helyre. Az épületmaradvány az első megismert római kori emlék Budapesten, az 1778-ban fellelt thermát *Schoenvisner I.* ismertette De ruderibus Laconici Caldarique Romani ... c. valóban korszakos jelentőségű munkájában. Emellett úgyszólván az első műemlékileg védett épületünk, államegóvását, védőlétesítményét Möller I. tervezte. A többi katonai fürdőnek nevezett maradvány még a Flórián térinél is kevesebb, helyesebben: azóta bebizonyosodott, hogy az épületrészek java nem fürdőhöz tartozott. Az aquincumi polgári fürdőket teljes egészükben feltárták.
Pannonia Superior területéről eddig viszonylag kevés balneum került napvilágra. A vindobonai castrum fürdőjének csak a helye ismeretes, a via praetoria közelében, attól keletre feküdt, *A.Neumann:* Der Raum von Wien in Ur und frühgeschichnlicher Zeit (1961) 30, s helyzete megegyezett a Lotschitz és Lauriacum balneumainak helyzetével. *A. Neumann:* Spital und Bad des Legionslager Vindobona. Jahrbuch des Römisch-Germanischen Zentralmuseums 12 (1965) 116, 49. és 50. megj. Carnuntum két polgári és a katonai fürdője részleteiben is ismert, s így az épületek építészettörténetileg is értékelhetők, annak ellenére, hogy funkciójuk ilyetén meghatározása — elsősorban a polgárvárosiaké — ma még vitatott.

[22] A villafürdők közül is nagyon sok csupán töredékesen ismert, vagy pedig hiányos leírás van csak róluk. *Bakonycsernyepuszta*: a fürdő három azonos méretű, haránttengelyes helyiségből áll, kettőt közülük apsis bővit, az egyik mögé egy további helyiség kapcsolódik *E. Thomas:* Römische Villen in Pannonien (1964) 21 Abb.5. — *Balatonfüred:* Szentléleky T. által feltárt fürdő feltehetően gyógyfürdő célját töltötte be. Központi négyzetes térből nyugatra is, délre is apsis türemlik ki, a nyugati íve 3/4 kör, a déli kívülről szegletes formát mutat, ehhez a befoglaló tömbhöz nagyméretű kád társul, a fürdő északi oldalát pedig két, szerény méretű helyiség foglalja el. *E.Thomas:* Römische Villen 24. Abb. 7. — *Donnerskirchen:* L alakú épületrészlet két apsisszal, ezek 3/4 kör formája emlékeztet a balatonfüredi apsis megoldásra *E.Thomas:* Römische Villen. 132.Abb. 68. — *Ptuj:* egymásnak torlódó különböző méretű exedrák, csatorna és hypocausis maradványok *E.Thomas:* Römische Villen 341. Abb, 163.

[23] A pannóniai gyógyfürdőkre vonatkozó irodalmat l. *A.Mócsy:* Pannonia PW Suppl. IX. (1962) 705. Építészeti részletek egyedül *Aquae Jasae* kénes fürdőjéből maradtak, a gyógyfürdőt 1955-ig még nem ásták ki teljesen. A fürdőben 33x18 láb méretű, kő ülőpadokkal ellátott, sekély medence tölti ki az egyik teret úgy, hogy előtte 9 láb széles belépő padkát hagytak ki — a gyógyfürdőknél szokásos elrendezésnek megfelelően. A medencét az 1. sz. közepén építették, de volt előzménye, s I. Valentinianusig használták *B.Vikic— Balancic — K. Gorenc:* Arheoloska istrazivanja antiknog kupalista u varazdinskim toplicama od 1953—1955. Vjesnik Archeologkog muzeja u Zagrebu III.Serie I. (1958) 125. Fig. 12.

Aquincum polgárváros, Fortuna Augusta fürdője (2. sz. első fele)

A polgárváros középpontjában, a két egymásra merőleges főútvonal találkozásának a DK-i sarkában terült el hosszan elnyúlva É—D irányban Aquincum polgárváros legnagyobb közfürdője.[24] Szinte szabadon beépítetten illeszkedett a város testébe, mert keletről is utca határolta, sőt délről is kisebb méretű térség[25] választotta el a szomszédos épülettől.[26] A város csatornarendszeréhez való közvetlen kapcsolata és az aquaeductus közelsége biztosította az épület gazdaságos üzemeltetését, központi helyzete pedig lehetővé tette a jó megközelítést, így a 2. sz. első felében épült közfürdő — pusztán ésszerű elhelyezés következtében — zavartalanul elégíthette ki Aquincum mindennapjainak az igényeit. A fürdő megépülése korában elnyerte végleges alakját s nagymérvű változtatásokat nem eszközöltek rajta. Egy alkalommal — valószínűleg a markomann háborúk utáni újjáépítéskor — kissé megnagyobbították, a 3. sz. folyamán pedig belső elfalazásokkal a therma légterét szűkebbre fogták[27] (1. ábra).

Az épület anyagait és szerkezeteit a megépülése idején általános helyi gyakorlatnak megfelelően választották ki megépítőik. A meglehetősen vastag — gyakran 1,0 m méretű — falazatokat durva mészkőből húzták fel opus incertum módszerrel, az íves falaknál opus spicatum falazásmódot is alkalmaztak, az

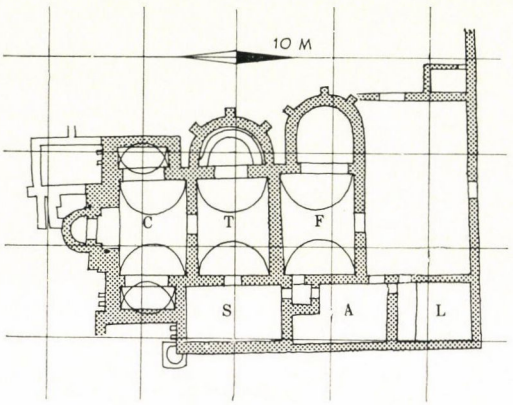
[24] Az épület a polgárváros legrégebben ismert épülete, már a múlt század eleje óta tudták, hogy fürdő rejtőzik az ún. Paprét mezején, *Németh S.:* Tud. Gyűjt. (1823). A fürdőt Hampel József tárta fel és publikálta *Hampel J.* A papréti közfürdő. Bud.Rég. II. (1890) 53—. L. ezenkívül *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen und Funde (1934) 37—. *Nagy L.:* im. 544—. *Sz.Póczy K.—Hajnóczy Gy.:* im. 12—. *Szilágyi J.—Horler M.* Budapest Műemlékei II. (1962) 467—.

[25] A keskeny hosszú terecskét korábban központi helyzete, a rajta talált szobortalapzat s egy — feltehetően — császárszobor-töredék, valamint a forica közelsége alapján fórumnak tartották, l. többek között *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen 41. A piazzettát legújabban Sz.Póczy K. Fortuna szentélykerületének határozta meg, miután kapcsolatba hozta a fürdőben talált Fortuna Augustananak szentelt oltárkővel. *K.Sz.Póczy:* Aquincum (1969) 35. The Sanctuary Belonging to the Baths c. fejezetében. Galliában építettek olyan fürdőket, amelyekhez sanctuariumokat társítottak *A.Grenier:* Manuel IV. 336.

[26] A szomszédos épület a város macelluma volt. Thomas E., kiindulva a fürdő átépítésének a különböző korszakaiból arra a következtetésre jutott, hogy a húspiac eredetileg a fürdő palaestrája volt. *B.Thomas E.:* Az aquincumi palaestrák Bud.Rég. XVI (1955) 89—103. Az 1963—64. évi hitelesítő ásatások azonban a macellum alatt sűrűbb beépítés nyomait fedték fel, nem szabad térségét *K.Sz.Póczy:* Anwendung neuerer Ausgrabungergebnisse bei der Ruinenkonservierung in der Bürgerstadt Aquincum, Acta Technica 67. (1970) 184. Bild 2.

[27] A therma építéstörténetéhez két feliratos kő szolgáltat közvetett adatokat. A korábbi emléket — a már említett Fortuna Augustananak emelt 193-ból származó, Aquincumot még municipiumnak megjelölő oltárt — a frigidariumban találták szabadon, nem szekundér módon beépítve. Hampel J. feltevése szerint azonban nem a fürdőhöz, hanem az amphitheatrum Nemesis szentélyéhez tartozhatott. A másik feliratos kő a tepidarium apsisának a falába volt befalazva és a várost coloniának nevezi meg. A pénzleletek Trajanus—Probus időhatárokat jelöltek ki *Hampel J.:* im. 73—74. Feltűnő tehát, hogy a későbbi követ felhasználták építőanyagnak, de a korábbit nem, így az utóbbinak valamiféle jelentése, funkciója lehetett a therma életében. Ismeretes, hogy a fürdőkhöz kapcsolódó Fortuna-kultusz nem volt egyedülálló — vö. *H.Koethe:* im. 113. —, s mivel a téglák között akadt a légió bélyegzőjével ellátott is, nagyon valószínű, hogy az építkezést segítő katonák körében eleven kultusz ebben az épületkomplexumban is — beleértve a sanctuariumot — gyökeret vert. Ezek a meggondolások indokolhatják az épület újkeletű — a régi „Nagy közfürdő" név jellegtelenségét feloldó — megjelölését.

oszlopokat, küszöböket pedig finomabb minőségű mészkőből faragták ki. A hypocausis pillérei, a suspensura fedlapjai, a praefurnium bélésfalai trachitból készültek, a piscina ülőpadkája pedig homokkőből. Viszonylag sok téglát építettek be, felhasználták az eredeti épületben is hypocausis-pillérecskék, falkiegyenlítő sorok, padlóburkolatok és tetőhéjak készítésénél, de az átalakítások során is részben téglával építkeztek. Az égetett tégla drágaságához hasonló másik értékes — mesterséges — anyagot, a táblaüveget is megtalálhatjuk a therma építőanyagainak a sorában.



1. ábra. Aquincum polgárváros, Fortuna Augusta fürdője. (2. sz. első fele.)

Az ezer négyzetméternél nagyobb alapterületű épületet két-traktusos rendszerben kivitelezték, gondos megfontolás és tervezés eredményeképp. A keleti — 20 láb széles — oldalszárnyban mélységi kiterjedésű terek, a nyugati — 33 láb széles — főszárnyban pedig haránttengelyes terek sorakoztak egymás mögött. Ezen aszimmetria ellenére az épület veleje szabályos volt, mert a főszárny középtengelye és a déli apsis előtt húzható kereszttengely mentén teljesen zárt, szerves alaprajzi kompozíció alakult ki, melyhez a keleti oldalszárny és a nyugati két apsis mintegy járulékként társult.

Fortuna Augusta fürdőjét északról és nyugatról a két főutca oszloptornáca kísérte. Az északi porticusból nyílt a bejárat — ezt a későbbiekben megszüntették —, a nyugati tornác mélyét pedig a popinák fabódéi[28] foglalták el a másodjára kialakított nyugati bejárat oldalán. A capsarius fülkéje melletti hatalmas kapu a fürdő udvarába vezetett, amely kezdetben elfoglalta a therma teljes szélességét — az átépítés során, a keleti oldalon a latrina[29] terével megrövidítették —, és tégla padozata, valamint oszlopmaradványai arra engednek következtetni, hogy belső tornáccal rendelkező basilica thermarum célját töltötte

[28] A falmaradványok koronája teljesen vízszintes — tehát nem lepusztultan szabálytalan — volt, így csak alapozásul szolgálhatott valamiféle favázas szerkezetnek *Hampel J.:* im. 60.

[29] A helyiség déli oldalán levő, teljesen üres akna szerepe tisztázatlan. Mivel a latrinák berendezését fából is elkészíthették, s mivel a piscina szennyvízcsatornája átszelte a helyiséget, van tárgyi alap funkciójának ezen újkeletű meghatározásához *H.Koethe:* im. 114.

be.[30] Az oldalszárny latrinát követő helyiségét használták apodyteriumnak, innen be lehetett jutni az oldalszárny végét képező sudatioba is és a főszárny első nagy termébe, a frigidariumba is, amely azonban a basilica thermarummal is közvetlen kapcsolatban állt. Az aláfűtetlen frigidarium volt a fürdő legnagyobb lefedett tere, déli falán levő fülkesor arra utal, hogy talán itt is levetkőzhettek. A terem nyugati oldalát hatalmas, támpillérekkel gyámolított, megnyújtott apsis zárta le, benne kőülőpados piscinával, amelynek belső oldalát téglalapokra ráhordott vastag terrazzoréteg fedte. A therma megépítői híven követték Vitruvius előírását, s a főszárny második nagy apsisos terméhez, a tepidariumhoz ún. izzasztókamrát kapcsoltak, a kamra rendeltetését különlegesen vastag keleti fala, külön megépített praefurniuma, és az a tény is meghatározza, hogy egyedül ennek a hypocausisában építették meg a tartópillérecskéket a hőhatásoknak legjobban ellenálló téglából. Így tehát a fürdőtől délre önállóan megépült laconicumon kívül a thermának volt saját izzasztókamrája is.[31] A tepidariumhoz — az általános szokástól eltérően — medencét befogadó, támpilléres apsist építettek, a továbbiakban ezt nagynak találhatták, mert belső gyűrűfal megépítésével szerényebb méretűvé alakították.[32] Az épület alaprajzi struktúráját szinte megkoronázta a legfontosabb helyiségnek, a caldariumnak igényesen kialakított formája. Az épület főtengelyét a labrumot befogadó apsis zárta le, a kereszttengelybe eső alveusokat pedig két alahoz hasonlítható, jobbról-balról egymással szembenéző benyílóba helyezték és minden bizonnyal ablakokkal világították meg.[33] Külön-külön fűtötték alá a melegvizes kádakat, a két kemence melege hevítette nemcsak a caldarium, hanem — téglaboltozatos áteresztőnyílások útján — a tepidarium padlóját is, melyet trachitpillérecskék tartottak, s az épület ezen fűthető tereinek — az ún. „Warmblock"-nak — oldalfalait végig tubulatioval látták el. Az apsist — valószínűleg a tepidarium medencéjének a megszűkítésével egyidőben — később téglafallal leválasztották.

Az épület vízellátását feltehetően az aquaeductusból nyerte, de ennek módja ismeretlen. Lehetséges, hogy a vasarium a nyugati praefurnium fölött helyezkedett el — lépcsőszerű maradványok a déli apsis mögött erre utalnak[34] —, s valószínű, hogy víztartály támaszkodott a tepidarium apsisának is.

[30] A szakirodalomban apodyteriumként szerepel. A fürdő alapterületének közel 1/5-ét elfoglaló térség azonban vetkőzőnek aránytalanul nagy volt. A DNY-i sarokban a bejárati falnak és az apsis támpillérének építészetileg megoldatlan találkozása meg azt mutatja, hogy a tér teljes terjedelmében szinte lefedhetetlen volt, csakis tornácot építhettek bele, ami kapcsolódhatott az északi oldalon levő porticushoz.

[31] Vitruvius V.II. A helyiséget korábban — a latrinával és az apodyteriummal együtt — egyszerűen, mint különleges funkció nélküli előteret határozták meg.

[32] A módosításra vonatkozóan éppen fordított magyarázat született, e szerint megnagyobbították a medencét. A külső apsis azonban beleilleszkedik az alaprajz rendeszerébe, a belső nem, tehát az utóbbi a másodlagos.

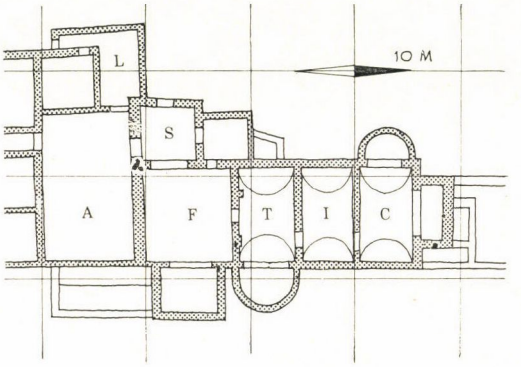
[33] Az effajta kereszttengelyes tereket a szakirodalom a császárthermák — nem rotunda-formájú — caldariumának utánérzéseként értelmezi *E.Pfretzschner:* im. 40. Aquincumban az a különleges, hogy a hozzá hasonlítható szerényebb fürdők analóg megoldásai szinte kivétel nélkül a főtengelybe helyezik a szegletes és a kereszttengelybe a két íves benyílót, éppen mert egy praefurniumuk volt, a középvonalban. Itt páros praefurniumot építettek, s így lehetővé vált az apsis középre helyezése.

[34] Carnuntum polgárvárosi fürdőjének praefurniuma mellett levő tömbszerű alapozás vasariumra utal, emellett olyan részletek kerültek elő, amelyek arra engednek következtetni, hogy a fűtőtérből valamilyen céllal fel lehetett jutni a caldarium magasabb padozatú terébe. Lehetséges, hogy a vízadagolást vagy a szellőzést biztosító berendezést kezeltek a fűtőtérből fellépve *R.M. Swoboda—Milenovic:* Ausgrabungen in der Zivilstadt Carnuntum 1955. Carnuntum Jahrbuch 1955. (1956) 33.

A fürdő belsejét különleges építészeti részletek nem gazdagították: falait befestették, a falfelületeket stukkópárkányokkal osztották. Ami mégis monumentálissá tette az épületet, azt lefedésének köszönhette, a három főhelyiség harántirányú dongája, az apsisok negyedgömbkupolás lefedése külsőleg is mozgalmassá tették tömegét és a városkép meghatározó tényezőjévé emelték Fortuna Augusta fürdőjét Aquincum középpontjában.

Aquincum polgárváros, Északi fürdő (2. sz. második fele)

Aquincum KNy-i főútjának északi oldalán az északkeleti városrész fésűsen beépített iparosházainak a sorába illeszkedett be az Északi fürdő,[35] amely — elhelyezésével, kiterjedésével, s még talán alaprajzi kiképzésével — maga is a szomszédos lakóépületekhez hasonlított. Talán csak az különböztette meg



2. ábra. Aquincum polgárváros, Északi fürdő. (2. sz. második fele.)

a társaitól, hogy kissé lazábban volt beépítve, mert még tájolása sem vallott fürdőére: a fűtött helyiségek észak felé estek. A fürdőt a quad-markomann pusztítás előtt létesítették, majd kibővítették a város újjáépítése alkalmával, hogy később feltehetően lakásnak használják az épület jelentős részét[36] (2. ábra).

Az építőanyag-felhasználást a viszonylag sok tégla tette jellegzetessé. Téglából készült nagyon sok helyiségnek — köztük a nagyméretű udvarnak is —

[35] A fürdő a szakirodalomban a „Harmadik közfürdő" néven szerepel. A fürdőszárnyat Torma K. tárta fel 1883-ban, s Kuzsinszky B. tette közzé az ásatások eredményét. *Kuzsinszky B.:* Az aquincumi ásatások 1882—84. 1889. Bud.Rég. II. (1890) 121—. *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen 59—. Az utca melletti épületszárny feltárását Szilágyi J. vezette 1946—1947-ben. *Szilágyi J.:* Jelentés a Főváros Ókortörténeti (Aquincumi) Múzeum kutatásairól és szerzeményeiről az 1945—1948 évek folyamán. Bud.Rég. XV. (1950) 305—. L. ezenkívül *Nagy L.:* im. 550—. *Póczy K.—Hajnóczy Gy.:* im. 25—. *Szilágyi J.—Horler M.:* im. 470—.

[36] *Szilágyi J.:* Jelentés 319. perióduskutatása szerint. három építési korszakot élt át a fürdő. Az épület előtti utcát is érintette valamiféle változás, mert a fürdő előtt a csatornát 30 cm-ről 80 cm-re szélesítették ki.

a teljes padozata,[37] téglalapokra ráhordott terrazzo bélelte az egyik kádat és tubulációként tegula mammateakat alkalmaztak. Az épület falainak a magját opus incertum módján készítették el, s a sudatio kiképzésétől eltekintve — a szegletes fülke külső éleit lekerekítették — az épület kivitelezésénél különleges szerkezeti megoldásokkal nem éltek. A helyiségeket összekötő ajtók küszöbjeit, a balteusok alját s a latrina berendezését fehér mészkőből faragták ki.

A kb. 680 m² alapterületű fürdőszárny az épület északi részét foglalta el, s az utcára nézően ehhez kb. 400 m² alapterületű kiegészítő épületrész csatlakozott, amelyet a nyugati oldalon hosszú udvar, majd keskeny folyosó és szabályosan kiosztott négy nagyobb és két kisebb helyiség foglalt el. A bevezető szárny térosztó falai — a szomszédos épületek utcai oldalaihoz hasonlóan — a hátsó traktustól független rendszert alkottak, a helyiségek vagy a fürdőknél szokásos popinák célját töltötték be, vagy pedig pihenőhelyekül — akár szállóvendégek befogadására, — szolgáltak.[38] Az épületrészt valószínűleg utólag építették a fürdőhöz, s lehetséges, hogy a keskeny nyugati udvar az egész telekszélességet elfoglaló korábbi térség — palaestra — leszűkített maradványa volt.

A fürdőszárny velejét képező kb. 30 láb széles helyiségsor kivált az alaprajzból szabályosságával, s csak a fürdőutat megelőző nagy tér és az oldalfalakból kitüremlő apsisok bontották meg egységét. A fürdő, szinte udvarméretű, első helyiségét többször átépítették, végül is fűthető apodyteriummá alakították át.[39] Nyugatról latrina kapcsolódott hozzá, s a külön fűtéssel hevített sudatiot is innen lehetett megközelíteni. A négyzetes alaprajzú, szegletes fülkébe helyezett piscinával ellátott frigidarium után haránttengelyes elrendezésben sorakoztak egymás mögé a belső helyiségek: a tepidarium, amelynek egyik oldalát — a Fortuna Augusta fürdőjéhez hasonlóan — apsis bővítette,[40] utána a meleg légfürdő, végül a caldarium következett, íves labrumával, szegletes alveusával.

[37] Torma K. is, Szilágyi J. is talált leg.II.adi. katonai bélyegzővel jelölt téglákat a fürdőben. *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen in Aquincum 55.80. *Szilágyi J.:* Jelentés 318.48.megj. Feltűnő, hogy Aquincum azon két fürdője, amely egyszerű, áttekinthető rendszerével kapcsolatot tartott a katonai táborok típusmegoldásaival — a Kastellbäderekkel —, azokban volt a helyőrség közreműködésének nyoma, s az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője — polgári jellegű lévén — ezektől teljesen elütő rendszerrel épült meg. Fennáll tehát annak a lehetősége, hogy nemcsak a drága építőanyaggal járultak hozzá az építkezéshez, hanem az átlagosnál bonyolultabb építészeti feladatot jelentő fürdő tervezésében és megépítésében is résztvettek katonák.

[38] Szilágyi J. klubhelyiségeknek nevezi a tereket *Szilágyi J.:* Jelentés 318. A helyiségek beosztásrendje nagyon hasonlít az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője melletti üzletsoréra és a Nagy T. által feltárt deversorium „szálloda-szobáira". *Szilágyi J.:* Jelentés 305. l. megj. Ezek a viszonylag nagy szobák több ember ideig-óráig tartó elszállásolására igen alkalmasak lehettek, s így feltételezhető, hogy az Aquincumot éppen fürdői miatt meglátogatók beszállásolását célozták. Amennyiben ez igaz, megmagyarázható az, hogy miért került elő annyi lakásra utaló lelet az utcai szárnyból. Természetesen a továbbiakban csak lakásnak is használhatták egyedül, erre van is megfelelő példa pl. Niederbieberben. *D.Krencker:* im. 237—. *A.Grenier:* Manuel IV. 379.

[39] A helyiséget Torma K. natationak határozta meg. Kuzsinszky B. ezt a nézetet elvetette, s Nagy L. ismét natatiót látott a fűtőcsatornával is, szennyvízlevezetővel is ellátott teremben, azért mert a küszöböket az átépítkezések során megemelték, s mert egy cső vezetett be a frigidariumból 60 cm magasságban. Natatio csak abban az esetben lehetett a helyiség, ha padka futott volna körbe a falak mentén, — e nélkül ui. a fürdő belső helyiségei megközelíthetetlenek lettek volna —, ilyen körbejáró nyomaira azonban nem akadtak.

[40] Mint ismeretes, a tepidariumban általában nem volt beépített kád.

A fürdő felépítménye a város- és utcaképet nem határozta meg valamiféle jellegzetességgel, mert a harántdongás fürdőterek teteje és az épület oldalának egyhangúságát feloldó exedrák és fülkék plasztikája az utcáról nem érvényesült. Ahogyan a fürdő alaprajza is beleilleszkedett a környezet beépítésrendjébe, úgy homlokzata is belesimult az utcaképbe: a szomszédos épületekhez hasonlóan porticus képezte utcai homlokzatát.

Aquincum polgárváros, Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője (2. sz. vége)

Nem messze a város középpontjától, attól DK-re helyezkedett el Aquincum egyik nem nagyméretű — de különleges funkciója és építészeti kompozíciója miatt jelentős — középülete, az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője, [41] amelyben a férfiak és a nők egy időben, egymástól részben elválasztottan fürödhettek, s amely feltehetően gyógyfürdőként töltötte be hivatását.[42]

A fürdő éppúgy saroképület volt, mint Fortuna Augusta thermája, nyugatról a város ÉD-i főútjával párhuzamos utácska határolta, északról meg egy onnan merőlegesen kiágazó, amely azonban éppen a fürdő előtt kissé megtört, lesarkítva a balneum insuláját. Délről is szabadon állt, mert keskeny ambitus választotta el a szomszédos épülettől és keletről sem zárkózott szorosan mellé semmi, csupán egy utólagosan megépített laconicummal állt kapcsolatban, amelynek összekötő folyosója átmetszette a fürdő ezen az oldalán vezető ambitust. Az épület északi homlokzatának előterében kialakult piazzetta, s a tőszomszédságában húzódó üzletsor biztosították a fürdők számára szokásos városi környezetet (3. ábra).

A fürdő előre átgondolt tervek szerint, egyszerre végrehajtott kivitelezés eredményeképp jött létre, s — a szabálytalan utcavezetés következményeitől eltekintve[43] — minden építészeti előzmény nélkül épült fel a számára kijelölt helyen, és nyerte el sajátosan kettős beosztását, valószínűleg engedel-

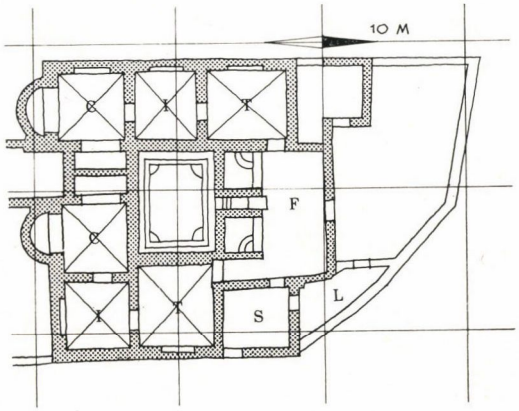
[41] A fürdőt Kuzsinszky B. tárta fel és publikálta *Kuzsinszky B.*: A legújabb aquincumi ásatások 1887—1888 Bud.Rég. I. (1889) 87—114. L. ezenkívül: *Kuzsinszky B.*: Ausgrabungen 46.— *Nagy L.*: im. 548.— *Sz.Póczy K.—Hajnóczy Gy.*: im. 21.— *Szilágyi J.*— *Horler M.*: im. 469—.

[42] *K.Sz.Póczy*: Anwendung. 191.20. megj. a fürdő viszonylag szerény méreteit alapulvéve veti fel a gyógyfürdő gondolatát. Ha ezen a helyen gyógyforrás létének tárgyi bizonyítékai eddig nem is kerültek elő, fennáll annak a lehetősége, hogy a fürdőt gyógyvíz táplálta. A város területéről ui. ismeretessé váltak források: viszonylag nem messze a fürdőtől, a gázgyári sporttelep területén levő fürdő vízellátását is pl. források biztosították. *Nagy L.*: im. 552. A Kettős fürdő közelében pedig mithraeum emelkedett, s benne az „örök forrás"-nak — fonti perenni — szentelt oltár állt. Annak ellenére, hogy az effajta ajánlásnak csupán kultikus értelme is lehetett — *Frőhlich R.*: Irodalom. Budapest Régiségei (rec) Arch. Ért. 9 (1889) 427 —, s nem minden mithraeum települt rá közvetlenül forrásra, mint a római San Clemente — *Nagy L.*: im. 435—559. megj. — mégis feltűnő, hogy Aquincum másik két Mithras szentélyének egyikébe bevezették a vizet, a másik meg — az ún. Symphoros mithraeum, amelyben Fonti Dei ajánlású oltár állt — a gázgyári sporttelep fürdőjének közelében feküdt. Tehát mithraeum megléte forrás közelségére mindig utalhat.

[43] Istvánfi Gy.-nak a falcsatlakozásokon észlelt megfigyelése szerint az épület szabálytalan alakú északi része utólagos hozzátoldás. Az a feltevése, hogy a főútvonalból a fürdő felé vezető utca eredetileg szélesebb volt, s az utca megszűkítése alkalmával csatolták a fürdőhöz az északi szárnyat.

meskedve valamelyik császári parancsnak, amely a férfiak és a nők közös fürdését tiltotta.[44]

Az épület kb. 3 láb vastag, összedobált bányakövekből álló, kötőanyag nélküli — mondhatjuk — tömbre alapozták,[45] a felmenő falakat meg opus incertum módján — átlagosan ezeket is 3 láb vastagságban — durva mészkőből rakták. Feltűnően sok faragott fehér mészkövet használtak fel: a küszöböket, az ajtókereteket, a padlók burkolólapjait, a balteusokat stb. mind ebből a kőből faragták, emelve ezzel az épület értékét. A suspensura anya-



3. ábra. Aquincum polgárváros, Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője. (2. sz. vége.)

gául trachit szolgált, a padozatokat pedig vegyesen kőmozaik és tégla fedte — a már említett mészkőlapburkolat mellett —, s téglából készült a tubulation kívül a natatio és a soliumok alja is.[46] A kádak vízellátását szolgáló

[44] Az épületben előkerült leletek nem segítenek hozzá a pontos kormeghatározáshoz, még az ATILIAE FIRMAE jelzésű téglák sem — *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen 48.— mert ezek hasznosítható időbeli tájékoztatást nem adnak, s csak annyit tudunk róluk, hogy 2. századiak (Szilágyi J. szíves közlése). Így csupán a városnak a fejlődéstörténete igazíthat el némiképp e kérdésben, e szerint valószínű, hogy a fürdőt a markomann háborúk után építették — *K.Sz.Póczy:* Anwendung 191. — de feltehetően még a 2. században.

[45] 1968-ban, a fürdő műemléki helyreállítás előtt eszközölt hitelesítő ásatások alkalmával nyert megállapítást, hogy a hypocausis alsó padozata alá is végig vastag kőréteget hordtak össze.

[46] A fürdőből a leg.II.adi. jelzetű téglák nem kerültek elő — mint a másik két aquincumi polgárvárosi fürdőből —, csupán a már említett ATILIAE FIRMAE felirattal ellátottak, ezeket Kuzsinszky B. feltevése szerint a natatio belső falának elkészítésére használták fel. Kuzsinszky B. Atilia Firmae fürdőjének is nevezi az épületet és a szomszédos ház tulajdonosának is őt tartja, mondván, hogy valószínűleg gazdag vállalkozónő lehetett, de megjegyzi, hogy Savariából is kerültek elő téglák ugyanilyen bélyeggel *Kuzsinszky B.:* A legújabb aquincumi ásatások 114 és megj. A vasmegyei régészeti-egylet évi jelentése 1882—1883. Bélyeges téglák 365. sz. Ismeretessé váltak ezenkívül máshonnan is — pl. Carnuntumból — Atilia Firmae téglái, ami azért feltűnő, mert a nem katonai bélyegzőt viselő téglák ilyen széles elterjedése meglehetősen szokatlan. A tégla azonban a római korban „praefabrikált" építőelemnek számított, amit tehát nem szükségszerűen helyileg állítottak elő, lehetséges tehát, hogy valamiféle központi telepről szállították az értékes építőanyagot a megrendelés helyére.

ólomcsövek néhány darabja zárja le a felhasznált építőanyagok e rövid áttekintését.[47]

A kb. 500 m² alapterületű fürdő alaprajzának rendszerét — nem egészen következetesen megvalósított — központosság jellemezte. A falak vonalvezetése és a megépítésük rendje azt mutatja, hogy vastag falakkal övezett tömb képezte az épület magját, e köré nyugaton és délen egységesen 15 láb széles, keleten pedig váltakozó szélességű traktusokat vontak, amelyeknek a megközelítően négyzetes tereket kiosztó válaszfalai helyenként egybe estek a középső tömb falainak vonalával, helyenként nem, sajátos szvasztikaszerű körforgás és lendület érzését keltve az alaprajzot szemlélőben. A keleti oldalon bekövetkezett aszimmetriát — mint látni fogjuk — funkcionális okok idézték elő, s ez mit sem von le az épület kiegyensúlyozott, s — minden bizonnyal tudatosan akart — arányos kompozíciójának értékéből: a fürdő szabályosan megépített részének befoglalóformája szinte pontos geometriai felnagyítása volt a belső tömb négyszögének.[48]

A fürdő ezen szerkezeti és szerkesztési értékei ellenére a fürdőút funkcionális rendje nem olvasható ki egyértelműen az alaprajzából. A balneumba a nyugati utácskából lehetett bemenni, a capsarius enyhén temperált fülkéjén és a kisebbfajta palaestrának is beillő, szabálytalan alakú udvaron át.[49] Az udvarból nagyméretű ajtó nyílott a fürdő legérdekesebben megoldott termébe, amely együttesen elégítette ki az apodyterium és a frigidarium igényeit. A bejárattal szemben két, belső lépcsőfokokkal ellátott hidegvizes, solium mélyedt a falba, mögöttük pedig mészkőlapokkal burkolt, sarokléphcsőkkel megépített, kb. 30 m² alapterületű natatio foglalta el az épület közepét, az említett középponti tömbben. A frigidariumból nyugatra lehetett a női szárnyba jutni, amely egy tengelyre felfűzött három helyiségből állt — a tepidariumból, a meleg légfürdőből és a „vizes" caldariumból. A helyiségsort olyan ajtók kötötték össze, amelyeket csak velum takart, s küszöbük vájataiban a kádakból kifröccsent víz átcsuroghatott az egyik helyiségből a másikba. Kádakat csak a caldariumban állítottak fel, a labrumot a helyiségsort lezáró apsisba helyezték, az alveust pedig a férfi szárnytól elválasztó fal mellé oldalt, hogy a praefurnium jól felfűtse vizét. A férfi szárny a nőinél bonyolultabb volt: a frigidariumból a latrinát is, a sudatiot is, s — a keleti solium melletti szűk átjáró közvetítésével — a tepidariumot is meg lehetett közelíteni, ez a tepidariumba vezető átjáró tette aszimmetrikussá a fürdő keleti oldalát. A tepidariumot a két belső helyiség követte, bennük a fürdőút iránya megtört, mert a caldarium már szinte teljesen a natatio mögé került, érintkezve a női szárny melegvizes terével.

Az épületet csupán egy praefurnium melege hevítette, a kemencét a két caldarium közé helyezték, Vitruvius kettős fürdőkhöz fűzött megjegyzésének engedelmeskedve. A praefurnium mellől kisebb lépcső indult a keleti apsis

[47] A két caldariumból kerültek elő ólomcső darabok, de ezek felhasználásmódját pontosan nem lehetett megállapítani *Kuzsinszky B.*: A legújabb aquincumi ásatások 97.

[48] A natatio sarkait összekötő átlós vonalak megközelítően kijelölik a fürdőépület tömbjének a sarkait is.

[49] *B.Thomas E.*: Az aquincumi palaestrák 95. Fortuna Augusta fürdő — macellum, valamint Kettős fürdő — s a fürdő melletti peristylium, morfológiai megegyezése alapján tételezte fel azt, hogy a fürdők és mellettük levő oszloptornácos udvarok eredetileg együvé tartoztak. Mindkét fürdő azonban saját — s a helyi igényeknek bizonyára elegendő méretű — udvarokkal rendelkezett.

felé, lehetséges, hogy ide került a vasarium, a hideg víz bebocsátásának a módja azonban nem ismeretes. Az elhasznált víz elvezetését csak egy csatorna szolgálta, ez a natatioból indult, s a frigidarium padlója alatt áthaladva, átmosta a latrina vályúit is.[50]

Mindezek alapján megállapítható, hogy a fürdő megtervezésénél nem is az volt az elsődleges szempont, hogy miként lehet a férfi és női látogatók elválasztását szabatosan megoldani, hanem valami más: az általános szokástól eltérően ui. nem a caldariumot képezték ki a leggondosabban, hanem az épület közepét, a natatioval és a soliumokkal, s ez a tény tovább erősíti a gyógyfürdőnek való meghatározás hitelét.[51]

Az épület zárt, tömbszerű külsőt mutatott. A belső térrendszer négyzetes elemekre való felbontása, a térsarkoknak pillérszerű kiképzése lehetővé tették, hogy a terek fölött keresztboltozatok magasodjanak, s ezek lefedése gazdagon tagolt tetőidomot eredményezett. A pillérek közötti fülkékbe valószínűleg magasra helyezett ablakok kerültek, s ablakok világították meg a bazilikálisan kiemelkedő natatiot is, ha azt lefedettnek képzeljük el, valószínűbb azonban az, hogy a középen elhelyezkedő nagy medencét tető sohasem takarta.

Carnuntum, katonai fürdő (2. sz. eleje)

A castrum falain kívül, de a tábor DK-i sarkától nem nagy távolságra építették fel a tábor fürdőjét,[52] amelynek tájolása megközelítően illeszkedett a tábor keleti falának irányához, s követte a fűtött helyiségek dél vagy délnyugat felé orientálásának megszokott szabályát (4. ábra). A fürdőhöz nyugatról kerítéssel körülzárt udvar társult, és kapcsolatban állt egy másik udvaros — középfolyosós elrendezésű — épülettel is, amely talán pihenőszobákat és elkülönített — néhány helyiségből álló fürdőt fogadott be.[53]

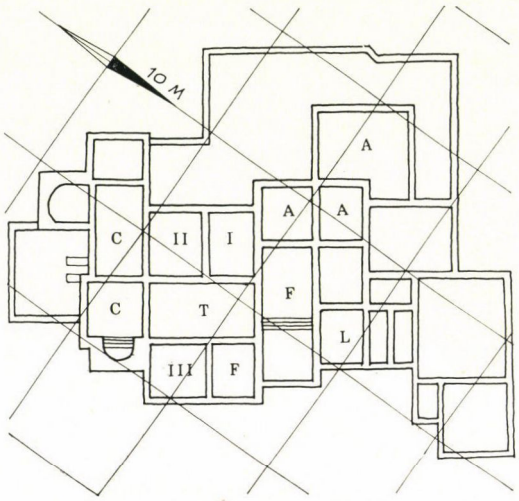
[50] A helyiségek funkciójának ez a meghatározása némiképp eltér az eredetileg megállapított rendtől, elsősorban a fürdő bevezető helyiségeit illetően. A korábbi kutatás a férfi és a női szárny belső helyiségeit egyszerűen, egymás után apodyteriumnak, tepidariumnak és caldariumnak jelölte meg, s a soliumokat befogadó teret közlekedőtérnek, a férfi szárnytól északra levő két helyiség funkciójáról pedig nem esett szó. A fürdő — rendszere ellenére — sem a fürdés zavartalan lebonyolítását, sem a nemek elválasztását nem biztosította teljesen, mert a fürdőzőknek és a vetkőzni-öltözni akaróknak, valamint a férfiaknak és a nőknek a frigidariumban mindenképpen találkozniok kellett, különösen akkor, ha belső — a frigidariumon belüli — apodyteriumokat képzelünk el. Így valószínűbb, hogy nyáron kinn az udvarban, télen a frigidariumban vetkőztek, s valamiféle velum szolgált elválasztással. Az udvar keleti sarkában levő tér a fürdőnél elengedhetetlen latrina céljaira szolgált, a tőle délre fekvő pedig a sudatio volt, amely külön meleget kapott a fürdő mellé járulékosan hozzáépített laconicumból, emellett a caldarium praefurniumából jövő meleg útját is lerövidítették, mert a natatio DK-i sarka mellett külön nyílást hagytak a sudatio irányába.

[51] A gyógyfürdőkkel foglalkozó irodalom meglehetősen szegényes, aminek az az oka, hogy kevés fürdőről tudták eddig pontosan megállapítani, hogy valóban az. A gyógyfürdők között van egyes (Augusta Raurica) és kettős elrendezésű (Badenweiler) is. *A.Gerster:* im. 49—. *D.Krencker:* im. 238. Abb. 335.

[52] A fürdőt a múlt század harmadik harmadában kezdték feltárni és I. Sacken és A. Hauser publikációi révén lett ismertté. Összefoglaló ismertetését M.v.Groller adta. *M.v.Groller:* I. Die Grabungen in Carnuntum DRLiÖ VIII (1907) 58—.

[53] A. Hauser szerint az épület kettős fürdő volt: az északi részt — viszonylag nagyobb tereivel — a legionáriusok, a délit a tisztek használták. M.v.Groller a szomszédos épületet is fürdőnek határozta meg és a kettőt együttesen kettősnek, mondván, hogy a középfolyosós épületet a nők számára építették. *M.v.Groller* im. 64. Az épület alaprajza sajátosan

A 2. sz. elején épült, közepes nagyságú — közel 700 m² alapterületű — közfürdő alaprajza fokozatosan bővülő, szinte organikusan növekvő beosztást mutat, viszonylag kis terek halmazszerű egymásratorlódását. Csupán az épület déli része látszik egyszerre megépítettnek, itt a falak központos elrendezésű, szimmetrikus helyiségcsoportot zárnak körül, feltehetően az eredeti fürdőt, a későbbinek a magvát, a kiindulását. Ettől a szárnytól észak felé fokozatosan kiterebélyesedik az épület anélkül, hogy valamiféle rendsze-



4. ábra. Carnuntum, Katonai fürdő. (2. sz. eleje.)

rességgel bírna, a növekvő igények valószínűleg újabb és újabb toldalékok megépítését írták elő.

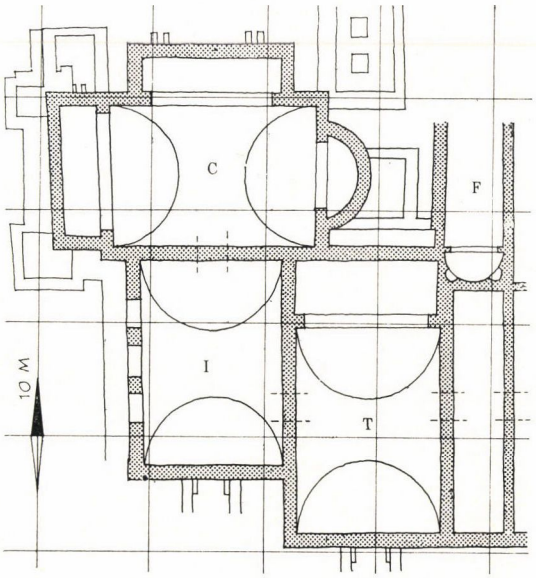
Az épület funkcionális elrendezésének a rekonstrukcióját mégis lehetővé teszi a helyiségek fűtött illetve fűtetlen volta, helyzete, a csatornák vonalvezetése stb. Végső formájában a fürdőt az udvarból lehetett megközelíteni egy nagyobb méretű és két kisebb apodyteriumon át. A frigidarium célját szolgáló, fűtetlen helyiségek átlósan — KNY irányban — következtek a vetkőzők után, de az épület ÉK-i sarkában, ezekhez egy önállóan fűthető helyiségcsoport, a laconicum társult. Az épület közepét a tepidarium helyiségei foglalták el, s a déli végét, a praefurnium tőszomszédságában, a caldarium. A melegvizes helyiségektől nyugatra építették meg a vasarium mélyített medencéjét, keletre meg a labrum apsisát, amelynek a félkörívе a külsőben nem érvényesült, mert zárt tömbbe süllyesztették — ez a megoldás a felső-pannóniai fürdők sajátságának látszik.[54]

hybrid, középfolyosójával és két apsisával, s nem valószínű, hogy fürdőnek építették volna, vagy kizárólag csak fürdőnek használták. Fennáll annak a lehetősége — mint Aquincumban is —, hogy deversoriumot telepítettek a fürdő mellé.

[54] Hasonló apsis- illetve kádmegoldás vált ismeretessé a parndorfi villából. *E.Thomas:* Römische Villen 186. 136. megj. *B.Saria:* Zweiter vorläufiger Bericht über die Grabungen nächst dem Heidehof zwischen Parndorf und Bruckneudorf, Burgenländische Heimatblätter 14 (1952) 98.

Carnuntum polgárváros, Északi fürdő (2. sz. eleje)

Pannónia kétségtelenül legnagyobb szabású fürdőjének a carnuntumi polgárváros északi thermáját tekinthetjük.[55] A helytartói székhely jelentőségéhez méltó épület nem illeszkedett közvetlenül bele a város szerkezetébe, hatalmas, egész insulát elfoglaló, tornácos udvar közepébe helyezték — kiemelve ezzel jelentőségét —, a szokásos popinák társaságába, amelyeket itt porti-



5. *ábra.* Carnuntum polgárváros, Északi fürdő. (2. sz. eleje.)

cusos udvar körül csoportosítottak, igényesen megépített üzletház módjára (5. ábra). A megközelítően 350×480 láb méretű insula udvarának belső oldalát is tornác — feltehetően porticus fenestrata — kísérte, a keleti utca felé néző részét pedig a popináknál jóval nagyobb méretű helyiségek sora képezte, amelynek funkciója talán szintén kapcsolatban állt a fürdővel.[56]

A 2. sz. elején[57] létesült fürdőt építőanyagainak gondos kiválogatása s igen körültekintő felhasználása jellemezte. A szakszerűen kivitelezett kőfalaiba téglából kiegyenlítő sorokat húztak, a falfelületeket márványlapokkal burkolták, még az alárendeltebb jellegű helyiségeket is falfestményekkel díszítették,

[55] Az épület rendeltetésének a meghatározása eddig egyértelműen még nem sikerült, a szakirodalomban „Palastruine" névvel jelölték meg *E.Swoboda:* Carnuntum[4] (1964) 146—. Az épület elhelyezése, beépítésmódja, környezete, a belső, elkülönített közlekedőterek hiánya stb. az épület funkcióját — közfürdő mivoltát — megadják, nem beszélve arról, hogy az egész együttes tematikailag is, morfológiailag is feltűnően hasonlít az Aquincum polgárváros központjában elhelyezkedő — balneumot és macellumot együttesen befogadó — insula elrendezéséhez *Szilágyi J.:* Aquincum (1956) 24. Térkép.

[56] Több pannóniai fürdőnél tett megfigyelés alapján lehetséges, hogy a balneumokhoz nemcsak popinákat, de ideiglenes szálláshelyeket is kapcsoltak.

[57] *E. Swoboda:* im. 146. Az épület keletkezését Hadrianus korára teszi.

az épület műszaki berendezésének a fejlettsége pedig — elsősorban a négy praefurniuma — messze meghaladta a tartomány hasonló rendeltetésű épületeinél megszokott méreteket.

A fürdő alapterülete meghaladta a 2500 m^2-t, s így szinte háromszor akkora volt, mint az aquincumi polgárváros legnagyobb balneuma. Az alaprajz struktúrája — a falak rendszere — nem követte a Kastellbäderek jellegzetes építésrendjét, a harántfalak mechanikus egymás mögé sorolását, mert a térhatárokat úgy emelték fel, hogy váltakozó kiterjedésű — hosszanti és keresztben álló — helyiségek jöttek létre, egységesen 40—42 láb szélességben. Íves falak alig bontották meg az alaprajz egyöntetű vonalvezetését, a fürdőnek volt ugyan két kisebb méretű apsisa, de azok is rejtetten maradtak, mert az épület belseje felé fordultak.

A therma bejárata feltehetően a keleti oldalon nyílt,[58] innen közelíthették meg a vetkőzőhelyeket és a frigidariumot, amelynek a piscináját két félkör alakú kis fülkével bővített exedra zárta le. A cella maedia déli oldalán helyezkedett el az első praefurnium, a tér északi oldalát pedig hatalmas medence foglalta el, majd a fürdő legérdekesebb terme következett, a lépcsősen északra tolódott, a második praefurniummal hevítettett meleg légfürdő, amelynek nyugati oldalát ablakokkal és ajtókkal az udvar felé megnyitották. Az udvarnak ezen a szakaszán a kerítés melletti porticus megszűnt, úgyhogy kisebb parkot alakíthattak ki a légfürdő előtereként, annak ablakos-ajtós nyugati homlokzata előtt — mindezek a sajátságok megerősítik azt a feltevést, hogy a thermának a légfürdője a sudatio és a heliocaminus igényeit egyaránt ki tudta elégíteni.[59] A caldarium az első két teremhez képest hossztengelyével derékszögben elfordult, tehát három medencéje kereszt alakúra — a caldariumok jellegzetes figurájára — formálta: az északi és a nyugati szegletes benyílóba helyezték az alveusokat, a keleti exedrába meg a labrumot. A nyugati alveus alá a harmadik, az északi alá a negyedik — a legnagyobb — praefurnium bocsátotta be a meleget, a komplexust az exedra két oldalán a vasarium és a hidegvizes ciszterna egészítette ki. Az északi fűtőtérből a caldarium terébe közvetlen — a fürdő üzemeltetését szolgáló — bejárat nyílt.[60]

Az Északi fürdő exteriőrjét — az alaprajz koncentráltsága ellenére — mozgalmas tömegjáték jellemezte: a nagy, dongával fedett terek egymáshoz viszonyított elcsúsztatása és elforgatása, a fülkék kitüremlése az oldalakon,[61] s az ezekből adódó lépcsőzetesen ritmizált homlokzatok hűen kifejezték az épület rendeltetését, pedig a balneumokra annyira jellemző exedrák nem is fokozhatták ezt a hatást, mivel rejtetten maradtak.

[58] A második világháború utáni publikációk csak az épület alaprajzát közlik, leírására sehol sem történik hivatkozás, csupán az 1939-ben készített felmérési rajzára: Az épület keleti szárnyát 1971-ig még nem tárták fel, az ismert helyiségek a fürdő belső termei s a végleges feltárás minden bizonnyal a frigidariumot és a bejárati épületrészeket hozza napvilágra. *E.Swoboda:* im. 153. azzal zárja ki a fürdőként való meghatározás lehetőségét, hogy csatornázást sehol sem találtak. De az épületnek éppen az a része ismeretlen, amely a frigidariumot fogadta be, földbesüllyesztett csatornákat a fürdőkben mindig ennek környékén építettek.

[59] *L.Crema:* im. 406—. Fig.497. A császárthermák caldarium melletti, parkra néző, félig nyitott terei szolgáltak e célra, de a kisebb fürdőkben is építettek heliocaminusokat pl. a Villa Hadrianaban is és Ostiában is. Az ostiai fürdő lépcsőzetesen egymást követő tereinek egyik oldala nyitott volt az udvar felé.

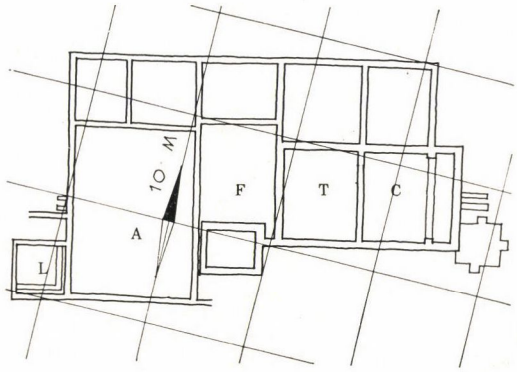
[60] *R.M.Swoboda—Milenovic:* Ausgrabungen 1955. 35—.

[61] A fürdőterek lépcsőzetes egymás mellé helyezése figyelhető meg Ostián kívül Grienmattban is. *A Gerster:* im. Abb.2.

Carnuntum polgárváros, Déli fürdő (2. sz. vége—3. sz. eleje)

Carnuntum polgárváros déli fürdője[62] saroképület volt, mert három oldalát is utca határolta, így közvetlen kapcsolatban állt a városi közművek egyik legfontosabbikával, az utcai csatornarendszerrel. Északi részéhez üzlethelyiségek[63] csatlakoztak, amelyek a telek teljes szélességét kitöltötték, a balneum maga azonban szabadon beépítetten helyezkedett el a kerítés övezte udvarban, s így utcai homlokzata valójában nem is volt (6. ábra).

A kb. 750 m² — udvaraival együtt 1100 m² — alapterületű fürdőt a 2. sz. folyamán építették,[64] és végleges alakját, minden bizonnyal, a markomann



6. ábra. Carnuntum polgárváros, Déli fürdő. (2. sz. vége — 3. sz. eleje.)

háborúk után, a 3. sz. elején nyerte el. Alaprajzi rendszerét kéttraktusosra képezték ki, így a fürdő egy tágasabb — 33 láb széles — nyugati, és egy — 25 láb fesztávolságú — keleti szárnyból állt. Ezekből a nyugati szárny déli helyiségsora egyszerre épült meg — ennek falai vastagabbak is voltak, mint a balneum többi helyiségének a fala —, ez képezte tehát az épület eredeti magvát, amit valószínűleg terjengős palaestra előzhetett meg, hogy az átépítés — vagy újjáépítés — során az udvart zárt terekre osszák, s kiegészítsék a fürdőt a keleti szárnnyal. Feltűnő, hogy a fürdőkre olyannyira jellemző exedrák hiányoztak, de a helyiségek viszonylag nagy méretei és közlekedőterek nélküli egymás után sorolása, s nem utolsósorban a műszaki berendezések jellege, mind amellett szólnak, hogy az épületet fürdőnek építették, ha végül — a felvetések szerint — lakás céljára használták is fel.[65] A tájolás,

[62] A balneum feltárásának eredményeit R.M.Swoboda—Milenovic publikálta. *R.M. Swoboda—Milenovic:* Ausgrabungen 1955. 33—48.

[63] *E.Swoboda:* im. 168. A fürdő melletti hosszan elnyúló, középfolyosós, nem kevesebb, mint 22 db 13x13 láb méretű szobácskákat befogadó vályog válaszfalas épületet határozta meg E.Swoboda üzletsornak, nem a fürdő északi oldalához kapcsolódó helyiségeket. Jellemző, hogy a carnuntumi katonai fürdő mellett hasonló alaprajzú épület emelkedett, amit M.v.Groller mint női fürdőt ismertetett. *M.v.Groller:* im. 72. Nem valószínű azonban, hogy az insula közepére helyezett és ennyire igénytelen épületet üzletnek használták volna, hanem inkább — mint ahogyan máshol is — „beszálló" vendéglőnek, deversoriumnak.

[64] *E.Swoboda:* im. 154. A polgárváros feltárt részét egységesen 3. sz-inak tartja, megjegyezvén, hogy egyes épületrészek a 2. sz. építkezések maradványai.

[65] Aquincumi analógiája az Északi fürdő lehet. *Kuzsinszky B.:* Az aquincumi ásatások 1882—84. 1889. Bud.Rég. II. (1890) 121—. *E.Swoboda:* im. 171. A 4. sz.-ban csatornákat elfalaztak stb., valószínűleg ekkor változott meg az épület rendeltetése.

a praefurnium nagysága, a mellette levő — vasarium számára hatalmas kváderekből épített — toronyszerű létesítmény, az öblös ciszterna, a nyilvános latrina, a bőséges tubulació és a boltozatok tubulusokból való elkészítése,[66] mind egy gondosan megtervezett és kivitelezett balneum ismérvei.

A fürdő funkcionális rendje a következőképpen rekonstruálható: a bejárat a popinák középfolyosójának irányában nyílt a nagyméretű, fűthető apodyteriumba, de lehetséges, hogy ide a nyugati utca vestibulumszerű helyiségén át is be lehetett jutni. A széles traktus három egymás mögötti tere a frigidarium, a tepidarium s a caldarium céljára épült, a hidegfürdő keleti kiszögellésében a piscina elférhetett, mint ahogyan a melegfürdő alveusa is az épületet lezáró térrészben. A caldariumba a fűtőtérből közvetlenül be lehetett jutni, a Carnuntum polgárváros Északi fürdőhöz, és az Aquincum polgárváros Fortuna Augusta balneumához hasonlóan. A keleti szárny egyes helyiségeinek rendeltetése ismeretlen, csupán a tepidarium melletti tér határozható meg sudationak, bár az is lehetséges, hogy a frigidariumtól kezdve a belső fűtött helyiségeket megismételték, s így részleges kettős-fürdőt alakítottak ki.

A fürdő intériőrjeit nagyon igényesen és mívesen képezték ki, a caldarium falának lábazatát és padlóját pl. márványlapokkal burkolták, a tepidarium padozatát pedig mozaikkal díszítették. A balneum külső megjelenése kiegyensúlyozott, zárt benyomást keltett, nélkülözte az íves falak, apsisok előidézte jellegzetes fürdő-exteriőr hatást, de ez a zártság helyi sajátság lehetett, hiszen a carnuntumi katonai fürdőt is hasonlóképpen építették meg.

A VILLAFÜRDŐK

Balácza, villafürdő (2. sz. eleje—3. sz. eleje)

A villa fürdője[67] a fallal körülvett majorság középpontjában feküdt, ráépülve arra a kerítésfalra, amely a villatelepülést két részre osztotta (7. ábra). A kerítésfal magát a fürdőt is szétválasztotta, azt a benyomást keltve, mintha kettős fürdőt akartak volna építeni: egyet a villa tulajdonosai számára, egyet pedig a gazdasági udvar lakóinak, szolgáinak a használatára. A kerítést később zárt folyosóvá alakították át, így a balneumot a főépületből is meg lehetett közelíteni fedett úton, s az ellentétes — keleti — oldalról is.

A 2. sz. folyamán épült[68] balneum építőanyaga a Balaton környékén általánosan használt vörös homokkő volt, a falakat opus incertum és opus spicatum falazásmóddal kivitelezték, átlagosan 2 láb szélességben. A helyiségeket csatornafűtéssel melegítették fel, a terek közül mintegy nyolcat tubulatioval

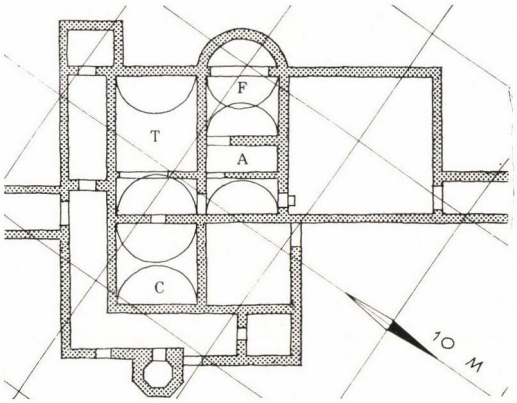
[66] *B.M.Swoboda—Milenovic:* Ausgrabungen 1955. 36. A caldarium tere — tehát nemcsak a falak töve — tele volt „lapos" tubulusokkal. Méltán feltételezhető, hogy ezeket — a grienmatti fürdőhöz hasonlóan — térlefedésre használták. *A.Gerster:* im. Abb.3.4.6. stb.

[67] A fürdőt a villaépülettel együtt Rhé Gy. tárta fel 1906—1907-ben és ugyanő publikálta. *Rhé Gy.:* A baláczai ásatások eredményei (1912). A II. sz. főépület. 48—.

[68] *E.Thomas:* Römische Villen 79. Thomas E. a villaépület galériákkal való kiegészítésének a korát a 2. sz. végére, vagy a 3. sz. elejére teszi. Valószínű, hogy a fürdő szintén ekkor nyerte el végleges formáját, de az épület magva korábbi lehet és egyidős magának a villaépületnek első korszakával, az 1. és 2. sz. fordulójának idejével.

láttak el, helyenként azonban nem összefüggő mezőkben illesztették az üreges téglákat a falra, hanem elszigetelt kémények módján, így ezek egyben a fűtőtest célját is betöltötték.[69] A vasarium alátéteként 2×3 láb méretű, mélyítéssel ellátott vörös kőlapok szolgáltak.[70]

A balneum kisebbfajta közfürdőnek is beillett volna: alapterülete meghaladta az 500 m²-t.[71] Az alaprajz struktúrájára rányomta a bélyegét a sajátos kettéosztottság, s az, hogy valójában a fürdőknél szokatlan középfolyosós rendszerben épült ki. Ezen központi közlekedőtéren kívül még egy további



7. ábra. Balácza, villafürdő. (2. sz. eleje — 3. sz. eleje.)

folyosó is kiegészítette az alaprajzát, átölelve annak déli és keleti oldalát, így a fürdő alapterületének nem is jelentéktelen részét korridorok foglalták el.

A fürdőbe 40×40 láb méretű, nyitott udvaron keresztül lehetett bejutni.[72] A középfolyosó nyugati oldalán helyezkedett el — kisméretű apodyterium társaságában az apsissal záródó, piscinával ellátott frigidarium, valamint a fürdő legnagyobb helyisége, a tepidarium, míg a keleti oldalt a caldarium és egy bizonytalan rendeltetésű tér foglalta el. A meleg áramlását és megfelelő eloszlását irányító párhuzamos falakkal járatokra tagolt, külső L alakú folyosó fűtőfolyosó volt, belőle ágaztak ki azok a fűtőcsatornák, amelyek elsősorban a caldariumot, majd a tepidariumot és — feltűnő módon — a frigidariumot is némileg felfűtötték. A fűtőfolyosó két végét egy-egy kisebb tér — feltehetően sudatio — zárta le, a caldarium mögött pedig egy okto-

[69] Ilyen kémények voltak pl. az oktogonban. *F.Kretzschmer:* Hypocausten. 17—.

[70] Hasonló kövek fedték az aquincumi Birkózó-mozaik fürdőjének a praefurniumát is. *Kuzsinszky B.:* Magánházak. Bud.Rég. I. (1889) 147—.

[71] A baláczai villa-fürdő nagyobb volt pl. mint az aquincumi Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője, igazolva azt, hogy a nagyobb villatelepülések fürdői nagyságrendileg is, strukturálisan is közbülső helyet foglaltak el a — funkciójukat viszonylag könnyen meghatározható — közfürdők és a — csökevényes vagy éppen differenciáltabb alaprajzú — magánfürdők között.

[72] Rhé Gy. natatiot tételezett fel az udvarban. Thomas E. palaestrának határozta meg a térséget Rhé Gy.: im. 52—. *E.Thomas:* Römische Villen im. 90.

gon türemlett ki az épületből, amelybe talán egyes-fürdőt, soliumot helyeztek el.

A baláczai villa fürdőjének az elrendezése a közfürdők és a lakóházak — pontosabban a lakóházakban kialakított egyszerű fürdőberendezések — sajátos kereszteződésének látszik. Megvoltak ui. benne a kellő méretű fürdőtermek, de ezek látogatása nem volt folyamatos, sőt ,,akadozott'', mivel ismételten át kellett menni a központi — közvetlenül nem is fűtött — közlekedőtéren. Emellett ez a belső, elválasztó folyosó és az épület két ellentétes sarkán elhelyezett sudatio kettős fürdőre utal, az azonban nem, hogy caldarium céljára csak egyetlen egy terem volt alkalmas. Feltételezhető tehát, hogy valamiféle átalakítás történt, s a középfolyosó déli falát utólag húzták be, a fellépő új igényeknek megfelelően, vagy pedig az is lehetséges, hogy a fürdő keleti részét utólag építették.[73]

Balatongyörök, villafürdő (3. sz.)

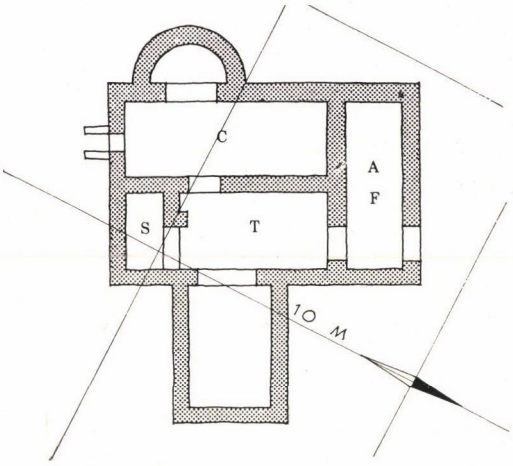
A villatelepülések egyszerű és áttekinthető típusát képviseli a Balatongyörök melletti római villa balneuma.[74] A fürdőt az ésszerű telepítési elveknek megfelelően tájolták — a caldarium apsisa DNY-ra nézett —, emellett építésekor figyelembe vették a szűkebb környezet adottságait is: az épület tengelyvonala a Balaton partszélével párhuzamosan futott (8. ábra).

A 3. sz. folyamán[75] épült balneum alapterülete kb. 95 m²-t foglalt el, falrendszerét a pontos kitűzés és a gyakorlott kezekre valló kivitelezés jellemezte. Az alaprajz struktúrája a következő volt: az épület elején a fürdő két azonos fesztávolságú, 9 láb széles, egymással párhuzamos traktusát haránttengelyes tér fogta össze, a nyugati és a keleti határfal síkjából pedig egy-egy medencét befogadó fülke lépett ki. A villa lakói a haránttengelyes teret használhatták vetkőzőnek, s a tér talán a frigidarium célját is betöltötte egyúttal. A tepidarium jól kielégítette központi funkcióját — cella maedia volt valójában — innen ui. a sudatiot is, a caldariumot is meg lehetett közelíteni, s azt a fülkét is, amelyben valószínűleg piscina állt. A hosszan elnyúló caldarium déli végében, egymás szomszédságában helyezkedett el — a praefurnium fölött — az alveus, és — az apsisban — a labrum. A látogatás egykori rendjére vonatkozóan két alternatíva lehetséges: az egyik szerint a melegvizes fürdő zsákszoba volt, tehát ugyanazon az úton kellett elhagyni a fürdőt, mint amelyiken bejöttek, az épület teljes szélességét átfogó apodyterium azonban lehetővé tette a körforgalmat is: a caldariumból közvetlenül ki lehetett jutni a vetkőzőbe.

[73] A villatelepülés elrendezése arra utal, hogy a főépülethez igen közel levő fürdőt eredetileg egy kisebb bekerített rész belső oldalához építették úgy, hogy a megszokott rendben palaestra — majd haránttengelyes elrendezésben — apodyterium, frigidarium és keskeny, de teljesen aláfűtött caldarium helyezkedett el egymás mögött. A villa bekerített területének a növelése alkalmával azután a kerítés keleti oldalán újabb helyiségekkel egészítették ki az épületet — többek között nagyméretű caldariummal — a fürdő azonban ekkor kezdeti áttekinthetőségét elvesztette.

[74] A fürdőt Radnóti A. tárta fel és Thomas E. publikálta *Radnóti A.:* Balatoni Szemle 8 (1943) 251. *Radnóti A.:* MNM Adattár 181.B.III. (1938). — *E.Thomas:* Römische Villen 25—. Feltehetően hasonló, kéttraktusos, önálló balneum helyezkedett el a fenékpusztai peristylium-villa déli szárnyának nyugati oldala mellett is *E.Thomas:* Römische Villen Abb. 30.

[75] E.Thomas: Römische Villen 27—.

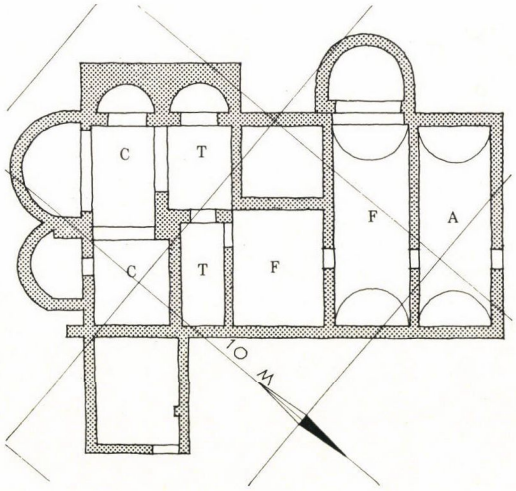


8. ábra. Balatongyörök, villafürdő. (3. sz.)

Parndorf, villafürdő (1. sz. vége—4. sz.)

A parndorfi villatelep[76] középpontjában, a főépülettől mintegy 130 láb távolságra építették fel a telep fürdőjét, amelynek tájolása — a balneum hossztengelyének megközelítően KNY-i iránya — megegyezett a villaépületével, s amellyel folyosó közvetítésével összeköttetésben is állt (9. ábra).

A fürdőt az 1. sz. végén létesítették, s a keletkezésének az idején az alapterülete alig haladta meg a 150 m²-t A 33×40 láb méretű, egy-traktusos rend-



9. ábra. Parndorf, villafürdő. (1. sz. vége — 4. sz.)

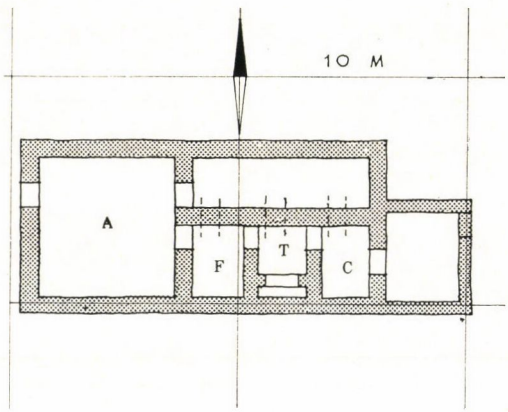
[76] A villatelepet 1951—1952-ben tárta fel B. Saria. *B. Saria:* im. 98. — *H. Vetters:* Parndorf. Fasti Archeologici VII. (1954). 4955. — *E.Thomas:* Römische Villen 186—.

szerű balneum, szerény méretei ellenére, jól — s szinte maradéktalanul — elégítette ki a szokványos igényeket, a közös apodyterium-frigidarium, a tepidarium és a caldarium egymás mögött sorakoztak, s lehetséges, hogy a belső, fűtött helyiségeket meg is kettőzték.[77] A frigidarium melletti alácsatornázott kamra minden bizonnyal a víztároló ciszterna célját töltötte be.[78]

A villafürdő végleges alakja ennél az egyszerű megoldásnál bonyolultabb lett, anélkül, hogy strukturális változást szenvedett volna, csupán kiegészítéseket eszközöltek. A balneumot nyugati irányban meghosszabbították két haránttengelyes térrel, az új frigidarium piscinája számára az épületből kitüremlő apsist építettek. Hasonló toldalék-exedrákat kapott a fűthető szárny is, négyet is, az alveusoknak két nagyobb, a labrumoknak két kisebb íves fülke adott helyet. A déli kettős apsis íves határfala a külsőben nem érvényesült, mert szegletes tömbbe zárták.[79] A keleti oldalon lévő praefurniumot is ekkor nagyobbították meg és fedték le.

Smarje—M.Pristova, villafürdő

Az egészen kisméretű — 130 m² alapterületet nem meghaladó — fürdők típusát képviseli a délpannónaiai Smarje körzetének egyik római kori villájához tartozó balneum.[80] A kis épület a dombhátra telepített villaépület előterében helyezkedett el, a déli lankán, a rétegvonalakkal párhuzamosan. Szélessége 25 láb volt, a hossza meg 50 lábat mért, a toldalékként keletről mellé épített praefurniumon kívül (10. ábra).



10. ábra. Smarje—M.Pristova, villafürdő

[77] A térosztó falak különleges rendszerben épültek: mintha egy nagy térből egymástól független fülkéket választottak volna le, a falak egymás mellé csúsztak, sarkok érintkeztek stb. Természetesen a fürdőkben a suspensura alatti és feletti falak nem minden esetben feleltek meg egymásnak.

[78] L.Carnuntum, polgárváros Déli fürdő. *R. M. Swoboda—Milenovic:* Ausgrabungen 1955. Plan I.

[79] L.Carnuntum, katonai fürdő apsismegoldását. *M.v.Groller:* im. Fig. 34.

[80] A Smarje körüli római épületeket F.Lorger tárta fel *F.Lorger:* Casopis za Zgodovino in Narodopisje 29 (1934) 147—. 31 (1936) 77—. Eredményeit és megfigyeléseit Thomas E. ismertette és egészítette ki. *E.Thomas:* Römische Villen 344—.

A balneum egész szélességét elfoglaló, fűthető apodyterium négyzetes szobája után két traktusra oszlott az alaprajz: a lejtőnek támaszkodó falak folyosószerű helyiséget zártak közre, dél felé pedig erősen összefogott, szűk kis terecskék formájában követte egymást a frigidarium, a piscinával rendelkező tepidarium és a caldarium.

Hasonló, két-traktusos, kisméretű fürdő elégítette ki a szomszédos Grobelce villatelepének az igényeit is, azzal a különbséggel, hogy ott mind a két szárnyat megosztották. Itt Pristovában az egyik szárny egybefüggött, s valószínű hogy ennek oka a lejtős terep volt[81], bár az is lehetséges, hogy a balneum építésekor a lakóházépítészetben kialakult építőszokások érvényesültek: folyosók beiktatása, hasonlóan más villatelepülés szerény fürdőjéhez.[82]

A MAGÁNFÜRDŐK

Aquincum, Helytartói palota fürdője (2. sz. eleje)

Pannonia Inferior legszebb — és tegyük hozzá: ma is problematikus — épületének, a Helytartói palotának[83] a magánfürdője méltó volt ahhoz a keretthez, amely a legatus állandó tartozkodási helyéül, lakásául szolgált. A fürdő alaprajza ui. elütött a szokványos, egyszerű térformákból összetett balneumokétól, struktúráját a kör, a félkör, az ellipszis, az oktogonális és a hexagonális alakú terek mozaikszerű egymásmellettisége jellemezte, s ezzel megtestesítette a római építészetnek a Nero korától általánossá lett egyik legsajátosabb törekvését, az alaprajz dekoratív vonalvezetéssel való megszerkesztését, s szervesen illeszkedett be az „architettura curvilinea romana" jegyében fogant alkotások sorába[84] (11. ábra).

A fürdő végleges alakját több átépítés és bővítés során nyerte el. A palotának helyet adó dunai sziget közvetlen környéke bővelkedett meleg vízű forrásokban,[85] s lehetséges, hogy magán a szigeten is fakadtak gyógyvizek, így érthető, hogy a palota építtetője kihasználta azt a lehetőséget, amit a jó vizéről híres Aquincum itt felkínált neki, s a források közelében építkezett, vállalva

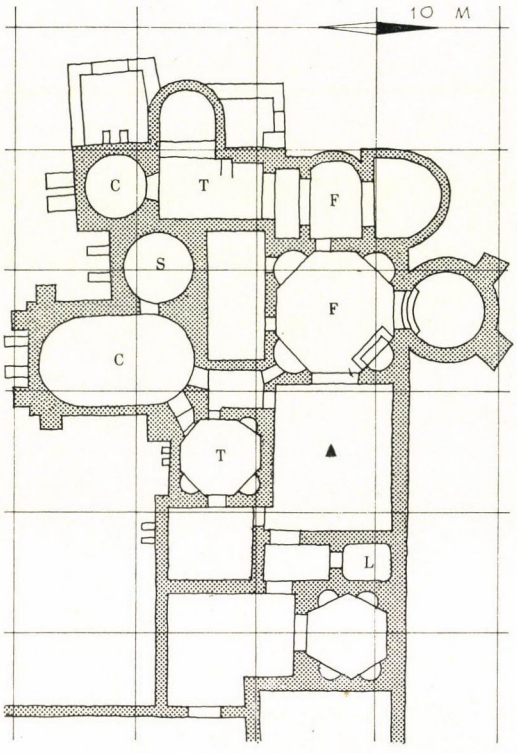
[81] Az épület déli részét pedig erősebb szerkezetű fal szilárdította.

[82] A fürdők egyik ismérve a terek egymásbanyitása független közlekedőterek közvetítése nélkül, mégis elvétve előfordul, mint pl. a balácai fürdőben is — Rhé Gy.: im. 4. ábra — a folyosó. Természetesen az effajta közlekedőterekkel rendelkező épületeknél mindig fennáll annak a lehetősége, hogy lakóházak voltak, vagy funkciójukat megváltoztatták.

[83] A Helytartói palotát Szilágyi J. tárta fel 1941-től kezdve és ő is publikálta *Szilágyi J.*: Az aquincumi Helytartói palota Bud.Rég. XIV. (1945) 31—153. —: A római kori ásatások fontosabb eredményei Bud.Rég. XVI. (1955) 403—409. —: Az aquincumi Helytartói palota Bud.Rég. XVIII. (1958) 53—77. —: Aquincum 26. *Szilágyi J.—Horler M.*: im. 352—. A fürdőt egészen különleges megoldása miatt tárgyaljuk a magánfürdők és nem a villafürdők között.

[84] *R.Vighi:* Arachitettura curvilinea romana. La villa esedra dell, Acqua Claudia. Palladio (1941) 151. 13. megj. írja: „La difinizione di „architettura curvilinea" va intesa, a mio parare, non con il significato limitato di architettura dell'arco e della volta, ma nel valore piu completo di architettura in cui la linea curva entra come parte sostanziale nello sviluppo planimetrico". R.Vighi mindezeket a hatalmas konkáv-homlokzatú villákkal kapcsolatban írja, de tételének érvényessége ennél általánosabb.

[85] *Nagy L.*: im. 750. A castrumból a Hajógyári-szigeten, és a ma már nem létező Fürdőszigeten keresztül a kései római időben híd vezetett a Duna balpartjára. A Hajógyári-sziget a Fürdő-szigettel azonban már valószínűleg korábban kapcsolatban állt, hiszen itt is több helytartói fogadalmi követ találtak.



11. ábra. Aquincum, Helytartói palota fürdője. (2. sz. eleje.)

még a tábortól való bizonyos fokú elkülönítettséget is. Sőt annak a lehetősége is fennáll, hogy először fürdőt építettek a szigetre,[86] és utána a pompás villát, s ennek megépülése, majd kibővítése közben egészítették ki a balneum helyiségeit újakkal és vonták véglegesen a főépülethez. A fürdőszárny így a 2. sz. elejétől kezdve fokozatosan épült ki, s őrzi mind ennek a viszonylag korai, mind a palotában történő későbbi — feltehetően 3. sz.-i — építkezések nyomait. A fürdőnek pusztán a helyzete is elárulja építéstörténetét: a véglegesen kiépült balneum a palota északnyugati részében állt, úgy, hogy eredeti szárnya kitüremlett az udvar terébe, a bővítése belesimult a palota északi traktusába, s egy további kiegészítő toldalék zárta le nyugatról.[87]

[86] A szigeten levő rommaradványok a múlt század közepén váltak ismeretessé *Sacken:* Mitteilungen der der Centralkommission II (1857) 283, majd Römer F. és Zsigmondy G. dokumentálta újra a romokat és érte el, hogy azok újból láthatók legyenek. A véletlen folytán a fürdőnek nevezett maradványok java valóban a palota balneumának a részletei voltak.

[87] *Szilágyi J.:* 1958. 55. a palota keleti szárnyát 107-re, a fürdőrész déli traktusát 120-ra, s a palota déli oldala melletti ún. II. épületet a 2. sz. derekára datálta. *Wellner I.:* Az aquincumi Helytartói palota építésének a kora. Arch.Ért. 97. (1970) 116 — ezzel szemben az íves folyosóból, s a két hemiciklus közé zárt oktogonból álló II. épületet határozta meg egyedül a quad-markomann háborúk előtti időkre, a palota többi részének keletkezését egységesen a 2. sz. végére, a 3. sz. elejére tette. Valószínű, hogy a kétfajta felfogás szintézise közelíti meg a valóságot. A palota keleti szárnya — az ÉD irányú belső folyosó keleti faláig

A fürdő épületében elsősorban követ használtak fel, a falakat zömükben opus incertum módszerrel, s helyenként opus spicatum módján rakták, a csatornákat téglával fedték stb. — mindez összképében megegyezett a palota kivitelezésekor alkalmazott anyagokkal és eljárásokkal. Feltűnő azonban, hogy tubulatiot éppen itt csak elvétve alkalmaztak, holott a palota keleti, lakószárnyában egész térfalakat fedett üreges téglabélelet.

A palota fürdője — végső formájában — funkcionálisan egymástól elváló három részből tevődött össze. Közvetlenül a lakosztályhoz hexagonális „solium" csatlakozott, a hatszögű tér négy oldalát félkör alakú fülkék bővítették, a teret északról fűtötték, s az elkülönített „fürdőszobához" még mozaikpadlós kis latrinát is hozzákapcsoltak. A tulajdonképpeni balneum fürdőtermeinek a sorát nagyméretű apodyterium vezette be, amit mozaikpadozatos, nyolcszögű frigidarium követett, az épület északi beépítésvonalából kilépő rotundába helyezett piscinával. A tepidarium célját kisebb oktogon szolgálta, míg a caldariumét a déli fekvésű elliptikus tér, amihez nyugatról a sudatio kör alakú helyisége társult. A harmadik rész — a nyugati toldalék — önálló kis fürdőszárny volt, s vagy laconicum, vagy a szolgák tisztálkodóhelye lehetett. Egyszerű sorozat formájában egy-tengelyre fűződött fel a félköralakú piscinával bíró hideg, s az ugyancsak káddal ellátott langyos hőmérsékletű tér, s végül a belül kör formájú, kisméretű caldarium.

A mozgalmas alaprajz mozgalmas tömegképzést eredményezett. Jellemző azonban, hogy a terek íves jellegét a külsőben csupán a lefedések érzékeltették, a térfalak nem: a legtöbb rotundát és oktogont szegletes tömbbe zárták.

Aquincum polgárváros, Birkózó-mozaik fürdője (2. sz. vége)

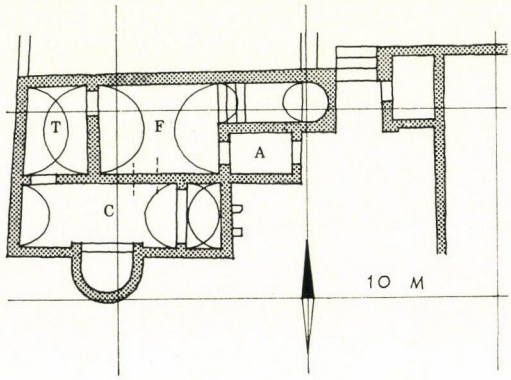
A Collegium Iuventutis[88] — provinciális viszonylatban — nagyvonalú kompozícióját méltóan egészítette ki magánfürdőjének nem nagyméretű, de igé-

bezárólag — egységes terv eredménye volt és építése valóban követte a II. épületéét. A folyosótól nyugatra eső rész struktúrája azonban — eltekintve a déli oldalszárnytól — teljesen heterogén elemeket mutat, s magába olvasztotta egy korábbi épület maradványait, amelynek a II. épület is része volt. A palota keleti szárnyához kapcsolódó déli és északi első helyiség — az oldalszárnyakat indító terek — alakja és helyzete ui. nem következik szervesen a főszárnyból, nem egyformák, s szabálytalanok is, nyugati falukat összekötő egyenes azonban egybeesik, és az ebben a vonalba eső folyosó járdája követi ezt a — keleti szárnyhoz viszonyított — ferde vonalat s egyben a II. épület orientálását is, a II. épület ÉD folyosóindításának a ferdesége pedig behatol a déli szárnyba, — az új átjáró részben átveszi ennek az irányát — s folytatódik az udvar néhány falmaradványában egészen a fürdő déli oldaláig, ahol az elliptikus teret és az egyik rotundát befogadó tömb is ehhez a rendszerhez igazodik. Jellegzetes továbbá, hogy az elliptikus tér, aláfűtöttsége ellenére, frigidarium formájú — *R.Vighi:* Villa Hadriana (1958) Tav.B.Piccole terme. *L.Crema:* im. Fig. 496, — tehát átépítették s valószínűleg gyógyvizű fürdőteremből, mivel a tér egészét medence foglalta el. Mindezek alapján megállapítható, hogy a Helytartói palota előzménye vagy gyógyfürdő volt, vagy fürdővel rendelkező „Lustschloss"-szerű, könnyed, laza beépítésű villa, hosszú sétányokkal, ambulatiokkal, mint amilyeneket a vízpartra építettek a rómaiak a kora császárkortól kezdve — *A.Maiuri:* Capri, storia e monumenti (1946), Villa Iovis 29 —, és csak másodjára alakították át zárt, kissé befeléforduló jellegűre az épületet. Így nemcsak a II. épület, de a palota több részlete, és a fürdő déli szárnya maga is, építészetileg azt mutatja — egybehangzóan a stratigrafiai stb. megfigyelésekkel — hogy ezeket már Hadrianus korában építették.

[88] A korábban „Nagy lakóháznak" nevezett épület helyiségeinek, udvarának, két-pilléres csarnokának méretei, s a leletek egy részének — a mozaik témájának, strigilliseknek — a testedzésre utaló jellege indokolhatják az épület új megnevezését. *K.Sz.Póczy K.:* Aquincum 39. Collegium Halls.

nyesen kivitelezett épülete.[89] A fürdő a collegium utcai szárnyának a déli végét alkotta, s szinte szabadon állt, mert két oldalról nem csatlakozott hozzá semmi, s északról és keletről is csak folyosó határolta (12. ábra).

A 2. sz. utolsó évtizedeiben épült,[90] mintegy 80 m² területet elfoglaló balneum falait opus incertum falazástechnikával húzták fel. Az épület rendelkezett a fürdőknél szokásos összes műszaki berendezéssel, s ami különösen



12. ábra. Aquincum polgárváros, Birkózó-mozaik fürdője. (2. sz. vége.)

érdekessé tette, az a hosszan elnyújtott, a keskeny oldalán lépcsővel ellátott, lejtős fenekű téglapadozatos piscinája, a frigidarium palaestra-jelenetet ábrázoló mozaikja és a praefurnium megoldása: a fedköveibe kerek nyílásokat fúrtak, hogy az alveus vize minél gyorsabban felmelegedjék.[91]

A fürdő tervszerű előmunkálatok után, egyszerre épült meg, áttekinthető — a funkciójának jól szolgáló — rendszerben. Két közel azonos — 10, ill. 8 láb széles — traktus helyezkedett el egymás mellett, mindegyikben egy hosszanti és egy kisebb, közel négyzetes térrésszel, s a két traktus képezte tömbből ugrott ki délnek az alveus apsisa, keletre a piscina és a belépő hasábja.

A magánfürdőt a collegium peristyliumából lehetett — három lépcsőn fellépve — ajtón át megközelíteni. A fürdő azért emelkedett ki kissé a környezetből, mert az aláfűtött helyiségeket csak kevéssé süllyesztették a földbe, s az aláfűtetlenek padlóját pedig feltöltésre rakták. A használat útja hurkot írt le: a belépőn, a frigidariumon és a tepidariumon[92] át vissza kellett fordulni a caldarium megközelítésére, így került a praefurnium és az alveus a bejárat mellé — de a körforgalom is elképzelhető akkor, ha a caldarium és a frigida-

[89] A magánfürdőt Kuzsinszky B. tárta fel és tette közzé *Kuzsinszky B.:* Magánházak. 142—. L. ezenkívül: *Kuzsinszky B.:* Ausgrabungen 49. — *Nagy L.:* im. 553—. *Póczy K.— Hajnóczy Gy.:* im. 26.

[90] A palaestra-jelenetes mozaikok a 2. sz. végén igen gyakoriak voltak. *Wellner I.:* Az aquincumi mozaikok (1962) 17—.

[91] A feltáró régész kéményeknek határozta meg a nyílásokat. *Kuzsinszky B.* Magánházak 147. Éppen a kemence fölé helyezett kéményeknek azonban fűtéstechnikailag nem volt értelme.

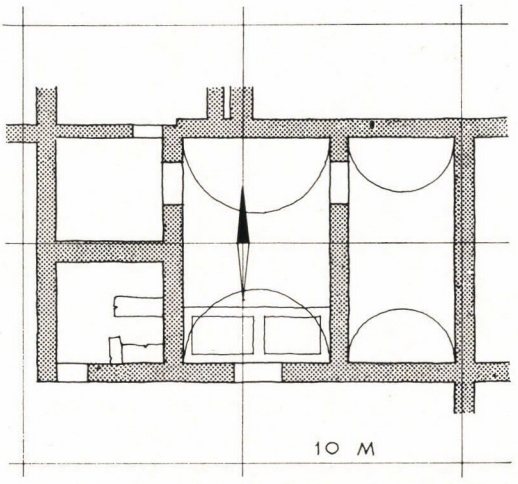
[92] A fürdő műemlékhelyreállítását megelőző, 1968-ban végzett hitelesítő ásatások során került elő a frigidariumot és a tepidariumot elválasztó fal, ez korábban nem volt ismeretes.

rium között is feltételezünk ajtót.[93] A lépcsős kis folyosótól keletre kis méretű latrina egészítette ki a szokványos helyiségek sorát, itt vezették át egymás feletti szinten a piscinából és a helyiségek padlóján összegyülemlett, elhasznált vizet.

A LACONICUMOK

Aquincum polgárváros, laconicum Fortuna Augusta fürdője mellett (2. sz. közepe)

Fortuna Augusta fürdője és sacelluma közé ékelődött be az északi tartományok rideg éghajlati viszonyai között annyira kedvelt gőz- illetve izzasztófürdő, a laconicum épülete.[94] A kb. 24 láb belsőszélességű laconicum tengelye a szomszédos nagy közfürdő hossztengelyére merőlegesen futott, s ez a



13. ábra. Aquincum polgárváros, laconicum Fortuna Augusta fürdője mellett. (2. sz. közepe.)

tájolás mintegy kifejezte, hogy nem toldaléknak épült a nagyhoz, hanem önálló létesítményként (13. ábra). Amikor megépítették — feltehetően Fortuna Augusta fürdőjével egy időben, tehát a 2. sz. közepe táján — három helyiségből állt, a keleti termét azonban később leválasztották és kibővítve foricának alakították át.[95]

A megközelítően 110 m² alapterületű gőzfürdő bejárata a két fürdő közötti sikátorból nyílt, a Fortuna Augusta fürdő déli apsisa mögött. Ajtaján át

[93] *J.Durm:* im. 701. Fig. 767. A magánfürdők két-traktusos elrendezése, és ezzel összefüggően a törtvonalú megközelítésmód általános lehetett: Caer magánfürdő.

[94] A laconicumot Torma K. tárta fel és Kuzsinszky B. publikálta. *Kuzsinszky B.:* A Nagy fürdő laconicuma. Bud.Rég. II. (1889) 115—120.

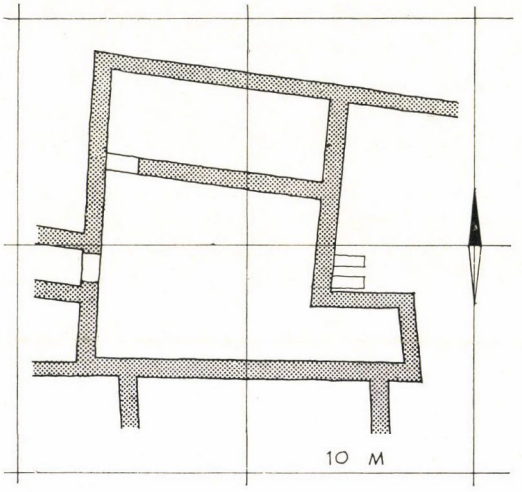
[95] Fortuna Augusta fürdőjének műemléki helyreállítását megelőző, 1962-ben eszközölt hitelesítő ásatások bizonyították be, hogy a forica közepén ÉD-i irányban húzódó fal volt eredetileg a laconicum keleti zárófala. A forica megépítésekor a keleti helyiségbe nyíló hőáteresztő nyílásokat befalazták. Messzemenő következtetéseket nem lehet levonni az időmeghatározásra vonatkozóan, de mégis feltűnő, hogy a főhelyiség suspensurájának téglapillérei közül Nero aranyérme került elő. *Szilágyi J.:* Jelentés 321.

kis méretű, fűtött apodyteriumba lehetett jutni, amely az önálló helyiségben elhelyezett praefurniummal volt szomszédos, onnan kapta melegét. A praefurnium padozatába két csatorna is befutott, a nyugatin áramolhatott be a friss víz az aquaeductusból a vasariumba, s a délin folyhatott ki a szennyvíz a sacellum udvarát átlósan átszelő csatornába. A laconicum fő helyiségének padozatát végig téglapillérek hordták, déli falához két kádat helyeztek, amelyeket 3 láb széles ablak fénye világított meg.[96] A páralecsapódást a helyiség falain körben elhelyezett tubulusok akadályozták meg.

Az épület strukturális érdekessége az volt, hogy valójában kisebb igényű balneum számára is felhasználhatták volna eredeti nagyságában — abban az esetben, ha keleti bejáratot tételezünk fel. Falrendszere ui. megegyezett a balneumok típusmegoldásának rendszerével: haránttengelyes helyiségeket soroltak egymás mögé. A laconicum funkciója természetesen nem kívánta az alapszkéma kibővítését és a fürdőút szokásos rendjének betartását. Külön értéke az épületnek a fürdőkben — a felépítmény pusztulása következtében — olyan ritkán észlelhető ablak maradványa.

Aquincum polgárváros, laconicum az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője mellett

A laconicumot a fürdő keleti oldalához utólagosan építették hozzá, s annak sudatiojával — keskeny folyosó útján — közvetlen kapcsolatban állt.[97] Valójában nem volt önálló épület — s mint épület alig értékelhető —, hiszen délről a szomszédos nagy csarnok fala képezte egyik térhatárát, északról meg — második toldalékként — újabb helyiséget építettek mellé, valószínű-



14. ábra. Aquincum polgárváros, laconicum az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője mellett.

[96] *H.Koethe:* im. 110 — úgyszólván az egyetlen, fürdőben talált teljes ablak, ablak létére utaló részlet azonban máshol is előkerült.

[97] A laconicumot Kuzsinszky B. tárta fel és publikálta a balneummal együtt *Kuzsinszky B.:* A legújabb aquincumi ásatások 108—.

leg akkor, amikor a szerpentinszerű utcát megszűkítették.[98] Egyedül talán mérete figyelemre méltó: kb. 130 m² alapterülete a Fortuna Augusta fürdője melletti laconicum alapterületénél nagyobb volt (14 ábra).

A gőzfürdőbe a sudatio összekötő folyosójáról lehetett bejutni, de a folyosóra észak és dél felé is ajtók nyíltak, s ezek lehetővé tették a szabadból való belépést is. A laconicum fő helyiségét a keleti oldalon elhelyezett praefurnium fűtötte, a kemence melletti fülkébe kádat helyeztek. A keleti járulékos helyiség csak részben volt aláfűtött — a meleg ui. T betű alakú csatornán át áramlott a padló egy része alá, s valószínűleg pihenőhelyül használták azt.

A laconicum — jellegtelensége ellenére — érdekes fényt vet a fürdőzéssel kapcsolatos igények változására. A balneum saját sudatioja — amelyet eredetileg az ambitusból fűthettek — időközben kicsinek bizonyulhatott, és ezért mintegy annak folytatásaként azt új — a balneum alapterületének mintegy az egynegyedével egyenlő nagyságú — gőzfürdővel egészítették ki.

ÉRTÉKELÉS, ÖSSZEFOGLALÁS

A fürdőépületeket — nagy általánosságban — ugyanazok az elvek és módszerek szerint építették meg tartományunkban is, mint ahogyan azokat impériumszerte létrehozták. Ez az egyöntetűség megkönnyíti áttekinthetőségüket — hasonlóan feltárásukhoz és meghatározásukhoz, mivel eleve adott szkémát kell az épületmaradványban felismerni —, ugyanakkor meg is nehezíti, mert a közös rendező alapelv nagyon sokféleképpen érvényesült, olyannyira, hogy szinte nincs két azonos megoldású a sok száz, megismert római fürdő között. Valamiféle állandóan jelenlevő egyformaság és mégis tarka sokféleség jellemzi tehát ezt a tipikusan római épületfajtát, amelyet első megközelítésre viszonylag könnyű meghatározni, részleteibe menően sokkal körülményesebb, mert az egyes korszakokra és az egyes területekre jellemző sajátosságokat sokszor csak árnyalatbeli különbségek felfedése útján lehet kimutatni.

A római fürdők ezen sokfélesége között való eligazodás megkönnyítésére a szakirodalomban két nagyvonalú rendszerezés született. Az egyik — E. Pfretzschner rendszere[99] — komplex módon egyesítette és érvényesítette a

[98] Istvánfi Gy. feltételezése szerint.

[99] *E.Pfretzschner:* im. a római fürdőket a görög — pontosabban a hellenisztikus pompeji — lakóházból származtatja. Ennek alapján az első típusa, az ún. *házformájú fürdő* (I.Der Haustyp), amelyben a fürdőterek két vagy három oldalról, nyitott udvar köré helyezkednek el (Timgad keleti fürdő, Lambesis Thermes des Chasseurs). Második típusa a *tömbszerű tömegkialakítású fürdő* (II.Der Blocktyp), e csoport fürdőiben a helyiségek szoros egymásmellettiségben helyezkednek el a jó felfűthetőség érdekében. Pfretzschner a típust a térformák és a terek egymáshoz való viszonya alapján tovább bontja 1) kétsoros megoldásúra (hosszanti kiterjedésű terek sorozata mellé haránt irányú helyiségek sora járul) és 2) a háromsoros megoldásúra (két hosszanti mellett egy keresztsor fut, illetve három közel azonos traktusmélységű tér helyezkedik el egymás mellett). Példái: Pompeji közfürdői. Fiesole, Velleia fürdője. A harmadik típus a szimmetrikus, tömbszerű fürdő, vagy *császártherma* (III.Der symmetrische Blocktyp oder Kaisertyp) — Pfretzschner ide sorolja mind a párhuzamos tengelyekre komponált fürdőket (Trier Barbara therma), mind a kereszttengelyeseket (Roma Caracalla thermája). Negyedik a *központos fürdő* (IV. Die Zentralkompositionen), ebben nem vízszintes tengelyek mentén jön létre szimmetria, hanem függélyes körül: a középpontba helyezett laconicum körül csoportosulnak a helyiségek, s ezáltal a gazdaságossági, a műszaki és a művészi szempontok harmóniája jön létre (Lambesis, katonai fürdő). Az ötödik osztályba sorolja *táborfürdők* (V. Kastellbäder)

fejlődéstörténeti, a strukturális, a funkcionális és a téralakítási szempontokat és ezek alapján hat típust különböztetett meg. A másik rendszeralkotó — D. Krencker[100] — csupán a funkcionális rendet vizsgálta, és megállapította, hogy a térkapcsolatoknak nyolc fajta változata alakult ki a római fürdőépítészetben, — továbbá azt, hogy a különböző rendeltetésű fürdőterek különleges formát nyertek, s ezeket is tipológiai rendbe sorolta. Semmiféle, római kori fürdőkkel foglalkozó írás nem nélkülözheti a két rendszerezésben érvényesített gondolatokat, legfeljebb kiegészítheti olyan észrevételekkel, amelyek a tárgyalt — szűkebb — terület sajátságaira és az időbeli viszonylatokra hívja fel a figyelmet — erre ugyanis egyik sem tér ki részletesen, mivel mindkettő a római fürdőépítészet egészét vette alapul.

Pannónia természetszerűleg nem vonultathatta fel ennek a sokfajta formában megtervezett épületfajtának minden változatát, így a két rendszerből csak azokat a szempontokat emeljük ki — és talán részben ki is egészítjük —, amelyeknek az érvényesítése a fejlődés töredékét képező anyagban is a teljes rendszer kialakításának a reményével kecsegtet. Az első szempontunk abból a felismerésből fakad, hogy a római fürdőkben kétfajta funkcionalizmusról beszélhetünk: tágabb (általános) és szűkebb (konkrét) értelmezésűről. Az épületfajta általános funkcionális rendjét maga a „fürdő-út" teremtette

---

nóven az egyszerű kialakításúakat, ezek lehetnek helyiségsorosak (Böhning, Vielbrunn), udvarosak (Hüfingen) és apsisokkal gazdagon tagolt megoldásúak (ún. „Kunsttyp": Eining). A tipológiát a különleges feltételeket kielégítő és így rendszerbe nem sorolható *gyógy-, tengeri- és folyami fürdők osztálya* zárja le (VI. Heil-, See und Flussbäder: Aachen, Vichy, Baiae stb. és Csopak). Ez a rendszerezés heterogenitása ellenére sok hasznos — elsősorban az épület strukturális sajátosságaira utaló — meghatározást tartalmaz, néhány pontatlan meghatározása miatt — érdemtelenül — nem vált általánosan elfogadottá *G. Wolff:* im. 72.

[100] *D.Krencker:* im. a fürdők különböző rendeltetésű helyiségeinek egymáshoz való viszonya, és a látogatás rendje-módja alapján nyolc fajtát különböztet meg. Első típus a *soros-fürdő a)* Der „Reihentyp", ebben a terek egymás után sorakoznak, a beközlekedés és a kijövetel ugyanazon az úton történik (Trier Zöld fürdő, Marienfels, Ostia). A *körforgalmú fürdőben b)* Der „Ringtyp" a fűthető helyiségeket körforgalom gyűrűje rendezi, a terek megközelítésének és elhagyásának útvonala különbözik (Madaurus, Timgad déli fürdő). A *kettős fürdőket c)* Doppelanlagen a férfiak és a nők elkülönítetten, egy időben használhatták. Valójában két fürdőt építettek egymás mellé, mert minden egyes helyiséget megkettőztek, s csupán a caldarium volt — néhány esetben — közös (Vieil-Évreux, Badenweiler). Krencker a következő két típusba *d)* Thermen mit Verdoppelung einzelner Abschnitte, *e)* Thermen mit einer Gabelung des Weges azokat a fürdőket sorolja, amelyekben nem az egész épületet, csupán *egyes helyiségeit kettőzték* meg. Az elsőben „szétnyílik" a kompozíció, mert két caldariumban végződik a therma (Bosra), a másodikban a közbülső helyiségeket kettőzték meg, s így két térsorozat jött létre (Humeitepe, Lambesis katonai fürdő). Az *egyszerű császártípust f)* Der Kleine Kaisertyp a párhuzamos tengelyekre szervezett, monumentális elrendezésű thermák testesítik meg a rendszerezés szerint (Trier Cssszártherma, Barbara therma), az *összetett császártípust g)* Der grosse Kaisertyp) a kereszttengelyes, italikus épületek (Nero, Caracalla, Diocletianus thermája). Végül *aszimmetrikus, kevert* fajtának *h)* Halbachsiale Mischtypen) jelöli meg a rendszerező azokat a fürdőket, amelyekben az egyszerű, sorozatos rendszer a császárthermák szélesen elterülő elrendezésével ötvöződik. Ezt a „nagy" tipológiát azután kisebbel egészíti ki, mert a fürdők egyes helyiségeinek a formai kialakítását is vizsgálat alá veszi és meghatározza a legtöbbször előforduló megoldásmódokat. Krencker rendszere homogénabb mint elődjéé, mert a funkciót és a térstruktúrát vizsgálja egyedül a fürdőkben, az egyszerű megoldásoktól a bonyolult felé haladva. Rendszere, tisztasága ellenére, statikus szemléletmód eredménye, s így kronológiai használhatósága korlátozott, érdeme viszont, hogy a szerző funkcionális szemlélete felfedte — többek között — azoknak a közbülső helyiségeknek a szerepét, helyét, amelyeket a korábbi kutatás nem tudott értelmezni.

meg, az, hogy a különböző rendeltetésű helyiségek milyen úton-módon rendeződtek el az ismert, általános szkéma szerint. Ez a rend azonban mindig konkrét igényeknek engedelmeskedve nyert formát, aszerint pl. hogy közcélokra épült-e a fürdő vagy magánhasználatra, — az ilyenfajta megkülönböztetés az épület értelmezését leszűkíti, s így jobban megközelítheti. Másik érvényesítendő szempontunk az épület struktúrája, annak vizsgálata, hogy milyen formájú és irányítottságú terekből, milyen elvek szerint szervezték meg az alaprajzát, s ez a rendszer milyen viszonyban van a leszűkítetten értelmezett rendeltetésével.[101] Tehát a konkrét funkciónak és az épület struktúrájának az elemzése alapján, a pannóniai fürdők jellegzetes vonásait a következőkben foglalhatjuk össze:

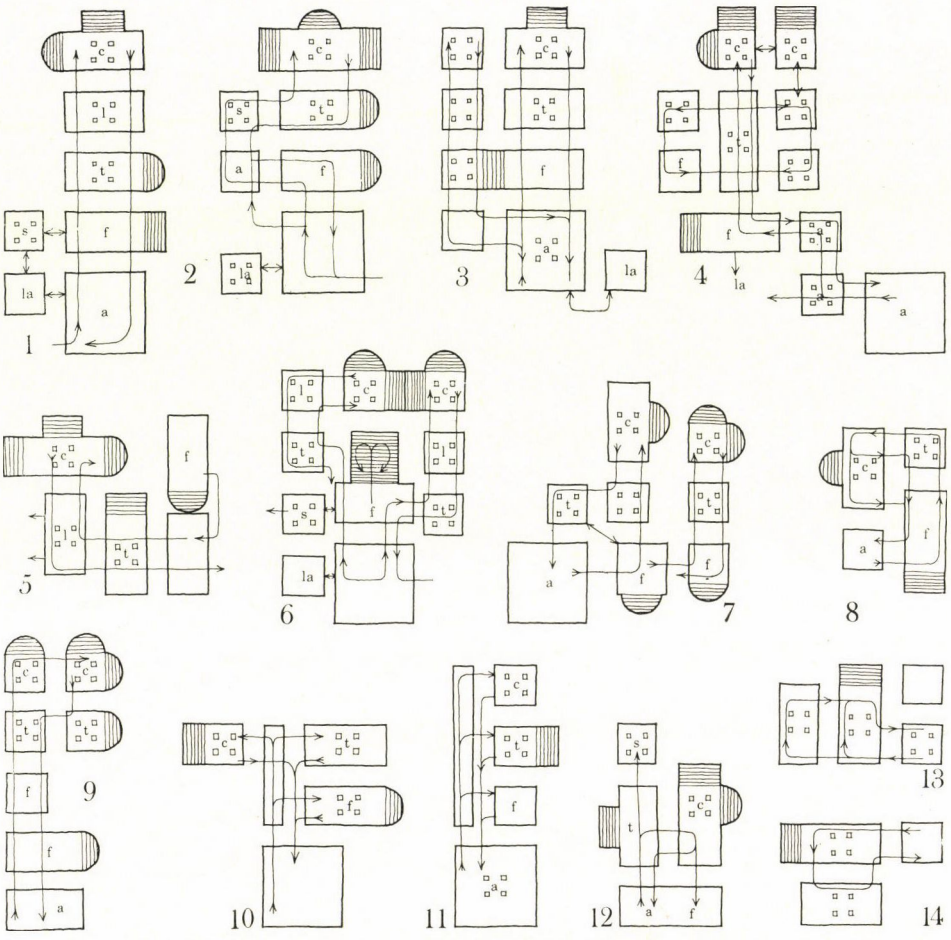
A közfürdők.

A fürdőknek azt a fajtáját, amelyet nagyobb közösség vett igénybe, szükségszerűen a település megfelelő — könnyen megközelíthető — helyére kellett helyezni, és a szükség megkívánta méretűre kellett megépíteni. Pannónia megismert összes közfürdőjét ennek az alapvető igénynek megfelelően telepítették, és ennek a magától értetődő méretbeli követelménynek engedelmeskedve kivitelezték. A legnagyobb méretű a carnuntumi polgárváros Északi fürdője volt, de nem lehetett kisebb az aquincumi castrum thermae maiorese sem, a többi közfürdő megközelítően azonos — 1000 m^2 körüli — nagyságban épült meg, kivéve az Aquincum Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdőjét, amelynek alapterülete szinte alig érte el a közfürdők Pannóniában szokásossá vált terjedelmének a felét.

Az épület jellege úgy kívánta, hogy szabadon beépített legyen, hiszen a fürdőkben a külső térhatároló falaknak nagyon fontos szerepük volt — több okból kifolyólag is —, ezt a feltételt még a legzártabban beépített aquincumi Északi fürdőnek is követnie kellett.

A fürdők helyiségeinek alakja és elhelyezésmódja alapján megállapítható, hogy a pannóniai közfürdőkben három fajta megoldásmóddal éltek. Haránttengelyes helyiségeket soroltak egymás mögé, egy töretlen tengely vonalában az aquincumi polgárváros Északi fürdőjében, Fortuna Augusta fürdőjében és a carnuntumi polgárváros Déli fürdőjében, az utóbbi kettőben úgy, hogy a főszárnyat vele párhuzamosan futó, alárendeltebb jellegű helyiségsor egészítette ki. Haránt irányú terek egymás mögé helyezésével indult a Carnuntum polgárváros Északi fürdő kompozíciója is, a rendszer végét képező caldarium terének tengelye azonban derékszöget zárt be a megelőzőekével, itt tehát az azonos nagyságrendű, haránttengelyű terek, megtört axis mentén helyezkedtek el. Végül bizonyos rokonságot mutat az aquincumi Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője és a carnuntumi katonai fürdő: mindkettőben a terek túlnyomó többsége azonos kiterjedésű — négyzetes, vagy ehhez közelálló —, azért mert a helyiségek nem sort, hanem csoportot alkotnak, amelynek magvát az egyikben piscina, a másikban központi közlekedőtér képezi.

[101] Mind a két szempont szerepel mindkét rendszerben. Szükség is van többre, mert csupán egy érvényesítésével a jellemzés szükségképpen torzó marad. De egy rendszeren belül ilyen megjelölés: Blocktyp — Kastellbäder (Pfretzschner) félreértésre adhat okot, mint ahogyan ez is: Reihentyp — Kaisertyp (Krencker) mert váltogatva szerepel a struktúra és a funkció, az egymással való összefüggés kimutatásának kísérlete nélkül.



15. ábra. A pannóniai fürdők funkció-szkémái. 1. Aquincum polgárváros, Északi fürdő, 2. Aquincum polgárváros, Fortuna Augusta fürdője, 3. Carnuntum polgárváros, Déli fürdő, 4. Carnuntum, Katonai fürdő, 5. Carnuntum polgárváros, Északi fürdő, 6. Aquincum polgárváros, Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője, 7. Aquincum, Helytartói palota fürdője, 8. Aquincum polgárváros, Birkózó-mozaik fürdője, 9. Parndorf, villafürdő, 10. Balácza, villafürdő, 11. Smarje—M.Pristova, villafürdő, 12. Balatongyörök, villafürdő, 13. Aquincum polgárváros, laconicum Fortuna Augusta fürdője mellett. 14. Aquincum polgárváros, laconicum az Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője mellett

1. Haránttteres, egyenes tengelyű fürdők. A pannóniai haránttteres egyenes tengelyű közfürdőkben ugyanazok az elvek valósultak meg, mint az északnyugati provinciák általánosan ismert soros-fürdőiben, a Kastellbäderekben. (Hüfingen, Marienfels).[102] Az aquincumi Északi fürdő (15./1. ábra) képviseli a típus egyszerű, csak egy kiegészítő helyiséggel — valószínűleg meleg légfürdővel — bővített formáját, s szinte pontos analógiái megtalálhatók a rajnai táborokban (Kapersburg).[103] Az aquincumi Fortuna

[102] *D.Krencker:* im. Abb. 351. 352.
[103] *E.Pfretzschner:* im. Taf. X. 1. Építési idő: 212.

Augusta fürdője (15./2. ábra) és a carnuntumi Déli fürdő (15./3 ábra) a típus fejlettebb változatát mutatja, s alapelvében azonos, de részleteiben nem, mert az aquincumi thermát sok apsisa teszi jellegzetessé, és az a körülmény, hogy a mellékszárny funkciója szorosan hozzákapcsolódik a főszárnyéhoz, míg a carnuntumi exedra nélküli, és az alaprajzi jellege szerint fennáll a lehetősége, hogy két soros-fürdő kapcsolódik párhuzamosan egymás mellé. Fortuna Augusta fürdője jellemző példája annak az igényesen kialakított táborfürdő típusnak, amely a „Kunsttyp" megjelölést kapta — elsősorban caldariumának formája miatt —, rendszere és építéstörténete is Eining castellumának fürdőjével tart rokonságot.[104]

2. *Haránttteres, tört-tengelyű fürdők.* Különleges helyet foglal el a pannóniai fürdők sorában Carnuntum Északi fürdője (15./5. ábra), mivel struktúrája nem illeszthető be a szokványos megoldások sorába, s így fürdőként való meghatározása a szakirodalomban még nem is elfogadott. Annyi bizonyos, hogy az épület jelenleg feltárt része tört tengelyre felfűzött, soros fürdő rendszerét mutatja, s az is, hogy mérete és nagyvonalú kiképzése kizárja annak a jogosultságát, hogy megfelelőjét a táborfürdőkben vagy azok származékai között keressük. A beépítésmód lépcsőzetessége, a terek irányítottságának megváltoztatása, a funkcióhoz illeszkedő organikus illeszkedés — a szimmetria hiánya — Észak-Afrika és Kisázsia néhány fürdőjének (Kyrené, Miletos) megoldására emlékeztet.[105]

3. *Tércsoportos fürdők.* A közfürdők harmadik helyi megoldásmódjának — a kisebb helyiségekből álló, tércsoportos rendszernek carnuntumi képviselője (15./4 ábra), a katonai fürdők három-traktusos beosztásával tart rokonságot (Arnsberg, Oberscheidental)[106]. Aquincum Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdője (15./6. ábra) azonban unicumot jelent Pannóniában, középre helyezett piscinájával, központos elrendezésével. A fürdőben — a központosság ellenére — körforgalom nem jöhetett létre, mert két soros-fürdő ölelte körül a medencét, a két szárny kiindulása ugyan közös volt, de befejezése nem, mert mindegyik önálló caldariummal rendelkezett. A piscina középvonalba helyezése nem volt ismeretlen a rajnavidéki katonai fürdőkben sem, Niederbieber, s Heddernheim[107] két balneumát is ez a, bizonyos szimmetriát eredményező, elrendezés jellemezte, mégis egy galliai fürdő alaprajza áll legközelebb hozzá, Allonnes kettős fürdőjéé,[108] annak ellenére, hogy abban a két szárny nem átkarolja a medencét, hanem érintőlegesen közrefogja. A piscinának a két soliummal egybekapcsolt része pedig azt a benyomást kelti, mintha valamiféle nagyvonalúan megtervezett fürdő lerövidített és egyszerűsített változata lenne, s ha ez igaz, akkor az eredetét Észak-Afrikában kell keresnünk,[109] — összességében pedig mindez nem zárja ki annak a lehetőségét, hogy az épület gyógyfürdő céljára létesült: a terek megkettőzése sem mond ellent ennek a feltételezésnek.

[104] *E.Pfretzschner:* im. Taf. XI.
[105] *L.Crema:* im. Fig. 507. 508. Mindkettőt a 2. sz. első felében építették.
[106] *E.Pfretzschner:* im. Taf. VIII. 5. 7. Építési idő: Hadrianus kora.
[107] *D.Krencker:* im. 354. 357/a. 358/a.
[108] *A.Grenier:* Manuel IV. Fig. 103. Építési idő: 2. sz.
[109] *D.Krencker:* im. Az észak-afrikai fürdők egyik sajátsága a frigidariumhoz kapcsolódó két kád és a belőle nyíló natatio.

A villafürdők.

Jól elkülöníthető csoportját alkotja a fürdőépületeknek a villatelepüléseket kiegészítő balneumok sora. Külön való tárgyalásukat közbülső, átmeneti jellegük teszi indokolttá, elsősorban méreteik: a közfürdők és a magánfürdők között helyezkednek el nagyságrendileg, néhány közülük kisebbfajta közfürdőnek is beillene, de ez természetes is, mert hiszen nagyobb közösség igényelte, használta. Emellett a villafürdők struktúrája is különleges, mert többfajta hatást is egybeolvasztott: a közfürdők építésében kialakult építőszokások hagyományait, a magánfürdőkben észlelhető „minimál"-megoldásra való törekvést és végül a lakóépületek beosztásának néhány sajátságát.

A parndorfi villa fürdője — felaprózottsága ellenére — az egyszerű közfürdőkben tapasztalható sorbafejtés elve szerint létesült (15./9. ábra). Az egyszerű rendszer befejező részét — a közfürdőkhöz hasonlóan — tagoltabban képezték ki a többi résznél, a helyiségek, a medencék megkettőzése stb. útján. Ismeretes, hogy a fürdőépületekben folyosószerű közlekedőtereket nem építettek, a termek — a viszonylag ritka körforgalmat nem tekintve — „zsák"-szobák módjára közvetlenül egymásba nyíltak. Balácza (15./10. ábra) és Smarje-M. Pristova (15./11. ábra) villafürdőit ezzel szemben az jellemezte, hogy a tereket önálló folyosóról lehetett megközelíteni, aminek az értelme az lehetett, hogy a különböző fürdőtereket a többi érintése nélkül lehetett látogatni, de több mint valószínű, hogy az ilyenfajta alaprajzi megoldásmód valamiféle kapcsolatban állt az ismert lakóházformával, a „Korridorhaus"-szal. Végül a villafürdők igen gazdaságos megoldását képviseli a balatongyöröki villához tartozó — a magánfürdő jellegzetességeit viselő — balneum (15./12. ábra). A haránteres elrendezés csak bizonyos méretek felett képzelhető el, de két hossztengelyével párhuzamosan egymás mellé csúsztatott helyiség vagy traktus a másiknál összefogottabb — s kisebb — épületet eredményez, anélkül, hogy a terek a szűkösség érzetét keltenék. Effajta meggondolások szerint épült meg a szerény méretű balneum, amelynek előnye — a gazdaságosságon kívül — abban rejlett, hogy benne a látogatás körben való lebonyolítása is lehetségessé vált.

A magánfürdők.

Fürdőhelyiségeket az igényesebben megépített lakóházakban, s a szerényebb méretű villaépületekben is kialakítottak, de ezek a lakás, a villa közvetlen tartozékai voltak, önálló épületté nem terebélyesedtek. Amikor pedig függetlenül a főépülettől létesült balneum, gazdaságos helykihasználásra törekedtek építőik, különösen akkor, amikor a szűkös városi környezet arra kényszerítette őket. Az effajta városi magánfürdők jellegzetes típusa az aquincumi Birkózó-mozaik fürdője (15./8. ábra), amely hosszanti irányú két traktusból állt, így struktúrája megegyezett a kisebbfajta villafürdőével.[110]

[110] Magánfürdő jellegű Gorsiumban a Villa Amasia 4. sz.-i balneuma is, amely önálló épület ugyan, annak ellenére, hogy a peristyliumhoz kapcsolták. Itt is a balatongyöröki fürdőhöz és az aquincumi Collegium Iuventutis balneumához hasonlóan két-traktusos kis épület elégítette ki a fürdés igényeit *Fitz J.*: Gorsium (1970. 8. á.)

Ismeretes, hogy a magánfürdők beosztása, tereinek formája stb. nem értékelhető a közfürdők kialakításmódja szerint. Fokozatosan érvényes ez a tétel olyan különleges — egyedi — megoldásra, mint amilyet az aquincumi Helytartói palota magánfürdője képvisel (15./7. ábra). A tájolás, a terek fűtött, illetve fűtetlen volta, általánosan útmutatást ad ugyan a keleti tércsoport és a nyugati térsor feltételezhető használati rendjéről, ezen túlmenően azonban az épület kialakítását az építtető különleges óhaja, szokása stb. határozta meg, s így ma már részletekbe menően mindent nem tudunk meghatározni belőle. A szubjektív tényező azonban feljogosít arra, hogy a Helytartói palota fürdőjének esetleges megfelelőjét a hozzá hasonló extrém fürdőmegoldások között keressük. Anélkül, hogy messzemenő következtetésekre, konkrét kapcsolatra gondolnánk, annyi tény, hogy Hadrianus 123—125 között épült Piccole terme-je Tivoliban, nagyon sok strukturális azonosságot mutat az aquincumival: a szabályos, sávszerű traktus és az organikus tércsoport kettőssége, a két rész közé ékelődő, szabálytalan átmenet az alárendeltebb, keskenyebb helyiségek szomszédságában, az egyik oktogon és az ellipszis átlós kapcsolata valamint a latrina helye olyan egyezéseket mutat, amelynek alapján a legszerényebb következtetés az, ha azt állítjuk, hogy az aquincumi fürdő „császár-fürdőhöz" volt hasonlatos, s hogy tagja a fürdők azon 2. sz. első felében épült csoportjának, amelyeket nem a funkció gépies kielégítése jellemzett, hanem a tudatosan akart organikus rendszer és az ezt eredményező aszimmetrikus alaprajz.[111]

A laconicumok.

Az önálló épületben kialakított izzasztó és gőzfürdőt valójában „csonka"-fürdőnek nevezhetnénk, mivel nélkülözik a balneumok összetettségét. Pannóniában sem különös — a laconicumoknál szokásos — térformák, sem valami sajátos térkapcsolatok nem jellemezték az e célra létesült szerény épületeket, s vagy rögtönzött toldalékok voltak (Aquincum, Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdőjének laconicuma) (15./14. ábra) vagy a közfürdők egyszerű rendszerét — a haránteres beosztást — követték lerövidített formában (Aquincum, Fortuna Augusta fürdőjének laconicuma) (15./13. ábra).

Összefoglalva és kiegészítve az elmondottakat — az időbeli és a területi sajátosságok viszonylatai alapján — megállapítható, hogy a fürdők javának eredeti magját a 2. sz. folyamán építették, s azután a későbbiekben bővítették, módosították azokat, anélkül, hogy lényeges változtatásokat eszközöltek volna rajtuk. A 2. sz. első felére keltezhető fürdők közül a Carnuntum katonai fürdő, az Aquincum Fortuna Augusta fürdője, Balácza, Parndorf villafürdője a nyugati tartományok közvetlen hatását mutatják, az ún. Palastruine és az aquincumi Helytartói palota fürdője azonban ennél távolabbi — keleti illetve itáliai — körre utal. A 2. sz. eleji fürdők egyetemlegesen viszonylag tagolt kialakításúak, ellentétben a század második felének és a 3. sz. elejének megoldásaival, amelyeket bizonyos leegyszerűsítő rutin jellemez. (Carnuntum Déli fürdő, Aquincum Északi fürdő, Birkózó-mozaik fürdő, Balatongyörök). Hasonló sajátságok ismerhetők fel az Aquincum Atiliae Firmae bélyegű téglák fürdőjének kiegyensúlyozott alaprajzában is, amellett, hogy a balneum egyes részleteiből keleti eredetre következtethetünk.

A területi sajátosságokat elemezve és összegezve úgy tűnik, hogy a tartomány keleti és nyugati része építészeti arculatának egymástól elütő voltát

[111] *L.Crema:* im. 404.

a fürdőépületek is tükrözik. Pannonia Inferiorban — jelenlegi tudásunk szerint — több fürdőt építettek, mint a tartomány nyugati felében —, a déli vidék fürdőiről ma még nem alkothatunk kielégítő képet magunknak. Ezt a mennyiségi fölényt a keleti tartományrész elsősorban az Aquincum környéki gyógyvizeknek köszönhette, hiszen az itt létesült valamennyi fürdő valamiféleképpen részesült a messze híres jó vizekből. Ezen természeti adottság jó kihasználásának és a katonai építésmód erősebb érvényesülésének eredménye lehetett az, hogy Pannonia Inferior fürdői változatos és — mondhatjuk — erőteljes architektúrát képviselnek, jól átgondolt alaprajzaikkal, kiművelt térformáikkal, mozgalmas tömegalakításaikkal, szemben a nyugati területek egysíkúbb, zártabb, néha a provizórikusság — helyesebben: a szükségletekhez való egyszerű igazodás — látszatát keltő megoldásmódjaival. Egyedüli kivételt a carnuntumi Palastruine képviseli, de ez az épület is csupán azt a sajátságos különbséget emeli ki, amely pl. az amphitheatrumok építésében is megnyilvánult: Pannóniának ez a legnagyobb szabású fürdője polgári fürdő volt, míg Aquincumban a castrum thermája volt méreteiben a legtekintélyesebb — bizonyítékául annak, hogy nyugaton a romanizáció a köznapi életet intenzívebben áthatotta, mint a keleti perifériáét, amelynek még a polgári jellegű építészetéből is lépten-nyomon kiütközik az itt állomásozó katonaság igénybevételének, beavatkozásának, segítségének a nyoma.

DR. HORVÁTH ALICE

ADATOK A XV. SZÁZADI ÉPÍTÉSZETELMÉLET KUTATÁSÁHOZ A FŐVÁROSI SZABÓ ERVIN KÖNYVTÁR „ZICHY-KÓDEXE" ALAPJÁN

A reneszánsz építészet történetének egyedülállóan érdekes dokumentumát őrzi a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár: egy XV. századból származó építészkéziratot. A kódex a kor művészeinek sokirányú érdeklődését dokumentálva antik építészeti elemek, épületek rajzain kívül egy építészetről szóló „Trattato" kéziratot, antik feliratok rövidítéseinek szótárát, keleti ornamensgyűjteményt és a rajzok készítésével párhuzamosan gyűjtött mintegy 250 XV—XVI. századi olasz költeményt is tartalmaz.

A XV. századra vonatkozó építészettörténeti adatok gyűjtése során kezdtem meg az eddig fel nem ismert jelentőségű kódex feldolgozását, amelynek építészettörténeti értékelésére még nem került sor, noha 1861-ben Henszlmann Imre röviden ismertette,[1] s említése a modern szakirodalomban is megtalálható.[2] Már az eddigi megállapításaim szerint is a kódex olyan jelentős történeti és tudományos dokumentum, amelynek tervezett kiadásával annak minden vonatkozását elemző feldolgozásoknak kellene együttjárniuk. Ezért tartom szükségesnek folyamatban levő kutatásaim alapvető irányainak felvázolását, hogy ezzel a kódex általános építészettörténeti értékeire a figyelmet felhívjam.

A kódex a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár 09/2690. sz. alatt őrzött, úgynevezett „Zichy-kódexe".[3] Mérete 29×19,2 cm, 199 számozott lapot tartalmaz. A lapok egy részén kétféle számozás látható.[4] A későbbi számozás szerint — amelynek megfelelően a kötetet mai állapotában összeállították — szerkezete a következő:

Az első oldalon:

egy építészeti értekezés néhány bevezető mondata, vegyes feljegyzések, pl. jóslat 1492—1500 közötti évekre „Profecia trovada ataranto in le chiexia de san cataldo"

jelmondatok

Az első lap hátoldalán:

három velencei vonatkozású feljegyzés a XVI. század első feléből

[1] Henszlmann Imre: I. Mátyás király állítólagos építészének kézirati munkája az építészetről. Archaeologiai Közlemények 2. köt. Bp. 1861. 165. l.

[2] Balogh Jolán: A művészet Mátyás király udvarában. Bp. 1966. I. köt. 596 l. Ennek alapján tudtam a kódexet azonosítani.

[3] A kódexet Literati Nemes Sámuel múlt századi műkereskedőtől Zichy Jenő (1809—1848) vásárolta, akitől Zichy Ödönhöz (1811—1894) került. A kódex az akkori Fővárosi Könyvtárba Zichy Jenő (1834—1905) hagyatékából került.

[4] A kétféle számozás a kódex mai, bekötött állapotában nem látható. Az 1943-ban készült filmfelvételeken azonban még felismerhető egy másik számozás, amely 1-től 40-ig terjedhetett. Ehhez később újabb lapokat kötöttek, így a kódex egyik részének mérleg, a másik részének pedig ökörfej vízjelű papírja van.

A 2—87 lap előoldalain:
római építészeti részletek, párkányok, oszlopfők, oszloplábazatok, frízek, pilaszterdíszek, kandeláberek stb. Néhány esetben a méret, ill. az emlék helye is feljegyezve. Római épületek reneszánsz rekonstrukciós rajzai.
A 45. lapon latin szentenciák.
A 2—88 lap hátoldalain:
költemények másolatai, többnyire a szerzők nevének kezdőbetűivel jelölten.
A 87—89 lapon:
latin és görög antikva betűminta sorozat
A 89. lap hátoldalán:
építészeti értekezés kezdődik, ez nagyrészt Vitruviust követi, a szöveg közé rajzolt magyarázó ábrák kísérik. Az értekezés a 155. lap hátoldaláig terjed.
A 156—162 lap:
római feliratok rövidítésének szótára.
A 163—171. lapon:
kazettás mennyezetek rajzai, később rájuk rajzolt keleti díszítőmotívumokkal
A 172—183 lapon:
keleti ornamensek.
A 183 lapon:
antik feliratok gyűjteménye.
A 184—198 lapon:
keleti ornamensek gyűjteménye
A 199. lapon:
feljegyzés a Brenta folyó 1498. évi első és 1506. évi második szintezéséről.

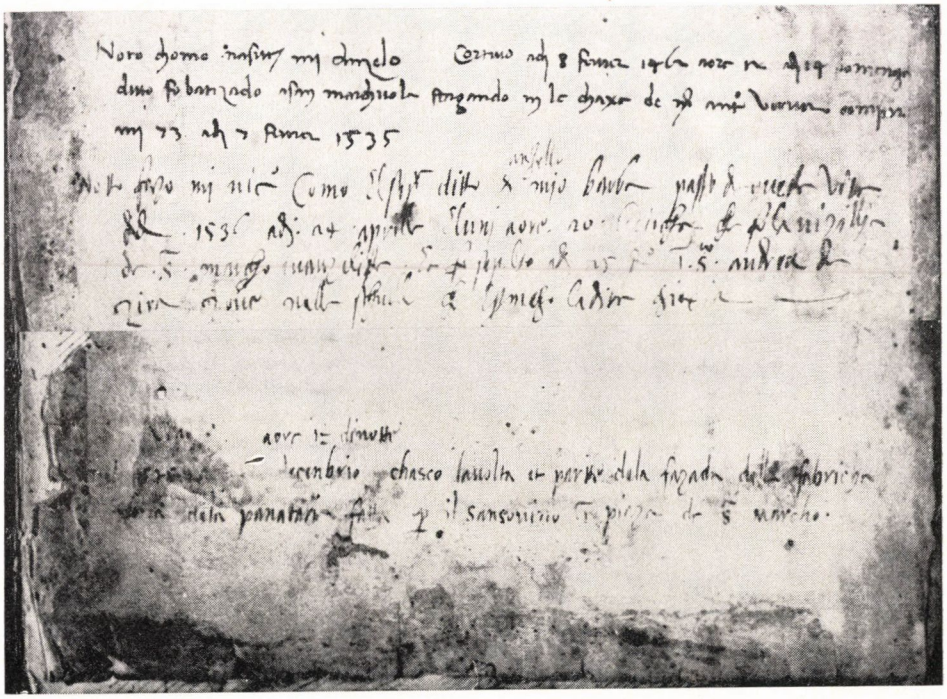
A kódex számos lapját később felragasztott keleti stílusú ornamensek, metszetek borították, amelyeket a Szépművészeti Múzeum restaurátorai 1911 után eltávolítottak.[5]

Mint említettük, az Archaeológiai Közlemények második kötetében jelent meg Henszlmann első tudósítása a kódexről. „Gróf Zichy Ödön egy régi olasz kézirat és kézrajz könyvet közlött velem, amelyet Literati Nemes Samu testvérének, néhai gróf Zichy Jenőnek ily megjegyzéssel adott el: Ezen ritkaság nekem (Literatinak) ajánltatott, mint Corvin királyunk építőmesterének egykori tulajdona."...

A könyv Magyarországra 1841-ben kerülhetett. A legújabb szakirodalomban ugyanis feltűnt még két, XV. századi kódex, amelyek Literatin keresztül kerültek Magyarországra.[6] Mindkettő eredetileg a velencei S. Andrea del Litore

[5] A metszetek eltávolítása után a kódexben összegyűjtött költemények ismertetése is lehetővé vált. A kódex irodalmi vonatkozásait ismertette Zambra Adolf a következő közleményekben: Zambra A.: Fővárosi Könyvtár Zichy kódexe, Fővárosi Könyvtár Értesítője 1914. 62 l. Zambra, A.: Il codice Zichy della Biblioteca Communale di Budapest „Bibliofilia" 16. I. 1914. Zambra, A.: Versi inediti del Tabaldeo nel Codice Zichy... Bibliofilia 16. 7—8. 1914. Zambra A: A Zichy kódex és az olasz líra a XV. század második felében Egy.Philol.Közl. Bp. 1915. Zambra, A.: Rime inedite di Gualterio Sanvitale da Ferrara. Gio.Stor. della letteratura italiana. Vol. LXV. 1915. Megállapította, hogy a költemények időrendben 1420 és 1530 között keletkezhettek. Nagy részük XV. századi költő, főleg a ferrarai Tebaldeo, a nápolyi Sannazaro verse, s számos XVI. század elejéről való, Velence politikájával foglalkozó költemény is van közöttük. A 259 versből 114 ismert, 145 addig ismeretlen költő verse volt.

[6] Radó P.: Libri liturgici... Bp. 1973. két kéziratos könyvet említ, amelyek a velencei S.Andrea de Litore kolostorból származnak: Bibl. Nat. Hung. c.l.m.ae. 139 és Bibl. Nat.



1. kép Zichy-kódex f. lv



2. kép Zichy-kódex f. 199

karthauzi kolostorból származott. Ehhez a csoporthoz tartozhatott a budapesti Zichy-kódex is, ugyanis későbbi bejegyzett tulajdonosát, Angelot ebben a velencei templomban temették el: „Notto fazo mj . . .nič come . . . el sopra ditto anzello mjo barbo passo di questa vita a. d. 1536 adj 24 aprilie . . . che fo sepolto adj 25 d . . . S. Andrea de Riva . . ."[7] A feljegyzésben említett Angelo magáról ezt írta a kódex első lapjára: „Noto chomo nascito mj anzelo . . . cortino adj 8 fevrar 1462 note . . . adj 14 domenga ditto fo batisado asan marchuola stagando in le chaxe de . . . compiti mj 73 adj . . . 1535.[8] (1. kép.)

A kódex többi, XVI. századi bejegyzései is erősen kötődnek Velencéhez. A 199. lapon feljegyzett Brenta szabályozási illetve szintezési rajz is ilyen vonatkozású. A folyó első szintezése 1489-ben történt, résztvevőinek nevét a fenti kódexlap őrizte meg (2. kép). A második szabályozást 1507-ben a lagunák ismételt eliszaposodása tette szükségessé, s ehhez a veronai származású építész és humanista Fra Giocondo „négyféle javaslatot adott a régi és új folyószint pontos szintézise és összehasonlítása alapján".[9] Kódexünk 199. lapján a Brenta régi és új szintjének éppen ilyen összehasonlító felmérése látható. A munkát azonban nem Fra Giocondo, hanem Alessio da Bergamo kapta meg a velenceiektől,[10] akiről a kódexlap névfelsorolásából kiderül, hogy már 1489-ben is részt vett a munkálatokban.

A kódex velencei vonatkozásaihoz tartozik még az a bejegyzés is, amely a Sansovino által épített velencei könyvtár egy részének építés közben történt összeomlását mondja el . . .',,1545 . . . a ore 12 di notte decenbrio chasco la volta et parte dela fazada della fabbricha . . . dela panataria fatto per il Sansovino in piaza de S marcho"[11]

Ez a legkésőbbi évszámos bejegyzés. Írója az a Nicolo lehetett, aki a nagybátyja eltemetéséről beszámol,[12] s aki nemcsak tájékozott volt Velence építészetének eseményeiről, hanem talán maga is az iparművészet valamelyik ágát művelte. Ő gyűjthette össze a keleti ornamenseket. Ezeket végtelen szorgalommal a könyv üresen hagyott lapjaira rajzolta, néhol kiegészítve a korábbi rajzokat (3. kép), nagyobb részüket pedig metszetgyűjteményekből kivágva, ragasztotta a lapokra. 1911 után a Szépművészeti Múzeum restaurátorai eltávolították az eredeti írást és e rajzok nagy részét borító felragasztott metszeteket, amelyeket Aggházy Mária két cikkben ismertetett.[13]

Hung. c.l.m.ae. 112.]Mindkettőt Literati Nemes Sámuel vásárolta 1841-ben. Ezekkel együtt kerülhetett Magyarországra a XVI. században már elpusztult kolostor könyvtárának maradványai közül a Zichy-kódex is, ugyanis ebben is találunk a S.Andrea-ra vonatkozó utalást. Egyébként a templom helyére építette Sanmicheli 1554—1571 között az ugyanilyen elnevezésű erődöt.

[7] Zichy-kódex f.l.v.: „Én... Nic..Como... tudatom, hogy a fentebb említett Angelo az én nagybátyám távozott ebből az életből 1536. ápr. 29-én és eltemették 25-én a S.Andrea de Riva-ban"

[8] Zichy-kódex f.l.v.: „Feljegyzem, született Angelo... Cortino 1462. febr. 8-án... a 14-én vasárnap keresztelték meg a S.marchuola-ban... 1535..." (Zambra A. olvasata szerint)

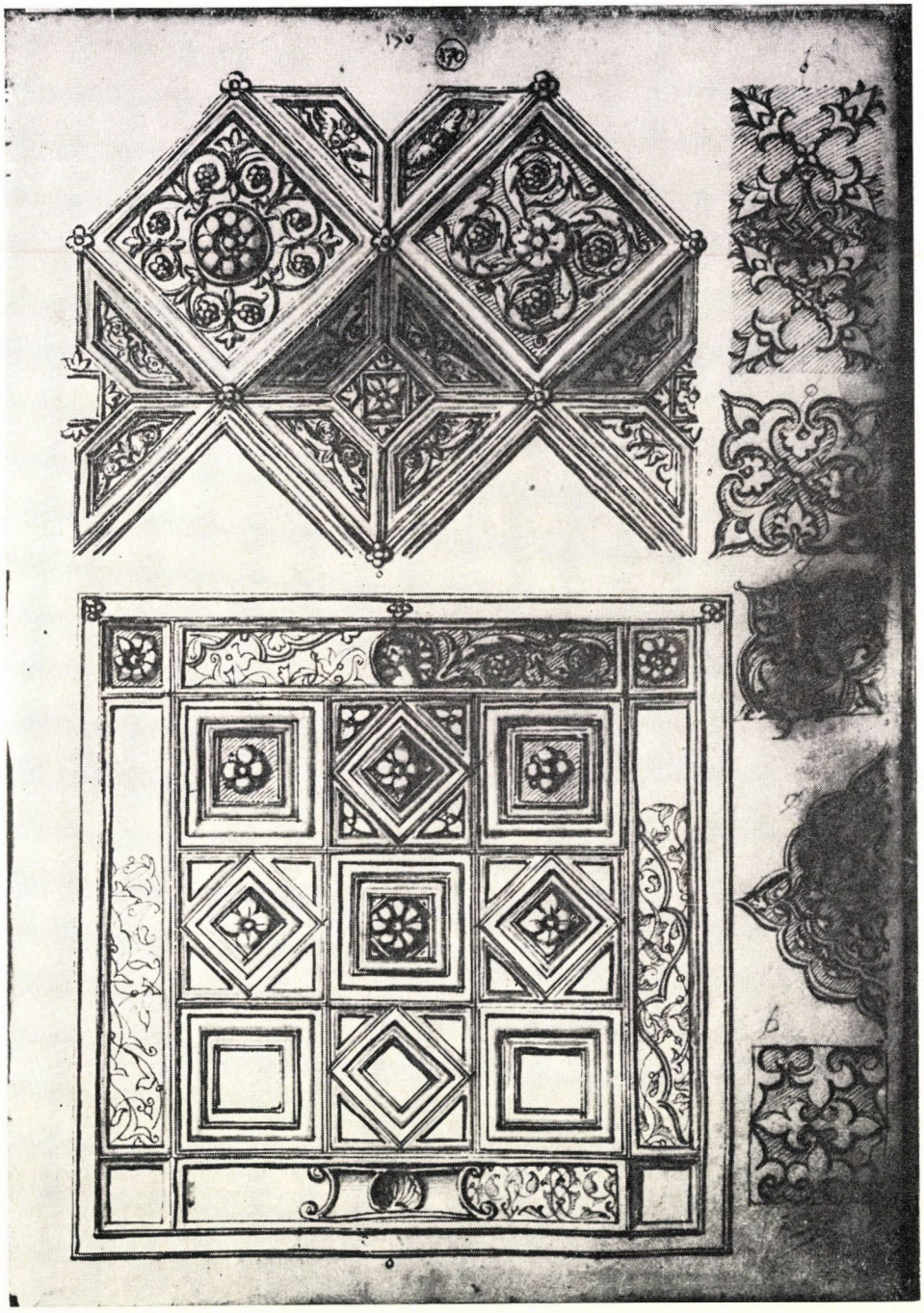
[9] Thieme—Becker: Allgemeines Lexikon. XIV. 65 l.

[10] Uo.

[11] Zichy-kódex f.l.v.: „1545 december... éjjel 12 órakor leomlott a boltozat és a homlokzat egy része a könyvtár építkezésén, amelyet San-sovino épített a Sz. Márk téren."

[12] Zichy-kódex f.l.v. ld. 8. jegyzet.

[13] A levett metszetek a Szépművészeti Múzeumba kerültek letétként. Ismertette azokat: Aggházy Mária: Ornamentális mintalapok a Szépművészeti Múzeumban Bulletin, du Musée Hongrois des Beaux Arts No. 3. Bp. 1949. 17 és 49 l. Aggházy Mária: A velencei díszítőművészet keleti kapcsolatai. Művészettörténeti Értesítő 1952. 50 l. Megállapítja az ornamensekkel kapcsolatba hozható művészek neveit.



3. kép Zichy-kódex f. 170

Megállapíthatjuk tehát, hogy a kódex a XVI. század első évtizedeiben valóban Velencében volt, s a benne említett Brenta szintezési bejegyzés alapján Fra Giocondo da Veronával vagy körével hozható kapcsolatba.

Az ő körére utal még az is, hogy a kódexben több, máshonnan ismert rajzának változatát is megtaláljuk: példának említhetjük a római Pal. dei Tribunali reneszánsz rekonstrukciójának nevezett rajzot, amelynek másik változatát a firenzei Uffizi rajzgyűjteménye őrzi[14] (4. kép).

Feltételezhető, hogy a kódex, vagy egy része, 1507-ben maradt Velencében: Vasari ugyanis leírja, hogy ekkor Fra Giocondo elhagyta Velencét és a „Rialto újjáépítésének terve és még sok más rajza is a Bragadini házban maradt, s ezek most Fra Angelonál vannak . . .”[15]

Kínálkozik az a lehetőség, hogy ekkor maradt a kódex Velencében Fra Giocondo rajzai és feljegyzései között.

Fra Giocondo korának legjobb Vitruvius ismerője volt, az ő nevéhez fűződik az első olasz Vitruvius kiadás, amely 1511-ben jelent meg Velencében. Önálló építészeti teóriáját nem ismerjük, azonban éppen a budapesti kódex kapcsán is felmerül Francesco di Giorgio Martinivel való kapcsolata, illetve annak a meghatározása, hogy Martini építészeti Trattato-jának vitruviánus jellegét milyen mértékben kell Fra Giocondo hatásának tulajdonítanunk.

A budapesti kódex 30. lapján ugyanis a következő bejegyzés olvasható: „Quando andate aurbjno djmandate dj franc° dj Giorgio dasjena arhjtetore cha o dj butjegha” (5. kép)[16] azaz: „ha Urbinoba érkezel, keresd fel Francesco di Giorgio da Siena házát vagy műhelyét.” A kódex építészeti részének rajzai két kéztől származnak. A rajzok összehasonlítása alapján arra gondolhatunk, hogy a kódex eredetileg valamilyen, az építészethez társművészként kapcsolódó mester mintakönyve volt, aki valóban eljuthatott Urbinoba. Tőle a könyv Francesco di Giorgiohoz vagy környezetéhez kerülhetett, aki újabb lapokat kötött hozzá[17] s a rajzgyűjteményt antik építészeti részletekkel, antik feliratok gyűjteményével gazdagította. Később építészeti értekezésének egyik korai változatát másolta, vagy másoltatta bele.[18] Ezt a feltételezést főleg az támogatja, hogy a könyvben kétszer kezdődik el az építészeti értekezés.[19] Az első, még teljesen kiforratlan formában próbálja az építészet aranytörvényeit az emberi test arányaival párhuzamba állítani, a másodiknál a geometria és a mérés alapjainak ismertetésével indítja bevezetőjét.[20]

Francesco di Giorgio Trattatoja a maga korában nem jelent meg nyomtatásban, de több neki tulajdonított Trattato kézirat változatot tartanak számon.[21]

[14] Firenze, Uffizi Dis. No. 1537.

[15] G.Vasari: Le vite... Firenze 1906. V. 272

[16] Zichy-kódex f. 30. Az eredeti számozás szerint ez az f. 40 volt.

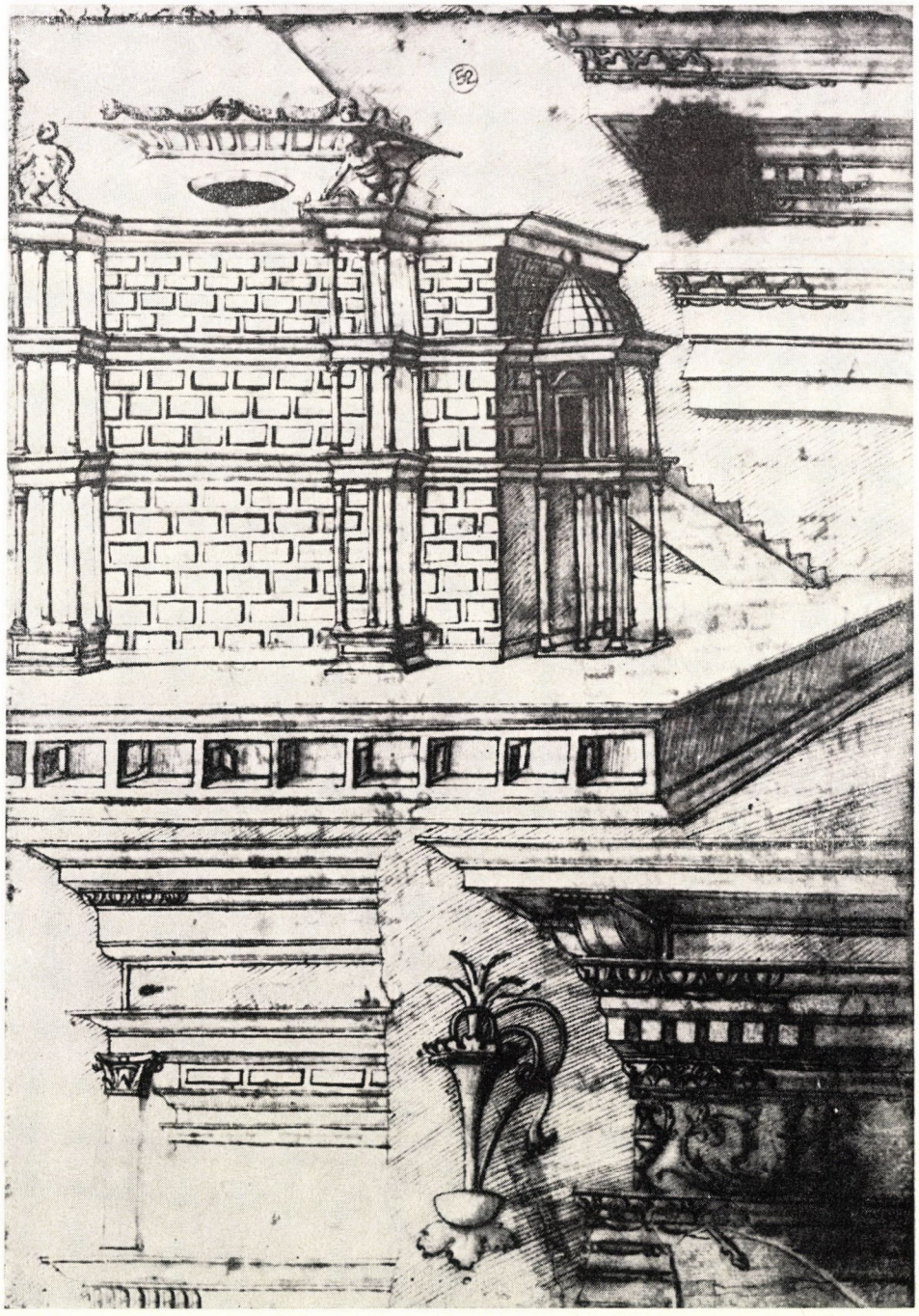
[17] Ezt a már említett kétféle vízjel-csoport is valószínűsíti.

[18] Az értekezés korábbi változatára utal az is, hogy erősen Vitruvius hatása alatt készült, néhány pontban, mint pl. a templomok elrendezésének ismertetésénél, követi azt, a 128. oldalon megjegyzi: „Qui finisse Vitruvio chesono in fine capitolj 60” Vitruvius hatásának vizsgálatára a kódex szövegének folyamatban levő elemzése, amelyről külön tanulmányban kívánok beszámolni, bizonyára igen érdekes adatokat nyújt.

[19] Trattato főbb ismertetései: Zádor Anna: Olasz építészet-elméletek a reneszánsz és barokk korában. Budapest 1926. J.Eisler: Remarcs on some aspects of Francesco di Giorgio's Trattato, Acta Hist. Artium 1973. 1.

[20] Zichy-kódex f.l.v., Zichy-kódex f. 89 v. és folytatása

[21] Francesco di Giorgio Martini értekezése csak 1841-ben jelent meg nyomtatásban: Trattato di Architettura Civile e Militare di Fr. di Giorgio Martini architetto senese del



4. kép Zichy-kódex f. 52



5. kép Zichy-kódex f. 30

Ezek közül a torinói Saluzziano 148. sz. kódexben levő rajzok és szöveg egy része megegyezik a budapesti kódexben található ábrákkal és arra gondolhatunk, hogy a budapesti kódexről, mint korábbi példányról másolhatták a torinoi kódex megfelelő részeit (6—7, 8—9, 10—11. kép). A különbség annyi, hogy egyes rajzokat összevontak, illetve a budapesti vázlatosabb ábrákat kidolgozottabb formában készítettek el. A budapesti kódex korábbi datálását bizonyítja, hogy a Saluzziano 148. utolsó oldalain, mintegy függelékkként összegyűjtött antik sisakok, pajzsok és oszloplábazatok rajzait[22] szétszórtan megtaláljuk a budapesti kódexben, sőt azok előbb kerültek bele, mint maga az értekezés. Ugyanígy a budapesti kódex két kandeláber-rajzát — melyek mellett a szabadon levő részre írták az értekezés szövegét — bevették a torinói kódexbe az értekezés ábrái közé (12—13. kép).[23]

Ebből a szempontból rendkívül érdekes adat az, hogy Fra Giocondo 1492-ben a nápolyi kincstártól fizetést kapott 126 rajzáért, amelyet a sienai Francesco „építészetről és hadi dolgokról" szóló könyvének másolatához készített.[24] A torinói könyvtár Saluzziano 148. kódexe feltételezésünk szerint azonos a Nápolyban másolt könyvvel, s valószínű, hogy ennek „építészetről" szóló részét a korábbi, budapesti kódexből másolták.[25]

Francesco di Giorgio az Itáliában található összes antik emlék feldolgozását tervezte, ennek a tevékenységének számos emléke fennmaradt a torinói Bibl. Saluzziana és a firenzei Uffizi rajzgyűjteményében.[26] A budapesti kódexben is számtalan antik párkány, lábazat, fríz, pilaszterdísz, oltár van lerajzolva — nem helyszíni vázlat, hanem gyűjtemény formájában. Néhány emléken megjelölték, hogy hol található, pl. „A roma",[27] „In sto Pietro in roma"[28] (14. kép), „pole in Dalmatia",[29] Számos antik felirat feljegyzése is szerepel, többnyire Rómából, de akad közöttük észak-afrikai is.[30] A római rövidítés-szótár, az antik betű és felirat-minták szintén Francesco di Giorgio és építészeti körére utalnak. Valószínűleg Alberti hatására ők használták fel gyakran az an-

---

sec. XV. ora per la prima volta pubblicato per cura del Cavaliere Cesare Saluzzo con dissertazioni e note dell' architetto Carlo Promis. Torino 1841. A Trattato ma ismert kéziratai: *Firenze*, Bibl. Nat. II. I. 140 (ex Strozzi 1367; ex Magl. XVII, 31). *Torino* Bibl. Reale No. 148 (Saluzziano 148.), *Firenze*, Bibl. Laurenziana, Ashburnham 361.; későbbi másolatok: *Torino* Bibl. Nat. cod. milit. 238, *Velence*, Bibl. Marciana, it. IV. 3—4. *Milano*, Bibl. Ambros. cod. No. 195, *Modena:* elveszett. Ezenkívül neki tulajdonítanak még három vázlatkönyvet: *Firenze*, Uffizi, építészrajzok, 318—37., *Vatikán*, Cod. Urbin. 1757, *Siena*, Bibl. Communale, S. IV. 4. — és hét gyűjteményt, hadiszerkezetek rajzairól. Közli: Bertrand Gille: The Renaissance Engineers, London 1967.

[22] Torino, Saluzziano 148: f. 99, f. 99 v, f. 100, f. 100 v.

[23] Zichy-kódex f. 54, Torino, Saluzziano 148: f. 25.

[24] „La tesoreria della Corte di Napoli paga 4. ducati ... a maestro Antonello da Capua e per lui a Fra Giocondo in pagamento di 126 disegni fatti a due libri di maestro Francesco de Siena, scripti a mano in carta di papiro, une d' architettura e uno d'artigleria e cose di guerra... R.Papini: Francesco di Giorgio architetto. Roma 1946. I. 293 l. Véleményünk szerint a torinói kódex volt az, amely Nápolyban készült, és Fra Giocondo a kódexhez, mintegy függelékként hozzácsatolt római épület-felvételek kitűnő építészi rajzait készítette.

[25] A különböző kézirat-változatok egymáshoz való viszonyának meghatározásában a budapesti kódex szövege igen nagy segítséget adhat.

[26] Zádor A.: i.m. 25 l.

[27] Zichy-kódex f. 61

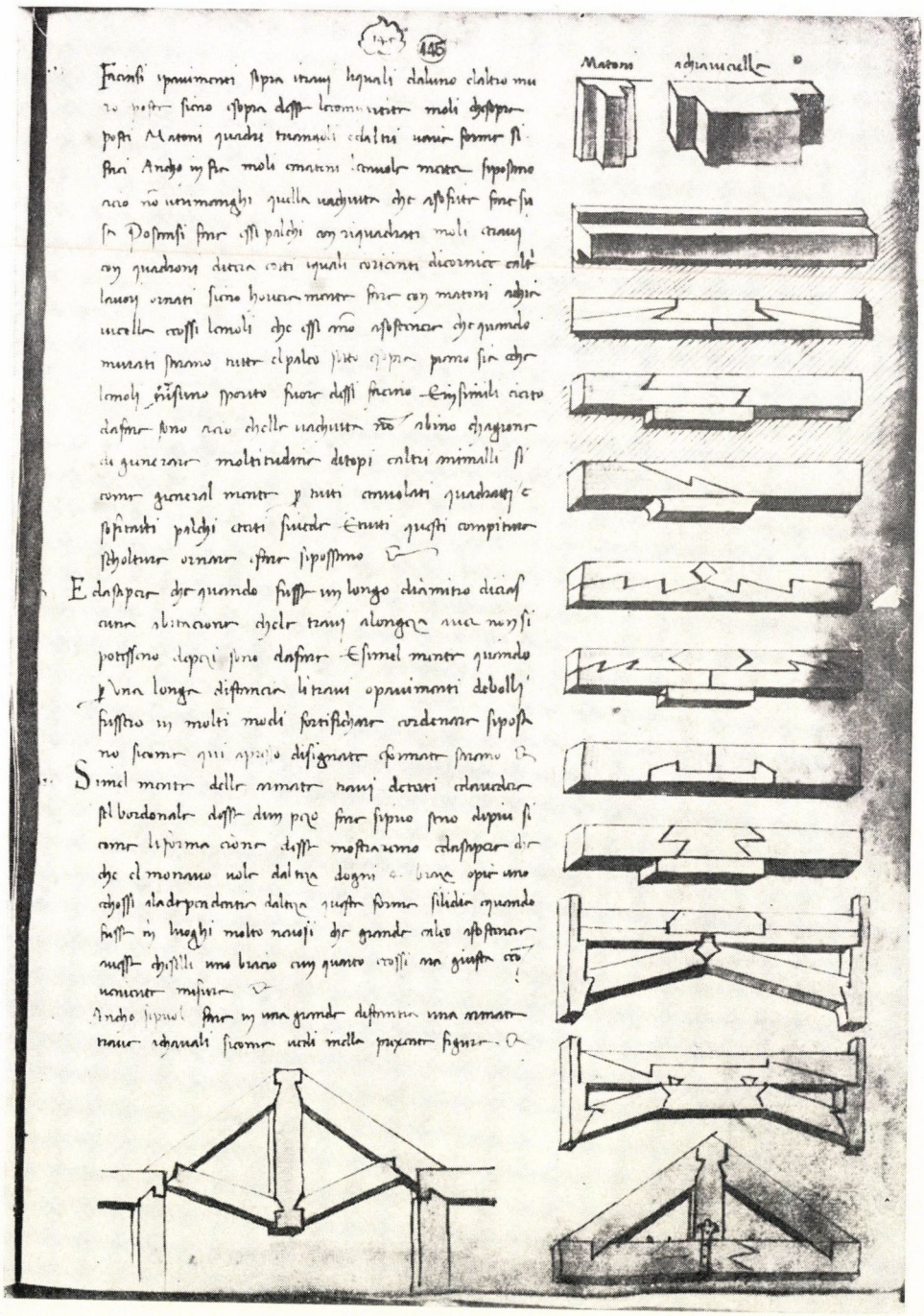
[28] Zichy-kódex f. 61

[29] Zichy-kódex f. 85

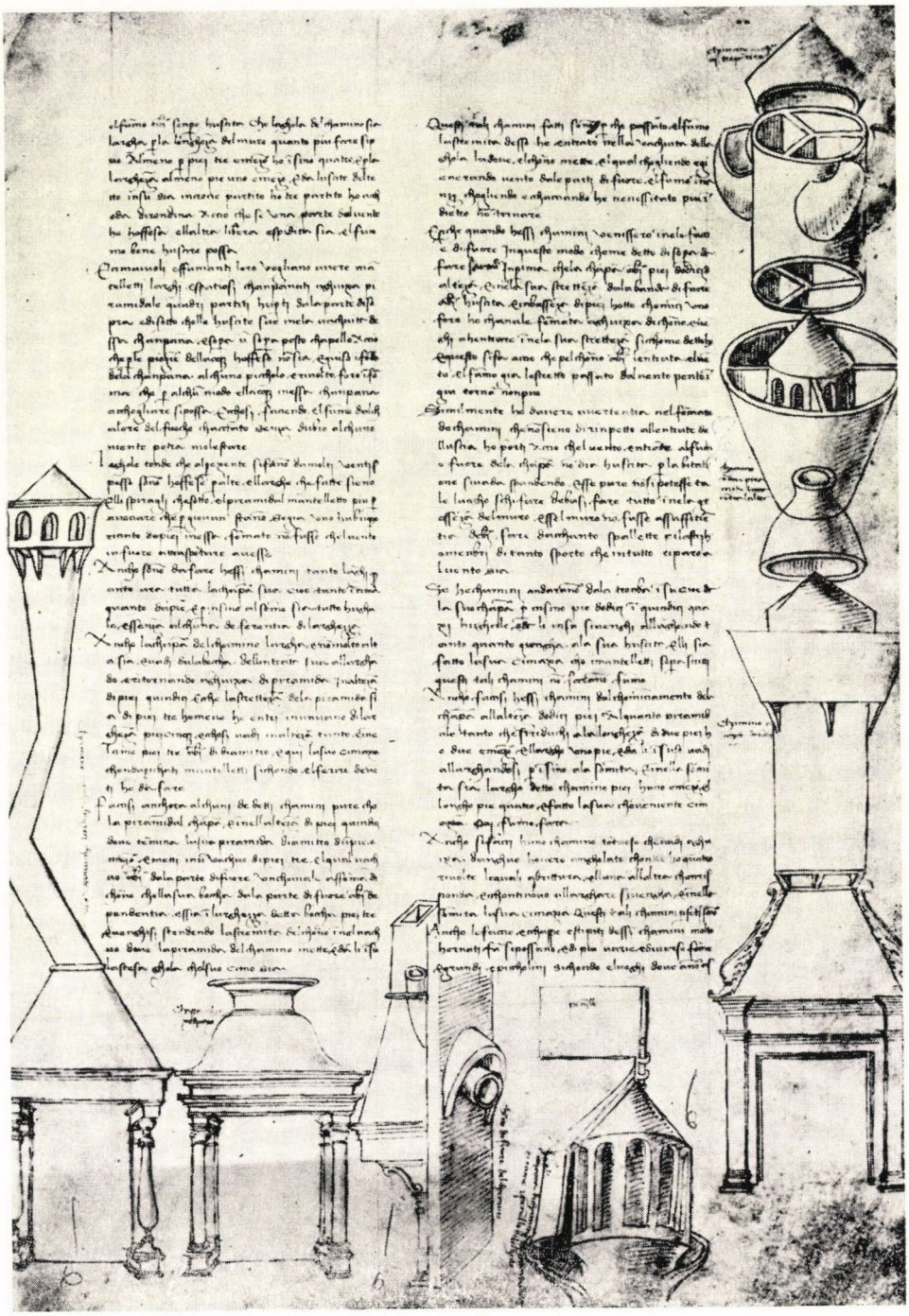
[30] Zichy-kódex f. 187 v.: „in civitate tugesti in ecclesia santi iusti"



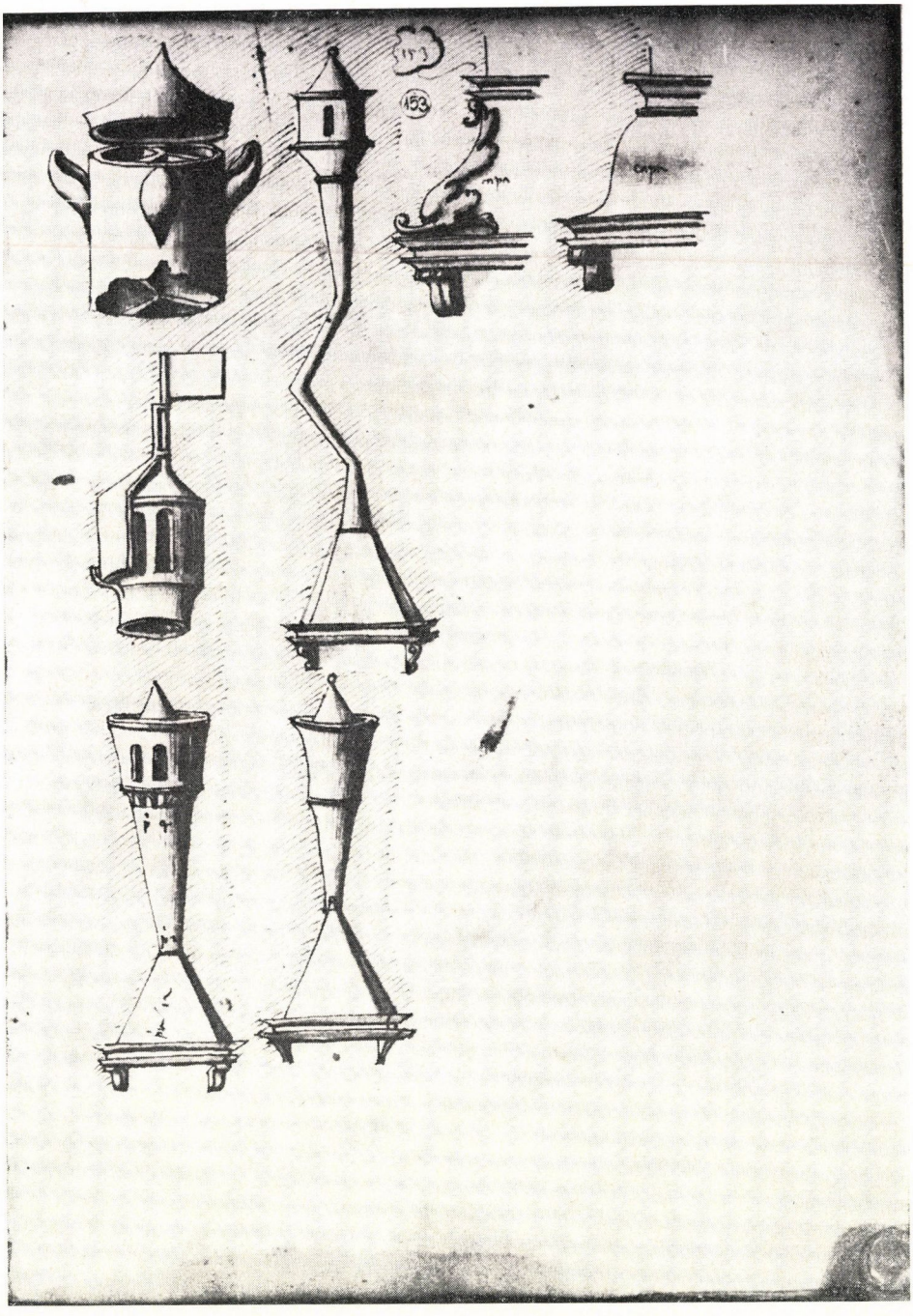
6. kép Torino, Saluzziano 148, f. 22v



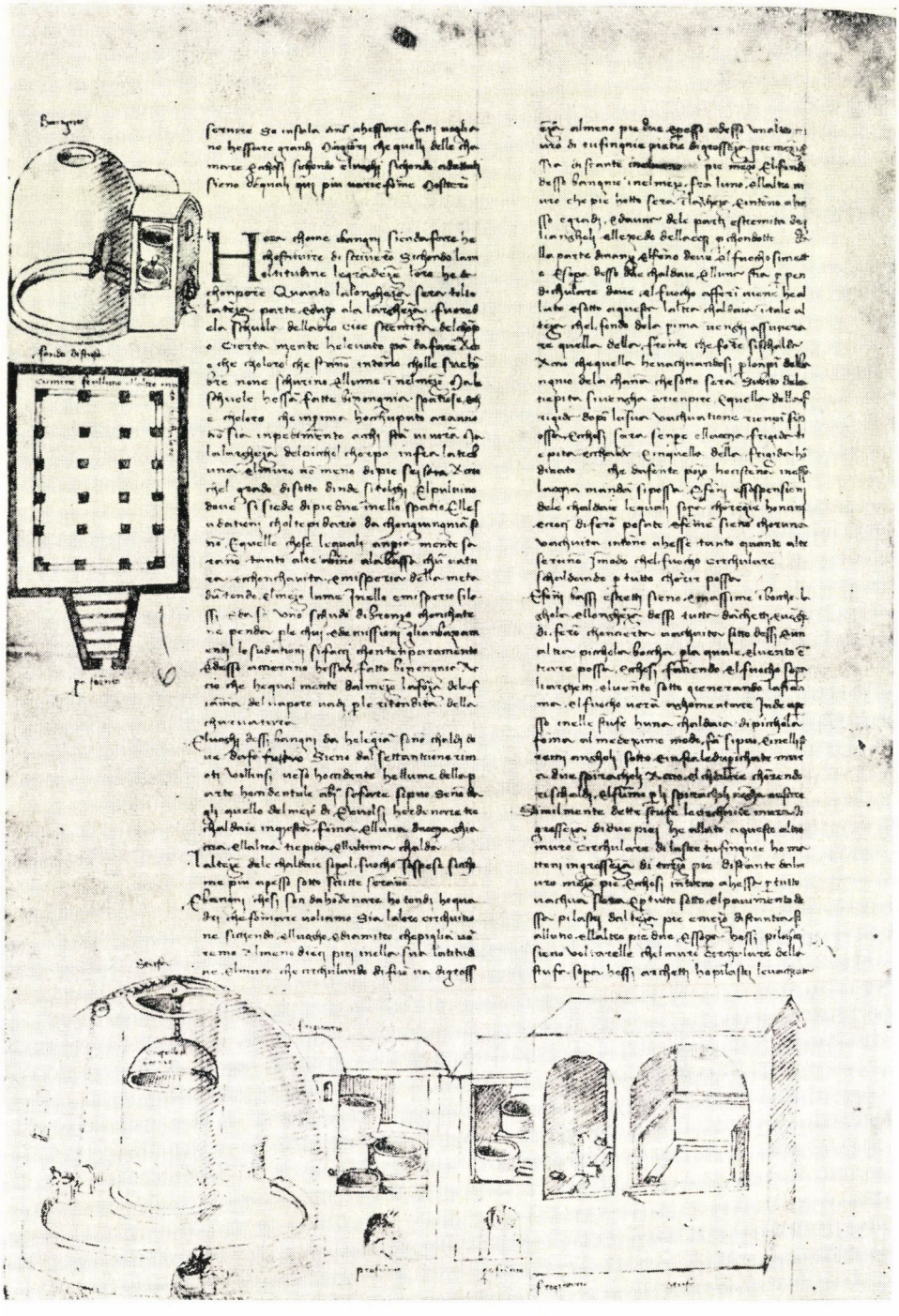
7. *kép* Zichy-kódex f. 145



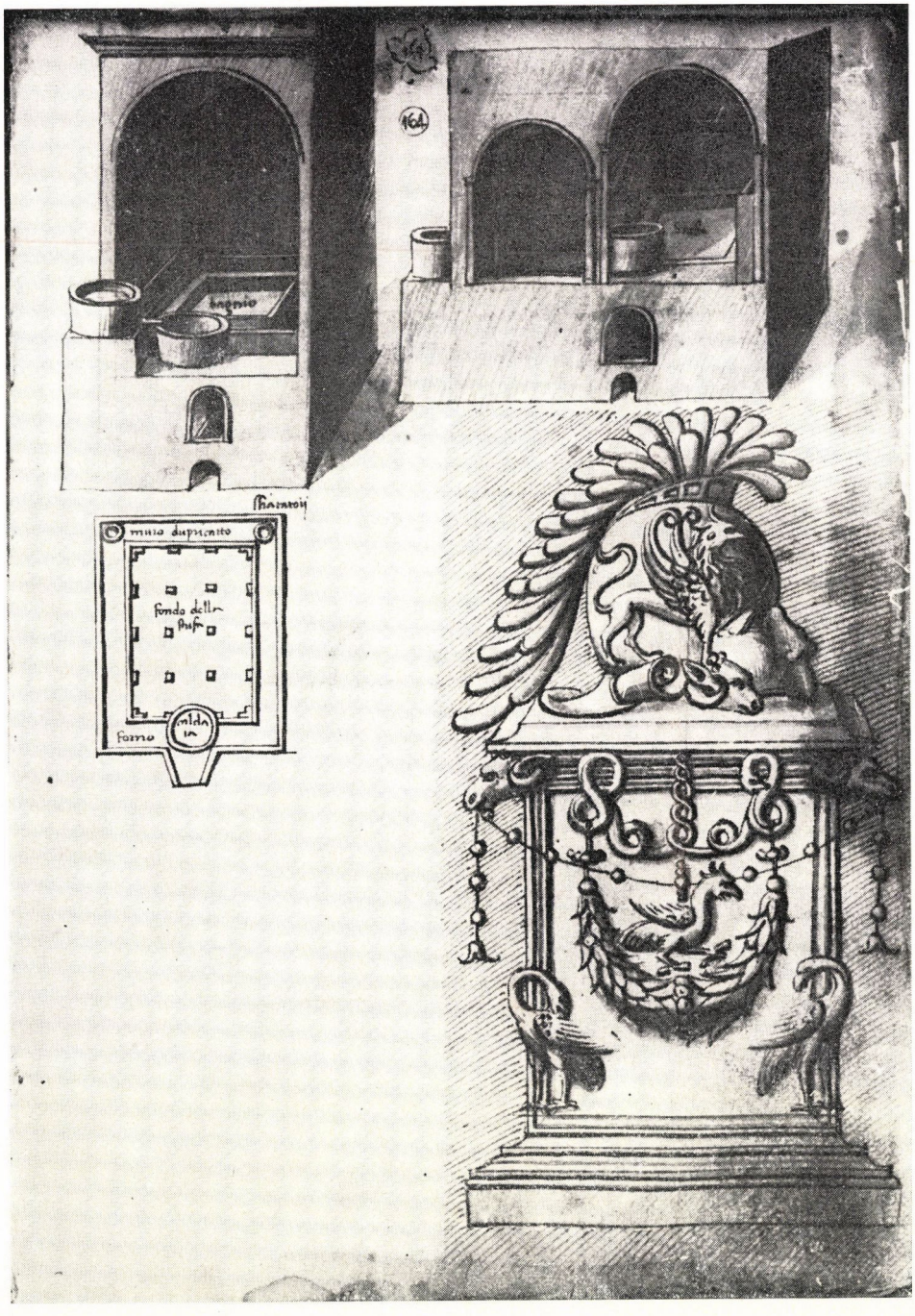
8. kép Torino, Saluzziano 148, f. 23



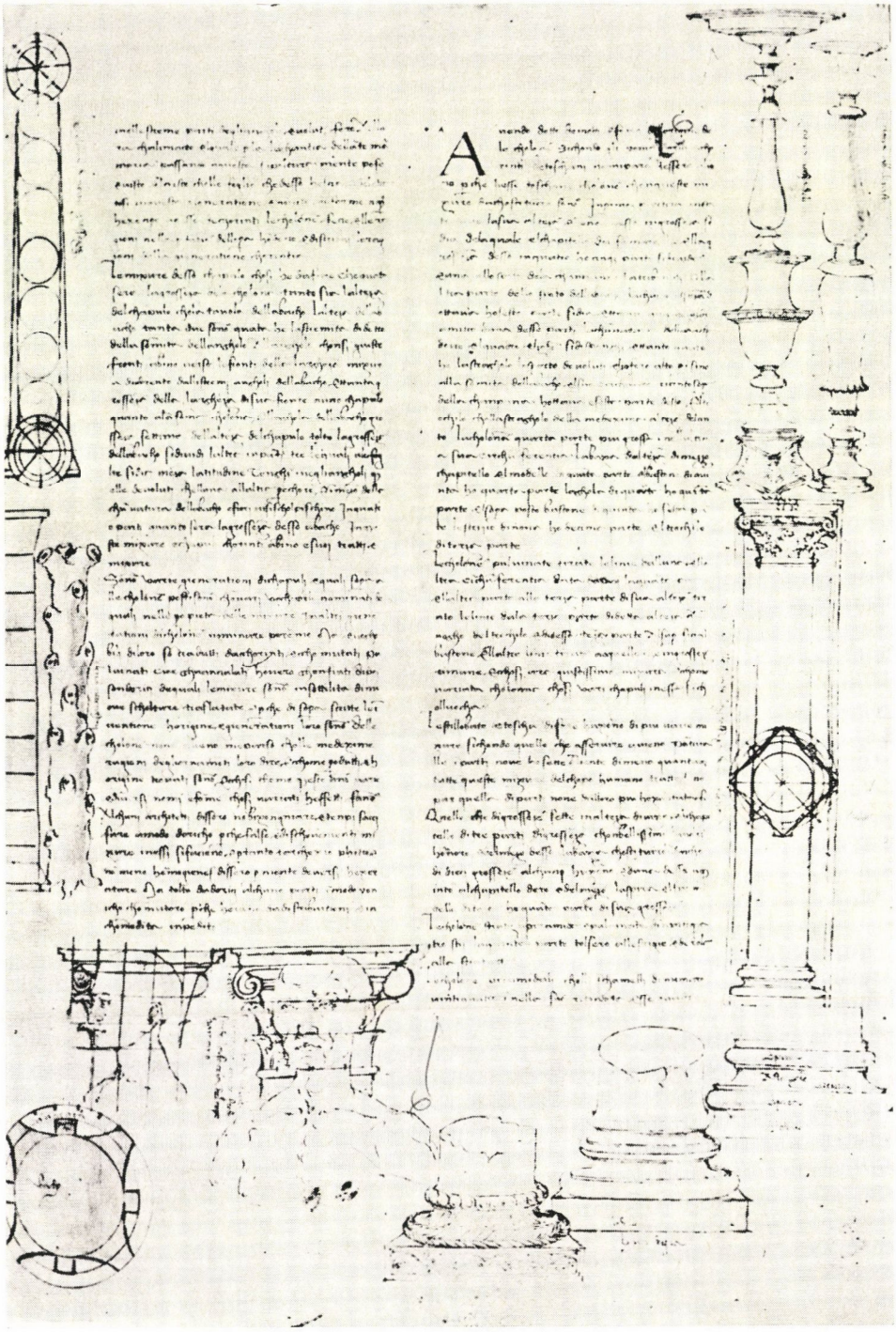
9. kép Zichy-kódex f. 153



10. kép Torino, Saluzziano 148, f. 23v



11. kép Zichy-kódex f. 164v



12. kép Torino, Saluzziano 148, f. 15



13. kép Zichy-kódex f. 91



14. kép Zichy-kódex f. 5

tik mintára készült feliratokat az architektúra szerves részeként, mint azt az urbinoi palota udvari frízén, vagy a Nola melletti Orsini palota homlokzatán láthatjuk.[31]

A szakirodalomból ismeretes, hogy a két mester az 1490-es években Nápolyban együtt dolgozott: „. . . a calabriai herceg . . . a Poggio Reale építéséhez . . . a firenzei Julian Maianot, Francesco da Sienát, a firenzei Antonio mestert — noha ő a hadiszerkezetek és erődök építésének nagy mestere volt — és mindenek felett az egyedülálló és kiváló Fra Jucundo da Verona-t hozta el erre a földre . .''[32] A Zichy-kódex gazdag antik vonatkozású gyűjteménye, a két építészre vonatkozó utalásai arra mutatnak, hogy korábban is dolgozhattak együtt. Talán Francesco di Giorgio korai római tartózkodása alatt kerülhettek kapcsolatba, s nem lehetetlen, hogy Francesco di Giorgio Martini éppen Fra Giocondo révén ismerkedett meg Vitruvius művével.[33]

Végezetül meg kell említenünk, hogy Literati annak idején a kódexet úgy ajánlotta „mint Corvin királyunk építészének egykori tulajdonát''. A további kutatás feladata lesz annak megállapítása, hogy ez csak Literati szokásos üzleti fogása volt-e, vagy valóban kötődött ilyen hagyomány a kódexhez — talán a velencei kolostorban. Mindenesetre az, hogy XV. századi építész-kódexről van szó, Literati előtt nem lehetett teljesen világos, hiszen a lapok nagy részét később beragasztott rajzok és metszetek borították, s ez még Henszlmannt is tévútra vezette a kódex keletkezési idejének és helyének megítélésében.[34] Az Urbinora vonatkozó bejegyzés ugyanis csak 1477 és 1482 között készülhetett, amikor Francesco di Giorgio itt dolgozott, és műhelye is volt itt.[35] Ez tehát megdönti azt a véleményt, hogy a kódex időrendi nehézségek miatt nem lehetett Mátyás korában élő építész tulajdona.

A magyar reneszánsz építészetnek nem voltak olyan krónikásai, mint az idézett nápolyi Summonte, vagy a velencei M. A. Michiel. Ezért minden csekély adatot csak gondos kritika után lehet elvetni, vagy felhasználni, hiszen magukat az emlékeket is csak töredékeikből ismerjük. Véglegesen tehát csak akkor dönthetünk a kérdésben, ha bebizonyosodik, hogy az említett építészeknek, vagy követőiknek valóban nem lehetett magyarországi kapcsolatuk.[36]

Ma is érvényesek és időszerűek azonban Henszlmann Imre 110 évvel ezelőtt írott cikkének befejező sorai: „Mindamellett e könyv a jeles ritkaságok egyike, mert a korából származó építészeti albumok nem mindennapiak . . . ennélfogva érdemesnek tartom arra, hogy kiadassék, még pedig két külön kötetben, melyeknek egyike a költészeti, másika építészeti részét tárgyalná.''

[31] Pane, R.: Architettura del rinascimento in Napoli. Napoli, 1937. 121 l.

[32] P.Summonte (1463—1526) levélrészletét közli: Pane, R.: Architettura del Rinascimento in Napoli, Napoli 1937. 1 l.

[33] A kérdés eldöntéséhez meg kell vizsgálnunk az Uffizi rajzgyűjteményében levő, Francesco di Giorgio és Fra Giocondo rajzok összefüggéseit is. Lásd Ferri, P.: Indice geografico-analitico... Firenze, 1937.

[34] Henszlmann szerint a kódex a XVI. században Velencében keletkezett s közben esetleg „más Francesco nevű építész kezébe jutott'', tehát nem ismerte fel, hogy a kódex egyes részei XV. századiak.

[35] Wittkower, R.: Architectural principles in the age of humanism. London, 1952. 11. l.: a Promis által kiadott torinói kódex 1482 előtt készült. Ez jól összevág azzal, hogy a budapesti kódexben az urbinói működés idejére utaló bejegyzés van.

[36] Francesco di Giorgionak már Mátyás életében is voltak nápolyi kapcsolatai, hiszen 1492-ben már másodszor hívták Nápolyba.

DR. SZENTKIRÁLYI ZOLTÁN

AZ AKADÉMIÁK SZEREPE A FRANCIA BAROKKBAN

A XVIII. században Franciaországhoz igazodott egész Európa. Francia volt a társasági nyelv, a műveltség, a divat, az életforma és a gondolkodás. Mégpedig olyan végletesen, annyira mindent átszövően francia, hogy a legellentétesebb nézetek és érdekek is magától értetődő természetességgel találtak helyet benne. A francia szellem az eszmék tisztaságát, a korszerűséget, az elmaradottság és a dogmák elleni harcot, a nép ügye mellett való kiállást, a haladót, a felvilágosultat jelentette, de ugyanakkor a csak szórakoztatásból szellemes, választékosan előkelő, a néppel finnyásan szemben álló, mesterkéltté finomult nagyvilági magatartás is francia volt. Az építészetben a szerényebb polgári otthonokhoz éppúgy a francia lakáskultúra adta a mintát, mint a főurak, a német fejedelmek, az uralkodók Versaillest imitáló vagy azt felülmúlni akaró kastélyaihoz, s a keresetten könnyed, gazdagon díszítő rokokó ugyanúgy francia forrásokból merített, mint a szándékosan puritán, a fölösleges díszítést kerülő, a rokokót programszerűen és elvből megtagadó korai klasszicizmus.

Mi az oka ennek a mindent átfogó, az ellentéteken túl is érvényesülő hatásnak? Minek köszönheti Franciaország, illetve Párizs, hogy a XVIII. sz. európai kultúrájában, s ezen belül a kor építészetében ilyen fontos szerepet játszott? Csupán a külső feltételek szerencsés találkozásának? Annak, hogy a fejlődés dialektikus menete szerint most ide tolódott át a hangsúly, mert a századot foglalkoztató problémák itt vetődtek fel a legélesebben, s itt adták rájuk a legtalálóbb választ? Párizs tehát úgy vált a kultúra új fővárosává, mint a XV. században Firenze, vagy a cinquecento idején s a XVII. században Róma? Ez a magyarázat, bár zömmel helytálló, az építészet jelenségeire korántsem ad megnyugtató választ.

Nem szabad ugyanis megfeledkezni arról, hogy a quattrocento utáni három század alatt a művészeti központ funkciója, a ható és a hatást befogadó területek viszonya alapvetően megváltozott. A XV. században a hatás még jórészt közvetlen, s lényegében egyirányú volt. A toszkán reneszánsz formáit „vendégmesterek" telepítették át Itália északabbi tartományaiba s a Mátyáskori Magyarországra, vagyis általában oda, ahol egy-egy művelt, környezetéből kiemelkedő, szélesebb látókörű megbízó erre lehetőséget adott. S bár a megvalósítás során az eredeti minta majdnem mindig torzult, a helyszíni adottságok, a hagyomány, a szokás több-kevesebb megalkuvásra kényszerítették az építészt, az eredmény mégis szinte mérhetően egyértelmű lett. Az alkotásban az és annyi volt a reneszánsz, amit ill. amennyit a toszkán jellegből a módosítások ellenére is felismerhetően megőrzött. S a kölcsönzés itt még töredékes formájában is egyértelműen pozitív jelenség. A firenzei

reneszánsz ekkor a leghaladóbb szintet képviselte, szinte azt mondhatnánk, hogy maga a „testet öltött" korszerűség volt. A felé való közeledés, eredményeinek átvétele tehát minden esetben a korszerűhöz való felemelkedést jelentette.

A központnak ez az irányt mutató, a normát kijelölő pozitív szerepe alapjában véve megmaradt akkor is, mikor a vezetést Róma vette át. A cinquecento nagy mesterei, mindenekelőtt Bramante, Michelangelo és Palladio, majd később, a XVII. században Bernini, Borromini és a barokk szabadon formáló, egyénibb irányzatát északon felvirágoztató Guarini mindig a fejlődés élvonalában jártak. Műveikben a saját korukra jellemzőt, a mértékadóan újat fogalmazták meg. A hozzájuk való csatlakozás tehát változatlanul a haladáshoz való felzárkózás volt, még akkor is, ha némi fáziskéséssel történt.

A XVIII. században ez döntően megváltozott. A barokk bátran kezdeményező, teremtő korszaka addigra lezárult. A stílus hűvösebbé, fegyelmezetté vált. A korábban még benne feszülő kísérletező szenvedély, az expresszívvé felfokozott mozgás lendülete megszűnt, átadta a helyet valami megállapodottabb, nyugodt méltóságnak. Borromini áramló formáit, Guarini végtelent idéző „térlátomásait" Carlo Fontana higgadt stílusa, Alessandro Galilei és Ferdinando Fuga alkotásainak szigorúbb rendje váltotta fel. A későbarokk kezdett visszatérni a XVI. sz. végének hagyományaihoz, s a reneszánsz ürügyén a császárkori Róma monumentális építészetéből merített ihletet. A változás persze korántsem azt jelenti, hogy a barokk most egycsapásra eltűnt. A piemontei építészet nyomán az Alpoktól északra, Bajorországtól és Frankföldtől egészen Oroszországig nagyszabású művek sorát produkálta, s a rokokó is ekkor dívott a legburjánzóbban Európa számos országában. A barokknak ez a kései másodvirágzása azonban nem változtat azon a tényen, hogy a stílus már kiélte magát, s a látszateredmények dacára is a befejezett múlthoz tartozott. A XVIII. sz. második negyedétől kezdve, tehát éppen akkor, amikor a francia hatás a legerősebben érvényesült, a jövő felé mutató, korszerű irányzat a klasszicizálás volt.

S itt jelentkezik egy különös, majdnem érthetetlennek tűnő ellentmondás. Az, hogy bár a francia építészetnek is volt egy határozottan klasszicizáló, a fejlődés irányába eső, „korszerű" vonala, a XVIII. sz. Európájára elsősorban mégsem ez hatott, hanem az akkor már idejétmúlt XIV. Lajos kori stílus és a rokokó. Amikor Bernini és Borromini már jórészt múltbeli, sokszor csak ellenpéldaként említett történeti alakokká lettek, akkor francia kortársaiknak, Le Vau-nak s az ifjabb Mansartnak a stílusában teleépült barokk kastélyokkal egész Európa.

A francia építészet XVIII. századi hatásában éppen ez az érdekes és a lényegesebb probléma, a hatás anakronisztikus jellege. Pontosabban fogalmazva tehát az előbbi kérdést: azt kell megvizsgálnunk, hogy a francia barokk miért hathatott tartósan akkor is, amikor a fejlődés már túlhaladt rajta? Talán a befogadó országok álltak a fejlődés alacsonyabb szintjén, s ennek megfelelően ízlésük, szemléletmódjuk is elmaradottabb volt, melyhez stílusban a „régimódi" illett? Vagy a francia barokknak voltak olyan sajátos adottságai, melyek képessé és alkalmassá tették arra, hogy „túlélje" önmagát, s a kor igényeihez illő divatként még majd egy századon át fennmaradjon? S ráadásul egy olyan korban, mely a formák klasszikus tisztaságát, az egyszerűséget állította eszményként maga elé.

Ha a XVII. sz. francia építészetét az itáliaihoz viszonyítva nézzük, ez utóbbi feltételezés látszik a valószínűnek. A francia barokk mindig szigorúbb, fegyelmezettebb volt, mint az itáliai. A kettő között a szemléletbeli különbség, a térszervezés módjában jelentkező eltérés olyan mértékű, hogy az itáliai mellett a franciának akár még a barokk volta is kérdésessé válhat. S ezt az érzést nem is annyira a klasszicizáló külső váltja ki. A franciából pontosan az hiányzik, ami nélkül Itáliában igazán barokk alkotás el sem képzelhető: az organikus renddé szervezett, a hullámzó felületek, a megmozgatott formák „lüktetésében" szinte élővé vált intérieur. A római S. Carlino, a S. Ivo alla Sapienza vagy a torinói S. Lorenzo barokk tér marad akkor is, ha minden járulékos, a stílusra jellemző díszét eltávolítjuk. A térforma, s nem a díszítés teszi barokká. A versailles-i kastély reprezentatív szalonjait viszont el sem lehet képzelni a felületek gazdag díszítése nélkül. Ha attól megfosztanánk, jellegtelenné válna, hatóerejének éppen a lényegét veszítené el. Itt a felületekre rárakódó díszítés a barokk, nem pedig a tér. S a párhuzam korántsem erőszakolt. Ha nem típusokat, hanem a stílus területi sajátosságait vizsgáljuk, nyugodtan vehetjük példaként az egyikről az egyházi, a másikról pedig a világi építészetet, hiszen az intérieurművészetben Itáliára a templombelső, Franciaországra a kastélyok térsora volt a legjellemzőbb.

A díszítés predominálása többnyire azt jelzi, hogy a stílusformák applikált jellegűek. Nem szükségszerűen odatartozó, szervező hatású elemek, hanem csak egyszerű, esetleg még ki is cserélhető kellékek. Utólag települnek rá a már készen álló, tőlük független felületre. A díszítmény és a díszítendő felület között a kapcsolat inkoherens. Hogy a francia barokk interieurökben ez az inkoherencia milyen fokú, azt a legjobban maguk az épületek bizonyítják. Aligha van olyan XIV. Lajos stílusú belső tér, melyet ne lehetne minden további nélkül átalakítani rokokóvá vagy klasszicizáló későbarokká.

Persze joggal lehet ellenérvként arra hivatkozni, hogy ez alól az itáliai barokk paloták tekintélyes része sem kivétel. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy Itáliában nem ez az általános. A templomok egész soránál, de jónéhány palotánál is a barokk nem valami felületdíszítő, applikált motívumrendszer, hanem a tér létét meghatározó, arról le nem választható térforma. Franciaországban viszont csak elvétve találunk néhány olyan példát, mint a Maisons-Laffitte, vagy a párizsi hôtel Lambert lépcsőtere, ám ezeknek a száma oly csekély, hogy kivételként inkább a szabályt erősítik.

A francia barokk különállása, az itáliaitól, ill. az itáliai építészetben megfogalmazott barokk normától való eltérése az intérieuröknél jelentkezik a legszembetűnőbben. Az eredmény azonban akkor sem lenne más, ha belső tér helyett a tömegalakítást, a homlokzatképzést, a kompozíciós módszert, vagy a tér építészeti szervezésének egyéb területeit vizsgálnánk. Minden esetben az derülne ki, hogy a franciák valami furcsa bizonytalansággal kezelték a barokkot. Elfogadták, de úgy, hogy sohasem tudták, vagy sohasem akarták teljesen megérteni. Valamilyen túlzó szabadosságot, a jólneveltséghez nem illő fegyelmezetlen magatartást láttak benne, az ösztönös szenvedély kissé komikusan ágáló, extravagáns megnyilvánulását. François Blondel még az olasz barokk legmértéktartóbb, Bernini-féle irányzatát sem tartotta elég komolynak. A római Szt. Péter térről azt írta a „Cours d'architecture"-ben, hogy oszlopok formátlan halmaza, melyből hiányzik a szemet gyönyörködtető rend (un amas informe de colonnes sans arrangement qui puisse donner satisfaction à la veüe). Megpróbálták kiszűrni belőle az idegennek érzett vonó-

sokat — a felfokozott mozgást, a szertelenséget, a váratlanságával meghökkentő színpadias pátoszt — s ami ezek után megmaradt, azt szigorú rendbe fogva szalonképessé fegyelmezték. Ehhez a munkához az elméleti alapot, a módszert a művészeti akadémiák szolgáltatták. S hogy ez mit jelentett, milyen következményekkel járt, arra a francia akadémiák története adja meg a választ.

A XVI. sz. közepén formálódott Ronsard és a Collège de Coqueret hírneves görög tanára, Jean Dorat körül a Pléiadenak nevezett költőcsoport. Tagjai rendszeresen összejártak Jean Antoine de Baïf házában, meghallgatták és megvitatták egymás verseit, s közben filozófiai, retorikai, nyelvészeti kérdésekről vitatkoztak. A Pléiade nem valami szervezett intézmény volt, hanem inkább ad hoc jellegű baráti társulás. Későbbi források mégis ezt tekintik az akadémiák ősének, s nem egészen alaptalanul, hiszen alig egy évtized múlva ebből a kezdeményezésből született meg az első „hivatalos" akadémia, az Académie de Poésie et de Musique.

Akadémia felállítását már évekkel előbb többen is szorgalmazták. Peter Ramus a „Proemium mathematicum" ajánlásában, a következő évben pedig, 1568-ban Philibert de l'Orme a „Premier tome de l'architecture" ajánlásában a firenzei neoplatonikus akadémia példájára hivatkoznak. Emlékeztetik Medici Katalint, hogy őse, Cosimo, a szabad filozófiai gondolkodás otthonát teremtette meg a villa Careggiben, s felszólítják, hogy királyi hatalmának súlyával ő is pártfogolja a tudományt és a művészeteket, s nagy elődjéhez hasonlóan alapítson akadémiákat. A felszólítás valószínűleg nem volt hatástalan. Minden bizonnyal közrejátszott abban, hogy IX. Károly, aki helyett gyakorlatilag anyja, Medici Katalin uralkodott, az 1570 novemberében kelt királyi pátenssel megalapította a költészet és zene akadémiáját.

A Pléiade munkásságából kibontakozó, szervezett formákat öltő intézmény jelentősebb volt, s tágabb hatókörű, mint amekkorára az elnevezés utal. Az alapszabály ugyan csak arra kötelezi az akadémiában tömörült zeneszerzőket, énekeseket és hangszeres zenészeket, hogy minden vasárnap kétórás előadást tartsanak a tagokból álló szűkebb körű hallgatóság előtt, a cél azonban ezzel nem a művészi élvezetet nyújtó szórakoztatás volt. A statutum bevezetője határozottan leszögezi: az akadémia azért alakult, hogy a hallgatókat hozzászoktassa, fölemelje a zenéhez, megtisztítsa őket az esetleg még bennük meghúzódó barbárságtól, hogy ezáltal képessé váljanak magasabb ismeretek megszerzésére. (Afin aussi que par ce moyen les esprits des Auditeurs accoustumez & dressez à la Musique . . . pour estre capables de plus haute connoissance, aprés qu'ils seront repurgez de ce qui pourroit leur rester de la barbarie, . . .) A pátenslevél is nagyon érdekesen indokolja az akadémia szükségességét. A régiek véleményére hivatkozva azt mondja, hogy egy város polgárainak erkölcseire nézve rendkívül fontos, hogy zenéjüket bizonyos törvények szabályozzák, mert az emberek nagy része szellemében ahhoz alkalmazkodik, annak megfelelően viselkedik, ugyanannyira, hogy ahol a zene rendezetlen, ott az erkölcs is züllésre hajlamos, ahol viszont a zene rendezett, ott az emberek is jól fegyelmezettek. (. . . il importe grandement pour les moeurs des Citoyens d'vne Ville que la Musique courante & vsitée au Pays soit retenuë sous certaines loix, dautant que la pluspart des esprits des hommes se conforment & comportent, selon qu'elle est; de façon que où la Musique est desordonnée, lá volontiers les moeurs sont déprauez, & oii elle est bien ordonnée, la sont les hommes bien moriginez.)

Az alapszabály bevezetője s a pátenslevél indoklása is arra utal, hogy a zenét itt egyetemesebb jelentésű, átfogó tannak tekintették, a firenzei neoplatonikusokhoz hasonlóan a dolgok, a létezés lényegét feltáró, a rend felismeréséhez elvezető harmónia tudományának. Az Académie de Poésie et de Musique tehát — nevével ellentétben — nem valami speciális területhez kötött, „szakosított" intézmény volt, hanem a reneszánsz értelmében véve általános érdeklődésű, a tudományt osztatlan egészként kezelő, a megismerés valamennyi ágát felölelő és művelő akadémia. Frances A. Yates a XVI. századi francia akadémiák történetét feldolgozó könyvében (The French Academies of the Sixteenth Century) részletesen tárgyalja ezt a problémát. Egy nyilvánvalóan jól tájékozott, a néhány évtizeddel korábbi viszonyokat még majdnem első kézből ismerő XVII. sz. eleji tudós, Marin Mersenne adataira támaszkodva bizonyítja, hogy az akadémián a költészet és a zene mellett természetfilozófiával, matematikával, festészettel, nyelvekkel, sőt még a testgyakorlás különböző fajtáit felölelő katonai diszciplínával is foglalkoztak. (The Academy was . . . an institution in which all subjects were studied, natural philosophy no less than poetry, mathematics as well as music, painting in addition to languages, even military discipline and gymnastics.)

Számunkra ebből most csak az a fontos, hogy az első francia akadémia — a szellemi fejlődés akkoriban majdnem törvényszerű menete szerint, de ezen túl a Medici-ház hagyományainak következtében is — közvetlenül az itáliai reneszánsz akadémiákhoz kapcsolódott, s szinte a későquattrocentóra emlékeztető tisztasággal az ott uralkodó neoplatonikus felfogást képviselte.

A század folyamán ez a firenzei quattrocentóra való ráhangoltság lényegében már nem változott. Igaz ugyan, hogy IX. Károly halála után a költészet és zene akadémiája látszólag feloszlott, s új intézmény váltotta fel, a III. Henrik idején működő Académie du Palais. Az új név mögött azonban személyi összetételében s szellemében is lényegében változatlanul a régi akadémia rejlik. Vallet de Viriville írja az „Histoire de l'instruction publique"-ben, hogy a Baïf akadémia (Jean Antoine de Baïf költő az első akadémia szervezője s vezéralakja volt, ezért gyakran az ő nevén említik) mintegy másfél évtizeden át teljes sikerrel működött, s üléseit hetenként kétszer vagy az alapító költőnél — a Baïf-házban, ahol az akadémia tulajdonképpeni székhelye volt — vagy a király Louvre-beli lakosztályában tartotta. (L'Académie de Baïf fonctionna effectivement avec un plein succès pendant une quinzaine d'années. Les assemblées se tenaient deux fois par semaine, tantôt chez le po;te fondateur, tantôt dans les appartements mème du roi, au Louvre, . . .) Mivel IX. Károly az akadémia felállítása után pár évvel, 1574-ben meghalt, a másfél évtizednek túlnyomó többsége III. Henrik idejére esik. A névváltozás így az akadémia szellemét, tényleges munkásságát nem nagyon érinthette. Az itáliai orientáció az Académie du Palaisban éppolyan meghatározó jelentőségű volt, mint „elődjének", az Académie de Poésie et de Musiquenek a működésében.

III. Henrik halálával a francia akadémiák fejlődésének első korszaka lezárult. Utódjának, IV. Henriknek sem műveltsége nem volt elég komoly, sem az érdeklődése eléggé intenzív ahhoz, hogy elődei pártfogó munkáját tovább vigye, de ezenkívül az ország meglehetősen zavaros politikai viszonyai sem kedveztek az ilyenfajta tevékenységnek. A nyolcvanas évek végén a Baïf akadémia megszűnt, s utána majdnem fél évszázadig nem is alakult újabb.

Az akadémiai mozgalom pangása a XVII. sz. harmincas éveinek a közepéig tartott. Ez a pár évtized Európaszerte a folytonos harcokban kirobbanó politikai és társadalmi feszültség időszaka. Harc folyik egyrészt a belső hatalom megszerzéséért a király és a nemesség, illetve a király és a parlament között, s ezzel egyidőben fokozódik az országok közötti hatalmi versengés is, mely Európa tekintélyes részét belesodorja a harmincéves háború zűrzavarába. Franciaországot ez inkább csak a határok mentén érinti, s korántsem dúlja fel annyira, mint pl. Németországot. A századvég polgárháborúi s a IV. Henrik meggyilkolását követő belső harcok után azonban már ez is bőven elég volt ahhoz, hogy a fejlődést tartósan elakassza. A nehézségekből Franciaország akkor kezd kilábalni, mikor — 1624-ben — XIII. Lajos erőskezű minisztere, Richelieu veszi át a kormányzást. Richelieu-nek alig tíz év leforgása alatt sikerült stabilizálnia a helyzetet annyira, hogy a politikai és gazdasági feladatok mellett ismét gondolni lehetett a tudományos élet szervezésére is. Ennek demonstratív eredménye a század első, s azóta is legtekintélyesebb akadémiájának, az Académie Françaisenek a felállítása. Ezt azonban időben megelőzi néhány fontos kezdeményezés, melyet nem lehet teljesen említés nélkül hagyni.

A tízes évek elején David de Flurance Rivault dolgozta ki egy akadémia tervezetét. Az akkori viszonyok között ez nem volt túl reális, így majdnem szükségszerű, hogy már a megvalósulás küszöbén kudarcba fulladt. 1612-ben ugyan megtartották az alakuló ülést, de ezzel az akadémia egész működése be is fejeződött, újabb ülésre sohasem került sor. Rivault tervét mégis számon kell tartani, mégpedig kettős ok miatt. Rivault egész gondolatvilága a reneszánsz neoplatonizmusában gyökerezett, s akkor, negyedszázaddal a Baïf akadémia megszünte után, még szinte személyes közelségből ismerte az első francia akadémiát. Tervét szinte úgy is felfoghatjuk, mint a reneszánsz akadémia feltámasztásának kísérletét. S mivel kortárs vélemények szerint az Académie Française szervezésekor erősen támaszkodtak a Rivault-féle tervre, ez egyben történeti folytonosságot biztosító kapcsot is teremt a XVI. és a XVII. sz. francia akadémiái között.

Hogy Rivault szándéka mennyire élő igényeket szolgált, azt más események is bizonyítják. Nem sokkal ő utána egy tudós minorita szerzetes, Marin Mersenne is megkísérelte, hogy újjáélessze a Baïf akadémiát. Elgondolását az 1623-ban kiadott „Questiones in Genesim" előszavában és ajánlásában fejtette ki. Ebből, de más műveiből, pl. az „Harmonie universelle"-ből is tisztán kiderül, hogy talán még Rivaultnál is erősebb szálak fűzik a reneszánszhoz. Számára a zene még mindig a tudományok összességéhez vezető utat jelentette, s akadémiai tervezetében — a régi idők nosztalgikus visszavágyásával — ennek juttatta a főszerepet.

A XVII. sz. elején azonban ez a szemlélet már túlhaladott volt. A reneszansz általánosító, spekulatív magyarázatát a tapasztalatra támaszkodó, kísérletező megfigyelés kezdte felváltani. A korábban osztatlanul egységes tudomány a kutatási terület sajátosságainak megfelelő, különálló ágakra bomlott, s ezzel a ténnyel az akadémiák szervezésénél is számolni kellett. A XVII. sz. nem enciklopedikus jellegű, a tudás valamennyi területét egységesen s egyszerre művelő akadémiákat kívánt, hanem szakosított intézményeket.

Richelieu, a reálpolitikus ezt ismerte fel, amikor 1635-ben — erősen leszűkített programmal — kizárólag a francia nyelv művelésére alapított akadémiát. Az Académie Française feladata az volt, hogy grammatikai kutatásokat végezzen, összegyűjtse és szótárba foglalva kiadja a francia szókincset, s kidolgozza

az irodalmi kompozíció szabályait. A munkaterület lehatárolása, a „szakositás" azonban nem azt jelenti, hogy szakítottak a múlttal. S az előzmények után ez szinte természetes. Ha a múlt varázsa akkora volt, hogy vágyott példaként a kor legjobbjainak gondolataiban folyton felmerült, akkor érthető, hogy most, a többszöri kísérlet után végre megvalósult akadémiában az átmentett örökség is helyet kapott. Rivault és Mersenne tervében egyébként csak az enciklopedikus teljesség igénye volt a korszerűtlen, nem pedig a szándék, hogy a szervezett tudományos munkát ott folytassák, ahol a kedvezőtlen körülmények miatt jó négy évtizeddel azelőtt kénytelenek voltak abbahagyni. Richelieu akadémiája működésében, szervezeti felépítésében, sőt még a külsőségekben is tudatosan vállalta a XVI. századi francia akadémiák jogutódjának a szerepét, s hangsúlyozta a folytonosságot. Szemléletesen bizonyítja ezt egy különben jelentéktelen kis epizód. Amikor Krisztina svéd királynő meglátogatta az akadémiát, azon tanakodtak, vajon állva kell-e majd fogadniuk. A döntésnél hagyományra hivatkoztak, mondván, Ronsard idején sem volt szokás, hogy a király látogatásakor a tagok felálljanak. A Pléiadeot s a Baïf akadémiát úgy említették, mintha az az Académie Française történetének egy korábbi szakasza lenne. S ez nem valami üres formalitás volt. A hivatkozás jogát az akadémia egész szelleme indokolta.

Az elkötelezettség a reneszánsz felé még tovább erősödött 1648-tól kezdve, miután az Académie Royale de Peinture et de Sculpture megalakult. A művészetek akadémiája a konzervatív szellem térhódításának ösztönzője volt. S nem csupán a kor szemléletmódjának általános beállítottsága változtatta azzá. Hozzájárultak egyéb tényezők is. A képzőművészetben, különösen a festészetben a franciáknak nem volt számottevő XVI. századi hagyománya. Pár évtizeddel később a „Des principes de l'architecture,..." harmadik könyvében André Felibien azt írta — az elért eredmények után visszatekintve a kezdés idejére —, hogy a francia természetnek jobban megfelelt a háborús mesterség, mint a művészetek tanulmányozása, úgyannyira, hogy szinte már az is kérdéses volt, vajon egyáltalán képesek-e a festészetet azon a szinten gyakorolni, mint a többi népek. (...le naturel des François estant plustost porté au mestier de la guerre qu'á l'estude des Arts, on ait eu sujet de douter qu'ils pussent s'appliquer assez dans celuy de la Peinture pour y exceller comme ont fait d'autres nations.) Hazai példa híján kénytelenek voltak idegen mintákhoz fordulni, s a mintát természetesen a művészet akkor vitathatatlan érvényű központjából, Rómából kölcsönözték. Ám a római művészet eredményeiből nem mindent fogadtak el. Csupán azt vették át, ami megfelelt a francia szemléletnek, s ráadásul éppen jellegénél fogva viszonylag könnyen megtanulható, „importálható" volt: a Carracci iskola modorosan hűvös stílusát, s hozzá teoretikus alapként Bellori pedáns elméletét. Azt az elméletet, mely a klasszikus tisztaság nevében korának vélt túlzásai ellen hadakozott, s a fejlődés útját a reneszánsz nagy mestereihez való visszatérésben jelölte meg.

A választást nem csak a szemléletbeli rokonság, az Académie Française fennállása óta szinte kötelező akadémiai szellem motiválta. Nem kis mértékben hozzájárult az is, hogy a franciák Rómában élő ünnepelt festője, Poussin ennek az irányzatnak vezéralakja volt. Amikor tehát a franciák immár hivatalosan is hozzá zárkóztak fel, kissé úgy érezték, hogy benne a saját tradícióikhoz csatlakoznak. De nem is annyira a kiváltó ok a fontos, hanem inkább ennek a következménye. Az, hogy ezután már akarva sem lehetett eltérni attól a vonaltól, melyet az általános felfogáson túl s az Académie Française után egy újabb

intézmény tekintélye is szentesített. A későbbiekben a változás már jóformán csak mennyiségi volt. A feladatkör bővülése, az ezzel együtt járó differenciálódás a szemléletmódot alig érintette. Az akadémiák alapításának fénykorában, a század hatvanas éveiben a reneszánsz közvetlen, vagy csak rejtve érvényesülő, áttételesen ható befolyása inkább fokozódott, semhogy csökkent volna.

Mazarin halála után, 1661-ben XIV. Lajos megkezdte a korlátlan királyi hatalmon alapuló abszolút monarchia kiépítését. Szándékának valóraváltásához zseniális segítőt talált a főintendáns, Colbert személyében. Colbert a gazdaság egész rendszerének átszervezésével, a kereskedelem reformjával, manufaktúrák létesítésével, s nem utolsósorban új akadémiák felállításával szolgálta a királyi tervet. Egy évtized leforgása alatt a korábbi két akadémiához további öt társult: 1661-ben az Académie de Danse, 1663-ban az Académie des Inscriptions et Belles Lettres, 1666-ban az Académie des Sciences, 1669-ben az Académie Royale de Musique, s végül 1671-ben az Académie Royale d'Architecture. Ezzel, valamint a két régebbi akadémia átszervezésével Colbert elérte azt, amire egész politikájával törekedett. A központi hatalom egy irányú rendjébe besorolta az alkotómunka viszonylag független területeit, a tudományt és a művészetet is. S a besorolás itt nem valami adminisztratív intézkedést jelent.

Központosított monarchiában a hatalom hierarchiája az egyes intézmények szerepét szükségszerűen a közvetítésre korlátozza. A királyi akarat végrehajtói, még akkor is, ha ez csupán a felszín mögött, rejtve, a működési elvként lerögzített szabályok betartásában érvényesül. A közvetítés feladatát aztán annál teljesebben látják el, az irányítás központossága annál hatékonyabb, minél tágabb a terület, mely fölött rendelkeznek, s minél precízebben, személytelen elvontságuk miatt minél inkább az engedelmes végrehajtásra ösztönzőek azok a szabályok, mely szerint dolgoznak. Akadémiákra vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy a központosított monarchia szolgálatában egy akadémia működése akkor valóban „hasznos", ha munkaterülete egyetemes, szemlélete pedig — a szó értékelő értelmében véve — akadémikus. Már egyedül ez elég lenne ahhoz, hogy a Colbert alapította akadémiákat a késő reneszánszhoz rokonítsa. S ha ehhez még hozzávesszük az akadémiai gondolat fejlődésének általános irányát, továbbá azt, hogy a dinasztikus formával ab ovo együtt jár a hagyományőrző magatartás, akkor érthető, hogy a Colbert kori akadémiákban még az addigiaknál is határozottabban rajzolódnak ki a reneszánszra utaló vonások.

Közülük kettő, az Académie de Danse és a nyolc évvel később felállított Académie Royale de Musique valójában inkább gyakorlati intézmény volt, s nem tudományos testület. Az elsőt — talán kissé ironikusan — de akár még tánciskolának is nevezhetnénk, hiszen a tánctanítás tényleg az egyik központi feladata volt, s programja szerint is mindenekelőtt azért alakult, hogy a IV. Henrik korában és a Fronde idején „lezüllött" tánckultúrát, a társasági élet nyers darabosságát az új idők igényeihez illővé finomítsa. A zene akadémiájának komolyan hangzó neve mögött pedig „csupán" a királyi opera társulata húzódott meg. A két intézmény körül kibontakozó vitában azonban még így is sűrűn találkozunk a zene, a harmónia egyetemes jellegét valló reneszánsz érveléssel, sőt nem egyszer a Baïf akadémiára s Mersennere való hivatkozással is.

Az Académie des Inscriptions et Belles Lettres volt az új akadémiák sorában az első, mely a központossá szervezett tudományos munka colberti rendjébe maradéktalanul beleillett. Nem lehet véletlen, hogy éppen ez az arisztokratikusan szűkkörű, egész működésével a XVI. századot idéző testület vált Colbert dédelgetett kedvencévé. Az Académie des Inscriptions szinte csak abban külön-

bözik reneszánsz elődjeitől, hogy feladata meghatározottabb. Érmekhez, a Tapisseries du Roi szőnyegkartonjaihoz keresett a királyt dicsőítő mitológiai témákat, tanácsot adott Versailles díszítéséhez, részt vett az udvari ünnepségek programjának kidolgozásában, vagyis általában olyan kötelezettségei voltak, mint a reneszánsz fejedelmi udvarok történelemben jártas humanistáinak.

A colberti elképzelésnek a legjobban az Académie de Sciences felelt volna meg. Szándéka eredetileg az volt, hogy a tudomány és az irodalom egész területét enciklopedikusan átfogó akadémiát szervez, hasonlót ahhoz, mint amilyet a század elején a reneszánszhoz még élő hagyományként visszanyúló Mersenne tervezett. Majdnem törvényszerű, hogy ez a nagyszabású, a központosított monarchia érdekeihez illő, de akkor már anakronisztikus, a szakosodást gátló, a tudomány fejlődésének ellentmondó terv csak töredékesen valósulhatott meg. Az akadémiában végül csak a természettudományok kaptak helyet. Mégis alapvetően fontos tényként kell kezelnünk, mert a szándék itt a XVI. századi akadémiák gondolatának elevenségét bizonyítja.

Ezek után majdnem természetes, hogy a barokk akadémiák sorát lezáró, 1671-ben alapított Académie Royale d'Architecture sem képviselhetett más, a többiekétől eltérő, korszerűbb szellemet. Egész munkássága a múltban gyökerezett, s lényegében véve kimerült Vitruvius és néhány preferált XVI. századi teoretikus, elsősorban Palladio és Vignola munkáinak aprólékos magyarázatában. Mindenekelőtt az oszloprendeket tanulmányozták, annak tökéletes arányrendszerét próbálták meg felállítani. Ez már korábban is a francia építészeti teória egyik központi problémája volt. 1645-ben jelent meg Le Muet kommentált Palladio fordítása (Traité de cinq ordres d' architecture dont se sont servis des anciens, traduit de Palladio...), 1650-ben pedig Fréart de Chambray könyve (Parallèle de l'architecture antique avec la moderne, avec un recueil des dix principaux autheurs qui ont écrit des cinq Ordres,...), mely az oszloprendeket tárgyaló tíz legnevesebb szerző — köztük Palladio, Vignola, Scamozzi, Serlio, Bullant, de l'Orme — munkáiból ad válogatást.

A hetvenes évektől kezdve, miután az építészeti akadémia megkezdte a munkát — a hasonló témájú művek megsokszorozódtak. 1673-ban Perrault Vitruvius fordítása jelent meg (Dix livres d'architecture de Vitruve, corrigés et traduits nouvellement en français), 1674-ben ugyancsak tőle egy rövidített Vitruvius (Abrégé des dix livres de Vitruve), 1675-től folyamatosan az akadémia igazgatójának, François Blondelnak az előadásai (Cours d'architecture), 1676-ban az Académie de Sciences titkárának, Félibiennek az építészet, szobrászat és festészet alapelveit tárgyaló könyve (Des principes de l'architecture, de la sculpture, de la peinture et des autres arts qui en dépendent), 1683-ban Pérraulttól az öt oszloprendet tárgyaló új munka (Ordonnance des cinq ordres des colonnes), 1691-ben Aviler Vignola kommentárja (Cours d'architecture), s ezek mind az oszloprendekkel foglalkoznak. A francia építészet neves kutatója, Hautecoeur írja az „Histoire de l'architecture classique en France" egyik kötetében, hogy ennek a kornak valamennyi építészetelméleti műve az oszloprendeket tárgyaló tanulmány, még akkor is, ha valamilyen más címet visel. (...tous les traités d'architecture de cette époque, même lorsqu'ils n'en portent pas le titre, sont des traités des ordres.)

Ez a jelenség önmagában véve kissé meghökkentő. Úgy néz ki, mintha az építészeti akadémia valamilyen steril, a valóságtól elszigetelődött testület lett volna, melynek tagjai skolasztikusan meddő vitákat folytattak nem túlságosan fontos, a gyakorlat számára majdnem teljesen közömbös elvi kérdésekről.

Ám éppen ezért kellett a többi akadémia keletkezésének történetét is röviden áttekinteni. Azokkal egybevetve nyilvánvaló, hogy itt korántsem az építészeti teória valamilyenfajta elszigetelődéséről van szó. (Ennek egyébként is ellentmondana az, hogy az akadémia komolyan s nagyon hatékonyan foglalkozott gyakorlati problémákkal — többek között megszervezte az egységes építészképzést — s ezeket a feladatait a maga idején a legkorszerűbben látta el.) A gyakorlattól látszólag merőben független, spekulatív „teoretizálás" a XVII. sz. végének sajátos francia viszonyai között a tovább élő reneszánsz öröksége volt, s pontosan megfelelt annak az általános, a század eleje óta mindig jelentkező, a kor által igényelt felfogásnak, melyet a maguk területén a többi akadémiák is képviseltek.

Az oszloprendekkel való foglalkozás nem meddő kérődzés volt a régiek tanításain. Az oszlopban az épület lényeges, bizonyos szempontból a legfontosabb alkotóelemét látták. Blondel szerint ez az épület rendjének legnemesebb része (la plus noble partie de l'ordonnance du bâtiment), s Perrault is azt mondja, hogy a nagy épületek teljes méltóságát s minden díszét ezek adják meg (ils font tout l'ornement et toute la majesté des grands édifices). Az oszloprend számukra a megtestesült arányt jelentette, s amikor tanulmányozták, összehasonlították és elemezték a régi mesterek adatait és az antik emlékekről készült felmérési rajzokat, akkor hitük szerint az arányokkal foglalkoztak, mégpedig azzal a határozott céllal, hogy végül eljussanak a tökéletes, minden részletében logikus, egyetemes érvényű arányok racionális rendszeréhez. Matematikai összefüggések feltárására, az evidencia erejével ható törvények felismerésére törekedtek. S ez éppen nem retrográd igény. Jól egybevág a XVII. századi gondolkodás fejlődésének fő irányával.

A raison százada fenntartás nélkül hitt az emberi értelem mindent lebíró erejében. A kor legnagyobb természettudósa, Galilei az egész világegyetemet a matematika nyelvén írt hatalmas könyvhöz hasonlította, s azt mondta, hogy az ember ezt olvasni tudja, ha irásának „betűit" ismeri. (La filosofia è scritta in quel grandissimo libro che continuamente ci sta aperto innanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere, se prima non s'impara a intender la lingua e conoscer i caratteri ne'quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica,...) A kor szilárdan tartotta magát ehhez az alapelvhez. A matematika, a geometria, az asztronómia és a fizika felfedezéseinek egész sora győzte meg arról, hogy a megismerésben el lehet jutni a mérhető bizonyosságokig. A példa csábító volt, úgyannyira, hogy a természettudományban bevált kutatási módszert kezdték, vagy legalábbis akarták alkalmazni mindenütt, mert ettől hasonlóan egzakt, szinte kvantitatív eredményt reméltek. Ennek viszont szükségszerű következménye, illetve a továbblépés elkerülhetetlen feltétele volt, hogy az addig felhalmozott, az elődöktől átvett teljes tudásanyagot át kellett vizsgálni, kiszűrni belőle azt, ami helytálló, hogy az így leellenőrzött s újra definiált ismeretalapra egy a korábbinál teljesebb magyarázatot lehessen ráépíteni.

Az építészek is ezért foglalkoztak olyan behatóan a régi teoretikusokkal, s ezért jelentek meg olyan bőségben a kommentált újrakiadások. Nem véletlen, hogy Félibien „Des principes de l'architecture..." c. művében Perrault Vitruvius fordításáról írva éppen azt emeli ki, hogy annyi sok tudós hasztalan kísérlete után csak most — Perrault magyarázatában — váltak világossá és könnyen érthetővé az addig nehéznek, áttekinthetetlenül homályosnak tűnő részletek. (...que tant de sçavans hommes avoient tâché d'expliquer, mais que M. Perrault seul a rendu clair & facile dans tous les endroits où jusques à present l'on ne

voyoit que des difficultez, & une obscurité impenetrable.) Az oszloprendekről folytatott, sokszor valóban a szőrszálhasogatásig aprólékos vitákat is ez indokolta.

Az építészetben az objektíve mérhető, számszerű összefüggésekbe foglalható, egyetemes érvényű törvények felismerésére, tehát a kutatás korszerű elveinek érvényesítésére mindenekelőtt az arányok elemzésében nyílt lehetőség. S ez majdnem szükségszerűen vezetett az oszloprendek tanulmányozásához. Az architectura ugyanis az egész történeti időszakban elképzelhetetlen volt a létéhez feltétlenül hozzá tartozó architektonikus alapelemek — az oszloprendek — nélkül. Az oszloprendet viszont döntően a részek törvényszerű kapcsolatában jelentkező arányok rendje határozza meg. Nem a méret, hanem az ettől merőben független elvont viszony a legfőbb jellemzője. Így aztán érthető, hogy abban a korban, amikor a „matematika nyelvén írt valóság" nyelvének a megismerése szinte fontosabb volt, mint maguknak az egyedi, konkrét dolgoknak az ismerete, akkor a figyelem az építészetben is mindenekelőtt erre összpontosult.

Az aránytan azonban, bár más indítékkal, de már a reneszánsz idején is az érdeklődés homlokterében állt. A firenzei quattrocento neoplatonikus gondolkodóitól kezdve Palladióig nemzedékek sora fáradozott azon, hogy az arányok teljessé záruló, önmagában véve indokolt, harmonikus, tiszta rendszerét kidolgozza. Az itáliai reneszánsz teória ebben elérte azt a befejezettséget, melyet később a részletekben ugyan még lehetett finomítani, de csak a rendszer egészének meghatározott keretein belül. S a francia építészeti teóriát ez elég sajátságos helyzetbe hozta.

Amikor a teoretikusok a formálódó nemzeti öntudat hatására, a colberti tudományszervező elképzeléseknek s a divatnak engedve, és a francia akadémiák fejlődésének hagyományos vonalához igazodva a francia kultúra nagy korszakához, Ronsad korához nyúltak vissza, ott a saját törekvéseikkel adekvát, „korszerű" gondolatokkal találkoztak. A XVI. sz. végén ugyanis — és ez főként Philibert de l'Orme érdeme — az itáliai teória eredményei ismertté váltak Franciaországban is. Más területeken, a tudományban, a filozófiában, az irodalomban az alapokat kellett újrateremteni, s ez megkövetelte a reneszánsz örökség szelektív kritikáját. Az építészet viszont majdnem minden változtatás nélkül, szinte egészében átvehette a reneszánsz elméletet. A régiek tanulmányozása arról győzte meg, hogy Palladio, Scamozzi, Vignola, Serlio és Alberti műveiben (ez a francia akadémia által elfogadott „hivatalos" fontossági sorrend) minden lényeges problémára választ, de legalábbis a megoldás irányát kijelölő útmutatást kaphat.

Az eredmények átvétele persze nem volt teljesen mechanikus. A XVII. században a reneszánsz komponálás elveit már nem lehetett olyan következetes szigorral alkalmazni, mint keletkezésük idején. A barokk kompozíció „teátrális", minden esetben hatni akar, ezért a formát kettős korrelációban fogja fel, nemcsak a saját környezetéhez, hanem a nézőhöz is viszonyítja, s a tapasztalatból kiindulva a feltáruló látvány igényei szerint alakít. Ezzel a francia teoretikusok is számoltak. Blondel pl. a Cours d'architectureben azt tanácsolja, hogy az archivolt félkörét kissé meg kell emelni, ha azt akarjuk, hogy tiszta félkörnek látsszon, mert a vállpárkány vagy az oszlopfő abakuszának a kiülése az ívláb alsó részét eltakarja. Az építészet összképét azonban nem az ilyenféle megnyilatkozásokból fakadó újítás határozza meg, hanem a reneszánsz elvi álláspontjának tudatos vállalása. S ezen nem sokat változtat az sem, hogy a hagyományok megítélésében az akadémia álláspontja nem volt egységes.

Két szembenálló csoport alakult ki. Az „Histoire de l'architecture classique en France"-ban Hautecoeur azt mondja, hogy a két csoport között az ellentét a szabad vizsgálódás és a tekintélytisztelet, a relatív és az abszolút, a szerzett és az emberrel veleszületett eszmék, a tapasztalaton alapuló szenzualizmus és a racionalizmus ellentéte. (Ce conflit est celui de l'esprit de libre examen contre l'esprit de l'authorité, du relatif contre l'absolu, des idées acquises contre les idées innées, du sensualisme empirique contre le rationalisme.) Az egyik előre, a XVIII. századra utal, a másik visszafelé, a XVI. századhoz kötődik. A két irányzat vezéralakja Claude Perrault és François Blondel volt. A haladást képviselő Perrault az alkotói szabadságot, az önálló gondolkodás jogát védelmezi. A „Parallèle des anciens et des modernes"-ben írja, hogy a régiektől ugyan merítsünk inspirációt, de ne alkalmazkodjunk hozzájuk, tanuljunk meg tőlük helyesen gondolkodni, anélkül, hogy használnánk a gondolataikat (...je veux que l'esprit des anciens nous inspire, mais je ne veux pas que nous prenions le leur; je veux qu'ils m'aprennent à bien penser, mais je n'aime pas à me servir de leurs pensées). Ellenfele, Blondel pedig kissé túljátszott szerénységgel azt mondja a „Cours d'architecture"-ben, hogy mivel állandóan kételkedik önmagában, biztosabbnak érzi, ha a régi és a modern — vagyis a reneszánsz — nagy mesterek érveire és gyakorlatára támaszkodhat, a különcködő vélemény örömét meghagyja azoknak, akiket a zsenialitás ereje a hétköznapok szintje fölé emelt (...pour moi qui suis dans une perpétuelle déffiance de moy-même, je me trouve plus assuré de me confirmer aux raisonnements et aux pratiques de plus grands maîtres anciens et modernes, laissant à d'autres qui se sont, par la force de leur génie, élevés au-dessus du vulgaire le plaisir qu'ils ont de la singularité de leurs opinions,..).

Az ellentét azonban, bár alapvető felfogásbeli különbségnek tűnik, valójában csak a részletekre szorítkozik, s a lényeget alig érinti. A vita arról folyt, hogy lehet-e a klasszikus formákat, az architektúra örök elemeit kissé szabadabban kezelni, vagy mindenben ragaszkodni kell a régi mesterektől — s egyedül csak onnan — megtanulható szabályokhoz. Az problémaként soha fel sem merült, hogy az egyéni formálásban, a tömeg expresszív alakításában, a téregységek organikus összefogásában el lehet-e menni odáig, mint ameddig pl. Borromini vagy Guarini elment. Az ilyen „túlzások" elítélésében teljes volt a nézetazonosság. Fréart de Chambray írta még a század közepén a „Parallèle de l'architecture antique avec la moderne"-ben, hogy az építész tehetségét a mű általános elrendezéséből kell megítélni, nem a részletekből. (Ce n'est pas dans le détail des parties qu'on voit le talent d'un architecte; il le faut juger à la distribution générale de son oeuvre.) Ez valójában annyit jelent, hogy a részek kapcsolatában megjelenő elvont rend — az arány, a viszony — fontosabb, mint az arányított, a viszonyuló részlet. Ebben véleménykülönbség nélkül mindenki egyetértett, sőt evidens volta miatt soha nem is vitatott alapelvként az akadémia minden tagja elfogadta. Ez pedig a lehető legtisztább reneszánsz elv, Albertitől Palladióig vagy Serlióig bármelyik itáliai teoretikus szó szerint ugyanígy megfogalmazhatta volna. Az alapkérdésekben a francia akadémia álláspontja a XVI. századéval azonos volt, s ez a francia barokk egész fejlődését döntően befolyásolta.

Ez talán az első pillanatban kissé eltúlzott kijelentésnek tűnhet, hiszen a XVII. században az akadémiák szerepe, a teória befolyása korántsem volt olyan meghatározó erejű, mint egy évszázaddal korábban. Éppen az itáliai példa bizonyítja, hogy az akadémiák megmerevedett elveivel szemben, a teóriától függet-

lenül a művészi gyakorlat mennyire a saját útját járta. Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a francia építészeti akadémia királyi intézmény volt, és mint ilyen — az abszolút monarchia viszonyai között — az építészet egészét átfogó felügyeleti joggal rendelkezett. Hautecoeur írja, hogy az Académie Royale d'Architecture a központi hatalom tekintélyes szerveként uralkodott az építészek, a hallgatók, a vállalkozók és a királyi építkezések fölött mind a vidéken, mind a városokban. (L'Académie régne sur les architectes, sur les étudiants, sur les entrepreneurs, sur les bâtiments du Roi, des provinces, des villes. Elle est un instrument puissant au service du pouvoir centrale.) Franciaországban nagyobb szabású, jelentős alkotás csak az akadémia jóváhagyásával épülhetett, s ez tulajdonképpen már 1671 előtt is így volt, hiszen az akadémia elődje, a Surintendance des Bâtiments lényegében hasonló hatáskörrel és feladattal már a század közepe óta működött.

A hivatalossá szigorított, a központi hatalom súlyával az építészekre — akár tetszésük ellenére is — rákényszerített reneszánsz szemlélet erősen visszafogta a barokk kibontakozását, s éppen akkor, amikor Itáliában az új stílus legnagyszerűbb alkotásai keletkeztek. A korszellemet azonban soha nem lehet teljesen elfojtani, különösen kényszerrel, hivatalosan nem.

A kor gondolkodásmódját, magatartását, igényeit meghatározó, a világképben körvonalazódott objektív tényezők hatnak akkor is, ha a társadalmi fejlődés, a politikai és gazdasági viszonyok sajátos adottságai az érvényesülését korlátozzák. Ha másként nem tudnak, akkor kerülő utakon törnek felszínre, s ott jelentkeznek, ahol erre a — meggyőződésből vagy megalkuvásból — programszerűen vállalt „korszerűtlenség" lehetőséget ad. Ez volt a helyzet a XVII. sz. második felének francia építészetében is. A barokk ott tört fel, ahol a másfajta viszonyok között és más igényekre kidolgozott reneszánsz teóriában — vagy ami ezzel majdnem egyet jelent, az akadémiai elvek rendszerében — valami „rés" maradt. Elsősorban tehát azokon a területeken, melyeket a reneszánsz nem művelt ki, mert érdeklődési körén kívül esett, vagy pedig olyan határterületen, ahol a barokk mérsékelt jelentkezését a reneszánsz elvek betartása még nem zárta ki.

Ezt már egyedül az is bizonyítja, hogy a stílus általános sajátosságától eltérően a francia barokkban a tömegformának elsődleges, a területi jellemvonásokat döntően megszabó fontossága van. Az itáliai barokk megértéséhez tipikus példaként mindenképpen valamelyik templom térrendszerét, tehát az intérieurt kell választani. Az épület ott — a hatás jellegét tekintve — belülről kifelé szerveződik. A plasztikusan formált külsőnek inkább csak közvetítő szerepe van. A szerves átmenetet teremti meg a lehatárolt intérieur és a lehatárolatlan külső tér között, s szerepe úgyannyira alárendelt, hogy sokszor, és éppen a legsajátosabban barokk alkotásoknál, pl. a római S. Ivo alla Sapienzánál vagy a torinói capella della Sta. Sindonénál önálló, hangsúlyos hatótényezőként nem is jelentkezik.

A francia barokkban éppen fordítva van. A kor építészetét reprezentáló tipikus alkotás, a kastély mindenekelőtt tömegével hat, kívülről befelé szervezett, a legteljesebben külső nézetéből érvényesül. Nem a belső terek rendje vetül ki a külsőbe, hanem pont fordítva, a saját szabályai szerint felépülő tömegben kapnak helyet a terek. A tengelyt jelölő avant-corps, a sarkokat lezáró pavilonok, a cour d'honneurt körülfogó szárnyak rendje szabja meg, hogy a belsőben mi hová kerülhet. S ez a külsőt szervező rend a cinquecento itáliai építészetében kiművelt kompozíciós renddel lényegében véve azonos: különböző rangú, de

elvileg egymástól függetleníthető, különálló egységekként kezelt — egyszerű vagy összetett — elemek mérsékelten szubordinatív kapcsolása. Kitűnő példa rá François Mansart ismert kastélya, a château de Maisons. Ha a kastély kertre néző (a cour d'honneurrel ellentétes) oldalát kissé tüzetesebben megfigyeljük, lehetetlen észre nem venni a felépítés additív jellegét, az „összerakottságot".

A tengelyt a francia építészet hagyományossá vált, a reneszánsztól átvett megoldása szerint avant-corps hangsúlyozza. S hogy ez mennyire önálló egységként felfogott homlokzat-, illetve tömegelem, azt egyedül már az is bizonyítja, hogy Philibert de l'Orme Anet-i kastélyától kezdve századokon át a legkülönbözőbb épületeken — nem egyszer templomon is — majdnem változatlan formában kaphatott helyet. Az avant-corpshoz kétoldalról egyaxisos részek csatlakoznak úgy, hogy ez a három „elem" együtt ismét teljes, a kiemelt tetővel is összefogott architektonikus egységgé, pavilonná zárul. A középpavilont különkülön is szimmetrikus, a tetőablakkal s a falfülkékkel „központosított" kétaxisos szakaszok bővítik tovább olyan „befejezett" épületté, mely az oldalszárnyak nélkül talán még kiegyensúlyozottabb hatást keltene, mint azokkal együtt. S ehhez a többszörösen bővített központi tömeghez úgy csatlakoznak a sarokpavilonok, hogy azokat az önmagukban véve szintén szimmetrikus felépítés miatt elfogadhatnánk egyedülálló kis villákként is. A kompozíció tehát végeredményében additív, csak az addíció itt nem az elemek egyszerű sorolásában jelentkezik, hanem az azonos értékű, de különböző nagyságrendű, különböző rangú részek szuperponálásában.

Ha ehhez a kompozíciós módszerhez az itáliai művészetben keresünk analógiát, egészen a XV—XVI. sz. fordulójáig, Leonardo és Bramante koráig kell visszamennünk. A koracinquecento nagy mestereire jellemző az alkotásnak ez a „koncentrikusan" táguló, egyre újabb egységek „hozzáadásával" történő építése. A barokk alapvető kritériuma, hogy az „egészet" is mindig valamilyen átfogóbb rendszer részeként alakítja. A château de Maisonsnál viszont minden egyes rész a saját maga szintjén a teljes egész igényével lép fel, s ez tipikusan a XVI. sz. első felére utaló reneszánsz tulajdonság. Példaként Bramante S. Pietro tervét, Sangallotól a római pal. Farnesét, vagy akár Leonardo Utolsó vacsorájának képfelépítését is lehetne idézni. Az a mód, ahogy az Utolsó vacsorán az apostolok hármas csoportjai társulnak Krisztus központi alakjához, ahogy a S. Pietro Bramante féle tervén a külső térgyűrű, majd a sarokterek görögkeresztjei kapcsolódnak a főtér görögkereszt alaprajzú rendszeréhez, vagy ahogy a pal. Farnese együttese az udvarból, mint centrumból kiindulva fokozatos „tágulással" fűződik rá a tengelyre, az a kompozíció elveit tekintve lényegében azonos azzal a komponálásmóddal, melyet François Mansart is alkalmazott.

Fel lehetne hozni persze ellenérvként, hogy Mansart a francia építészetben a barokknak még a korai, a reneszánszhoz időben és felfogásban is közelebb álló szakaszát képviseli, és hogy az akadémia csak halála után öt évvel alakult meg, az ő munkája tehát az akadémiai elvek hatásának illusztrálására nem alkalmas. Az előbbiekben azonban már szó volt arról, hogy az építészeti akadémia felállítása nem valami gyökeres fordulatot jelentett. A meglevő állapotokat szentesítette, a már korábban is ható „szellemi tartalomnak" adott intézményessé szervezett keretet. Mansart munkáiban tehát ugyanaz a szellem érvényesült, mint később az akadémián, ugyanazokat a klasszikusoktól átvett szabályokat tisztelte, melyek az akadémia tagjainak elvi magatartását is megszabták. Működésének időpontja sem túl korai, még francia viszonylatban sem, hiszen a colberti reformok egy tekintélyes része már megvalósult, amikor 1666-ban meghalt.

S ha arra gondolunk, hogy a château de Maisons építése időben egybeesik a római S. Ivo alla Sapienza építésével (mind a kettő 1642-ben kezdődött), s Borromini akkorra már felépítette a S. Carlino csodálatosan szép kis belső terét, akkor a reneszánsz „közelsége" is más színezetet és más értelmet kap.

Mansart kastélyát nem a „koraisága", nem az itáliai és a francia barokk között jelentkező fáziseltolódás rokonítja a reneszánszhoz, hanem a francia művészetre akkor és azután is alapvetően jellemző „konzervatív" szellem. Az additív jellegű komponálást, az egészen belül a részek tiszta szétválaszthatóságának megőrzését itt annyira fontos, meg nem kerülhető követelménynek tartották, hogy még a felület tagozása is ehhez igazodott. A francia építészek még az olyan, az itáliai későreneszánszban általánosan használt megoldástól is idegenkedtek, mint az emeleteket átfogó nagyoszloprend alkalmazása, mert ez bizonytalanná oldja a formák közötti kapcsolatot, s megszünteti a részek önállóságát. Ha viszont a felülettagozásban, a homlokzatképzésben még az itáliai reneszánsz késői mestereinél, pl. a tudatos formálás normájaként tisztelt Palladiónál is szigorúbbak voltak, akkor semmi meglepő nincs abban, hogy a tömeget, a külsőt az előbb vázolt módon kezelik.

A francia építészet egyik jellemzően „barokk" megoldása, az alaprajzában is megmozgatott, változatos sziluettet adó bontott tömegforma tehát nem áll ellentétben a reneszánsz elvekkel. Nem tagadja, hanem továbbfejleszti, térbeliesíti azokat az arányszabályokat, melyeket a reneszánsz sokkal elvontabban, spekulatívabb módon, inkább csak a síkra vonatkoztatva, felülettagoló elvként alkalmazott. Az egymáshoz viszonyuló tömegformákban szinte „anyagiasítja", érzékivé konkretizálja, közvetlenül is tapasztalhatóvá változtatja az addig inkább spekulatív számviszonyként létező arányrendszert. A francia fejlődés sajátos adottságai között azért alakult, ill. alakulhatott ki, mert latens lehetőségként a reneszánsz teóriában ab ovo benne rejlett.

A másik jelentős munkaterület, ahol a barokk látszólag szabadon bontakozhatott ki, az intérieur. A francia mesterek itt követték a leghajlékonyabban a stílus változását. Ahogy a formálás az itáliai barokkban Berninitől kezdve Borrominin és Guarinin keresztül Vittonéig egyre oldottabbá, egyénibbé, dekoratívabbá vált, úgy váltott át a francia intérieur-művészetben is az ünnepélyes XIV. Lajos stílus előbb a régenceba, majd a játékosan könnyed, szeszélyes rokokóba. A stílusváltásnak azonban van egy érdekes, a barokkban különösen szokatlannak tűnő ellentmondása. Az, hogy az intérieurre korlátozódik, s a tömegalakítást, a homlokzatképzést, általában a külső architektúrát alig érinti. Mintha az építészek az intérieurben akarták volna kárpótolni magukat azért, amivel a külsőben meg kellett alkudniuk.

A magyarázat elég kézenfekvő, a francia fejlődés vázolt menetéből majdnem szükségszerűen következik. A kor francia építészetét az akadémia által közvetített, ill. az akadémia megalakulása előtt a teoretikus munkákban közzétett, kommentárokkal ellátott reneszánsz teória irányította. A reneszánsz teória viszont a belsővel, mint térrel nem nagyon foglalkozott. A teret térvolumenként vizsgálta. Eszménye — ahogy Alberti írta a „De re aedificatoria" I. könyvében — a tiszta gondolati rendként elképzelt „épület" ideája volt, valami olyanfajta steril geometriai alkat, mely az anyag torzító befolyása nélkül csupán az elvont arányviszonyokat tartalmazza. A megközelítésnek ez a spekulatív módja azonban már eleve kizárta annak a lehetőségét, hogy a belső tér, mint intérieurré lehatárolt, intimebb hatású környezet problémaként felmerülhessen. A reneszánsz így természetesen nem is dolgozott ki alakítására pontos elveket. Csak a

befoglaló térforma „külső" arányait rögzítette, a szélesség, a magasság és a hosszúság lehetséges méretviszonyait, s ha ezen túlmenően még valami szabályt keresett, az többnyire csak a térhatároló felületre, mint a tértől lényegében véve független kétdimenziós síkra korlátozódott. Hogy a felületet mennyire önálló, a tértől független egységként fogta fel, azt mi sem bizonyítja jobban, mint az, hogy nem tett semminemű különbséget a belső és a külső felületek, az intérieur és az exteriőr között. Az itáliai reneszánsz a külső architektúra elemeit és tagolásrendjét vetítette át a belsőre. Ez a módszer annyira hagyományossá, megszokottá vált, hogy a XVII. században is tovább élt, s az itáliai barokk intérieurképzés egyik jellemző irányzatának, az ún. Cortona-féle intérieur-stílusnak a megszületéséhez vezetett.

A barokk francia mestereit tehát az intérieur alakításában nem kötötték szigorú szabályok. A reneszánszt idéző teoretikus munkák s az ebből kibontott akadémiai elvek csak általános érvényű aránynormákat adtak, de ezek konkrét alkalmazását, az egyedi feladat megoldási módját nem írták elő. A tér fő formáit, a téralkatot határozták meg, s nem a részleteket. Blondel mondja egy helyen a „Cours d'architecture"-ben, hogy a szobrokat nem kell római ruhákba öltöztetni, hiszen a rómaiak sem ábrázolták alakjaikat görög vagy egyiptomi viseletben. (Nous n'avons pas de raison d'habiller nos figures à la romaine que les Romains n'en ont eüe d'habiller les leurs à la grecque et à l'egyptienne.) Ugyanezt szinte szó szerint elmondhatta volna az intérieur-ökről is. A francia barokkban a hagyományos, a reneszánsztól átvett „téralkatot" öltöztették fel korszerűen, az új igények „divatja" szerint. (Nem tartozik ugyan szorosan a tárgyalt témához, de érdemes megjegyezni, hogy a belsőépítészet tulajdonképpen ekkor vált le külön alkotói területként az építészetről. A differenciálódás nem a fejlődés természetes menetéből, hanem a francia építészet ellentmondásosságából következett.)

Az öltöztető jelleg szükségszerű következménye volt, hogy a francia intérieurművészetben már kezdettől fogva szétváltak az egyes komponensek. Az arányaiban meghatározott tér, a teret határoló felület és a felületet díszítő stílusforma külön utakra kényszerült. Az első kettő, a tér és a felület gyakorlatilag állandó maradt, a francia barokk fejlődésének másfélszázados tartama alatt lényegében alig módosult. A feltételekből adódóan a felületre applikált forma, a díszítő részlet volt a mozgékonyabb. Ez követte érzékeny reagálással az ízlés, a divat minden változását. S nyilvánvalóan nem véletlenül, hiszen éppen ez volt az alakításnak az a területe, mellyel a reneszánsz teoretikusok alig foglalkoztak, ahol tehát az akadémiai elvek tekintélyszabta korlátai közül utat lehetett nyitni a korszerű felé.

A téma szempontjából most majdnem merőben érdektelen az, hogy a francia intérieur-művészet jellemző sajátosságait, a síkban kibontakozó alakítást, a díszítő részlet predomináns szerepét, a térforma viszonylagos egyszerűségét s általában a barokk képzésmódtól eltérő egyéb tulajdonságokat éppen ez a kényszer, a lehetőségek korlátozott volta váltotta ki. Elég, ha csupán a tényt rögzítjük. Azt, hogy a francia építészetben a barokk arra a területre hatolt be, melyet a reneszánsz teória nem művelt ki, s ott csak addig terjeszkedhetett, amíg a rendelkezésére álló kereteket — a díszítendő falfelületet — ki nem töltötte.

A francia barokk interieur-ökhöz a stílusformák applikáltsága, az „öltöztető" jelleg annyira hozzátartozik, hogy még a társművészetek alkalmazásának módjára is hat. Franciaországban eléggé ritka a nagy felületet elborító, a térhez jobban kötődő freskó. Falkép helyett inkább a stukkó keretrendszer szabadon

hagyott mezőibe illesztenek vászonra festett — elvileg tehát elmozdítható, cserélhető — „táblaképet".

A barokká felöltöztetett, de lényegében véve reneszánsz téralkat kizárta azt a lehetőséget, hogy a térhatás gazdagságát, a végtelenbe nyíló távlatok jellemzően barokk illúzióját a térforma megmozgatásával, az egymásba szövődő, egymást átható terek bonyolult játékával teremtsék meg. A reneszánsz jelleggel önállóvá lehatárolt tér csak a sorolást tűri. Ez azonban egy rendkívül szerencsés kényszernek bizonyult, mert ebből a francia térművészet talán legnagyszerűbb eredménye, az enfilade született. A távlati hatás igényéből és a terek csupán additív kapcsolásának lehetőségéből majdnem szükségszerűen adódott a legkézenfekvőbb megoldás: a terek felfűzése egy, az egész soron áttekintést nyitó tengelyre.

Az intérieur-képzésben az alkotói szabadság nagyobb volt, mint a tömegformálásban, de az akadémia elvrendszere azért itt is pontosan kijelölte a mozgás határait. Az egyetlen terület, ahol a francia építészet minden fenntartás nélkül átadhatta magát a barokknak, a kerttervezés volt. A komponálás nagyvonalúságában, lendületességében, a logikus renddé szervezett, egy irányban kibomló végtelen élményének felkeltésében egy francia park eléri, sőt néha talán még meg is haladja a legjobb itáliai együttesek színvonalát. Róma barokk városszerkezetét és a versailles-i parkot, a piazza di S. Pietro együttesét és a Le Nôtre idején kiépült Champs Elyséest csak a feladat eltérő jellege, s nem a megoldás művészi értéke választja el egymástól. A különbség köztük mennyiségi, nem pedig minőségi, s a két ország társadalmi fejlődésének, építészeti igényeinek sajátosságából adódik.

Itáliában a jelentős megbízások (templom, palota) általában a városhoz kötődtek, az építészet tehát alapvetően urbánus jellegű volt. Franciaországban éppen megfordítva: a zárt településektől független feladatok (kastély) váltak hangsúlyossá. Itáliában a városkörnyéki villa vagy a szabadban épült kastély is városias, Franciaországban a lehetőségekhez képest még a városi palota is kastélyszerű. Ennek megfelelően Itáliában a nagyszabású tervek mindenekelőtt a városépítészeti együttesekben realizálódtak, Franciaországban pedig a szabadon álló kastély körül a természeti környezet egy szakaszának az épület szerves környezetét adó architektonikus kiépítésében. A megoldás azonban mind a két esetben azonos értékkel s ugyanolyan teljességgel barokk.

Az ellenpélda erejével éppen a kertművészet bizonyítja a legszembetűnőbben, hogy az akadémia egész működésével mennyire a reneszánsz szellemét konzerválta, és hogy a barokk fejlődését ezzel milyen kitérőkre kényszerítette. A reneszánsz teóriában soha nem merült fel komoly problémaként a környezet alakítása. Klasszikus minták híján aztán az akadémia sem dolgozott ki olyan normatív szabályokat, melyek az új befogadását, a komponálás barokk módszerét akadályozták volna. S ahol nem gátolta semmifajta tiltás, ott a francia mesterek is példamutató alkotásokkal zárkóztak fel saját koruk élvonalához.

Az eddigiekkel tulajdonképpen magyarázatot kaptunk arra is, hogy a francia befolyás általános indokain túl a francia „barokk" miért hathatott Európa építészetére tartósan akkor is, amikor a barokk mint stílus már egyre inkább túlhaladottá vált, s az építészet a racionális fegyelem, a szerkezetileg indokolt formálás, a józan mértéktartás példájaként az újra felfedezett antikvitást állította követendő célul maga elé.

A francia építészetben — ellentmondásos fejlődése miatt — a lehető legszerencsésebben egyesültek mindazok a tulajdonságok, melyet az ellentmondások-

kal terhelt XVIII. sz. az építészettől egyáltalán megkívánhatott. Megvolt benne a klasszikusokra emlékeztető, a reneszánsztól örökölt fegyelem, de attraktív tereivel, bontott tömegével, cour d'honneurjének méltóságával, végtelenbe futó parkjával a főúri pompát, vagy a szerényebb polgári fényűzést is maradéktalanul szolgálni tudta. Emellett aztán döntően segítette terjedését az is, hogy egész rendszerének, komponálásának akadémikus szabályai miatt tanítható és megtanulható volt. Eredményeit, egy-egy megoldását a másolás vagy utánzás látszata nélkül lehetett máshol felhasználni.

DR. B. SZŰCS MARGIT

RÉGI KÖNYVEK — MARADANDÓ GONDOLATOK

Építészet — építész: közel két évezred alatt sokan írták le gondolataikat e két fogalomról. Az építészet célja, helyes alapelvei természetesen főként magukat az alkotókat foglalkoztatták. A társadalom mindenkori igényeinek megfelelően az építész tudása — művészete nyomán formálódott életünk, az egyén és a közösség valamennyi cselekedetének mesterséges kerete. A következő gondolatok felidézése nemcsak azért érdekes, mert jellemzően tükrözik korukat, hanem azért is, mert bizonyítják: minden korban éltek „modern" építészetelméleti írók, kiknek megállapításai gyakran — szinte változtatás nélkül — ma is érvényesek. Az idézetek előtt meg kell jegyeznünk, hogy az építőművészet elvi-esztétikai törvényei nem azonosak a többi művészetével. Nyilvánvalóan igen határozott különbségek vannak az „épület" és a „művészi épület" között. A sajátos jellemzők állandó figyelembevételével értékelhetjük csak igazán a távoli és a közeli múlt modern építészetelméleti gondolatait.

Kezdjük a sort Vitruvius-szal, aki röviddel időszámításunk előtt írta *De architectura* c. 10 „könyvből" álló művét. Az I. könyv 2. fejezetének kezdő soraiban így vall az építészet lényegéről:

„Az építészet alapja a mérték, az elrendezés, a ritmus, a szimmetria, a rendeltetés és stílus egysége, valamint a gazdaságosság."

A szerző minden feltételt részletesen ismertet, de bővebb fejtegetései nem olyan egyértelműek, mint a fenti tömör meghatározás. Ezért a későbbi fordítók és kommentátorok különféleképpen magyarázták. Nem célunk a szövegértelmezések bírálata vagy elemzése; szóljon ismét ő maga, — az építészet után az építészről:

„Az építésznek sok és változatos tudással kell rendelkeznie, mert ítélőképessége a mérték minden más művészeti alkotáshoz. Tudása a gyakorlat és az elmélet gyermeke. A gyakorlat folyamatos és szabályos munka, amelynél minden szükséges anyagot fel kell dolgozni a tervrajz szerint. Az elmélet viszont az a képesség, amellyel az arányosság szabályai alapján készült műveket bemutatjuk és magyarázzuk." (De arch. I., 1., 1.) Már itt úgy tűnik, hogy Vitruvius szerint a gyakorlat fontosabb, bár a következőkben szerves egységet igényel az elmélet és a gyakorlat között:

„Azok az építészek, akik elméleti tudás nélküli kézügyességre törekedtek, sohasem voltak képesek műveikkel hírnevet szerezni; azok pedig, akik csak az elméletet és a tudományt művelték, nem a dolgok lényegére törtek, hanem árnyékot kergettek. Ám azok, akik mindkét oldalt alaposan ismerik, gyorsabban és eredményesen elérték céljukat, — hasonlóan a minden szükséges fegyverrel felszerelt katonához." (De arch. I., 1., 2.)

Az építésszel kapcsolatos további fejtegetésből kiderül, hogy lényegében mindent tudnia kell, és az indokolás egy tömören fogalmazott mondatával ma is egyetérthetünk:

„Sem a tehetség képzettség nélkül, sem a képzettség tehetség nélkül nem szülhet tökéletes művészt." (De arch. I., 1., 3.)

A felsorolt tudnivalók közül a rajz, a geometria és a számtan természetes; az is hasznos, ha az építész foglalkozik a festészettel, a szobrászattal, a filozófiával és a zenével. Ám azonnal irreálissá válik a dolog, amikor kiderül, hogy ismernie kell az orvostudományt, a csillagászatot... stb. Igaz, mindenre kapunk többékevésbé elfogadható magyarázatot, és a szerző nem is követeli, hogy az építész mindeme tudományban kiemelkedő legyen. Mégis azt a következtetést vonhatjuk le, hogy jó építész csakis valamiféle megtestesült enciklopédia lehet. Annál érdekesebb, hogy később teljesen elmarad a magasztos elvek taglalása, és a mű zömét a gyakorlati tapasztalatok ismertetése tölti ki. Az elmélet és gyakorlat szerves összefüggéséből Vitruvius tehát végeredményben az építészet mesterségbeli fogásait emeli ki, és ez azért is különös, mert hírnevét az elkövetkező évszázadokban főként elméleti megállapításai biztosították, gyakran valódi érdemén felül. Több ízben hivatkoznak tekintélyére olyanok is, akik alapvetően eltérő gyakorlatot folytatnak. Igaz, közben hosszú idő telik el, hiszen a középkorban — bár ismerték, sőt másolatokat is készítettek könyvéről — csak ritkán hivatkoztak elméletének egy-egy részletére. Ez természetes, hiszen a középkori világképben a művészet, az építészet csupán a vallás szerény szolgálója volt, és elméletével nem foglalkoztak. És az is természetes, hogy az antik római kort felidézni kívánó itáliai humanisták körében született újjá és nőtt elképesztően kimagasló tekintéllyé a császárkor építész-írója.

Az első, aki bizonyos értelemben „másolja", de lényegében messze felülmúlja: Leon Battista Alberti, a reneszánsz tudós-művésze, aki a XV. sz. közepe táján írta *De re aedificatoria* c. művét. A másolás abban nyilvánul meg, hogy ő is 10 könyvre tagolja írását, és néhányszor átveszi Vitruvius megállapításait. Ugyanakkor több ízben bírálja felületességét, rossz stílusát. Műveiket összehasonlítva könnyen megállapítható, hogy Alberti jóval képzettebb, módszere tudományosabb; közismert sokoldalúsága miatt joggal nevezik az európai művelődéstörténet első „egyetemes emberének". Kísérjük figyelemmel, hogyan ír az építészetről és az építészről:

„Egyetértettünk abban, hogy az épület egy test, amely minden más testhez hasonlóan (terv) rajzból és anyagból van; az elsőt a szellem hozza létre, a másikat a természet; az elsőhöz ész és gondolkodás szükséges, a másikhoz megfelelő előkészület és válogatás. De megállapíthatjuk, hogy önmagában egyik sem felel meg a célnak egy tapasztalt mester nélkül, aki képes arra, hogy az anyagnak a terv alapján formát adjon." (De re aed. Előszó.)

Az I. könyv 1. fejezetében nagyon érdekes a tervrajz fogalmának pontosabb meghatározása:

„A terv erőssége és értelme az, hogy helyesen és szabatosan alkalmazzuk és kapcsoljuk össze azokat a vonalakat és szögeket, amelyek az épületet alkotják. A terv rendeltetése, hogy kijelölje az épületnek és minden részének a megfelelő helyét, meghatározza a pontos számadatokat és a harmonikus arányokat..." Alberti többször visszatér az építész jellemzőinek vizsgálatára is. A szép, de általános meghatározások egyikét idézzük csupán:

„Az építészet nagy feladat, amelyet nem tud mindenki megoldani,. Az, aki építésznek meri nevezni magát, legyen találékony, kitartóan szorgalmas, kivá-

lóan művelt; rendelkezzék nagy gyakorlattal és — mindenekfelett — éles ítélőképességgel..." (De re aed. IX. 10.) Mindez lényegében bárkire vonatkozhat, ám Alberti tudományos módszeréből következik, hogy nem is hagyja ennyiben a dolgot. Ismeri az építészet bonyolultságát, és ezért speciális tudást igényel művelőitől. Miután kifejti, hogy minden tudományban elengedhetetlen az alapos, elmélyült munka, így folytatja: „Ugyanilyen módon azt kívánom, hogy az építész a legnagyobb gondossággal vizsgáljon meg minden valamirevaló épületet, végezzen méréseket, készítsen rajzokat és modelleket..., ne csodálja meg pusztán a nagy méreteket, azt képzelve, hogy ez kielégítő, hanem azt fedezze fel minden épületben, amit a művész kigondolt, ami leleményes, ritka és csodálatraméltó." (De re aed. IX. 10.)

Alberti különleges érdeme a racionális-tudományos módszerre és az önállóságra való nevelés. Az antik építészettel kapcsolatban sem riad vissza a bírálattól, és építészét az igazán jó dolgok felhasználásán túl így biztatja:

„Ha olyasmivel találkozik egy tervnél, ami nem teljesen rossz, próbálja meg saját műveiben jóvá fejleszteni... Ne legyen elégedett ezzel sem, hanem alkosson olyan csodálatos művet is, amely tisztán a saját találékonyságából fakad." (De re aed. IX. 10.) Alberti gondolatai az építészről azért is különösen érdekesek, mert ő az első, aki határozottan megkülönbözteti a tervezés és a megvalósítás folyamatát, és felismeri az építészet társadalmi jelentőségét: „Nem az ácsmestert vagy más kézművest állítom egy sorba a többi tudomány legnagyobb művelőivel; azok, akik a kezükkel dolgoznak, az építész eszközei. Építésznek azt nevezem, aki biztos és csodálatraméltó rációval és módszerrel képes gondolatban és találékonysággal kieszelni, majd kivitelezéssel megvalósítani azokat a munkákat, amelyek — nagy súlyok mozgatása, tömegek kapcsolása és felhalmozása révén — szépségükkel méltó módon alkalmazkodnak az emberek igényeihez." (De re aed. Előszó.)

E gondolatmenet folytatásának tekinthető a következő néhány sor:

„A formák szépsége nem választható el a kényelemtől, ... az épület minden része feleljen meg a rendeltetésből fakadó felhasználásnak..." (De re aed. VI., 3. és 5.)

A kiragadott példákból is látható, hogy Alberti elmélete spekulatívabb, de egyúttal reálisabb, mint Vitruviuszé. Egész művét áthatják azok az elvek, amelyeket az építészet céljával, jelentőségével, az építészi hivatással kapcsolatban — sokoldalú elemzéssel — feltárt, összegyűjtött. A tudományos alaposságú gondolatok sohasem dogmatikusak, a gyakorlatban is bizonyító mester nem ragaszkodik merev szabályokhoz. Nem véletlen tehát, hogy utána sokáig nem született az övéhez hasonló, tudományos igényű elméleti munka, hanem főként gyakorlati kézikönyvek. Ilyen művet írt a XV. sz. 60-as éveiben Filarete, a XV. sz. végén Francesco di Giorgio és a XVI. sz. első felében Sebastiano Serlio. Mindannyian foglalkoznak némi elmélettel is, de meg sem közelítik Alberti színvonalát. Fő érdemük, hogy rajzaikkal elősegítették az új építészet népszerűsítését. A kései reneszánsz neves mestere, Vignola eltér Alberti komplex szemléletétől, és kizárólag az antik oszloprendek száraz, matematikai pontosságú ismertetésére alapozza elméletét. Még a jóval sokoldalúbb Palladio sem szárnyalja túl Albertit, akit egyébként — Vitruvius mellett — mesterének vall. Az építészettel és az építésszel kapcsolatban egyiküknél sem találunk újat, de a korábbi szabályokat finomították. Ennél fontosabb, hogy épületeiknél vagy terveiknél gyakran nagy fantáziáról, azaz saját merev szabályaik tagadásáról tanúskodnak.

Az itáliai barokk teoretikusok közül Guarino Guarini (1624—1683) munkássága figyelemreméltó. *Architettura civile* c. művében főként saját terveit ismerteti, tehát sokkal közelebb áll a reneszánsz gyakorlati kézikönyveihez, mint Alberti gazdag, differenciált alkotómódszeréhez. Mestereiként is elsősorban Vitruviust, Serliót, Palladiót és Vignolát jelöli meg. Mégis, önállósága Albertiével rokon, hiszen így ír az építészetről:

„Az épület szépsége a részek megfelelő arányától függ; ennek elérésére az antikok — Vitruvius szerint — bizonyos meghatározott szabályokat adtak ... de én — megfigyeléseim alapján és minden egyéb hivatás szabályainak vizsgálatát figyelembevéve — úgy vélem, hogy lehetséges néhány antik szabály kijavítása és új szabályok alkotása; a tapasztalat is igazolja ezt, mivel az antik emlékek sem követik pontosan Vitruvius szabályait, sem Vignola vagy más modernek arányai... Viszont, ahogyan láthatjuk, sok új arány és módszer van a mi korunkban, amelyet az antik nem alkalmazott." (Arch. civ. I., 3., 6.)

A magasztos elvi meghatározások helyébe a korábbi nézetek kritikája lépett. Ez a felfogás — ahogyan látni fogjuk — egy XVIII. századi francia teoretikusnál fejlődik tovább. De figyeljük tovább Guarini véleményét, ezúttal az építészről:

„Az építész nem készít falakat, tetőket, szerkezeteket, szobordíszeket, sem kapukat, sem állványzatokat, ... hanem irányítja az összes kézművest ... és minden munkára az eszme vagy terv szerint felügyel, amelyet ő formált meg ..." (Arch. civ. I., 1.)

Guarini elméletének kiemelkedő tulajdonsága a XVII. sz. filozófiájával, pontosabban Galilei nézeteivel való azonossága. Idézzük röviden Galileit:

„A filozófia ... matematikai nyelven íródott, és betűi háromszögek, körök és más geometriai formák; nélkülük lehetetlen megérteni a szavakat, úgy vagyunk, mintha hiábavalóan kószálnánk egy homályos labirintusban." (Il Saggiatore, I., 6.)

Hasonlítsuk össze a fenti gondolatot Guarini egy mondatával az építészetről: „És mivel az építészet olyan szakma, amely minden műveletében méreteket alkalmaz, a geometriától függ ..." (Arch. civ. I., 2.)

A kor filozófiája tehát pontosan tükröződik Guarini építészetelméleti felfogásában, sőt műve illusztrációinak vizsgálata alapján tervezői módszereiben is. Az elmélet és a gyakorlat bonyolult kapcsolatának ritka összhangja nyilvánul meg itt, ami annál figyelemre méltóbb, mivel az építészet sajátos problémái miatt e két szükséges tényezőt nem könnyű harmonikusan egyeztetni. Az alap elvek felülvizsgálatának igénye következetesen megnyilvánul a XVII. és a XVIII. sz. francia teoretikusainál is. Idézzünk pl. Fréart de Chambray 1650-ből való *Parallèle de l'Architecture antique avec la moderne* c. művéből:

„A könyvek, amelyekből összeszedtem mindazt, amit elmondok, ismertek és tartalmasabbak, mint az enyém, nincs rá szükség tehát, hogy felületesen összefoglaljam őket; jobb, hogy kutattam, és olyat hoztam létre, amilyet a világ még nem látott: hogy a gondolat szabad, nincs megkötve, és éppoly jogunk van arra, hogy megtaláljuk és kövessük saját géniuszunkat, mint a régiek tették, anélkül, hogy rabszolgáik lennénk; mivel a művészet végtelen, minden nappal tökéletesebbé válik, alkalmazkodik a különféle korok és nemzetek igényéhez, amelyek másként és másként ítélik meg, eldöntik, hogy mi a megfelelő, mindenki a saját divatjának igénye szerint ..." (Parallèle... Előszó.) Kissé meglepő, hogy ilyen magasztos gondolatokkal teli bevezető után lényegében az oszloprendek — rövid szövegekkel kísért — összehasonlító rajzaiból kellene leszűrnünk a szabadon

szárnyaló géniusz új elveit. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy az akadémiák Franciaországában vagyunk. Fréart könyvének megjelenésekor még nem alakult meg hivatalosan az Építészeti Akadémia, de nézetei már előbb érlelődtek. A teoretikusok zöme Descartes racionális filozófiáját követi, de nem azonos következtetésekkel. Az építészet feladata a barokk utánzói ellen folytatott harc volt, az antik szellem és az értelem alapján. E program szószólójaként ír Fréart az építészről:

„Vannak, (bár valójában nagyon ritkán), akik mielőtt munkához fognának, tanulmányaikat jól megalapozták a geometria elveivel, majd ezután könnyen és biztonsággal eljutnak a művészet tökéletesítésének tudományához. Csakis hozzájuk szólok, és velük közlöm szívesen azokat a gondolatokat, amelyeket az építészet öt oszloprendjéről összeszedtem ..." (Parallèle .. Előszó.).

Guarini a régi szabályokat bírálta, hogy saját kora új gyakorlatát igazolja. Fréart meg éppen a régiek — az antik római és az itáliai reneszánsz mesterek, főként Palladio — tekintélyére támaszkodva bírálja a kortárs-építészeket:

„Az építész tehetsége nem a kisebb részletek kialakításában mutatkozik meg, hanem a teljes mű általános elrendezésében. Azok az alacsonyabbrendű lelkek, akik sohasem jutnak el a művészet egyetemes ismeretéig, és nem fogják át annak minden dimenzióját, arra kényszerülnek, hogy képesség hiányában szüntelenül a szegényes kis dolgok után vágyódjanak. És mivel tanulmányaiknak nincs más tárgya, s üresek, puszták már maguk is, eszméik olyan alacsonyak és nyomorúságosak, hogy semmi mást nem alkotnak, csak maszkokat, rossz kartusokat meg hasonló üres és ízléstelen groteszkeket, amelyekkel még a mi modern építészetünket is megfertőzték." (Parallèle ... Előszó.)

Fréart könyve sok, hasonló elméleti munka tipikus példája. A francia akadémizmusra jellemző, hogy a művészetet megtanulhatónak vallja, és olyan gyakorlati kézikönyveket adtak ki, amelyekből el lehet sajátítani a helyes szabályokat. Az 1671-ben hivatalosan megalapított Építészeti Akadémia titkára, A. Félibien több ízben kiadott könyvének címe ugyan a sokat ígérő „*Des principes de l'architecture, de la sculpture, de la peinture...*" szavakkal kezdődik, de lényeges elveket hiába keresnénk benne. Az építészetről szóló részben rajzokkal kísért ismertetést kapunk az oszloprendekről, az építőanyagokról, fedélszékekről ... stb., sőt olyan részletekről is, mint pl. a vasalások. Megismertet a szerző a különféle szerszámokkal is, majd a könyv végén — 200 oldalon át — szakszótárban foglalja össze a tudnivalókat. Az építészet fogalmát így határozza meg:

„Az építészet a jó építés művészete" — a hozzáfűzött néhány sorban pedig egyszerűen Vitruvius meghatározására utal. Az építészről sem mond semmi újat: „Építész az, aki elkészíti a terveket, és a terület megfelelő felhasználásával művészien rendezi el az épület részeit, a kényelemnek és a munkáltató igényeinek megfelelően, valamint irányítja minden munkás tevékenységét." Ezután ismét Vitruvius idevágó mondataira hívja fel a figyelmet.

Az akadémikusok közül elméleti szempontból kiemelkedik Claude Perrault, a Louvre-kolonnád orvos-építésze. Ő is az oszloprendekről írt ugyan *Ordonnance des cinq ordres de colonnes* c., 1683-ban publikált művében, de jóval kisebb tisztelettel, mint a többiek. Különösen érdekes ez azért, mivel ő fordította franciára Vitruvius könyvét. Elméletéből most csak egy fontos dolgot emelünk ki: a kétféle szépség elvét. Az ún. pozitív szépség lényegét a már ismert tényezők adják: a nagyszabású terv, az anyaggazdagság, a pontos és szép kivitel, a szimmetria és az arányok. Ám van egy másfajta szépség is, amely tetszőleges, és a megszokásból, a használatból és a divatból fakad:

„Sem a természet utánzása, sem az értelem, sem a jó érzék nem lehet alapja azoknak a szépségeknek, amelyeket látni vélünk az oszloprend részeinek arányaiban, rendjében és elhelyezésében. Lehetetlen más okot megjelölnünk, mint a megszokást." (Ordonnances... VII.)

Az építész számára fontosabbnak tartja az utóbbi szépségek ismeretét, és ezzel a véleményével ki is vívta az Építészeti Akadémia igazgatója, Fr. Blondel ellenkezését. Ugyanakkor elősegítette a merev szemlélet feloldódását, a fantáziára merészebben támaszkodó alkotómódszereket. Az egymásnak ellentmondó nézeteket aztán a XVII. sz. francia építészete mindig sajátosan klasszikus felfogásban alkalmazta.

A XVIII. sz. érdekes, szinte egyedülállóan éles kritikai szemléletű teoretikusa Marc Antoine Laugier jezsuita páter. *Essai sur l'architecture* (1753) és *Observations sur l'architecture* (1765) c. könyveiben sok fontos gondolatot találunk. Az Essai... tartalomjegyzékét átfutva látszólag nem várhatunk döntően újat, hiszen ismét csak az oszloprendek bőséges tárgyalása, az épület tartós, kényelmes és szép voltának elemzése ... stb. szerepel. Ám később kiderül, hogy a könyv a barokk és a rokokó építészet ellen íródott meg, azzal a céllal, hogy korát a „nemes egyszerűséghez" vezesse. Ilyen alapon tárgyalja a szerző az építészet alkotóelemeit, és elítéli pl. az olyan épületeket, amelyeknél az oszloprend pusztán díszítésként jelentkezik. Gyakran használja a „természetes" és „igaz" jelzőt a jó építészetre, és hiányolja a megfelelő elméleti alapokat:

„Vannak különféle építészeti tanulmányok, amelyek elég pontosan kifejtik a méreteket és arányokat, az egyes oszloprendek részleteit, és mintákat adnak valamennyi építésmódhoz. Semmiféle olyan mű nincs azonban, amely megbízható alapot ad ezek elveihez, kinyilvánítja igazi szellemét, helyes szabályokat javasol a tehetség irányításához és meghatározza az ízlést. Úgy tűnik nekem, hogy a nem teljesen mechanikus művészeteknél nem kielégítő, hogy valaki dolgozik, mindennél fontosabb a gondolkodás. Szükséges, hogy a művész sajátmaga számára értelmet adjon mindannak, amit csinál. Ezért rendelkezzék határozott elvekkel, amelyek eleve eldöntik ítéleteit és igazolják választásait; és nemcsak ösztönösen, hanem érveléssel is meg kell mondania, hogy mi a jó vagy a rossz, mint olyan embernek, aki ismeri a szépség útjait." (Essai ... Előszó)

Ezután kifejti, hogy a költészetben, a festészetben és a zenében sokan és sikerrel foglalkoztak a helyes elmélettel, majd így folytatja:

„Egyedül az építészet maradt mindmáig kiszolgáltatva a művészek szeszélyeinek ... Szabályait véletlenszerűen rögzítették a régi épületek vizsgálata alapján. Aztán a hibákat is lemásolták róluk..." Közvetlenül támadja a korabeli teoretikusokat, amikor az előbbi gondolatok folytatásaként kijelenti: „Az összes modernek, Cordemoi úr kivételével, nem tesznek mást, mint Vitruviust kommentálják, és bizalommal követik minden tévelygését." (Essai... Előszó) A támadó hangnem magasztossá válik a jó építészetről és a jó építészről írott sorokban:

„Az építészet minden hasznos művészet közül a legkiválóbb tehetséget és a legszélesebb körű ismereteket igényli ... A művészet minden tökélyével alkotott épület látványa ellenállhatatlan gyönyörűséget és örömet okoz ... nemes és megindító eszméket kelt a lélekben... Egy szép épület beszédesen tanúskodik alkotója mellett. Perrault úr írásai alapján csak egy tudós: a Louvre kolonnádja teszi nagy emberré." (Essai... Bevezető)

Az Observations-ban már teljesen szakszerűen foglalmazza meg gondolatait az előbbi témáról:

„Az arányok oly lényegesek az építészetben, hogy egy jó arányú épület, amely szép anyagokból készült, mindig hatásos lesz, de ha a jó arányok hiányoznak, bármennyire elárasztják a díszítések, az épület nem sikerülhet. Az arányok ismerete nélkül talán válhat valakiből ügyes „öltöztető", találékony díszítő, de sohasem lesz igazából építész." (Observ. I., 1.) Mindezt önmagában még tekinthetnénk általánosságnak, de a későbbiekből kiderül, hogy az arányok ezúttal nem csupán az oszloprendekre vonatkoznak, hanem az épület egészére és minden részletére. A pontosabb taglalásoknál azután egyszerű matematikai „recepteket" javasol, praktikus tanácsai tehát maradibbak elvi megállapításainál. Mégis, a szokványos kézikönyvekhez képest nagyon tanulságosak írásai, és nézetei előrevetítik a hamarosan tényleg egyszerűbbé váló építészetet.

A XVIII. sz. végén, majd a XIX. sz. folyamán nagyon sok építészetelméleti tanulmány született. Részletes elemzésükre nincs lehetőség, és úgyis számos olyan gondolatot tartalmaznak, amelyek a XX. sz. problémáihoz kapcsolódva a mai elméletek részévé váltak. Néhány példa felvillantása elegendő ahhoz, hogy az élet fokozódó bonyolultságával párhuzamosan jelentkező változatos nézeteket tükrözze.

É.-L. Boullée (1728—1799) az egyszerű tömegek festői csoportosításának expresszív lehetőségeiben látta az építészet lényegét. C.-N. Ledoux (1736—1806) elméletében és terveiben egyaránt az emberi igényeknek szerinte legjobban megfelelő tiszta geometrikus formákat kutatta. Sok mai építész őt tartja a modern építészet egyik előfutárának. J.-N.-L. Durand (1760—1834), aki hosszú ideig a párizsi École Polytechnique tanára volt, bírálta az építészet hagyományos, Vitruvius alapján történő megközelítését, elvetette az építészeti és a természeti formák rokonságát, az építészeti arányok és az emberi test arányainak összefüggését. Szerinte az építészet alapja az alkalmasság és a gazdaságosság, sőt az utóbbit még a szépség egyik fő okaként is megjelöli. J. Ruskin (1819—1900) morális elveken nyugvó építészelméletet körvonalazott több könyvében. Az új építészetnek — szerinte — ki kell elégítenie az emberek igényét az igazság, a gyakorlati kívánalmak és az erkölcsi boldogság iránt.

Az említettek és mások is számtalan értékes gondolattal gazdagították az építészelméletet. Ám munkájukkal párhuzamosan — főként a historizáló irányzatok idején — feloldhatatlan ellentétbe került az építészeti gyakorlat a haladó elméletekkel és a gyorsan kibontakozó új szerkezeti lehetőségekkel. A XX. sz.-ban azután ismét sürgető igényként lépett fel a komplex szemlélet kialakítása. A reneszánsz egyetemes embereinek gondolatvilága jut eszünkbe, ha W. Gropius (1883—1969) következő sorait olvassuk: „Csak félig igaz az a mondás, hogy „a célszerű egyúttal szép is"... Ugyanez érvényes az építészetre. A cél, a rendeltetés és a formák arányának együttes harmóniájából jöhet csak létre a szépség. Ezért olyan sokoldalú és bonyolult a feladatunk... *A jó építészetnek tükröznie kell a kor életét. Ez megköveteli, hogy bensőséges ismereteink legyenek a biológiai, a társadalmi, a technikai és a művészeti kérdésekről.* Ám még ez sem elegendő. Ahhoz, hogy az emberi tevékenység e különböző ágazataiból ismét egységet teremtsünk, erősebb jellemekre van szükség... Olyan embertípust kell kinevelnünk, amely képes arra, hogy az életet összességében lássa, ahelyett, hogy túl korán elveszne a specializálódás szűk csatornáiban." (Egy 1937-ben elhangzott előadásból; megjelent a szerző *Architektur* c. könyvében, 1956.)

Végezetül egy idézet Leonardo da Vincitől, aki ugyan a festészetre gondolt, amikor leírta, de bizonyára vonatkoztatható az építészetre is:

„Akik beleszeretnek a gyakorlatba tudomány nélkül, olyanok, mint a hajósok, ha kormány vagy iránytű nélkül szállnak hajóra; sohasem lehetnek biztosak abban, hogy merre vetődnek.

A gyakorlatnak mindig jó elméletre kell épülnie..." *(Trattato della pittura*, II., 80.)

DR. HAJNÓCZI GÁBOR

PALLADIO „ROTONDÁJÁNAK" JELÖLŐI ÉS JELÖLTJEI

(Kísérlet egy építészeti alkotás szemiotikai analízisére)[1]

Az építészet mint művészet *kommunikáció;* minden korban megvannak azok a sajátos és magasrendű „üzenetek", amelyeket az építészeti alkotások „közvetítenek" a korra jellemző, és általánosan ismert kód segítségével. Miután közismert az építészetnek elsősorban funkcionális jellege, meglepőnek tűnhet az a kísérlet, hogy mint kommunikációs aktust elemezzük, hiszen az építészeti objektumoknak köztudottan nincs konkrét „jelentésük". Ebből adódóan látszólag kódra sincs szükség, mivel az építészeti objektum funkciója egy adott kultúrában mindenki számára nyilvánvaló (egy templom nem kommunikálja, hogy egy templom, hanem egyszerűen saját létét kommunikálja). Valóban, ha a nyelvi kommunikáció, mint modell állandóan jelen van is, fel kell ismernünk, éppen a jelentésbeli alapvető eltérés következtében az építészeti kommunikáció sajátosságait. Következésképpen nem hozhatnak megnyugtató megoldást azok az elméletek, amelyek a nyelvészet és építészet jelelméleti analógiáit igyekeznek megteremteni.[2]

Az építészet szemiotikai aspektusból történő vizsgálatának alapkérdése az, hogy a funkciókat interpretálja-e kommunikációs szempontból, vagy a funkcionális szemlélettel szembefordulva és az építészet térművészet jellegét érvényre juttatva, a külső és belső téralakítást.

Amennyiben az építészetet olyan aktivitásnak fogjuk fel, amely használati tárgyakat hoz létre, akkor az építészeti kommunikáció olyan *jelekből* áll, amelyek *jelölői* funkciókat denotálhatnak, és amely jelölőket *jelöltek* tölthetik meg a szukcesszív kulturális modellekben (Umberto Eco).[3] Amint látjuk, a nyelvi modellnek megfelelően (Saussure), az építészeti jelben is megvan a jelölő és jelölt kettőssége.[4] A továbbiakban Eco megkülönböztet *denotációs* és *konnotáci-*

[1] A szemiotika a kultúra egyre nagyobb területét „hódítja" meg. Az eredetileg nyelvészeti, ill. filozófiai-logikai indíttatású jeltudomány már a kezdetekben egy mindent átfogó „hipertudomány" igényével jelentkezett, és miután jelentősen hozzájárult a folklór, a poétika, az ikonológia, a film stb. új, és nem csak módszertani eredményeihez, szükségszerű, hogy a modern építészetelméletet is megtermékenyítse. Természetesen az építészet más és más területein alkalmazzák a különböző kutatók. Az episztemológiai vizsgálódások után az első konkrét elemzések között egy ismert építészettörténeti objektum analízisére került sor, amelyet újszerűsége, módszere, és — reméljük — eredményei miatt, pár bevezető sor kíséretében, az alábbiakban közreadunk.

[2] Cesare Brandi a nyelvészeti kettős artikulációt (jelentéssel bíró, és jelentéssel nem bíró elemek síkja) kísérli meg az építészeti artikuláció elemzésénél felhasználni; Le due vie. Laterza, Bari, 1966.; Struttura e architettura. Einaudi, Torino, 1967. stb.

[3] Umberto ECO, La struttura assente, Bompiani, Milano, 1968.

[4] Ezt az értelmezést mind a két felfogásban megtaláljuk; Eco is és De Fusco is jelölő és jelölt kettősségében látja az építészeti jel lényegét.

ós síkokat. A denotációban (a „denotáció" kifejezést nem a konvencionálisan elfogadott értelemben használja, „valami reálisan létező dolog, amelyre utalás történik" [Charles Morris], hanem a funkcióval azonosítja) egy építészeti tárgy legfontosabb funkciója fejeződik ki, míg a konnotáció a konkrét funkcióhoz kapcsolódó, a kort reprezentáló ideológiák összessége. A konnotáció és denotáció viszony nem hierarchikus, és a konnotáció nem kevésbé funkcionális, mint a denotáció. Ennek következtében létezik egy *elsődleges funkció* és vannak *másodlagos funkciók*, az előbbi denotálódik, az utóbbiak konnotálódnak. Az építészettörténet során az elsődleges és másodlagos funkciók hullámzása, kiürülése, újratelítődése adja a fejlődést.

Amikor Eco szembetalálja magát a tér problémájával, azt csupán geometriai szempontból értelmezi. Ennek a felfogásának következménye, hogy a terek artikulációját az euklidészi geometria által adottnak veszi. Ebben az artikulációs szisztémában az egyik síkot a *korémák*, vagy térelemek alkotják, amelyek második artikulációs elemei a *sztoichéiák;* első artikulációs elemek a négyszög, a háromszög stb. egészen a legszabálytalanabb alakzatokig, míg másodlagos artikulációs elemek a szög, az egyenes, a pont stb. Az elemek egyszerűbb és komplexebb szintagmákba komponálódnak. Nyilvánvaló, hogy a geometrikus kód nemcsak az építészetnek, hanem a festői produktumoknak is sajátja, mégpedig nem csupán a geometrikus festészet (Mondrian), hanem általában a figurális festészet esetében is. A geometrikus kód azonban — Eco szerint — azonosulhatna egy formai (gestaltikus) kóddal, amely aztán dominálná az elementáris formák szemléletét.[5]

Érthetően a tér és a geometria között posztulált identitás alapján konstruált téri kód nem felel meg az építészetnek; a hiba pontosan az identifikációban van. Létezik tér a festészetben, a szobrászatban is, de az építészeti tér lényegében különbözik ezektől, a funkcionáló üregek miatt, amelyeket nem lehet a geometriára redukálni. A geometria, jóllehet képes egy verifikációs megoldást adni, nem tudja egy épület térvolumenjét visszaadni. Az építészetet geometrikus terminusokban gondolni — Bruno Zevi szerint — egyet jelent az építészet megölésével.

A másik alapvető álláspontot Cesare Brandi és Renato De Fusco képviselik.[6] Egyrészt ragaszkodnak a nyelvvel való szigorú analógiához,[7] másrészt igyekeznek egy nem annyira geometrikus, mint inkább „architektonikus" térfogalmat beépíteni az építészeti szemiotikába. Mindketten elutasítják a jelölt és a funkció elméleti azonosításának lehetőségét. Brandi szerint az építészeti kód a *teret* (spazialità-térség) fejezi ki. A tér struktúrája különbözik a már ismertetett geometrikus felfogástól; Brandi az építészeti kódnak nem tulajdonít kommunikációs értéket, hanem ez egy jelenlétet eredményez, amelynek lényege a tér jelenség: ennek struktúrája a *belső* és a *külső* sajátos viszonyában vizsgálandó.[8] De Fusco a funkcionáló üreget azonosítja a jelölttel, míg az ezt körülvevő burkolót a jelölővel.[9] Amint látjuk, a jel jelöltre és jelölőre történő felosztása itt is megvan, csak egészen más tartalommal, mint Eco esetében.

[5] La struttura assente, id. kiad.

[6] Rokonságuk lényegében az alapkoncepció hasonlóságában van: mindketten elvetik a jelölt és funkció elméleti ekvivalenciájának lehetőségét.

[7] Ld. a 2. számú jegyzetet.

[8] Struttura e architettura, id. kiad.

[9] De Fusco-Scalvini, Significanti e significati...

A jelölt tehát a belső tér, amelyben nem csupán funkcionális, hanem ideológiai formáló elvek is működnek. A külső burkoló, azaz a jelölő kettős arculatú, egyik a belső tér felé, a másik a külső tér felé fordul. A jelölő egyszerre belsője és külsője egy belső helyiségnek (azt valamilyen módon megjeleníti) és ugyanakkor belsője egy más nagyságrendű külső környezetnek. A belső környezetet építészeti, a külsőt urbanisztikai környezetnek nevezi De Fusco.

Ha az építészeti jelet mint „tér-jelet" fogadjuk el, azaz a jelöltön egy behatárolt, háromdimenziós teret értünk, akkor egy épület minden olyan része, amely ilyen teret magában foglal, egy építészeti jel. Az egy térből álló épületek ennek következtében *egyjelű* (ezek vannak kisebbségben), míg a több terű épületek *sokjelű* (ezek vannak többségben) építészeti struktúrák. A sokjelű struktúrában az egyes terek között hierarchikus viszony van: a funkcionális és esztétikai szempontból erőteljesebben alakított tereket *erősen jelölt*, míg a kevéssé hangsúlyozott tereket *gyengén jelölt* tereknek nevezzük.

A fenti elméleti vázlat alapján világos, hogy Eco szemiotikai felfogása alkalmatlan a konkrét műelemzésre; ő az esztétikai kérdéseket a konnotációk körébe utalja, és nem szentel részletező figyelmet nekik. A De Fusco-féle szemléletmód, éppen az említett térszemlélet (és nem a nyelvészeti analógiák mindenáron való megteremtése) miatt, megkísérelheti egy konkrét építészeti alkotás szemiotikai elemzését adni.

Az alábbiakban kisebb — lényegtelen — rövidítésektől eltekintve közreadjuk De Fusco és Scalvini elemzésének teljes szövegét. Az elemzés kritikájára jelen publikációban részint a terjedelmi, részint a metodikai meggondolások miatt nem kerülhet sor. Ezt, és az egész De Fusco-féle építészeti jelelmélet bírálatát egy újabb publikációnak kell elvégeznie.

*

Egy mű szemiotikai vizsgálata azért előnyösebb, mert az elméleti hipotézis, amiből kiindulunk — a jel komponenseinek, a jelöltnek és a jelölőnek azonossága a belső és a külső tér kettősségével — ebben megfelelőbb terénumot talál. Az analízis tárgyául alkalmas művek természetszerűen széles skáláján a választás Palladio „Rotondájára" esett, egyrészt azért, mert egy önmagában paradigmatikus műről van szó, másrészt a híres villa az építészettörténet egy „sűrűsödési pontjának" tűnik, és nem az ízlés mozgásaiban leledző tárgynak.

„A fekvés olyan kellemes és gyönyörködtető, amilyet csak találni lehet: mivel egy kis, szelíd lejtésű domb tetején áll, és egyik oldalról a hajózható Bacchiglione folyó habjai mossák, míg a másik oldalról más, kedves dombok veszik körül, amelyek egy hatalmas színház látványát keltik, és a dombok mindegyike megművelt, és bővelkedik a zamatos gyümölcsökben és a nemes szőlőkben: és mivel minden oldalról gyönyörű kilátás nyílik, amelyek egyike közeli, másika távoli, van azonban, ahol egészen a horizontig tart; egy-egy loggia került az épületnek mind a négy homlokzatára".[10]

Nem kétséges, hogy a Rotonda *táji „jelöltje"* egyike volt a kialakítás inspiráló motívumainak. Jelöltről beszélünk, mivel ebben az esetben nem egy szerencsésen elhelyezett épületről van szó, amelynek belsejéből, akár szokott formában is, látható lenne a környező vidék; hanem egy olyan épületről, amelyben a táji

[10] Andrea PALLADIO, I Quattro Libri dell'Architettura. Venezia, 1570. Faximile kiad. Hoepli, Milano, 1969.

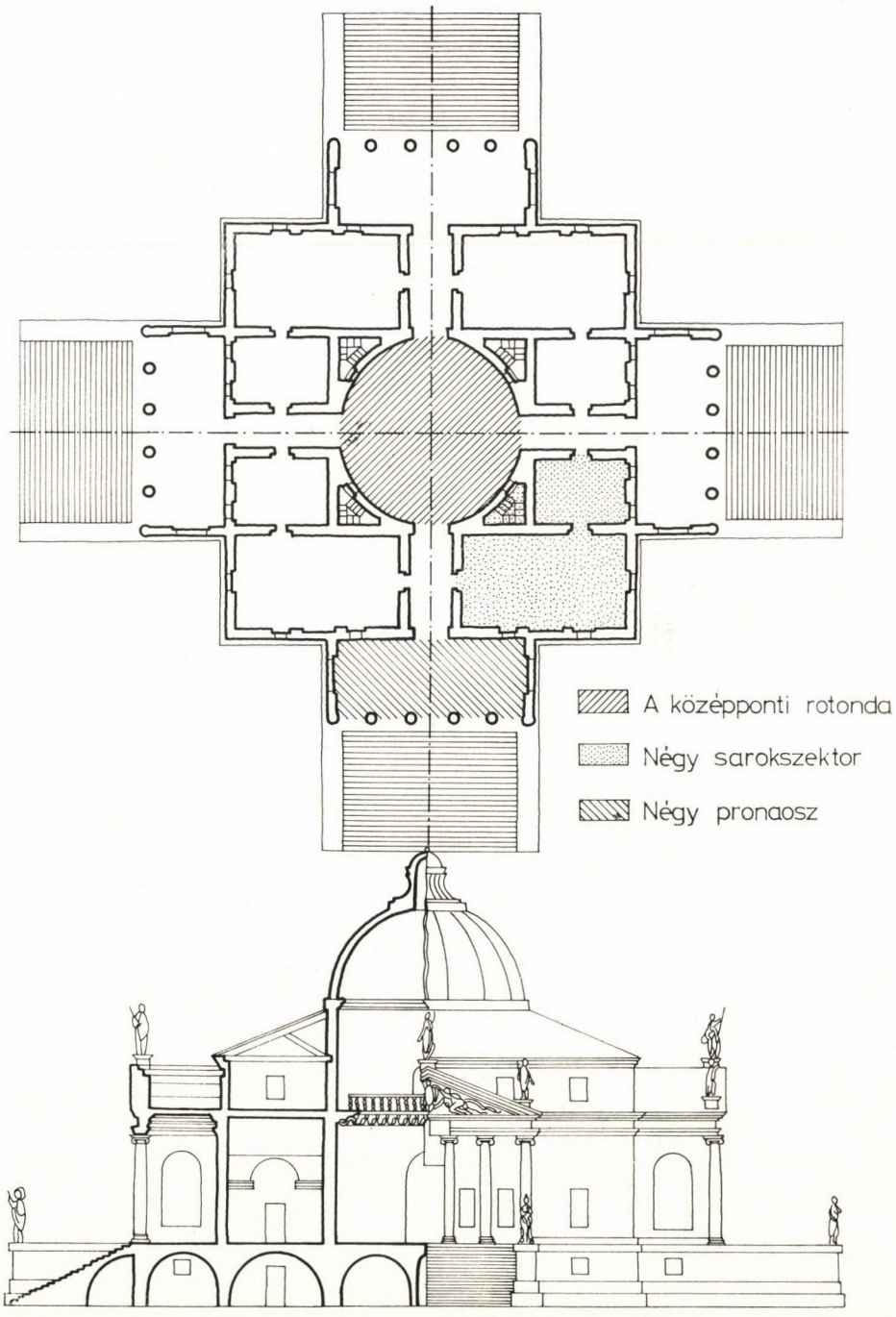


1. kép Andrea Palladio, a Villa Capra, „La Rotonda", Vicenza, 1550.

láthatóság a négy irányból a legbelsőbb, és szemiotikailag a leggazdagabb téri magba áramlik, azt nem csupán egy privilegizált irány szemszögéből alakítva, hanem a perspektivák „univerzumából", arra törekedve, hogy a központi „rotondának" paraméterét és lételvét meghatározza.

Ami a Villa Caprának a körülvevő környezethez fűződő viszonyát illeti, hivatkoznunk kell arra, amit elöljáróban a jelölő urbanisztikai értékéről mondottunk: ez, belső arculatával meghatározza az *építészeti* léptékű jelöltet, és külső homlokzatával hozzájárul egy másik *urbanisztikai* léptékű belső-jelölt formálásához. A Villa Capra esetében a *homlokzatok egy külsőt alkotnak* abszolút értelemben, mivel behatárolják az építészeti jeleket, tisztán elkülönítve a mesterséges konstrukciót a természeti környezettől. De maga ez a mesterséges konstrukció, amely más városon kívüli villák esetében arra törekszik, hogy a mű és a vidék kapcsolatát fokozatos sorrend szerint teremtse meg, amely összefügg a részek sokfunkciós mivoltával is, a Rotonda esetében a minimumra redukálódik, azaz arra szorítkozik, hogy a villát ráillessze a magaslatra, amelyen emelkedik. A jelölőnek ez az abszolút jellege az, ami magyarázza, és igazolja azt, hogy Palladio az antik templom formakincsét éleszti fel. [I. tábla]

A villa *piano nobilé*-jének síkmértani olvasatából (evidens módon ez a legjelentékenyebb szint, és ennek időről időre megfeleltetjük a többi szintet és helyiséget) nyilvánvalóan kiderül az őt alkotó helyiségek összetett, többjelű minősége. Ezeket három kategóriára lehet osztani: *a)* egy erősen jelölt belső tér, a központi rotonda tere; *b)* gyengébben jelölt külső szobák csoportja (ez nem



2. kép A „Rotonda" helyiségeinek kategóriái

jelent építészeti értékű ítéletet), c) négy erősen jelölt tér, amelyek értékre és helyzetre nézve egyenlők, úgy egyik a másikhoz viszonyítva, mint a rotonda központi teréhez viszonyítva; avagy a pronaoszok, amelyek egyébként az átmenetet közvetítik a villa belsője és külsője között. (II. tábla)

Most áttérünk a vizsgálat tárgyául szolgáló épület helyiségeinek analízisére: ezek a központi rotonda, a négy sarokszektor, amelyek mindegyikének van egy nagy helyisége, egy kicsiny, és egy lépcső, valamint a négy pronaosz. A központi rotondában négy fő mozgási irány találkozási helyét láthatjuk, ez a négy irány kommunikációs összeköttetést létesít a külső és a belső tér között. Egy privilegizált irány hiányának bizonyságaként megfigyelhető, hogy mind a négy „folyosó", amely a központi maghoz vezet (ezek 45 °-os szögben orientáltak az égtájakhoz viszonyítva) a fény minden irányban egyenlő lehetőséggel terjed, akkor is, ha magától értetődő módon eltérő intenzitással és fokozattal.

Ami a kupolát illeti, a koronázás problematikájához tartozik a kupola magasságának, befejezésének és Scamozzinak az eredeti tervbe történt beavatkozásának vitatott kérdése. Ebben az esetben, Pane szerint „a meglevő kupola az, amit Palladio alkotott, és amit Scamozzi nem hamisított meg, hanem arra szorítkozott, hogy befedje egy igen jól elhelyezett, sugarasan egymásra következő gyűrűkből álló kúppal, amely olyan, akár egy cserepekből készült kör alakú lépcsőzet."[11] E komplex filológiai kérdésből csak annyi tartozik fejtegetésünkhöz, amennyi a jelölő két arcára vonatkozik, avagy a kupola *intradosza* (belső boltozat oldala) és *extradosza* (a boltozat háta). A belsőből szemlélve a köríves kupola a központi opaionnal, a rotonda henger alakú tömegének logikus konklúziója; megfordítva, a külsőből szemlélve, Scamozzi megoldása kétségtelen érdeklődést mutat — jóllehet különböző dimenziókkal és konstrukciós elrendezéssel — a Pantheon lefedése iránt. Az egyedi viszony, amely a Villa Capra kupolájának intradosza és extradosza között megteremtődik, demonstrálja és megerősíti azt, amire rámutattunk a jelölő két arculata közötti nexusok tárgyalásánál. Valóban, míg a belső egy hamisítatlan *klasszicista* jellegű teret jelenít meg, a külső arculat ezzel szemben, akár a tetők ferde rétegei, és a minimálisra redukált tambur hengeres tömegének összekapcsolása, akár a gyűrűkbe történt fokonkénti csökkentése miatt, a Pantheonra való szándékos tudatos hivatkozás ellenére, egy szemantikailag kétértelmű, hamisítatlan *manierista* ízlésű eredményt határoz meg.

Az eddig kifejtett elképzeléseket úgy lehet felfogni, mint a középponti rotonda *jelölőjéhez* kapcsolódókat. Foglalkozzunk most a *jelöltjével*. Ezen a ponton idéznünk kell a Négy Könyv híres passzusát a templomok kör formájára vonatkozóan, amelyet az egész traktátus leggazdagabb ikonológiai utalásának tekinthetünk, „A templomok készülnek kör alakúra; négyzet alakúra, hat- nyolc- és sokszögűre, amelyek mindegyike végül egy kör térfogatába foglalható;... De a legszebb és legszabályosabb formák, és amelyekből mások is nyerik méreteiket: a kör és a négyzet;" És miután emlékeztetett a templomok elhelyezésének, oszloprendjeinek, és síkformáinak a pogány istenségekkel való ismert szimbolikus megfelelésére, Palladio folytatja: „És ezért mi, akiknek nincsenek hamis isteneink, hogy megőrizzük a méltóságot a templomok formáiban, a legtökéletesebbet és legnemesebbet fogjuk választani; és mivel a kör ilyen, lévén az összes formák közül az egyetlen egyszerű, egyenletes, egyező, erőteljes és tágas, a templomot kör alakúra tervezzük; amelynek tökéletesen megfelel ez

[11] Roberto PANE, Andrea Palladio, Einaudi, Torino, 1961. 189. o.

az idom, lévén egyetlen vonallal határolva, amelynek sem elejét sem végét nem lehet találni, sem egyiket a másiktól megkülönböztetni; és mivel egymás között azonos részei vannak, amelyek mindegyike szerepel az idom egészében; és végül mivel minden részében a végső egyenlő távol található a középponttól; a legalkalmasabb érzékeltetni ISTEN Egységét, végtelen Lényegét, Egylényűségét és Igazságosságát.. .A templomoknak igen tágasaknak is kell lenniük, hogy sok ember kényelmesen tudjon állni az isteni offíciumok előtt; és az összes forma között, amelyeknek egyenlő kerületük van, a körnél egyik sem tágasabb."[12]

Miként lehet átvinni ezt a morfológiai szimbolikát egy szakrális épületről egy profánra? Nem véletlenül történt az átvitel. Mindenekelőtt villa-templomról van szó, a Rotonda számára történt; és ez nem csupán a külső aspektus számára, hanem egy bizonyos szakralitás számára is, amellyel a profán épület praktikus rendeltetésének ellenére rendelkezik. Ezt a szakralitást a művészet otthona-kvalitásban látjuk. A reneszánsz kultúrában, ha a pogány isteneket meg is szentségtelenítik, mindazonáltal nem vész el mitológiájuk „kulturális" karaktere; különösen ami a nimfákat, és mindenekfelett a múzsákat illeti. A múzsa fogalma az, — amire Palladio is rámutat az építészeti szimbólumok meghatározásakor, amelyeket az antikok megfeleltettek ezeknek a költői figuráknak — amely megteremti a folytatás és folyamatosság elemét az antik és a reneszánsz világ szimbolikus megfelelési paraméterei között.

Hogy felmérjük a jelölt ezen interpretációjának jelentőségét, szükséges, véleményünk értelmében megjelölni, miben különbözik ez a funkció fogalmától, amelyet néhány szerző, amint említettük volt, megfeleltet a jelölttel. Kétségtelen, hogy a rotonda terének megvan a maga rendeltetése: összejövetel helye, helyiség a zenének, szavalatoknak és tudós humanista társalgásoknak. Ezek dacára nem ilyen rendeltetés határozta meg a rotonda téri kiképzését (egyébként nem hibátlan egy szorosan vett funkcionális szempontból), hanem a szemantikai transzponálás folyamatához kapcsolódó szimbólumok, értékek, intenciók, amely transzponálás a pogány istenségtől a reneszánsz mélység felé halad a művészet útján. Sőt a rotonda terében a jelölt maximuma a praktikus funkcionalitás relatív minimumával kapcsolódik össze. Valóban, kivéve ezt a szemantikai-téri szerepet, a rotonda nem alkalmas semminő specifikus gyakorlati hasznosításra, amely összefüggésben lenne a villa lakhatóságával s ezen túl, hacsak nem a lépcsők miatt, amelyek feljárást biztosítanak a többi emeletre, az egész elválasztó rész megszabadult ettől a középponti magvától.

Áttérve a sarokszektorok analízisére, ezeknek nagy, világosan megkülönböztethető, monolitikus elemként történő vizsgálatát megerősíti a négy lépcső jelenléte, amelyeknek hajlított oldala megegyezik a középponti rotonda falával, míg a két derékszögvonal, párhuzamosak és ekvivalensek lévén a külső négyszögletű kerület oldalaival, ennek egy átvitt vetületét alkotják egy hasonló formában. Más szóval, a jelölés céljából, a négy sarokszektor közömbös módon meg is lehetne töltve, oly módon, hogy egyetlen nagy, görbevonal-háromszög alakú helyiség foglalná el, vagy más artikuláció szerint alakítva, mint ahogy ténylegesen van. Ha igaz ez az olvasati hipotézis, megerősítést nyer az, hogy a rotonda egy erősen jelölt tér, aminthogy azok a pronaoszok is; míg a sarokszektorok által tartalmazott helyiségek kevésbé erősen jelöltek. Mindenekfelett, tekintettel a rotonda-pronaoszok artikulációra, a kerület és a lépcsők

[12] Quattro Libri, IV. 6. o.

helyiségeinek belső terei külsők lesznek, és nem láthatók, úgy, ahogy belőlük nem látható a középponti rotonda tere. Ezért is van kevés jelentősége a ténynek, hogy ezek ellentmondanak a középpontosság programjának. A rotondapronaoszok artikulációtól való függetlenségüket még az a tény is megerősíti, hogy a négy sarokszektor egymás között, a folyosókon keresztül, és nem a rotondán keresztül van összekötve. Végül, a kerületi helyiségek gyengén jelzett tér jellegét megerősíti jelöltjük viszonya az épület komplex és a rotonda egyéni jelöltjéhez.

Magától értetődik, hogy gyengén jelölt terekről beszélni, ami a sarokszektorokra vonatkozik, nem feltételez sem,—amint mondtuk,—egy építészeti értékű ítéletet, sem részleteiben azt a megállapítást, hogy ezek a terek csekély jelentésűek lennének. Ellenkezőleg, alárendelt szerepükben, a sarokszektorok helyiségei meghatározott módon hozzájárulnak a teljes mű *struktúrájához.* Ha elfogadjuk a másutt javasolt azonosítást a struktúra és a *symmetria* vitruviusi koncepciója között[13] (nem egy tengely szerinti tükörképet értve, hanem mint fix matematikai viszonyát a részeknek egymás közt, valamint a részeknek az egészhez), evidens lesz, hogy ezeknek a nem jelölt tereknek a szerepe, és következésképpen a jelöltje ebben az arányban lesz, avagy az ilyen szmmetriának a moduláló tényezőjében.

Vessünk egy pillantást a dimenzionális viszonyokra, amiket a piano nobile szkémája prezentál. Ismert, hogy a középponti rotonda átmérője (harminc láb) egyenlő a pronaoszok szélességével; a négyzetes tömeg oldala duplája ennek a méretnek; a nagy szobák kisebb oldala (tizenöt láb) megegyezik a kisebb szobák nagyobbik oldalával és a nagyobbik oldal párja a kis szobák két oldala összegének (tizenöt plusz tizenegy láb); és végül, hogy a kis helyiségek két rövid oldalának és a közrefogott folyosó szélességének összege megfelel a pronaosz szélességének, azaz a központi rotonda átmérőjének. Visszatérve a metszethez, megjegyezzük, hogy a nagyobb, külsőn levő helyiségek magassága megegyezik a kisebb helyiségek és az ezek fölé helyezett mezzaninok magasságának összegével, ezzel, figyelembe véve azt az elvet, hogy egy nagyobb magasság a terjedelmesebb helyiségnek feleljen meg, és kihasználva a kis és a nagy szobák közötti magasságkülönbséget, egy redukált emelet közbeiktatására ad lehetőséget. A belső tereknek ez a magassági-méretbeni kiegyenlítése megmutatkozik a pronaosz homlokzatának magasságában az attikai szint síkmértani folytonosságának érvényrejuttatásával, amely a jelenlegi kettéosztó megoldásában egy legutóbbi rendezés eredménye.

Míg a piano nobile a vonatkozó mezzaninokkal visszatükrözi azt a síkmértani dimenziók és magasság közötti arányt, amely a reneszánsz építészet egész belső térkompozíciójának középpontjában áll, a szolgáltatásoknak rendelt földszint, habár visszatükrözi a piano nobile síkmértani elrendezését, ellentétben áll az ilyen arányítási szabálynak, mivel azonos magasságú helyiségekkel rendelkezik, ha ezek különböző módon boltozottak is. És ha ezek a földszinti helyiségek, funkcionalitásuk, strukturális és rusztikus karakterük miatt, konzseniálisabbaknak mutatkoznak az aktuális ízlés számára, szemantikailag mindenképpen kevésbé gazdagok, tekintettel a kor kulturális kódjára, talán leginkább pontosan amiatt, hogy a magassági tagozódás nem felel meg a síkmértani elrendezésnek.

[13] R.De Fusco, Il codice dell'architettura, antologia di trattatisti, E.S.I. Napoli, 1968. 23—27. o.

Milyen értelemben lehet tehát a sarokszektorok helyiségeit gyengén jelöliteknek meghatározni? Mindenekelőtt az egész villa kontextusában játszott egyértelműen alárendelt szerepük miatt; másodsorban, mivel belső terükjelöltjük, arányosságuk miatt, az építészeti kód permanens normájának megfelelően alakul, míg a középponti rotonda egy kiemelkedő jelet alkot, egy *invenciót* a kódhoz viszonyítva; és végül, mert legexplicitebb és legegyértelmübb funkcionális értékük csökkenti a jelentés léptékére vonatkozó hangsúlyt. Így megállapíthatjuk, hogy az értékmaximumok és a szemantikai gazdagság megfelel a funkcionális meghatározottság relatív minimumainak, és megfordítva. Ennek folyományaként általában kijelenthetjük, hogy *a legmagasabb fokú poliszémia megfelel a legmagasabb esztétikai eredménynek, és megfordítva, hogy a szemantikai egyértelműség maximuma megfelel az esztétikailag legminimálisabb eredménynek.*

Megfordítva, miként mondottuk, erősen jelöltek a pronaoszok terei. Ezeket, a villa-templom téma kifejtésén túl, amelyen a Rotonda külső tér-jelölő egész struktúrája artikulálódik, egy belső téri mivoltuk szerint is jellemezzük. Közvetítő funkciójuk belső és külső között evidens, és az alapzat falazati folytonosságából kiugró rizalitra helyezett, amely összekapcsolódik a lépcső ereszkedésével, és amely megengedi, az első lépcsőfoktól kezdve, hogy felismerjük a pronaosz és a piano nobile szintjét. Megérdemli ezenkívül, hogy aláhúzzuk a pronaoszok sajátos belsőségét, amely mindenekelőtt mélységének tulajdonítható, amelyhez elméletileg hozzákapcsolódik a lépcső síkmértani vetülete (ismert, hogy a pronaosz alaprajza a hozzá tartozó lépcsővel egy négyzetet alkot) és mindenekfelett maguknak a pronaoszoknak az oldalzáródása. Ez a záródás elválasztófalból készült, mintegy az épület négyzetes kerületének folytatása, középen egy íves nyílással. Megjegyezzük, hogy egy analóg megoldás található a Palazzo Chiericatin és a Villa Piovenén Lonedóban, míg a Malcontentán a pronaosz megnyúlik az oldalakon, ezáltal egy olyan karaktert kölcsönözve ennek a térnek, amely ha építészetileg nem is fölérendelt, mindenesetre kevésbé külsődleges jellegű. A templom morfológiájától kifejezetten eltérő Malcontenta-pronaoszhoz hasonlítva, a Rotonda pronaosza, pontosan az íves oldalmegoldás miatt, kötődik jobban a mű *polgári* jelentéséhez. Amint Wittkower megjegyzi, Palladio „volt az első, aki összekapcsolta koherens módon a klasszikus templom homlokzatát egy ház falával."[14] A pronaoszok oldalzáródásai még, azon túl, hogy folytonossági elemet alkotnak a pronaoszok és a szobák külső fala között, a hexastilos homlokzaton megteremtik a loggia egyetlen nagy nyílását.

Ami a pronaoszokat illeti, nem könnyű világos magyarázatot adni az ide tartozó arculatokkal összefüggő jelöltre és jelölőre vonatkozóan, amely terminusokkal analizáltuk a rotondát és a sarokszektorokat. Mindenekelőtt a pronaoszok közvetítő, szűrő elemet alkotnak a villa belseje és a külső között; másodsorban — ismételten hangsúlyozva, hogy a loggiáknak belső terük van — ha nem foglaljuk bele a zárófalat, az oldalak és az elöl álló kolonnád számára készült falat, joggal beszélhetünk a belső és a külső arculatok sajátos „ekvivalenciájáról". Helyesen visszatükrözve mind a pronaosz által játszott közvetítő szerepet, mind néhány konstitutív elemének arculatai közötti ekvivalenciát, a hangsúlyok fokozatosságát és különbözőségét mutatják a belső-

[14] Rudolf WITTKOWER, Architectural principles in the Age of Humanism. London, 1961. 76. o.

ből a külső felé haladás folyamán. Valóban, míg a zárófal kétségkívül a pronaosz belső terének egy komponensét alkotja, az oldalfalak egyrészt részt vesznek magának a pronaosznak a belsőjében, és másrészt elkülönítenek belőle egy külső formát, amely magában foglalja a kapcsolatot a földdel; és végül, a kolonnád ekvivalens mértékben részt vesz, pontosan elemeinek kör formája miatt mind a belsőben, mind a külsőben.

Még komplexebbé teendő a pronaosz szemiotikai analízisét, felmerül az oszlopok szimbolikájának kérdése. Az oszlopok kommunikatív szerepe nem valósul meg az építészeti jel szintjén, hanem egy más szinten, amely döntő módon szimbolikus. Így a hexastil kolonnád az őt koronázó homlokzattal, mind a pronaosz belső terének burok-jelölő szerepét, mind pedig azt a szerepet játssza, amely szimbolikus értéket ad az egész műnek. Köszönet ennek a kettős jel- és szimbolikus természetnek, jogos beszélni jelölésről ezen elem miatt is, amely osztozik a külső jelölőben és nem a jelölt-belső térben. Itt jegyezzük meg, hogy, mint ismert, az ión oszlopnak, legfőbb szimbolikus konnotációi között apollói jellege van, amely megerősíti ennek a villa-templomnak „múzsák lakhelye"-jellegét.

Az alábbiakban megpróbáljuk röviden összefoglalni az elmondottakat. Ez a tanulmány mindenekelőtt a szemiotikai interpretáció lehetőségét, jogosságát és hasznosságát igyekezett demonstrálni egy jobb történeti-kritikai „értelmezés" céljából. Az a jelölt, amit úgy határozhatunk meg, mint egy mű „lét-okát", pontosan megfelel a metodológusok „ok" fogalmának.[15] Úgy véljük, bizonyítottuk alaphipotézisünket, azaz az ekvivalenciát a két dichotómia, jelölt és jelölő, belső-külső tér között. Ami a jelölés szintjeit illeti, az elvégzett analízis egy kettős szemantikai érték, azaz a jelé és a szimbólumé, az előbbi a belső-külső tér dichotómiájához tartozik, a másik a jelölő két arcának morfológiájához. A pronaoszok jelentésének kapacitására gondolunk, amely míg egyfelől az általuk jelölt tér jelölő komponensét képezik, másfelől, egy jelölőt alkotnak, amely szimbolikusan jelöl. Ezenkívül megjegyeztük, hogy egy mű szemantikai értékei nem felelnek meg egészen funkcionális meghatározottságuk fokának, sőt, hogy olykor egyik és másik ellentétes viszonyban van azzal.

[15] K.R. POPPER, Miseria dello storicismo. Milano, 1954. 117. o.

DR. FÜZY JENŐ

NUMERIKUS MÓDSZER A HÁROMDIMENZIÓS, RUGALMAS SZILÁRD TESTEK FESZÜLTSÉG-ANALÍZISÉRE

BEVEZETÉS

A szerző korábbi munkáiban bemutatott a kétváltozó rugalmasságtani feladatok megoldására egy lehetséges módszert, két skalár feszültségfüggvény bevezetésével [1], amely véges differenciák alkalmazása esetén bizonyos egyszerűsítéseket eredményezett. Ez a módszer első peremérték feladatokra (a peremen a feszültségek adottak) alkalmas, melyek megoldására viszonylag kevesebb módszer ismert. A szerző további munkáiban a módszert az inhomogén [2], majd az ortotrop közeg esetére is általánosította [3]. Későbbiekben a szerző kísérletet tett a módszer általánosítására a háromdimenziós esetre is, de a [4]-ben bemutatott módszer csak a tengelyszimmetrikus esetekre érvényes. Jelen dolgozat a módszer teljes értékű általánosítását mutatja be a háromdimenziós esetre.

JELÖLÉSEK, SZIMBOLIKÁK ÉS A RUGALMASSÁGTAN ALAPEGYENLETEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Tárgyalásaink során a DESCARTES-féle x_i; $i = 1, 2, 3$ koordinátákat fogjuk alkalmazni. A differenciálás jelölésére a következő rövidítéseket vezetjük be:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \equiv \partial_i \quad \text{ill. vektoroknál} \quad \frac{\partial}{\partial x_i} a_j \equiv a_{j,i}$$

Ha egy kifejezésben ugyanaz az index kétszer fordul elő, az szummázást jelent. (Háromszori előfordulás esetén nem!)

További jelölések:

e_i egységvektorok,

$\underline{\nabla} = e_i \partial_i$ a nabla vektor (HAMILTON-féle operátor),

$\underline{\Delta} = \underline{\nabla} \cdot \underline{\nabla}$ a LAPLACE-féle differenciál operátor,

$u = u_i$ az elmozdulás vektor. Ez utóbbi derivált-tenzora az alábbi módon írható fel:

$$u_{ik} = \frac{\partial}{\partial x_i} u_k = u_{k,i} \quad \text{ill. vektoriálisan} \quad u_{ik} = \underline{\nabla} \circ \underline{\nabla}$$

itt $\circ$ a diadikus szorzás jele.

A derivált tenzor szimmetrikus része a deformáció-tenzor:

$$\mathbf{D} = d_{ik} = \frac{1}{2}(u_{ik} + u_{ki}), \quad \text{ill. vektoriálisan} \quad \mathbf{D} = \frac{1}{2}(\underline{\nabla} \circ u + u \circ \underline{\nabla}) =$$

$= \mathrm{GRAD} u$, az antimetrikus része pedig a torzulás-tenzor:

$\mathbf{T} = t_{ik} = -\frac{1}{2}(u_{ik} - u_{ki})$, ill. vektoriálisan $\mathbf{T} = -\frac{1}{2}(rot\ u) \times I$, ahol $\mathbf{I} =$

δ_{ik} az egység-tenzor, δ_{ik} pedig a KRONECKER-szimbólum, melynek értéke az i = k esetekben 1, és i≠k esetekben 0.

Megjegyzendő, hogy a **T** torzulás-tenzort a klasszikus rugalmasságtan elhanyagolja és csak a szimmetrikus részt veszi figyelembe. Ha az antimetrikus részt is figyelembe vesszük az ún. COSSERAT közeg egyenleteihez jutunk. További szimbolikák ill. jelölések:
e_{ijk} a LEVI-CIVITA féle alternáló-tenzor. Ennek értéke O, ha i, j, k közül kettő egyforma, + 1 ha az indexek az 1, 2, 3, 1, 2, 3, . . . sorozatba beleillenek, és −1 ha nem. Vagyis pl.: $e_{132} = -1$, $e_{231} = 1$, $e_{112} = 0$
Ennek segítségével pl. a vektoriális szorzat:

$a \times b = e_i\ e_{ikl}\ a_k\ b_l = -e_i\ e_{ilk}\ a_k\ b_l$, illetve a rotáció

$rot\ u = e_i\ e_{ikl}\ \partial_k\ u_l = -e_i\ e_{ilk}\ u_{l,k}$
alakban írható fel. Megjegyezzük, hogy a tenzor rotációt, illetve más magasabbrendű koordinátainvariáns műveletet (tenzordivergencia, vektorgradiens) megkülönböztetésül nagy betűvel írunk.

G a nyírási modulus,
ν a POISSON tényező,

$\mathbf{S} = S_{ij}$ a feszültség-tenzor, skalár invariánsa: $\sigma_0 = \frac{1}{3} S_{ii}$

$\mathbf{D} = d_{ij}$ a deformáció-tenzor.

Fenti jelölésekkel az általános HOOKE törvény így írható:

$$S_{ij} = c_{ijkl} \cdot d_{kl} \text{ ill. } d_{ij} = c_{ijkl} \cdot s_{kl}$$

mely homogén-izotrop esetében így alakul:

$$d_{ij} = \frac{1}{2G}\left(S_{ij} + \frac{\nu}{1+\nu} s_{ii}\ \delta_{ij}\right).$$

Az egyensúlyt az alábbi egyenlet fejezi ki:

$$S_{ik,k} + f_i = O,$$

illetve az f_i tömegerők elhanyagolása esetén:

$$S_{ik,} = 0 \text{ ill. vektoriálisan DIV } \mathbf{S} = O.$$

Az összeférhetőségi egyenlet pedig az alábbi módon írható:

$$e_{ikm}\ e_{jln}\ d_{kl,mn} + \mu_{ij} = 0,$$

illetve a diszlokációkra jellemző μ_{ij} tenzort elhanyagolva:

$$e_{ikm}\ e_{jln}\ d_{kl,mn} = 0,$$

mely vektoriálisan így írható:

$$\underline{\nabla} \times \mathbf{D} \times \underline{\nabla} = \text{ROT } \mathbf{D}\ \text{ROT} = 0.$$

A MÓDSZER ELMÉLETI ISMERTETÉSE

A klasszikus rugalmasságtan egyensúlyi egyenletét kielégíti, ha a feszültség tenzort az alábbi módon állítjuk elő:

$$S_{ik} = - e_{\alpha\beta k} \, \partial_\alpha \, F_{i\beta}, \tag{1/a}$$

illetve vektoriálisan írva:

$$\mathbf{S} = - \mathbf{F} \times \underline{\nabla} \tag{1/b}$$

ahol $\mathbf{F} = F_{ik} \neq F_{ki}$ egy feszültség-függvényekből álló tenzor, mely hat nullától különböző függvényt tartalmaz:

$$\mathbf{F} = [F_{ik} =] \begin{bmatrix} 0 & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & 0 & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & 0 \end{bmatrix} \tag{2}$$

Ennek a megoldásnak az existenciáját, ill. a COSSERAT kontinuumok megoldásával való összefüggését a függelékben mutatjuk be.

A feszültségek ebben az előállítási módban elsőrendű deriváltakkal nyernek meghatározást, részletezve:

$$\mathbf{S} = [s_{ik}] = - \begin{bmatrix} \dfrac{\partial F_{12}}{\partial x_3} - \dfrac{\partial F_{13}}{\partial x_2} & \dfrac{\partial F_{13}}{\partial x_1} - \dfrac{\partial F_{12}}{\partial x_1} \\ - \dfrac{\partial F_{23}}{\partial x_2} - \dfrac{\partial F_{21}}{\partial x_3} + \dfrac{\partial F_{23}}{\partial x_1} & \dfrac{\partial F_{21}}{\partial x_2} \\ \dfrac{\partial F_{32}}{\partial x_3} - \dfrac{\partial F_{31}}{\partial x_3} & \dfrac{\partial F_{31}}{\partial x_2} - \dfrac{\partial F_{32}}{\partial x_1} \end{bmatrix} \tag{3}$$

Az $\mathbf{F}$ aszimmetrikus tenzor egyes elemeit, a feszültség-tenzor klasszikus rugalmasságtanban érvényes szimmetria feltétele, az alábbi feltétellel kapcsolja össze:

$$\partial_i \, F_{ij} = 0, \tag{4/a}$$

illetve vektoriálisan:

$$\mathrm{DIV} \; \mathbf{F}^* = 0, \tag{4/b}$$

részletesen:

$$\frac{\partial F_{13}}{\partial x_1} = - \frac{\partial F_{23}}{\partial x_2} \; ; \; - \frac{\partial F_{12}}{\partial x_1} = \frac{\partial F_{32}}{\partial x_3} \; ; \; \frac{\partial F_{21}}{\partial x_2} = - \frac{\partial F_{31}}{\partial x_3} . \tag{4/c}$$

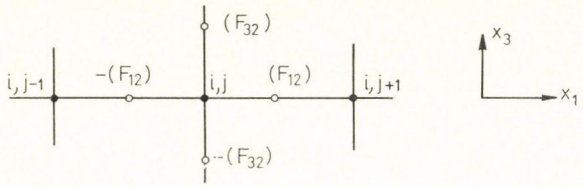
A hat ismeretlen függvény meghatározására a (4) által képviselt három skalár egyenleten kívül további három egyenlet nyerhető olymódon, ha feszültség-tenzor (3) alatti alakját véve figyelembe a fizikai összefüggés segítségével azt az összeférhetőségi egyenletbe helyettesítjük. Ennek eredménye homogén izotrop esetben a BELTRAMI egyenlet, mely a tömegerők figyelmen kívül hagyása esetén az alábbi alakban írható:

$$\triangle \mathbf{S} + \frac{3}{1 + \nu} \; \mathrm{GRAD} \; grad \; \sigma_0 = 0. \tag{5}$$

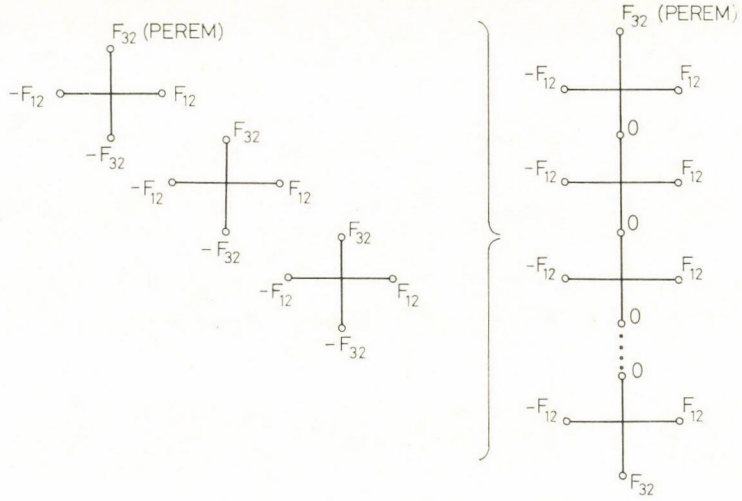
A (5) által képviselt hat skalár egyenlet közül csak három független egymástól, így (4) és (5) összesen hat skalár egyenletet képvisel a hat ismeretlen feszültségfüggvény meghatározásához.

A MÓDSZER NUMERIKUS ALKALMAZÁSA

A (4) alatti egyenleteket véges differenciákkal írva fel, azok egy-egy koordináta síkban jelentenek kapcsolatot a diszkrét függvényértékek között az 1. ábrán látható operátor csillag szerinti módon. A függvényértékeket nem a hálózat i, j csomópontjain, (az ábrákon feketített körrel jelölve), hanem azok között (az ábrákon üres körrel jelölve) értelmezzük. Az 1. ábra szerinti egyenleteket a 2. ábrán látható módon összevonva, az ismeretlenek egy részére



1. ábra



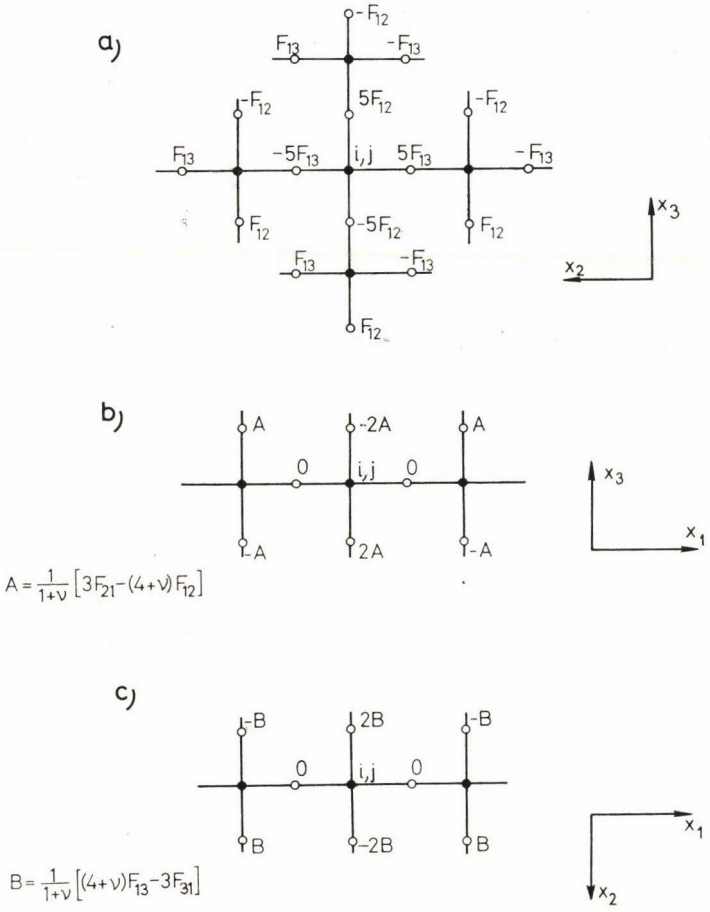
2. ábra

(közel a felére) explicit alakú egyenleteket tudunk felírni. Belső pontokra még további három egyenlet írható fel az (5) összefüggés alapján. Ezek a (3) összefüggés figyelembevételével, és a három koordináta sík szerint felbontva a 3/a, 3/b és 3/c ábrákon láthatók operátor-csillag alakjában. A három szimbólum összege nullával egyenlő az (5) egyenlet alapján, és a felírható három egyenlet közül a 3. ábra szerint felírható egyenlet az első. További két egyenlet teljesen hasonló módon írható fel.

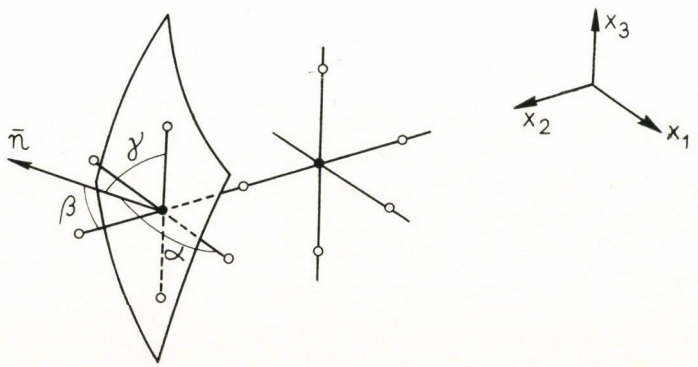
A peremfeltételi egyenletek a 4. ábra alapján az 5. ábrán látható módon írhatók fel, figyelembe véve az alábbi ismert összefüggéseket:

$$P_1 = \cos\alpha\ s_{11} + \cos\beta\ s_{12} + \cos\gamma\ s_{13} \qquad (6/a)$$

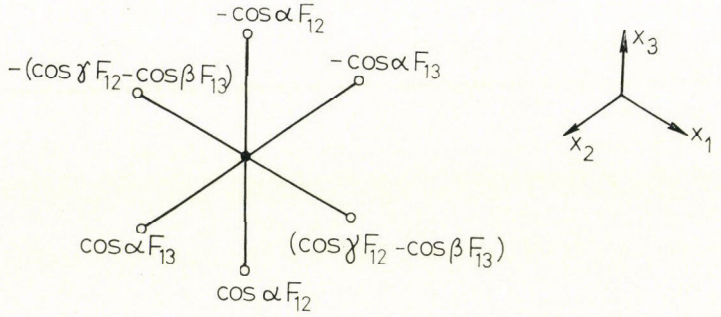
stb. (6)


a)
$-F_{12}$
F_{13}
$-F_{13}$
$-F_{12}$
$5F_{12}$
$-F_{12}$
F_{13}
$-5F_{13}$
i,j
$5F_{13}$
$-F_{13}$
F_{12}
$-5F_{12}$
F_{12}
F_{13}
$-F_{13}$
F_{12}
x_3
x_2
b)
A
-2A
A
0
i,j
0
-A
2A
-A
x_3
x_1
$A = \frac{1}{1+\nu}\left[3F_{21}-(4+\nu)F_{12}\right]$
c)
-B
2B
-B
0
i,j
0
B
-2B
B
x_1
x_2
$B = \frac{1}{1+\nu}\left[(4+\nu)F_{13}-3F_{31}\right]$

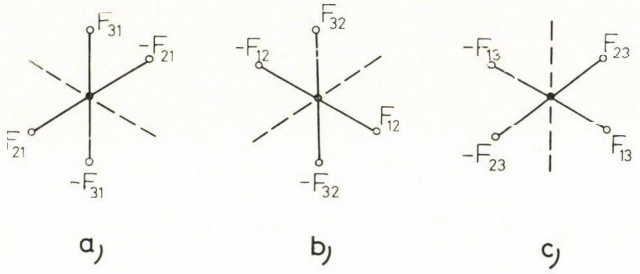
3. ábra


$\bar{n}$
γ
β
α
x_3
x_2
x_1

4. ábra



5. ábra



6. ábra

A peremen még további három egyenlet írható fel a (4) összefüggések alapján, ezek a 6/a, 6/b és 6/c ábrákon látható módon alakulnak. Az operátorcsillagok súlypontja feketített körrel jelölt pontokra esik, az ismeretlenek viszont az üres körrel jelölt pontokon vannak értelmezve, a páratlan rendű deriváltak miatt, Mivel üres körrel jelölt pont szükségszerűen több van, mint feketített körrel jelölt, látszólagos ellentmondás van az ismeretlenek és a felírható egyenletek száma között, ez azonban valóban csak látszólagos, ugyanis a perem környezetében levő pontoknál (lásd a peremfeltételi egyenleteket) nem szükséges minden üres körrel jelölt pontban mind a hat ismeretlent értelmezni.

Az ismertetett módon felírt egyenletrendszerből, a 2. ábra alapján felírt egyenletek segítségével az ismeretleneknek közel a fele eliminálható, így végeredményben nincs több ismeretlenünk, mint pl. abban az esetben, ha a lineáris egyenletrendszert a MAXWELL függvények segítségével írnánk fel. Viszont az a körülmény, hogy a feszültségeket elsőrendű differencia hányadosokkal kapjuk, lehetővé teszi, hogy — azonos pontossági igény mellett, — ritkább hálózatot, és ennek megfelelően kevesebb ismeretlent vegyünk fel.

FÜGGELÉK

Abban az esetben, ha a COSSERAT közeg s_{ik} feszültségei (fajlagos erői) és m_{ik} fajlagos nyomatékai eleget tesznek az alábbi egyensúlyi egyenleteknek:

$$\partial_k \, s_{ik} = 0, \quad \partial_k \, m_{ik} + e_{k\alpha\beta} \, s_{\alpha\beta} = 0, \tag{7}$$

akkor exisztál az alábbi előállítási mód: [5, 6]

$$s_{ik} = -e_{\alpha\beta k}\,\partial_\alpha\, A_{i\beta}, \tag{8/a}$$

$$m_{ik} = -e_{\alpha\beta k}\,\partial_\alpha\, B_{i\beta} + A_{ik} - \sigma_{ik}\, A_{\alpha\alpha}. \tag{8/b}$$

A két tenzor, A_{ik} és B_{ik}, a bennefoglalt 18 feszültség-függvénnyel leírja a feszültségállapotot. A klasszikus kontinuumnál az m_{ik} nyomatékok eltűnnek, és **A** eliminálható (8)-ból:

$$A_{ik} = e_{\alpha\beta k}\,\partial_\alpha\, B_{i\beta} + \sigma_{ik}\, A_{\alpha\alpha}, \tag{9/a}$$

és így

$$s_{ik} = \underline{\nabla} \times \mathbf{B} \times \underline{\nabla} = \mathrm{ROT}\ \mathbf{B}\ \mathrm{ROT}. \tag{9/b}$$

Ez az előállítás 1892-óta BELTRAMI által ismert. Ha 8/a előállítást meg akarjuk őrizni, akkor az **A** tenzort 9/a-szerinti alakban kell előállítani, és ha a **B** tenzorban csak a MAXWELL függvényeket tartjuk meg, és a MORERA függvények nullák, akkor a (2) alatti tenzort kapjuk. A (4) összefüggést a klasszikus rugalmasságtan szimmetria feltételének kielégítése egyértelműen megadja.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] Füzy J.: Faltartók feszültségvizsgálatának új módszere. Mélyép. tud. Szle. 1966 2. szám. 91—95. o.

[2] Füzy J.: Különleges faltartók feszültségvizsgálata. (Tervezési segédlet) Bpesti Városép. Terv. Váll. Műszaki Osztálya. 1966

[3] Füzy J.: Analyis of homogeneous orthotropic quadrangular panesl. Avta Technica. Sc. Hung. Tomus 59 (1—2) pp. 11—20 (1967)

[4] Füzy J.: Funkcii haprjazsenyii trohmernoj izotropnoj zadacsi teorii uprugoszti. Periodika Politechnika. Vol. 12. No. 3. 1968. pp. 3—13.

[5] Günther W.: Zur Statik und Kinematik der Cosserat-schen Kontinuum. Abh. Braunschweig. Wiss. Ges. 10, 195—213 (1958)

[6] Schaefer H.: Das Cosserat Kontinuum. ZAMM 47 (1967) Heft 8; 485—498,

DR. TÓTH LÓRÁNT[1]

SÚRLÓDÁSI JELENSÉGEK „NEOTOPF" RENDSZERŰ SARUK KAMRAFALAIN

1. BEVEZETÉS

A „Neotopf" rendszerű saru (Gummitopflager, Pot bearing, Appui à cuvette garnie de caoutchouc) W. ANDRÄ, E. BEYER és L. WINTERGERST (NSzK) találmánya (1958) [1]. A sarutípusok kifejlesztése és a velük folytatott kísérletek 1959-ben indultak meg [2].

A saru alaptípusa egy kis szerkezeti magasságú és nagy teherátadási felületekkel rendelkező fix saru (1. ábra), mely gömbcsuklóként (Festes Punktkipplager, Appui oscillant ponctuel) működik.

Az ilyen típusú saruknál a „3" gumitárcsa[2] alakváltozása teszi lehetővé az x,y síkban elhelyezkedő bármely tengely körül az „1" nyomólap kismértékű elfordulását. Az elfordulásnak ellenálló nyomaték (Rückstellmoment, Kippwiderstand, Verdrehungswiderstand) — a saru geometriai kialakításától eltekintve — nagymértékben a gumianyag (elasztomer) fizikai tulajdonságaitól, valamint a tárcsa kamrával valamint nyomólappal való kapcsolata jellegétől függ.

Az „1" nyomólap és a „2" gumikamra között — a befeszülésmentes elfordulás biztosítására — legfeljebb 1 mm nagyságú szerkezeti hézag alakítandó ki (2. ábra). A „3" tárcsába süllyesztett tömítőgyűrűk[3] (Dichtungsring, Sealing strip) akadályozzák meg a gumianyagnak a hézagba való behatolását.

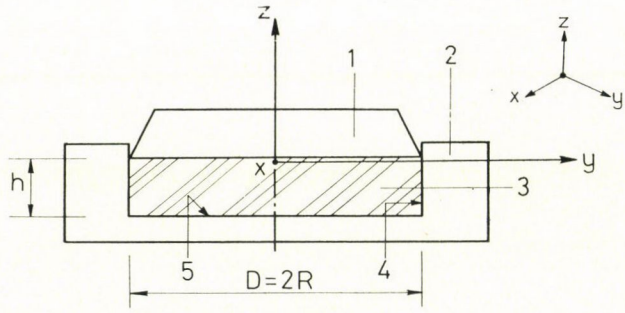
A „Neotopf" rendszerű saruk ritkábban téglalap alaprajzú kivitelben is készülnek. Ilyen esetben a tárcsát értelemszerűen egy x-irányban a, y-irányban b és z-irányban (vastagság) h méretű gumitömb helyettesíti.

A szerkezet további — emelés, szállítás, beépítés, korrózióvédelem, szabályozás, sarucsere stb. céljait szolgáló — tartozékokkal rendelkezik. Ezek ismertetése meghaladja a cikk célkitűzéseit. Ugyancsak nem tárgyaljuk a „Neotopf" rendszerű saruk fémszerkezetű részei tervezésének és méretezésének kérdéseit.

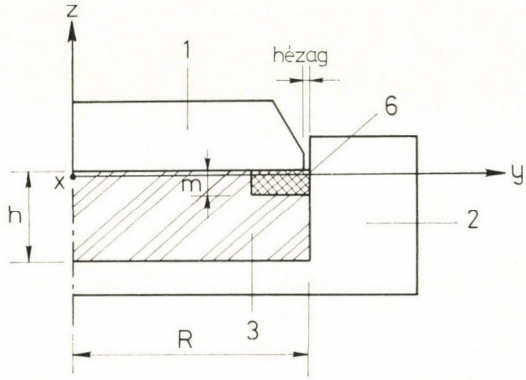
[1] Szerző okl. mérnök, okl. mérnökmatematikus, irányító tervező a Budapest Fővárosi Tanács Mélyépítési Tervező Vállalatának Híd- és Műtárgytervezési osztályán.

[2] Leginkább polikloroprén $(C_4H_5Cl)_n$ műkaucsuk vulkanizátum. A zárt beépítésmód következtében az 1,4-cisz-poliizoprén $(C_5H_8)_n$ természetes kaucsuk vulkanizátumok használata nem jár kimutatható hátránnyal.

[3] Anyaguk kezdetben lágy acél volt. A súrlódás csökkentésére később sárga- illetve vörösrezet alkalmaztak. Jelenleg politetrafluoretilén (PTFE) $(CF_2)_n$ anyagú (legalább 25% üvegrost töltőanyag tartalommal) gyűrűk és speciális kenőanyagok (pl. „Nyhalub") használata szokásos.



1. ábra
„Neotopf" saru vázlata
(1) Nyomólap, (2) Gumikamra, (3) Gumitárcsa, (4) Kamrafal, (5) Kamrafenék



2. ábra
(1)—(5) Lásd az 1. ábrán, (6) Tömítőgyűrű

2. A GYÁRTÁS ÉS A FEJLESZTÉS EREDMÉNYEI EURÓPÁBAN

A „Neotopf" rendszerű saruk típusválasztékának kidolgozása, sorozatgyártásának megindítása és elterjesztése az NSzK-ban indult meg.[4]

A munka során kidolgozták a „Neotopf" rendszerű saruk néhány további változatát, főként tűgörgők (Neotopf-Nadellager), golyók vagy acél-PTFE csúszófelületek (Neotopf-Teflongleitlager) alkalmazásával. Ma már szinte kizárólag az utóbbi megoldás használatos a mozgó sarukban.

Kisebb acélszükséglete valamint egyéb műszaki és gazdasági előnyei miatt komoly erőfeszítéseket tettek az NDK-ban a „Neotopf" rendszerű álló és

[4] A „Maschinenfabrik Esslingen", majd a „Gutehoffnungshütte Sterkrade A.G., Esslingen/Neckar" gyártmányainak kísérleti vizsgálatai alapján valósult meg e sarutípusok alkalmazása szempontjából fordulópontot jelentő hatósági előírás: Der Bundesminister für Verkehr — Allgemeines Rundschreiben Strassenbau Nr. 10/1965 Sachgebiet 5, Brükkenbau (Brückenlager) Anlage 2 Zulassungsbedingungen für Neotopflager Bonn, den 20. Januar 1966 StB 3 — Ibn — 2137 Vms 65 [5].

[5] A „Versuchs- und Entwicklungsstelle des Strassenwesens (VES), Berlin, Fachgruppe Massiv- und Stahlbrücken" és a „Gebr. Haas KG. Maschinenbau, Bernsdorf/Oberlausitz" közös gyártási és fejlesztési tevékenységén alapulnak a TGL 18 204, Blatt 2 „Gummilager für Bauwerke — Gummitopflager" előírásai valamint a „Maschinen-Export Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der DDR, Berlin" útján exportált típusválaszték.

mozgó saruk kifejlesztésére és alkalmazására [3]. A munkát — Európában elsőnek — ágazati szabvány [4] kibocsátása követte.

Angliában — német licenc alapján — kisebb választékban gyártanak „Neotopf" rendszerű álló és mozgó sarukat.[6] A saruk gyártását és alkalmazását hatósági előírások nem szabályozzák. A gyártmányok részaránya az igen fejlett gumi- és fémsaru ipar termékei között nem jelentős.[7] A kontinens gyakorlatától eltérően ózonálló természetes kaucsuk vulkanizátumok alkalmazása figyelhető meg a sarukban.

Egyéb európai országokban — a rendelkezésre álló adatok szerint — a „Neotopf" rendszerű saruk alkalmazása szórványosan fordul elő. Alkalmazásuk esetenként importot vagy egyedi tervek alapján kis sorozatban való gyártásukat feltételezi.[8]

3. A GUMITÁRCSA (-TÖMB) ÉS A SARU KAPCSOLATA

A nyomólap kismértékű elfordulása következtében a gumitárcsa részecskéi a gumikamrában elmozdulnak. Az anyagban és a kapcsolati felületeken feszültségek ébrednek. A kapcsolat mentén kialakuló kényszererők jelentős mértékben befolyásolják az elfordulásnak ellenálló nyomaték nagyságát.

A gumitárcsa — a szokásos gyártási eljárásoknál — a saru egyéb részeitől függetlenül készül[9] és csupán a saru összeállításakor kerül a tömítőgyűrűkkel együtt a gumikamrába.

A gumitárcsa szabatos, alakhelyes[10] és rendszerint igen sima felületű vulkanizáló szerszámban készül. A tárcsa felületei — a súrlódás csökkentése céljából — a gumianyaghoz vulkanizált vékony PTFE kéreggel is elláthatók.

A gumikamra felületei igénytelenebb kivitel esetén sima megmunkálásúak, azonban a súrlódás csökkentésére valamint korrózióvédelem céljaira tükörsimára fényezett keménykróm bevonatú acélfelületek is előállíthatók.

Az egymással érintkező felületek között kenőanyag[11] (Schmiermittel, lubricant) helyezhető el, mely a súrlódás csökkentése mellett korrózióvédelmi és hézagkitöltő szerepet is játszik. A zsíros konzisztenciájú kenőanyag szökését — leginkább a PTFE kéregben kialakított — mélyedésekkel (Schmiertasche, alvéole) lehet lassítani.

[6] Az angol gumisaru gyártásban élenjáró „Andre Rubber Co. Ltd., Kingston by-Pass, Surbiton, Surrey" cég állósaru gyártmányait „Rota bearing" és egyirányban mozgó acél-PTFE csúszófelületű saruit „Rotaflon bearing" néven hozza forgalomba.

[7] Az „Andre Rubber" típus és méretválasztéka például mintegy 2000 egyéb homogén párna sarut (plain rubber bearing pad) és betétlemezes párna sarut (laminated bonded bearing) ölel fel.

A „The Glacier Metal Co. Ltd., Alperton, Wembley, Middlesex" speciális — többnyire fémszerkezetű — mozgó saru gyártmányai [6] a hídépítésben, az ipari acélszerkezetekben és a gépészeti alkalmazásokban igen elterjedtek.

[8] Magyarországon például gyalogos aluljáró födémeket alátámasztó oszlopokban (kétcsuklós oszlopok), a szokásostól eltérő beépítésmódban ismételten alkalmazták.

[9] A gumitárcsa általában egy darabból készül, azonban nagyobb méretű saruknál több darabból összetett tárcsa is kerülhet a gumikamrába.

[10] A gumianyag vulkanizálás alatti zsugorodását (2 — 2,5%) a szerszám tervezésekor figyelembe kell venni.

A tárcsa és a kamrafal között ún. „szerelési hézag" biztosítandó. Ennek nagyságát a gumikamra átmérőjének 1%-ára szokás korlátozni, azaz

$$D_{kamra} - D_{tárcsa} \leq 0{,}002\, D_{kamra}\,.$$

[11] Ismertebb gyártmányok pl.: A molibdéndiszulfid (MoS_2) alapanyagú „Molykote" vagy a „Nyhalub" stb.

4. A GUMI—FÉM KAPCSOLATOK OSZTÁLYOZÁSA

A gumi — fém kapcsolatokban[12] súrlódás szempontjából — némileg leegyszerűsítve és idealizálva a tényleges viszonyokat —

(A) kötött
(B) súrlódó
(C) súrlódásmentes

kapcsolatokat különböztethetünk meg. Az érintkezési felületekre merőleges hatásvonalú erőkkel szemben tanúsított viselkedésük szerint

(1) csak nyomásnak ellenálló
(2) húzásnak és nyomásnak ellenálló

kapcsolatokról beszélhetünk. Meg kell továbbá különböztetnünk

(a) konstans és
(b) változó

súrlódási tényezőket (Reibungskoeffizient, friction coefficient, coefficient de frottement) is. A Coulomb-féle súrlódási törvény elasztomerek esetében nem érvényes. Már kis hőmérséklet- és sebességváltozás hatására a súrlódási tényező értéke jelentős mértékben módosulhat [7]. Sajátos viselkedést tanusít a politetrafluoretilén (PTFE) súrlódási tényezője, mely növekvő nyomóigénybevétel hatására csökken [2; 8; 9]. Ez a műszakilag előnyösen kiaknázható „negatív nyomás-érzékenység" különösen alkalmassá teszi a PTFE-t csúszó saruszerkezetekben való felhasználásra.

Megnevezünk néhány jellegzetes — valóságos vagy fiktív — kapcsolatot. A kapcsolatok jellemzésére — értelemszerűen — az előzőkben ismertetett csoportosítás jeleit használjuk.

Beágyazás (A). Ezt eredményezi például a kiváló fizikai és kémiai kapcsolatot biztosító vulkanizált kötés[13] (Bindung, bonding), valamint a kevésbé értékes ragasztás (Kleben, sticking).

Súrlódásos megtámasztás. A fém--fém párosításoknál a (B1a), a polimer (elasztomer)--fém vagy polimer--polimer párosításokban a (B1b)-típusú kapcsolat ténylegesen megvalósul. Műszaki szempontból a súrlódási tényező szélső értékeinek ismerete lényeges. A saru beépítésének (felhasználásának) adataiból ezek — elvben — egyértelműen megállapíthatók. Ennek következtében célszerű és elegendő a súrlódásos megtámasztás esetét (B1a)-típusú kapcsolatként tárgyalni.

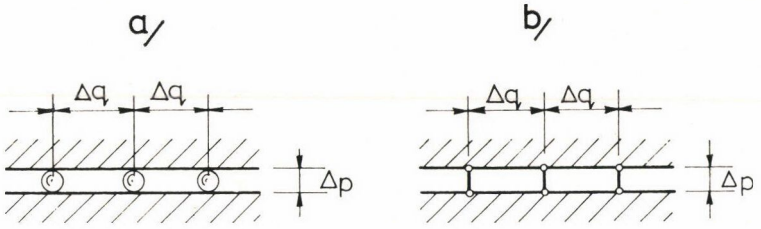
Súrlódásmentes megtámasztás (C1). Fiktív kapcsolat, melyet kis súrlódású (antifrikciós) felületpárosítások (PTFE-keménykróm, PTFE-poliacetál gyanta stb.) és kenőanyagok (molibdéndiszulfid, szilikonzsír, grafit, talkum stb.) használata esetén tételezhetünk fel, amikor a súrlódás hatását — annak elhanyagolhatóan kicsiny volta miatt — figyelmen kívül kívánjuk hagyni.

[12] A kapcsolatok adott esetben magukban foglalhatják a — többnyire súrlódást csökkentő vagy korrózió elleni védelmet biztosító — közbenső rétegeket is.

[13] A kötést — jelenleg szinte kizárólag — egy- vagy kétrétegű (primer és fedőréteg) vulkanizálható polimer anyagú kötőréteg biztosítja. A *kötőanyag* (Bindungsmittel, bonding agent) megkülönböztetendő a nem vulkanizálható (térhálósítható) és oldat alakjában felhordott *ragasztóktól.*

Ismertebb kötőanyag gyártmányok pl.: Braze, Chemlok, Chemosil 220/211, Ex B500—1/ Chemosil 211, Loxite, Megum, Thixon, Ty-ply stb.

A nyomólap gyakorlatilag mindig külpontos terhelést kap. A statikai számításokban tehát a vertikális teher (nyomás) és a nyomaték hatása szuperponálandó. Ilyenkor a nyomaték hatására bekövetkező elfordulás számításánál a *súrlódásmentes nyomás és tapadás* (C2) fiktív kapcsolatot alkalmazhatjuk.



3. ábra

a) Súrlódásmentes megtámasztás (C1); b) Súrlódásmentes nyomás és tapadás (C2)

A súrlódásmentes kapcsolatokat a 3. ábrán látható módon szemléltethetjük. A Δp hézagméret és a merev golyók vagy támasztó rudak Δq távolsága zérushoz tart, amint az a kapcsolat folytonos voltából következik.

5. A KAPCSOLATOK SZILÁRDSÁGA

A beágyazásnál — gondosan kialakított vulkanizált kötést feltételezve — a kapcsolat tönkremenetele valamennyi igénybevételnél a gumiban megy végre.[14]

A (B1)-típusú kapcsolatoknál mindaddig amíg a kapcsolat síkjában működő csúsztató feszültségek le nem győzik a súrlódási ellenállást, addig az (A1)-típusú kapcsolatéval analóg helyzet áll elő („látszólagos beágyazás").

A súrlódási tényezőre *(f)* az irodalomban számos téjékoztató jellegű adatot találunk. Az értékek a felületpárosítások, felületminőségek, a nyomófeszültség, a hőmérséklet, az elcsúszási sebesség, a kenés stb. függvényében nagy eltéréseket mutatnak. A „Neotopf" rendszerű sarukban alkalmazott kapcsolatok esetén a súrlódási tényezők általában a

$$0{,}018 < f < 2{,}00$$

intervallumba esnek.[15]

[14] A „Neotopf" saruk (A2) -típusú kapcsolatainak nyírási szilárdságára egyszerű nyírás vizsgálat (simple shear test) szolgáltatja a szakadási nyírási szögtorzulás (shear strain) értékét.

A vulkanizált kötés vizsgálatára vonatkozó szabványok (pl.: ASTM D 429, BS 903; Part A21, ISO R813, ISO R814, SIS 16 22 17, SIS 16 22 18 stb.) részben húzóvizsgálatokkal, részben lefejtési vizsgálatokkal *minősítik* a kapcsolatot. Ezekkel a vizsgálatokkal az (A2) kapcsolat gyártás-technológiai ellenőrzését végezhetjük.

[15] 37 — 70 IRHD (International Rubber Hardness Degree) keménységű *gumi és acél* kapcsolatán BAKIRZIS és LINDLEY [10]

$f = 1{,}0$ (megmunkált felület)
$f = 1{,}25$ (homokszórással tisztított felület)
$f = 1{,}75$ (köszörült és tükrösített felület)

értékeket mért 24°C hőmérséklet mellett. Az érintkező felületeket oldószerrel („Genklene") mosták le.

6. A GUMI ÖSSZENYOMHATÓSÁGA

Természetes eredetű töltetlen lágy gumik (soft gum rubber) esetén a Poisson tényező értéke $\mu = 0{,}5$, vagyis inkompresszibilis anyaggal állunk szemben,[16] melynél az E_o rugalmassági modulus (Young's modulus) és a G nyíró rugalmassági modulus (shear modulus) összefüggése

$$E_o = 2\,(1 + \mu)\,G = 3\,G. \tag{1}$$

A keményebb — kb. 50 Shore A keménység felett — gumianyagoknál valamivel kisebb a Poisson tényező értéke, vagyis az anyag kompresszibilis. A jelenség — többek között — a keményebb gumianyagok magasabb töltőanyag (pl. korom) tartalmával, valamint a rendszerben mutatkozó tixotrópiával magyarázható [11].

A kompresszibilitás jelentős mértékben kihat a „Neotopf" rendszerű saruk gumikamráiban elhelyezett elasztomer anyag viselkedésére. A merevnek tekintett gumikamra meggátolja a nyomott gumitárcsa (-tömb) oldalirányú kitérését.[17]

Központos nyomás esetére az alábbiak szerint vázolható a kompresszibilitás hatása. Ha a fajlagos alakváltozások kicsiny voltára való tekintettel a lineáris rugalmasságtan összefüggéseit alkalmazzuk, akkor $\mu \neq 0{,}5$ esetén, az általános Hooke törvényből levezethetően a kamrafalra ható normálfeszültség (4a. ábra)

$$\sigma_x = \sigma_y = \frac{\mu}{1-\mu}\,\sigma_z \tag{3}$$

és az E ideális (látszólagos) rugalmassági modulus[18]

$$E = E_o \frac{1-\mu}{1-\mu-2\mu^2}\,. \tag{4}$$

A *PTFE és keménykróm* kapcsolatra a „Zulassungsbedingungen für Neotopflager" [5] az

$f = 0{,}046$ (100 kp/cm² nyomófeszültség mellett)
$f = 0{,}036$ (200 kp/cm² nyomófeszültség mellett)
$f = 0{,}026$ (300 kp/cm² nyomófeszültség mellett)
$f = 0{,}021$ (400 kp/cm² nyomófeszültség mellett)
$f = 0{,}018$ (450 kp/cm² nyomófeszültség mellett)

értékeket engedélyezi. Az érintkező felületek kenését ekkor molibdéndiszulfid („Molykote") biztosítja.

[16] WOOD és MARTIN [12] a természetes lágy gumi Poisson tényezőjének értékére a $\mu = 0{,}49989$ adatot közli.

[17] A saru központos nyomásának első szakaszában a gumianyag kitölti a gumikamrában még rendelkezésére álló szabad teret (szerelési hézag, a kamrafelület megmunkálási egyenetlenségei stb.). A kamrafalak oldalkitérés elleni gátló hatása csak ezután érvényesül.

A D átmérőjű és h vastagságú tárcsa ΔD méreteltérésével, illetve az $a \times b \times h$ méretű tömb Δa és Δb méreteltéréseivel a térkitöltés („remplissage") során bekövetkező összenyomódás

$$\Delta h_r = 2\,\frac{\Delta D}{D}\,h \quad \text{illetve} \quad \Delta h_r = \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b}\right) h. \tag{2a,b}$$

(Lásd még a [10] lábjegyzetet!) A „remplissage" viszonylag csekély nyomóerő hatására játszódik le, ezért a kompresszibilitás hatása itt gyakorlatilag nem érvényesül.

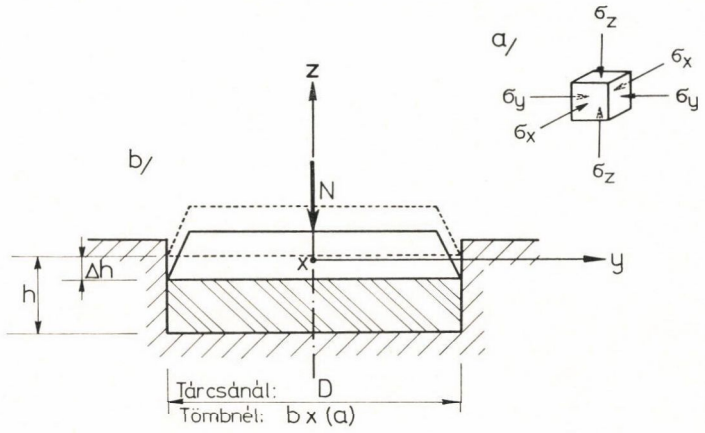
[18] Más elnevezése: z-irányú nyomási modulus (compression modulus).

A nyomólap z-irányú elmozdulása tehát (4b. ábra)

$$\Delta h = \frac{\sigma_z}{E} h = \frac{Nh}{EF}, \tag{5}$$

ahol N a z-irányú centrikus nyomóerő és F a nyomólap területe. A tárcsa (tömb) oldalfelületein ennélfogva súrlódási ellenállás lép fel.

Ha a gumielem és a kamrafal súrlódásos megtámasztással (B1a) kapcsolódnak (a súrlódási tényező: f), akkor a gumikamrát teljesen kitöltő kompresz-



4. ábra

szibilis anyag Δh nagyságú összenyomódását előidéző N erőnek a súrlódást is le kell győznie. A súrlódásnak megfelelő N_s nyomóerő komponens [17]

$$N_s = \frac{1}{2} C f E_o \frac{\mu}{1-\mu-2\mu^2} \Delta h, \tag{6}$$

ahol C a nyomólap kerülete, azaz
$C = D\pi$ (tárcsánál), illetve $C = 2(a + b)$ (tömbnél). Az oldalkitérésben gátolt anyag Δh nagyságú összenyomódását előidéző N_n nyomóerő komponens a (4) és (5) összefüggésekből határozható meg[19]

$$N_n = \frac{1}{h} F E_o \frac{1-\mu}{1-\mu-2\mu^2} \Delta h, \tag{7}$$

a teljes N nyomóerő pedig

$$N = N_n + N_s. \tag{8a}$$

A kamrafalon súrlódásmentes megtámasztást (C1) feltételezve ($f = 0$), speciális esetként

$$N = N_n. \tag{8b}$$

[19] Az összefüggések elméletileg a *végtelen nagy* nyomott lemez — amelynél ugyancsak ki van küszöbölve a gumianyag oldalirányú kitérése — összenyomódását adják meg.

7. A GUMIANYAGOK NÉHÁNY JELLEGZETES TULAJDONSÁGA

A továbbiakban az elasztomer anyagok néhány olyan tulajdonságát tárgyaljuk, mely a „Neotopf" rendszerű saruk előnyeinek megítéléséhez illetve működésük sajátosságainak megértéséhez szükségesek.

a) *Vegyianyagok és sugárzások hatása*

A gumikamra viszonylagos védettséget nyújt a benne elhelyezett elasztomer elemnek. Az anyagra káros vegyianyagok[20] és sugárzások (pl. ultraibolya), melyek a molekula térháló rendszer elemeit (fonalmolekulák és keresztkötéseik) megbontják, gyakorlatilag alig juthatnak a gumihoz.

A káros folyamatok — kedvezőtlen esetben — a szabad felületekről indulnak ki. A behatolás (pl. az oxigén diffúziója) kicsiny sebessége miatt a nagyobb méretű elemek belső részei igen hosszú ideig nem károsodhatnak.

b) *A hőmérséklet hatása*

A gumielemek felveszik a sarut közrefogó szerkezetek átlaghőmérsékletét (a használatos gumianyagok hővezetőképessége a vízének mintegy egyharmada).

Az elasztomer anyag hőtartalmának csökkenése — a gumirugalmasság kinetikai elmélete szerint — a fonalmolekulák hőmozgásának csökkenésével jár, ami az üvegesedésnek (Glasartige Versprödung, glass hardening, durcissement vitreux) vagy fagyásnak (Einfrieren, freezing, gel) nevezett jelenséget eredményezi. A rideg törés hőmérsékletén[21] (brittle temperature) az elasztomer ütésre szilánkokra hasad.

Tartós lehűlés (20—30 nap) esetén — viszonylag magas hőmérsékleten — a gumianyag fokozatos merevedését észlelhetjük. Ennél a jelenségnél — a fagyástól eltérően — a kristályos szövetszerkezet (krisztallitok) lassú kialakulása okozza a rugalmasság csökkenését [13]. A kristályosodás sebessége természetes gumi esetén —25°C-nál, polikloroprén guminál —10°C-nál a legnagyobb.

A gumianyagok felmelegedése során a nagyrugalmasság teljes mértékben visszatér, azaz a fagyás és a kristályosodás reverzibilis folyamatok.

A saruanyagok alkalmazásának felső hőmérsékleti határa kb. 60°C. Ezen a hőmérsékleten az elasztomerek rugalmassági tulajdonságai a felhasználás szempontjából hátrányos változást (termikus degradáció) általában nem mutatnak.

c) *Az idő hatása*

A térháló struktúra fizikai és kémiai okokra visszavezethető tönkremenetele (degradáció) vagy a fonalmolekulák keresztkötéseinek (Querbindung, crosslink, liaison pontale) az anyag alakváltozását követő átrendeződése

[20] A polikloroprén alapanyagú „Neoprene" műgumin pl. már szobahőmérsékleten komoly kémiai degradációt okoznak: Aszfalt, benzol, klórgáz (nedves), kőolaj, nehézbenzin, terpentin stb.

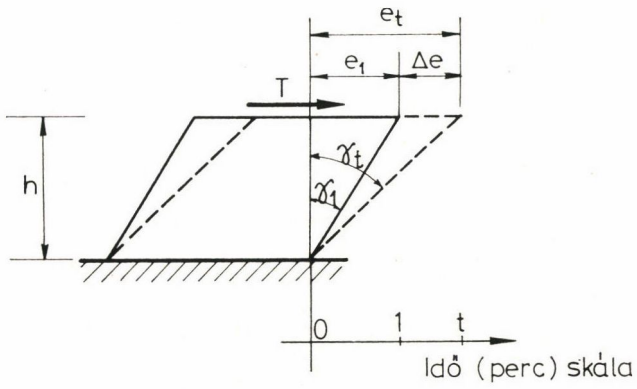
A természetes eredetű gumianyagoknál az oxigén és ózon okoz jelentős oxidatív öregedést. Az ásványi olajok viszont — behatolva az intermolekuláris hézagokba — nagymértékű duzzadást (swelling) és a mechanikai tulajdonságok gyors leromlását okozzák.

[21] Az általános célokat szolgáló „Neoprene" műgumi ridegtörési hőmérséklete —40°C.

(„rekompozíció") következtében módosulnak az elasztomer mechanikai tulajdonságai is.

Így állandó nagyságú teher hatására *lassú alakváltozás* (Kriechen, creep, fluage), állandó alakváltozás hatására pedig *feszültség ernyedés* (Spannungsrelaxation, stress relaxation, relaxation de tension) lép fel.

A lassú alakváltozásból következik, hogy a lassan kialakuló mozgásokkal szemben a „Neotopf" rendszerű saru is kisebb ellenállást tanúsít (pl. kisebb a nyomólap elfordulásának ellenálló nyomaték) mint a „pillanatnyi" mozgá-



5. ábra

sokkal szemben. Az ernyedés következtében pedig a tartósan mozdulatlan szerkezetre ható erőhatás csökken (pl. az elfordult helyzetben maradó nyomólapra ható nyomaték idővel jelentős mértékben csökken).

Az elasztomer anyagú vagy az azt tartalmazó megtámasztó szerkezetek méretezésénél tehát különbséget kell tennünk a terhekben a terhelés kialakulásának sebessége szerint.[22]

A lassú alakváltozás lefolyását nyírásra szemléltetjük (5. ábra). A $T = \text{konst.}$ nyíróerővel terhelt h magasságú elasztomer elem eltolódása a $t_1 = 1$ perc időpontban e_1.

A lassú alakváltozást a t időpontban az e_1 kezdeti eltolódás százalékában a

$$c_t\,(\%) = \frac{\Delta e}{e_1} \cdot 100 \tag{9}$$

összefüggéssel értelmezhetjük. A kísérletek tanúsága szerint [11]

$$c_t\,(\%) = r \cdot \lg t \tag{10}$$

[22] Az „Union Internationale des Chemins de Fer (UIC) terminológiája szerint [14] „Charge à variation lente" és „Charge à variation rapide".

alakban fejezhető ki, ahol $r(\%) = \text{konst.}$[23] az alakváltozás „sebessége" (rate of creep). A (9) és (10) összefüggésből

$$\Delta e = \frac{e_1}{100} r \cdot \lg t \quad \text{illetve} \quad e_t = e_1 + \Delta e = e_1 \left(1 + \frac{r}{100} \lg t\right). \tag{11a,b}$$

A nyírási alakváltozás (shear strain) értéke a t időpontban, a (11b) összefüggés mindkét oldalát h-val osztva

$$\operatorname{tg} \gamma_t = \frac{e_t}{h} = \left(1 + \frac{r}{100} \lg t\right) \operatorname{tg} \gamma_1 . \tag{12}$$

A magasabb töltőanyagtartalmú elasztomerek lassú alakváltozásának sebessége nagyobb.[24] A lassú alakváltozás számottevő része néhány hét alatt lejátszódik.

8. „NEOTOPF" SARUK GUMIELEMEINEK SZÁMÍTÁSÁNÁL ALKALMAZOTT KÖZELÍTÉSEK

A „Neotopf" saruk méretezésével foglalkozó irodalom[25] a gumielemek vizsgálatánál általában empirikus formulákat alkalmaz. Az oldalkitérésben gátolt gumitárcsák (-tömbök) elméletileg szigorú szilárdságtani vizsgálata az elasztomer-fizika sajátosságai és a matematikai apparátus nehezen kezelhető volta miatt még várat magára.

Az alábbiakban a gumianyagú mérnöki megtámasztó szerkezetek méretezésénél alkalmazott, elméletileg esetenként vitatható, mindazonáltal eredményesen alkalmazható alapfeltevéseket foglaljuk össze. A feltételezések elsősorban a jelenleg szokásos kialakítású „Neotopf" rendszerű saruk nyomólapja elfordulásának ellenálló nyomaték közelítő meghatározásánál alkalmazhatók.

1. A nyomólap az x-tengely körül (7. ábra) kismértékű elfordulást végez. ($\operatorname{tg}\alpha \leq 1 : 50$)

2. A gumikamrát tökéletesen kitöltő inkompresszibilis elasztomer anyag követi a Hooke törvényt.

3. A terhelés (elfordulás) időbeli lefolyásának figyelembevétele a rugalmas anyagállandók megfelelően módosított értékeinek használata útján történik.

4. A gumirészecskék elmozdulása, valamint a *z*-tengelyre merőleges kapcsolati síkokon ébredő csúsztató feszültségek hatásvonalai párhuzamosnak tekinthetők az *y*-tengellyel.

[23] A lassú alakváltozást szemilogaritmikus koordinátarendszerben ábrázolva (az abszcissza az idő logaritmusa), az

$$r = \frac{dc}{d(\lg t)} \tag{13}$$

derivált konstans és sebesség jellegű mennyiségnek fogható fel. NB. $dc/dt \neq \text{konst.}$!

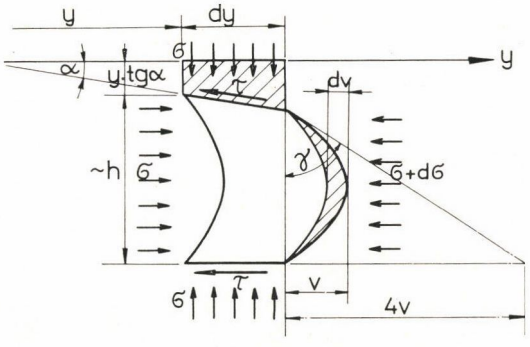
[24] 50% aktív korom (reinforcing black) tartalmú természetes gumira pl. r értéke körülbelül 6,33%.

[25] Az NSzK-ban hatóságilag engedélyezett „Neotopf" rendszerű saruk méretezésének menetét, a tervezési gyakorlat igényeinek megfelelő szinten WEIHPRECHT [15] állította össze.

5. Az eredetileg a z-tengellyel párhuzamos függőleges szálak másodfokú parabola alakba mennek át.

6. A gumi x-tengelyre merőleges metszetein ébredő csúsztató feszültségek figyelembevételétől eltekintünk.

7. A z-tengelyre merőleges síkú kapcsolatok azonos típusúak és homogeneitásuk a nyomólap elfordulása közben biztosítva van. Ennek megfelelően sem a beágyazott kapcsolat részleges elnyíródása, sem a súrlódó kapcsolat részleges megcsúszása nem következik be.



6. ábra

8. A kamrafal kapcsolatainál beágyazás nem vehető figyelembe.

9. A Coulomb-féle csúszó súrlódási törvényt alkalmazzuk, azaz a súrlódási tényezőt — adott hőmérséklet és elmozdulási sebesség mellett — konstansnak tekintjük.

10. A beágyazások hatásának számításánál a GENT és LINDLEY által alkalmazott [16; 11] matematikai modellt használjuk:

A modellt és a megoldás vázlatát egy gumitömb példáján — egydimenziós feladatként — szemléltetjük. A h magasságú elemi hasáb (6. ábra) egyensúlyából (az x-irányú méretet egységnyinek véve) közelítőleg a

$$2\,\tau\,dy \cong h\cdot d\sigma \tag{14}$$

y-irányú vetületi egyenlet írható fel. Az inkompresszibilitás következtében a parabolikus áttüremlés v nyílmagasságának növekményére — a vonalkázással jelölt területek egyenlő voltából — a

$$\frac{2}{3}h\,dv \cong y\,\mathrm{tg}\alpha\,dy \tag{15}$$

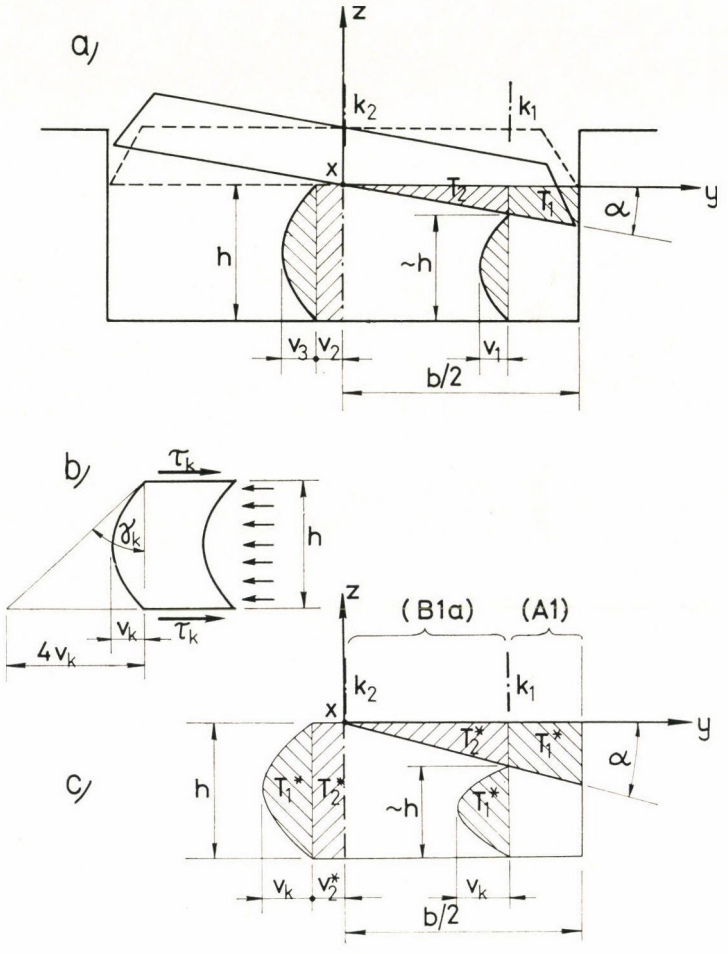
összefüggés érvényes. A (15) differenciálegyenletből v értékét meghatározva, a Hooke törvény felhasználásával

$$\tau = G\,\mathrm{tg}\gamma = \frac{4v}{h} \tag{16}$$

adódik. τ értékét a (14) differenciálegyenletbe helyettesítve a beágyazás hatására ébredő σ normálfeszültség eloszlása a nyomólap, illetve a kamrafenék síkjában meghatározható. Bizonyos esetekben — ugyancsak közelítésképpen — a σ feszültségek eloszlását az x-tengelyre centrálisan szimmetrikusnak tételezhetjük fel (antimetrikus teher). A megoldások részletes ismertetése és az ellentmondásokra való rámutatás nem célunk.

9. A KAPCSOLATOK INHOMOGENEITÁSA

Egy x-irányban egységnyi hosszúságú gumitömb alakváltozásán szemléltetjük, hogy a „Neotopf" rendszerű saruk működése során — bizonyos feltételek mellett — egyes csatlakozó felületrészek kapcsolatának jellege módosulhat.



7. ábra

Tételezzük fel, hogy a gumianyag inkompresszibilis és hogy a kapcsolat tönkremenetele τ_k csúsztató feszültség hatására megy végbe.[26] A nyomólap x-tengely körüli kicsiny elfordulása következtében a gumianyag részecskéi közelítően y-irányban elmozdulnak (7. ábra).

A térfogatállandóság következtében a k_1 keresztmetszeten áttüremlő gumi térfogatra (7a. ábra) v_1 nyílmagasságú parabolikus eloszlást feltételezve

$$\frac{2}{3} h v_1 = T_1 \tag{17a}$$

és hasonló módon a k_2 keresztmetszeten áttüremlő térfogatra a

$$h v_2 + \frac{2}{3} h v_3 = T_1 + T_2 = T \tag{17b}$$

összefüggések érvényesek. T_1 és T_2 a k_1 keresztmetszet helyének és az α elfordulási szögnek a függvényei.

A τ_k feszültségből a parabolikus kitüremlés nyílmagasságának v_k felső határa meghatározható (7b. ábra). A Hooke törvényből a nyírási alakváltozást kifejezve

$$\operatorname{tg} \gamma_k = \frac{\tau_k}{G} = \frac{4 v_k}{h}, \tag{18}$$

ahonnan

$$v_k = h \frac{\tau_k}{4 G}. \tag{19}$$

Válasszuk meg a nyomólap α elfordulását úgy, hogy

$$T_1 = T_1^* = \frac{2}{3} h v_k \tag{20}$$

legyen. Ekkor az elfordulás közben v_3 eléri, de nem haladja meg a v_k felső határértéket, azaz a k_2 keresztmetszeten áthatoló anyag parabolikus részének térfogata ugyancsak T_1^*. A k_2 keresztmetszeten áthatoló további $T_2 = T_2^* = h v_2^*$ térfogatú gumianyag tehát a kapcsolat síkjában

$$v_2^* = \frac{T_2}{h} \tag{21}$$

nagyságú, elnyíródásra vagy megcsúszásra visszavezethető elmozdulást végez (7c. ábra). A k_1 és k_2 keresztmetszetek között ekkor a kapcsolat minden pontja eltolódik, azaz a beágyazás vagy súrlódásos megtámasztás homogeneitása a kapcsolat síkjában megszűnt.

[26] Beágyazás (A1) esetén τ_k a kapcsolat nyíró szilárdsága, míg súrlódásos megtámasztás (B1a) esetén $\tau_k = f\sigma$, ahol σ a kapcsolatra ható normálfeszültség és f a konstansnak tekintett súrlódási tényező.

Az (A1), (A2), (B1a) típusú kapcsolatok *homogeneitásának feltétele* esetünkben [7] tehát

$$T = T_1 + T_2 \leq \frac{2}{3} h \, v_k \,, \tag{22}$$

azaz a (19) összefüggés behelyettesítésével

$$T \leq h^2 \cdot \frac{\tau_k}{6\,G} \,. \tag{23}$$

10. A NYOMÓLAP ELFORDULÁSÁNAK ELLENÁLLÓ NYOMATÉK

A továbbiakban a nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló nyomatékra vonatkozó közelítő összefüggéseket foglaljuk össze a teljesség igénye nélkül.

A) *Elméletileg levezetett közelítő összefüggések*

A „Neotopf" rendszerű saruk közelítő számításához alkalmazható — előzőkben ismertetett — alapfeltevések felhasználásával végzett levezetések [17] eredményei a következők:

Jelölések

D a gumitárcsa átmérője
a a gumitömb hossza (x-irányú méret)
b a gumitömb szélessége (y-irányú méret)
h a gumielem vastagsága (z-irányú méret)
m a tömítőelem[28] vastagsága (2. ábra)
F a nyomólap felülete
E_0 a rugalmassági modulus (Young-féle modulus) ($E_0 = 3\,G$)
G a nyírási rugalmassági modulus
M az ellenálló nyomaték teljes értéke
M_1 az oldalirányban *szabadon kitérő* és *súrlódásmentesen megtámasztott* (C1) elemnél ébredő ellenálló nyomaték komponens

[27] A tömbre alkalmazott jelölésekkel (az x-irányú méret egységnyi!) a **kritikus térfogat**

$$T = \frac{1}{8} b^2 \operatorname{tg} \alpha \tag{24}$$

T értékét a (23) összefüggésbe helyettesítve, rendezés után

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{4}{3} \left(\frac{h}{b}\right)^2 \frac{\tau_k}{G} \,. \tag{25}$$

A (18) Hooke-törvény felhasználásával a (25) összefüggés

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{4}{3} \left(\frac{h}{b}\right)^2 \operatorname{tg} \gamma_k \tag{26}$$

alakban írható. Az elfordulási szög kicsiny voltára való tekintettel a (25) és (26) egyenlőtlenségek jobboldalai a **kritikus elfordulás** értékének (radiánban) tekinthetők.

M_2 az *oldalkitérésben gátolt* elemnél a *homogén beágyazás* (A2) hatásából ébredő ellenálló nyomaték komponens. A kamrafallal való kapcsolat ekkor súrlódásmentesnek (C1) van tekintve

M_s a kamrafal súrlódásából, súrlódó megtámasztás (B1a) esetén ébredő ellenálló nyomaték komponens. Tömítőelem[28] egyidejű jelenléte *nélkül*

N az M_s nyomaték komponens számításánál, a nyomólap elfordulása közben ható z-irányú (centrikus) nyomóerő

M_t a tömítőelem[28] súrlódásából, súrlódó megtámasztás (B1a) esetén ébredő ellenálló nyomaték komponens

f_1 súrlódási tényező a gumielem és a kamrafal között

f_2 súrlódási tényező a tömítőelem[28] és a kamrafal között

a) *Tárcsa alakú gumielem alkalmazása esetén*

$$F = \frac{D^2 \pi}{4} \tag{27}$$

$$M_1 = F\, E_o \frac{D^2}{16\, h} \operatorname{tg} \alpha \tag{28}$$

$$M_2 = F\, E_0 \frac{D^4}{48\, h^3} \operatorname{tg} \alpha \tag{29}$$

$$M_1 + M_2 = F\, E_0 \frac{D^2}{16\, h} \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{D}{h} \right)^2 \right] \operatorname{tg} \alpha \quad [29] \tag{30}$$

$$M_s = \frac{1}{2} D^2 h \frac{N}{F} f_1 \tag{31}$$

$$M_t = D^2 m \frac{N}{F} f_2 \tag{32}$$

$$M_s + M_t = \frac{1}{2} D^2 (h - m) \frac{N}{F} f_1 + D^2 m \frac{N}{F} f_2 \quad (!!) \tag{33}$$

$$M = M_1 + M_2 + M_s + M_t \tag{34}$$

b) *Tömb alakú gumielem alkalmazása esetén*[30]

$$F = a\, b \tag{36}$$

[28] Tárcsa esetén *tömítőgyűrűt*, tömb esetén *tömítőkeretet* értünk alatta.

[29] ANDRÄ és LEONHARDT — e cikk jelöléseit alkalmazva — az

$$M_1 + M_2 = F\, E_0 \frac{D^2}{16\, h} \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{D}{h} \right)^2 \right] \operatorname{tg} \alpha \tag{35}$$

alakú összefüggést publikálták [2, 40. o. (12) képlet]. Rámutattak azonban arra, hogy a kísérleti eredmények a (35) összefüggéssel számítottakénál lényegesen kisebb értékeket adtak. Az eltérés okát a gumielem és a nyomólap kapcsolatának a feltételezettől eltérő viselkedésével magyarázták.

[30] A képletek a nyomólap x-tengely körüli elfordulásának megfelelően vannak felírva.

$$M_1 = F\,E_0 \frac{b^2}{12\,h} \operatorname{tg} \alpha \tag{37}$$

$$M_2 = F\,E_0 \frac{b^4}{30\,h^3} \operatorname{tg} \alpha \tag{38}$$

$$M_1 + M_2 = F\,E_0 \frac{b^2}{12\,h}\left[1 + \frac{2}{5}\left(\frac{b}{h}\right)^2\right] \operatorname{tg} \alpha \tag{39}$$

$$M_s = \frac{1}{2} h \left(1 + \frac{b}{2\,a}\right) N\,f_1 \tag{40}$$

$$M_t = m \left(1 + \frac{b}{2\,a}\right) N\,f_2 \tag{41}$$

$$M_s + M_t = \frac{1}{2}\,(h - m) \left(1 + \frac{b}{2\,a}\right) N\,f_1 + \\ + m \left(1 + \frac{b}{2\,a}\right) N\,f_2 \quad (!!) \tag{42}$$

$$M = M_1 + M_2 + M_s + M_t \tag{43}$$

B) *Empirikus összefüggések*

A következőkben kizárólag tárcsa alakú gumielemeket tartalmazó „Neotopf" rendszerű sarukra vonatkozó adatok találhatók.

a/ *A „Zulassungsbedingungen für Neotopflager"*[4] *(1966) előírásai*

Jelölések[31]

M (kpcm)	a nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló nyomaték
D (cm)	a gumitárcsa átmérője
h (cm)	a gumitárcsa vastagsága *(z*-irányú méret)
F (cm²)	a nyomólap felülete ($= D^2\pi/4$)
$\varkappa_1$	a gumitárcsa alaktényezőjétől ($= D/h$), az elfordulás szögétől (α) és a nyomófeszültségtől (σ) függő *igénybevételi tényező* (1. táblázat)
s	a gumianyag *keménységi tényezője* (2. táblázat)
t_1	a gumianyag *hőmérsékleti tényezője* (3. táblázat)
N (kp)	a nyomólapra ható z-irányú centrikus nyomóerő
σ (kp/cm²)	a z-irányú nyomófeszültség ($= N/F$)

A nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló M nyomaték meghatározásának empirikus alapképlete

$$M = 1{,}5\,\varkappa_1\,s\,t_1\,D^3\,. \tag{44}$$

[31] A kiadvány eredeti jelöléseitől eltértünk.

1. táblázat

Az igénybevételi tényező ($\varkappa_1$) függvényei

σ kp/cm²	$D/h = 10$	$D/h = 15$
100	$\varkappa_1 = 0{,}50 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 0{,}50 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$
200	$\varkappa_1 = 1{,}00 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 1{,}00 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$
250*	$\varkappa_1 = 1{,}25 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 1{,}25 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$
300	$\varkappa_1 = 1{,}50 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 1{,}50 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$
400	$\varkappa_1 = 2{,}00 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 2{,}00 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$
500	$\varkappa_1 = 2{,}50 + 74{,}25 \operatorname{tg} \alpha$	$\varkappa_1 = 2{,}50 + 169{,}95 \operatorname{tg} \alpha$

* A megengedett feszültség értéke

2. táblázat

A keménységi tényező (s) értékei

Keménység Shore A	s
40	0,4
50	0,6
60	1,0
70	1,5

3. táblázat

A hőmérsékleti tényező (t_1) értékei

Hőmérséklet °C	t_1		
	a/	b/	c/
+20	1,0	1,0	1,0
−20	1,3	1,3	1,3
−30	2,2	1,8	1,5

a/ „Neoprene" 50—70 Shore A (Du Pont de Nemours & Co.)
b/ „Nyhapren" 50—70 Shore A (New-York Hamburger Gummiwaaren Compagnie)
c/ „Nyhapren" 40 Shore A (NYH)

(Az együttható egy biztonsági tényező!). Az összefüggés legalább −30°C hőmérsékletű, 50—70 Shore A fok keménységű „Neoprene" vagy „Nyhapren" anyagú műgumi tárcsákra (alaktényező: $D/h = 10$ vagy 15) érvényes. A tömítőgyűrűk sárgarézből (4 db) vagy „Teflon"-ból készülnek. A súrlódást molibdéndiszulfid („Molykote") csökkenti. Erős korrózióveszélynek kitett saruk kamrafalai keménykróm bevonatot kaphatnak.

Az előírások a „Gutehoffnungshütte Sterkrade Aktiengesellschaft und Maschinenfabrik Esslingen" által forgalomba hozott „Neotopf" saru termékeinek minőségét szabályozzák.

b/ *HÄNSCH és MAHLO adatai [3] (1968)*

Jelölések[32]

M (kpcm)	a nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló nyomaték
D (cm)	a gumitárcsa átmérője
h (cm)	a gumitárcsa vastagsága (z-irányú méret)
F (cm^2)	a nyomólap felülete ($= D^2\pi/4$)
G (kp/cm^2)	a gumianyag nyírási rugalmassági modulusa
p	az elfordulás (terhelés) időbeli lefolyásától függő *tartamtényező* (4. táblázat)
$\varkappa_2$	a gumitárcsa alaktényezőjétől ($= D/h$), az elfordulás szögétől (α) és a nyomófeszültségtől (σ) függő *igénybevételi tényező* (5. táblázat)
r	a gumianyag hőmérséklettől függő *viszonylagos ridegedési tényezője* (6. táblázat)
t_2	a gumianyag *hőmérsékleti tényezője*, mely a hőmérséklet és a tartamtényező (p) függvényében van megadva (7. táblázat)
N (kp)	a nyomólapra ható z-irányú centrikus nyomóerő
σ (kp/cm^2)	a z-irányú nyomófeszültség ($= N/F$)

A nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló M nyomaték meghatározásának empirikus alapképlete

$$M = p\,\varkappa_2\,r\,t_2\,G\,D^3. \tag{45}$$

Az összefüggés legalább −30°C hőmérsékletű, 55–65 Shore. A fok keménységű, természetes vagy mesterséges („Perbunan C 110") alapanyagú gumitárcsákra (alaktényező: $D/h = 15$) érvényes. A tömítőgyűrűk (2 db) sárgarézből készülnek. A gumikamra belső felületei epoxi-gyanta kenéssel vannak ellátva. A súrlódást molibdéndiszulfid por bevonat csökkenti.

A továbbiakban ismertetendő számítási eljárást az NDK-ban kifejlesztett és gyártott[5] „Neotopf" rendszerű saru termékekre dolgozták ki.

Az ellenőrző számításoknál M szélső értékei számítandók. M_{max} értékének számításánál a

$$G = 11{,}0 \text{ kp/cm}^2$$
$$\text{Hőmérséklet: } -30°C$$

M_{min} értékének számításánál pedig a

$$G = 6{,}0 \text{ kp/cm}^2$$
$$\text{Hőmérséklet: } +20°C$$

adatokat vesszük figyelembe. A (45) összefüggést az előzők szerint kiértékelve az alábbi egyszerűbb alakú formulák vezethetők le.

Gyorsan változó elfordulásokra ill. terhekre ($p = 1{,}5$)

$$M_{max} = 22{,}0\,\varkappa_2\,r\,D^3 \tag{46a}$$

$$M_{min} = 9{,}0\,\varkappa_2\,D^3 \tag{46b}$$

[32] A cikk eredeti jelöléseit és képleteinek szerkezetét — az egységesebb tárgyalhatóság céljából — megváltoztattuk.

Lassan változó elfordulásokra ill. terhekre ($p = 1{,}0$)

$$M_{max} = 12{,}0\ \varkappa_2\ r\ D^3 \tag{47a}$$

$$M_{min} = 6{,}0\ \varkappa_2\ D^3\ . \tag{47b}$$

A tervezési gyakorlatban a gyorsan és lassan változó elfordulás komponensekből külön-külön számított ellenálló nyomatékok szuperponálandók.

4. táblázat

A tartamtényező (p) értékei

Az elfordulás időtartama	p
Rövid	1,5
Hosszú	1,0

5. táblázat

Az igénybevételi tényező ($\varkappa_2$) függvényei

σ kp/cm²	$D/h=15$
≤ 100	$\varkappa_2 = 0{,}20 + 58{,}00\ \mathrm{tg}\ \alpha$
200	$\varkappa_2 = 0{,}25 + 58{,}00\ \mathrm{tg}\ \alpha$
250*	$\varkappa_2 = 0{,}30 + 58{,}00\ \mathrm{tg}\ \alpha$
300	$\varkappa_2 = 0{,}35 + 58{,}00\ \mathrm{tg}\ \alpha$

* A megengedett feszültség értéke

Megj.: $\mathrm{tg}\ \alpha \leq 0{,}2$ = megengedett érték

6. táblázat

A viszonylagos ridegedési tényező (r) értékei

Anyagminőség	r	
	+20°C	−30°C
Természetes gumi	1,0	1,0
Polikloroprén gumi	1,0	3,0

Megj.: A gumitárcsák keménysége egységesen 60 ± 5 Shore A fok (20°C hőmérsékleten)

7. táblázat

A hőmérsékleti tényező (t_2) értékei

Hőmérséklet °C	t_2	
	$p=1{,}5$	$p=1{,}0$
+20	1,0	1,0
−30	1,3	1,1

c/ *A „Zulassungsbescheid für GHH Neotopflager" [18] adatai*[33] *(1970)*

Jelölések[32]

M	(kpcm)	a nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló nyomaték
D	(cm)	a gumitárcsa átmérője
h	(cm)	a gumitárcsa vastagsága (z-irányú méret)
F	(cm^2)	nyomólap felülete ($= D^2\pi/4$)
G	(kp/cm^2)	a gumianyag nyírási rugalmassági modulusa
$\varkappa_3$	(kp/cm^2)	a gumitárcsa alakténye zőjétől ($= D/h$), az elfordulás szögétől (α) és a nyomófeszültségtől (σ) függő *igénybevételi tényező*
C	(kp/cm^2)	a gumitárcsa alakténye zőjétől ($= D/h$) függő együttható (8. táblázat)
N	(kp)	a nyomólapra ható z-irányú centrikus nyomóerő
σ	(kp/cm^2)	a z-irányú nyomófeszültség ($= N/F$)

A nyomólap α nagyságú elfordulásának ellenálló M nyomaték meghatározásának empirikus alapképlete

$$M = 1{,}3\ \varkappa_3\ D^3\ . \tag{48}$$

Az igénybevételi tényező a

$$\varkappa_3 = 0{,}005\ \sigma + C\ \mathrm{tg}\ \alpha \tag{49}$$

összefüggésből számítandó.

8. táblázat
A C együttható értékei

D/h	C
10	75,0
15	170,0
20	500,0

Megj.: C értéke *D/h* közbenső értékeire lineárisan interpolálható!

A (48) összefüggés -30°C és $+70$°C hőmérséklet között, 50 ± 5 Shore A fok keménységű, legfeljebb 150 cm átmérőjű, polikloroprén alapanyagú műgumi ($G = 8{,}0 \pm 1{,}0$ kp/cm^2) tárcsák esetén használható.

A tömítőgyűrű(k) 25% üvegrost tartalmú PTFE anyagból készül(nek). A súrlódást „Nyhalub" bevonat (New-York Hamburger Gummiwaaren Compagnie) csökkenti. Erős korrózióveszélynek kitett saruk kamrafalai keménykróm bevonatot kaphatnak.

Az excentricitást ($= M/N$) az

$$\frac{M}{N} \leqslant \frac{D}{8}\ (= \text{magsugár}) \tag{50}$$

[33] Ez az NSzK-ban jelenleg érvényben levő hatósági engedély. Az engedély érvényessége 1975. X. 31-ig szól. (Allgemeines Rundschreiben Strassenbau Nr. 15/1971. Sachgebiet 5: Brücken- und Ingenieurbau (Verkehrsblatt, Heft 7/1971, S. 179)).

az elfordulást pedig — vékony tárcsák esetén ($15 < D/h \leqslant 20$) — a

$$\operatorname{tg} \alpha \leqslant 0{,}005 \tag{51}$$

egyenlőtlenségek korlátozzák.

Az előírások a „Gutehoffnungshütte Sterkrade AG." által forgalomba hozott „Neotopf" saru termékeire vonatkoznak.

IRODALOM

[1] GHH—Auflager für Hoch- und Tiefbauten. Prospekt (1970), 62.

[2] ANDRÄ, W.—LEONHARDT, F.: Neue Entwicklungen für Lager von Bauwerken, Gummi- und Gummitopflager *Die Bautechnik* **39** (1962) 2, 37—50.

[3] HÄNSCH, H.—MAHLO, G.: Entwicklung und Anwendung von Gummitopflagern in der DDR. Teil 1: Erläuterungen zur Anwendung *Die Strasse* **8** (1968) 12, 594—603. Teil 2: Forschungsergebnisse *Die Strasse* **9** (1969) 2, 64—73.

[4] TGL 18 204, Blatt 2 „Gummilager für Bauwerke — Gummitopflager".

[5] *Verkehrsblatt*, Amtsblatt des Bundesministers für Verkehr, Heft 5 / 1966.

[6] Designer's Handbook No. 6 (Second Edition) The Glacier Metal Company Ltd. (1965)

[7] SCHALLAMACH, A.: Recent advances in knowledge of rubber friction and tire wear *Rubber Chemistry and Technology* **41** (1968) 1, 209—244.

[8] UETZ, H.—HAKENJOS, V.: Gleitreibungsuntersuchungen mit Polytetrafluoräthylen bei hin- und hergehender Bewegung *Die Bautechnik* **44** (1967) 5, 159—166.

[9] WELLINGER—UETZ, H. — HAKENJOS, V.: Gleitreibungsversuche mit Teflon *VDI-Zeitschrift* **104** (1962) 28, 1434.

[10] BAKIRZIS, E.A.—LINDLEY, P.B.: Slipping at contact surfaces of plain rubber pads in compression *Civil Engineering and PWR* **65** (1970) 764, 306—307.

[11] LINDLEY, P.B.: Engineering Design with natural rubber *NR Technical Bulletin* (Third edition) (1970) The Natural Rubber Producers' Research Association.

[12] WOOD, L.A. —MARTIN, G.M.: Compressibility of natural rubber at pressures below 500 kg/cm² *J. Res. natn. Bur. Stand.* **68**A (1964), 259.

[13] Properties of natural rubber bridge bearings *NRPRA Technical Information Sheet* No. 116.

[14] Directives pour l'utilisation des appareils d'appui en caoutchouc dans les ponts-rails *Code UIC* 772 R, 1969.

[15] WEIHPRECHT, M.: Auflagerung von Brücken (Sonderdruck aus *Elsners Taschenbuch für den bautechnischen Eisenbahndienst* **39** (1967), 231—277) Tetzlaff. Frankfurt (M) 1967.

[16] GENT, A.N.—LINDLEY, P.B.: The compression of bonded rubber blocks *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers* **173** (1959) 3, 111—122.

[17] TÓTH L.: Műgumi tömbök a mérnöki műtárgyak megtámasztó szerkezeteiben (doktori értekezés) Budapest, 1971.

[18] Zulassungsbescheid des Landes Nordrhein-Westfalen für GHH Neotopflager vom 5.10.70. Institut für Bautechnik in Berlin GeschZ.: I/10—1. 16. 4 — 1509.

AZ MTA ÉPÍTÉSZETTÖRTÉNETI ÉS ELMÉLETI BIZOTTSÁG TEVÉKENYSÉGE 1970—1972. ÉVEKBEN

A Bizottság 1970-ben alakult újjá, s az 1973. évi MTA közgyűlésig az alábbi összeállításban működött:

Elnök: Major Máté, akadémikus
Titkár: Kubinszky Mihály, a műsz. tud. kandidátusa
Tagok: Bonta János, a műsz. tud. kandidátusa
Dercsényi Dezső, a műv. tört. tud. kandidátusa
Entz Géza, a műv. tört. tud. kandidátusa
Gerő László, a műsz. tud. kandidátusa
Granasztói Pál, a műsz. tud. doktora
Hajnóczi Gyula, a műsz. tud. kandidátusa
László Gyula, a régészeti tud. doktora
Merényi Ferenc, a műsz. tud. kandidátusa
Pogány Frigyes, a műv. tört. tud. doktora
Rados Jenő, a műsz. tud. doktora
Révhelyi Elemér, a műv. tört. tud. kandidátusa
Dr. Sódor Alajos
Dr. Vargha László
Zádor Anna, a műv. tört. tud. doktora
Zádor Mihály, a műsz. tud. kandidátusa
Állandó meghívott szakértő: Horler Miklós

A Bizottság tevékenységét három állandó albizottságra szakosította:

1. Építészetelméleti Albizottság

Elnök: Bonta János, a műsz. tud. kandidátusa
Titkár: Hajnóczi Gyula, a műsz. tud. kandidátusa
Tagok: Granasztói Pál, a műsz. tud. doktora
Kubinszky Mihály, a műsz. tud. kandidátusa
Párkányi Mihály, a műsz. tud. doktora
Pogány Frigyes, a műv. tört. doktora
Dr. Pongrácz Pál
Dr. Szentkirályi Zoltán
Dr. B. Szűcs Margit
Dr. Vámossy Ferenc

2. Építészettörténeti Albizottság

Elnök: Zádor Anna, a műv. tört. tud. doktora
Titkár: Dr. Sódor Alajos
Tagok: Dercsényi Dezső, a műv. tört. tud. kandidátusa
Détshy Mihály
Entz Géza, a műv. tört. tud. kandidátusa
Komarik Dénes
Lévárdi Ferenc
Marosi Ernő

Mojzer Miklós
Rados Jenő, a műsz. tud. doktora
Dr. Vargha László
Voit Pál, a műv. tört. tud. kandidátusa
Zádor Mihály, a műsz. tud. kandidátusa

3. Műemlékvédelmi Albizottság

Elnök: Merényi Ferenc, a műsz. tud. kandidátusa
Titkár: Gerő László, a műsz. tud. kandidátusa
Tagok: Dr. Borsos László
Dercsényi Dezső, a műv. tört. tud. kandidátusa
Dragonits Tamás
Horler Miklós
Mendele Ferenc
Pfannl Egon
Román András, a műsz. tud. kandidátusa
Szakál Ernő
Sedlmayr János
Szanyi József

A Bizottság a tudományterületének ágazatait éves munkaterveinek megfelelően művelte. Figyelemmel kísérte a szakterület tudományos helyzetét, elvi és konkrét kérdésekben állást foglalt, tudományos véleményt alkotott elvi kérdésekben, kutatási terveket és jelentéseket vizsgált felül, s különös gondot fordított a szakirodalom értékelésére, valamint további munkák megjelentetésének elősegítésére. A tudományos munkásságot végző személyeket számba vette, munkásságukat esetenként ösztönözte, illetve irányította. A Bizottság több tanulmányutat szervezett, melyek nyomán a hazai műemlékhelyreállításokat elvi és gyakorlati szempontból értékelte. Közreműködött a hazai építészettörténet és műemlékvédelem eredményeinek bel- és külföldi megismertetésében.

A Bizottság munkájának jelentősebb témái, vitái, határozatai, ill. eredményei a következők voltak:

1. A Bizottság 1970-ben megvizsgálta az Országos Műemléki Felügyelőség (OMF) keretében működő *Építészeti Múzeum* helyzetét és működését. *Dr. Zádor Anna* beszámolója alapján a Bizottság megállapította, hogy a múzeum tevékenysége egyelőre főleg anyagmentő tevékenységre szorítkozik, ennek során értékes iratokat, terveket, rajzokat, fényképeket és tárgyakat, valamint szakkönyveket szerzett be. A Magyar Építészeti Múzeum 1969-ben a „Tanácsköztársaság Építészete" címen sikerült kiállítást rendezett a KKI kamaratermében. A Bizottság megállapította, hogy a Múzeum működésének kibontakozását legfőképpen az állandó kiállítási lehetőség hiánya béklyózza. Ezért egy későbbi ülésén a budai volt Hild villát javasolta a Múzeum székhelyéül és bemutatótermei elhelyezése céljára. Annak ellenére, hogy ez a javaslat még eddig nem valósult meg, a Bizottság ismételten megállapította, hogy a Múzeum fejlődése anyaggyűjtés terén meghaladta a korábbi reményeket, miért is további munkássága elé bizalommal lehet tekinteni.

2. A Bizottság *Dr. Vargha László* helyzetjelentése alapján foglalkozott a *népi műemlékekkel* és védelmükkel. Az elmúlt években a népi műemlékek gyors pusztulásnak indultak, a falusi lakáskorszerűsítés során a régi épületeket fokozott ütemben bontják. A múzeumok szervezetében létesített eddigi skanzenek között — a beszámoló megállapítása szerint — a balassagyarmati hiteles, a zalaegerszegi azonban az eredeti építőanyagoknak és szerkezeteknek csak töredékét helyezte át, s a részletek, csomópontok megoldásánál gyakran mellőzte a történeti hitelességet. Szántód pusztán egyik legjelentősebb népi (gazdasági) műemlékegyüttesünket kellene megvédeni, védelmét építészetileg megoldani. Említésre méltónak ítélte a beszámoló a Pécsi Tervező Vállalat faluképvizsgálatait és a VÁTTI népi műemlék rekonstrukció-terveit. A beszámoló rámutatott, hogy sajnos falvanként átlagban már 0,5 népi műemlék sincsen hazánkban: a magyar népi kultúra pótolhatatlan értékei elpusztulnak. Néhány évtizeden belül hazánkban szép számban lesznek konzervált ókori falak, de XVII. és XVIII. századi parasztházak — in situ — alig. A beszámoló megállapította, hogy a skanzen a népi műemlék védelmének csak egyik fajtája, ezért átfogó intézkedéseket javasolt. *Mendele Ferenc* arról tájékoztatta a Bizottságot, hogy az OMF népi építészeti katasztert készít és faluképvizsgálatokat végez. Az Iparművészeti Főiskola

tevékenységével együtt évente mintegy 50—80 épületet dokumentálnak. A faluképvizsgálatok alapján egyes településekben védettséget rendelnek el. Összesen 933 népi műemlék védett és 20 együttes védelmét készítik elő (1971-ben). Mendele Ferenc hangsúlyozta a Néprajzi Múzeum tevékenységének jelentőségét a népi műemlékek megőrzése és felmérése tekintetében. A bizottság a hazai népi műemlékek helyzetét a beszámolók nyomán riasztónak és beavatkozást követelőnek ítélte és erre az illetékes hatóságok figyelmét felhívta. A kérdést továbbra is napirenden kívánja tartani.

3. Az emberi makro- és mikrokörnyezet építészetelméleti vonatkozásairól a Bizottság felkérésére *Dr. Pogány Frigyes* tájékoztatta a tagokat. A téma kiindulását a VÁTTI dolgozta ki, ebből azonban sajnálatosan hiányzik az esztétikai kérdések komplexuma. A beszámoló a téma részletes kifejtése után azt javasolta, hogy egyrészt illetékes szervezetet kell létrehozni, amely elméletileg a témát irányítja, másrészt fel kell tárni azokat a részproblémákat — mégha más tudományágak illetékességéhez tartoznak is — melyek az építészetet valamilyen módon befolyásolhatják. *Dr. Major Máté* a Településtudományi Bizottsággal való együttműködésre és annak részleteire tett javaslatot.

4. A Bizottság különös gonddal foglalkozott a *városkép-védelem* témájával, melyhez *Dr. Gerő László* és *Dr. Román András* igen részletes és körültekintő írásos előtanulmányt készítettek. A Bizottság úgy határozott, hogy ezeket a tanulmányokat (később Dr. Gerő László anyaga könyvalakban is megjelent) minden hazai város tanácsának rendelkezésére kell bocsátani. A Bizottság különösen jelentősnek ítélte a városképek védelmét a műemléki együttesek közelében, a városkép szempontjából jelentős növényzet védelmét, az épületek méretének mértéktartását, az urbanisztika és a műemlékvédelem összehangolását és az általános építészeti kultúra növelését, mint a visszásságok elleni harc leghatásosabb eszközét. Az építészeti szemlélet megerősítése még az építészek körében is igen fontos feladat. A Bizottság a téma összefoglalása nyomán úgy határozott, hogy az OMF-t fel kell kérni a *„Műemléki jelentőségű területek védelmének és helyreállításának irányelvei"*, mint az általános városképvédelem egyik fontos tényezőjének kidolgozására, hogy a hatásos városképvédelemhez a tanácsoknak és az illetékes szerveknek megfelelő útmutató álljon rendelkezésre. Ezenkívül a Bizottság a tanácsok felügyeleti szervéhez javaslatot nyújtott be, hogy a tanácsokat lássák el megfelelő építészeti szakértőkkel: minden magyar városban legalább egy — műemléki kérdésekben is jártas — jól képzett építészmérnök alkalmazására van szükség.

5. A Bizottság felkérésére *Dr. Zádor Anna* előterjesztette részletes beszámolóját *az építészettörténet hazai műveléséről* az 1970—1972. időszakban. A beszámoló felsorolta azokat az intézményeket, melyek építészettörténeti kutatással foglalkoznak, azokat a témacsoportokat (elmélet és műemlékvédelem; építészettörténet; kritika), melyek a kutatások tárgyát képezik, majd részletezte a tárgyalt időszak során az egyes témacsoportokban megjelent kiadványokat. A jelentés megállapította, hogy az építészettörténeti kiadványok száma örvendetesen megnőtt, a kiadványok lényegileg értékesek. Hiányosságként mégis megállapította, hogy *a)* az egyetemes építészettörténet kutatása hiányzik; *b)* néhány illetékes könyvkiadónál még nincs megfelelő kezdeményezés; *c)* az építészettörténeti kutatással kapcsolatban hiányzik a magvas kritika. A Bizottság felkérte az Építészettörténeti Albizottságot, hogy a jelentésben kidolgozott hazai építészettörténeti bibliografálást a következő években is folytassa. Átfogó építészettörténeti bibliográfia készítésének megszervezését a Bizottság ugyancsak fontosnak tartotta, a megoldásra vonatkozóan több javaslat hangzott el. A Bizottság e tárgyban ankétot is kíván rendezni. *Dr. Major Máté* javaslatát, hogy az Acta Technica 1976. évi száma a hazai építészettörténet annotált bibliográfiájával foglalkozzék, a Bizottság egyhangúan elfogadta.

6. A Bizottság *tanulmányutak* keretében 1970. szeptember 12-én és 13-án megtekintette a *kisnánai és diósgyőri várak* romkonzerválási munkáit, a *sárospataki Rákóczi-vár* udvarában nemrég feltárt eredeti épületrészek bemutatását, a várban újonnan rendezett kiállítást és meggyőződött a helyi Múzeumhoz került műemlékkomplexum kezelésének helyességéről. Megtekintette a *sárospataki gótikus plébániatemplom* és a volt *trinitárius kolostor* szállodává történt átalakításának nemrég befejezett munkáit. Végül megtekintette a bodrogközi *Karcsa református templomának* akkor elkészült műemléki helyreállítását. 1971. október 2-án és 3-án a Bizottság a helyszínen tanulmányozta a *szekszárdi* megyeház udvarán folyó *ásatásokat*, melyek egy centrális alprajzú templom falmaradványait hozták napvilágra, a *mecseknádasdi Szt. István-temetőtemplomot*, a *pécsváradi* apátságnál folyó *ásatásokat*, a *siklósi dzsámi* restaurálásra váró maradványait és végül *Pécs* egyes műemlékhelyreállítási

munkáit — *(barbakán, várfal-részek kiegészítése, székesegyház)*. Siklóson a Bizottság részt vett az 1971. évi Múzeumi és Műemléki Hónap megnyitásán, s útközben a felhagyott Tenkes-kőbányában megtekintette a fiatal művészek — túlnyomórészt nonfiguratív alkotásokból álló — szabadtéri szobrászati múzeumát. 1972. szeptember 22-én a Bizottság helyszíni tanulmányi szemlét tartott *Szentendrén*, ahol a város műemlékállományának megtekintésén kívül a városépítésnek a műemlékvédelemmel és a városkép alakulásával kapcsolatos kérdéseit tanulmányozta. A Bizottság megtekintette a történeti városrészbe épült új múzeumi épületszárnyat és az új művésztelepet is.

A Bizottság mindhárom tanulmányút után vitaülés keretében *értékelte a helyszíni tapasztalatokat* és megjegyzéseit az illetékesekhez eljuttatta. Az 1970. évi helyszíni szemlék nyomán a kisnánai, diósgyőri, sárospataki és karcsai műemlékek helyreállítását gondos, alapos munkának ítélte, amelyekben örvendetesen sok szellemes, új megoldás is érzékelhető a konzerválásokra és műemlékbemutatásokra a Velencei Kartában előírt eljárások szerint. Abban az évben a vita lényege az a kérdés volt, hogy a műemlékvédelem mennyire lépheti túl a szigorú értelemben vett archeológiai bemutatás eszközeit és módozatait esztétikai szempontból kedvezőbb, vagyis építészetileg tetszetősebb hatás elérése kedvéért. Így pl. a Bizottság megállapítása szerint kifogásolható a diósgyőri várnál a régi boltozatokra utalni kívánó vasbeton lemez ívsor, melynek építészeti hatása kedvezőtlen. A vita során kialakult az a vélemény, hogy hazánkban tulajdonképpen két „iskola" alakult ki. A szabadabb, építészetileg mindig tetszetős alakzatokat eredményező, jó helyreállítások Dr. Gerő László nevéhez, illetve kezdeményezéséhez fűződnek. A szigorú tudományos alapra szorítkozó helyreállítások szempontjait az ülésen Dr. Dercsényi Dezső és Dr. Entz Géza képviselték. A Bizottság megállapította, hogy az építészeti szempontból tetszetős helyreállítások különösen jó képességű építészek munkája nyomán születnek, miért is a jelentős műemléki helyreállításokhoz a megfelelő kvalitású építész kiválasztása is fontos feladat. Az 1950-es években igen erős „archeológiai" irányzat uralkodott, az utóbbi években a szabadabb értelmezés olyan formai játékhoz, tetszetős, de tudományosan nem mindig megalapozott megoldásokhoz vezetett, melyek már vitathatók. A Bizottság egyes tagjai ezért pl. a karcsai templom egyébként esztétikus tetőidommegoldását kifogásolták. A Bizottság végső megállapítása szerint a műemlékhelyreállítások során éppen az az építész feladata, hogy a tudományos kutatás eredményeit tükröző és a társadalom esztétikai igényeit kielégítő megoldások helyes egyensúlyát megtalálja. Ezért a két irányzatot nem szabad egymástól élesen elhatárolni, szintézisükre kell törekedni. A Bizottság 1970-ben ugyancsak megvitatta a megszemlélt műemlékekkel kapcsolatban a kertesítés és fásítás mértékét s az e téren folytatott gyakorlatot általában helyesnek ítélte és jóváhagyta. Az 1971. évi helyszíni tanulmányok nyomán a Bizottság a szekszárdi ásatásokkal kapcsolatban megjegyezte, hogy azok a Pollack által tervezett — építészettörténetünk igen fontos objektumát jelentő — megyeház udvarának egységét megbontják, miért is felvetődik a kérdés, nem lett volna-e helyesebb az ősi templom falainak felszíni jelzésével megelégedni? Mecseknádasdon a románkori eredeti templom helyreállításával a Bizottság egyhangúlag egyetértett. Pécsváradon a nagy romterület bemutatása igen problematikus, az idegenforgalom és a műemlékvédelem igényei sok tekintetben ellentétesek. Siklós helyreállítási munkáit a Bizottság mintaszerűnek értékelte. Az 1972. évi szentendrei kiszállás nyomán a Bizottság határozatban értesítette az építésügyi és igazságügyi hatóságokat, hogy műemléki környezetben az építési engedélyeknek, megfelelő előírásoknak — magánépíttetők esetében különösen — fokozott mértékben érvényt kell szerezni, az engedély nélküli építés ilyen helyen a társadalom egészét sértő bűn. A szentendrei Ferenczy-múzeummal kapcsolatban a Bizottság helytelennek ítélte a műemlékvédelem alapelveitől eltérő mértékű bővítést. Az új múzeumi épületszárny nem szerencsésen illeszkedik környezetébe, s rendeltetésének sem felel meg maradéktalanul. (Sérelmezhető az is, hogy a múzeum nem oldotta meg a szentendrei telep művészeinek múzeumi kiállítási lehetőségét, mivel ez most csak a Ferenczy család alkotásainak bemutatására szolgál).

7. A Bizottság 1970-ben előterjesztette a tudományterület ötéves *szakmai könyvkiadási* tervét, melynek keretében különösen az ötkötetes magyar építészettörténet kiadásának megindítását, forráskiadványok megjelentetését, a tíznyelvű építészeti szakszótár kiadását, az Architektúra-sorozat folytatását, valamint egyéb építészetelméleti, építészettörténeti és műemlékvédelmi kiadványok kiadását szorgalmazta. A Bizottság később összeállította a tervezett kiadványok tételes jegyzékét. A kiadások helyzetéről *Dr. Major Máté* évente tájékoztatta a Bizottságot. Az 1972. évi tételes tájékoztatás nyomán a Bizottság megállapította, hogy az építészettörténeti és elméleti könyvkiadás helyzete, valamint a szakdolgozatok publikálási lehetősége az elmúlt években jelentősen javult. A kiadványok színvonalasak, számuk megnövekedett és úgy látszik, hogy a kiadók anyagi érdekeltsége

az olvasóközönség építészeti érdeklődésével találkozik. A Bizottság elhatározta, hogy az építészeti könyvkiadásban érdekelt hazai kiadóvállalatok — különösen az Akadémiai Kiadó és a Műszaki Könyvkiadó — igazgatóinak, a tudományterület művelése szempontjából hasznos tevékenységük elismeréseként, köszönetét fejezi ki.

8. A Bizottság az MTA Műszaki Osztálya által kijelölt hároméves *kutatási beszámolókat* és középtávú *kutatási terveket* felülvizsgálta és véleményezte. Ugyancsak az MTA Műszaki Osztálya felszólítására *Dr. Kubinszky Mihály* elkészítette az építészettörténet és építészetelmélet tudományterületének *helyzetjelentését* és prognózisát, amit a Bizottság kiegészítésekkel jóváhagyott.

9. A *„káderhelyzet"* felmérésével kapcsolatban a Bizottság elhatározta, hogy a néhány évvel ezelőtt készített felmérés alapján, értékelve az időközben végzett tevékenységet is, névszerint felszólítja az arra érdemesnek ítélt, az építészettörténet, az építészetelmélet és a műemlékvédelem kérdéseivel foglalkozó fiatalabb szakembereket, hogy kutatásaikat akadémiai folyóiratokban tegyék közzé. A felszólítások folyamatban vannak.

A Bizottság állást foglalt a műemlékvédelem gyakorlati munkáinak tervezése és tudományos előkészítése terén működő neves szakemberek tudományos minősítése tárgyában és elhatározta, hogy teljes súlyával támogatja azokat a témákat, melyek tudományos kutatás alapján kivitelezett alkotást mutatnak be.

10. A tudományterület három ágazatának részletkérdéseivel a Bizottság az *Albizottságok tevékenységéről* szóló időnkénti beszámolók felett rendezett vitákon és értékeléseken foglalkozott. Az Építészettörténeti Albizottság előterjesztette javaslatát külföldi szerzőknek a magyar építészetre vonatkozó írásait magába foglaló antológia összeállítására, az építészettörténeti és műemlékvédelmi szakembereknek a *posztgraduális mérnökképzés* keretében biztosítandó fokozott igényű kiképzésére, egyes kiadványok előkészítésére, ill. szorgalmazására. Az Építészettörténeti Albizottság előterjesztése alapján a Bizottság a műemlékvédelmi szakmérnökképzés kérdésében úgy határozott, hogy más, illetékes Bizottságokkal együtt a Művelődésügyi Minisztériumnál a komplex kiképzés érdekében a tantervnek a művészettörténeti és régészeti ismeretekkel való kiegészítését javasolja. Mindhárom Albizottság tevékenyen vett részt a Bizottság által tárgyalt témák előkészítésében. Ki kell hangsúlyozni itt a Műemlékvédelmi Albizottság munkáját az említett helyszíni szemlék és tanulmányutak megszervezésével és előkészítésével kapcsolatban, s különösen azt a körülményt, hogy minden objektum ismertetéséhez az illetékes tervező, ill. restaurátor jelenlétét biztosította.

11. A Bizottság az 1970—72. évi tevékenységi periódusban két további témát kezdett el feldolgozni: *a)* A legújabbkori magyar építészeti alkotások védelme és *b)* A magyarországi római kori emlékek helyreállításának értékelése. Ezeken kívül a következő periódusban — állandó tudományterületi kötelezettségein kívül — újból foglalkozni kíván a népi építészet helyzetével és az emberi környezet építészetelméleti vonatkozásaival.

12. A Bizottság patronálta az ICOMOS 1972. évi magyarországi kongresszusát, s annak rendezvényein, valamint a 100 éves magyar műemlékvédelem ugyancsak 1972. évi jubileumi ünnepségein szinte teljes taglétszámmal részt vett.

Dr. Kubinszky Mihály

Dr. Gyula Márkus: Kreis- und Kreisringplatten unter antimetrischer Belastung. Akadémiai Kiadó, Budapest 1973. 189 oldal, 59 ábra, 48 táblázat
(A Wilhelm Ernst, Sohn Berlin, München, Düsseldorf Kiadóval közösen kiadott könyv)

A medencék, tartályok, víztárolók, víztornyok, televízió tornyok, kémények stb. általában szimmetrikus elrendezésűek. Az ilyen típusú, lemezekből és héjakból összetett szerkezetek statikai számítása meglehetősen bonyolult, ezért minden olyan könyv vagy segédlet, amely a számítási munka elvégzését megkönnyíti, a tervezői gyakorlatban kedvező fogadtatásra talál.

Dr. Márkus Gyula körszimmetrikus szerkezetekkel kapcsolatos több mint húsz éves elméleti munkássága hazánkban és külföldön egyaránt közismert. Dolgozatai mellett 1964-ben könyve jelent meg a körszimmetrikus szerkezetek számításáról (Márkus Gy.: „Körszimmetrikus szerkezetek elmélete és számítása". Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1964.) Néhány évvel később a könyvet német nyelven is kiadták (Gy. Márkus: Theorie und Berechnung rotationssymmetrischer Bauwerke, Akadémiai Kiadó Budapest, Werner—Verlag Düsseldorf. 1967)

Ezek a könyvek a körszimmetrikus terhelésnek alávetett, lemezekkel, héjakkal és az ezekből összetett körszimmetrikus elrendezésű szerkezetekkel foglalkoznak. A most megjelent német nyelvű könyv az elméletet általánosítva az antimetrikus terhelésű körszimmetrikus szerkezetek vizsgálatát ismerteti. Tulajdonképpen az első könyv folytatásának is tekinthető, valójában azonban teljesen önálló mű, amely az előző kiadványok tanulmányozása nélkül is használható.

A könyv bevezetést és jelöléseket követő 2. és 3. fejezete a kör- és körgyűrű alakú lemezek alapegyenleteit és kerületi feltételeit foglalja össze. A 4. fejezet az állandó vastagságú körlemez vizsgálatát ismerteti antimetrikus terhelés és különböző kerületi feltételek figyelembevételével. Az 5. fejezet ugyanezzel a kérdéssel foglalkozik változó lemezvastagság feltételezésével. A 6., 7. és 8. fejezetek az előzőekben ismertetett feladatok differenciaegyenletek segítségével való megoldását mutatják be. A 9. fejezetben az elméleti eredmények alkalmazásaként egy földalatti folyadéktartály részletes számítását találhatjuk meg. A tartály egy hengerhéjból, valamint két, középen oszloppal kapcsolódó körlemezből áll, és a térszint ferdesége miatt szimmetrikus és antimetrikus terhelésnek van kitéve. Az irodalomjegyzéket a 11. fejezetben 48 táblázat követi, amelyben a különböző alakú és megtámasztású lemezek igénybevételeire és elmozdulásaira vonatkozó eredmények vannak összefoglalva.

A könyv felépítése és tárgyalásmódja világos és logikus. Szerző csak a legfontosabb elméleti összefüggéseket ismerteti, de ezek levezetését is mellőzi, annál részletesebben foglalkozik azonban a gyakorlati kérdésekkel. Az eljárások alkalmazását részletesen kidolgozott számpéldákon mutatja be és gazdag ábraanyaggal szemlélteti. A táblázatok is arra utalnak, hogy egy nagy tervezői gyakorlattal rendelkező mérnök állította össze és dolgozta ki azokat. Áttekinthetők, könnyen kezelhetők és a mérnöki gyakorlat szempontjából legfontosabb eseteket tartalmazzák. Talán túlzott egyes esetekben az a pontosság és részletesség, ahogyan szerző az igénybevételek eloszlását megadja. Mivel azok a vasalással pontosan úgysem követhetők, ezért a gyakorlat számára elegendő lett volna kevesebb pontban megadni az értékeket.

Egészen bizonyos, hogy Márkus Gyula újabb könyve az előzőhöz hasonlóan a tervező mérnökök munkájához nagy segítséget fog nyújtani. Kétségtelen, hogy ma már a numerikus módszereket és a nagy teljesítményű számítógépeket egyre szélesebb körben alkalmazzák, a könnyen kezelhető kézi könyvek és táblázatok jelentősége azonban ennek következtében nem csökkent.

Ugyanakkor a táblázatok köre éppen a számítógépek alkalmazása révén bonyolultabb esetekre is kiterjeszthető. Ennek egyik szép példája ez a nagy gonddal összeállított és ízléses kiállítású könyv is. Remélhető, hogy rövidesen magyar nyelven is megjelenik és így hazánkban is könnyen hozzáférhetővé válik.

Dr. Kaliszky Sándor

Granasztói Pál: Építészet és urbanisztika
Akadémiai Kiadó, Budapest 1973

Különös örömmel vehetjük tudomásul, hogy — az elmúlt évek, sőt évtizedek pangásához képest — az urbanisztika oly sokrétű témaköréből újabban egyre több munka lát nyomtatásban napvilágot. Különösen az 1973-as esztendő hozott e tekintetben bő termést. Míg Pogány Frigyes könyvében Salgótarján új városközpontjával foglalkozik, és Gerő László „Pest—Buda építészete az egyesítéskor" címmel írt monográfiát (mindkét mű az urbanisztika építőművészeti aspektusait húzza alá), egy másik könyv a gazdaságföldrajzi vonatkozásokat kiemelve számos világváros egymás közötti összehasonlításra is alkalmas átfogó képét mutatja be. (Bernát Tivadar, Bora Gyula és Fodor László: „Világvárosok, nagyvárosok.") Hencz Aurél: „Területrendezési törekvések Magyarországon" című munkája elsősorban jogi szempontból vizsgálja a témát, Hegedűs Miklós: „Gazdasági fejlődés és urbanizáció" című kötete pedig — címéből is következően — kifejezetten a gazdasági vonásokat helyezi az előtérbe. A „Városszociológia" című kötet válogatása (szerk.: Szelényi Iván) az immár nem is annyira a hazai szakirodalomban, hanem inkább a tervezési gyakorlatban olyannyira elhanyagolt szociológiai és szociálökológiai vonatkozásokra mutat rá. Perényi Imre könyvei: a „Településtervezés" című egyetemi tankönyv és a „Városépítés Magyarországon" című kötet a szerző újabb, eddigi tapasztalatait összegező munkáiként foghatók fel és voltaképpen ebbe a kategóriába sorolható Granasztói Pálnak a korábbiakhoz csatlakozó, ugyancsak 1973-ban megjelent két értékes munkája: „Az ember és látvány városépítészetünkben", különösen azonban az „Építészet és urbanisztika" című kötet, amely nemcsak építészeti alapokon nyugvó igen tág, teljességre törő szemlélete alapján, hanem tudományos igényessége folytán érdemel megkülönböztetett figyelmet.

Ez alkalommal Granasztói Pálnak ez utóbbi munkáját méltatjuk; ez a könyve ad egyben lehetőséget számunkra, hogy az általa elmondott — vagy olykor csak éppen jelzett — gondolatok tükrében a hazai urbanisztika egyes kérdéseit megvilágíthassuk.

A könyv — a szerzőnek szakmai folyóiratokban megjelent korábbi öt tanulmánya nyomán — öt főrészből áll. Az *első* rész (A modern urbanisztikai szemlélet építészeti megvilágításban) a problematika általános kérdéseit fogalmazza meg, a *második* rész (Településtudományunk közelebbi múltja) a hazai településtudomány közelmúltbeli fejlődését tekinti át, míg a *harmadik* részben (Településtudományunk néhány tudományelméleti kérdéséről) a tudományág főbb szemléleti és módszertani kérdései szerepelnek. A *negyedik* rész (Az életmód-változás és a településfejlesztés kapcsolatának főbb településtudományi problémái) a hazai szocialista fejlődés által teremtett helyzetek, feladatok és a tudományterület összefüggéseire világít rá, végül az *ötödik* részben (A településtudomány tartalma és kapcsolódásai) a szerző kísérletet tesz a felvetett problémák megoldására, illetve a korábban kifejtettek összegezésére.

Már az egyes főrészek, illetve a korábban publikált tanulmányok címei is utalnak arra, hogy Granasztói Pál széles síkon ragadja meg az urbanisztika problémavilágát. Kérdésfeltevései a tématerület mélységeit fürkészve a még homályos rétegeket igyekeznek átvilágítani. A szerző személyével, sokévtizedes szakmai múltjával összekapcsolódó igényesség mellett csiszolt fogalmazási stílus, a nyelvi kifejező készség ereje jellemzi az öt főrész mindegyikét. Mindezen értékek bizonyára hozzájárulnak ahhoz, hogy a könyvet nemcsak az urbanisztikával foglalkozó különféle szakemberek veszik majd kézbe és forgatják haszonnal lapjait, hanem eljut a nagyközönség szélesebb érdeklődő rétegeihez is elgondolkodásra, egy-egy adott esetben cselekvésre is késztetve a településproblematika elméleti kérdéseitől ma még távolálló olvasókat.

Jelen könyvismertetésünkben — úgy hisszük — éppen a szerző által felvetett gondolatok széles köre és igen nagy társadalmi fontossága miatt, de az egész tématerület hazai és világhelyzetét is figyelembe véve, olyan problémákra is rá kell mutatnunk, melyek az urbanisztika problémavilágából kisugározva egy szűken értelmezett „szakmán" túl érintik közvetlen jövőnk széles spektrumát. E tekintetben a szerzőnek a tanácsát fogadhatjuk meg, aki — nagy fontosságot tulajdonítva a továbbhaladás már megmutatkozó jeleinek — utószavában a maga nyilvánvalóságában veszi tudomásul, hogy „sem a problémák feltárása, sem azok megoldása nem tekinthető véglegesnek".

Mielőtt azonban a jövőbe mutató, Granasztói Pál egyes elképzeléseihez kapcsolódó, a tématerület továbbfejlesztésére utaló gondolatainkra térnénk — a recenzió korlátai között mégoly röviden is —, foglalkoznunk kell a tanulmánykötetnek és szerzőjének a magyar urbanisztika porondján elfoglalt helyével.

Granasztói Pálnak mint építésznek és mint urbanistának útja, ha ezt az utat az 1940-es éveknek — az akkori szűkre szabott építészeti látásmódot tágító, de mégiscsak abból a korból kinövő — tanulmányaitól az 1960-as, 70-es években megjelent írásaiig vesszük szemügyre, egyre magasabb régiókba vezetett. Granasztói mind nagyobb területeket igyekezett az emelkedés során átlátni, küzdött, hogy a felismert problémákat önmagának és a külvilágnak is megfelelő rendszerbe foglalja. E szélesebb körű áttekintésért való küzdelemnek azonban szükségszerűen újabb és újabb bizonytalanságokat is kellett feltárnia, hiszen a hagyományos építészet stabilnak tűnő rendje a tágabb térbeli és időbeli dimenziók közepette minden építészből kinőtt urbanista esetében problematikussá válik. Granasztói Pál is felismerve, hogy a léptékváltások során olyan újtípusú kérdések merülnek fel, amelyek megválaszolása egy korábbi látásmód bázisán már nemigen lehetséges, újabb és még újabb dilemmákkal, ellentmondásokkal küzdött meg. A kétségek nem vezették az építészet feladására és a legtágabb területi léptékek közepette ma is világosan látja az építészeti szemlélet megőrzésének szükségességét — a magyar urbanisták közül talán éppen ő ennek a legtudatosabb képviselője —, ugyanakkor azonban magának az architektúrának a megújulását is igényli.

Granasztói Pál építészeti-urbanisztikai pályája sok tekintetben a magyar városépítészet elsősorban a második világháború óta eltelt időszakának fő vonulatába illeszkedik. Az építészeti alapokra helyezett,, egyre nagyobb térbeli együtteseket átfogó áttekintő és rendező urbanisztika majd regionalizmus, amely egyebek között a tervező és igazgatási apparátusban hosszú évek során betöltött vezető szerepük folytán elsősorban Perényi Imre, Perczel Károly, Preisich Gábor és Gerle György nevéhez fűződik (az ő, és az urbanisztikának a továbbiakban még említésre kerülő reprezentánsai tevékenységének méltatása túlságosan is meghaladná e recenzió kereteit), képezi a hátterét Granasztói Pál elméleti és publicisztikai munkásságának az eltelt negyed században.

Építészeti-urbanisztikai szemléleti világának kialakulása azonban még a 30-as évek végére, a 40-es évek elejére nyúlik vissza. „A hivatalos" kurzus mellett Harrer Ferencnek, Erdei Ferencnek, Borbíró Virgilnek és Fischer Józsefnek az akkori lehetőségek közepette nagyon progresszív közigazgatási-szociológiai, építészeti-városépítészeti eszméi is fémjelzik e korszakot és Granasztói Pál *innen* indulva Korompay Györggyel, Heim Ernővel és másokkal együtt, voltaképpen egy sajátos kontinuitást testesít meg a háború előtti, alatti és utáni Magyarország építészeti-urbanisztikai közéletében.

A „fő vonulatként" említett építészeti-urbanisztikai irányzat mellett a háború utáni időszakban a városproblematika megközelítésének más szakterületekről jövő kitűnő képviselői is akadtak. Mendöl Tibor a településföldrajz tükrében szemlélte a várost, művei értékes hozzájárulások a települések — falvak, városok, régiók — teljesebb megismeréséhez. Kiss István útja a Magyary Zoltán vezette Államigazgatási Intézetből indult és nyert igen széles spektrumot áttekintve világviszonylatban is értékes egyedi színt a hazai városkutatások közepette. Markos György az ötvenes években a gazdaságföldrajzi szemléletnek teremtett iskolát és ő maga, majd a későbbiekben tanítványai (Kórodi József, Kőszegi László, Bernát Tivadar, Bora Gyula és mások) a meglehetősen elhanyagolt gazdasági-politikai kérdések újrafogalmazásával kérdőjelezik meg az építészeti-urbanisztikai megközelítés addigi gyakorlatát, hogy a későbbiekben aztán — legalábbis a nagyobb területi szférákban napjainkban is — ez az irányzat jusson vezető szerephez. A hazai urbanisztikai kutatások résztvevői között kell kiemelnünk az elhunyt Valló Istvánnak, továbbá Major Jenőnek és Keresztély Györgynek sokoldalú, a hagyományos építészeti-urbanisztikai megközelítéseket erőteljesen tágító, de mégiscsak nagyrészt arra — vagy arra is — építő látásmódját, és kell megemlítenünk a vidéken működő (vagy hosszú ideig vidéken működött) városépítészek között Halmos Béla, továbbá az elmúlt években meghalt Pálfy Budinszky Endre és Hergár Viktor nevét, akik a kevesek közé tartoztak a modern urbanisztika eszméinek terjesztését illetően.

E mégoly vázlatos kép, a felsorolt, urbanizmussal és regionalizmussal foglalkozó szakemberek korántsem teljes listája, valahogy mégiscsak keretét adja egy olyan korszaknak, melyben Granasztói Pál eszméi immár a kibontakozáson túljutva megértek, s egyebek között az „Építészet és urbanisztika" című kötetből felénk áramlanak. Granasztóit az említettek szinte mind ismerik, hatása, mégha szakmai-személyi állásfoglalásai olykor vitára ingerlők is, elvitathatatlan. Sőt a legutóbbi években annak

lehetünk tanúi, hogy népszerűsége a szorosabban vett irodalmi tevékenysége, elsősorban publicisztikai tárgyú írásai, esszéi nyomán éppen egy szélesebb kulturált közvéleményben nyert teret. Mindez azt is jelenti, hogy „irodalmi" személyiségének kisugárzásán keresztül így voltaképpen egy „elméletibb", az urbanisztika iránt növekvő közérdeklődést is nyomon követhetünk.

Az öt tanulmány, illetve a közrebocsátott kötet öt főrésze ennek a növekvő társadalmi érdeklődésnek megy elébe. Granasztói Pál e tanulmányaiban is írói-alkotói lényének sajátos tulajdonságait csillogtatja. Az egyéni módon, olasz történeti architektúra szépségideálját német szakmai gondossággal ötvözi francia irodalmi esszévé, nem elfeledkezve közben a hazai építészeti és urbanisztikai lehetőségek kibontakoztatásának korlátairól sem. Építészeti-városépítészeti szemléletének vegykonyhájában hangulatilag talán ezek a leguralkodóbb összetevők, ilyesfajta vonások állnak szakmai-irodalmi munkásságának fókuszában. Az angolszász „plannerekre" jellemző „pragmatikus" látásmód, ezzel együtt a modern szociálökológiai szemléletek és az egyre több dinamikus tényezőt magukba foglaló települési rendszerhipotézisek lehetőségének és szükségességének az *explicit* igénye azonban Granasztói Pál építészeti-urbanisztikai szemléleti értékrendjében még némileg hátrább szorul. Bár e megközelítések gondolatát nagyra értékeli, bölcs mértéktartással azt is jelzi, hogy ezeknek az urbanisztikai komplexumba való integrálása alighanem a közelebbi és a távolabbi jövő feladatát képezi majd.

Az ilyenszerű értékrendbeli rangsorokat, „hiányosságokat", melyek az urbanisztika megismerési problematikájának napjainkban is növekvő komplexitásával függnek össze (joggal tehetjük idézőjelbe a hiányosság gondolatát), természetesnek is vehetjük. A magyar urbanisztika — tán itt helyesebb lenne az urbanizmus vagy akár a regionalizmus fogalmát használnunk — fiatalabb nemzedéke feladatának tűnik majd e kérdések korszerű elméleti kimunkálása, a gyakorlatban való alkalmazása. Itt kell megjegyeznünk, hogy Szelényi Iván és Konrád György tett nem egyszer vitathatóan, de máris igen sokat a *városszociológia* illetve *szociálökológia* hosszú éveken keresztül mostoha helyzetének korrigálására, míg Meggyesi Tamás cikkeivel, eredeti gondolataival már az urbanisztika *rendszerszemléletének* kibontakoztatásához járult hozzá.

Vessünk egy pillantást végezetül azokra a problémákra — ha nem is valamennyire, de néhány kiemelkedő jelentőségűre közülük —, melyek Granasztói Pál tanulmányából részben vagy egészben nyitottként fogalmazódnak meg felénk.

Egy első, minden szakemberben fölmerülő kérdéssel kell kezdenünk. Kissé köznapi fogalmazásban tesszük föl a kérdést: vajon meddig is urbanisztika az urbanisztika? Lehetséges-e egyáltalán; célszerű-e, *hagyhatjuk-e*, hogy feloldódjék az egyre bonyolultabb interdiszciplinaritások, az egyszerre táguló és szűkülő térbeli és időbeli léptékek olyannyira kaotikusnak tűnő halmazaiban? Az aggodalom, mely Granasztói Pál soraiból — ha olykor kicsendül — arra mutat, hogy benne éppúgy, mint mindannyiunkban a *mához* és *itt-hez* kötött, már felismert igazságok konok kötései küzdenek a még bizonytalan kontúrokkal megrajzolható, aggodalmainkat és merész fantáziánkat egyaránt kifejező, előremutató képsorokkal. Hozzá kell tennünk mindehhez azokat a gondjainkat is, melyek a művészi megvalósítással kapcsolatosak, hiszen úgy kell utat keresnünk, hogy a kellően meg nem szokott, kutatási és tervezési praxisunkhoz még nem kellően idomult tér- és időbeli dimenziók közepette, a korábbi konvencióinkba ugyancsak még nehezen illeszkedő társadalmi-gazdasági és természettudományos összetevőket úgy ötvözzük együttesen a technikaiakkal, hogy mindebből — egy valamilyen, szinte megfogalmazhatatlan többlet-érték hozzáadásával — az eddiginél jóval nagyobb számban jöjjenek létre *művészi* alkotások.

A modern urbanisztika elméletének, de különösen gyakorlatának: a mindennapi megvalósulásoknak kritikája egyre több szakember és nem szakember szájából hangzik el szerte a világon. Szinte alig találunk országot — talán a legelmaradottabbaktól eltekintve —, ahol az urbanisztika elmélete és gyakorlata között ne tátongana mély árok. (Az elmaradott, illetve fejlődő országokban még ilyen jelképes árok sincs, hiszen ennek egyik oldala teljesen „hiányzik", az urbanisztika elméleti kérdései még a legkezdetlegesebb megfogalmazásokig sem jutottak el.)

Olyasfajta küzdelemnek vagyunk a tanúi — és mintha Granasztói írásai is, ha nem is kategórikusan, de mégiscsak ilyen állásfoglalásra utalnának —, amely egy *alkimista* szintről szeretné tudományosabbá formálni a témát. Részesei vagyunk egy olyan harcnak, amely azt célozza, hogy a környezetünket alkotó rengeteg különálló elem kaotikus egymásmellettiségén legyünk úrrá és ismereteink jobb felhasználásával, ha nem is bölcsek kövét, de valóban emberhez méltó városrészeket és városokat formáljunk ki. Ehhez azonban az urbanisztika eddigi „elméleteinek" és praxisának számos, igazából *misztikus* vonását is föl kel-

lene adnunk: a túlzottan parciális rész-teóriákat éppúgy, mint a megalapozatlan normatívák idejétmúlt sokaságát. Szembe kellene néznünk a művi formációk létrehozása során kialakult, sokszor begyepesedett ortodoxiákkal, felhagyva a napjainkban már más területeken kialakult modern szemléletek elleni berzenkedéseinkkel, melyek legnagyobbrészt tájékozatlanságunkból fakadnak.

Az előttünk álló feladatok kapcsán az említett feszültségek forrását kell megkeresnünk. A siker a szakadékok áthidalását jelentheti és — kezdetben bizonyára aligalig mérhetően — egy lassú javulás irányába mutathat. Közhelyként hangzik, de mégiscsak arról van szó, hogy az urbanisztika — és a regionalizmus — teljességszimbolikájának megértése, átélése az emberformálta környezet jobb megismerésével, és ennek nyomán megfelelőbb és célszerűbb változtatási, átalakítási lehetőségekkel fokozatosan egyre több — falvakban és városokban, régiókban és országokban, földrészeken sőt egész földünkön élő — ember jobb sorsát teremtheti meg valójában. Hadd csatlakoztassunk az eddigiekhez még két lényegesnek vélt gondolatot. Első gondolatunk sokszor csillan meg Granasztói Pál tanulmányaiban és közéleti szerepléseiben; az urbanisztika különféle szintű oktatásának nívóemelését, a szakemberek és a tömegek jobb tájékoztatását, valódibb tájékozottságát igényli. Az e téren elérendő siker nélkülözhetetlen, elengedhetetlen, hiszen a közeget, egyben a társadalmi miliőt teremti meg ahhoz, hogy az alkotó építészek és urbanisták által a jövőben létrehozandó együttesek használata, értése és értékelése tekintetében egyfelől a tervezők, másfelől a döntési hierarchia és a mindennapi használók között csökkenjenek a szemléleti különbségek. Jól tudjuk, hogy ez nem történhet meg egyik napról a másikra, és az urbanisztikának a társadalom szinte minden egyes tagját érintő folyamatait illetően óriási türelmet kell tanúsítanunk. Ezt a türelmet azonban leginkább a kutatóknak és a tervezőknek kell megélniük és megvalósítaniuk, tudva, hogy nemcsak a térbeli léptékek tágak, a megvalósulás időléptékei is egymást követő emberi életekre, generációkra terjednek ki.

A másik gondolat — talán az egyetlen, amely Granasztói írásaiban nem kifejezetten, explicit módon jelenik meg, tulajdonképpen a városnak avagy a régiónak jelrendszerként való értelmezését igényli. Bár az építészeti és urbanisztikai problematikát illetően az ún. *szemiotikai* megközelítések még szerte a világban gyerekcipőben járnak, úgy hisszük, hogy más területekről vett strukturális analógiák — a szemiotika is részben így fogható fel — igen nagymértékben járulnak hozzá a tovább lépéshez. Az imént említett oktatási, képzési, továbbképzési kérdéscsoportnak is alighanem igen lényeges részét kell hogy képezze a környezetünkből — így városaink, régióink művi környezetéből — felénk áramló jelzéseknek az eddiginél megfelelőbb értelmezése és tolmácsolása.

Idézzük befejezésül az első tanulmánynak azokat a záró sorait, melyeket Granasztói Pál építészeti-urbanisztikai hitvallásának is érzünk; a sorokat, melyek az építészetről és az urbanisztikáról, a szemléletről és az alkotásról szólnak minden értő és érző olvasójához:

„A modern urbanisztika tehát — hatalmas, spirálban táguló, felfelé tartó körön — visszatérhet bizonyos értelemben az építészethez, melyből még az ókorban elindult. Egy olyan építészethez azonban, építészeti értelmezéshez, mely egyrészt semmi esetre sem diploma, szakképzettség kérdése, s amely másrészt évezredek során és leginkább az elmúlt évszázadokban az emberi tudás, tapasztalás hatalmas ismeretanyagával gazdagodott. Szemlélete egy rohamosan táguló világban roppant méretűvé tágult. A társadalmi és technikai haladás pedig még ennél is nagyobb távlatokat nyit meg számára. Éppen ezért is kell megmaradnia az építés, az építő közösségek szilárd talaján — az urbanisztika szó klasszikus és lényegi értelmezésénél —, hogy ezt a kiteljesedő, kitáguló hivatást a valóságban betölthesse. A szemlélet célja ugyanis nem lehet magában a szemléletben, az elméletekben, a szervezésben — ha ezek igen fontosak is —, hanem csak az alkotásban, a művekben: épülő és maradandó városokban, településekben."

Dr. Vidor Ferenc

СОДЕРЖАНИЕ

Д-р Имре Перени: Развитие градостроительства Будапешта в период 1873—1973 гг. 3
Д-р Ференц Видор: Возможности и градницы креативности в урбанистике 27
Д-р Янош Бреннер: Оформление окружающей среды и градостроительство 39
Д-р Дюла Хайноци: Архитектура бань в Паннонии 63
Д-р Ализ Хорват: Некоторые данные к исследованиям теории архитектуры XV века на основнии »кодекса Зичи« Столичной библиотеки им. Э. Сабо 101
Д-р Золтан Сенткирайи: Роль академий в французском барокко 121
Д-р Маргит Б. Сюч: Старые книги — вечные мысли 139
Д-р Габор Хайноци: Обозначение и обозначимые в »Ротонде« Палладио. (Эксперимент для семиотического анализа архитектурного творчества) 147
Д-р Йенё Фюзи: Цифровой метод для анализа напряжений трехмерных упругих твердых тел 157
Д-р Лорант Тот: Явления трения на камерных стенках опор системы »Неотопф« 165

Обзор 187

Обзор книг 193

CONTENTS

Dr. Imre Perényi: Budapest Town Planning Development 1873 to 1973 3
Dr. Ferenc Vidor: Possibilities and Limits of Urbanistic Creativity 27
Dr. János Brenner: Environmental Design and Town Planning 39
Dr. Gyula Hajnóczi: Bath Architecture in Pannonia 63
Dr. Alice Horváth: Contribution to the Investigation into the Theory of Architecture of the 15th Century, Based on the "Code Zichy" of the Municipial "Ervin Szabó" Library 101
Dr. Zoltán Szentkirályi: The Role of Academies in French Baroque 121
Dr. Margit B. Szücs: Eternal throughts from old books 139
Dr. Gábor Hajnóczi: Signification System of the Palladian Villa Rotonda (Semiotic Approach of Architectural Creation) 147
Dr. Jenő Füzy: Numerical Stress Analysis of Spatial, Elastic Solids 157
Dr. Lóránt Tóth: Friction Phenomena on the Chamber Walls of "Neotopf"-System Bearings 165

Review 187

Book Review 193

INHALT

Dr. Imre Perényi: Die Entwicklung des Stätebaues in Budapest 1873—1973 .. 3
Dr. Ferenc Vidor: Möglichkeiten und Schranken der Kreativität im Städtebau .. 27
Dr. János Brenner: Umweltgestaltung und Städtebau 39
Dr. Gyula Hajnóczi: Thermenarchitektur in Pannonien 63
Dr. Alice Horváth: Beitrag zur Forschung der Architekturtheorie des XV. Jahrhunderts aufgrund des »Zichy-Kodex« in der Hauptstädtischen Bibliothek »Szabó Ervin« 101
Dr. Zoltán Szentkirályi: Die Rolle der Akademien im französischen Barock 121
Dr. Margit B. Szücs: Alte Bücher — unvergängliche Gedanken 139
Dr. Gábor Hajnóczi: Die Bezeichenden und Bezeichneten der »Rotunde« Palladios (Versuch zur semiotischen Analyse eines Bauwerks) 147
Dr. Jenő Füzy: Eine numerische Methode zur Spannungsanalyse dreidimensionaler, elastischer Festkörper 157
Dr. Lóránt Tóth: Reibungserscheinungen an Kammerwänden der »Neotopflager« 165

Rundschau 187

Bücherschau 193

SOMMAIRE

Dr. Imre Perényi: Le développement de l'urbanisme à Budapest de 1873 à 1973 .. 3
Dr. Ferenc Vidor: Les possibilités et le bornes de la créativité dans l'urbanisme .. 27
Dr. János Brenner: Formation de l'environnement et urbanisme 39
Dr. Gyula Hajnóczi: L'architecture des thermes de la Pannonie 63
Dr. Alice Horváth: Contribution à la recherche de la théorie d'architecture du XVe siècle sur la base du «codex Zichy», conservé à la Bibliothèque Municipale «Szabó Ervin» 101
Dr. Zoltán Szentkirályi: Le rôle des académies à l'époque de Louis XIV 121
Dr. Margit B. Szücs: Vieux livres — pensées impérissables 139
Dr. Gábor Hajnóczi: Les significants et les signifiés de la «Rotonde» de Palladio (Tentative d'analyse semiotique d'une oeuvre architecturale de Palladio) 147
Dr. Jenő Füzy: Une méthode d'analyse numérique des tensions de corps solides élastiques tridimensionnels 157
Dr. Lóránt Tóth: Phénomènes de frottement sur les parois de chambre des paliers «Neotopf» 165

Revue 187

Bibliographie 193

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója – Műszaki szerkesztő: Sós Attila
A kézirat nyomdába érkezett: 1974. VI. 10 – Terjedelem: – 17,5 (A/5) ív
75.528 Akadémiai Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Bernát György

A kiadvány előfizethető vagy példányonként megvásárolható:

az AKADÉMIAI KIADÓ-nál, 1363 Budapest V., Alkotmány utca 21.
Telefon: 111—010. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11488

az AKADÉMIAI KÖNYVESBOLT-ban
1368 Budapest V., Váci u. 22., telefon: 185—612.

Előfizetési díj egy évre: 80,— Ft.

Külföldön terjeszti a
KULTÚRA KÖNYV ÉS HÍRLAP KÜLKERESKEDELMI VÁLLALAT
1389 Budapest I., Fő utca 32. Telefon: 429—760.
Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10990

Ára: 50,— Ft
Évi előfizetés: 80,— Ft

INDEX: 26.213

17

ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

VI. KÖTET
3—4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1974

ÉPÍTÉS-
ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG

DR. GÁBOR LÁSZLÓ, DR. KALISZKY SÁNDOR, DR. KÉZDY ÁRPÁD,
DR. MAJOR MÁTÉ, DR. PERÉNYI IMRE

TECHNIKAI SZERKESZTŐK:

HORVÁTH TIBORNÉ ÉS DR. VÁMOSSY FERENC

1521 BUDAPEST XI., MŰEGYETEM RAKPART 3. BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM
K. II. 60. (ÉPÍTÉSZETTÖRTÉNETI ÉS ELMÉLETI INTÉZET)

ÉPÍTÉS-ÉPÍTÉSZET-TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

VI. KÖTET
3—4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1974.

TARTALOM

Dr. Gábor László: Az építészeti tervezés és az építési technológia szerepe, összefüggése az alkotásban 203
Dr. Roller Béla—Kuruczné dr. Kovács Márta—Szentiványi Béla: Süllyedő alátámasztású magasépítmények gépesített számításának módszerei 215
Dr. Páczelt István: Rugalmas érintkezési feladatok tárgyalása a testek hatásfüggvényének, rezgésképének ismeretében 241
Scharle Péter: A mozaikmódszer mérnöki és matematikai értelmezésének kialakulása és kapcsolatai 261
Dr. Almási József: Vasbetonszerkezeti elemek vizsgálata a véges elemek módszerével 279
Dr. Kaliszky Sándor: Feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek vizsgálata 325
Andorné Tóbiás Judit: A XVII—XVIII. századi Magyarország barokk templomépítészetének szerkezeti kialakulása és fejlődése 341
Könyvszemle 387

DR. GÁBOR LÁSZLÓ, az MTA levelező tagja

AZ ÉPÍTÉSZETI TERVEZÉS ÉS AZ ÉPÍTÉSI TECHNOLÓGIA SZEREPE, ÖSSZEFÜGGÉSE AZ ALKOTÁSBAN

(A cél és eszköz kapcsolatának sajátos problémája az építészetben)*

Előadásomban:

„Az építészeti tervezés és az építési technológia szerepét, összefüggését az alkotásban, a cél és eszköz kapcsolatának sajátos problémáját az építészetben" igyekszem bemutatni — különös tekintettel a tömeges építésre — és engedjék meg, hogy előre bocsátva és a félreértések elkerülésére tisztázzam:

Először: azt, hogy célon ez esetben csupán valamilyen meghatározott építési feladat megoldását értem, eszközön pedig annak megvalósítására szolgáló valamilyen meghatározott technológiát értek, tehát az elemzés tárgya nem a cél és az eszköz legtágabb, legátfogóbb értelmezése (hiszen ebben az értelmezésben a cél a társadalom térigényének kielégítése, míg az eszköz maga az építészet, az építés).

Másodszor: azt, hogy az építészeten ez esetben azt az emberivé formált mesterséges környezetet értem, amelyben az emberi-társadalmi élet minden eseménye, megnyilvánulása lejátszódik, amely annak lehatároló kérge, burka, foglalata, tehát azt értve azon, amit Major Máté tömören és jól így határoz meg: „Az 'építészet' sajátos, alkotó munka eredménye, amely az általános társadalmival meghatározott, konkrét egyedi igényt általában és végső fokon egy alkotó koncepciója alapján, kollektív szellemi és tömeges fizikai munka révén, ipari úton előállított, tökéletes funkciójú tárggyal elégíti ki. Csak az olyan 'tárgy' felel meg az 'építészet' e fogalmában foglaltaknak, melynek alkotója képes az 'igény-funkció' kettős — anyagi, szellemi — egységét megteremteni, azaz a 'műszaki'-t a 'művészi' szférájába emelni."

Ehhez azonban az építészet elidegeníthetetlen belső tulajdonságainak kielégítése szükséges, ami viszont csupán a változásra való tervezéssel (az idő, tér és körülmények állandó alakulását, módosulását feltételező és követni tudó tervezéssel), és egyidejűleg a változásra való termeléssel (egy adott feladat nagyon sokféle megoldásának lehetőségét megteremtő rendszerre és módszerre, azaz a variabilitásra való törekvéssel) érhető el.

* Szerző székfoglaló előadása, elhangzott 1974. IV. 10-én az MTA Műszaki Tudományok Osztálya nyilvános ülésén

Harmadszor: azt, hogy az építés lényegén ez esetben azt a — rendszerezett tudásból és szervezett cselekvésből összetevődő — technikát (technológiát) értem, amelynek révén valamilyen fajta anyagokból, azok valamilyenféle meghatározott rendszer szerinti összerakásával építészeti (művi) terek alakíthatók ki.

Ez után a konkrét témára rátérve:

Az építészet feladatainak megoldásakor egy egész sereg kérdés feltevését, sőt megválaszolását is feltételezi, hiszen el kell dönteni, hogy „mit", „miből", „hogyan", emellett milyen használati értékkel, mennyi időre, milyen anyagi és erkölcsi kopást feltételezve hozzanak létre.

Az első kérdés a „mit",
értve azon a valamilyen meghatározott rendeltetésen belüli választás gondját,
tehát (válaszként) annak eldöntését, hogy az adott feladat megoldásakor, az adott esetben, az adott helyen (vagy az azzal azonosítható általános helyen), az adott körülmények között, az adott célra létrehozott épületnek vagy épületegyüttesnek milyen követelményeket és milyen igényszinten kell kielégítenie, kiindulva az adott társadalmi valóságból (fejlettségből, törekvésekből, életformából, életszínvonalból), figyelembe véve az adott természetes és mesterséges környezetet (táji, települési jelleget), támaszkodva az adott ipari háttérre (technikai színvonalra, termékválasztékra, technológiai felszereltségre), igazodva a fejlesztési törekvésekhez és nem lépve túl az adott gazdasági lehetőségek adta kereteket sem.

Nem szorul bizonyításra, hogy a „mit" egyszavas kérdése temérdek (nyílt és burkolt) tényező halmazát rejti magában, méghozzá olyanokét, amelyek egymással sem jellegben, sem jelentőségben, sem következményekben, de még mérhetőségben sem hasonlíthatók vagy azonosíthatók, tehát vizsgálatuk e tényezők értékelését, súlyozását és kölcsönhatásuk tudományos elemzését követeli meg.

A globális értelmezésű „mit" ma közismerten súlyos kérdéssé vált, hiszen napjainkban — a világméretű (tervezett és spontán) urbanizáció és a vele járó megakadályozhatatlan következmények folytán — a tömeges építés szüksége roppant, szinte lenyűgöző méretű, halaszthatatlan sürgősségű és fájdalmasan nagy politikai jelentőségű gonddá vált, ami azt jelenti, hogy ez esetben a „mit" jóformán már nem is vizsgálható a „mennyit" kérdésének feltevése nélkül.

Ezt az állítást meggyőzően támasztja alá — az e jelenséget nagyon hamar és jól felismerő — neves svéd közgazdász Gunnar Myrdal „Az igények és a teljesítőképességünk" című 1965-ben megjelent tanulmánya.

Idézem:
„A menedék keresése egyidős az emberrel. A barlangot, a sátrakat, a nomád életmódot elhagyva az ember letelepedett, hogy megművelje

a földet, falvakat és végül egyre növekvő városokat építsen. Az ember már nem elégszik meg azzal, hogy pusztán tető legyen a feje fölött, amely megóvja őt az időjárás viszontagságaitól, hanem megfelelően felszerelt lakásra vágyik, amelyben a család és az egyén élete szabadon kibontakozhat. Szüksége van iskolákra, hogy különböző korú gyermekeit felnevelhesse, kórházakra, klinikákra, ha beteg; múzeumokra, színházakra és egyéb kulturális rendeltetésű épületekre, üzletnegyedekre stb. Gyárakat és irodákat kell építenie, hogy dolgozhassék és hivatali épületeket, hogy e tevékenységeket irányíthassa. Végül utak hálózatát, közhasznú szolgáltatások egész sorát kell megépítenie, hogy megteremthesse az infrastruktúrát.

Mindez együtt hatalmas igénnyé tornyosult az építéssel szemben, olyan igénnyé, amely egyre nő és hovatovább meghaladja az építőipar teljesítőképességét."

A „mit" kérdés roppant fontossága hangsúlyozódik az új városok fejlesztése és tervezése tárgykörben — 1964-ben Moszkvában tartott ENSZ Szimpózium anyagában is. Ezt igazolandó: idézem a vitaindító előadás néhány részletét:

„A világ valamennyi népének életét rohamosan változtatja meg a tudomány és a technológia, egyik krízist kavarva fel a másik után. Csaknem valamennyi országban emelkedik a népesség száma. A városok lakosságának növekedése — kivétel nélkül mindenütt — meghaladja a városi expanziót. Ha a világ átlagos évi népszaporulata 2%, úgy ez a városokban eléri a 4%-ot, bizonyos nagyvárosokban pedig évi 5—6, sőt néhol 8%-os emelkedést is mutat . . ."

„Ez az eddig példa nélkül álló jelenség az építési volumen fantasztikus mérvű megnövekedését vonja maga után, olyannyira, hogy az elkövetkező három-négy évtizedben annyit kell majd építenünk, mint az emberiség egész korábbi történelme során . . ."

„Mind a fejlett, mind a fejlődő országok városi közösségeiben kockán forognak az emberi boldogság társadalmi előfeltételei. Éppen ennek tulajdonítható, . . . hogy a közelmúltban tartott delosi szimpózium résztvevői egyöntetű álláspontként juttatták kifejezésre azt a véleményüket, hogy az urbanizáció kérdéseinek rendezése egy valóban emberi társadalom túlélése szempontjából közvetlenül az atomfegyverek eltiltása és a világ élelmiszer-ellátásának kérdése után következik . . ."

Ez a „mit" nálunk
a kérdést éppen a szocialista társadalom építésének feladatai tükrében és a törekvései jegyében (pl. az otthonteremtés, a művelődés, a gyógyulás jogának és lehetőségének a legszélesebb körre kiterjesztése alapján) vizsgálva
különösen fontos és sajátos — éppen a továbbhaladás szempontjából — rendkívül súlyos problémát jelent.

A „mit" fontossága — beleértve most már a „mennyit" is a „miből" és a „hogyan" kérdésekre adott válasz súlyát is roppantul megnöveli, hiszen

könnyen belátható, hogy a kérdések és a rájuk adható (adandó) válaszok egymással szorosan összefüggenek, hogy egymást kölcsönösen befolyásolják, sőt meg is határozhatják, továbbá még az is világos, hogy napjainkban a megoldás lehetősége („mit"-enként nézve) elsősorban a „mennyi"-től függ s hogy a „mennyi" befolyásolja leginkább a megoldáshoz vezető út megválasztását.

A második kérdés a „miből",

tehát a kérdésre adott válaszként annak meghatározása, hogy az adott épületet (épületcsoportot, akár egész települést is) az adott helyen, az adott időben milyen fő szerkezeti anyagokból, azok milyen szerkezeti rendszerbe foglalásával és milyen építési technológia(ák) alkalmazásával valósítsák meg, figyelembe véve

az épület termék-jellegét, szabatosabban annak egyedi vagy tömeges voltát,

az alkotás jelentőségét, azaz annak építészeti, városképi szerepét, fontosságát,

az épületté szervezendő terek struktúráját, azaz, hogy az épület kis és zárt térsejtek egymás mellé és fölé sorolásából áll-e össze, vagy egymásba nyíló, folyó, kapcsolódó, áramló, táruló, táguló terekből alakul-e ki, vagy az épület — lényegét tekintve — maga a „nagy" tér-e, végül

az építészetnek az épületek sokaságára, együttesére vonatkozó térszervező, téralakító szerepét, azaz az épületek között kiformálódó — hol szűkülő, hol bővülő, hol pihenésre, hol játszásra szolgáló és az oda behatoló természetes környezettel egybefolyó — tércsoport formálására vonatkozó feladatát, de és ez a lényeg

a hangsúlyt — az elmondottak alapján — a tömegesre, a kis térsejtekből szervezett épületekre, az épület-együttesek világára helyezve, s a vizsgálatot ezekre összpontosítva.

Tehát „miből": e kérdésre az a válasz: amiből sok van, ami országon belül van, ami könnyen fellelhető, ami aránylag olcsó, amit nem foglal le más (meghozzá döntő fontosságú) ipar, ami alkalmas a tömegtermelés kielégítésére, amiből annak „mai" technikája kialakítható, ami képes az élet igényelte, megkövetelte (feladatbeli, környezettől függő, minőségi és formálási) változatok létrehozására, ami emellett megfelel a temérdek többi szerkezet, berendezés, felszerelés értelmes hordozására, végül — de nem utoljára — amiből fajlagosan nem sok kell, mert ha a tömeges építés igénye a hagyományosan nagy tömegű (súlyú) szerkezetek alkalmazásának követelményével társul az út — feltételezhetően, sőt várhatóan — a lehetetlenülésbe torkollik.

A harmadik kérdés a „hogyan",

tehát annak vizsgálata, hogy az előzőkben meghatározott cél(ok) elérésének melyek a lehetséges eszközei és ezekből melyek vannak már meg, vagy melyek megteremtésére van még szükség.

E vizsgálat — úgy vélem — csak a cél és az eszköz kapcsolatának általánosabb elvi elemezése alapján és csupán a végrehajtandó feladatok mennyiségének ismeretében végezhető el, hiszen korunkban a feltett kérdésre

valóban helyes válasz csak jól szervezett ipar és nagyipari jellegű termelés rendelkezésre állását feltételezve adható, és

a válasz csupán az építészet sajátos nyelvén beszélve, az építőipar példáját nézve, helyzetét elemezve, feladatait megállapítva és jövőjét felvázolva fejthető ki.

Ami az általánosabb elvi elemzést illeti, ismét Gunnar Myrdal megállapításait idézem (Érték a társadalomtudományban című és nálunk 1972-ben megjelent művéből), aki szerint

„. . . képtelenek vagyunk az 'eszközök'-et egyszerűen és objektíven a 'cél'-ok alá rendelni . . ."

„. . . teljesen nyilvánvaló, hogy nemcsak a 'célokhoz' kapcsolódnak értékek, hanem az 'eszközök'-höz is . . ."

„. . . a 'célok' és 'eszközök' mellett egy harmadik kategóriát is be kell vezetni . . . a 'mellékhatások' fogalmát. Ezek lehetnek kívánatosak vagy nem kívánatosak."

És most közeledve az építészethez, ha

a cél a társadalomra váró roppant építészeti feladatok megoldása és közöttük — mint legfontosabb — a hatalmas méretű és a nyomasztó súlyú lakáshiány felszámolása, akkor az eszköz sem lehet más, mint az építés technikája, méghozzá iparosított technikája, pontosabban az építés iparosítása, míg

a mellékhatások nyilvánvalóan a tömegtermelés elidegeníthetetlen tulajdonságára az ismétlődésre vezethetők vissza, és kívánt vagy nem kívánt voltuk közvetlen függvénye az ismétlődés tárgyának, közvetve az iparosítás választott útjának, hiszen nem mindegy, hogy a ház melyik tárgya, berendezése, szerkezete ismétlődik: a kilincs, az ajtó vagy a lakás, az épület vagy akár az egész település.

Ha megállapítjuk, hogy az eszköz az építés iparosítása, ha elfogadjuk, hogy a mellékhatás annak választott módszerétől függ, akkor nyilvánvalóan meg kell néznünk, hogy miből lehet választani, mi a választék.

Korunkban az iparosított építés technikáját két — egymástól jellegzetesen különböző, sőt ellentétes — fő út jellemzi:

az egyik a termelést a gyárban, míg

a másik a helyszínen

összpontosítja, és a kettőnek egyetlen közös vonása csupán az, hogy egyik sem képes az épületet a termelés helyén önmagában létrehozni, befejezni, hiszen a gyárban előállított terméket nyilvánvalóan a helyszínen kell befejezni (részeiből összerakni), olyan helyszíni építési technológia pedig, amely az épületben alkalmazott valamennyi ipari terméket (pl. az ajtót, az ablakot, a mosdót, a vízcsapot) a helyszínen készíti el, nem létezik, és nem is létezhet.

Ez a megállapítás fejezi ki éppen az építés műveletének sajátosságát, mert míg a gyári technológiákban az elemekre bontás (a dezintegráció) és az összerakás (az additio) módja állandó, hiszen a gyárban befejezett végtermék (traktor, autó stb.) gyártmányfajtánként mindig ugyanaz, addig az építésben ennek éppen az ellenkezőjéről van szó, hiszen a gyártás nem a gyárban, hanem a helyszínen fejeződik be és végtermékétől (lehetőleg nagyfokú) variabilitást várunk.

A szóban forgó megállapítás természetesen nem zárja ki az építés más tech-

nológiáinak lehetőségét, hiszen a két szélső állapot között szükségszerűen egymást kiegészítő módon, tehát komplementernek nevezhető technológiák alakulnak ki, de ezeknek a technológiáknak alapvető ismérve mindig az, hogy kizárólag e két fő iparosítási út valamilyenféle együttes alkalmazásával, azok kombinációjaként jönnek létre.

Nyilvánvaló, hogy ezekhez a technológiákhoz valamilyen formában építészeti lehetőség tartozik vagy éppen valamiféle megkötöttség tapad, egy azonban biztos, éspedig az, hogy e technológiák összessége az építészettel szemben támasztott valamennyi társadalmi igény, követelmény kielégítésére alkalmas.

Természetes az is, hogy az egyes technológiák — azonban éppen sajátosságaik következtében — az egészből csak egyes részek kielégítésére, csak bizonyos területek lefedezésére képesek, méghozzá belső törvényeik következtében — nem is egyszer — csak több-kevesebb megalkuvás árán.

A probléma lényege az építészet szempontjából éppen abban rejlik, hogy olyan épületeket kell létrehozni, amelyek szerkezetileg egységesek ugyan, de alaprajzukban, funkciójukban, igényszintjükben és esztétikai megjelenésükben különböznek, sőt lényegesen különbözhetnek egymástól.

Nem szorul bizonyításra, hogy e feltétel teljesítésére a különböző iparosított építési eljárások különböző módon és mértékben alkalmasak.

Ezért sorbavételük és elemzésük elkerülhetetlen.

Az egyik alapvető irány a gyártást telepített üzembe összpontosítja, termékei az épületek: tömegesen előállított tömegtermékek, amelyeket üzemileg gyártott alkatrészekből, elemekből a helyszínen állítanak össze.

Az ilyen épületek esetében,
mivel azokat szabványosított elemekből, alkatrészekből kell összeállítani, és
mivel a gyárilag előállított elemek maguk nem alakíthatók,
az épület alakíthatósága, a gyártott elemek többféle összerakhatóságának lehetőségétől függ, tehát a rendszer hatékonyságát az összeállítás lehetőségeinek száma határozza meg, azaz az építészeti hatékonyság a szerkezeti rendszer kombinatorikus tulajdonságainak függvénye.

A másik alapvető irány a gyártást a helyszínre összpontosítja, termékei az épületek egyidejűleg gyártott egyedi termékek, amelyeket helyszínen vetületben elkészített és mozgatott elemekből építenek meg.

Az ilyen épületek esetében
mivel ez esetben nem az épület (nem is annak szerkezete), hanem csak a gyártó berendezés kötött,
az épület alakíthatóságát, az igényhez igazodás mértékét az egyébként szabványos gépek száma, teljesítőképessége és kapcsolási lehetősége dönti el, azaz az építészeti hatékonyság a gépek kombinatorikus tulajdonságainak függvénye.

Az említett két alapvető irány által lehatárolt szektoron belül az (öntőformára vonatkozó) üzemi jellegű gyártás, és az (öntésre vonatkozó) helyszíni építés kombinációjaként az összetevők jellegének és arányának függvényében a komplementer építési módok egész sora alakítható ki. Ezek termékei az épületek, valamilyen tömeggyártás segítségével létrehozott egyedi termékek.

Az ilyen épületek esetében
mivel ezeknél a gyártás közvetlen tárgya mindig maga az öntőforma, és
mivel ez az öntőforma — amelynek elemei önmagukban nem alakíthatók — lehet vissza nyerhető (és neve ez esetben segédszerkezet), vagy bent maradó (és neve ez esetben felületszerkezet),
az épület alakíthatósága az öntőforma többféle összerakhatóságának lehetőségétől függ, tehát a rendszer hatékonyságát az öntőforma elemek összeállítási lehetőségeinek száma határozza meg, azaz az építészeti hatékonyság végső soron a segédszerkezeti vagy a felületszerkezeti rendszer kombinatorikus tulajdonságainak függvénye.

Mivel abból indultunk ki, hogy az építészettel szemben támasztott társadalmi igény kielégítésére az építési technológiák csupán együttesen alkalmasak, és
mivel az egyes feladatok megoldására az egyes építési technológiák — éppen sajátos jellemzőik következtében — különbözőképpen felelnek meg,
nyilvánvaló, hogy a további tárgyalás az egyes technológiák jellemzőinek feltárását, vizsgálatát, alkalmassági területük kijelölését követeli meg.

Az egyik alapvető irányt mint technológiát és termékét az üzemileg tömegesen gyártott elemekből helyszínen tömegesen összeszerelt épületet,

a) ha elemei lemez- (vagy doboz-) szerűek az jellemzi,
hogy az üzemi gyártás a (szigorú geometriai és méretrend alapján tervezett csupán méretben, azaz egyszeresen koordinált) végtermékből indul ki és a gyártandó elemek (méret, súly) jellemzőinek meghatározásához az épület dezintegrációja útján jut el,
hogy a gyártás lehetőségeit az üzemi öntőforma, a sablon adottságai és az emelőberendezések korlátai határolják le,
hogy a gyártás emellett a méretek és a készültségi fok növelésére törekszik, bár ennek a lemezszerkesztési elv, a térbeliséggel járó alaki nehézség és súlynövekedés, továbbá a kárveszély valószínűségének fokozódása bizonyos mértékig útjában áll,
hogy a létrejövő szerkezeti rendszer zárt, mivel az elemek készültségi foka magas, az ismétlődés mértéke rendkívül nagy, a variabilitás foka pedig mondhatni csekély,
hogy a kialakuló végtermék lényegében kötött, mivel a gyártás az „egészből" indul ki (hiszen azt bontotta részekre) és azt is fejleszti (hiszen a rész nem változtatható az egész módosítása nélkül), ami egyébként is következik a gyártás karosszéria elvűségéből.

b) ha elemei rúdszerűek az jellemzi,
hogy az üzemi gyártás nem magából a végtermékből, hanem csak annak (tiszta geometriai és méretrendet tükröző) szerkezeti vázából indul ki, hogy

a gyártandó elemek jellemzőinek meghatározásához nem az épület, hanem csak a tartóváz dezintegrációja útján jut el; továbbá

hogy a gyártás lehetőségeit a szelvényválaszték, a méretlépcsőzés és a szerelhetőség (kapcsolás) feltétele köti meg, hogy emellett az azonos célra szolgáló szerkezetek választékának s azon belül pedig a szelvényválasztéknak növelésére és a méretlépcsőzés besűrítésére törekszik,

hogy a létrejövő szerkezeti rendszer lényegében nyitott, mivel a készültségi fok alacsony volta következtében az ismétlődés mértéke és vele együtt a variabilitás foka nagymértékben növelhető;

hogy a kialakuló tartóváz ebben az értelemben és lényegében kötetlen, mivel a gyártás a szerkezet elemeiből indul ki és a fejlesztés célja is maga az elem, ami viszont egyébként is következik a gyártás alkatrészelvűségéből; viszont

hogy a váz felhasználásával létrehozott épület csak a karosszériaelv alapján és méretkoordináltan gyártott nem teherhordó (térelhatároló és térosztó) szerkezetek alkalmazásával válik az iparosított építés termékévé.

A másik alapvető irányt, mint technológiát és terméket a helyszínen vetületben egyedileg gyártott és mozgatott szerkezetekből egyedileg készített épületet az jellemzi,

hogy a helyszíni gyártás berendezése a vetülethez kötött és stabil, de a változásra tervezés nem az ismétlődésre termelés elvét valósítja meg, és hogy az általa az épületbe bevitt geometriai rend csupán a tartóvázra vonatkozik, de azt sem köti merev térhálóhoz,

hogy az épület vetületi helyükön készített vízszintes szerkezeteit önmagukkal párhuzamosan mozgatják (húzzák fel vagy nyomják fel), következésképpen

hogy a létrejövő szerkezeti rendszer háromszorosan (az épület, a gép és az idő tekintetében is) koordinált, valamint teljesen nyílt, végső soron,

hogy a kialakuló végtermék kötetlen, az adott gyártó berendezés és tartóváz mellett és bizonyos térbeli határok betartásával nagyon is sokféle lehet.

Az említett két alapvető irány közötti komplementer építési eljárásokat, mint technológiákat és — a tömeggyártás módszereivel előállított, de — egyedi termékeiket, az épületet az jellemzi,

hogy a gyártás nem a végtermékből, nem is annak tartószerkezeti vázából, hanem a teherhordó szerkezet felületéből indul ki és mindig azt a zsaluzati rendszert, azt az öntőformát állítja elő, amely a szerkezet — öntés útján történő — elkészítéséhez szükséges,

hogy ezt a zsaluzati rendszert, ezt az öntőformát a tömeggyártás megkövetelte méretrend, méretkoordináció és méretválaszték alapján azt önálló másodrendű (szekunder) szerkezeti rendszerként kifejlesztve tömegesen állítja elő, méghozzá kétféleképpen:

a) visszanyerhető segédszerkezet jellegű zsaluzati rendszerként, mindig telepített ipari üzem termékeként, és ez esetben az építészeti rendszer hatékonysága természetesen a zsaluzati rendszer kombinatorikus tulajdonságaitól függ, s így nyilvánvaló, hogy a méretek növelése, a bonyolultabb, összetettebb alak vagy rendszer alkalmazása a rendszer zártságának növelése irányába hat,

b) bentmaradó felületszerkezetként, akár az építési helyszínre is telepíthető üzem termékeként, és ez esetben az építészeti rendszer hatékonysága már nemcsak a felületszerkezet kombinatorikus tulajdonságaitól függ, mert az (köny-

nyen belátható módon) még a gép átállíthatóságával és áttelepíthetőségével is jelentősen növelhető s így a rendszer ennek mértékétől függően — mondhatni — akár nyílttá is tehető,

hogy a zsaluzati rendszer, az öntőforma „in situ" állapotban (azaz az elkészítendő szerkezet felületi kérgeként kialakított állapotának megfelelő helyzetben) tartásához mindkét esetben (e szerkezetek anyagától, méretétől, méretrendjétől, méretösszhangjától és kapcsolási módjától függően) a (meg-, alá- és ki-) támasztó segédelemek egész önálló, összefüggő, méretegyeztetett rendszerére van feltétlenül szükség (méghozzá az első esetben a zsaluzati rendszer részeként, míg a második esetben az az öntőformától független, emellett visszanyerhető és még variábilis is),

hogy az épületet, pontosabban annak tartószerkezeteit a zsaluzati vagy öntőforma rendszer — valamilyen erre alkalmas anyagból, valamiféle eljárással történő — kiöntése (kibetonozása) útján és mindig a helyszínen állítják elő,

hogy a keletkező szerkezeti rendszer

egy oldalról a zsaluzati, az öntőforma rendszer jellemzőinek függvénye, hiszen a visszanyerhető zsaluzati rendszer csak egyetlen feladat megoldására a szerkezet kialakítására alkalmas, a bentmaradó öntőformarendszer pedig több cél egyidejű elérését is lehetővé teszi, hiszen a szerkezet kialakítása mellett az végleges építészeti felületet is képezhet, épületfizikai feladatokat is elláthat, a teherhordásban is részt vehet, sőt lényges technológiai funkciót is teljesíthet, míg

más oldalról a függőleges teherhordó szerkezetek (pontszerű, lemezszerű vagy dobozszerű) kialakítási módjának függvénye, hiszen az dönti el, hogy zárt sávokban (menetekben) kell-e vagy összefüggő, átmenő, átfolyó (méghozzá bármikor és bárhogyan fel- és újraosztható) terekben lehet-e gondolkodni,

hogy a létrejövő termék rendszere — az előzőkben elmondottakból következően — zárt és nyílt egyaránt lehet, sőt a kettő közötti átmenetek egész sorának kialakítását is lehetővé teheti.

Bemutattam tehát a választékot (értve alatta a rendelkezésre álló technológiai lehetőségeket) nyilvánvaló tehát, hogy ezt a választás szempontjainak, a kiválasztási mód meghatározásának kell követnie.

Előrebocsátva azt,

hogy a vizsgált problémakör tekintetében a választás mindig valami (többkevesebb) megalkuvást tételez fel,

hogy valamely választás helyessége kizárólag az ún. „ideális"-sal egybevetve, csupán ahhoz mérve állapítható meg,

hogy ehhez éppen ezért az „ideális" részletes felvázolása szükséges.

Közismert azonban, hogy az építőipar termékei — legalábbis egy részükben — nemcsak ipari produktumok, hanem szellemi termékek is, tehát velük szemben nemcsak ipari (technológiai, gyártási), hanem építészeti (funkcionális, használati és művészeti) igényeket is kell támasztani.

Az építészetnek éppen ez a sajátszerűsége, melyet az építés iparosítása ugyan módosíthat, de nem szüntethet meg. Ezért változatlanul az az alapkövetelmény, hogy a szerkezeti rendszerek ipari gyártását az alkotás lehetőségeinek nyitvatartásával, a végtermék változatosságával kell társítani.

Annak a bizonyos megalkuvásnak mértéke éppen attól függ, hogy e feltétel teljesítését a két alaptényező az ipari előállítás és a változatosságra való törekvés kölcsönhatása mennyire, milyen mértékben engedi meg, a választás lehetőségét pedig éppen az határozza meg — természetesen az ipari gyártás szempontjából döntő mennyiségi tényezőt első helyen számításba véve —, hogy mi a társadalmi igény, mi a rendelkezésre álló teljesítőképesség (kapacitás), azaz mire van szükség, és mi az, ami van, ebből mi az, ami megváltoztatható és mi az, ami nem.

A választáskor tehát (a választás alatt ez esetben természetesen a helyes választás esetét értve) a társadalmi valóságból, annak látható mozgásából és — a tudományos előrelátás útján felvázolt — várható fejlődéséből kell kiindulni,

hiszen a térigény, annak kielégítési színvonala és kielégítésének módszere, technikája, a térigény foglalatának megszabható élettartama, az anyagi és az erkölcsi kopás értelmes összhangja, a rendelkezésre álló ipari háttér és a betartandó gazdasági keret mind-mind ennek a függvénye.

Különös súllyal vetődik fel itt már a tömegesség kérdése, mert az építés termékei, az épületek, azok sokasága,

ha azokat ipari úton tömegesen és sokszorosan ismétlődően állítják elő, és

ha azokat emellett nagy mennyiségben és nagyfokú összpontosítással telepítik,

már — az ember mikro- és makrokörnyezetét meghatározó — közvetlen urbanisztikai hatást váltanak ki, méghozzá nem is akármilyet, mivel e hatás következményei már közvetlenül társadalmi szinten jelentkeznek.

Nagyon fontos megállapítás ez, mert azok a mellékhatások, amelyekről Myrdal beszélt (és amelyet az előzőekben már idéztem) az építészetben pontosan a tömeges építés esetén válnak társadalmi szinten és súllyal fellépő nemkívánatos hatásokká, következésképpen társadalmi szinten megoldandó fontos problémákká.

Melyek ezek az előrelátható és nem kívánt mellékhatások, s honnan erednek?

A tapasztalat azt mutatja, hogy a legjellegzetesebb, a legfontosabb és a legtöbb gondot okozó nem kívánt mellékhatások rendre a termék-előállítás tömeges jellegére, a termék szerkezetének rendszerére, az ismétlődés tárgyára, a termék használhatóságának és anyagi, erkölcsi kopásának kérdéseire vezethetők vissza, mert a gyártásnak (méghozzá hasonló vagy azonos) nagyüzemekben összpontosítása általában a termékek bizonyos mértékű hasonlóságával vagy azonosságával jár együtt, ami viszont a mellékhatások jelentőségének, súlyának és közöttük a nem kívántak mértékének nagyfokú növekedését idézheti elő,

hiszen azok a jelenségek, amelyek a már ismertetett technikai és egyéb okoknál fogva egyedi szinten, a mikrokörnyezet, az otthon, az épület szintjén jelentkeznek az ismétlődési tényező megsokszorozó hatása folytán részben közvetlenül, részben bonyolult mellékutakon átmennek, kiterjednek a makrokörnyezet világába, az épületegyüttesek, az urbanisztika, sok esetben a régiók szintjére, sőt mivel az iparosítás törvényei nem állnak meg a települések,

a régiók, sőt az országok határain sem hatásuk, következményeik világméretű továbbgyűrűzésével is számolni kell, következésképpen kölcsönhatásukkal és visszahatásukkal is gondolni kell.

E jelenségek elemzése azért nagyon fontos, mert ez a cél és az eszköz, valamint a hozzájuk kötődő értékek közötti viszony tisztázásának, továbbá a fellépő mellékhatások jelentősége és következményei meghatározásának is elengedhetetlen előfeltétele.

A választás — az előzőkből következően — akkor és csakis akkor helyes, ha a megválasztott tömegtermelési eljárás(ok) rendszere és módszere lehetővé teszi, hogy a belőle(ük) szinte elháríthatatlanul folyó káros mellékhatások ne túl hosszú időn át és ne változatlanul érvényesüljenek, azaz a tömegtermelés következményei

mikroszinten ne okozzanak — az emberi élet elszürkülését, néha megnyomorodását okozó — térsejt (otthon) monotóniát, tehát ne zárják ki a termék változatosságának, változtathatóságának lehetőségét,

makroszinten pedig ne kössék meg egyértelműen a térsejthalmaz jellegét, tehát ne idézzenek elő — a környezetet jellegtelenné fakító — urbanisztikai monotóniát,

ami természetesen egyik vonatkozásban sem kis feltétel,

mivel a tömegtermelés tagadhatatlanul azzal a veszéllyel jár,

hogy az — a hozzá szükséges rendkívül nagy értékű beruházás következményeként — a termék hosszú átfutási idejét, a változtatás kis mértékre szorítását, a gazdaságosság nagyon nagy számú termékhez kötését követelheti meg,

hogy a nagyfokú infrastruktúra szükségessége a telepítés nagymértékű összpontosítását, az építőgépekhez való igazodást indokolhatja,

hogy a termék egyszerűsítésére vonatkozó (s egyébként érthető) törekvés a termékfajták számának csökkentését, a gazdasági okok folytán amúgy is szűkre korlátozott területen belül pedig nehezen változtatható merev térrendszer kialakulását idézheti elő,

és csakis akkor teljesíthető, ha a társadalom térigényét nem egyféle, hanem többféle és összességükben már a többszínűség, a sokféleség lehetőségét is magukban hordozó technológiák együttesen szolgálják ki.

Végigmentem a „mit", a „miből", a „hogyan" kérdésének elemzésén.

Hátramaradt a következtetések levonása (amennyire lehetséges) és a teendők meghatározása, tehát valamilyen elfogadható válasz adása arra a kérdésre,

hogy miként lehet a szerkezeti rendszerek alkalmazásán alapuló nagyipari termeléshez kötött, korszerű és már rendelkezésre álló építési módok révén az építésiparosítás nem kívánt mellékhatásait kiküszöbölni, vagy legalábbis elfogadható mértékre szorítani,

hogy miként lehet ezt a korántsem építőipari, hanem egyetemes ipari problémát a mi területünkön megoldani?

Bertrand Russell a XX. századot a „felfüggesztett ítélet századának" nevezte, és ez a tömör meghatározás arra utal, hogy napjainkban már semmi esetre sem állhatunk meg a felfedezés tényénél, hanem a felfedezés folyamatát

kizárólag csak akkor tekinthetjük lezártnak, ha annak elfogadását és alkalmazását a nem kívánt vagy éppen káros utóhatások előzetes felismeréséhez és kiküszöböléséhez is kötjük.

A nem kívánt mellékhatások kiküszöbölésének a mi területünkön két alapvető feltétele van,

az egyik ipari, a másik humán jellegű, ugyanis

a ma építési technológiáinak először is az ipar követelményeit kell kielégítenie, következésképpen változatlanul számolni kell az ismétlésre, az ésszerűsítésre, a gépesítésre, az automatizációra való törekvéssel, hiszen ezek az ipar elidegeníthetetlen belső tulajdonságai, de

a korszerű építési módoknak a humán követelményeket is ki kell elégíteni, hiszen az építészetnek, az építésnek a társadalmat, az embert kell szolgálnia,

e kettős feltétel egyidejű és együttes teljesítése olyan építési technológiák bevezetését, kifejlesztését és elterjesztését követeli meg, amelyek az iparosítás (adott helyen és időben elérhető) legmagasabb fokának és az alkotási lehetőség, szabadság (az iparosítás szükségszerűsége mellett még megengedhető) legnagyobb mértékének értelmes párosítására képesek.

Végül, mit kell tenni ahhoz, hogy az ipari tényezők ne a humán tényezők rovására, kárára érvényesüljenek?

Mindenekelőtt fel kell ismerni, hogy a humán tényezők háttérbe szorulásának oka nem az ismétlődés ténye, hanem annak tárgya és módszere, ezért

arra kell törekedni,

hogy csak azok az elemek, részek ismétlődjenek, amelyek építészetileg a legsemlegesebbek, tehát semmi esetre sem a végtermék, hanem annak csak valamilyen viszonylag közömbös eleme vagy része,

hogy a készültségi fok növelésére irányuló szándék ne feltétlenül az üzemi gyártáshoz kötődjék, hanem az az adott esetben az e célra legalkalmasabb szerkezetekre és a legkedvezőbb készítési fázisra vonatkozzék,

hogy e kettős lehetőség hordozására legmegfelelőbbnek látszó technológiák (pontosabban a két szélső alapelvet képviselő technológiák közé eső komplementer építési módok) valamelyikét vagy akár több fajtáját is fejlesszük ki, terjesszük el, tegyük uralkodóvá.

Ez az útja annak, hogy az a Le Corbusier-féle állítás sor,

amely szerint „. . . egyedül az építész képes arra, hogy az ember és környezete között összhangot teremtsen . . .", továbbá

amely szerint „. . . az ipar jelenléte azt jelenti: bőség, pontosság és hatékonyság",

valóban igazzá váljék, és

következményeként az a jóslata, hogy „a nagyipar meghódítja a lakásépítészetet" valóban beváljék.

DR. ROLLER BÉLA, a műszaki tudományok kandidátusa—KURUCZNÉ DR. KOVÁCS MÁRTA—SZENTIVÁNYI BÉLA:

SÜLLYEDŐ ALÁTÁMASZTÁSÚ MAGASÉPÍTMÉNYEK GÉPESÍTETT SZÁMÍTÁSÁNAK MÓDSZEREI

1. Bevezetés

A házgyári elemekből készített, illetve az egyéb, modern technológiai eljárásokkal épült magasépítmények tömeges elterjedése aktuálissá tette e szerkezetek számításának áttekintését és azoknak a módszereknek az összeállítását, amelyek segítségével a szilárd talajon alapozott, sok-szabadságfokú térbeli szerkezetek vizsgálata nagy teljesítményű elektronikus számítógépeken elvégezhető. A számítások java része térbeli rúdszerkezetekkel, továbbá véges elemekkel kapcsolatos. Ez a helyzet részben az irodalmi tapasztalatokból adódik, részben pedig abból, hogy a rúdszerkezetek számítására ma már minden számolóközpont felkészült.

Jelen dolgozatunkban csak véges szabadságfokú modellekkel foglalkozunk. Először beszámolunk azokról az irodalmi módszerekről, amelyeknek felhasználása vagy általánosítása a kérdés megoldását lehetővé teszi. Majd modelleket alakítunk ki és algoritmusokat mutatunk be a süllyedő alátámasztású szerkezetek vizsgálatára, feltéve, hogy e süllyedés ismert mértékű. Ezután a talaj engedékenységének figyelembevételével, közelebbről a talaj hajlékonysági mátrixának összeállításával foglalkozunk. Végül eljárásokat ismertetünk a részfeladatok egyesítésére. Ezek lehetővé teszik a komplex feladat iteratív úton történő teljes megoldását.

2. A kérdés irodalmi alapjai

Kitűzött célunk elérése érdekében a következő részletfeladatok irodalmát tanulmányoztuk:

a) Mereven befogott síkbeli falszerkezetek modelljei és számítása.
b) Térbeli erőhatások elosztása a falszerkezetekre.
c) Rugalmas talajra helyezett alapozási szerkezetek.
d) Összetett szerkezeti komplexumok számítása.

a) *A befogott síkbeli falszerkezet* vizsgálatakor a legfontosabb kérdés a fal merevségének helyes megállapítása. Ennek során meg kell különböztetni a váltakozó nyílású falakat azoktól, amelyeken a fal teljes magasságában, folyamatosan elhelyezett függőleges nyílássorokat találunk. A nyílássorokkal áttört falak merevségét lényegesen befolyásolja az, hogy egy-egy falon hány sor nyílás helyezkedik el, hogy ezek milyen szélesek, milyen messze vannak a fal sarkától, és hogy milyen merevek a kötőgerendák.

A fal anyagát az összes eljárások lineárisan rugalmasnak, homogénnek és izotrópnak tekintik. A vasalatlan vagy aránylag egyenletes hálókkal megvasalt betonfalak ezt a feltevést a valóságban elég jól megközelítik.

Ha a falszerkezet szabályos és a nyílások sűrűk, a számítást a *Rosman* által javasolt módszerrel célszerű végezni. Ez a falat megoszló kapcsolatokkal összekötött oszlopok rendszerének tekinti és igen elterjedt. A levezetések közönséges differenciál egyenletrendszereket eredményeznek. Az irányzatot hazánkban *Goschy* és *Szmodits* fejlesztette tovább. Módszereik elsősorban az irodai számítások elősegítését célozzák.

A Rosman-modell jelentőségét a nagy teljesítményű számológépek birtokában sem lehet eléggé hangoztatni. Mivel azonban ennek irodalma kialakult, és mivel a nagy számológépek más lehetőségeket kínálnak, e cikkben nem foglalkozunk vele.

Ha a falat teherbíró elemekkel kitöltött keretvázként vagy pedig összekapcsolt panelek rendszereként alakítják ki, a kapcsolatok nem korlátlanul lineárisan rugalmasak. A repedések, illetve a befeszülések következtében a kényszerek feltételessé válnak. A kitöltött keretvázak számítására *Stafford—Smith* javasolt egy aránylag egyszerű módszert, amely részben kísérleti eredményeken alapul. Megemlítjük még a Német Acélbetonbizottság keretében végzett, *Beck*, *Mehlhorn*, *Stander* és *Schwing* által irányított, legújabb kutatásokat is.

A feltételes kényszerekkel kapcsolt falszerkezetek számítása további vizsgálatokat kíván.

A falszerkezet vizsgálatának elterjedt módszere a keret-analógia. Ennek alkalmazásakor az oszlopok szélességét úgy választják meg, hogy azok a falon nyílástól nyílásig tartanak. A vízszintes tengelyű kapcsolóelemeket olyan gerendákkal modellezik, amelyeknek hossza a fiktív oszlopok középtengelyei közti távolság, de ezen belül a szélső szakaszaik végtelenül merevek.

A számítás során okvetlenül kívánatos figyelembe venni a helyettesítő keret oszlopainak a normálerőből keletkező alakváltozását és gerendáinak a nyíróerő által okozott alakváltozását.

A falpanel másik, sűrű rúdhálózatból kialakított modellje *Hrennikoff*tól származik. A hálózat legtöbbnyire pótátlós téglalap rácsozatból áll. A véges elemek módszerének elterjedése óta jelentősége háttérbe szorul. A *Zienkiewicz* által elterjesztett mozaikmódszer, amely a falat háromszög vagy téglalap alakú elemekre bontja, az elemeken belül teljesíti a tárcsaelmélet követelményeit, azonkívül a csatlakozási pontokon mind az egyensúlyt, mind pedig az összeférhetőséget biztosítja.

Mac Leod és munkatársai a glasgowi műegyetemen összehasonlító számításokat és modellkísérleteket végeztek az imént felsorolt modellek és számítási eljárások java részének felhasználásával. Az eredményeket elsősorban a konzolok hajlékonysága szempontjából hasonlították össze. A modelleket úgy alakították ki, hogy szabadságfokuk ésszerűen legyen összehasonlítható, továbbá összevethetők legyenek egy olyan konzollal is, amelyre nézve az elemi szilárdságtan eredményei még elfogadhatók. Megállapították, hogy a Rosman-módszer sűrű kapcsológerendázat esetén teljesen megnyugtató eredményeket ad. Ha azonban a kapcsológerendák aránylag merevek, előnyösebb a mozaikmódszer. A keretanalógia gyakran alábecsüli a hajlékonyságot, éspedig valószínűleg azért, mert az oszlopokban elhanyagolja a nyíróerő okozta alakváltozást. A szerkezet viselkedését a véges elemek módszere közelíti meg leginkább.

b) *A térbeli erőjátékú építmények* statikai határozatlansága olyan nagyfokú, hogy az eddigiekben kialakult számítási módszerek a szerkezeti modellt síkbeli erőjátékú részmodellek együttesévé igyekeznek felbontani. A függőleges erők elosztásával nincs sok probléma, ezt sokszor elegendő statikailag határozott átvitelekkel közvetíteni. Az oszlopok ugyanis a függőleges teher folytán olyan kis külpontosságú excentrikus nyomást szenvednek, amelynek nyomatéki összetevője jelentéktelen a vízszintes erők okozta hajlítónyomatékokhoz képest. Pontosabb és gyakorlatilag szokásos eljárás a függőleges erőknek többtámaszú átviteli tartókkal való közvetítése.

A vízszintes erők hatásának elemzésekor egyöntetű az a feltételezés, hogy a födémek a tulajdon síkjukban végtelenül merev tárcsákként viselkednek.

A legegyszerűbb eljárás a harántfalas épület erőosztására vonatkozik. A harántfalak hajlékonyságát rugótényezőknek tekintve és feltételezve, hogy a teher a falakkal párhuzamos, a feladat mechanikailag azonossá válik az excentrikusan nyomott keresztmetszet feszültségszámításával, illetve az *Engesser*-féle végtelen merev kereszttartó kereszteloszlási tényezőinek megállapításával.

Általános elrendezésű, nyílt keresztmetszetű oszlopokon álló födém esetére *Kaliszky* adott eljárást. Ez az erőosztáshoz a födém rugalmassági középpontját használja fel. A rugalmassági középpontot (a befogott ív σ-pontjához hasonlóan) az jellemzi, hogy az alakzat három elmozdulási szabadságfoka elkülönül. A centrum körüli elfordulás az erőpárnak, a centrumon átmenő főirányokba eső eltolódás pedig az azonos irányú erőnek felel meg. A tárcsa merevségi mátrixának nincs vegyes tagja.

c) *A rugalmas talajra helyezett szerkezetek* számításakor a talajt régebben a legegyszerűbb modellel, a *Winkler—Zimmermann*-féle rugalmas ágyazattal helyettesítették. Általános törekvés, hogy ezt az eljárást pontosabb módszerrel cseréljék fel. A klasszikus rugalmasságtan eredményeinek alkalmazásakor a talajt homogén, izotróp, rugalmas féltérnek tekintjük. A koncentrált függőleges erő okozta feszültségeket, illetve elmozdulásokat *Boussinesq*, a koncentrált vízszintes erőből származó hatásokat *Cerutti* nyomán feszültségfüggvényekből kiindulva lehet kiszámítani, az elméleti rugalmasságtan differenciálegyenleteinek segítségével. Az így kapott képleteket elmozdulási hatásfüggvényeknek tekintve, a terhelési területeken integrálni kell őket. Ezen az elvi alapon áll a *Schleicher*-, illetve a *Steinbrenner*-féle gyakorlati süllyedésszámítási eljárás, amelyeknek a gépi számítások szempontjából hátránya, hogy az eredményeket csak a négyszögalapok kitüntetett pontjainak függőlegesében dolgozták ki, és hogy a grafikonforma a számítógépek céljára nem megfelelő.

A *Frőhlich*-, illetve *Ohde*-féle elmélet alkalmazásával figyelembe lehet venni, hogy a rugalmassági modulus a mélységgel arányosan nőhet.

A rugalmas féltérre helyezett gerenda és lemez elméletét *Ohde*, *Kany*, *Deninger* és *Fekete* kutatta. *Ohde* a rugalmas féltérre helyezett gerendát *Clapeyron*-egyenletekkel kezeli. Boussinesq elméletéből kiindulva, Schleicher lehajlási hatásfüggvényei alapján kidolgozza az így ágyazott gerenda lehajlásszámítását. Kany az eljárást olyan talajokra alkalmazza, amelyek egy végtelenül merev rétegre települnek. A hatásfüggvényt haranggörbének választja, és technikailag is egyszerűsíti a számítást. *Deninger* a Kany-féle eljárást lemezalap esetére is kiterjeszti és a differenciamódszert alkalmazza. *Fekete*

a féltérre helyezett gerenda és lemez számítására a lehajlások egyezése alapán integro-differenciálegyenleteket ír fel.

A rugalmas féltéren nyugvó gerenda számításával *Cheung* is foglalkozott, aki a ferde terhek esetét is vizsgálta. Ugyanő és *Zienkiewicz* eljárást dolgozott ki a rugalmas ágyazású lemeznek a mozaikmódszerrel történő számítására is.

d) *Az összetett szerkezeti komplexumok vizsgálatát* az a szempont hozza előtérbe, hogy a magasépítmény és a rugalmas talaj viselkedését külön-külön is csak nagy szabadságfokú modellekkel követhetjük. Az együttesükként kialakuló szerkezet vizsgálatára tehát csak olyan eljárások ígérkeznek hatékonynak, amelyek a számítást az összetevődő rugalmas rendszereknek megfelelő részekre bontják.

Három eljárás esedékes. Az első az ún. *szekunder elmozdulásmódszer*, amelyben a rugalmas alapzatot az építmény ún. másodrendű merevségét szolgáltató hatásként tudjuk értelmezni. A módszer az erőmódszer keretében szereplő ún. határozatlan törzstartó-módszernek duálisa. Kiindulásául a rudakból, véges elemekből vagy ezek együtteséből álló szerkezet *Szabó*-féle általános egyenlete szolgál. Ezt a felszerkezetre vonatkoztatva, a *Szabó* és *Roller* által javasolt módon célszerű blokkokra bontani. Az első blokk-egyenlet az alapzat (esetleg a fogadószint) egyensúlyi feltételét, a másik a ránehezedő építmény egyensúlyi feltételét, a harmadik pedig a felszerkezet alakváltozási kompatibilitását fejezi ki. A megoldás sarkalatos feltétele, hogy a felszerkezet szilárd, de nem tökéletesen merev. Így a felszerkezet elemeinek hajlékonysági mátrixait meghatározva olyan algoritmust lehet összeállítani, melynek lényege egyetlen egyensúlyi mátrixegyenlet a felépítmény elmozdulásaira nézve.

Az *alszerkezetek módszerének* alapelve az, hogy a szerkezeti komplexumnak az elmozdulásmódszerrel felírható egyensúlyi egyenletét kétfelé bontjuk, a *felszerkezet* és az *alépítmény* egyenletére. Ezek természetesen összefonódnak, mert a csatlakozási pontok elmozdulása, illetve az ottani kölcsönös erő mindkét egyenletben előfordul. Mindkét egyenletet 2—2 blokk-egyenletre bontva kezeljük, és ezek alapján redukált egyensúlyi egyenleteket vezetünk le a csatlakozási pontok erőire nézve. Innen a támaszok elmozdulása, majd a szerkezet egyéb statikai jellemzői is kiszámíthatók.

Az *iteráció* lényege az, hogy az alapot merevnek tekintve, kiszámítjuk a teherből származó hatásokat, főként a támaszerőket. Ezekből az alépítménynek mint rugalmas rendszernek az elmozdulására következtetünk, majd megállapítjuk a felszerkezetnek ebből az elmozdulásból mint terhelő mozgásból keletkező hatását, főleg pedig a támaszerőket. Megint kiszámítjuk az alépítmény elmozdulását, és az eljárást addig ismételjük, míg azt a műszaki és numerikus szempontok kívánják.

3. A statikai modellek

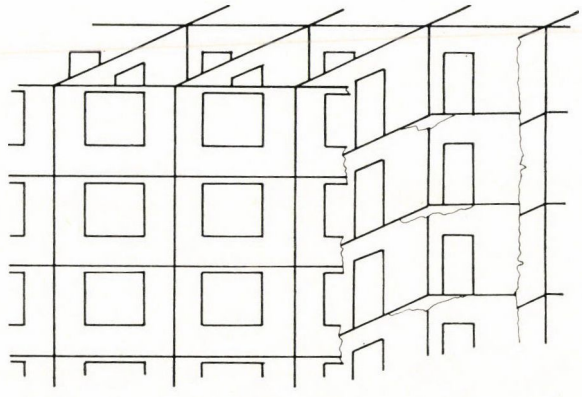
Panelépítményekkel, valamint *merevített keretszerkezetekkel* foglalkozunk, amelyek *rugalmas féltérre* nehezednek.

a) Az 1. ábrán látható, *nyílásokkal áttört panelekből álló épület* statikai modelljét térbeli rúdszerkezetnek választottuk.

A feltevések azok, amelyek a keretszerkezetek elmozdulásmódszerrel történő számításakor szokásosak. A normálerő okozta alakváltozás figyelembe-

vétele a gépi programozásban nem bonyodalmat, hanem kifejezett egyszerűsítést jelent és az sem okoz semmi nehézséget, ha a nyíróerő okozta alakváltozást az oszlopokon és a gerendákon egyaránt figyelembe vesszük.

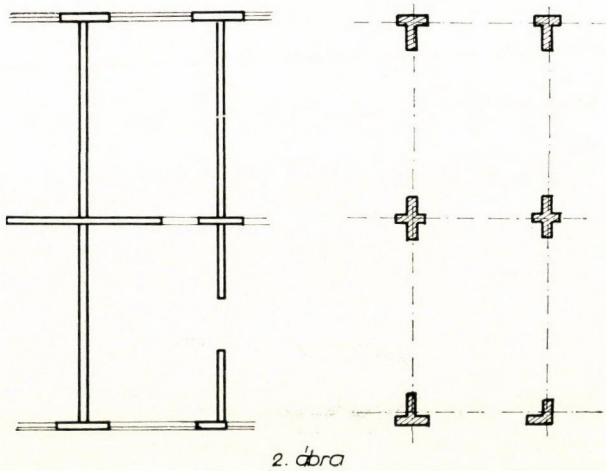
A modellként választott rúdszerkezet függőleges oszlopokból és vízszintes gerendákból áll. Szilárdsági tengelye megközelítőleg egybeesik a panelek érintkezési vonalával.



1. ábra

Az oszlopok keresztmetszetének megállapításánál figyelembe vesszük a csatlakozó falpanelek együttdolgozó részét is (2. ábra). Ez befolyásolja az oszlopkeresztmetszet súlypontjának helyét is, így a szilárdsági tengely nem esik pontosan egybe az eredeti szerkezet éleivel.

A nyílásokkal áttört panelt vízszintes értelemben helyettesítő gerenda merevségét szakaszonként változónak vesszük. Egy panelen általában csak egy nyílás van, így a gerenda három részre osztható: a két szélső — igen



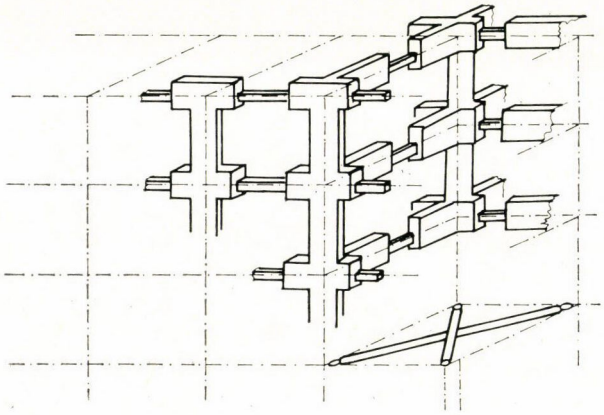
2. ábra

merev — és a középső — igen hajlékony — részre (3. ábra). Hogy a gerendának mely síkú és milyen jellegű merevségét változtatjuk ily módon, az attól is függ, hogy a födémpaneleket miként modellezzük. Ha feltételezzük, hogy ezek együtt dolgoznak a gerendákkal, akkor a gerendáknak a vízszintes síkú hajlítással szembeni merevségét az együtt dolgozó szélességnek megfelelően megnöveljük. Így a gerendák modellje a 4. ábra szerint értelmezhető.

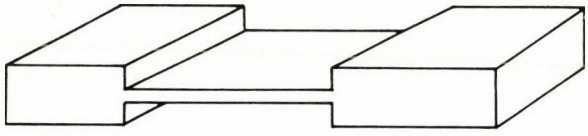
A födémek hatását külön rudakkal is figyelembe vehetjük. Ilyenkor az egymással átellenes keretsarkokat olyan rudakkal kötjük össze, amelyek csuklósan kapcsolódnak a csomópontokhoz. Egyenértékű keresztmetszetüket abból a közelítő feltételből lehet kiszámítani, hogy a tengelyirányú egységerők hatására ugyanannyi legyen a hosszváltozásuk, mint az egységnyi erőkkel átlósan terhelt tárcsáé (5. ábra).

b) *A tárcsákkal merevített keretvázak* statikai modellje az alábbi:

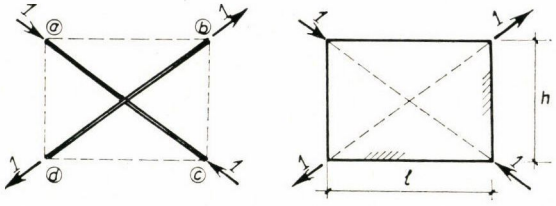
A szerkezet váza egy oszlopokból és vízszintes gerendákból álló térbeli keret. A függőleges terheket a födémek mint másodrendű közvetítő tartók hajlított



3. ábra



4. ábra



5. ábra

lemezként hárítják a gerendákra. Felfekvésük ilyenkor egyszerű megtámasztásúnak tekinthető. A vázszerkezetet ily módon csakis csomóponti erők terhelik.

A csomóponti erők hatására a födémelemek úgy viselkednek, mint a síkjukban terhelt tárcsák. Hasonlóképpen tárcsával modellezhetők a panelekből helyenként összeállított merevítő falak és a fogadószint megfelelő szerkezeti elemei is. A tárcsák csak pontszerűen kapcsolódnak a keretváz csomópontjaihoz.

A födémtárcsákat síkjukban teljesen merevnek tekintjük. Hasonló feltevést tehetünk a faltárcsákkal kapcsolatban is, de ez kevésbé indokolt. A merev tárcsákkal kitöltött szerkezet számításának felhasználásával a rugalmas szilárd elemekkel merevített szerkezet is vizsgálható.

Az alap mindkét esetben tartórács vagy felülbordás ellenlemez.

Az alapzatul szolgáló *rugalmas féltérről* feltételezzük, hogy a közege homogén, izotróp és követi a Hooke-törvényt, anyaga húzásnak és nyomásnak egyaránt ellenálló. A tömegerőket elhanyagoljuk. A térszíni pontra ható koncentrált erő mindhárom komponensét egy-egy egyenletesen megoszló erőrendszerrel pótoljuk. Ezek egy 2a · 2b méretű téglalap-tartomány közepén működnek, amelynek terjedelme tartórács esetében a gerendák keresztezési területe, lemez esetében az oszlop alatt centrikusan elhelyezkedő, egy lemeztábla nagyságú felület lehet.

4. Az épületváz számítási algoritmusai

A süllyedő alátámasztású épületvázak itt tárgyalt számítási algoritmusai alapjában véve az elmozdulásmódszerre támaszkodnak. Ennek sarkalatos része a teljes szerkezet merevségi mátrixának a szerkezeti elemek merevségi mátrixaiból való összeállítása olyan módon, hogy a gyűjtés a támaszokra is terjedjen ki.

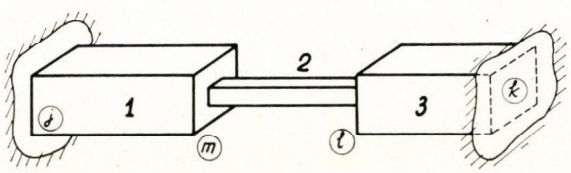
Az elemek merevségi mátrixainak kiszámításakor két részletkérdés merül fel, éspedig

a) A merev végű rudak **K**-mátrixainak összeállítása.

b) A födémeket helyettesítő András-kereszt-rudak egyenértékű területének számítása.

a) Ha a 6. ábrán vázolt, három szakaszból álló térbeli rúd két végső szakaszát mindegyik alakváltozás szempontjából tökéletesen merevnek tekintjük, akkor a rúd merevségi mátrixát a belső, második szakasz $\mathbf{K}_2$ merevségi mátrixa alapján, hasonlósági transzformációval lehet előállítani:

$$\mathbf{K} = \mathbf{B}^* \mathbf{K}_2 \mathbf{B}$$



6. ábra

itt **B** egy hiper-diagonálmátrix, amely a rúdvégpontok elmozdulásait a belső szakasz végpontjainak elmozdulásaiba transzformálja, a merev testszerű elmozdulás összefüggései szerint

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_1 & \\ & \mathbf{B}_3^{-1} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{B}_i = \begin{bmatrix} 1 & & & & & \\ & 1 & & & & l_i \\ & & 1 & & l_i- & \\ & & & 1 & & \\ & & & & 1 & \\ & & & & & 1 \end{bmatrix} \quad i = 1,3$$

(l_1, illetve l_3 a két merev szakasz hossza).

Ha nem minden tekintetben merevek a rúd végei, akkor célszerűbb úgy eljárni, hogy a szélső szakaszok keresztmetszeti méreteit, illetve fizikai jellemzőit a belsőénél nagyságrendekkel nagyobbnak választjuk. Ekkor a keresett mátrix blokkokra bontott alakja

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{12}^* & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix}$$

itt

$$\mathbf{K}_{11} = \mathbf{K}_{jj}^{(1)} - \mathbf{K}_{jm}^{(1)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{jm}^{(1)*} - \mathbf{K}_{jm}^{(1)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{ml}^{(2)} \cdot$$
$$\cdot \{\mathbf{K}_{ll}^{(2)} + \mathbf{K}_{ll}^{(3)} - \mathbf{K}_{lm}^{(2)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{lm}^{(2)*}\}^{-1}\,\mathbf{K}_{lm}^{(2)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{jm}^{(1)*}$$

$$\mathbf{K}_{12} = \mathbf{K}_{jm}^{(1)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{lm}^{(2)*}\{\mathbf{K}_{ll}^{(2)} + \mathbf{K}_{ll}^{(3)} - \mathbf{K}_{ml}^{(2)*}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} +$$
$$+ \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{ml}^{(2)}\}^{-1}\,\mathbf{K}_{lk}^{(3)}$$

$$\mathbf{K}_{22} = \mathbf{K}_{kk}^{(3)} - \mathbf{K}_{lk}^{(3)*}\{\mathbf{K}_{ll}^{(2)} + \mathbf{K}_{ll}^{(3)} - \mathbf{K}_{lm}^{(2)}[\mathbf{K}_{mm}^{(1)} + \mathbf{K}_{mm}^{(2)}]^{-1}\,\mathbf{K}_{lm}^{(2)*}\}\,\mathbf{K}^{(3)}$$

továbbá

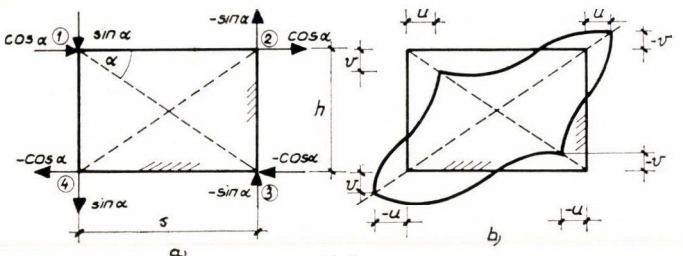
$$\mathbf{K}^{(1)} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{jj}^{(1)} & \mathbf{K}_{jm}^{(1)} \\ \mathbf{K}_{jm}^{(1)*} & \mathbf{K}_{mm}^{(1)} \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{K}^{(2)} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{mm}^{(2)} & \mathbf{K}_{ml}^{(2)} \\ \mathbf{K}_{ml}^{(2)*} & \mathbf{K}_{ll}^{(2)} \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{K}^{(3)} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_{ll}^{(3)} & \mathbf{K}_{lk}^{(3)} \\ \mathbf{K}_{lk}^{(3)*} & \mathbf{K}_{lk}^{(3)} \end{bmatrix}$$

a szakaszok merevségi mátrixainak blokkokra bontott alakjai:

b) Az András-kereszt-rácsozás helyettesítő keresztmetszetének kiszámításakor adottnak tekintjük a 7. ábrán látható derékszögű négyszög alakú tárcsa nyolcadrendű merevségi mátrixát. Ha a tárcsán a 7.a ábrán látható, egységnyi terhekből keletkező erőkomponensek működnek, a 7.b ábrán látható deformáció jön létre. A csomóponti erők egyensúlyban vannak, ezért a tárcsa nem végez merev testszerű mozgást.

A csomóponti elmozdulás-komponensek összefüggése

$$u_1 = u_2 = u \qquad u_3 = u_4 = -u$$
$$v_1 = v_4 = v \qquad v_2 = v_3 = -v$$



7. ábra

A merevségi mátrix definíciója szerint

$$k_{11}u_1 + k_{12}v_1 + k_{13}u_2 + k_{14}v_2 + k_{15}u_3 + k_{16}v_3 + k_{17}u_4 + k_{18}v_4 = \cos\alpha$$
$$k_{21}u_1 + k_{22}v_1 + k_{23}u_2 + k_{24}v_2 + k_{25}u_3 + k_{26}v_3 + k_{27}u_4 + k_{28}v_4 = \sin\alpha$$

Figyelembe véve a csomóponti elmozduláskomponensek összefüggéseit:

$$a_{11}u + a_{12}v = \cos\alpha$$
$$a_{21}u + a_{22}v = \sin\alpha$$

itt

$$a_{11} = k_{11} + k_{13} - k_{15} - k_{17} \qquad a_{12} = k_{12} - k_{14} - k_{16} + k_{18}$$
$$a_{21} = k_{21} + k_{23} - k_{25} - k_{27} \qquad a_{22} = k_{22} - k_{24} - k_{26} + k_{28}$$

u és v ismeretében az átlóirányú hosszváltozás

$$\Delta d = 2(u\cos\alpha + v\sin\alpha),$$

a helyettesítő keresztmetszeti terület pedig

$$F = \frac{1 \cdot d}{2E\Delta d}.$$

A teljes szerkezet merevségi mátrixának összegyűjtése nyomán az egyensúlyi egyenletrendszer megoldható, és az elmozdulások alapján megállapíthatjuk az igénybevételeket is. A szokványos térbeli keretszerkezet számítására itt csak röviden utalunk.

Az elmozdulásmódszer algoritmusát a teljes merevségi mátrix blokkokra bontott alakja segítségével a következőképpen írhatjuk fel:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} \\ \mathbf{K}_{12}^{*} & \mathbf{K}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{u}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{q}_p \end{bmatrix}$$

itt

$\mathbf{u}$ = a csomóponti elmozdulások
$\mathbf{u}_p$ = a támaszponti elmozdulások
$\mathbf{q}$ = a csomóponti terhek
$\mathbf{q}_p$ = a támaszerők

vektora. $\mathbf{q}$ magában foglalja a rudak terhelő relatív elmozdulásaiból (pl. hőmérséklethatás) származó csomóponti erőket is.

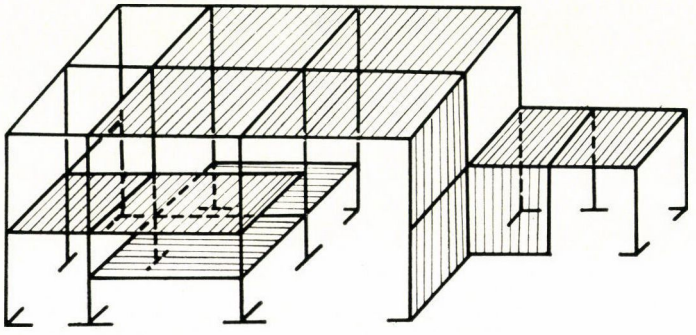
Az egyenletben $\mathbf{u}_p$ ismert, $\mathbf{q}_p$ pedig keresett vektor. A megoldás

$$\mathbf{u} = \mathbf{K}_{11}^{-1}\,\mathbf{q} - \mathbf{K}_{11}^{-1}\,\mathbf{K}_{12}\,\mathbf{u}_p$$

$$\mathbf{q}_p = \mathbf{K}_{12}^{*}\,\mathbf{K}_{11}^{-1}\,\mathbf{q} + (\mathbf{K}_{22} - \mathbf{K}_{12}^{*}\,\mathbf{K}_{11}^{-1}\,\mathbf{K}_{12})\mathbf{u}_p\,.$$

Érdemes ezután részletezni azokat a lehetőségeket, amelyek a tárcsákkal merevített keretvázak esetén merülnek fel.

A legkézenfekvőbb lehetőség, hogy a tárcsákat általánosított, több dimenziós rudaknak tekintjük és a keret merevségi mátrixának összeállításakor ezek

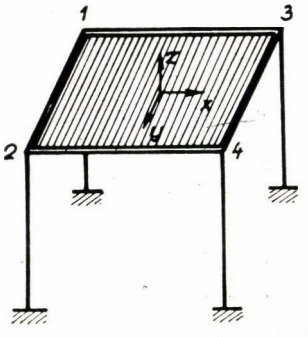


8. ábra

merevségi mátrixait is összegyűjtjük, akárcsak a rudakéit. A födémtárcsát ilyenkor nem tekintjük végtelenül merevnek, hanem csak azt tételezzük fel, hogy nagyságrendekkel szilárdabb az anyaga, mint a rudaké.

Mivel a tárcsák a szerkezetet alaposan bonyolíthatják (lásd pl. a 8. ábrát), ennek a módszernek hátránya, hogy az összefonódó hatások miatt (több vegyes indexű egységtényező) az egyensúlyi egyenletrendszer szalagszélessége lényegesen megnőhet. Ezen a nehézségen egy másik, bonyolultabb algoritmusú eljárással segíthetünk, amelynek során a tárcsákat megint tökéletesen merevnek tekintjük.

A *merev* tárcsával kombinált keret megoldását, az általánosság csorbítása nélkül, a 9. ábrával kapcsolatban tárgyaljuk. Az ott látható keret gerendái



9. ábra

között egy vízszintes síkú födémtárcsa helyezkedik el. A keretcsomópontok elmozdulását két blokkra bontjuk, mégpedig

$\mathbf{u}_f$ azon elmozdulások vektora, amelyeket nem kell a födémsarkok elmozdulásával egyeztetni,

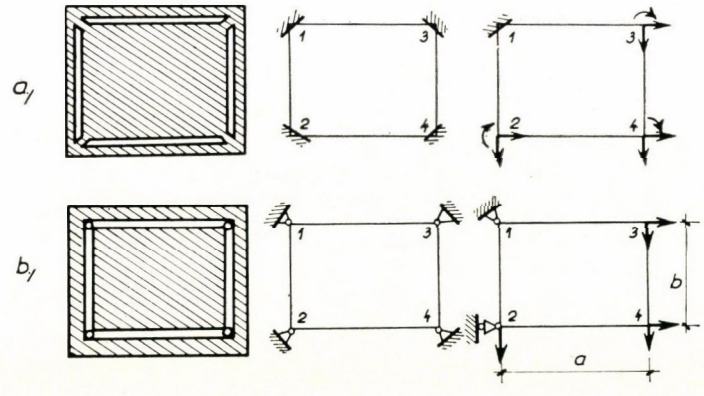
$\mathbf{u}_t$ a födémtárcsákéval egyező keretelmozdulások vektora.

$\mathbf{u}_f$ és $\mathbf{u}_t$ elemei a 10.a ábrán látható törzstartó esetében — amely egy vízszintes síkú befogott konzol — az alábbiak:

$$\mathbf{u}_f = \begin{bmatrix} u_{1z} \\ \varphi_{1x} \\ \varphi_{1y} \\ u_{2z} \\ \varphi_{2x} \\ \varphi_{2y} \\ u_{3z} \\ \varphi_{3x} \\ \varphi_{3y} \\ u_{4z} \\ \varphi_{4x} \\ \varphi_{4y} \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \mathbf{u}_t = \begin{bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ \varphi_{1z} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ \varphi_{2z} \\ u_{3x} \\ u_{3y} \\ \varphi_{3z} \\ u_{4x} \\ u_{4y} \\ \varphi_{4z} \end{bmatrix} \quad \text{tehát} \quad \mathbf{u}_f = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{f1} \\ \mathbf{u}_{f2} \\ \mathbf{u}_{f3} \\ \mathbf{u}_{f4} \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \mathbf{u}_t = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{t1} \\ \mathbf{u}_{t2} \\ \mathbf{u}_{t3} \\ \mathbf{u}_{t4} \end{bmatrix}$$

Fejezzük ki a 2, 3 és 4 csomópont $\mathbf{u}_{t2}$, $\mathbf{u}_{t3}$ és $\mathbf{u}_{t4}$ elmozdináskomponenseit $\mathbf{u}_{t1}$ függvényében, a tárcsa merev testszerű elmozdulásainak megfelelően. Az összefüggés mátrix-alakban:

$$\begin{bmatrix} u_{2x} \\ u_{2y} \\ \varphi_{2z} \\ \hline u_{3x} \\ u_{3y} \\ \varphi_{3z} \\ \hline u_{4x} \\ u_{4y} \\ \varphi_{4z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & -y_{12} \\ & 1 & x_{12} \\ & & 1 \\ \hline 1 & & -y_{13} \\ & 1 & x_{13} \\ & & 1 \\ \hline 1 & & -y_{14} \\ & 1 & x_{14} \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ \varphi_{1z} \end{bmatrix}$$



10. ábra

Az

$$\mathbf{u}_{t1} = \mathbf{u}_I \qquad \text{és} \qquad \begin{bmatrix} \mathbf{u}_{t2} \\ \mathbf{u}_{t3} \\ \mathbf{u}_{t4} \end{bmatrix} = \mathbf{u}_v$$

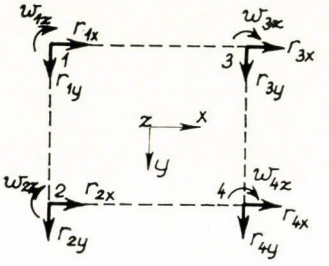
jelölésekkel a fenti összefüggés így írható:

$$\mathbf{u}_v = \mathbf{B}^* \mathbf{u}_I ,$$

illetve

$$\mathbf{B}^* \mathbf{u}_I - \mathbf{E}\mathbf{u}_v = \mathbf{0} .$$

Definiáljuk a keretre ható csomóponti erőket is, mégpedig úgy, hogy a $\mathbf{q}_f$, $\mathbf{q}_v$ és $\mathbf{q}_I$ vektorok komponensei megfeleljenek $\mathbf{u}_f$, $\mathbf{u}_v$ és $\mathbf{u}_I$ komponenseinek!



11. ábra

A tárcsa által a keretre gyakorolt reakcióerők vektorait jelöljük az előzőeknek megfelelően $\mathbf{r}_v$ és $\mathbf{r}_I$-vel. Ezek elemei a 11. ábra szerint:

$$\mathbf{r}_v = \begin{bmatrix} r_{2x} \\ r_{2y} \\ r_{2z} \\ \hline r_{3x} \\ r_{3y} \\ w_{3z} \\ \hline r_{4x} \\ r_{4y} \\ w_{4z} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{r}_I = \begin{bmatrix} r_{1x} \\ r_{1y} \end{bmatrix} \qquad \mathbf{r}_t = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_I \\ \mathbf{r}_v \end{bmatrix}$$

A tárcsa mátrix-alakban felírt egyensúlyi feltételéből:

$$\left[\begin{array}{ccc|ccc|ccc} 1 & & & 1 & & & 1 & & \\ & 1 & & & 1 & & & 1 & \\ -y_{12} & x_{12} & 1 & -y_{13} & x_{13} & 1 & -y_{14} & x_{14} & 1 \end{array}\right] \begin{bmatrix} r_{2x} \\ r_{2y} \\ w_{2z} \\ \hline r_{3x} \\ r_{3y} \\ w_{3z} \\ \hline r_{4x} \\ r_{4y} \\ w_{4z} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r_{1x} \\ r_{1y} \\ w_{1z} \end{bmatrix} = 0$$

azaz

$$\mathbf{r}_I + \mathbf{B} \cdot \mathbf{r}_v = \mathbf{0}.$$

A keretszerkezet eredeti egyensúlyi egyenlete, (ha a csomóponti elmozdulások között semmiféle megkötést nem teszünk):

$$\mathbf{K}\mathbf{u} = \mathbf{q}$$

itt

$$\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_t \end{bmatrix} \qquad \text{és} \qquad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_f \\ \mathbf{q}_t \end{bmatrix}$$

K pedig a térbeli keretmodellnél részletezett szerkezeti merevségi mátrix:

Tárcsahatás esetén a keretet külső erőkön kívül a csomóponti reakciók is terhelik. Ezek figyelembevételével az egyenletet a következőképpen célszerű blokkokra bontani:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{K}_{13} \\ \mathbf{K}_{12}^* & \mathbf{K}_{22} & \mathbf{K}_{23} \\ \mathbf{K}_{13}^* & \mathbf{K}_{23}^* & \mathbf{K}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_v \\ \mathbf{u}_I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_f \\ \mathbf{q}_v \\ \mathbf{q}_I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{r}_v \\ \mathbf{r}_I \end{bmatrix}$$

Figyelembe véve az

$$\mathbf{r}_I + \mathbf{B}\mathbf{r}_v = 0$$

összefüggést és a rendszer egyenletéhez a

$$\mathbf{B}^*\mathbf{u}_I - \mathbf{E}\mathbf{u}_v = 0$$

képletet hozzácsatolva, a következő, *kiegészített* egyensúlyi egyenletet kapjuk, a födémekkel merevített keret egyensúlyi egyenleteként:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{K}_{13} & \\ \mathbf{K}_{12}^* & \mathbf{K}_{22} & \mathbf{K}_{23} & -\mathbf{E} \\ \mathbf{K}_{13}^* & \mathbf{K}_{23}^* & \mathbf{K}_{33} & \mathbf{B} \\ & -\mathbf{E} & \mathbf{B}^* & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_v \\ \mathbf{u}_I \\ \mathbf{r}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_f \\ \mathbf{q}_v \\ \mathbf{q}_I \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}$$

A négy-ismeretlenes hipermátrix-egyenlet megoldása, egyben a feladat megoldási algoritmusa, az alábbi:

$$\mathbf{u}_I = \mathbf{M}^{-1}\mathbf{g},$$

ahol

$$\mathbf{M} = \mathbf{B}\mathbf{K}_{22}\mathbf{B}^* + \mathbf{K}_{33} + \mathbf{B}\mathbf{K}_{23} + \mathbf{K}_{23}^*\mathbf{B}^* - \mathbf{K}_{13}^*\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{12}\mathbf{B}^* -$$
$$-\mathbf{K}_{13}^*\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{13} - \mathbf{B}\mathbf{K}_{12}^*\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{12}\mathbf{B}^* - \mathbf{B}\mathbf{K}_{12}^*\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{13}$$

és

$$\mathbf{g} = -\mathbf{K}_{13}^*\mathbf{B}\mathbf{K}_{12}^*\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{q}_f + \mathbf{B}\mathbf{q}_v + \mathbf{q}_I = \mathbf{G}\mathbf{q}$$

$\mathbf{u}_I$ meghatározása után a többi ismeretlenek:

$$\mathbf{u}_f = \mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{q}_f - (\mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{12}\mathbf{B}^* + \mathbf{K}_{11}^{-1}\mathbf{K}_{13})\mathbf{u}_I$$

$$\mathbf{r}_v = \mathbf{K}_{12}^*\mathbf{u}_f + (\mathbf{K}_{22}\mathbf{B}^* + \mathbf{K}_{23})\mathbf{u}_I - \mathbf{q}_v,$$

végül

$$\mathbf{r}_I = \mathbf{B}\mathbf{r}_v.$$

A megoldás egy másik változata az, ha a teljes szerkezet fenti mátrix-egyenletrendszerét az alábbi két részre bontjuk:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K} & \mathbf{D} \\ \mathbf{D}^* & \mathbf{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u} \\ \mathbf{r}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \quad \text{ahol} \quad \mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\mathbf{E} \\ \mathbf{B} \end{bmatrix},$$

azaz

$$\mathbf{K}\mathbf{u} + \mathbf{D}\mathbf{r}_v = \mathbf{q}\,.$$

és

$$\mathbf{D}^*\mathbf{u} = \mathbf{0}\,.$$

Az első egyenletből:

$$\mathbf{u} = \mathbf{K}^{-1}(\mathbf{q} - \mathbf{D}\mathbf{r}_v)$$

Ezt a második egyenletbe helyettesítve, megkapjuk a megoldást

$$\mathbf{D}^*\mathbf{K}^{-1}\mathbf{q} - \mathbf{D}^*\mathbf{K}^{-1}\mathbf{D}\mathbf{r}_v = \mathbf{0},$$

innen

$$\mathbf{r}_v = (\mathbf{D}^*\mathbf{K}^{-1}\mathbf{D})^{-1}\mathbf{D}^*\mathbf{K}^{-1}\mathbf{q}.$$

Az első algoritmus bonyolultabb a másodiknál, viszont jóval kisebb méretű egyenletrendszert eredményezhet.

Ha a födémtárcsa sarkain nem számítunk nyomatékokra, akkor a törzstartója egy vízszintes síkú kéttámaszú alakzat (10.b ábra), és az elmozdulásvektorokat az alábbi módon kell particionálni:

$$\mathbf{u}_f = \begin{bmatrix} u_{1z} \\ \varphi_{1x} \\ \varphi_{1y} \\ \varphi_{1z} \\ u_{2z} \\ \varphi_{2x} \\ \varphi_{2y} \\ \varphi_{2z} \\ u_{3z} \\ \varphi_{3x} \\ \varphi_{3y} \\ \varphi_{3z} \\ u_{4z} \\ \varphi_{4x} \\ \varphi_{4y} \\ \varphi_{4z} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_t = \begin{bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ u_{3x} \\ u_{3y} \\ u_{4x} \\ u_{4y} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{u}_I = \begin{bmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{2z} \end{bmatrix} \text{és} \quad \mathbf{u}_v = \begin{bmatrix} u_{2y} \\ u_{3x} \\ u_{3y} \\ u_{4x} \\ u_{4y} \end{bmatrix}$$

Ennek megfelelő az $\mathbf{r}_I$ és $\mathbf{r}_v$ vektor is, a $\mathbf{B}$ mátrix tartalma pedig:

$$\begin{bmatrix} & 1 & & 1 & \\ 1 & & 1 & & 1 \\ & & -a/b & 1 & -a/b \end{bmatrix}$$

itt a a lemez hossza, b a szélessége.

A merev tárcsás keret megoldását a következőképpen lehet a *rugalmas tárcsákkal kapcsolt keret* megoldásához felhasználni:

A tárcsákat először teljesen merevnek tételezzük fel és a szerkezetet az iméntiek szerint megoldjuk. A tárcsák kapcsolati pontjain fellépő belső reakciók megállapítása után figyelembe vesszük a tárcsák rugalmasságát és mindegyik tárcsát statikailag határozott módon képzeljük a keretekhez kapcsolva. A tárcsa mint véges elem hajlékonysági mátrixa segítségével meghatározzuk a tárcsasarokpontok elmozdulásait, amelyek *relatívok*, a megfelelő keretsarokéhoz képest. Célunk az, hogy e kompatibilitási hibákat zérusra (gépi pontosságtól, illetve az egész számítás pontosságától függő előírt kicsiny értékre) csökkentsük. E célt szolgálja az alábbi iteráció.

Ismerve a keret és a tárcsa relatív elmozdulását, összeférhetőségi hibáját, megkeressük azokat a keretre ható erőket, amelyek a hibát a keret elmozdulásaival kompenzálnák. Azaz olyan fiktív erőket iktatunk be a keretre, amelyek hatására a keretsarok relatív elmozdulásai épp a hiba ellentettjét adják. Eközben a tárcsákat ismét merevnek tekintjük, azaz a fiktív teherből származó alakváltozásait zérusnak választjuk.

Most ismét figyelembe vesszük a tárcsák rugalmasságát, a fentebb leírt módon, majd ellenőrizzük a csatlakozási hibát. Az iterációt a szükséges egyezés beálltáig folytatjuk.

A számítási algoritmus 3 fő lépésből áll:

a) a merev tárcsákat tartalmazó keretszerkezet megoldása,
b) a tárcsasarokpontok elmozdulásainak meghatározása,
c) az összeférhetőségi hibát kiküszöbölő fiktív erők meghatározása.

A tárcsák sarokponti elmozdulásainak meghatározásakor a derékszögű négyszög alakú tárcsáknak mint nem megtámasztott véges elemeknek *szinguláris* merevségi mátrixaiból indulunk ki. Attól függően, hogy a tárcsa törzstartója befogott-e vagy csuklós, ez a $\mathbf{K}$ mátrix vagy 12×12, vagy pedig 8×8 méretű. Segítségével egyszerűen meghatározhatjuk a tárcsaelem *nem szinguláris* hajlékonysági mátrixát is.

A tárcsa sarokponti elmozdulásainak vektorát $\mathbf{e}_t$-vel jelöljük és két blokkra bontjuk: $\mathbf{e}_I$ a törzstartó megtámasztásai által előírt, $\mathbf{e}_v$ pedig az ismeretlen elmozdulások vektora. Így, ha — a szükséges sor- és oszlopcserék elvégzése után — a merevségi mátrixot és a sarokponti erők vektorát is particionáljuk, akkor

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{vv} & \mathbf{K}_{vI} \\ \mathbf{K}^*_{vI} & \mathbf{K}_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{e}_v \\ \mathbf{e}_I \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} \mathbf{r}_v \\ \mathbf{r}_I \end{bmatrix}$$

és az első blokk-egyenletből $\mathbf{e}_I = \mathbf{0}$ esetén

$$\mathbf{K}_{vv}\mathbf{e}_v = -\mathbf{r}_v\,, \qquad \text{azaz} \qquad \mathbf{e}_v = -\mathbf{K}_{vv}^{-1}\mathbf{r}_v\,.$$

A keresett hajlékonysági mátrix eszerint

$$\mathbf{F} = \mathbf{K}_{vv}^{-1}\,.$$

A tárcsa elvágott sarkain jelentkező relatív elmozdulások vektora végül is

$$\Delta\mathbf{u}_v = \mathbf{u}_v - \mathbf{B}^*\mathbf{u}_I - \mathbf{e}_v = \mathbf{u}_v - \mathbf{B}^*\mathbf{u}_I + \mathbf{F}\mathbf{r}_v\,.$$

Az összeférhetőségi hibát kiküszöbölő fiktív erők meghatározásakor úgy járunk el, hogy újra felírjuk az elmozdulásmódszer alapegyenletét. Ebben $\mathbf{r}_v$-nek az előbbi számításokból kapott értéke ismert és változatlan, hiszen a tárcsákat most ismét merevnek tekintettük. *Ismert* külső teher ezúttal nincs, viszont megjelennek az ismeretlen fiktív erők. Vektoruk jele $\mathbf{p}_v$.

Az egyenlet:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{K}_{13} & \\ \mathbf{K}_{12}^{*} & \mathbf{K}_{22} & \mathbf{K}_{23} & -\mathbf{E} \\ \mathbf{K}_{13}^{*} & \mathbf{K}_{23} & \mathbf{K}_{33} & \mathbf{B} \\ & -\mathbf{E} & \mathbf{B}^{*} & -\mathbf{F} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_v \\ \mathbf{u}_I \\ \mathbf{r}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{p}_v \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}.$$

Elvégezve a vektorcserét:

$$\begin{bmatrix} \mathbf{K}_{11} & \mathbf{K}_{12} & \mathbf{K}_{13} & \\ \mathbf{K}_{12}^{*} & \mathbf{K}_{22} & \mathbf{K}_{23} & -\mathbf{E} \\ \mathbf{K}_{13}^{*} & \mathbf{K}_{23} & \mathbf{K}_{33} & \\ & -\mathbf{E} & \mathbf{B}^{*} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_f \\ \mathbf{u}_v \\ \mathbf{u}_I \\ \mathbf{R}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{r}_v \\ -\mathbf{B}\mathbf{r}_v \\ \mathbf{F}\mathbf{r}_v \end{bmatrix}.$$

A megoldáshoz a második algoritmus-változatot alkalmazzuk. Bevezetve a

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{E} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \mathbf{g} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{r}_v \\ -\mathbf{B}\mathbf{r}_v \end{bmatrix}$$

blokkmátrix-jelöléseket, röviden

$$\mathbf{K}\mathbf{u} + \mathbf{H}\mathbf{p}_v = \mathbf{g}$$

$$\mathbf{D}^{*}\mathbf{u} = \mathbf{F}\mathbf{r}_v .$$

5. A rugalmas féltér hajlékonysági mátrixa

Tekintsünk n-számú pontot a rugalmas féltér felszínén. Bármelyik ponton egy három komponensű térbeli erő támadhat. Ennek hatására a féltér belsejének és határoló síkjának pontjai elmozdulnak. Ha az alapozás számításakor figyelembe akarjuk venni, hogy a térszín egyes pontjain a süllyedés nem független a többi pontok megterhelésétől, akkor egy olyan hajlékonysági mátrixot kell összeállítani, amelynek egy eleme megmutatja, hogy mennyi a kiszemelt térszíni pont valamely elmozduláskomponense egy (általában másik) térszíni ponton ható valamely erőkomponens folytán.

Elsődleges feladatunk az, hogy a térszín egy x_i; y_i koordinátájú pontjában meghatározzuk az eltolódásvektor komponenseit, a koordináta-rendszer $x_j = 0$; $y_j = 0$ kezdőpontján ható x, y, illetve z irányú egységteher hatására. Ha ezt megtettük, az erőket áthelyezzük egy tetszőleges x_j; y_j pontra, vagyis képleteinket transzformáljuk.

Az így kapható eredményeket a talpnyomás eloszlására vonatkozó feltevés folytán integrálni kell. A hajlékonysági mátrix elemei, vagyis a keresett elmozdulási hatástényezők az integrálás eredményei lesznek

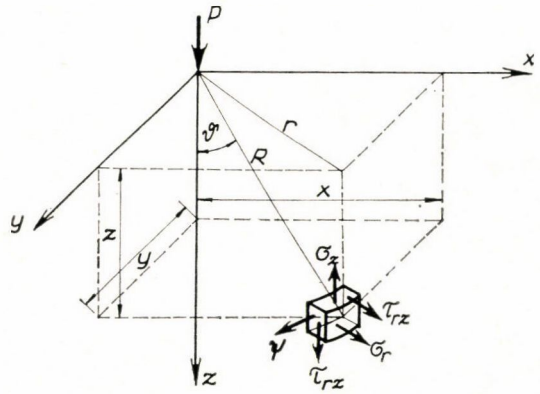
Levezetésünket a klasszikus rugalmasságtanból ismert *Boussinesq*-féle modell alkalmazásával végezzük el (12. ábra).

A továbbiakban először bemutatjuk az egyik eltolódási hatástényező részletes levezetését, majd összeállítást adunk a keresett hajlékonysági mátrixról.

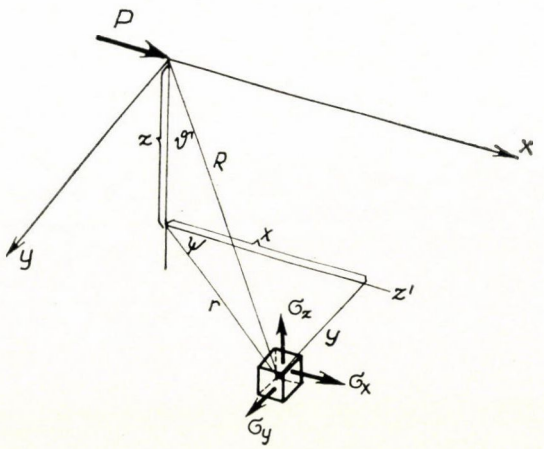
a) Ha egy ponton egy x irányú egységteher támad, egy másik ponton a függőleges eltolódáskomponenst a következőképpen határozzuk meg (13. ábra):

Cerutti nyomán a kezdőpontban támadó erőből a feszültségeloszlást a

$$\sigma_x = -\frac{P}{2\pi z^2}\cos\psi \cdot \sin\vartheta\cos^2\vartheta(3\cos^2\psi\sin^2\vartheta - (1-2\mu)\left(1 - \frac{3}{(1+\cos\vartheta)^2} + \frac{\cos^2\psi \cdot \sin^2\vartheta\,(3+\cos\vartheta)}{(1+\cos\vartheta)^3}\right),$$



12. ábra



13. ábra

$$\sigma_y = -\frac{P}{2\pi z^2}\cos\psi \cdot \sin\vartheta \cos^2\vartheta\,(3\sin^2\psi\sin^2\vartheta -$$

$$-(1-2\mu)\left(1-\frac{1}{(1+\cos\vartheta)^2}+\frac{\sin^2\psi\cdot\sin^2\vartheta\,(3+\cos\vartheta)}{(1+\cos\vartheta)^3}\right),$$

$$\sigma_z = -\frac{3P}{2\pi z^2}\cos\psi \cdot \sin\vartheta \cdot \cos^4\vartheta$$

képletekkel határozzuk meg.

Itt μ a Poisson-féle tényező:

A rugalmasságtan egyik geometriai egyenlete

$$\frac{\partial w}{\partial z} = \varepsilon_z .$$

Ezt integrálva:

$$w = \int \varepsilon_z(z, r, \psi)dz + c(r, \psi) = \int \varepsilon_z(\vartheta, r, \psi)\cdot\frac{-r}{\sin^2\vartheta}d\vartheta + c(r, \psi) .$$

A c konstanst a

$$\lim_{z\to\infty} w = 0$$

feltételből határozhatjuk meg, mivel nyilvánvaló, hogy a terheléstől végtelenül messze megszűnik a mechanikai hatás. A feszültségeket behelyettesítve:

$$w = -\frac{P}{2\pi E}\int\frac{1}{z^2}\left\{3\cos\psi\sin\vartheta\cos\vartheta - \mu\cos\psi\sin\vartheta\cos^2\vartheta\left\{3(\cos^2\psi+\right.\right.$$

$$+\sin^2\psi)\sin^2\vartheta - (1-2\mu)\left(2-\frac{4}{(1+\cos\vartheta)^2}+\right.$$

$$\left.\left.\left.+\frac{(\cos^2\psi+\sin^2\psi)\sin^2\vartheta(3+\cos\vartheta)}{(1+\cos\vartheta)^3}\right)\right\}\right\}\cdot\frac{-x}{\sin^2\vartheta}d\vartheta + c(r, \psi) .$$

Az

$$\frac{1}{z^2} = \frac{1}{r^2}\frac{\sin^2\vartheta}{\cos^2\vartheta}$$

helyettesítés és trigonometriai azonosságok alkalmazásával

$$w = \frac{P\cos\psi}{2\pi rE}(-\cos^3\vartheta + 3\mu\cos\vartheta - \mu\cos^3\vartheta - (\mu - 2\mu^2)\cos\vartheta + \boldsymbol{c}$$

$$\lim_{\vartheta\to 0} w = \frac{P\cos\psi}{2\pi rE}(2\mu^2 + \mu - 1) + c = 0 .$$

Innen

$$c = -\frac{P\cos\psi}{2\pi rE}(2\mu^2 + \mu - 1)$$

$$\cos\psi = \frac{x}{r} \quad \text{és} \quad r^2 = x^2 + y^2$$

helyettesítéssel, koncentrált erőből a *térszín* tetszőleges pontjának függőleges eltolódása:

$$e_{zx} = w\left(\vartheta = \frac{\pi}{2}, x, y\right) = -\frac{Px(2\mu^2 + \mu - 1)}{2\mu E(x^2 + y^2)}.$$

Ezt az eredményt, $P = 1$ választással eltolódási hatásábra-ordinátának tekintjük és a megoszló teherrel leterheljük. A megoszló teher elemi eredője:

$$dP = p_x\, d\xi\, d\eta = \frac{1}{4ab} d\xi\, d\eta,$$

ezért a képlet általános alakja:

$$e_{zx,p}(x, y) = \frac{1}{4ab}\iint\limits_{(F)} e_{zx}(x - \xi; y - \eta) d\xi\, d\eta,$$

itt F a terhelési téglalap területe, a változók különbség alakú képletét pedig az magyarázza, hogy az átvett eredmények a koordináta-kezdőpontban működő teherre vonatkoztak.

A fentebbi képlet felhasználásával a koordináta-kezdőpont körül megoszló teher hatására:

$$e_{zx,p} = -\frac{1}{4ab}\int_{-b}^{b}\int_{-a}^{a}\frac{(x - \xi)(2\mu^2 + \mu - 1)}{2\pi E[(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2]} d\xi\, d\eta =$$

$$= \frac{(2\mu^2 + \mu - 1)}{8\, ab\pi E}\int_{-b}^{b}\left[\ln\{(x - \xi)^2 + (y - \eta)^2\}\right]_{-a}^{a} d\eta.$$

Először

$$\varrho^2 + (y - \eta)^2 = f$$

helyettesítést, majd parciális integrálást végzünk. Ezután

$$u = \sqrt{f - \varrho^2}$$

helyettesítésre kerül sor.

A határok behelyettesítése és összevonás után a keresett eltolódási hatástényező értéke végül is:

$$e_{zx,p} = -\frac{(2\mu^2 + \mu - 1)}{8\, ab\pi E}\,(y - b)\ln\frac{(x - a)^2 + (y - b)^2}{(x + a)^2 + (y - b)^2} -$$

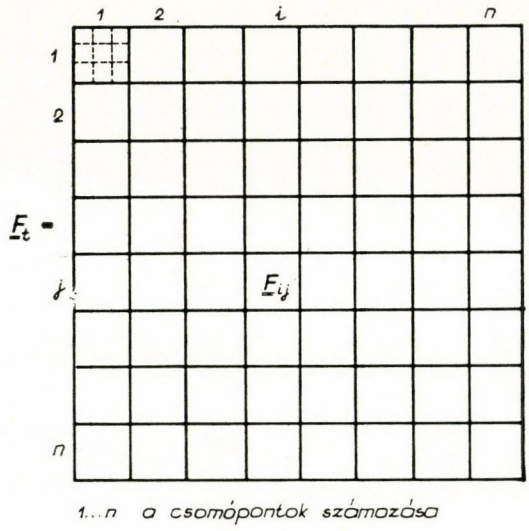
$$- (y + b) \ln \frac{(x - a)^2 + (y + b)^2}{(x + a)^2 + (y + b)^2} + (x - a) \left[\operatorname{arc\,tg} \frac{y - b}{x - a} + \operatorname{arc\,tg} \frac{y + b}{x - a} \right] -$$

$$- (x + a) \left[\operatorname{arc\,tg} \frac{y - b}{x + a} + \operatorname{arc\,tg} \frac{y + b}{x + a} \right] \Bigg] .$$

A képletek helyességét az e_{xz} kifejezés független levezetésével ellenőriztük. *Maxwell* tétele szerint ugyanis

$$e_{zx} = e_{xz} .$$

b) A talaj hajlékonysági mátrixának összeállításakor a következőképpen járunk el.



1...n a csomópontok számozása

14. ábra

Az alaplemez és a talaj érintkezési síkjában $2a$, illetve $2b$ osztásközű négyszöghálót veszünk fel. A talaj hajlékonysági mátrixát e pontokra nézve a 14. ábrán feltüntetett alakban kapjuk. A hipermátrix 3×3-as blokkokból áll, az x, y, z irányú erő-, illetve elmozduláskomponenseknek megfelelően. A mátrix egy oszlopa az osztáspontok x, y, illetve z irányú elmozdulását foglalja össze, az egyik csomópontra ható, valamelyik irányú erőkomponens egységnyi értéke esetében. Felírásakor tekintetbe vettük, hogy az illető erőkomponens $p/4ab$ intenzitású egyenletesen megoszló erőként adódik át a talajra. A mátrixegyenlet a következő:

$$\mathbf{w}_t = \mathbf{F}_t \mathbf{p} ,$$

ahol

$\mathbf{w}_t$ a csomópontok x, y, z irányú eltolódásait összefoglaló vektor,

$\mathbf{F}_t$ a talaj hajlékonysági mátrixa,

$\mathbf{p}$ a csomópontokon a talajra átadódó erők x, y, z irányú komponenseit összefoglaló vektor.

A talaj hajlékonysági mátrixának i, j indexű blokkja:

$$\mathbf{F}_{ij} = \begin{bmatrix} e_{xx}^{(ij)} & e_{xy}^{(ij)} & e_{xz}^{(ij)} \\ e_{yx}^{(ij)} & e_{yy}^{(ij)} & e_{yz}^{(ij)} \\ e_{zx}^{(ij)} & e_{zy}^{(ij)} & e_{zz}^{(ij)} \end{bmatrix}$$

ahol

$$e_{\alpha\beta}^{(ij)} = e_{\alpha\beta,p}(\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij})$$

az eltolódási hatásfüggvény értéke a

$$\Delta x_{ij} = x_i - x_j \qquad \Delta y_{ij} = y_i - y_j$$

helyen

(α és β helyébe x, y és z helyettesítendő.)

Az eltolódási hatásfüggvények képletei:

$$e_{xx,p} = \frac{(1+\mu)}{4E\pi ab}\Bigg[(1-\mu)\Bigg\{(y-b)\ln\frac{x-a+\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2}}{x+a+\sqrt{(x+a)^2+(y-b)^2}} +$$

$$+ (y+b)\cdot\ln\frac{x+a+\sqrt{(x+a)^2+(y+b)^2}}{x-a+\sqrt{(x-a)^2+(y+b)^2}} +$$

$$+ (x-a)\ln\frac{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x-a)^2}}{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x-a)^2}} +$$

$$+ (x+a)\ln\frac{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x+a)^2}}{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x+a)^2}}\Bigg\} +$$

$$+ \mu\Bigg\{(x-a)\ln\frac{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x-a)^2}}{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x-a)^2}} -$$

$$- (x+a)\ln\frac{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x+a)^2}}{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x+a)^2}} +$$

$$+ (y-b)\ln\frac{-(x-a)+\sqrt{(y-b)^2+(x-a)^2}}{-(x+a)+\sqrt{(y-b)^2+(x+a)^2}} -$$

$$- (y+b)\ln\frac{-(x-a)+\sqrt{(y+b)^2+(x-a)^2}}{-(x+a)+\sqrt{(y+b)^2+(x+a)^2}}\Bigg\}\Bigg]$$

$$e_{xy,p} = \frac{(1+\mu)\mu}{4E\pi ab}\left(\sqrt{(x+a)^2+(y-b)^2} - \sqrt{(x+a)^2+(y+b)^2} -\right.$$

$$\left. - \sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2} + \sqrt{(x-a)^2+(y+b)^2}\right)$$

$e_{xz,p}$ = AZ a) ALATT LEVEZETETT KÉPLET

$e_{yy,p}$ = AZ $e_{xx,p}$ KÉPLET, DE x HELYÉRE y ÉS y HELYÉRE x KERÜL.

$e_{yz,p}$ = AZ $e_{xy,p}$ KÉPLET, DE x HELYÉRE y ÉS y HELYÉRE x KERÜL.

$$e_{zz,p} = \frac{(1-\mu^2)}{4E\pi ab}\left[(y-b)\ln\frac{x-a+\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2}}{x+a+\sqrt{(x+a)^2+(y-b)^2}} + \right.$$

$$+ (y+b)\ln\frac{x+a+\sqrt{(x+a)^2+(y+b)^2}}{x-a+\sqrt{(x-a)^2+(y+b)^2}} +$$

$$+ (x-a)\ln\frac{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x-a)^2}}{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x-a)^2}} +$$

$$\left. + (x+a)\ln\frac{y+b+\sqrt{(y+b)^2+(x+a)^2}}{y-b+\sqrt{(y-b)^2+(x+a)^2}}\right].$$

6. *Rugalmas alátámasztású építmények számítása*

a) A rugalmas alátámasztású építmények számításának egyik előnyös módszere az ún. *alszerkezetek módszere.* Ennek alapelve szerint a szerkezeti komplexum

$$\mathbf{Ku} = \mathbf{q}$$

alakú egyensúlyi egyenletét, melyben $\mathbf{K}$ a *teljes* szerkezet merevségi mátrixa volna, kétfelé bontjuk, a *felszerkezet* és az *alépítmény* egyenletére. Ezek természetesen összefonódnak, mert a csatlakozási pontok elmozdulása, illetve az ottani kölcsönös erő mindkét egyenletben előfordul.

Az egyenleteket 2—2 blokk-egyenletre bontva kell kezelnünk.

Felszerkezet:

$$\left[\begin{array}{c|c} \mathbf{K}_{11,f} & \mathbf{K}_{12,f} \\ \hline \mathbf{K}^*_{12,f} & \mathbf{K}_{22,f} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{u}_{1,f} \\ \hline \mathbf{u}_{2,f} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \mathbf{q}_{1,f} \\ \hline \mathbf{q}_{2,f} \end{array}\right]$$

Alépítmény:

$$\left[\begin{array}{c|c} \mathbf{K}_{11,a} & \mathbf{K}_{12,a} \\ \hline \mathbf{K}^*_{12,a} & \mathbf{K}_{22,a} \end{array}\right] \left[\begin{array}{c} \mathbf{u}_{1,a} \\ \hline \mathbf{u}_{2,a} \end{array}\right] = \left[\begin{array}{c} \mathbf{q}_{1,a} \\ \hline \mathbf{q}_{2,a} \end{array}\right]$$

Itt

$\mathbf{u}_{1,f}$ a felszerkezet azon pontjainak elmozdulásvektora, amelyek nem csatlakoznak az alépítményhez,

$\mathbf{q}_{1,f}$ az e pontokon ható teher vektora,

$\mathbf{u}_{2,f}$ a felszerkezet azon pontjainak elmozdulásvektora, amelyek az alépítményhez csatlakoznak,

$\mathbf{q}_{2,f}$ az e pontokon ható erők vektora,

$\mathbf{u}_{1,a}$, $\mathbf{q}_{1,a}$ $\mathbf{u}_{2,a}$, $\mathbf{q}_{2,a}$ jelentése hasonló.

A csatlakozás miatt

$$\mathbf{u}_{2f} = \mathbf{u}_{2,a} = \mathbf{u}_c \text{ közös,}$$

az egyensúly feltételeként pedig

$$\mathbf{q}_{2,f} = -\mathbf{q}_{2,a} = \mathbf{q}_c \,.$$

A felszerkezet egyenletéből $\mathbf{u}_{1,f}$-et kiküszöbölve

$$\mathbf{K}_{f,red}\ \mathbf{u}_c = \mathbf{q}_c - \mathbf{K}^*_{12,f}\mathbf{K}^{-1}_{11,f}\mathbf{q}_{1,f} \,.$$

Itt

$$\mathbf{K}_{f,red} = \mathbf{K}_{22,f} - \mathbf{K}^*_{22,f}\,\mathbf{K}^{-1}_{11,f}\,\mathbf{K}_{12,f} \,.$$

Hasonló a helyzet az alépítményen is, „a" indexszel.

A két redukált egyensúlyi egyenletet összevonva:

$$(\mathbf{K}_{f,red} + \mathbf{K}_{a,red})\mathbf{u}_c = -\,(\mathbf{K}^*_{12,f}\mathbf{K}^{-1}_{11,f}\mathbf{q}_{1,f} + \mathbf{K}^*_{12,a}\mathbf{K}^{-1}_{11,a}\mathbf{q}_{1,a}) \,,$$

innen a csatlakozási pontok, vagyis a támaszok elmozdulása megállapítható, majd $\mathbf{q}_c$, $\mathbf{u}_{1,f}$ és $\mathbf{u}_{1,a}$ meghatározása is lehetséges.

$$\mathbf{q}_c = -\mathbf{K}_{f,red}\,\mathbf{u}_c - \mathbf{K}^*_{12,f}\,\mathbf{K}^{-1}_{11,f}\,\mathbf{q}_{1,f}$$

$$\mathbf{u}_{1,f} = \mathbf{K}^{-1}_{11,f}(\mathbf{q}_{1,f} - \mathbf{K}_{12,f}\,\mathbf{u}_c)$$

$$\mathbf{u}_{1,a} = \mathbf{K}^{-1}_{11,a}(\mathbf{q}_{1,a} - \mathbf{K}_{12,a}\,\mathbf{u}_c) \,.$$

Ez az algoritmus olyan alépítmények esetében is használható, amelyek a felszerkezettől függetlenül is terhelhetők (pl. fogadószintek).

Ha az alépítmény csakis a csatlakozási pontokon kap terhelést (pl. gerendarács-alap), akkor $\mathbf{u}_{1,a}$ és $\mathbf{q}_{1,a}$ nem esedékes. Az egyensúlyi egyenlet

$$\mathbf{K}_{alép}\,\mathbf{u}_c = -\mathbf{q}_c \,,$$

azaz

$$\mathbf{K}_{a,red} = \mathbf{K}_{alép}$$

és az algoritmus jóval egyszerűbb. Ha a gerendarácsot a felépítmény egy részeként értelmezzük, az alépítmény maga a rugalmas féltér, amelynek hajlékonysági mátrixa ismeretes

$$\mathbf{K}_{alép} = \mathbf{F}^{-1}_{t} \,.$$

b) Kézenfekvő eljárás az *iteráció*, amely többféle statikai számítási módszeren is alapulhat. Mivel a felszerkezetet leginkább *elmozdulásmódszerrel* vizsgálják, az ennek megfelelő lehetőséget tárgyaljuk.

Tegyük fel, hogy a felszerkezeten az elmozdulásmódszer szerint megint

$$\mathbf{K}_{11,f}\,\mathbf{u}_{1,f} + \mathbf{K}_{12,f}\,\mathbf{u}_c = \mathbf{q}_{1,f}$$

és

$$\mathbf{K}^*_{12,f}\,\mathbf{u}_{1,f} + \mathbf{K}_{22,f}\,\mathbf{u}_c = \mathbf{q}_c \,.$$

Mármost, ha a szerkezeten teher lép fel, de az alap *merev*, akkor

$$\mathbf{u}_c = 0$$

$$\mathbf{u}_{1,f} = \mathbf{K}^{-1}_{11,f}\,\mathbf{q}_{1,f} \quad \text{és} \quad \mathbf{q}_c = \mathbf{K}^*_{12,f}\,\mathbf{u}_{1,f} \,.$$

Vagyis az elmozdulásokat, majd ezekből a reakciókat a szokásos eszközökkel meg lehet állapítani.

Ha viszont nincs teher, de a támaszok engedékenyek, és az elmozdulásuk ismert, akkor

$$\mathbf{q}_{1,f} = 0$$

$$\mathbf{u}_{1,f} = -\mathbf{K}_{11,f}^{-1}\,\mathbf{K}_{12,f}\,\mathbf{u}_c \quad \text{és} \quad \mathbf{q}_c = \mathbf{K}_{12,f}^{*}\,\mathbf{u}_{1,f} + \mathbf{K}_{22,f}\,\mathbf{u}_c\,.$$

Továbbá ha $\mathbf{q}_c$ adott, akkor a csatlakozási pontjain terhelhető alépítmény

$$\mathbf{F}_{alép} = \mathbf{K}_{alép}^{-1}$$

hajlékonysági mátrixa segítségével $\mathbf{u}_c$ kiszámítható:

$$\mathbf{u}_c = \mathbf{F}_{alép}\,\mathbf{q}_c\,.$$

Ezek szerint a következő a teendő.

Feltételezve, hogy az alap merev, kiszámítjuk a teherből származó hatásokat, főleg a támaszerőket. Ezekből megállapítjuk a támaszponti elmozdulásokat az alépítményekben. A támaszponti elmozdulásokból meghatározzuk a támaszerőket a felépítményen.

Innentől kezdve a procedúra újra meg újra addig ismételhető, amíg azt a műszaki és numerikus szempontok kívánják. Képletszerűen:

0°

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{u}_{1,f,0} &= \mathbf{K}_{11,f}^{-1}\,\mathbf{q}_{1,f}\\ \mathbf{q}_{c,0} &= \mathbf{K}_{12,f}^{*}\,\mathbf{u}_{1,f,0}\end{aligned}\right\}$$ teher hatása a fix alátámasztású kereten

1°

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{u}_{c,1} &= -\mathbf{F}_{alép}\,\mathbf{q}_{c,0}\\ \mathbf{u}_{1,f,1} &= -\mathbf{K}_{11,f}^{-1}\,\mathbf{K}_{12,f}\,\mathbf{u}_{c,1}\\ \mathbf{q}_{c,1} &= \mathbf{K}_{12,f}^{*}\,\mathbf{u}_{1,f,1} + \mathbf{K}_{22,f}\,\mathbf{u}_{c,1}\end{aligned}\right\}$$ első módosítás a támaszok elmozdulása miatt

$$\vdots$$

i^o

$$\left.\begin{aligned}\mathbf{u}_{c,i} &= -\mathbf{F}_{alép}\,\mathbf{q}_{c,i-1}\\ \mathbf{u}_{1,f,i} &= -\mathbf{K}_{11,f}^{-1}\,\mathbf{K}_{12,f}\,\mathbf{u}_{c,i}\\ \mathbf{q}_{c,i} &= \mathbf{K}_{12,f}^{*}\,\mathbf{u}_{1,f,i} + \mathbf{K}_{22,f}\,\mathbf{u}_{c,i}\end{aligned}\right\}$$ i-edik módosítás a támaszok elmozdulása miatt

$$\vdots$$

végül is

$$\begin{aligned}\mathbf{u}_{1,f} &= \mathbf{u}_{1,f,0} + \mathbf{u}_{1,f,n}\\ \mathbf{u}_c &= \mathbf{u}_{c,n}\\ \mathbf{q}_c &= \mathbf{q}_{\cdot,0} + \mathbf{q}_{c,n}\end{aligned}$$

itt n az iterációt befejező lépés ciklusszáma.

Összefoglalás

A dolgozat áttekinti a süllyedő alátámasztású magasépítmények számításának alapjául szolgálható részproblémák irodalmát, majd modelleket ad a rugalmas féltéren nyugvó magasépítmények statikai számításához. Az egyik modell a széles oszlopokból és merev végű gerendákból álló térbeli keretszerkezet, a másik a merev tárcsákkal kitöltött térbeli keretszerkezet. Algoritmusokat közlünk a merev végű gerendák számítására, a merev, illetve a rugalmas tárcsákkal kitöltött keretváz számítására, továbbá a szerkezeti komplexumnak mint részszerkezetek együttesének vizsgálatára. Bemutatjuk egy eltolódási hatástényező képletének levezetését a rugalmas féltér Boussinesq-elmélete alapján, de véges nagyságú felületen megoszló teher esetében, és közöljük azt a hajlékonysági mátrixot, amely a talaj térszíni pontrendszerére ható erőket e pontok térbeli eltolódásaiba transzformálja.

IRODALOMJEGYZÉK

[1] *Cheung, Y. K.—Nag, D. K.:* Plates and Beams on elastic foundations — linear and non-linear behaviour. Geotechnique 1968. 18.

[2] *Clough, R.—King, I. P.—Wilson, E. L.:* Structural Analysis of Multistorey Buildings, Journal of Structural Division ASCE Vol. 9. ST 3. Proc. Paper 3925 June 1964.

[3] *Deninger, A.:* Ein Verfahren zur Berechnung biegsamer und durch Wandscheiben ausgesteifter rechteckiger Gründungsplatten. Dissertation Karlsruhe 1964.

[4] *Despeyroux, J.:* Analyse statique et dynamique des contreventements par consoles élémentaires solidarisées par des milieux élastiques. Association Internationale des Ponts et Charpentes. Mémoires 29—I. 1969.

[5] *Fekete S.:* Rugalmas és süllyedő ágyazású szerkezetek számítása. NIM IÜSZI. Budapest, 1967.

[6] *Goschy, B.:* Stability of spatial systems. Acta Technica, Tom. 70 (3—4) 1971.

[7] *Hetényi, M.:* Beams on elastic foundation. Oxford University Press 1955.

[8] *Holló J.—Kisfaludy A.:* Relatív süllyedésekre érzékeny épületek sík alapozása. Magyar Építőipar, 1972. 9—10. sz. Budapest.

[9] *Kaliszky, S.:* Structural analysis of buildings with vertical, thin walled load carrying elements, affected by horizontal forces. Acta Technica Hung. 51 (1965)

[10] *Kany, M.:* Berechnung von Flächengründungen. Berlin, Verlag von Wilhelm Ernst und Sohn, 1959.

[11] *Kézdi Á.:* Talajmechanika II. Budapest, Tankönyvkiadó 1970.

[12] *Livesley, R. K.:* Matrix Methods of Structural Analysis. London, Pergamon Press 1964.

[13] *MacLeod, I. A.:* Lateral stiffness of shear walls with openings. Symposium on Tall Buildings. University of Southampton 1966. Apr. 13—15.

[14] *Meek, J. L.:* Matrix structural analysis. New York, McGraw Hill 1971.

[15] *Ohde, J.:* Zur Theorie der Druckverteilung im Baugrund. Der Bauingenieur, 1939 H. 33/34.

[16] *Ohde, J.:* Berechnung der Sohldruckverteilung unter Gründungskörpern. Bauingenieur 1942.

[17] *Przemieniecki, J. S.:* Theory of matrix structural analysis. New York, McGraw Hill, 1968.

[18] *Rosman, R.:* Statik und Dynamik der Scheibensysteme des Hochbaues. Berlin, Springer Verlag, 1968.

[19] *Schleicher, F.:* Zur Theorie des Baugrundes. Bauingenieur 1926. 7.

[20] *Szabó J.—Roller B.:* Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Budapest, Műszaki Könyvkiadó 1971.

[21] *Széchy K.—Varga L.:* Alapozás. Budapest, Műszaki Könyvkiadó 1971.

[22] *Szmodits K.:* ÉTI 1058 és KGST 5.3.10. sz. téma közbenső jelentése. Építéstudományi Intézet, Budapest 1972.

[23] *Zienkiewicz, O.C.:* The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics London, McGraw Hill 1967.

[24] *Zienkiewicz, O. C.—Cheung, Y. K.:* Plates and tanks on elastic foundations — an application of the finite element method. Int. Journal for Solids and Structures 1965. 1.

[25] Panelos épületek tervezése és kivitelezése I. rész. Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium, Műszaki Előírás. Budapest, 1973.

[26] Zusammenwirkung von einzelnen Fertigteilen als grossflächige Scheibe. Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 224. Berlin, Verlag von W. Ernst und Sohn, 1973.

DR. PÁCZELT ISTVÁN

RUGALMAS ÉRINTKEZÉSI FELADATOK TÁRGYALÁSA A TESTEK HATÁSFÜGGVÉNYÉNEK, REZGÉSKÉPÉNEK ISMERETÉBEN

Bevezetés

A szerző előző munkája [2] — a testek közötti egyoldalú kapcsolatot feltételezve — az érintkezési feladat megoldását a potenciális energia minimuma elvre, illetve a kiegészítő munka minimuma elvre alapozza, s átalakítások révén azt matematikai kvadratikus programozási feladatként tárgyalja. A jelen cikkben feltételezzük, hogy ismeretesek a testek (t=1,2) felületi pontjaihoz tartozó $K^{(t)}$ $(x^{(t)}, s^{(t)})$ hatásfüggvények; azaz az $s^{(t)}$ koordinátájú pontban az $\mathbf{n}^{(t)}$ *kitüntetett* irányában működő egységnyi erő hatására az $x^{(t)}$ koordinátájú pontban bekövetkező $\mathbf{n}^{(t)}$ felületi normális irányú elmozdulás értéke. Ez lehetővé teszi, hogy egyrészt az érintkezés-elválást kifejező geometriai egyenlet-egyenlőtlenséget integrálegyenlet-egyenlőtlenség alakjában tárgyaljuk, másrészt a rendszer potenciális energiáját (kiegészítő munkáját) könnyen meghatározzuk.

A hatásfüggvények felépítésénél vagy vékonyfalú szerkezetek esetén rezgésképek előállításánál a testek egymásra való hatását természetesen nem vesszük figyelembe.

Az Ω tartományban a testek pontjainak megfeleltetésével [2], az egyszerűbb jelölés miatt csak x és s koordinátákat fogjuk használni.

Feltételezzük, hogy a párbaállított pontokhoz tartozó normálisok közötti szög igen kicsiny,[1] azaz $\mathbf{n}^{(1)} \cdot \mathbf{n}^{(2)} \sim 1$, továbbá elmozdulások, alakváltozások kicsinyek. A testek közötti súrlódást, tapadást elhanyagoljuk, a testek között kialakuló érintkezési feszültség csak a testbe mutató lehet.

Bevezetve továbbá a testekre működő ismert terhelésből származó $\mathbf{n}^{(1)}$ irányú $f^{(1)}(x)$, $\mathbf{n}^{(2)}$ irányú $f^{(2)}(x)$ elmozdulásokat, a $p^{(t)}(s)$ (t=1,2) kontakterőket a normális irányú elmozdulások

$$w^{(1)}(x) = -\int_{(\Omega)} K^{(1)}(x, s)\, p^{(1)}(s)\, ds + f^{(1)}(x) + d(x)\Big|_1 \tag{1-a}$$

$$w^{(2)}(x) = \int_{(\Omega)} K^{(2)}(x, s)\, p^{(2)}(s)\, ds + f^{(2)}(x) \tag{1-b}$$

összefüggésekkel számolhatók, ahol $d(x)$ — az 1-es testnek mint merevnek a merevtestszerű elmozdulásából származó $\mathbf{n}^{(1)}$ normál irányú elmozdulása.

[1] Ez a feltételezés olyan szerkezeteknél (pl. közel azonos görbületű tartók, héjak, lemezek) előnyös, ahol a hatásfüggvények az illető test normálisának irányában (mind a ható egységnyi erők, mind az elmozdulásra vonatkozóan) lettek értelmezve, felépítvel. (Ilyen feladatnak tekinthető az 1. ábrán vázolt síkbeli tartók érintkezési feladata is.)

Nyilvánvaló a kontakterőkre áll a

$$p(s) = p^{(1)}(s) = p^{(2)}(s) \tag{2}$$

egyenlőség. Terheletlen állapotban a testek közötti hézagot jelölje $h(x)$.

Ekkor felhasználva, hogy ha

$$w^{(2)}(x) - w^{(1)}(x) - d(x) + h(x) = y(x) > 0, \tag{3-a}$$

akkor $p(x) = 0$, azaz elválás (rés) vagy ha

$$w^{(2)}(x) - w^{(1)}(x) - d(x) + h(x) = y(x) = 0, \tag{3-b}$$

akkor $p(x) \geq 0$, azaz érintkezés következett be. Így írhatjuk, hogy az *érintkezés-elválás* feltételei, ha

$$\int_{(\Omega)} K^{(2)}(x, s)\, p(s)\, ds + \int_{(\Omega)} K^{(1)}(x, s)\, p(s)\, ds - d(x) - f(x) + h(x) > 0,$$

akkor $p(x) = 0$, $x \in \Omega_0$; (4)

$$\text{ha} \int_{(\Omega)} K^{(2)}(x, s)\, p(s)\, ds + \int_{(\Omega)} K^{(1)}(x, s)\, p(s)\, ds - d(x) - f(x) + h(x) = 0,$$

akkor $p(x) \geq 0$, $x \in \Omega_p$, (5)

ahol $$\Omega = \Omega_0 + \Omega_p,\ f(x) = f^{(1)}(x) - f^{(2)}(x)\,. \tag{6}$$

Amennyiben a testek közötti relatív merevtestszerű mozgás nem jöhet létre, úgy $d(x) = 0$, és az érintkezési feladatot olyan elsőfajú *Fredholm*-féle integrálegyenlet-egyenlőtlenség megoldásához vezettük vissza, ahol előre nem ismeretesek az Ω_0 és Ω_p tartományok.

1. *A (4)—(6) integrálegyenlet-egyenlőtlenség megoldása $d(x) = 0$ esetén, ha az érintkezési erőt a rugalmas testekre vonatkozó sajátfüggvények szerinti sorbafejtéssel közelítjük.*

1.1. A pontos megoldás feltétele

Gyakorta vékonyfalú héjak, lemezek vagy tartók esetén az érintkező testek $\lambda_n^{(t)}$ *sajátfrekvenciái*, illetve a hozzájuk tartozó $\varphi_n^{(t)}$ *sajátfüggvényei* ismeretesek. Ebben az esetben lehetőség kínálkozik az alábbi megoldás felépítésére.

A testek között kialakuló *érintkezési erőt*

$$p^{(1)}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(1)}\, \varphi_n^{(1)}(x) \geq 0, \tag{7-a}$$

$$p^{(2)}(x) = \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(2)}\, \varphi_n^{(2)}(x) \geq 0 \tag{7-b}$$

sorbafejtéssel közelítjük.

Ily módon a (4), (5) kifejezéseket az

$$\int_{(\Omega)} K^{(2)}(x, s) \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(2)} \varphi_n^{(2)}(s)\, ds + \int_{(\Omega)} K^{(1)}(x, s) \sum_{b=1}^{\infty} \beta_n^{(1)} \varphi_n^{(1)}(s)\, ds - f(x) + h(x) > 0,$$

$$p(x) = 0, \quad x \in \Omega_0\,; \tag{8}$$

$$\int_{(\Omega)} K^{(2)}(x, s) \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(2)} \varphi_n^{(2)}(s)\, ds + \int_{(\Omega)} K^{(1)}(x, s) \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(1)} \varphi_n^{(1)}(s)\, ds - f(x) + h(x) = 0\,,$$

$$p(x) \geq 0, \quad x \in \Omega_p \tag{9}$$

$2 \times \infty$ ismeretlent tartalmazó algebrai egyenlet-egyenlőtlenségre írhatjuk át.

Mivel $\varphi_n^{(t)}(x)$ a

$$\varphi_n^{(t)} - (\lambda_n^{(t)})^2 K^{(t)} \varphi_n^{(t)} = 0 \qquad t = 1, 2 \tag{10}$$

integrálegyenlet megoldása, ahol

$$K^{(t)} \varphi_n^{(t)} = \int_{(B_t)} K^{(t)}(x, s)\, \varphi_n^{(t)}(s)\, ds$$

operátort jelöli ki, (B_t) — a t jelű test értelmezési tartománya, úgy a (8), (9) egyenlőtlenség-egyenlőségi rendszer helyett a következőt írhatjuk:

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(2)} \frac{\varphi_n^{(2)}(x)}{(\lambda_n^{(2)})^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(1)} \frac{\varphi_n^{(1)}(x)}{(\lambda_n^{(1)})^2} - f(x) + h(x) > 0,$$

$$p(x) = 0, \qquad x \in \Omega_0 \tag{11}$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(2)} \frac{\varphi_n^{(2)}(x)}{(\lambda_n^{(2)})^2} + \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(1)} \frac{\varphi_n^{(1)}(x)}{(\lambda_n^{(1)})^2} - f(x) + h(x) = 0,$$

$$p(x) \geq 0, \quad x \in \Omega_p, \quad \Omega = \Omega_0 + \Omega_p\,. \tag{12}$$

A későbbiek kedvéért, egyrészt tételezzük fel, hogy a $\varphi_n^{(t)}(x)$ $n = 1, 2, \ldots$ sajátfüggvények *ortonormált* rendszert alkotnak, azaz

$$\int_{(B_t)} \varphi_n^{(t)}(x)\, \varphi_m^{(t)}(x)\, dx = \begin{cases} 0 \text{ ha } m \neq n \\ 1 \text{ ha } m = n, \; t = 1, 2, \end{cases} \tag{13}$$

másrészt abból a célból, hogy a (11) egyenlőtlenség helyett egyenlőséget kapjunk, vonjunk le az egyenlőtlenség bal oldalából megfelelően megválasztott $y(x) > 0$ mennyiséget. Mivel az

$$x \in \Omega_0 \text{ tartományban } p(x) = 0,\; y(x) > 0,$$

és az

$$x \in \Omega_p \text{ tartományban } p(x) \geq 0,\; y(x) = 0,$$

úgy a szóba jöhető érintkezési Ω tartomány minden pontjában áll az

$$y(x)\, p(x) = y(x)\, p^{(t)}(x) = 0 \qquad t = 1, 2 \tag{14}$$

egyenlőség.

A (14) feltételt a (7) alatti sorbafejtés felhasználásával felírhatjuk a

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(t)} \varphi_n^{(t)}(x)\, y(x) = 0, \qquad t = 1, 2$$

alakban is. Az Ω tartományban elvégezve az integrálást, kapjuk, hogy

$$\sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(t)} \int_{(\Omega)} \varphi_n^{(t)}(x)\, y(x)\, dx = 0, \qquad t = 1, 2$$

vagy

$$\vartheta_{\infty}^{(t)*} = \left[\int_{(\Omega)} \varphi_1^{(t)}(x)\, y(x)\, dx, \int_{(\Omega)} \varphi_2^{(t)}(x)\, y(x)\, dx, \ldots \right], \quad t = 1, 2 \tag{15}$$

$$\beta_{\infty}^{(t)*} = [\beta_1^{(t)*}, \beta_2^{(t)*}, \ldots] \tag{16}$$

vektorok bevezetésével (* a transzponálás jele)

$$\vartheta_{\infty}^{(t)*}\, \beta_{\infty}^{(t)} = 0 \tag{17}$$

kifejezést. Tehát a (11), (12) egyenlet-egyenlőtlenségi rendszer pontos megoldásánál állnia kell a (17) összefüggésnek.

1.2 A rendszer potenciális energiája és kiegészítő munkája

A rugalmas rendszerünk potenciális energiája az azt alkotó testek potenciális energiája összegeként áll elő. Ezek előállítására vegyük az 1. ábrán vázolt rugalmas rendszert; a kapott eredményt általánosítani lehet bármilyen felépítésű rugalmas rendszerre is.

A potenciális energia

$$\pi = \pi^{(1)} + \pi^{(2)} = U^{(1)} - W_p^{(1)} + U^{(2)} - W_p^{(2)}, \tag{18-a}$$

a kiegészítő energia

$$K = K^{(1)} + K^{(2)} = U^{(1)} - W_u^{(1)} + U^{(2)} - W_u^{(2)}, \tag{18-b}$$

ahol $U^{(t)}$ — a t jelű test rugalmas alakváltozási vagy feszültségi energiája,
$W_p^{(t)}$ = a t jelű test $A_p^{(t)}$ felületén működő külső erők munkája,
$W_u^{(t)}$ — a t jelű testnél az $A_u^{(t)}$ felületen ébredő erők munkája,

továbbá

$$\pi = -K \tag{18-c}$$

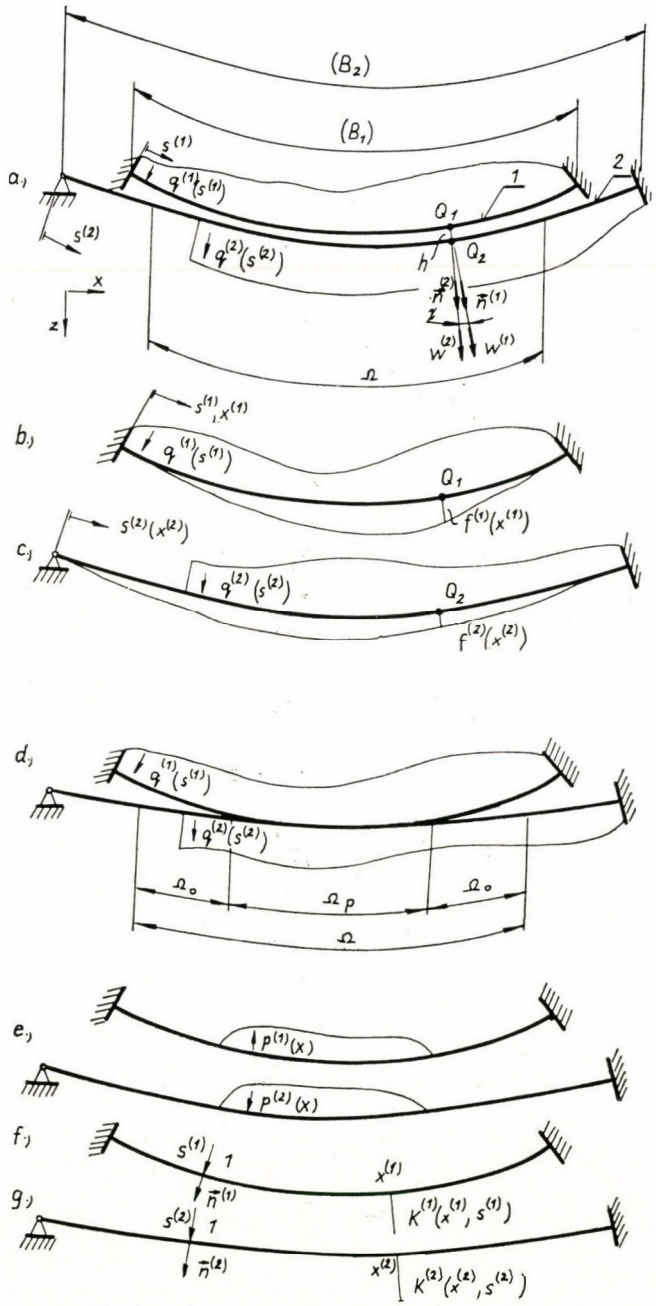
a pontos megoldás esetén [3].

Jelen esetben

$$\pi^{(t)} = \frac{1}{2} \int_{(B_t)} \int_{(B_t)} K^{(t)}(x, s) \left(q^{(t)}(x) \mp p(x)\right) \cdot \left(q^{(t)}(s) \mp p(s)\right) dx\, ds -$$

$$- \int_{(B_t)} \left[\left(q^{(t)}(s) \mp p(s)\right) \int_{(B_t)} K^{(t)}(x, s) \left(q^{(t)}(x) \mp p(x)\right) dx \right] ds, \qquad t = 1, 2$$

ahol a $q^{(t)}(x)$ és $p(x)$ között álló „$-$” műveleti jel az 1-es, a „$+$” műveleti jel a 2-es testhez tartozik; ez az *1. f—g ábrákon* értelmezett $K^{(t)}(x, s)$ hatásfüggvény értelmezéséből adódik.



1. ábra *a)* A megoldandó feladat; az Ω szóbajöhető érintkezési tartományban a párbaállított pontok Q_1 és Q_2: a Q_1-pontbeli $\vec{n}^{(1)}$ normális metszi ki a 2-es testből a Q_2 pontot. *b)* A független 1-es jelű testnél kialakuló $f^{(1)}(x)\,\vec{n}^{(1)}$ normális irányú elmozdulás. *c)* A független 2-es testnél kialakuló $f^{(2)}(x)$ $-\vec{n}^{2}$ normális irányú elmozdulás. *d)* Deformálódott helyzet. *e)* A szerkezeti elemek között kialakuló kontakt feszültség $p^{(1)}(x)$, $p^{(2)}(x)$. *f—g)* A magfüggvények fizikai jelentése: a szerkezeti elemek hatásfüggvényei

Elvégezve a kijelölt műveleteket, majd figyelembe véve, hogy egyrészt

$$\int_{(B_t)} \left[\int_{(B_t)} q^{(t)}(s)\, K^{(t)}(x, s)\, ds \right] p(x)\, dx = \int_{(\Omega)} f^{(t)}(x)\, p(x)\, dx,$$

mivel $p(x) = 0$, ha $x \notin \Omega$;

másrészt elhanyagolva a továbbiakban szükségtelen

$$C_t = -\frac{1}{2} \int_{(B_t)} \int_{(B_t)} q^{(t)}(x)\, K^{(t)}(x, s)\, q^{(t)}(s)\, dx\, ds = \text{áll}$$

mennyiséget, a potenciális energia értéke

$$\pi = -\frac{1}{2} \sum_{t=1}^{2} \int_{(B_t)} \int_{(B_t)} p(x)\, K^{(t)}(x, s)\, p(s)\, dx\, ds +$$

$$+ \int_{(\Omega)} [\, f^{(1)}(x) - f^{(2)}(x)] p(x) = -K. \tag{19}$$

A (7) sorbafejtés, továbbá a (10), (13) összefüggések figyelembevételével:

$$\pi = -\frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[(\beta_n^{(1)})^2 \frac{1}{(\lambda_n^{(1)})^2} + (\beta_n^{(2)})^2 \frac{1}{(\lambda_n^{(2)})^2} \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n^{(1)} \int_{(\Omega)} \varphi_n^{(1)}(x)\, f^{(1)}(x)\, dx -$$

$$- \sum_{n=1}^{\infty} \int_{(\Omega)} \beta_n^{(2)}\, \varphi_n^{(2)}(x)\, f^{(2)}(x)\, dx = -K: \tag{20}$$

Bevezetve az $\mathbf{S}_{\infty}^{(t)}$ sajátértékek négyzetének reciprokját tartalmazó *diagonál* mátrixot

$$\mathbf{S}_{\infty}^{(t)} = < \frac{1}{(\lambda_1^{(t)})^2}, \frac{1}{(\lambda_2^{(t)})^2} \quad , \ldots > , \qquad t = 1, 2 \tag{21}$$

továbbá

$$\boldsymbol{\varphi}_{\infty}^{(t)*} = \left[\int_{(\Omega)} \varphi_1^{(t)}(x)\, f^{(t)}(x)\, dx, \int_{(\Omega)} \varphi_2^{(t)}(x)\, f^{(t)}(x)\, dx, \ldots \right] \quad t = 1, 2 \tag{22}$$

vektort, majd formálisan képezve

$$\boldsymbol{\beta}_{\infty} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\beta}_{\infty}^{(1)} \\ \boldsymbol{\beta}_{\infty}^{(2)} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{\varphi}_{\infty} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varphi}_{\infty}^{(1)} \\ \boldsymbol{\varphi}_{\infty}^{(2)} \end{bmatrix} \tag{23-a, b}$$

$(2\infty \times 1)$ méretű vektorokat, illetve az

$$\mathbf{S}_{\infty} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_{\infty}^{(1)} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{S}_{\infty}^{(2)} \end{bmatrix} \tag{24}$$

$2\infty \times 2\infty$ méretű hipermátrixot, rugalmas rendszerünk potenciális és kiegészítő energiája

$$\pi = -\frac{1}{2} \boldsymbol{\beta}_{\infty}^{*}\, \mathbf{S}_{\infty}\, \boldsymbol{\beta}_{\infty} + \boldsymbol{\beta}_{\infty}^{*}\, \boldsymbol{\varphi}_{\infty} = -K \tag{25}$$

alakban állítható elő.

1.3 Kollokációs módszer alkalmazása

A (11)—(12) egyenlet-egyenlőtlenségi rendszer megoldását a (7) és a (17) feltételek kielégítése mellett kell keresnünk; az ismeretlen $\beta_n^{(t)}$ $t = 1, 2$, $n = 1, 2, \ldots$ állandók száma kétszeresen végtelen. Közelítő megoldást választva, azt a kollokáció segítségével építjük fel:

a) a (7) szerinti sorbafejtés helyett

$$p^{(1)}(x) = \sum_{i=1}^{r} \beta_i^{(1)} \varphi_i^{(1)}(x) \geq 0,$$

$$p^{(2)}(x) = \sum_{m=1}^{e} \beta_m^{(2)} \varphi_m^{(2)}(x) \geq 0,$$

$$p^{(1)}(x) = p^{(2)}(x) \qquad (26\text{-a, b, c})$$

sorbafejtéssel élünk, azaz az ismeretlen állandók száma:

$$r + e = k. \qquad (27)$$

b) A (11)—(12) egyenlet-egyenlőtlenséget minimum k véges számú pontban ellenőrizzük le.

Ekkor

ha $$\sum_{n=1}^{e} \beta_n^{(2)} \frac{\varphi_n^{(2)}(x_i)}{(\lambda_n^{(2)})^2} + \sum_{n=1}^{r} \beta_n^{(1)} \frac{\varphi_n^{(1)}(x_i)}{(\lambda_n^{(1)})^2} - f(x_i) + h(x_i) = y_i > 0, \qquad (28)$$

akkor $p(x_i) = 0$, $x \in \Omega_0$;

ha $$\sum_{n=1}^{e} \beta_n^{(2)} \frac{\varphi_n^{(2)}(x_i)}{(\lambda_n^{(2)})^2} + \sum_{n=1}^{r} \beta_n^{(1)} \frac{\varphi_n^{(1)}(x_i)}{(\lambda_n^{(1)})^2} - f(x_i) + h(x_i) = y_i = 0, \qquad (29)$$

akkor $p(x_i) \geq 0$, $x_i \in \Omega_p$;

$$\Omega = \Omega_0 + \Omega_p, \; i = 1, 2, \ldots, k.$$

Bevezetve a

$$\underset{(kxk)}{\mathbf{\Phi}} = [\, \underset{(kxr)}{\mathbf{\Phi}^{(1)}} \mid \underset{(kxe)}{\mathbf{\Phi}^{(2)}} \,] \qquad (30)$$

mátrixot, ahol

$$\mathbf{\Phi}^{(t)} = \begin{bmatrix} \varphi_1^{(t)}(x_1) & \varphi_2^{(t)}(x_1) & \ldots & \varphi_v^{(t)}(x_1) \\ \varphi_1^{(t)}(x_2) & \varphi_2^{(t)}(x_2) & \ldots & \varphi_v^{(t)}(x_2) \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \cdot & & & \\ \varphi_1^{(t)}(x_k) & \varphi_2^{(t)}(x_k) & \ldots & \varphi_v^{(t)}(x_k) \end{bmatrix} \qquad (31)$$

amikor is $t = 1$-nél $v = r$, $t = 2$-nél $v = e$, továbbá az

$$\underset{(1xk)}{\mathbf{f}^*} = [f^{(1)}(x_1) - f^{(2)}(x_1), f^{(1)}(x_2) - f^{(2)}(x_2), \ldots, f^{(1)}(x_k) - f^{(2)}(x_k)] \qquad (32)$$

ismert terhelésből származó elmozdulások, a

$$\underset{(1xk)}{\mathbf{h}^*} = [h(x_1), h(x_2), \ldots, h(x_k)] \qquad (33)$$

kezdeti rés vektorát, majd az előbbiekből képzett

$$\mathbf{t} = \mathbf{f} - \mathbf{h} \tag{34}$$

különbségvektort, továbbá a (21) és (24) alapján képzett

$$\underset{(kxk)}{\mathbf{S}} = \begin{bmatrix} \underset{(rxr)}{\mathbf{S}^{(1)}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \underset{(exe)}{\mathbf{S}^{(2)}} \end{bmatrix} \tag{35}$$

sajátértékek reciprokjának négyzetét tartalmazó diagonálmátrixot, illetve a (16), (22) és a (23-a, b) alapján összeállított

$$\boldsymbol{\beta} = \begin{bmatrix} \underset{(rx1)}{\boldsymbol{\beta}^{(1)}} \\ \underset{(ex1)}{\boldsymbol{\beta}^{(2)}} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{\varphi} = \begin{bmatrix} \underset{(rx1)}{\boldsymbol{\varphi}^{(1)}} \\ \underset{(ex1)}{-\boldsymbol{\varphi}^{(2)}} \end{bmatrix} \tag{36-a, b}$$

vektorokat, *az elválás és érintkezés geometriai feltételeit* megszabó (28), (29) ki fejezések helyett tömörebb formában

$$\boldsymbol{\Phi}^{(1)}\, \mathbf{S}^{(1)}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)} + \boldsymbol{\Phi}^{(2)}\, \mathbf{S}^{(2)}\, \boldsymbol{\beta}^{(2)} - \mathbf{t} \geq \mathbf{0},$$

vagy a (30), (31), a (35) és a (36-a) figyelembevételével a

$$\boldsymbol{\Phi}\ \mathbf{S}\, \boldsymbol{\beta} - \mathbf{t} \geq \mathbf{0} \tag{37}$$

mátrixegyenlet-egyenlőtlenség, illetve

$$\underset{(1xk)}{\mathbf{y}^{(0)*}} = [y_1, \ldots, y_k] \geq \mathbf{0} \tag{38}$$

vektor bevezetésével a

$$\boldsymbol{\Phi}\ \mathbf{S}\, \boldsymbol{\beta} - \mathbf{t} - \mathbf{y}^{(0)} = \mathbf{0} \tag{39}$$

mátrix egyenlet írható.

c) A (11)—(12) integrálegyenlet-egyenlőtlenséget közvetett úton a kvadratikus programozás felhasználásával oldjuk meg. A [2]-ben bizonyított, hogy a következő funkcionál diszkretizálásával nyerhető programozási feladat a kérdéses érintkezési feladat megoldását szolgáltatja[2]

$$L = K + \underline{\begin{cases} \int\limits_{(\dot{\Omega})} p^{(1)} h\, dx \\ \int\limits_{(\dot{\Omega})} p^{(2)} h\, dx \end{cases}} + \int\limits_{(\dot{\Omega})} (p^{(1)} - p^{(2)})(u_1 - u_2)\, dx -$$

$$- \begin{cases} \int\limits_{(\dot{\Omega})} u_3\, p^{(1)}\, dx\,, & \text{(40-a)} \\ \int\limits_{(\dot{\Omega})} u_3\, p^{(2)}\, dx & \text{(40-b)} \end{cases}$$

[2] [2]-ben bevezetett L_8 funkcionálban szereplő normális irányú felületi feszültségeket

$$p^{(1)} = -n_r^{(1)}\, \sigma^{(1)rs}\, n_s^{(1)}\,, \quad p^{(2)} = n_r^{(1)}\, \sigma^{(2)rs}\, n_s^{(1)}\,,$$

illetve az elemi dA felületet itt dx-szel jelöltük.

ahol $K = K^{(1)} + K^{(2)}$; $K^{(t)}$, $t = 1, 2$ a t jelű test kiegészítő munkája, $u_i \geq 0$, $i = 1, 2, 3$ elmozdulás dimenziójú mennyiségek, továbbá bizonyított, hogy u_3-nak a (14)-ben szereplő $y \geq 0$ elmozdulás felel meg. Látható, hogy a kapott funkcionálban a (14) és a (2) vagy (26-c) mellékfeltételekből származó Ω tartomány feletti integrálok szerepelnek, továbbá a feladat megoldása esetén a funkcionál értéke az aláhúzott tagokkal egyenlő. Tehát minimalizáljuk a kezdeti hézag (vagy túlfedés) jelenlétéből adódó integrállal módosított kiegészítő munkát az előbb említett mellékfeltételek mellett.

A további számítást a (40-a) alatti funkcionálra építjük fel. E célból, egyrészt meghatározzuk a rendszer kiegészítő munkáját, másrészt a mellékfeltételekből adódó integrálokat közelítőleg számítjuk ki.

Így a kiegészítő munka (25), (35) és (36-a, b) figyelembevételével

$$K = -\pi = \frac{1}{2}\boldsymbol{\beta}^* \mathbf{S}\boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}^*\boldsymbol{\varphi}\,, \tag{41}$$

ahol $\mathbf{S}$ pozitív definit mátrix ($\boldsymbol{\beta}^*\mathbf{S}\boldsymbol{\beta} > 0$, ha $\boldsymbol{\beta} \neq \mathbf{0}$), azaz a $\mathbf{K}$ a $\boldsymbol{\beta}$ paraméternek szigorúan kvázikonvex négyzetes függvénye, továbbá a (40-a) alatt feltüntetett integrálok helyett az alábbiak írhatók:

$$\int_{(\Omega)} p^{(1)}\, h\, dx \cong \sum_{n=1}^{r} \beta_n^{(1)} \int_{(\Omega)} \varphi_n^{(1)}(x)\, h(x)\, dx = \boldsymbol{\chi}^{(1)*}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)} = \boldsymbol{\chi}^*\, \boldsymbol{\beta}, \tag{42-a}$$

ahol

$$\boldsymbol{\chi}^{(1)*} = \left[\int_{(\Omega)} \varphi_1^{(1)}(x)\, h(x)\, dx, \ldots, \int_{(\Omega)} \varphi_r^{(1)}(x)\, h(x)\, dx \right], \tag{42-b}$$

$$\boldsymbol{\chi}^* = [\boldsymbol{\chi}^{(1)*},\ \mathbf{0}],$$

$$-\int_{(\Omega)} u_3\, p^{(1)}\, dx \cong -\sum_{n=1}^{r} \beta_n^{(1)} \int_{(\Omega)} u_3(x)\, \varphi_n^{(1)}(x)\, dx \cong -$$

$$-\sum_{n=1}^{r}\sum_{i=1}^{k} \beta_n^{(1)} [u_3(x_i)\, \Delta x_i] \varphi_n^{(1)}(x_i) = -\sum_{n=1}^{r}\sum_{i=1}^{k} \beta_n^{(1)}\, U_i(x_i)\, \varphi_n^{(1)}(x_i) = -\mathbf{u}_3^*\, \boldsymbol{\Phi}^{(1)}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)} \tag{43-a}$$

és végezetül hasonlóan az előbbiekhez

$$\int_{(\Omega)} (p^{(1)} - p^{(2)})\, (u_1 - u_2)\, dx \cong \int_{(\Omega)} [u_1(x) - u_2(x)] \left\{ \sum_{n=1}^{r} \beta_n^{(1)}\, \varphi_n^{(1)}(x) - \right.$$

$$\left. - \sum_{m=1}^{e} \beta_m^{(2)} \varphi_m^{(2)}(x) \right\} dx \cong \mathbf{u}_1^*\, [\boldsymbol{\Phi}^{(1)}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)} - \boldsymbol{\Phi}^{(2)}\, \boldsymbol{\beta}^{(2)}] + \mathbf{u}_2^*\, [-\boldsymbol{\Phi}^{(1)}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)} + \boldsymbol{\Phi}^{(2)}\, \boldsymbol{\beta}^{(2)}]. \tag{43-b}$$

Itt Δx_i — az Ω tartomány x_i koordinátájú pont környezetének kis véges szakasza, $\mathbf{u}_1$, $\mathbf{u}_2$, $\mathbf{u}_3 \geq 0$ *Lagrange*-féle multiplikátor vektorok, a többi mennyiség már korábban értelmezett.

Bevezetve az

$$\underset{(3kxk)}{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{\Phi}^{(1)} & -\boldsymbol{\Phi}^{(2)} \\ -\boldsymbol{\Phi}^{(1)} & \boldsymbol{\Phi}^{(2)} \\ -\boldsymbol{\Phi}^{(1)} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \tag{44}$$

mátrixot, $\mathbf{u}^* = [\mathbf{u}_1^*, \mathbf{u}_2^*, \mathbf{u}_3^*]$ multiplikátor vektort a (43-a, b) kifejezések helyett

$$\underset{(1x3k)}{\mathbf{u}^*} \quad \underset{(3kxk)}{\mathbf{A}} \quad \underset{(kx1)}{\boldsymbol{\beta}} = 0 \tag{45}$$

is írható.

A (43-a, b) kifejezésekben az $\mathbf{u}_j$ multiplikátor mellett álló tagoknak igen egyszerű fizikai értelme van, nevezetesen a kontakt erőre vonatkozó (7-a) kifejezést az x_i $i = 1, \ldots, k$ pontokban felírva, a $\boldsymbol{\Phi}^{(1)}$ és $\boldsymbol{\beta}^{(1)}$ mátrix és vektor segítségével

$$\boldsymbol{\Phi}^{(1)} \boldsymbol{\beta}^{(1)} \geq \mathbf{0} \tag{46}$$

egyenlőtlenség adódik, míg a (26-c)-t ismét az x_i $i = 1, \ldots, k$ pontokban teljesítve,

$$\boldsymbol{\Phi}^{(1)} \boldsymbol{\beta}^{(1)} - \boldsymbol{\Phi}^{(2)} \boldsymbol{\beta}^{(2)} = \mathbf{0}$$

egyenlőséghez jutunk. A kapott k számú algebrai egyenletet helyettesíthetjük vele ekvivalens $2k$ számú algebrai egyenlőtlenségi rendszerrel:

$$\boldsymbol{\Phi}^{(1)} \boldsymbol{\beta}^{(1)} - \boldsymbol{\Phi}^{(2)} \boldsymbol{\beta}^{(2)} \leq \mathbf{0}, \tag{47-a}$$

$$-\boldsymbol{\Phi}^{(1)} \boldsymbol{\beta}^{(1)} + \boldsymbol{\Phi}^{(2)} \boldsymbol{\beta}^{(2)} \leq \mathbf{0}, \tag{47-b}$$

azaz a (43-a, b)-ben szereplő mellékfeltételek nem mások, mint a (7-a), illetve a (26-c) feltételek k véges számú pontban felírt összefüggései:

$$\mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0}. \tag{48}$$

Ezek után a következő kvadratikus programozási feladat fogalmazható meg:

$$\min \left\{ \frac{1}{2} \boldsymbol{\beta}^* \mathbf{S} \boldsymbol{\beta} - \boldsymbol{\beta}^* \boldsymbol{\varphi} + \boldsymbol{\beta}^* \boldsymbol{\chi} \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \right\} = \min \{ \tilde{K}(\boldsymbol{\beta}) \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \}. \tag{49}$$

Abban az esetben, amikor a kezdeti h hézag zérus, akkor (49) helyett

$$\min \{ K(\boldsymbol{\beta}) \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \}, \quad \max \{ \pi(\boldsymbol{\beta}) \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \}, \tag{50-a, b}$$

vagy annak figyelembevételével, hogy egy szigorúan kvázikonkáv (kvázikonvex) függvény maximuma (minimuma) egyenlő negatívjának minimumával maximumával)

$$\max \{ -K(\boldsymbol{\beta}) \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \}, \quad \min \{ -\pi(\boldsymbol{\beta}) \mid \mathbf{A} \boldsymbol{\beta} \leq \mathbf{0} \}, \tag{51-a, b}$$

azaz maximalizálandó a π potenciális energia vagy a K kiegészítő munka (mint célfüggvény), vagy minimalizálandó a π energia negatívja vagy a K kiegészítő munka a (48) mellékfeltétel mellett.

1.4 A kvadratikus programozási feladat visszavezetése szimplex módszerrel megoldható programozási feladatra

I. módszer

Első lépésként a (49)-ben szereplő $\boldsymbol{\beta}$ vektort $\boldsymbol{\beta}^+$ és $\boldsymbol{\beta}^-$ pozitív komponensű vektorok különbségével állítjuk elő, azaz

$$\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}^+ - \boldsymbol{\beta}^-, \qquad \text{ahol} \qquad \boldsymbol{\beta}^+ \geq \mathbf{0}, \ \boldsymbol{\beta}^- \geq \mathbf{0}. \tag{52}$$

Ily módon képezve

$$\tilde{\beta} = \begin{bmatrix} \beta^+ \\ \beta^- \end{bmatrix} \geq \mathbf{0} \tag{53}$$

ismeretlenek vektorát, a (49) helyett

$$\min \{\tilde{K}(\beta^+ - \beta^-) \,|\, \mathbf{A}(\beta^+ - \beta^-) \leq \mathbf{0},\ \beta^+ \geq \mathbf{0},\ \beta^- \geq \mathbf{0}\}, \tag{54-a}$$

vagy

$$\min \{\tilde{K}(\tilde{\beta}) \,|\, \tilde{\beta} \geq \mathbf{0},\ \tilde{\mathbf{A}}\tilde{\beta} \geq \mathbf{0}\} \tag{54-b}$$

feladat fogalmazható meg, ahol (49) és (53) alapján

$$\tilde{K}(\beta^+ - \beta^-) = \tilde{K}(\tilde{\beta}) = \frac{1}{2}\tilde{\beta}^* \begin{bmatrix} \mathbf{S} & -\mathbf{S} \\ -\mathbf{S} & \mathbf{S} \end{bmatrix} \tilde{\beta} -$$

$$- [\varphi^* | -\varphi^*]\tilde{\beta} + [\chi^* | -\chi^*]\tilde{\beta} = \frac{1}{2}\tilde{\beta}^* \tilde{\mathbf{S}}\tilde{\beta} - \tilde{\beta}^*(\tilde{\varphi} - \tilde{\chi}), \tag{55}$$

$\tilde{\beta}^* \tilde{\mathbf{S}} \tilde{\beta} > 0$, ha $\tilde{\beta} \neq 0$, azaz $\tilde{\mathbf{S}}$ pozitív definit mátrix, továbbá (48) helyett az (52)—(53) figyelembevételével az

$$\mathbf{A}\beta = [\mathbf{A} | -\mathbf{A}] \begin{bmatrix} \beta^+ \\ \beta^- \end{bmatrix} = \tilde{\mathbf{A}}\tilde{\beta} \leq \mathbf{0} \tag{56}$$

írható.

A következő lépésekben felhasználjuk a *Khun—Tucker*-féle helyi feltételeket (lásd Melléklet).

A feladathoz tartozó *Lagrange*-féle függvény

$$L = \frac{1}{2}\tilde{\beta}^* \tilde{\mathbf{S}} \tilde{\beta} - \tilde{\beta}^*[\tilde{\varphi} - \tilde{\chi}] + \mathbf{u}^* \tilde{\mathbf{A}} \tilde{\beta} \tag{57}$$

alapján az

$$\tilde{\mathbf{S}} = 2\,\mathbf{C}, \qquad \tilde{\beta} = \mathbf{x}, \qquad \tilde{\mathbf{A}} = \mathbf{A}, \qquad \tilde{\varphi} - \tilde{\chi} = \mathbf{c}$$

megfeleltetések mellett az (A.6-a, b), (A.7-a, b) feltételek szerint

$$\frac{\partial L}{\partial \tilde{\beta}} = \tilde{\mathbf{S}}\tilde{\beta} - \tilde{\varphi} + \tilde{\chi} + \tilde{\mathbf{A}}^* \mathbf{u} = \mathbf{v} \geq \mathbf{0} \quad \text{(A.6-a) szerint} \tag{58-a}$$

$$\beta^* \mathbf{v} = 0 \quad \text{(A.6-b) szerint} \tag{58-b}$$

$$-\frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}} = -\tilde{\mathbf{A}}\tilde{\beta} = \mathbf{y} \geq \mathbf{0} \quad \text{(A.7-a) szerint} \tag{58-c}$$

$$\mathbf{u}^* \mathbf{y} = 0\,. \quad \text{(A.7-b) szerint)} \tag{58-d}$$

Bevezetve a következő mátrixot és vektorokat

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{S}} & \tilde{\mathbf{A}}^* \\ -\tilde{\mathbf{A}} & \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad \tilde{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \tilde{\beta} \\ \mathbf{u} \end{bmatrix} \quad \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{v} \\ \mathbf{y} \end{bmatrix} \quad \mathbf{k} = \begin{bmatrix} -\tilde{\varphi} + \tilde{\chi} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \tag{59}$$

az (58-a, d) feltételek helyett

$$\mathbf{M}\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{k} = \mathbf{w} = \mathbf{0}, \quad \mathbf{w}^* \mathbf{x} = 0 \tag{60}$$

is írható. Mivel $\mathbf{M}$ pozitív szemidefinit,[3] úgy megfogalmazható

$$\min \{\Lambda(\tilde{\mathbf{x}}) = \tilde{\mathbf{x}}^* \mathbf{w} \mid \tilde{\mathbf{x}} \geq \mathbf{0}, \mathbf{w} = \mathbf{M}\tilde{\mathbf{x}} + \mathbf{k} \geq \mathbf{0}\} \tag{61}$$

programozási feladat; azaz a megoldás szimplex módszerrel megkapható.

A megoldás ismeretében $\tilde{\beta}$-ból az (53) és (52) alatt definiált β — az érintkezési erő sorbafejtésénél levő együtthatókból összeállított vektor — ismertté válik, majd (26) szerint a $p^{(1)}(x)$ és $p^{(2)}(x)$ érintkezési erő függvények. Ezek ismeretében az egyes testekben ébredő feszültségi állapot már tisztázható.

II. módszer

A (49) alatti programozási feladat *Lagrange*-féle függvényéből indulunk ki

$$L = \frac{1}{2}\beta^* \mathbf{S}\beta - \beta^*(\varphi - \chi) + \mathbf{u}^* \mathbf{A}\beta. \tag{62}$$

Alkalmazva a (62)-re a *Khun–Tucker*-féle feltételeket, nyerjük, hogy

$$\frac{\partial L}{\partial \beta} = \mathbf{S}\beta - (\varphi - \chi) + \mathbf{A}^* \mathbf{u} = \mathbf{0}, \quad \text{(A.8) szerint,} \tag{63}$$

illetve

$$-\frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}} = \mathbf{A}\beta = \mathbf{y} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{u}^* \mathbf{y} = 0. \quad \text{(A.7-a, b) szerint.} \tag{64-a, b}$$

Mivel $\mathbf{S}$ mátrix pozitív definit, sőt — jelen esetben — diagonál mátrix inverzének képzése igen egyszerű; az $\mathbf{S}^{-1}$ inverz mátrix diagonál, s főátlójában az eredeti mátrix elemeinek reciprokja áll. Így a (63)-ból

$$\beta = \mathbf{S}^{-1}(\varphi - \chi) - \mathbf{S}^{-1}\mathbf{A}^* \mathbf{u}, \tag{65}$$

majd behelyettesítve a (64-a)-ba

$$-\mathbf{A}\,\mathbf{S}^{-1}\mathbf{A}^* \mathbf{u} + \mathbf{A}\,\mathbf{S}^{-1}(\varphi - \chi) - \mathbf{y} = \mathbf{0} \tag{66-a}$$

egyenlethez jutunk, ahol $\mathbf{u} \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{u}^* \mathbf{y} = 0$. (66-b, c)

A (66)-nak a következő programozási feladat felel meg:

$$\max \left\{ -\frac{1}{2}\mathbf{u}^* \mathbf{K}\mathbf{u} + \mathbf{u}^* \mathbf{q} \mid \mathbf{u} \geq \mathbf{0} \right\}, \tag{67}$$

ahol

$$\mathbf{K} = \mathbf{A}\,\mathbf{S}^{-1}\mathbf{A}^*, \qquad \mathbf{q} = \mathbf{A}\,\mathbf{S}^{-1}(\varphi - \chi).$$

(67) a (49) alatti feladat duális párjának tekinthető. Megoldására közvetlenül alkalmazható a Dantzig-féle szimplex algoritmus (lásd pl. [6]), vagy az

[3] Állításunk könnyen igazolható. Mivel $(\mathbf{x}^* \mathbf{M}\mathbf{x})^* = \mathbf{x}^* \mathbf{M}^* \mathbf{x}$, úgy $\mathbf{x}^*(\mathbf{M} + \mathbf{M}^*)\mathbf{x} = 2\mathbf{x}^* \mathbf{M}\mathbf{x}$, továbbá

$$\mathbf{M} + \mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{S}} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{bmatrix},$$

ami az $\tilde{\mathbf{S}}$ felépítéséből következően pozitív szemidefinit mátrix.

[1]-féle iterációs eljárás, mivel a **K** mátrix pozitív szemidefinit. Mivel a matematikai programozás dualitási tételének értelmében a primál feladat megoldásának szükséges és elégséges feltétele a duál feladat megoldhatósága, úgy a duál feladat megoldásából nyert **u** vektor ismeretében a (65)-ből a $\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}(\mathbf{u})$ vektor, majd a (26) szerint a $p^{(1)}(x)$ és $p^{(2)}(x)$ felületi kontakt feszültségek határozhatók meg.

1.5 Az I. és II. módszer összehasonlítása

Felvetődik a kérdés, melyik módszer alkalmazása előnyösebb. Erre a (61), illetve (67)-ben szereplő mátrixok és vektorok méretei adhatnak felvilágosítást.

Tételezzük fel, hogy a $\boldsymbol{\beta}$ vektor mérete $(k \times 1)$ [vö. (27)]. Ekkor az **A** és **S** mátrixok mérete: $(3k \times k)$, illetve $(k \times k)$, vagyis az $\tilde{\mathbf{S}}$-é $(2k \times 2k)$, míg az $\tilde{\mathbf{A}}$-é $(3k \times 2k)$, azaz az **M** mátrixé $(5k \times 5k)$, az $\tilde{\mathbf{x}}$, **w**, **k** vektorok $(5k \times 1)$-es méretűek. Ugyanakkor a (67)-ben szereplő **K** mérete $(3k \times 3k)$, ami egyúttal azt is jelenti, hogy a II. módszer alkalmazása előnyösebbnek mutatkozik, annak ellenére, hogy a **K** mátrix előállítása, illetve a $\boldsymbol{\beta} = \boldsymbol{\beta}(\mathbf{u})$ (65)-ös kapcsolat felhasználása is szükséges; a számítógép memóriaigénye, az elvégzendő műveletek száma, azaz a számítás ideje lényegesen kisebb, mint a (61) feladat esetén.

1.6 A számítás pontosságának leellenőrzése

A kvadratikus programozással meghatározott $\boldsymbol{\beta}$ ismeretében, a (39) összefüggésből $\mathbf{y}^{(0)}$, az Ω tartományban általunk felvett x_i $(i = 1, \ldots, k)$ koordinátájú pontjaihoz kötött $y(x_i)$ mennyiség meghatározható. Ennek ismeretében ott, ahol $y_i^{(0)} > 0$ elválás (rés), illetve $y_i^{(0)} = 0$-nál érintkezés lép fel. Így $\mathbf{y}^{(0)}$ vektor egyértelműen kijelöli az Ω_0 és Ω_p tartományokat.

A számítás pontosságára a (17) feltétel kielégítése adhat feleletet. Az $\mathbf{y}^{(0)}$ vektor ismeretében, valamilyen interpoláris polinom segítségével az $y(x)$ függvény, továbbá

$$\vartheta^{(1)*} = \Big[\int_{(\Omega)} \varphi_1^{(1)}(x)\, y(x)\, dx, \ldots, \int_{(\Omega)} \varphi_r^{(1)}(x)\, y(x)\, dx \Big], \tag{68}$$

illetve hasonlóan az $\vartheta^{(2)}$ (ex1) méretű vektor is előállítható.

A most meghatározott vektorok ismeretében, a megoldás pontosságát a

$$|\vartheta^{(1)*}\, \boldsymbol{\beta}^{(1)}| < \varepsilon^{(1)}, \; |\vartheta^{(2)*}\, \boldsymbol{\beta}^{(2)}| < \varepsilon^{(1)}\,,$$

vagy (69-a, b, c)

$$|[\vartheta^{(1)*} \,|\, \vartheta^{(2)*}] \begin{bmatrix} \boldsymbol{\beta}^{(1)} \\ \boldsymbol{\beta}^{(2)} \end{bmatrix}| < \varepsilon$$

egyenlőtlenségek teljesedésével jellemezhetjük, ahol ε, $\varepsilon^{(t)}$ $t = 1, 2$ előre megadott kis számok.

2. *A (4)—(6) integrálegyenlet-egyenlőtlenség megoldása $d(x) = 0$ esetén, ha a véges kis felületen megoszló érintkezési erőt eredőjével helyettesítjük.*

A kapott (4)—(6) integrálegyenlet-egyenlőtlenséget közelítőleg algebrai egyenlet-egyenlőtlenségi rendszerrel helyettesítjük. Az Ω tartományt — hasonlóan, mint a (42), (43) alatt szereplő integráloknál is tettük — felosztjuk k db Δs_j nagyságú elemi részre, és minden részben kiválasztunk egy x_i koor-

dinátájú pontot. A megoszló $p(x)$ erőt helyettesítjük a $P_j = p(x_j)\Delta s_j$ erővel — ahol a Δs_j szimbólum jelöli, hogy az x_j koordinátájú pont a Δs szakasz pontja — továbbá a $K^{(t)}(x, s)$, $f^{(t)}(x)$, $h(x)$-et meghatározzuk a vizsgált elemi részek belső pontjában, azaz

$$K^{(t)}(x_i, s_j) = H_{ij}^{(t)}, \quad f^{(t)}(x_i) = f_i^{(t)},$$

$$h(x_i) = h_i, \quad y(x_i) = y_i, \quad t = 1, 2 \tag{70-a-d}$$

Ekkor a (4)—(6)-ból következő algebrai egyenlet-egyenlőtlenségi rendszert kapjuk az i index néhány értékénél:

$$\sum_{j=1}^{k} H_{ij} P_j - t_i = y_i > 0; \quad P_i = 0, \quad i \in \Omega_0; \tag{71-a}$$

és a megmaradó i indexeknél

$$\sum_{j=1}^{k} H_{ij} P_j - t_i = y_i = 0; \quad P_i \geq 0, \quad i \in \Omega_p, \tag{71-b}$$

ahol

$$H_{ij} = H_{ij}^{(1)} + H_{ij}^{(2)}, \qquad f_i = f_i^{(1)} - f_i^{(2)}, \tag{72-a}$$

$$t_i = f_i - h_i, \qquad \Omega = \Omega_0 + \Omega_p. \tag{72-b}$$

Ily módon a mátrix algebra jelöléseit használva

$$\mathbf{y}^{(0)} = \mathbf{H}\,\mathbf{p} - \mathbf{t} \geq \mathbf{0}; \quad \mathbf{p}^* = [P_1, P_2, \ldots, P_k] \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{p}^*\,\mathbf{y}^{(0)} = 0 \tag{73-a, b, c}$$

egyenlőtlenségi rendszert kell megoldanunk.

A feladat ilyen felállítása V. M. *Friedmann* és V. Sz. *Csernyinától* származik [1], akik a megoldást gradiens módszeren alapuló ciklikus iterációval keresték meg.

A (73-a, b, c)-hez tartozó programozási feladat, a *Khun—Tucker*-féle feltételek figyelembevételével

$$\min \left\{ \frac{1}{2}\mathbf{p}^*\,\mathbf{H}\,\mathbf{p} - \mathbf{p}^*\,\mathbf{t} \,|\, \mathbf{p} \geq \mathbf{0} \right\}. \tag{74}$$

Ez a programozási feladat a *Lagrange*-féle variációs elvre alapozott érintkezési feladatmegoldás duális feladatának tekinthető [2].

A (74) alatti programozási feladat összhangban van a (40)-ben szereplő funkcionál követelményeivel. Ugyanis — jelen esetben — $p^{(1)} = p^{(2)} = p \geq 0$, és így a (40) funkcionál leegyszerűsödik; azaz a $(p^{(1)} - p^{(2)})$ tagot tartalmazó integrál eltűnik, míg a $p \geq 0$ pozitivitását előíró $\int_{(\Omega)} u_3 p\, dx$ integrál feleslegessé válik, hisz ezt mi előre, a számítás folyamán biztosítani fogjuk. A (70), (72), illetve (73) alatt bevezetett jelölésekkel a K kiegészítő munkát (19) szerint számolva (közelítőleg)

$$K = \frac{1}{2}\mathbf{p}^*\,\mathbf{H}\,\mathbf{p} - \mathbf{p}^*\,\mathbf{f}$$

alakot nyerjük, továbbá a (40)-ben a hézagból származó integrál helyett

$$\int_{(\dot{\Omega})} p\,h\,dx \cong \sum_{i=1}^{k} \big(p(x_i)\,\Delta x_i\big)\,h(x_i) = \mathbf{p}^*\,\mathbf{h}$$

skalár szorzatot, továbbá $\mathbf{t} = \mathbf{f} - \mathbf{h}$ írhatjuk.

Az [1]-ben közölt gradiens módszeren alapuló ciklikus iterációs eljárás minimalizálandó kvázikonvex kvadratikus funkcionálja alkalmazott jelöléseinkkel

$$l(\mathbf{p}) = \frac{1}{2}\,(\mathbf{p}^* - \tilde{\mathbf{p}})\,\mathbf{H}(\mathbf{p} - \tilde{\mathbf{p}})$$

alakú, ahol $\mathbf{H} = \mathbf{H}^*$ — hatásfüggvény mátrix,

$\tilde{\mathbf{p}}$ — a kétoldalú kapcsolatot feltételező érintkezési feladat megoldásaként előálló vektor, azaz

$$\mathbf{H}\,\tilde{\mathbf{p}} - \mathbf{t} = \mathbf{0}, \qquad \tilde{\mathbf{p}} = \mathbf{H}^{-1}\,\mathbf{t}. \qquad (\mathbf{t} = \mathbf{f} - \mathbf{h})$$

Átalakítások után könnyen meggyőződhetünk arról, hogy

$$l(\mathbf{p}) = \frac{1}{2}\,\mathbf{p}^*\,\mathbf{H}\,\mathbf{p} - (\mathbf{f}^* - \mathbf{h}^*)\,\mathbf{p} + \frac{1}{2}\,\tilde{\mathbf{p}}^*\,\mathbf{H}\,\tilde{\mathbf{p}} = \tilde{\mathbf{K}}(\mathbf{p}) + \text{áll}, \qquad (75)$$

azaz $l(\mathbf{p})$ egy állandótól eltekintve megegyezik a $\tilde{K}(\mathbf{p})$-vel.

Ezzel *bebizonyítottuk*, hogy a V. M. Friedmann—V. Sz. Csernyina-féle érintkezési feladat felállítása [1] lényegében nem más, mint a kiegészítő munka elvére alapozott, egy lehetséges közelítő számítási eljárás.

3. *A (4)—(6) integrálegyenlet-egyenlőtlenség megoldása, ha a testek közötti merevtestszerű elmozdulás is létrejöhet.*

Hasonlóan, mint a 2. pontban is tettük, a véges kisméretű felületen megoszló érintkezési erőt eredőjével helyettesítjük. Az átalakítások egyes lépései azonosak az ott leírtakkal, azzal a különbséggel, hogy a merevtestszerű mozgásból származó $d(x)$ elmozdulás is szerepel a kifejezésekben. Véges számú $i = 1, \ldots, k$ x_i koordinátájú pontban meghatározva a 2. ábrán vázolt szerkezetre vonatkozó

$$d_i = c_1 + c_2\,x_i$$

elmozdulást, ahol c_{12} az 1-es jelű test 0 pontjának eltolódása, míg c_2 az y tengely körüli szögelfordulása, a

$$\mathbf{c}^* = [c_1, c_2]$$

vektor bevezetésével a (73-a, b, c) helyett az

$$\mathbf{y}^{(0)} = \mathbf{H}\,\mathbf{p} - \mathbf{t} - \mathbf{G}\,\mathbf{c} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{p}^* = [P_1, \ldots, P_k] \geq \mathbf{0}, \qquad (76\text{-a, b})$$

$$\mathbf{p}^*\,\mathbf{y}^{(0)} = 0 \qquad (76\text{-c})$$

írható, ahol

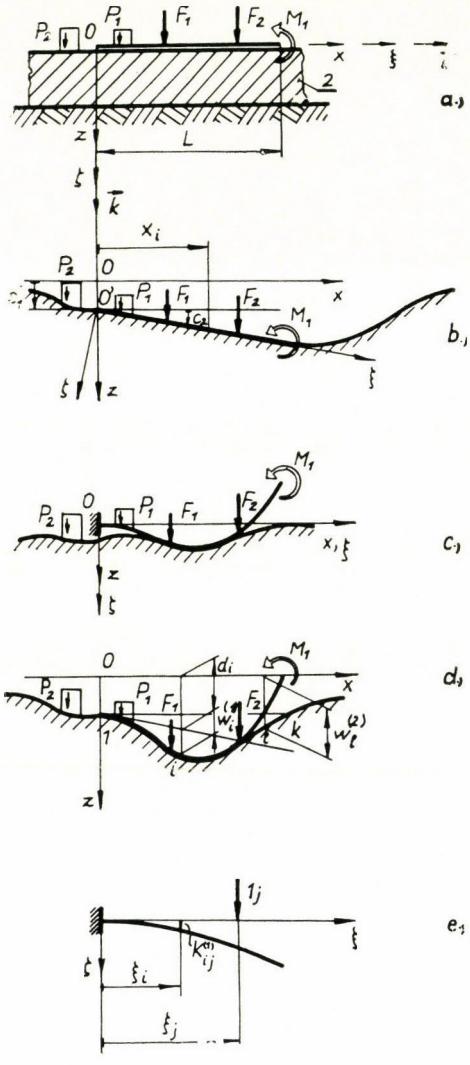
$$\mathbf{G}^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \ldots & 1 \\ x_1 & x_2 & \ldots & x_k \end{bmatrix}. \qquad (76\text{-d})$$

Mivel a (76-a) k számú algebrai egyenlet-egyenlőtlenségnek felel meg, s amely $k + 2$ ismeretlent tartalmaz, úgy az érintkezési feladat megoldhatósága érde-

kében kiegészítő egyenletekre is szükség van. Ezek az 1-es jelű testre felírt statikai egyenletek lesznek.

$$-F_0^{(1)} + \sum_{j=1}^{k} P_j = 0, \qquad -M_0^{(1)} + \sum_{j=1}^{k} x_j P_j = 0, \tag{77-a, b}$$

ahol $\vec{F}_0^{(1)} = F_0^{(1)}\vec{k}$, $\vec{M}_0^{(1)} = M_0^{(1)}\vec{j}$ az ismert terhelésből származó eredő erő, illetve a koordináta-rendszer kezdőpontjára számított nyomaték.



2. ábra *a)* Tartó és a merev alapon fekvő rugalmas réteg érintkezési feladata. *b)* Deformálódott helyzet, ha a tartó merev *c)* Deformálódott helyzet, ha a tartó merevtestszerű mozgását megakadályozzuk. *d)* Deformálódott helyzet, ha a tartó merevtestszerű mozgása felléphet. *e)* Hatásfüggvények értelmezése

A (77-a, b) egyensúlyi egyenleteket egy mátrix egyenletbe írva, kapjuk

$$\mathbf{G}^* \mathbf{p} - \mathbf{q} = \mathbf{0}, \tag{78}$$

ahol

$$\mathbf{q}^* = [F_0^{(1)}, M_0^{(1)}] .$$

[5]-ben az érintkezési feladat olyan megfogalmazása is megtalálható, amikor is a $\mathbf{p}$ kontakt erőkön kívüli ismeretlen $\mathbf{c}$ vektorban nemcsak a test $l(t)$ szabadságfokától függő mennyiségek, hanem a rugalmas rendszert alkotó elemek illesztésénél fellépő belső erők (pl. héjak esetén élerők, élnyomatékok) is szerepelhetnek. Ebben az esetben a (78)-as kiegészítő egyenletek módosulnak s formailag a következő alakban írhatók:

$$\mathbf{G}^* \mathbf{p} + \mathbf{D}\, \mathbf{c} = \mathbf{q}, \tag{79}$$

ahol a $\mathbf{q}$ vektor az egyensúlyi egyenletekben, ill. az illesztési feltételekben szereplő ismert mennyiségeket tartalmazza, míg $\mathbf{D}$ pozitív szemidefinit mátrix [7].

Ezek után a (76-a) és (79) figyelembevételével az érintkezési feladathoz tartozó algebrai egyenlet-egyenlőtlenségi rendszer

$$\begin{bmatrix} \mathbf{H} & -\mathbf{G} \\ \mathbf{G}^* & \mathbf{D} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ \mathbf{c} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{q} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \mathbf{y}^{(0)} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} = \mathbf{0}, \tag{80-a}$$

$$\mathbf{p} \geq \mathbf{0}, \qquad \mathbf{c} \lesseqgtr \mathbf{0}, \qquad \mathbf{p}^* \mathbf{y}^{(0)} = 0. \tag{80-b, c, d}$$

Az [5] munka a (80) alatti érintkezési feladatnak gradiens módszeren alapuló ciklikus iterációs eljárással történő megoldásával foglalkozik. Kvadratikus funkcionált minimalizálunk az érintkezési erő előjelére tett korlátozással (csak negatívak nem lehetnek). A bevezetett funkcionál alulról korlátos; negatív nem lehet.

Bevezetve a $\mathbf{c}^+ \geq \mathbf{0}$ és $\mathbf{c}^- \geq \mathbf{0}$ vektorokat úgy, hogy

$$[\mathbf{c}^+ - \mathbf{c}^-] = \mathbf{c}, \tag{81}$$

továbbá a (79)-es 2 db algebrai egyenletet helyettesítve 4 db egyenlőtlenséggel, írhatjuk, hogy

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{H} & -\mathbf{G} & \mathbf{G} \\ \mathbf{G}^* & \mathbf{D} & -\mathbf{D} \\ -\mathbf{G}^* & -\mathbf{D} & \mathbf{D} \end{bmatrix}}_{\mathbf{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{p} \\ \mathbf{c}^+ \\ \mathbf{c}^- \end{bmatrix}}_{\mathbf{x}} - \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{t} \\ \mathbf{q} \\ -\mathbf{q} \end{bmatrix}}_{\mathbf{b}} - \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{y}^{(0)} \\ \mathbf{y}^{(1)} \\ \mathbf{y}^{(2)} \end{bmatrix}}_{\mathbf{y}} = \mathbf{0} \tag{82}$$

vagy

$$\mathbf{A}\, \mathbf{x} - \mathbf{b} - \mathbf{y} = \mathbf{0}, \qquad \mathbf{y}^* \mathbf{x} = 0 . \tag{83-a, b}$$

Mivel az $\mathbf{A}$ mátrix pozitív szemidefinit,[4] úgy a kapott programozási feladat:

$$\min \{\mathbf{x}^* \mathbf{y} \,|\, \mathbf{A}\mathbf{x} - \mathbf{b} = \mathbf{y} \geq \mathbf{0},\ \mathbf{x} \geq \mathbf{0}\}. \tag{84}$$

Erre a feladatra már közvetlenül alkalmazható a Dantzig-féle szimplex módszer (lásd pl. [4]).

[4] Lásd a 3. lábjegyzet alattit értelemszerűen.

Melléklet

Rövid összefoglaló a kvadratikus programozás elméletéből

Kvadratikus programozás I jelű feladaton azt a feladatot értjük, amikor is

$$l(\mathbf{x}) = \mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} - \mathbf{c}^*\,\mathbf{x} + \gamma; \quad \mathbf{x} \geq \mathbf{0}; \quad \mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} \geq 0, \tag{A.1}$$

szigorúan kvázikonvex kvadratikus függvényt[5] minimalizáljuk az

$$\mathbf{A}\,\mathbf{x} \leq \mathbf{b} \qquad \mathbf{x} \geq \mathbf{0} \tag{A.2}$$

egyenlet-egyenlőtlenségi mellékfeltételek mellett:

I. $$\min \{\mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} - \mathbf{c}^*\,\mathbf{x} + \gamma \,|\, \mathbf{x} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{A}\,\mathbf{x} \leq \mathbf{b}\}\,. \tag{A.3a}$$

Ezenkívül a mellékfeltételektől függően beszélünk II. és III. feladatról is, nevezetesen:

II. $$\min \{\mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} - \mathbf{c}^*\,\mathbf{x} + \gamma \,|\, \mathbf{A}\,\mathbf{x} = \mathbf{b}, \quad \mathbf{x} \geq \mathbf{0}\} \tag{A.3b}$$

és

III. $$\min \{\mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} - \mathbf{c}^*\,\mathbf{x} + \gamma \,|\, \mathbf{A}\,\mathbf{x} \geq \mathbf{b}\}\,. \tag{A.3c}$$

A II. és III. jelű feladatok áttranszformálhatók I. feladattá; II.-nál az $\mathbf{A}\mathbf{x} = \mathbf{b}$ helyettesíthető $\mathbf{A}\mathbf{x} \leq \mathbf{b}$ és $-\mathbf{A}\mathbf{x} \leq -\mathbf{b}$ egyenlőtlenségekkel, míg a III.-nál $\mathbf{x} = \mathbf{x}^+ - \mathbf{x}^-$, $\mathbf{x}^+ \geq \mathbf{0}$, $\mathbf{x}^- \geq \mathbf{0}$, $\tilde{\mathbf{x}}^* = [\mathbf{x}^{+*} | \mathbf{x}^{-*}] \geq \mathbf{0}$ változó transzformáció végrehajtása szükséges.

A *Khun—Tucker*-féle elv általánosítja a feltételes szélsőérték számítást arra az esetre, amikor a feltételi egyenletek helyett egyenlőtlenségek is szerepelhetnek. A tétel értelmében az (A.3a)-hoz tartozó *Lagrange*-féle függvénynek

$$L = \mathbf{x}^* \mathbf{C}\,\mathbf{x} - \mathbf{c}^*\,\mathbf{x} + \gamma + \mathbf{u}^*\,(\mathbf{A}\,\mathbf{x} - \mathbf{b}) \tag{A.4}$$

az (A.3a) minimalizációs feladat $\mathbf{x}^0$ optimális megoldása esetén nyeregpontja van, azaz létezik egy olyan $\mathbf{u}^0$ vektor, amelynél áll

$$L(\mathbf{x}, \mathbf{u}^0) \geq L(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}^0) \geq L(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}) \tag{A.5}$$

egyenlőtlenségi reláció bármilyen $\mathbf{x} \geq \mathbf{0}$ és $\mathbf{u} \geq \mathbf{0}$-ra. Ennek szükséges és elégséges feltétele az, hogy teljesülnek a

$$\mathbf{v} = \frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}}\bigg|_{(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}^0)} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{x}^{0*} \frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}}\bigg|_{(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}^0)} = 0, \tag{A.6a,b}$$

$$\mathbf{y} = -\frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}}\bigg|_{(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}^0)} \geq \mathbf{0}, \quad \mathbf{u}^{0*} \frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}}\bigg|_{(\mathbf{x}^0, \mathbf{u}^0)} = 0 \tag{A.7a, b}$$

[5] Kvázikonvexnek neveznek egy $l(\mathbf{x})$ függvényt, ha az $\mathbf{x} \in D$ konvex tartományban bármilyen, $0 < \lambda < 1$ esetén fennáll az $\mathbf{x}^1 \in D$ és $\mathbf{x}^2 \in D$ feltételek mellett az $l(\lambda \mathbf{x}^1 + (1 - \lambda)\mathbf{x}^2) \leq \lambda\, l(\mathbf{x}^1) + (1 - \lambda)\; l(\mathbf{x}^2)$ egyenlőtlenség; ez $\mathbf{C}$ pozitív szemidefinit mátrix esetén mindig teljesül.

ún. *helyi feltételek*. Itt a $\frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}}$ azt az oszlopvektort jelenti, amelynek komponenseit úgy nyerjük, hogy vesszük az $L(\mathbf{x}, \mathbf{u})$ függvénynek az $\mathbf{x}$ komponensei szerint vett parciális deriváltját; a $\frac{\partial L}{\partial \mathbf{u}}$ hasonlóan értelmezett vektor. Abban az esetben, amikor $\mathbf{x}$-re nézve nincs meg a nem-negativitási követelmény, az (A.6a) helyett a

$$\frac{\partial L}{\partial \mathbf{x}} = \mathbf{0} \tag{A.8}$$

összefüggés érvényes.

Összefoglalás

A dolgozat az érintkezési feladatnál fellépő elsőfajú *Fredholm*-féle integrál egyenlet-egyenlőtlenség közelítő megoldását a kiegészítő munka minimuma elvére alapozott kvadratikus programozás feladatként tárgyalja; 1. az érintkezési erőt a testek (tartók, héjak, lemezek esetén) sajátfüggvényeinek, rezgésképeinek sorbafejtésével közelítjük, 2. az érintkezési erőt véges kis felületen ébredő eredővel helyettesítjük. Az utóbbi feladatmegközelítés V. M. *Friedmann* és V. Sz. *Csernyinától* származik. A dolgozat kitér a kvadratikus programozási feladat olyan programozási feladatra való transzformálásának kérdéseire, amelyre már a Dantzig-féle szimplex-módszer közvetlenül alkalmazható.

IRODALOM

[1] *Friedmann, V. M.—Csernyina, V. Sz.:* Iteracionnij processz dljá resényija konecsnomernij kontaktnoj zadacsi. Zs. VM—MF T. 7. No. 1 (1967) 160—163.

[2] *Páczelt I.:* Rugalmas rendszerek érintkezési feladatainak megoldása matematikai programozással. Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei, IV. sorozat, Természettudományok, nyomtatásban.

[3] *Prager, W.:* Vvedényije v mehaniku szplosnoj szredi. Perev. sz angl. IL. M. 1963.

[4] *Krekó B.:* Optimumszámítás. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Bp. 1972.

[5] *Páczelt, I.:* Iteracionnij metod dljá resénija kontaktnoj zadacsi uprugih szisztem sz odnosztronnimi szvjázjámi. Acta Technica Academiae Scientiarum Hungarical, Tomus 76 (1—2), (1974), 217—241.

[6] *Dupuis, G.—Probst, A.:* Étude d'une structure élastique soumise á' des conditions unilatárales. J. méc. 1 (1967), 3—41.

[7] *Páczelt I.:* Véges elemek módszer felhasználása az érintkezési feladatok megoldásához. Acta Technica Academia Scientiarum Hungaricae, nyomtatásban.

SCHARLE PÉTER:

A MOZAIKMÓDSZER MÉRNÖKI ÉS MATEMATIKAI ÉRTELMEZÉSÉNEK KIALAKULÁSA ÉS KAPCSOLATA

I.

A mérnöki mechanika feladatainak numerikus vizsgálata során gyakran fordul elő, hogy a számítások az analízis eszközeivel, explicit alakban nem hajthatók végre, és a matematikai modell keretein belül egyszerűsítésekre van szükség egy közelítő megoldás meghatározásához. A közelítések egy része matematikai értelemben korrekt korlátozó feltevés. Esetenként viszont mérnöki tapasztalaton alapuló egyszerűsítésekkel élünk. Különösen a két- és háromváltozós kerületérték-feladatok megoldása során válik szükségessé egyik vagy másik — esetleg mindkét — lépés.

A digitális gépi számítástechnika tág teret enged a közelítési pontosság fokozásának, és lehetővé teszi a numerikus megoldást akkor is, ha a feltevések finomítása a végül megoldandó egyenletrendszer méretét (az ismeretlenek számát) jelentősen növeli. Ezen az úton javítható egy-egy eljárás pontossága, függetlenül attól, hogy az egyszerűsítések matematikai vagy mérnöki megfontoláson alapulnak. Néha éppen ilyen módon derül fény arra, hogy absztrakt matematikai fogalmak szemléletesen értelmezhetők, vagy megfordítva, intuitív mérnöki közelítések matematikai szigorral is megfogalmazhatók.

A közelmúlt és a jelen egyik leghatékonyabb számítási eljárása, a mozaikmódszer* mindkét vonatkozásban tanulságos példája a mérnöki és a matematikai feladatkezelés összefonódásának. A jelen dolgozat bemutatja a módszer alapgondolatát, vázolja kialakulásának fontosabb történeti szakaszait és áttekinti a jelenleg is tartó fejlődés fő vonulatait. Helyenként — különösen a IV. szakaszban — elkerülhetetlen néhány matematikailag egzakt módon is tárgyalható kérdés felvetése. A megfogalmazások ilyen esetekben kevésbé szigorúak lesznek, mivel az elsődleges cél nem az egzakt összefüggések tisztázása. A hivatkozott irodalomban az érdeklődő teljes részletességű vizsgálatokat talál.

II.

A kör területének meghatározása már a korai görög gondolkodókat is foglalkoztatta. Noha a megoldást nem sikerült megtalálniuk, Arkhimédesz gyakorlati szempontból kielégítő pontossággal oldotta meg a feladatot ([38]).

* Az elnevezés közelebbi értelmezésével a III. szakasz foglalkozik.

Az egységsugarú körbe n-szöget szerkesztett (1. ábra) és meghatározta egy elemi háromszög t_e területét:

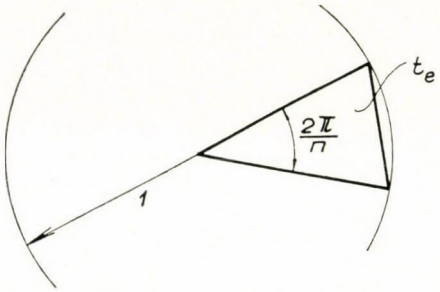
$$t_e = \frac{1}{2} \sin \frac{2\pi}{n} . \tag{1}$$

A teljes n-szög területe

$$T_n = \frac{n}{2} \sin \frac{2\pi}{n} \tag{2}$$

és n növelésével T_n az egzakt $T = \pi$ területhez tart. Például $n = 12$ esetén $T_{12} = 3{,}0$, tehát a közelítés hibája kevesebb mint 5%.

A gondolat magva — a részekre osztással és a részek illesztésével történő közelítés — általánosabb formában is ismert volt. A gyakorlati alkalmazást az korlátozta, hogy kellően pontos közelítéshez nagyszámú elem szükséges, és így a mennyiségi vizsgálat sok bonyolultabb esetben nehézkes vagy lehetetlen. A mechanikai szemléletet mégis mindig áthatotta a természet diszkrét fizikai modelljének gondolata — ez volt az oka annak is, hogy Cauchy első eredményeit, a matematikai analízis eszközeit kétséggel fogadták [(15)]. A folytonos függvények elméletének használhatóságát azonban egyre több példa bizonyította. A kontinuumfogalom bevezetésével — a matematikailag infinitezimális és a fizikailag diszkrét elemi mennyiség fogalmának elkülönítésével — lehetővé vált számos, korábban fel sem vetett feladat megoldása. A problémakezelés általános útja a fizikai jelenséget leíró, elemi tartományon érvényes differenciálegyenlet felállítása, és a kezdeti vagy kerületi feltételeket kielégítő megoldás megkeresése lett.



1. ábra

A kontinuumfeladatok analitikus tárgyalása egyes esetekben zárt alakú megoldásra vezetett. A felvetett kérdések egyre szélesebb körében viszont a vizsgált tartomány geometriai alakja, a kerületi feltételek, esetleg a differenciálegyenlet változó együtthatói miatt nem sikerült ilyet találni. Kialakultak azok a módszerek, amelyek a megoldást folytonos (legfeljebb véges számú pontban szakadásos) függvények végtelen soraként állították elő. Egy közelítést a sor egy részletösszege jelentett. A függvénysor tagjai rendszerint kielégítették a differenciálegyenletet, és a kerületi vagy kezdeti feltételeket lehetett felhasználni a határozatlan együtthatók kiszámítására. Kidolgozták a feltételi egyenletek és közelítőfüggvények különválasztásának több más változatát is. Bonyolultabb esetekben az okozott gondot, hogy vagy nehéz volt elegendő számú alkalmas függvényt találni, vagy a függvénysor konvergált lassan.

Az 1940-es évek végétől gyorsan terjedt ezért a véges differenciák módszere, amelynek lényege a differenciáloperátor differenciaoperátorral történő helyettesítése. A módszerrel diszkrét pontokban felvett ismeretlen függvényértékekből különbségi hányadosokra térve jutunk feltételi egyenletrendszerre. Fokozható a pontosság a pontok számának növelésével, gondot jelentett

azonban a változó együtthatók és a kerületi feltételek kielégítésének kérdése. Az elméleti kutatás hosszú időn át e téren volt erőteljes, de minden szempontból kielégítő módszerváltozatot sokáig nem sikerült találni. Emiatt tovább folytak a próbálkozások hatékonyabb, (utóbb, az 50-es évek második felétől) a számolóautomaták lehetőségeit is kihasználó módszerek kidolgozására.

III.

A mechanikai feladatok egy jelentős része nem kívánja meg szükségszerűen a kontinuumfogalom kifejezett használatát. Ez a helyzet például a rúdszerkezetek elméletében. Igaz, az elemi rúd mechanikai viselkedésének leírásánál egyváltozós függvények szerepelnek, azonban az ilyen rudakból összeállított szerkezetekben a diszkrét elemek kapcsolatára tevődik át a hangsúly, és a matematikai tárgyalás algebrai összefüggésekre vezet. A tartószerkezetek vizsgálatánál ezért jó ideje polgárjogot nyert a lineáris algebra, közelebbről a mátrixszámítás.

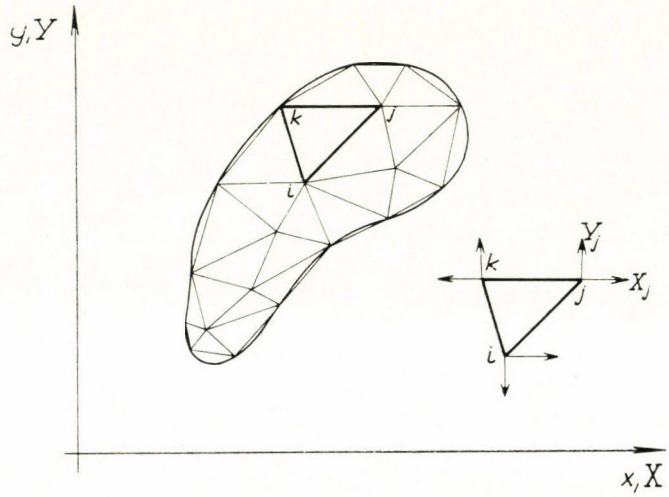
Az algebrai feladatkezelés egyszerűsége, tömörsége és áttekinthetősége hosszú időn át arra ösztönözte a kutatókat, hogy két- és háromváltozós feladatok esetében is analóg módszereket keressenek. A legkézenfekvőbb lehetőség alkalmasan megválasztott tulajdonságokkal rendelkező helyettesítő rudakból álló mechanikai modell kialakítása volt. Bizonyos típusú (elektromos és szerkezeti) hálózatok — diszkrét rendszerek — topológiai tulajdonságait rendszeresen vizsgálta már Kron (1939); Hrennikoff (1941) hajlított derékszögű lemezek számítására alkalmas ekvivalens rúdmodellt javasolt. A gondolat lényege felismerhető McHenry (1943), majd Argyris néhány korai (1954—1957) közleményében is. Hudson és Matlock (1968) olyan diszkrét elemekből álló modellt dolgozott ki, amely a véges differenciák módszere fizikai reprezentációjának tekinthető. Zimmer és Groth (1970) általános térbeli feladatra is alkalmazható modellt és számítási algoritmusokat közöl. A síkbeli feladatok esetében alkalmazható helyettesítő rúdrendszer egy változatát Pálossy ismertette (1972), és megmutatta, hogy e tárgyalásmód szervesen beilleszthető a rúdszerkezetek általános elméletébe (Szabó, Roller, 1971). A fejlődés ezen, ma sem lezárt vonulata a helyettesítő rúdrendszer értelmezésének és az ekvivalens mechanikai tulajdonságok megállapításának kérdéseit helyezi a vizsgálatok középpontjába. Nyilvánvaló természetesen, hogy a helyettesítő elemek nem szükségképpen rudak, és ezek használata nem feltétlenül vezet mozaikmódszerre, utóbbi következőkben adandó értelmezése szerint. Ezért e téren számos további érdekes eredmény várható.

A két- és háromdimenziós feladatok általánosabb értelemben vett diszkretizálással (mechanikailag szemléletes, de nem feltétlenül rúdelemekre való felbontással) történő megoldásának gondolata felvetődik már Argyris említett munkáiban is. A konkrét megvalósítás első példájaként az irodalom Turner, Clough, Martin és Topp (1956) kétváltozós feladatra vonatkozó eredményeit tartja számon. A 60-as évek elejétől ez az irányzat rendkívül gyorsan fejlődött, számos változat került kidolgozásra.* A mai szóhasználat szerint ezek a mozaikmódszer (Finite Element Method) klasszikus példái.

* Przemieniecki (1968) több mint 400, Singhal (1969) közel 800 hivatkozást tartott számon. Egy újabb keletű bibliográfia (Akin, 1972) 1100 közleményt sorol fel.

A Finite Element elnevezést Clough (1960) használta először. Szó szerinti fordítása, a „véges elem" kifejezés a differenciálegyenletek felírásánál előforduló infinitezimális méretű elemekkel szembeállítva nyer szerepet és hangsúlyt. Az egyetemi építőmérnöki oktatásban a kifejező m o z a i k m ó d s z e r elnevezés honosodott meg (Szabó, Szilágyi, 1971) — a továbbiakban ezt fogjuk használni.

A módszer lényege (2. ábra):



2. ábra

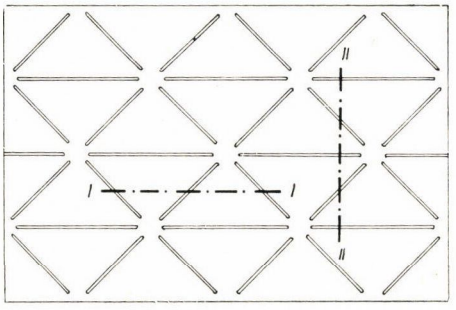
a) a kontinuumot véges méretű elemek illeszkedő összességének tekintjük;

b) az elemek tulajdonságait elkülönített vizsgálattal határozzuk meg, és a kapcsolási helyeken (csomópontokon) értelmezett paraméterek függvényében fejezzük ki. E vizsgálat során az analízis eszközeit alkalmazzuk;

c) a teljes rendszer kapcsolatát a csomóponti mennyiségek azonosságának előírásával biztosítjuk.

A gondolatmenet konszisztens a szerkezeti mechanikában hagyományosan használt, szemléletes mérnöki tárgyalásmóddal. A kezdeti alkalmazásokról beszámoló tanulmányok és az első monográfiák számos elemtípust ismertettek, és a diszkretizált kontinuumra vonatkozó vizsgálatot a rúdszerkezetek klaszszikus elméletéhez kapcsolódó általánosításként építették ki (Zienkiewicz, 1967, Przemieniecki, 1968). Az 50-es évek végétől egy évtizeden át a módszert szinte kizárólag az építőmérnöki feladatokra alkalmazták. Ezek megfogalmazása során rendszerint az elmozdulásokat tekintették ismeretlennek. A *b)* lépésben egyszerű feltevést adtak az egyes elemeken belüli elmozdulás-komponensekre. A virtuális munkák tételét alkalmazva határozták meg a feszültségekkel ekvivalens csomóponti erőket, mint a csomóponti ismeretlen elmozdulások függvényét. A feltételi egyenletrendszer a csomópontokra ható erők egyensúlyát fejezte ki.

A szemléletesség nagymértékben elősegítette a módszer elterjedését. A — nem ritkán intuitív megfontolások alapján kidolgozott elemtípusokkal elért — sikerek miatt kissé háttérbe is szorultak a módszer matematikai alapjainak kérdései. Különösen a „csomóponti kapcsolódás" gondolatának betű szerinti értelmezése vált félreértések forrásává. Előfordult például, hogy az ilyen módon kapcsolódó elemekből elgondolt rendszer viselkedését laboratóriumi modellkísérletekkel kívánták „tisztázni" (Irons, 1973). Egy hajlított lemez (3. ábra) a feltüntetett felhasítás után természetesen különböző merevségűnek mutatkozik a két kitüntetett irányban. Ennek oka azonban a szerkezeti kialakítás; a matematikai értelemben vett csatlakozási feltételek megállapítása nem kísérleti vizsgálatokat kíván.



3. ábra

Néhány konkrét részletkérdés (így az elemek illesztési felületein az állapotjellemzők folytonosságának biztosítása, egyes elemtípusok esetében az elemszám növelésével nem biztosítható konvergencia), és a nem építőmérnöki alkalmazások kapcsán mind gyakrabban felmerülő nehézségek megoldása egyre jobban igényelte a szemlélettől függetlenül is megalapozható matematikai elemzést. A 60-as évek második felétől erősödött a fejlődés harmadik ága, a tisztán m a t e m a t i k a i tárgyalásmód. Kiderült, hogy az alapötletet már Courant felvetette (1943) a St. Venant-féle csavarási feladat kapcsán. A matematikai megfogalmazás magva ugyanis a lokális közelítés elve:

a vizsgált tartományra vonatkozó egzakt megoldásfüggvényeket résztartományokon felvett közelítő megoldások illesztésével approximáljuk.

E gondolatot alkalmazta Schönberg (1946), Prager és Synge (1947), Pólya (1952). Később Synge (1957) részletesen is kidolgozta a lokális közelítés elméletét egyszerűbb résztartományok és közelítőfüggvények esetére. A paraméteres alakban felírt lokális közelítések ugyanilyen jellegű összekapcsolásának lehetőségére Kantorovics is utal (1950). A részletes vizsgálatoknak a számítástechnikai adottságok annak idején fennálló korlátozottsága miatt már kevesebb figyelmet szenteltek, és a gyakorlati alkalmazás köre szűk maradt. Néhány év szünet után a matematikusok érdeklődése jórészt éppen az intuitív mérnöki vizsgálatok sikerei és az említett nyitott kérdések miatt fordult ismét a mozaikmódszer felé. Ennek eredményeként tisztázódott számos, a szemléletre is hagyatkozó megfogalmazás szintjén nehezen megoldható kérdés. A legutóbbi időben a módszert teljes matematikai szigorral felépítő monográfiák láttak napvilágot (Oden, 1972, Strang és Fix, 1973). Természetesen az említett három felfogás ritkán választható élesen külön a gyakorlatban, és sokszor egymással összefonódva jelentkezik. Példaként éppen hazai eredmény, a rúdszerkezet-elmélet Szabó-féle általánosítása ([53]) említhető. A rúdszerkezetekre vonatkozó vizsgálatok ([54]) eredményeire alapozott modellben az általánosított rudak (felület- vagy térelemek) kitöltik a vizsgált tartományt. Az elemek határfelülete mentén pontonkénti csatlakozást feltételezve is biztosítható a közelítés hibájának ellenőrzése, ha a közelítőfüggvényeket az Hermite-féle

interpolációval analóg módon vesszük fel. Így a modell matematikai értelemben korrekt, mérnöki szempontból pedig szemléletes marad.

A szakirodalomban tükröződik a mozaikmódszer keletkezésével, lényegével és matematikai alapjaival kapcsolatos, a fentiekben röviden vázolt történetiség. Az esetenként megfogalmazódó elsőbbségi igények jogosságának bizonyítása sem könnyű, különösen két okból. Egyrészt tény ugyanis az, hogy gyakorlati célokra első ízben mechanikai feladatoknál alkalmazták a módszert — viszont kétségtelen, hogy a mozaik-elv nem kötődik semmiféle fizikai modellhez. Másrészt, mivel a mechanika klasszikus feladataihoz tartozik variációs elv és számos esetben legkézenfekvőbb az elmozdulásmódszer alkalmazása, a 60-as években a mozaikmódszer e két körülményhez igazodó változata jutott vezető szerephez ([62]). Az általános eljárás viszont tetszőleges állapotjellemzőkre és variációs elv hiánya esetén is alkalmazható.

A mozaikmódszer mibenlétének meghatározása ezért nemcsak definíciós, hanem tekintélyi kérdéssé is vált. Egyes szerzők a szűkebb értelemben vett korai építőmérnöki alkalmazásokhoz kötik a fogalmat, és a későbbi fejlődést általánosítási folyamatnak tekintik (Zienkiewicz, 1973). Többen a variációs megfogalmazás lehetőségével kapcsolják össze és a Ritz-eljárás általánosított, diszkretizált változatának tartják a mozaikmódszert (Rozin, 1971, Zlámal, 1973), esetleg a súlyozott maradékok módszerére vezetik vissza (Schmid, 1972). Ha pedig a Courant-féle gondolat legáltalánosabb formáját vesszük alapul, minden konkrét fizikai modellre történő alkalmazás egy-egy (elvileg egyenrangú) változatnak tekinthető (Oden, 1969).

A történeti fejlődés menete az elsőként említett felfogás mellett szól, a módszer változatai közötti eligazodás, a lehetőségek és korlátok felismerése szempontjából viszont a negyedik nézet nyújtja a legjobb kiindulópontot. A továbbiakban ezért egy kevésbé hagyományos utat választunk a mozaikmódszerek ismertetésére. Először röviden áttekintünk néhány olyan kérdést, amely a közelítő módszerek egy széles osztályára általában vonatkozik. Ezt követően értelmezzük a mozaik-elvet és szerepét a szóban forgó közelítő módszerekben. Utoljára marad a különféle fontosabb változatok jellemzése.

IV.

A kontinuumfeladatokat rendszerint a háromdimenziós tér egy D (nem feltétlenül véges) résztartományára és annak S határfelületére fogalmazzuk meg.* Célunk a vizsgált fizikai jelenséget leíró állapotjellemzők közötti összefüggések rögzítése, a hatások egy részének ismeretében pedig a többi meghatározása. Az állapotjellemzők különböző rangú tenzorok, ez utóbbiak komponensei a vonatkozó (D vagy S) tartományon értelmezett skalárfüggvények. A klasszikus kontinuummechanikában a gravitációs kölcsönhatás, állapotjellemzőként az elmozdulásvektor, alakváltozástenzor és feszültségtenzor jut szerephez.

Amennyiben a vizsgált jelenségre vonatkozó összefüggéseket a tartomány infinitezimális kiterjedésű dD elemére írjuk fel, a matematikai megfogalmazás differenciálegyenlet-rendszerre vezet.

* Az időváltozó szerepe mondanivalónk szempontjából nem kitüntetett. A továbbiakban ezért a figyelmet egyszerűség kedvéért az időben nem változó állapotok vizsgálatára korlátozzuk.

Feladatunk e differenciálegyenlet-rendszer ama partikuláris megoldásának meghatározása, amely az S határfelületen előírt feltételeket elégíti ki. A legtöbb esetben más (így például integrálegyenletekre, variációs problémára stb. vezető) ekvivalens feladatkitűzés is lehetséges. Általánosságban egy megoldandó kerületérték-feladat

$$L(s) = f \tag{3}$$

$$M(s) = b \tag{4}$$

alakban jelentkezik. Az első egyenlet a D tartományra vonatkozó, a második az S határfelületen érvényes összefüggés. A két egyenletben

s absztrakt vektor, elemei az állapotjellemző tenzorok skalárfüggvény-komponensei;

L, M nem feltétlenül lineáris, differenciál-, integrál-, algebrai stb. operátorok a D, illetve S tartományon értelmezett állapotfüggvényekre;

f, b előírt hatásokat jelentő absztrakt vektorok a D, illetve S tartományon.

Például, a lineáris rugalmasságtanban s elemei az u_i, ε_{ij}, σ_{ij}, q_i skalárfüggvények és (3) a következő egyenleteket foglalja magában:

$$\sigma_{ij,j} + \varrho k_i = 0 \tag{5}$$

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \tag{6}$$

$$\sigma_{ij} = \frac{\partial W(\varepsilon_{ij})}{\partial \varepsilon_{ij}}. \tag{7}$$

E három összefüggés rendre a D tartományon érvényes egyensúlyi és folytonossági differenciálegyenlet, valamint anyagtörvény.* A (4) egyenlet tömören fejez ki három kerületi feltételt, részletesen, az S határfelület S_σ részén az egyensúlyt, a komplementer S_u felületen a geometriai folytonosságot és a reakciókat:

$$\sigma_{ij} n_j = p_i \tag{8}$$

$$u_i = v_i \tag{9}$$

$$\sigma_{ij} n_j = q_i. \tag{10}$$

Az (5)—(10) összefüggésekben $(i, j = 1, 2, 3)$

u_i az elmozdulásvektor komponense

ε_{ij} az alakváltozás-tenzor komponense

σ_{ij} a feszültségtenzor komponense

k_i előírt térfogati erővektor komponense

v_i előírt elmozdulásvektor komponense

* Itt és a továbbiakban alkalmazzuk a tenzorszámítás szokásos összegzési és deriváltjelölési konvencióit. A felírt összefüggések ortonormált koordinátarendszerben érvényesek.

q_i reakcióvektor komponense
n_j kifelé mutató felületi egységvektor komponense
p_i előírt felületi erővektor komponense
$W(\varepsilon_{ij})$ alakváltozási energiasűrűség-függvény
ϱ sűrűség

és valamennyi az esedékes összefüggésnek megfelelő tartományon értelmezett.

Visszatérve a (3) és (4) egyenlethez, jelölje U a D és S tartományon értelmezett és az L, M operátorok konkrét szerkezetétől függő differenciálhatósági (vagy egyéb) feltételeket kielégítő s_i ($i = 1, 2, \ldots \infty$) vektorok terét. Tegyük fel, hogy L reguláris abban az értelemben, hogy minden s_i vektorhoz egy és csakis egy $t_i = L(s_i)$ elemet (vektort) rendel; ez utóbbiak legyenek a V lineáris tér elemei. A továbbiakban röviden „képtér", illetve „tárgytér" kifejezést használunk V, illetve U megnevezésére. Egyszerűség kedvéért homogén kerületi feltételek esetére szorítkozunk ($b = 0$), és feltételezzük, hogy valamennyi $s_i \in U$ függvény kielégíti a (4) egyenletet.

Műszakilag értelmezhető feladatkitűzés esetén (3) rendszerint kielégül valamely $s_0 \in U$ megoldásra, de az unicitás kérdése külön vizsgálatot igényel. A továbbiakban feltesszük, hogy a kerületérték-feladatnak létezik legalább egy s_0 megoldása, amely egy $U^0 \subset U$ környezetben egyértelmű is. Jelölje $s' \in U^0$ az egzakt megoldás egy önkényesen felvehető közelítését. Az s' vektor megválasztásakor elkövetett hiba kétféle módon is értelmezhető (4. ábra):

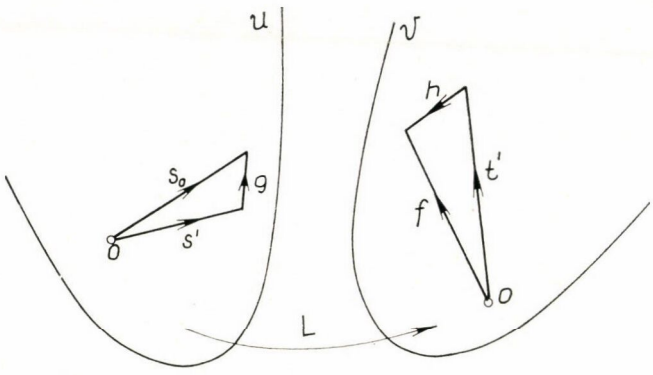
(I) az U tárgytérben ($g \in U$)

$$g = s_0 - s' \tag{11}$$

(II) a V képtérben ($h \in V$)

$$h = L(s_0) - L(s') = f - t' . \tag{12}$$

A hibaértelmezés ezek után megállapodás kérdése. A közelítő módszerek egy széles osztályában az s' közelítést akkor tekintjük elfogadhatónak, ha g vagy h (esetleg mindkettő) valamilyen előre megadott értelemben kicsiny. Előnyös, ha a hiba mértéke olyan skalár szám, amely az U vagy/és V függvénytérben



4. ábra

bevezetett bilineáris alak (skalárszorzat) szerint nyerhető. Természetesen más hibamérték (valamilyen norma, vektor stb.) is választható, azonban nyomós érvek szólnak a skalárszorzat használata mellett ([44]), és a továbbiakban kizárólag az ilyen módon megalapozott hibaértelmezésekre szorítkozunk.

A skalárszorzat (illetve bilineáris alak) bevezetésével értelmezhetővé válik a távolság és az ortogonalitás fogalma. Gyakorlati esetekben rendszerint a

$$\langle p, q \rangle = \int_D pq \, \mathrm{d}D \tag{13}$$

szorzatintegrál használatos. Konstruktív vizsgálat eredménye szerint négy alapvető h i b a e l v, hibafeltétel adódik a fentiekben adott korlátozások után ([43]):

(1) megkívánjuk, hogy g ortogonális legyen valamely alkalmasan választott vektortérre (d i r e k t módszer);
(2) előírjuk, hogy h hossza minimális legyen (l e g k i s e b b n é g y z e t e k módszere);
(3) megkívánjuk, hogy h ortogonális legyen valamely alkalmasan választott vektortérre (s ú l y o z o t t m a r a d é k o k módszere);
(4) előírjuk, hogy a $\langle g, h \rangle$ bilineáris alak minimális értékű legyen (e n e r g i a módszer).

E változatok részletes vizsgálata kívül esik a dolgozat célkitűzésein, és példaként csak azt mutatjuk meg, hogy a (4) hibaelv bizonyos típusú L operátorok esetén a Mihlin-féle feladatra vezet ([25]). Legyen adott az

$$A(s) = f \tag{14}$$

operátoregyenlet a (3) értelmezés szerint, és jelölje az U és V függvényterek egy-egy elemével felírt bilineáris alakot

$$\langle s', t'' \rangle \tag{15}$$

ahol $s' \in U$, $t'' \in V$. Hibavektorainkat a (11) és (12) összefüggések szerint vesszük fel, és az energetikai hibaelv szerint a

$$\langle g, h \rangle = \min! \tag{16}$$

feltételt kielégítő megoldást tekintjük a legjobb közelítésnek. A bal oldalon szereplő kifejezést felbontva részletesen

$$\begin{aligned} \langle g, h \rangle &= \langle s_0 - s', f - A(s') \rangle = \\ &= \langle s_0, f \rangle - \langle s', f \rangle - \langle s_0, A(s') \rangle + \langle s', A(s') \rangle = \min! \end{aligned} \tag{17}$$

alakra jutunk. Amennyiben az s' közelítést lineárisan független s_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) függvények ismeretlen, állandó c_i együtthatókkal képzett lineáris kombinációjának tekintjük, azaz

$$s' = \sum_{i=1}^{n} c_i s_i \,, \tag{18}$$

akkor a minimum létezésének szükséges feltétele a $\langle g, h \rangle$ kifejezés c_i együtthatók szerinti parciális deriváltjainak eltűnése:

$$\frac{\partial}{\partial c_i} \langle g, h \rangle = 0 \qquad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{19}$$

A (17) kifejezésben ekkor $\langle s_0, f\rangle$ elhagyható, mivel nem tartalmaz ismeretlen együtthatót, és a hibafeltétel alakja egyszerűsödik:

$$\langle s', A(s')\rangle - \langle s', f\rangle - \langle s_0, A(s')\rangle = \min! \tag{20}$$

Tételezzük most fel, hogy A önadjungált operátor, amelyre

$$\langle s', A(s'')\rangle = \langle s'', A(s')\rangle \tag{21}$$

teljesül.* Ilyen esetben

$$\langle s_0, A(s')\rangle = \langle s', A(s_0)\rangle = \langle s', f\rangle \tag{22}$$

és így (20) helyett

$$\langle s', A(s')\rangle - 2\langle s', f\rangle = \min! \tag{23}$$

feltételre jutunk. A bal oldalon a Mihlin-feladatban szereplő funkcionált nyertük, amelynek stacionaritási feltétele a (14) egyenlet kielégülése.

V.

A hibafeltételek közötti választást több szempont motiválja; a döntés függhet a konkrét feladat természetétől (különösen L és néha M szerkezetétől), számítástechnikai lehetőségektől is. Ennek ellenére a négy hibaelv a gyakorlati esetek széles körében közel egyenértékű: azonos számítási munkaráfordítással közel azonos numerikus pontosság érhető el (Crandall, 1956). Mondanivalónk szempontjából fontosabb kérdés az s' közelítő megoldás (18) szerinti felbontásában az s_i ($i = 1, 2, \ldots, n$) függvények megválasztásának miként je. E függvények U egy n-dimenziós U_n alterében bázist alkotnak. A hibaelvek bármelyike (esetleg nemlineáris) egyenletrendszert szolgáltat a c_i együtthatók meghatározására. A kiszámított c_i együtthatók az s_0 egzakt megoldás U_n altérbe eső — a választott hibaelv értelmében legjobb — közelítéséhez tartoznak; a felvett s_i bázisfüggvényekre vonatkozó általánosított koordináták.

E gondolatmenet szerint valamely közelítő módszer oly módon jön létre, hogy döntünk a hibaértelmezés kérdésében és felveszünk egy U_n alteret meghatározó bázisfüggvényrendszert. Ha — szerencsénkre — U_n tartalmazza az egzakt megoldást, az ki is fejezhető zárt alakban az s_i függvények lineáris kombinációjaként. Rendszerint nem ez a helyzet, és a bázisvektorokat úgy célszerű felvennünk, hogy U_n dimenziója (tehát n, a lineárisan független s_i vektorok száma) konstruktív úton tetszőlegesen növelhető legyen, más szóval $n \to \infty$ esetén $U_n \to U$ következzen be. Ha s_i a D tartományon folytonos függvény, ilyen módon jutunk a II. szakaszban említett klasszikus sorfejtési módszererekre.

A mozaik-elv lényege e ponton világítható meg legélesebben: olyan általánosított bázisfüggvényeket alkalmazunk, amelyek értelmezési tartománya a teljes D tartomány, de zérustól csak egy-egy kitüntetett D_e résztartományon („véges elemen") különböznek. A mozaikmódszer-változatokban ez az

* A (13) értelmezés esetén (21) a Gauss—Osztrogradszkij-tétel alkalmazásával jár. Itt jelent egyszerűsítést a homogén peremfeltételekre adott kikötés. Az inhomogén eset algebrailag bonyolultabb, de hasonló módon vizsgálható ([26], pp. 116).

elv közös — az eltérések a hibaértelmezés mikéntjében és a bázisfüggvények konkrét megválasztásában vannak.

Az általánosított bázisfüggvények előnyei nyilvánvalóak, közülük különösen hármat emelünk ki:

(1) Egyszerű módon követhetővé válik a tartományalak és bonyolultabb peremfeltétel-rendszer is;
(2) U_n méretének növelése önműködően biztosítható a résztartományok számának növelésével;
(3) A nem szomszédos résztartományok felett értelmezett bázisfüggvények ortogonálisak; a bázis Gram-mátrixa sok zéruselemet tartalmaz.

Az előnyök elsősorban bonyolult tartományalak esetén válnak fontossá, és természetes lehetőség nyílik konvergenciavizsgálatra az elemfelosztás finomításával. Ez a magyarázata annak, hogy a mérnöki feladatokban rövid időn belül általánossá vált a mozaikmódszerek használata. Mivel pedig a bázismegválasztás ilyen lehetősége független az L operátor szerkezetétől, sőt a választott hibaelvtől is, a nem-mechanikai feladatok körében is egyre többször bizonyul célravezetőnek.

A történeti fejlődés (mint említettük) először az energetikai hibaértelmezéshez kapcsolódó változatokra korlátozódott. Ez a mérnöki interpretáció közvetlen folyománya, de igazolást nyer abban is, hogy az energetikai hibaelv bizonyos értelemben a legszigorúbb: benne g és h egyaránt szerephez jut.* Ma már valamennyi hibaelv alkalmazására van példa. Tudomásunk szerint a direkt módszer mozaik-változatának használhatóságára először Tottenham hívta fel a figyelmet (1970, [58]). A súlyozott maradékok módszerét Szabó B. javasolta (1969, [52]). Ismeretes, hogy ennek gyakorlati szempontból legjelentősebb változata a Galjorkin-módszer, éppen az energetikai hibaelvre épülő Ritz-eljáráshoz fűződő kapcsolat miatt. A legkisebb négyzetek hibaelvére alapozott mozaikmódszer-változatot egymástól függetlenül Arya és Lynn (1973, [23]), illetve Akin és Gupta (1972, [1]) dolgozta ki.

Időnként vita kerekedik arról, hogy melyik változat a „legjobb" — a mondottak értelmében e kérdésre a konkrét feladattól elvonatkoztatható, általánosan érvényes választ aligha várhatunk. Egy gyakorta jelentkező törekvés célja a változatok visszavezetése egyetlen elvre. Schmid (1972) a súlyozott maradékok módszerét tartja legáltalánosabbnak, mások az energetikai, esetleg a legkisebb négyzetek hibaelvét. Tény, hogy egyszerűbb (például önadjungált) operátorok esetén egyes hibaelvek csak formálisan választhatók külön, mivel ilyenkor a vektorhossz-minimalizálási feltétel ekvivalenssé válhat az ortogonalitási feltétellel. A minimalizálási előírásra való tekintettel ugyanakkor szokás közösen variációs hibaelvnek nevezni a (2) és (4) változatot (Zlámal, 1973).

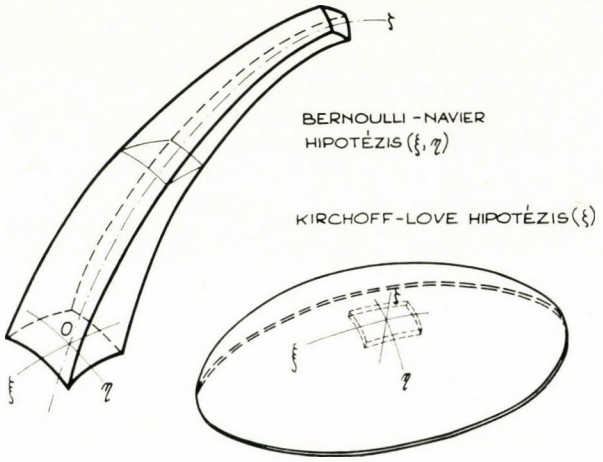
Érdekes, hogy a szovjet szakirodalomban egyszerre létezik a метод конечных элементов és метод вариационных разностей elnevezés. Előbbi használata a Zienkiewicz-féle tárgyalásmódot követő műszaki alkalmazásokban vált általánossá 1967 után, utóbbi a közelítő módszereket matematikai oldalról vizsgáló munkákban fordul elő. A közelmúltban tisztázták azt,

* Igaz, az L operátor sem lehet tetszőleges. Valószínűnek látszik, hogy e hibaelv alkalmazhatósága ekvivalens a hagyományos értelemben vett variációs feladatmegfogalmazás lehetőségével, de nyitott kérdés, hogy ez milyen feladatok esetében lehetséges és mikor nem ([44]).

hogy a két közelítési eljárás a lényeget tekintve azonos alapokon áll (Rozin, 1971, [40]).

Ma úgy tűnik, hogy ezek az osztályozási kérdések kevésbé fontos különbségeket érintenek; a lényeg annak felismerése, hogy a bázismegválasztás módja független a hibaértelmezéstől.

Megemlítjük, hogy a mozaik-elv egy általánosabb alkalmazásának tekinthető az egy- és kétváltozós kontinuumfeladatokra való áttérés is. Gyakran fordul elő ugyanis az, hogy az állapotjellemzők egy különleges, a vizsgált tartomány alakjához igazodó koordináta-rendszerben jó közelítéssel egyáltalán



5. ábra

nem, vagy csak egyszerű módon (például lineárisan) függenek valamelyik változótól (5. ábra).

Ilyenkor a szóban forgó változó (vagy változók, például rudaknál η és ξ) szerint esedékes integrálás explicit módon végrehajtható, és egy- vagy kétváltozós geometriai modulusokat értelmezhetünk. A mozaik-elv szempontjából ez a lépés p a r c i á l i s f i n i t i z á l á s: az U_n altérben a szóban forgó változót csak véges tagszámú (például zérus vagy elsőfokú) polinomiális szorzótényezővel vesszük figyelembe ([46]). Rudak esetében ez az egyszerűsítés felel meg a mérnöki szempontból szemléletes Bernoulli—Navier-féle geometriai feltevésnek.

Az eljárás energetikai hibaelvhez kapcsolt változata, mint Kantorovics módszere, régóta ismert (1950, [21]). Újabban Oliveira (1972, [30]) javasolta ezt a felfogást a szerkezetek elméletének általános megalapozására. Rozin ([41]), Oliveirától függetlenül, részletes vizsgálattal és konkrét példán meg is mutatja az átalakítás egyes lépéseit, és rámutat a mozaik-módszerek és a Kantorovics-féle eljárás közötti analógiára.

A mozaik-elv, a parciális finitizálás és a klasszikus analízis eszközeinek szimultán alkalmazására érdekes példaként említhető a „véges sávok módszere" (Finite Strip Method, [9], [56]). Ebben a térbeli háromváltozós feladatról parciális finitizálással térünk át felületszerkezeti modellre, majd utóbbinál az egyik változóra mozaik-elv szerinti közelítést adunk, a másikra pedig analitikus megoldást.

VI.

Az építőmérnöki gyakorlatban legtöbbször az energetikai hibaelv nyer alkalmazást. E hibaértelmezéshez ugyanis szemléletes fizikai tartalom kapcsolódik: a minimumfeltétel a vizsgált tartomány alkalmasan definiált energiaszintjét jelentő integrál-kifejezésre vonatkozik. A különféle konkrét feladatok esetére érvényes energiaintegrálok jó ideje ismertek is. Például az (5)—(10) egyenletekkel kitűzött lineáris rugalmasságtani feladathoz tartozó Hu—Washizu-féle funkcionál ([61])

$$\pi_{HW} = \int_D \{W(\varepsilon_{ij}) - \varrho k_i u_i\}\ dD - \int_{S_\sigma} p_i u_i dS -$$

$$- \int_D \left\{ \varepsilon_{ij} - \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i}) \right\} \sigma_{ij} dD - \int_{S_u} (u_i - v_i) q_i\, dS \tag{24}$$

alakban írható, és a

$$\delta \pi_{HW} = 0 \tag{25}$$

stacionaritási feltétel ekvivalens a hat alapegyenlettel. Amennyiben az egyes állapotjellemzőkre a (18) alakban olyan közelítéseket adunk, amelyekben a paraméterek egymástól függetlenek, (25) az utóbbiak szerinti parciális deriválást végrehajtva egyenletrendszert eredményez a paraméterek meghatározására. A lineáris rugalmasságtanban π e paraméterekben másodfokú kifejezés, így (25) lineáris egyenletrendszerre vezet.

Gyakran fordul elő, hogy az s_i bázisvektorok az alapegyenletek egy részét a priori kielégítik, és ennek folytán korlátozható az ismeretlen paraméterek száma. Ezt tettük például a III. szakaszban is, amikor feltételeztük, hogy (4) teljesül.* A minimalizálandó funkcionál ilyenkor egyszerűbb alakot ölt, és a minimumfeltétel az a priori ki nem elégített egyenletek közelítő kielégülésével ekvivalens. Túl sok alapegyenletet kielégítő bázisfüggvény-rendszert természetesen nem célszerű keresni, mert ez ugyanolyan nehéz lehet, mint az alapfeladat megoldása. Példánk esetében két klasszikus változat ismert:

(1) Amennyiben u_i kielégíti a (9) kerületi feltételt és az alakváltozásokat (6), a σ_{ij} feszültségeket pedig (7) szerint értelmezzük, a π_{HW} funkcionál a

$$\pi_p = \int_D W(\varepsilon_{ij})\, dD - \int_D \varrho k_i u_i\, dD - \int_{S_\sigma} p_i u_i\, dS \tag{26}$$

alakra egyszerűsödik. π_p a teljes potenciális energia, és mivel W pozitív definit, a

$$\delta \pi_p = 0 \tag{27}$$

stacionaritási feltétel egyben szélsőérték-feltétel is az u_i variálandó állapotmezőkre. (27) a mozgásmódszer alapegyenlete, mechanikai tartalma a virtuális munkák tétele.

* Ilyen értelemben az alapegyenletek kényszert jelentenek, mindegyiknek megfeleltethető az U függvénytérben egy-egy U_k altér, és ezek közös pontja az s_0 megoldás.

(2) Amennyiben σ_{ij} kielégíti az (5) és (8) egyensúlyi egyenleteket, az ε_{ij} alakváltozásokat pedig a komplementer alakváltozási energia

$$\Phi(\sigma_{ij}) = \varepsilon_{ij}\,\sigma_{ij} - W(\varepsilon_{ij}) \tag{28}$$

sűrűségfüggvényét bevezetve

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\partial \Phi}{\partial \sigma_{ij}} \tag{29}$$

módon értelmezzük, a Hu–Washizu-féle funkcionálból a

$$\pi_c = -\int_D \Phi(\sigma_{ij})\,dD + \int_{S_u} \sigma_{ij} n_j v_i\,dS = -C \tag{30}$$

kifejezést nyerjük, ahol C a hagyományosan értelmezett komplementer energia. A

$$\delta\pi_c = 0 \tag{31}$$

stacionaritási feltétel a lineáris rugalmasságtanban ugyancsak extrémum-feltétel; (31) az erőmódszer alapegyenlete, mechanikailag a virtuális kiegészítő munkák tételét fejezi ki.

Az első mozaik-mozgásmódszer változatokban a (27) egyenletrendszert direkt úton, közvetlen mechanikai megfontolások alapján írták fel, mint az elemek csatlakozási helyein fellépő erőkre érvényes egyensúlyi feltételt. Csak utóbb mutatták ki, hogy az eljárás a Rayleigh—Ritz-módszer diszkretizált analogonja. A (31) egyenletre vezető erőmódszer-változatot először Veubeke javasolta (1964). Felhívta a figyelmet arra is, hogy a két mozaikmódszer-változat egymásnak duálisa, és szimultán használatuk esetén az egzakt megoldás energiaszintje alsó-felső korlátok közé szorítható. Pian vetette fel elsőként azt a javaslatot, hogy az egyes elemeken belül a feszültségekre adjunk közelítést, de az elemek illesztését a csomóponti elmozdulások azonosságának előírásával biztosítsuk (1964). Ez annyit jelent, hogy az egyes elemek viselkedésének leírásánál a (31), a teljes rendszer vizsgálatánál a (27) feltételt használjuk ki. Választható a fordított sorrend is — az ilyen módon adódó hybrid elemtípusok bizonyos numerikus előnyöket mutatnak. A negyedik energetikai változat, a vegyes (mixed) módszer első alkalmazása Herrmanntól származik (1965). Javaslatának lényege: közelítést adunk mind az elmozdulásokra, mind a feszültségekre. Egyidejűleg, az elemek illesztésénél kihasználjuk mind az egyensúlyi, mind a folytonossági feltételeket. A véges szabadságfokú rugalmas rendszerekre vonatkozó legújabb vizsgálatok (Roller és Szentiványi, 1974, [39]) eredményei szerint az ismeretlenek különválasztása mátrix-particionálás alakjában hajtható végre. Az eljárás lépéseihez és az egyes változatokhoz szemléletes mechanikai értelmezés rendelhető.

Ma már a fenti négy alapváltozat számtalan konkrét példája ismert. Továbbra is prioritása van az elmozdulásmódszereknek. Ennek oka az, hogy az alakváltozások a (definíciós jellegű) (6) egyenletből mindig direkt módon kifejezhetők az elmozdulásokkal, viszont a variálandó σ_{ij} függvényeknek az erőmódszerekben eleve ki kell elégíteniük az (5) (mérleg-jellegű) egyenletet. A vegyes módszerek ellen szól, hogy az ismeretlen paraméterek száma viszonylag magas. Sander vizsgálatai szerint azonban (1971, [42]) ez a numerikus számítások szempontjából nem jelent tényleges hátrányt. A hybrid változatoknál a közelítőfüggvények értelmezési tartománya és az illesztési helyek

megválasztása tekintetében tág tere van a mérnöki intuíciónak, és újabban is számos egészen újszerű javaslat került ismertetésre (Béres, 1973, [7]). A fontosabb lehetőségekről táblázatos összefüggések állnak rendelkezésre (Atluri és Pian, [5], Páczelt, [31]). A hybrid mozaikmódszer-változatok használhatósága rendszerint csak kiterjedt numerikus vizsgálatokkal dönthető el, mivel egyszerűbb feladatokban mindegyik egyformán jó közelítést eredményez.

Valamennyi eddig említett változatra érvényes az a megállapítás, hogy a szokásos hibaintegrál [például a (26) vagy (30) funkcionál] csak akkor használható, ha a lokális közelítő függvények az elemhatárok mentén folytonosak. Ellenkező esetben egyes integrálkifejezések értéke határozatlanná válhat, és nem biztosítható az elemfelosztás finomításával az egzakt megoldáshoz tartó konvergencia. Ez a követelmény különösen akkor válik szigorúvá, ha — például felületszerkezetek vizsgálatánál — másodrendű deriváltak is előfordulnak; ilyenkor rendszerint további folytonossági feltételeket is ki kell elégíteni. A heurisztikus elemtípus-megválasztás veszélyére mutató, ilyen vonatkozásban híressé vált példa Bazeley, Cheung, Irons és Zienkiewicz nem-folytonos háromszög-eleme a hajlított lemezek vizsgálatára (1965, [6]). A kérdés matematikai oldalról egyszerűen tisztázható: ha a közelítőfüggvények nem elégítik ki az esedékes folytonossági feltételeket, akkor az illesztési hibának megfelelő további tagokat kell figyelembe venni a választott hibaértelmezés szerint. Prager már 1967-ben rámutatott erre, és ma már számos tanulmányban szerepelnek a megfelelő kiegészítő kifejezések ([35], [29]). Ennek ellenére időről időre felvetődnek ilyen szempontból nem kifogástalan elemtípusok. Ezekről általában kimutatható, hogy egyszerű, ismert megoldású feladatok esetében kevesebb munkaráfordítással is elfogadható pontosságú eredményt adnak. Alkalmazásuk ellen inkább az szól, hogy éppen a bonyolultabb esetekben lenne előnyös a változat egyszerűsége, viszont ilyenkor nem tudjuk, hogy a hibát milyen mértékben befolyásolja az illesztési feltételben eleve megengedett elhanyagolás.

VII.

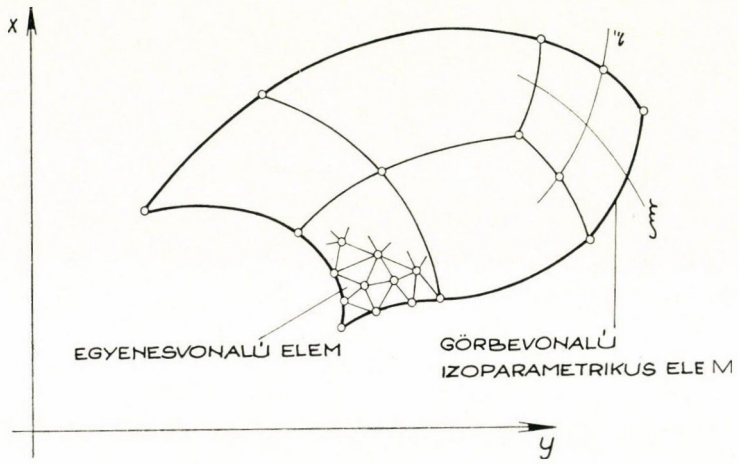
A mozaikmódszerek ma is tartó fejlesztésének egyik célja az újabb és újabb elemtípusok (más szóval bázisfüggvényrendszerek) kidolgozása és numerikus hatékonyságuk ellenőrzése. Utóbbi gyakorlati jelentősége különösen nagy, hiszen közvetlen kihatása van a gépidőfelhasználásra és így a költségekre. Láttuk az előzőekben azokat az alapelveket, amelyek egyrészt szerephez jutnak valamely mozaikmódszer-változat kidolgozása során, másrészt lehetővé teszik a különféle változatok kapcsolatának tisztázását. Nem térünk ki ezért a legfontosabb elemtípusok ismertetésére sem, annál kevésbé, mert számos újabb keletű monográfiára is hivatkozhatunk ([8], [13], [28]). Említést kell tenni azonban a jelen és a közeljövő leghatékonyabb változatairól, az izoparametrikus elemekről.

Eddig említett példáinkban hallgatólagosan feltételeztük, hogy a feladat megfogalmazható és megoldható egyetlen rögzített, ortonormált vonatkoztatási rendszerben. Ez a feladatkezelés sok esetben nem előnyös, akár a vizsgált jelenség természete, akár gyakorlati szempontok miatt. Példaként egy kétváltozós tartomány geometriai alakjának követését említjük: a peremvonal kellő pontosságú közelítése egyenes határvonalú elemekkel igen nagy elem-

számot kíván (6. ábra). Ergatoudis (1968, [14]) dolgozta ki részletesen először azokat az elemtípusokat, amelyeknek határvonala tetszőleges görbe lehet, és az elemen belül lokális koordinátarendszer alkalmazható. Természetesen ilyen esetben elengedhetetlen a globális és lokális vonatkoztatási rendszert összekapcsoló, kölcsönösen egyértelmű

$$x = x(\xi, \eta) \qquad y = y(\xi, \eta) \tag{32}$$

$$\xi = \xi(x, y) \qquad \eta = \eta(x, y) \tag{33}$$



6. ábra

transzformáció ismerete. A (32), illetve (33) függvénykapcsolat bonyolult lehet, azonban ugyanolyan módon közelíthető, mint ahogy azt az egyéb állapotjellemző függvényeknél tesszük. Az izoparametrikus elemekben a lényeget tekintve lokális és normált Lagrange-féle (anyagi) koordinátarendszert alkalmazunk. Ilyen elemek illesztésével közelítjük nemcsak az állapotjellemzőket, hanem a tartomány kezdeti vagy valamely közbenső állapotban adódó alakját is ([45]), némileg hasonlóan Arkhimédesz antik eljárásához.

Ami végül a véges differenciák módszere és a mozaikmódszer közötti kapcsolatot illeti, tény, hogy e kérdés hosszú idő óta vita tárgya. Említést érdemlő eredményre vezetett a 60-as évek derekán egy gátépítési program előkészítéséhez életre hívott angliai tudományos testület vizsgálata. A két nézet hívei éles viták után elhatározták, hogy megoldanak egy mintafeladatot mindkét módszerrel, azonos alapadatokból kiindulva, azonos ponthálózatot felvéve, lineáris interpolációs függvények alkalmazásával. Némi meglepetésre a végül megoldandó egyenletrendszer együtthatómátrixa (a gépi számítás pontosságának erejéig) a két változatban elemről elemre megegyezett (Tottenham, 1973, [57]). Finlayson (1972, [16]) konkrét esetet mutat be részletesen, amelyben a két módszer teljesen ekvivalens. Ma már ismeretes a véges különbségek módszerének olyan értelmezése is, a variációs megfogalmazás, amely felépítésében és lehetőségeiben is igen közel áll a mozaikmódszerhez ([64]). A két eljárás használhatóságáról folytatott vitát ezért valószínűleg a gyakorlati tapasztalat dönti majd el.

[1] *Akin, J. E.—Gupta, S. R.:* Finite Element Application of Least Squares Techniques, in Variational Methods in Engineering, Southampton, 1972.
[2] *Akin, J. E., Fenton, D. L., Stoddart, W. C. T.:* The Finite Element Method — a Bibliography of its theory and applications. Knoxville, Tennessee, 1972.
[3] *Argyris, J. H.:* Energy Theorems and Structural Analysis. Aircraft Eng. Vol. 26—27 1954, 1955.
[4] *Argyris, J. H.:* The Matrix Theory of Statics. Ingr. Arch. vol. 25 (1957).
[5] *Atluri, S.—Pian, T. H.:* Theoretical Formulation of Finite Element Methods in Linear Elastic Analysis of General Shells. Journal of Structural Mechanics, 1 (1972).
[6] *Bazeley, G. P.—Cheung, Y. K.—Irons, B. M.—Zienkiewicz, O. C.:* Triangular Elements in Bending-Conforming and Non-conforming Solutions. Proc. of Conf. Matrix Methods in Struct. Mech., Wright-Patterson AFB, 1965.
[7] *Béres, E.:* Calculation of Bent Shells by Means of a Grid Model. Acta Technica 74, 179—196 p. (1973).
[8] *Brebbia, C. A.—Connor, J. J.:* Fundamentals of Finite Element Techniques. Butterworth, 1973.
[9] *Cheung, Y. K.:* The Finite Strip Method in the Analysis of Elastic Plates With Two Opposite Simply Supported Ends, Proc. ICE, May 1968.
[10] *Clough, R. W.:* The Finite Element in Plane Stress Analysis, Proc. 2nd ASCE Conf.. on Electric Computation, Pittsburgh, 1960.
[11] *Courant, R.:* Variational Methods for the Solution of Problems of Equilibrium and Vibration, Bull. Am. Math. Soc. 49. 1—23 p. 1943.
[12] *Crandall, S. H.:* Engineering Analysis. McGraw Hill, 1956.
[13] *Desai, C. S.—Abel, J. F.:* Introduction to the Finite Element Method. Van Nostrand, 1972.
[14] *Ergatoudis, J. G.:* Isoparametric Finite Elements in Two and Three Dimensional Stress Analysis. Ph. D. Thesis, Swansea, 1968.
[15] *Filonenko-Borodich, M.:* Theory of Elasticity. Mir, 1968.
[16] *Finlayson, B. A.:* The Method of Weighted Residuals and Variational Principles. Academic Press, 1972.
[17] *Herrmann, L. R.:* A bending analysis of Plates. Proc. Conf. on Matrix Meth. in Structural Mechanics. Wright-Patterson AFB, 1965.
[18] *Hrennikoff, A.:* Solutions of Problems in Elasticity by the Framework Method. J. Appl. Mech. 8, 169—175 p. 1941.
[19] *Hudson, W. R.—Matlock, H.:* Discrete Element Analysis for Discontinuous Plates. ASCE/ST, Vol. 94, 1968.
[20] *Irons, B. M.:* Szóbeli közlés, Swansea, 1973.
[21] *Kantorovics, L. V.—Krülov, V. I.:* A felsőbb analízis közelítő módszerei. Akadémiai Kiadó, 1953.
[22] *Kron, G.:* Tensor Analysis of Networks. Wiley, 1939.
[23] *Lynn, P. P.—Arya, S. K.:* Use of the Least Squares Criterion in the Finite Element Formulation, Int. Jnl. for Num. Meth. in Eng., 6 (1973), No. 1.
[24] *McHenry, D.:* A Lattice Analogy for the Solution of Plane Stress Problems, J. Inst. Civ. Eng. 21, 59—82 p., 1943.
[25] *Mihlin, S. G.:* Variational Methods in Mathematical Physics, MacMillan, 1964.
[26] *Mihlin, S. G.:* An Advanced Course of Mathematical Physics. North Holland, 1970.
[27] *Oden, J. T.:* A General Theory of Finite Elements I. Int. Jnl. Num. Meth. Eng. 1. 205—221. p. 1969.
[28] *Oden, J. T.:* Finite Elements of Nonlinear Continua. McGraw Hill, 1972.
[29] *Oliveira, E. A. R.:* The Convergence Theorems and their Role in the Theory of Structures. IUTAM, High Speed Computing of Elastic Structures, Liege, 1971.
[30] *Oliveira, E. A. R.:* Theory of Structures, Course on the Finite Element Methods, CISM, Udine, 1972.
[31] *Páczelt I.:* Szerkezetek szilárdságtana. Miskolci Nehézipari Műszaki Egyetem, 1974.
[32] *Pálossy L.:* A kontinuumfeladat beillesztése a rúdszerkezetek hipermatrixegyenletébe (Egyetemi doktori értekezés), Budapest, 1972.
[33] *Pian, T. H. H.:* Derivation of Element Stiffness Matrices by Assumed Stress Distributions. AIAA Jnl, 1964 July, 1333—1336 p.
[34] *Pólya, G.:* Sur une Interpretation de la Methode des Differences Finies. Compt. Rend., 1952.

[35] *Prager, W.:* Variational Principles of Linear Elastostatics for Continuous Displacements, Strains and Stresses, Recent Progress in Applied Mechanics. Wiley, 1967.
[36] *Prager, W.—Synge, J. L.:* Approximation in Elasticity Based on the Concept of Function Space. Quart. Appl. Math. 5, 241—269. p. 1947.
[37] *Przemieniecki, J. S.:* Theory of Matrix Structural Analysis. McGraw Hill, 1968.
[38] *Ralston, A.—Wilf, H. S.:* Mathematical Methods for Digital Computers. Vol. 2, Wiley, 1967.
[39] *Roller, B.—Szentiványi B.:* Extrémumtételek és alkalmazásaik a rúd- és felületszerkezetek másodrendű elméletében. MTA Műsz. Mech. Tan. Mk. Tud. ülésszak, 1974, p. 35.
[40] *Rozin, L. A.:* Raszcsot gidrotehnyicseszkih szooruzsenyij na EVM. Metod konyecsnüh elementov. Energia, 1971.
[41] *Rozin, L. A.:* Osznovü metoda konyecsnüh elementov v teorii uprugosztyi. LPI, 1972.
[42] *Sander, G.:* Application of the Dual Analysis Principle. IUTAM, High Speed Computing of Elastic Structures, Liege, 1971.
[43] *Scharle, P.:* On the Relationship Between Different Approximating Methods. Acta Technica, 85, 1975.
[44] *Scharle, P.:* A variációs módszerek általánosításáról (kézirat). Southampton, 1973.
[45] *Scharle, P.:* Lagrange-féle lokális koordinátarendszer és numerikus integrálás alkalmazása a mozaikmódszerben (Jelentés). BME Mechanika Tanszék, 1974.
[46] *Scharle, P.:* Építőmérnöki kontinuumfeladatok numerikus vizsgálatának néhány kérdése (Kandidátusi értekezés, 1975).
[47] *Schönberg, I. J.:* Contributions to the Problem of Approximation of Equidistant Data by Analytic Functions. Quart. Appl. Math. 1946.
[48] *Schmid, G.:* Die Methode der Finiten Elemente. ZAMM, 52 (1972), September.
[49] *Singhal, A. C.:* 775 Selected References on the Finite Element Method etc. Laval University, Quebec, 1969.
[50] *Strang, G., Fix, G.:* An Analysis of the Finite Element Method. Prentice Hall, 1973.
[51] *Synge, J. L.:* The hypercircle in mathematical physics. Cambridge University Press, 1957.
[52] *Szabó, B. A.—Lee, G. C.:* Stiffness Matrix for Plates by Galerkin's Method, ASCE EM/95, pp. 571—585, 1969.
[53] *Szabó, J.:* The Equation of State-change of Structures. Periodica Polytechnica 17 (1973), No. 1.
[54] *Szabó J.—Roller B.:* Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Műszaki Kiadó, 1971.
[55] *Szabó J.—Szilágyi Gy.:* Tartók statikája. Tankönyvkiadó, 1971.
[56] *Szilágyi Gy.:* Speciális felületszerkezetek számítása a véges sávok módszerével. Építés-Építészettudomány, 1973.
[57] *Tottenham, H.:* Szóbeli közlés, Southampton, 1973.
[58] *Tottenham, H.:* A Direct Numerical Method for the Solution of Field Problems. Int. Jnl. Num. Meth. Eng. 1970/117—131. p.
[59] *Turner, M. J.—Clough, R. W.—Martin, H. C.—Topp, L. J.:* Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures. J. Aer. Sci. 25. 805—823. p. 1956.
[60] *Veubeke, B. M. F. de:* Upper and Lower Bounds in Matrix Structural Analysis, in Matrix Methods, Agard 72, Pergamon, 1964.
[61] *Washizu, K.:* Variational Methods in Elasticity and Plasticity, Pergamon, 1968.
[62] *Zienkiewicz, O. C.—Cheung, Y. K.:* The Finite Element Method in Structural and Continuum Mechanics. McGraw Hill, 1967.
[63] *Zienkiewicz, O. C.:* The Finite Element Method in Engineering Science. McGraw Hill, 1971.
[64] *Zienkiewicz, O. C.:* Finite Elements — the Background Story, in the Mathematics of Finite Elements, Academic Press, 1973.
[65] *Zimmer, A.—Groth, P.:* Elementmethode der Elastostatik. Oldenbourg, 1970.
[66] *Zlámal, M.:* Some Recent Advances in the Mathematics of Finite Elements, in the Mathematics of Finite Elements. Academic Press, 1973.

DR. ALMÁSI JÓZSEF

VASBETONSZERKEZETI ELEMEK VIZSGÁLATA A VÉGES ELEMEK MÓDSZERÉVEL*

1.0 *Bevezetés*

1.1 *A témaválasztás indokolása*

Az elmúlt időszakban a vasbetonszerkezeti elemek, valamint az alkotó anyagok jellemzőinek elméleti és kísérleti vizsgálata széles körben történt meg. A tartószerkezetek laboratóriumi vizsgálatát általában a teljes teherbírási tartományban elvégezték, legtöbb esetben azzal a céllal, hogy

— a tartó viselkedéséről képet nyerjenek a teher bizonyos fázisában,
— az analitikus számítási modell megalkotásához adatokat nyerjenek,
— a számítási modellekkel nyert eredményeket ellenőrizzék.

A jelenlegi számítási módszerek, melyek egyes szerkezeti elemek tervezésére szolgálnak, nem állnak egységes elméleti alapon. Az utóbbi időben egyre nagyobb törekvés mutatkozik annak irányában, hogy ezen hiányosságot megszüntessék.

Vajon mik voltak egy egységes számítási modell megalkotásának korlátai, illetve nehézségei? Hogy erre a kérdésre választ kapjunk, a következőket kell számításba vennünk.

— A vasbeton két anyag kompozíciójaként nyerhető. Ennek tulajdonsága az alkotó anyagokétól eltér.
— A szerkezet vagy szerkezeti elem mikrostrukturális szinten állandóan változtatja geometriáját, mely változás a terhelés folyamán is folytatódik.
— A beton alakváltozás-feszültség ($\varepsilon - \sigma$) értékei igen sok változó függvényei, egységes törvénybefoglalása nehéz, melyhez nagymértékben hozzájárul a nem lineáris viselkedés is.
— A szerkezeteink többségében két-, illetve háromtengelyű feszültségi állapot fordul elő. Ez irányú vizsgálatok száma kevés. Úgyszintén hiányzik a vasbeton törési feltételének megfogalmazása.
— A tartó teherbírását oly jellegzetesen befolyásoló repedezettségi képnek, illetve állapotnak véletlenszerű karaktere van.

1.2 *A tanulmány célja*

A tanulmány célja olyan egységes vizsgálati eljárás adása, amellyel a szerkezeti elem viselkedése (teherbírási, alakváltozási, repedezettségi állapota) a teljes teherbírási tartományban jellemezhető. A modell kifejlesztése során a

* A szerző zürichi tanulmányútja során készített dolgozatának kivonata.

geometriai nem-linearitást figyelmen kívül hagyjuk. A vizsgálati módszerrel váljék lehetővé a teher fokozatos növelése mellett a teher-alakváltozás, a repedezettség és a beton, valamint az acél feszültségi állapotának és együttdolgozásának ellenőrzése.

A beton lassú alakváltozásának és zsugorodásának hatását a dolgozat nem tartalmazza.

Az új számítási modell alapjául a véges elemek módszere szolgál, mely a mérnöki kutatásban számos esetben nyert alkalmazást. Ennek segítségével a szerkezet elemi részekre bontható (jelen esetben beton- és acél-elemekre, valamint a kettő együttdolgozását szimuláló rugókra), és a kapcsolódó csomópontokra nyert elmozdulási mezőből — melyet lineáris egyenletrendszer megoldásából nyerünk — a szerkezet feszültség és alakváltozási állapota válik ismertté.

Vizsgálati eljárásunk elsősorban síkjában terhelt szerkezeti elemekre vonatkozik.

1.3 *Az eddig végzett kutatások áttekintése*

A vasbetonszerkezeti elemek vizsgálata terén a véges elemek módszerét elsőnek Ngo és Scordelis [1] alkalmazta. Első vizsgálatukban két végén alátámasztott, középen koncentrált erővel terhelt vasbetongerenda alakváltozási, repedezettségi és feszültségi állapotának a meghatározását tűzték ki célul. A vizsgálat lényeges elemei a következők voltak:

— A szerkezeti elemet négyszög alakú véges elemekre osztották, melyeket egy-egy átlóval további két konstans alakváltozású háromszög elemekre bontottak.
— A beton és acél együttdolgozását az acél tengelyének és arra merőleges irányban elhelyezkedő rugók jellemezték.
— Az adalékanyag fellazulásának a teherbírásra gyakorolt hatását szintén rugókkal szimulálták.
— Előre meghatározott helyzetű és hosszúságú repedés hatásának vizsgálata lehetséges volt.

A vizsgálati módszer lehetőségeinek voltak korlátai, így például az előre meghatározott repedéskép, a kengyelek hatásának elhanyagolása, mégis adott olyan eredményeket, melyek további kutatási munkára ösztökéltek. Az eredmények közül az alábbiakat emeljük ki:

— repedésmentesség esetén a tartó rugalmas viselkedésének vizsgálatára alkalmas;
— adott helyzetű repedés esetén az acélban levő feszültségváltozás nyomon követhető;
— a nem-lineáris betonfeszültségek meghatározhatók;
— figyelemmel kísérhető volt a tartó repedezettségének hatása a tartó alakváltozására.

Egy későbbi részletesebb dolgozatban Ngo, Scordelis és Franklin [2] további eredményekről számol be. Ez esetben a kengyelek hatását is figyelembe vették. A kengyelek feszültségátrendező és elosztó hatása jól érzékelhető volt a megelőző kísérletekhez képest.

Nilson 1968-ban publikált dolgozata [3] Ngo és társai kutatásaira épült fel, oly módon továbbfejlesztve, hogy

— az acél és beton együttdolgozását Bresler és Bertero [4] „kihúzó" kísérleti eredményeire támaszkodva, nem-lineárisnak fogadta el;
— a nem-lineáris tapadóerő—relatív elmozdulás görbe pontjait kubikus polinommal írta le;
— a beton feszültségállapotát nem-lineáris változónak, biaxiálisnak vette fel;
— a tartó repedezettségének alakulását a főfeszültségek követésével javasolta.

Ha két szomszédos elem határán a nyúlási alakváltozáshoz tartozó húzófeszültség az előírt határértéket elérte, akkor a további terhelési lépések során ezen a helyen repedést tételezett fel. Ez azonban szükségessé tette a tartószerkezet hálózati felosztásának, így a rendszer geometriájának gyakori megváltoztatását. Ilyen esetben a tartót tehermentesíteni kellett és az új topológiai adatokkal megismételni a számítást. Az ismételt terhelésekből származó megváltozott feszültségeloszlás hatását elhanyagolta.

Franklin 1970-ben megjelent munkája [5] falpanel és keretszerkezet vizsgálatával foglalkozik.

Lényeges elemként jelenik meg munkájában az egyes elemi részek viselkedésének elbírálása. Elképzelése szerint az elemek azon főfeszültségi irányában, ahol a törőfeszültség (vagy törési alakváltozás) fellépett, az ez irányú merevséget megszünteti, és így tehermentesítés, valamint új geometriai adatok meghatározása nélkül folytatható a tartó további terhelése, illetve számítása.

Valliappan és Nath [6] szintén vasbeton szerkezeti elemek feszültségeinek változását kereste, rugalmas-plasztikus anyagviselkedés esetén. Az általuk javasolt számítási modellben az acél és beton tökéletes együttdolgozását javasolják.

McCutcheon, Mirza, Mufti és Spokowski [7] szintén kiterjedt kutatást folytatott. Az általuk használt modell főbb jellemzői megegyeztek a Nilsonnál szerepeltekkel, azzal a lényeges különbséggel, hogy repedés fellépésekor és az együttdolgozás megszűnésekor a számítási eljárás automatikusan folytatható. Spokowski későbbi [8] munkájában a repedés környezetében fellépő tehermentesítés hatását is figyelembe vette.

Vasbeton lemezek területén folytatott kutatást Jofriet és McNeice [9], valamint Bell és Elms [10].

A vasbeton lemez és héjszerkezetek esetén alkalmazható modellek más típusú megfogalmazását adja Lin [11], Schnobrich, Hand, Pecknold [12] és Berg [13]. Dolgozataikban ún. rétegzett nem-lineáris véges elem modellt alkalmaznak.

Feszített vasbeton reaktortartályok területén alkalmazható végeselem módszert mutatott be Rashid [14] munkájában.

Taylor, Herrmann, Romstad és Ramey munkája a [15], [16] a következő három főterületen vitte előbbre a kutatást:
— A feladat geometriai adatainak összeállítása, valamint a terhelés, illetve a repedések megjelenésekor végrehajtható automatikus változtatás lehetősége terén.
— Az anyagok jellemzése terén.
— A terhelési eljárás lefolytatása terén.

Fontosnak tartjuk a szerzők azon véleményét is, hogy jelen állapotban e módszer még a kutatás stádiumában van és elsősorban a kutatás eszközének kell tekinteni.

2.0 *A vizsgálat módszere*

2.1 *A véges elemek módszere*

A véges elemek módszere a kontinuum mechanikai problémákban előforduló szerkezetek erőjátékának meghatározását az eredeti szerkezet véges elemi részekre való felosztása, valamint a kapcsolódó csomópontok ismeretlen elmozdulásainak (vagy feszültségeinek) meghatározása útján végzi el. Tehát a végtelen elmozdulási szabadságfokkal rendelkező eredeti szerkezetből egy véges szabadságfokú közelítő szerkezetet alkotunk. A gondolat szülője Hrennikoff volt, aki rácsostartó analógiát alkalmazott síkbeli feszültségi problémák megoldására. A módszer továbbfejlesztésén az elmúlt 20 esztendőben igen sok kutató dolgozott. Ezek az erőfeszítések azonban csak a modern számítógépek egyidejű megjelenésével tették lehetővé a jelenlegi ismereteket.

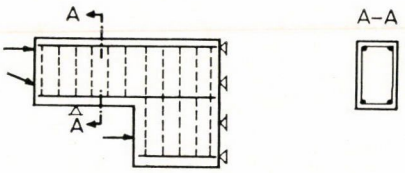
Az eddig végzett munkák és eredmények összefoglalására Zienkiewicz [17] vállakozott, aki enciklopedikus művében a módszer alapjait és széles körű felhasználását mutatja be.

2.2 *Vasbetonszerkezeti elemek modellezése a véges elemek módszerével*

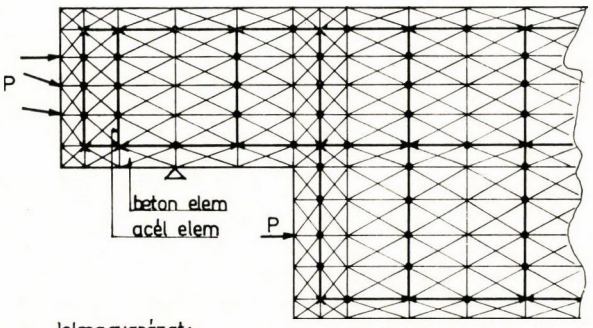
Általában a vasbetonszerkezeti elemek három dimenziósak, nem homogén, nem izotróp anyagúak. Továbbá a húzott zónák vasbetétekkel vannak ellátva, a nyírási biztonság elérése végett kengyeleket is helyezünk el. A beton általános jellemzője, hogy tulajdonsága pontról pontra változik, sok esetben véletlenszerűen, és a mikrorepedések már terheletlen állapotban is jelen vannak. Látható tehát, hogy igen összetett fizikai tulajdonságokkal rendelkező szerkezeti elem modelljét kell megalkotnunk. A valóságot tökéletesen tükröző modell megalkotására ismereteink még nem elegendőek, de a már most rendelkezésünkre álló adatok birtokában a következő tulajdonságokkal rendelkező véges elem modellt tudjuk felállítani:

A valódi szerkezet jellemzői:	A helyettesítő modell jellemzői:
a) Az elem térbeli kiterjedtségű.	*a)* Síkbeli feszültségi állapottal rendelkező szerkezeti elem esetén kétdimenziósnak fogadjuk el.
b) Az anyagösszetevők nem homogének.	*b)* Homogén anyagú komponensek.
c) A beton nem izotrop.	*c)* A betont izotrop, illetve orthotrop tulajdonságúnak tekintjük.
d) Repedés következtében a szerkezeti elem geometriai jellemzői véletlenszerűen változnak.	*d)* Repedések megjelenése a főhúzófeszültségre merőleges irányban lehetséges.
e) A beton és acél betét közötti tapadás és relatív elmozdulás (slip) folyamatos.	*e)* Diszkrét pontonkénti érintkezés, rugók útján.
f) Zsugorodás, lassú alakváltozás hatása a szerkezetre.	*f)* E tulajdonságok modellezését jelen esetben figyelmen kívül hagytuk.

Megjegyezzük, hogy a jelenlegi modellek tökéletesítését több kutatóhelyen vették tervbe. Így erőfeszítések történtek térbeli feszültségű állapotú véges elemek alkalmazására. Próbálkozások folynak a repedésképet jobban követő, és a program futása során kevesebb bonyolultságot jelentő „rugalmasabb" geometriai hálózat alkalmazásával. A nem homogén anyagú komponensek figyelembevétele a szerző további tervei között szerepel.



1. ábra



Jelmagyarázat:

\+ beton elemek osztáspontjai (csomópontjai)
• ahol még plusz egy acél elem csomópontja is van
× ahol még plusz két acél elem csomópontja is van

2. ábra

A következőkben vizsgáljuk meg a szerkezeti elem véges elemekre való felosztásának módját és az egyes elemek jellemzését.

Tekintsük az 1. ábrán megadott tartószerkezetet mint tipikusat, mely a síkjában terhelt szerkezeti elemek között előfordulhat.

A szerkezeti elem véges elem szerinti felosztását a 2. ábrán láthatjuk.

A felosztás három, kinematikailag és geometriailag hasonló elemre történik:

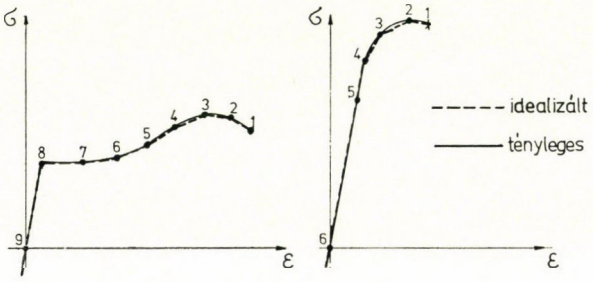
— a síkbeli háromszög alakú beton elemekre,
— a rúd alakú acél elemekre,
— az acél és beton együttdolgozását szimuláló dimenzió nélküli rugó elemekre.

Valójában a beton, az acél és rugó elem geometriai helyzete azonos, de csomóponti számozást illetően mások, és így topológiailag különböző csomópontként kezelendő. A csomópontok geometriai adatai mindig a betonelem geometriai adataival egyeznek meg.

2.3 *Anyagjellemzők*

2.31 *Az acél jellemzői*

A felhasználásra kerülő acélok mechanikai tulajdonságai jól definiálhatók. A 3. ábra tipikus feszültség-alakváltozás diagramot mutat, lágy és nagyszilárdságú acél esetében. Mindkét görbe egydimenzionális, lineáris és nemlineáris szakaszai bizonyos pontokon megadott alakváltozás és feszültség értékekkel követhetők. Az acélra jellemző Poisson-szám 0,30 körül vehető fel, mely a terhelés különböző fázisaiban állandónak tekinthető. Ez elhanya-



3. ábra

golhatóan kis hibát eredményez, hiszen az acél tualdjonságai a teher jelentős szakaszán azonosak és rugalmas viselkedést mutatnak. Feltételezhető, hogy a húzáson kívül fellépő hajlítás nem okoz jelentősebb eltérést a rugalmassági modulus értékében. Bizonyos plusz értékek figyelembevétele lehetséges a bebetonozott és szabadon álló acél betéttel végzett szakító kísérletek alapján Jelentősebb „merevítést" a beton az első repedés bekövetkeztéig nyújt, onnan ez a hatás aránylag gyorsan csökken. Dolgozatunkban a rugalmassági mátrix tényezőit a megadott pontok közötti lineáris interpolációval nyertük.

2.32 *Az acél és a beton együttdolgozásának jellemzése*

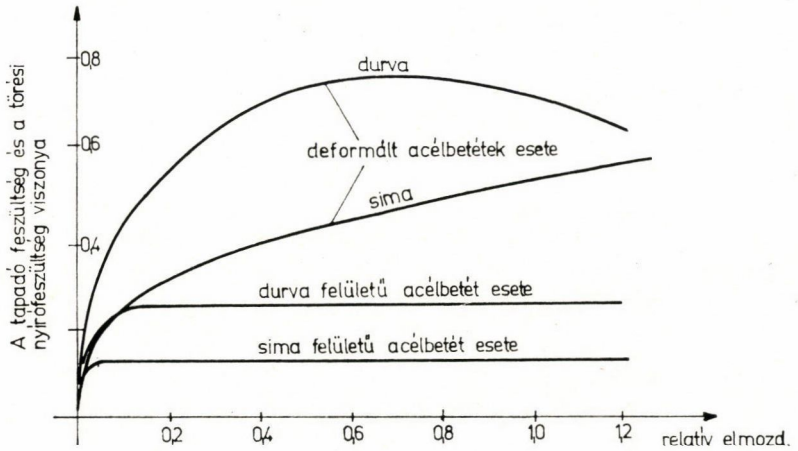
Az acél és a beton együttdolgozását a két elem közötti tapadás teszi lehetővé. A tapadás felfogható nyíró- és normál feszültségként vagy erőként, mely közvetlenül a beton és acél érintkezési felületén alakul ki. E tapadás által vihető át az erő az acélból a betonra, illetve fordítva. A tapadást három tényező idézi elő, úgymint

— a kémiai adhézió,
— a súrlódás, valamint
— a beton és acél mechanikai egymásrahatása.

Az egyes tényezők jelentősége nem egyforma. A tapadást elsősorban a kémiai adhézió és súrlódás hozza létre. A tapadás mechanikai egymásrahatás útján való kialakulásához az acél betét deformálódása szükséges, mely csak jelentősebb alakváltozásoknál következik be. Ilyenkor az acélbetétek környezetében levő beton már roncsolódott, fellazult, kémiai adhézióról egyáltalán nem és súrlódási tapadásról is csak másodrendűen lehet beszélni. A tapadás kialakulásában közreműködő tényezők jelentősége tehát a teher külön-

böző fázisaiban más és más. A véges elem modellel történő számításhoz azonban szükséges az együttdolgozás minőségi jellemzésén túl a tapadás számszerű értéke is, amely a repedések tágasságára, távolságára, a beton feszültségek megoszlására nagy hatással van.

Számos kutató foglalkozott a tapadó feszültség megoszlásának mérésével. Watstein [18] a kísérleti elem külső felületétől az acélbetétig hagyott lyukakon keresztül mérte az acélbetét alakváltozását. Mains [19] az acélbetétekhez igen közel eső betonrétegekben mérte a beton alakváltozásokat, és az acélbetéteken kialakított üregekben elhelyezett nyúlásmérőkkel az acél alak-



4. ábra

változását. Rehm [20] kihúzó kísérleteket folytatott speciálisan kialakított acélbetétekkel. Későbbi kísérleti eredményeit ismertető dolgozatában [21] az acélbetét felületének, a beton minőségének, az acélbetét elhelyezkedésének hatásával foglalkozik. A felállított differenciálegyenlet megoldásának eredménye a 4. ábrában foglalható össze.

Vizsgálatokat végzett Gergely és Lutz [22] is. A kémiai adhéziós feszültségre 20 kp/cm² értéket kaptak. A zsugorodásból származó, az acélbetét tengelyére merőlegesen működő nyomófeszültség 4—6 kp/cm²-re vehető. Felhívták a figyelmet arra is, hogy az acélbetét és beton közötti relatív elmozdulás létrejötte előtt a beton és acél egymástól eltérő Poisson-száma miatt jelentős, az acélbetét tengelyére merőlegesen működő húzófeszültség keletkezik. Az utóbbi időben Wahla [23] és Tanner [24], valamint Nilson [25] dolgozata foglalkozik kísérleti és arra alapított elméleti eredmények leírásával. Továbbiakban a Nilson által javasolt összefüggéseket ismertetjük.

2.321 *A tapadófeszültség meghatározása*

A véges elem számítási modellnek tükröznie kell az együttdolgozást. Ez kétféle módon valósítható meg. Az egyik esetben az acélbetétet képzeletben átalakítjuk egy tartószélességű réteggé, melynek anyagtulajdonságai a betontól eltérőek, és a számítást különböző anyagjellemzőjű elemekből álló tartón

végezzük. Ekkor lényegében tökéletes együttdolgozást tételezünk fel. E modellt elsőként Bertero és Bresler [26] javasolta, mely több dolgozatban is felhasználásra került.

A másik esetben diszkrét rugós kapcsolatot hozunk létre, melyet Ngo [1] javasolt. Ez esetben a kísérleti eredményekkel jobban egyező modellt nyerünk, amely lehetővé teszi, hogy a tapadó feszültségeket a relatív elmozdulás függvényében határozzuk meg.

A tapadófeszültség felírható a működő erő dx menti differenciális megváltozásából is:

$$\tau = \frac{\mathrm{d}P}{k\,\mathrm{d}x} = \frac{F_s\,\mathrm{d}\sigma}{k\,\mathrm{d}x}.$$

A feszültségváltozás pedig arányos az alakváltozással:

$$\tau = \frac{F_s E_s}{k} \cdot \frac{\mathrm{d}\,\varepsilon_s}{\mathrm{d}x},$$

ahol ε_s az acélbetét megnyúlása. Így tehát a tapadó feszültség bármely pontban, bármely tehernél arányos az acél rugalmassági modulusának értékével, és az alakváltozás megoszlásával.

Az acélbetét tengelyére merőleges irányú tapadó feszültség meghatározásával viszonylag kevesen foglalkoztak. A kísérleti és elméleti kutatások szerint ez irányú tapadó feszültség értéke kicsi, megjelenése és fellépése a tartó nagy alakváltozásainál következik be. Ezért értékét vizsgálatunkban zérusnak tekintettük.

2.322 *A relatív elmozdulás számítása*

A relatív elmozdulás meghatározásához szükséges ismerni az acélbetét és beton alakváltozását. A relatív elmozdulás értéke

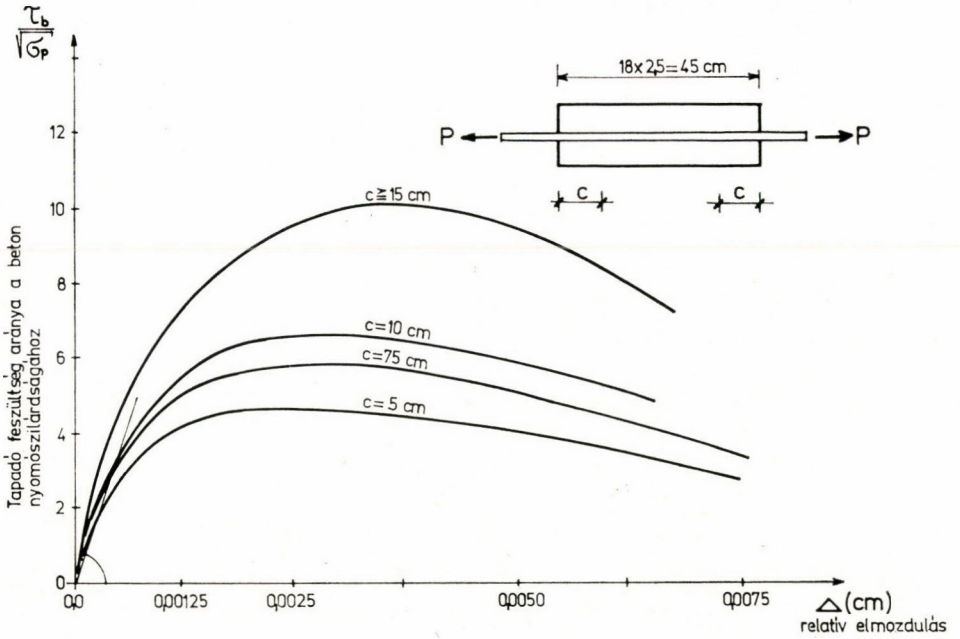
$$\Delta = \int_a^b \varepsilon_t\,\mathrm{d}x - \int_a^b \varepsilon_b\,\mathrm{d}x$$

összefüggésből számítható. A kísérleti eredményekből a fentiek alapján az 5. ábra nyerhető.

Mintaszámításainkban az 5. ábra alapján határoztuk meg a tapadás—relatív elmozdulás összefüggéseket, melyeket a horizontális rugómerevség meghatározásánál felhasználtunk.

2.33 *A beton jellemzői*

Egytengelyű vizsgálatok beton esetében mind nyomás, mind húzás esetében nagy számban állnak rendelkezésre. Ezek a vizsgálatok megmutatták, hogy a beton húzás esetében lényegében lineárisan, és nyomás esetében nemlineárisan viselkedik. A kísérleti eredmények — alakváltozások és feszültségek — igen széles tartományban mozogtak, azonos vizsgálati körülmények és próbatestek esetén is. A törvényszerűségek matematikai megfogalmazására többen is vállalkoztak, az eredményekről kitűnő összefoglaló található Popovics [27] munkájában.



5. ábra

A beton biaxiális feszültség állapotának vizsgálatát már jóval kisebb számban végezték el, mely részben a kísérletek végrehajtásához szükséges bonyolult technikai eszközök nagy költségével is indokolható. A legtöbb kutatás a kéttengelyű feszültség állapot esetében fellépő törőfeszültség értékéről számol be. Az utóbbi időben megjelent dolgozatokban találhatunk deformáció mérési eredményeket is.

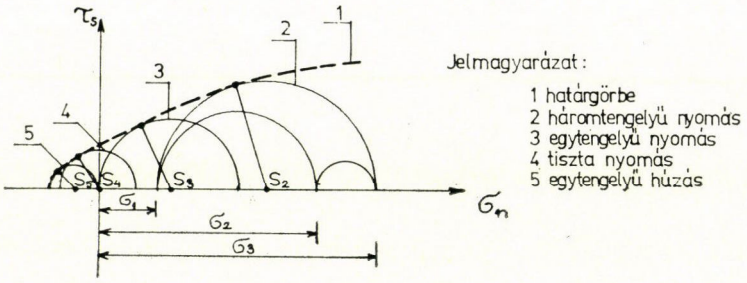
2.331 *Klasszikus folyási, illetve törési elméletek*

Ezek részletes ismertetését megtaláljuk [28]-ban. Itt mindössze címszerinti felsorolásukat adjuk meg:

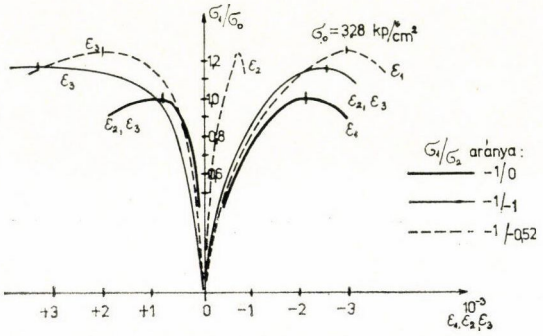
- A maximális főfeszültségek elmélete (Rankine).
- A maximális főalakváltozások elmélete (St. Venant).
- A maximális nyírófeszültségek elmélete (Tresca, Mohr, Guest).
- A belső súrlódás elmélete (Coulomb).
- Mohr elmélete. (Vasbeton anyag esetén gyakran alkalmazott. Lásd 6. ábra.)
- Energia elméletre alapított törési feltétel (Huber, Mises, Hencky).

2.332 *Néhány fontosabb kéttengelyű vizsgálat ismertetése*

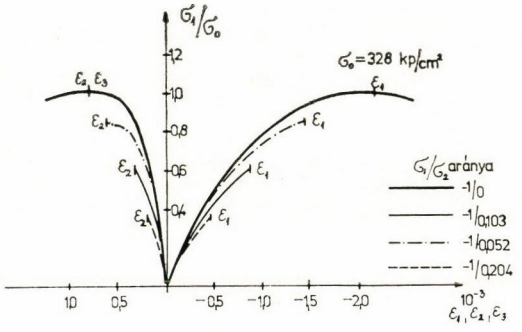
Részletes vizsgálati eredményekről számol be Kupfer, Hilsdorf és Rüsch [30]. Véleményünk szerint azon kéttengelyű vizsgálatok eredményei, melyek sok esetben 40—50%-os feszültségnövekedést mutattak az egytengelyű vizsgálati értékekhez képest, nem reálisak. Rámutatnak arra, hogy a síkbeli



6. ábra



7. ábra. Beton feszültség-alakváltozás kéttengelyű nyomás esetén

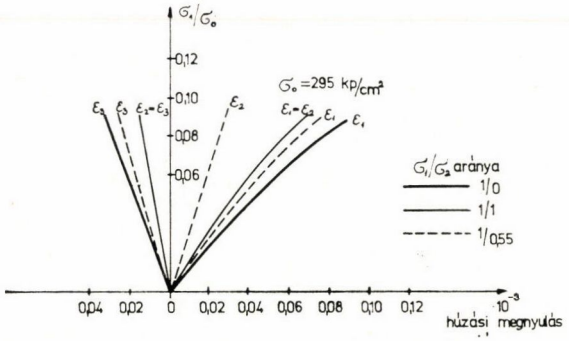


8. ábra. Beton feszültség-alakváltozás húzás és nyomás esetén

feszültség állapot létrehozásához speciális próbatestekre és komplikált technikai berendezésre van szükség. A terhelőfej környezetében kialakuló térbeli feszültségállapot elkerülhető a terhelés síkjában merev, de arra merőlegesen nagyon hajlékony terhelőfejjel. A kísérletükben felhasznált próbatest tárcsa alakú volt, 20×20 cm-es oldalméretekkel és 5 cm vastagsággal. Ilyen terhelőfej és próbatest esetében az erőátvitel környezetében, illetve síkjában a beton alakváltozások akadálytalanul lejátszódhatnak. Kutatásaik szerint az egytengelyű terheléssel nyert feszültségi értékhez képest mintegy 10—15%-os szilárdságnövekedés várható. A 7., 8. és 9. ábrák Kupfer, Hilsdorf és Rüsch

kísérleteiből nyert feszültség-alakváltozási értékeket mutatják. Az általuk vizsgált próbatestek betonminősége azonos volt. Az eredmények általánosításánál ezt célszerű figyelembe venni.

Széles körű kutatást folytatott a kéttengelyű feszültségállapot vizsgálata terén Slate, Nilson, Lin [31]. A $12{,}5 \times 12{,}5 \times 1{,}25$ cm méretű próbatesteket $\sigma_1/\sigma_2 = 0{,}0$, 0,2, 0,5 és 1,0 főfeszültségi arányok mellett vizsgálták, különböző összetételű betonok esetén.



9. ábra. Beton feszültség-alakváltozás kéttengelyű húzás esetén

Tipikus feszültség-alakváltozás értékeket mutat a 10. ábra. A különböző betonok esetén nyert ábrák alakilag megegyeznek, a mérési eredmények eltérnek. Az ábrákon megfigyelhető, hogy adott σ_1/σ_0 érték esetén például az egyirányú alakváltozás ε_1 értéke kisebb a szokásosnál a σ_2 feszültség jelenléte miatt. A $\sigma_2/\sigma_1 = 1$ esetben ez a csökkenés ε_1-nél mintegy 30—40%-os ha azt az egytengelyű vizsgálati eredményekhez hasonlítjuk. Homogén rugalmas anyag esetén az $\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \nu\frac{\sigma_2}{E}$ összefüggés érvényesül, miszerint beton esetén az alakváltozás csökkenés kb. 20%-os. A nagyobb alakváltozási redukció okát a kutatók a beton inhomogenitásának és a mikrorepedések jelenlétének tulajdonítják. A vizsgálat eredményeit a kutatók a szokásos biaxiális feszültségi diagram határvonalának megadásával (11. ábra) és az ezt jól közelítő egyszerűsített matematikai függvény felírásával zárták le. Ezek szerint:

$$\sigma = \frac{\varepsilon E}{(1 - \nu\alpha)\left[1 + \left(\frac{1}{1 - \nu\alpha}\frac{E}{E_s} - 2\right)\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_p}\right) + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_p}\right)^2\right]}, \qquad (1)$$

ahol σ és ε a feszültség, illetve alakváltozás értéke,

ν a Poisson-szám,

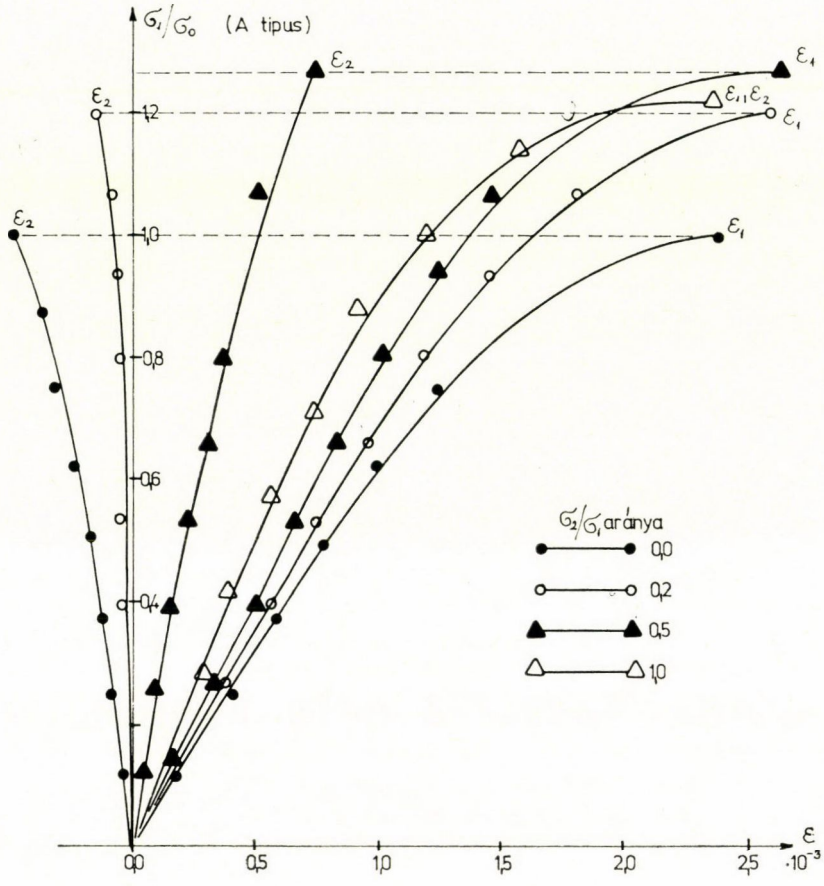
E a kezdeti rugalmassági modulus egytengelyű nyomás esetén,

$\alpha = \sigma_2/\sigma_1$, ill. σ_1/σ_2 főfeszültségi arány,

σ_p a beton törőfeszültsége kéttengelyű nyomás esetén,

ε_p a beton törési összenyomódása kéttengelyű nyomás esetén,

$E_s = \sigma_p/\varepsilon_p$ a törőteher rugalmassági modulusa.



10. ábra

2.333 *Az általánosított Hook-törvény síkbeli feszültségi állapot esetén*

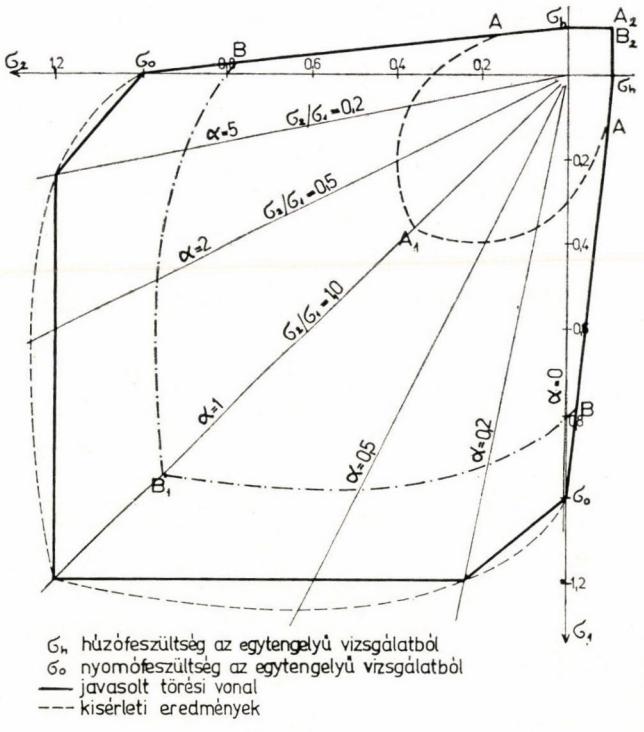
Anizotrop anyagok esetében a feszültség és alakváltozás közötti összefüggés általános formája

$$\{\sigma\} = [D_g]\{\varepsilon\}, \tag{2}$$

ahol $[D_g]$ szimmetrikus matrix és 6 egymástól független nem zérus elemű konstanst tartalmaz. A $[D_g]$ rugalmassági mátrix izotrop és orthotrop anyagok esetében 3×3 alakra egyszerűsödik.

Konstansok meghatározása egytengelyű vizsgálatokból (a.) eset)

Ha a rugalmassági mátrixot izotrop anyag esetére írjuk fel és a konstansokat egytengelyű feszültség vizsgálatokból határozzuk meg, a következő



11. ábra

alakot nyerjük:

$$[D_i] = \frac{E_1}{1 - \nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{1-\nu}{2} \end{bmatrix}. \tag{3}$$

A beton izotrop viselkedését általában a rugalmas tartományban tételezhetjük fel. A terhelés növelése során az anyag nyilvánvalóan más és más irányban eltérő módon viselkedik, vagyis anizotrop. Mivel anizotrop anyagtörvények betonra nem ismertek, ezért azzal a feltevéssel élünk, hogy az anizotrópia csak kétirányú, és ez megegyezik a főfeszültségi tengelyek irányával. Az anizotrópia ezen esetét orthotropiának nevezzük. Ez esetben három független konstans — úgymint E_1, E_2, ν_{12} — szerepel a $[D_o]$ mátrixban:

$$[D_o] = \frac{E_1}{1 - \nu_{12}\nu_{21}} \begin{bmatrix} 1 & \nu_{12} & 0 \\ \nu_{21} & E_2/E_1 & 0 \\ 0 & 0 & \sqrt{\dfrac{1}{4}\dfrac{E_1}{1+\nu_{12}}\dfrac{E_1}{1+\nu_{21}}} \end{bmatrix}.$$

Konstansok meghatározása biaxiális vizsgálatokból (b.) eset)

Ha a rugalmassági mátrix konstansait a kéttengelyű vizsgálatokból kívánjuk meghatározni, akkor az (1) egyenletből kell kiindulni. A konstansok meghatározásához ismerni kell az ε_1 és ε_2 főirányú alakváltozásokat, illetve belőlük számítható E_1 és E_2 értékeket. Ezzel tulajdonképpen azt tételeztük fel, hogy E_1 csak ε_1-től és E_2 csak ε_2-től függ. A feszültségek egymára hatása azonban nemcsak a Poisson-szám mértékében érvényesül, mely egytengelyű vizsgálatok segítségével történő rugalmassági modulus meghatározás esetén el is fogadható, de biaxiális kísérletek-esetén nem. Itt ugyanis a merevség nagyobb arányú csökkenését tapasztalták, és így az E_1, E_2 értékének csökkentése javasolható. Eszerint:

$$[D_o] = \begin{bmatrix} \lambda' \dfrac{E'_{1b}}{E'_{2b}} & \lambda' \nu_{12} & 0 \\ \lambda' \nu_{12} & \lambda' & 0 \\ 0 & 0 & \dfrac{E'_{1b}\, E'_{2b}}{E'_{1b} + E'_{2b} + 2E'_{2b}\, \nu_{12}} \end{bmatrix}, \tag{5}$$

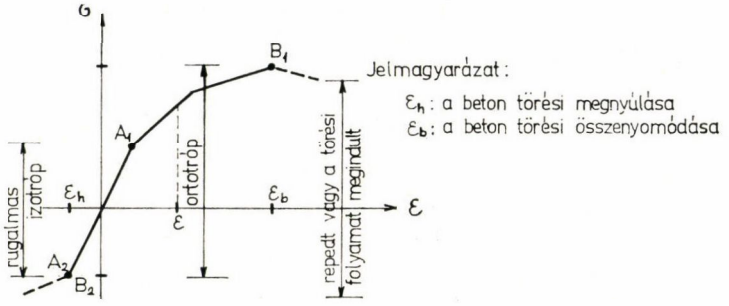
ahol $\lambda' = \dfrac{E'_{1b}}{(E'_{1b}/E'_{2b} - \nu_{12}^2)}$ és az (1) egyenlet differenciálásából nyert értéket $(1 - \nu\alpha)$-val szorozva nyerjük $E'_{1b} - t$:

$$E'_{1b} = \frac{E\left[1 - \left(\dfrac{\varepsilon_1}{\varepsilon_p}\right)^2\right]}{\left[1 + \left(\dfrac{1}{1 - \alpha_1 \nu_{12}} \dfrac{E}{E_s} - 2\right)\left(\dfrac{\varepsilon_1}{\varepsilon_p}\right) + \left(\dfrac{\varepsilon_1}{\varepsilon_p}\right)^2\right]^2}, \tag{6}$$

E'_{2b} értékét (6) alapján az 1 indexű tagok felcserélésével nyerjük.

2.334 *A merevség jellemzése a terhelés folyamán és a törési feltételek megfogalmazása*

A teher növelésével a tartó különböző pontjaiban más és más alakváltozási és feszültségi állapot van, így az egyes elemek merevségére jellemző rugalmassági modulus értékek is más és mások. A feszültségi állapot változása és annak jellegzetes szakaszai a $\sigma - \varepsilon$ görbén (12. ábra), valamint jellegzetes



12. ábra

területi részei a biaxiális feszültségi diagram által kifeszített felületen (11. ábra) bejelölhetők. E jellegzetes szakaszokhoz, illetve felületrészekhez speciális elemtípusok rendelhetők. Feladatunk a számítás során az egyes szakaszokra érvényes rugalmassági modulus megállapítása az alakváltozások függvényében.

A számítás gyakorlati végrehajtása az előző pontban ismertetett rugalmassági mátrix értékeinek meghatározásával történik. Erre ott két lehetőséget ismertettünk, az

a) esetben, amikor a rugalmas konstansokat az egytengelyű vizsgálatokból nyerjük, a sok kísérleti eredmény birtokában jól kipróbált úton haladunk, illetve a

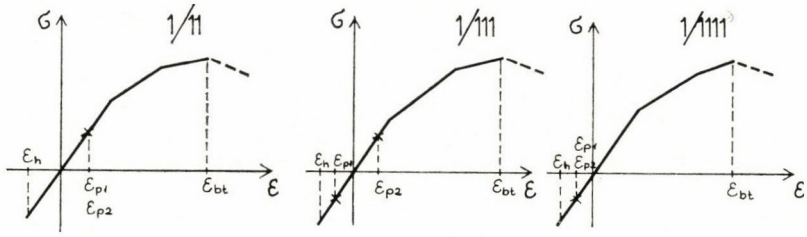
b) esetben, amikor a rugalmas konstansokat a legújabb biaxiális vizsgálatok eredményeire támaszkodva határozzuk meg, a valóságos helyzetet jobban megközelítő értékeket nyerünk.

Elemtípusok

A feszültség alakváltozási görbéket multilineárisan közelítjük, a kívánt pontosság a megadott pontok számának növelésével elérhető. A számítás lépéseit mind az *a)*, mind a *b)* esetre vonatkozóan közöljük.

1. típus:

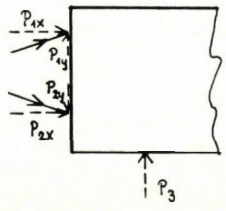
a) eset: Ha mindkét főirányú alakváltozás a $\sigma - \varepsilon$ görbe rugalmas tartományán helyezkedik el (13. ábra). A rugalmassági mátrixot $[D]$ a (3) egyenlet szolgáltatja.



13. ábra

I. táblázat (lásd 312. oldal)

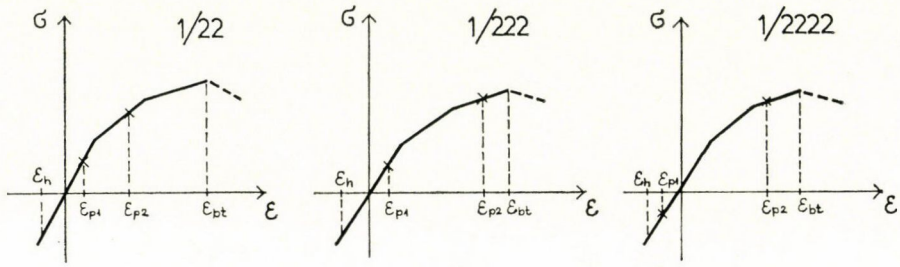
Teherlépcső	P_{1x} (kp)	P_{1y} (kp)	P_{2x} (kp)	P_{2y} (kp)	P_3 (Mp)	Terhek elrendezése
1	10 389	453	10 024	— 2 689	00	
2	15 561	681	15 024	— 4 034	00	
3	18 160	796	17 504	— 4 712	2 248	
4	20 760	912	20 004	— 5 392	4 496	
5	23 360	1028	22 504	— 6 072	6 744	
6	25 960	1144	25 004	— 6 752	8 992	
7	28 560	1260	27 504	— 7 432	11 240	
8	31 160	1376	30 004	— 8 112	13 488	
9	33 772	1493	32 518	— 8 793	15 743	
10	36 361	1609	35 124	— 9 473	17 992	
11	38 961	1625	37 524	—10 153	20 241	
12	41 561	1841	40 024	—10 883	22 490	



b) eset: Ha az alakváltozásoknak megfelelő feszültségek a biaxiális feszültségi diagramon (11. ábra) bejelölt $\overline{A\,A_1\,A\,A_2}$ tartományba esnek. Az itt előforduló alakváltozási értékeket a 13. ábra mutatja, és rugalmas mátrix kifejezésére az (5) egyenlet érvényes.

2. típus:

a) eset: Akkor fordul elő, ha legalább egyik alakváltozási érték a lineáris tartományon kívül esik (14. ábra). A rugalmas mátrix meghatározása a (4) jelű egyenlettel történik.



14. ábra

b) eset: A biaxiális feszültségi diagram (11. ábra) $\overline{B\,B_1\,B\,B_2}$ tartományáról van szó. Ismét megrajzolhatók a $\sigma-\varepsilon$ ábrák (14. ábra).

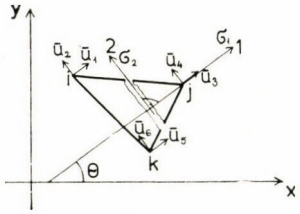
3. típus:

Az eltérés a 2. típushoz képest annyi, hogy a matematikai értelemben vett kisebb alakváltozás (ε_{p2}) értéke túllépte az egytengelyű nyomásra megadott határértéket (ε_{bt}), de az elem törésének bekövetkezését — tehát a teherviselésből való kizárását — még sem írjuk elő, mert a valóságban sem ez történik, hiszen a környező elemek „megtámasztást" nyújtanak.

4. típus:

Ha a húzófeszültség értéke az előírt határértéket túllépte, vagyis alakváltozásokra a $\varepsilon_{p1} > \varepsilon_h$ reláció áll fenn, akkor az elem megreped, feltételezésünk szerint a főhúzófeszültség irányára merőlegesen (15. ábra).

Ez esetben az elem az 1 tengely irányú merevségét elveszti, így $E_1 = 0$, a másik irányban pedig ε_{p2} értékének felhasználásával határozhatjuk meg E_2-t.



15. ábra

Az *a)* esetben

$$[D] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & E_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \tag{7}$$

A *b)* esetben szintén (7) egyenlet használható, de $E_2 = E'_{2b}$ értéket a (6) egyenletből számítjuk.

Az esetben, ha a teher további növelése a másik irányban is húzófeszültségeket ébreszt és ezek a határértéket túllépik, az elem mindkét irányú repedése bekövetkezett, tehát húzási törés állt elő.

Az előbbi felsorolásból a törési feltételeket szeretnénk ismételten kihangsúlyozni.

a) esetben

a törés bekövetkezését a húzási határ alakváltozások mindkét irányú túllépése jelenti. Ezt az egytengelyű vizsgálatokból leszűrhető tapasztalatok is alátámasztják, miszerint a törés a legtöbb esetben a beton húzófeszültségének kimerülése miatt áll elő.

b) esetben

a kéttengelyű feszültség vizsgálatokból nyerhető burkoló görbe és felület határainak túllépése esetén következik be a törés.

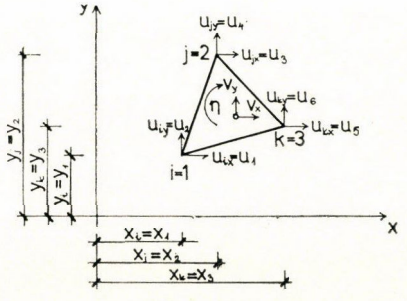
2.4 *Az alkalmazott véges elemek jellemzése*

Mint már az előző pontban említettük, a tartószerkezet kontinuum típusú betonelemek és rúd típusú acél, ill. rugó elemekre osztható fel.

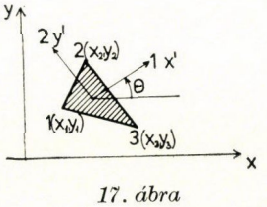
2.41 *Betonelemek*

Az elem alakja rendszerint háromszög vagy négyszög. A gyakorlati alkalmazások bizonyították, hogy a négyszög alakú elemek jobb eredményeket szolgáltatnak. A háromszög elemek célszerűbben alkalmazhatók irreguláris kerület esetén. A típus tanulmányokra Fellippa [32] dolgozata szolgál útmutatásul.

Dolgozatunkban konstans alakváltozási viszonyokkal rendelkező elemeket alkalmaztunk (16., 17. ábra). Ezeket „elemi" szinten 4 db háromszög elem



16. ábra



17. ábra

összegzésével négyszög elemmé alakítottuk és a közbenső csomópontot eliminnáltuk. A konstans alakváltozású elem melletti döntést indokolja, hogy

— kívánatos mennél kisebb méretű elemeket alkalmazni, és így a helyi feszültségcsúcsokra — melyek rendszerint repedéssel járnak — minél jobban reagálni;

— konstans alakváltozású elem esetén a feszültségállapot is konstans, és nem léphet fel lokális folyás, mely az amúgy is komplikált törési feltételeket tovább bonyolítaná.

Elmozdulási paraméterként csomópontonként két egymásra merőleges eltolódást választottunk.

A háromszög elem bármely pontjának az elmozdulása:

$$\{v(x, y, z)\} = [N_e(x, y, z)]\,\{u_e\}. \tag{8}$$

A lineáris elmozdulás függvények:

$$\begin{aligned} v_x &= C_1 x + C_2 y + C_3\,, \\ v_y &= C_4 x + C_5 y + C_6\,. \end{aligned} \tag{9}$$

Az alakváltozás pedig a következő:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} y_{32} & 0 & -y_{31} & 0 & y_{21} & 0 \\ 0 & -x_{32} & 0 & x_{31} & 0 & -x_{21} \\ -x_{32} & y_{32} & y_{31} & -y_{31} & -x_{21} & y_{21} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \\ u_5 \\ u_6 \end{Bmatrix}. \tag{10}$$

Az elem merevségi mátrixa általánosságban:

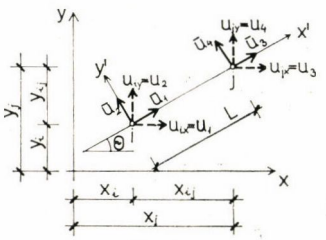
$$[k_e] = t \iint_F [B_n]^T\ [D]\,[B_n]\,\mathrm{d}x\,\mathrm{d}y, \quad \text{vagyis}$$

$$[k_e] = tA\,[B_n]^T\ [D]\,[B_n]\,. \tag{11}$$

Az összefüggésekben A-val a háromszög elem területét jelöltük.

2.42 *Acélelemek*

Az acélelemek oly gerenda elemként foghatók fel, melyek tengelyük irányában és arra merőlegesen vannak terhelve, így a csomóponti elmozdulási paraméterek száma kettő (18. ábra).



18. ábra

Az acélbetétet mint kontinuumot kezelni és azt 2 háromszög elemmé felosztani nem célszerű. Részben nagyban növeli az elemek számát, másrészt az így nyert nyújtott formájú háromszög esetén pontatlan eredmények adódnak.

A gerendaelem elmozdulási függvény

$$u(x') = c_7 x' + c_8 . \tag{12}$$

Az alakváltozási mátrix értéke:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{x'} \\ \varepsilon_{y'} \end{Bmatrix} = \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{Bmatrix}. \tag{13}$$

A rugalmassági mátrix egy dimenziós elem esetén valójában egy taggá redukálódik,

$$[D_s] = \begin{bmatrix} E_s F & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

A merevségi mátrix kifejezése:

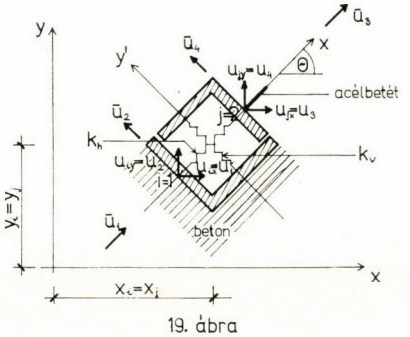
$$[k_s] = \int_0^l [B_s]^T [D_s] [B_s] \, \mathrm{d}x. \tag{14}$$

Az acél rugalmassági modulusa E_s a feszültség állapotnak megfelelően választandó meg. F az acélbetét keresztmetszeti területe.

2.43 *Rugó elemek*

Az acél és beton együttdolgozását az acélbetét tengelyirányában és arra merőlegesen elhelyezett rugó elemekkel szimuláljuk (19. ábra).

A kapcsoló rugók az acél és beton relatív elmozdulását megengedik. A rugó elemeket dimenzió nélkülieknek tételezzük fel, hiszen ezeknek elsősorban mechanikai jellemzőjük, a rugó merevsége, fontos számunkra. A relatív elmozdulás meghatározásához viszont két csomópont bevezetése szükséges. Mint ismeretes, a rugóban keletkező erő arányos az elmozdulással és merev-



19. ábra

séggel. Legyen a tengely irányú rugó merevsége k_h és az arra merőleges k_v, akkor a keletkező erő a lokális rendszerben,

$$\begin{Bmatrix} P_{x'} \\ P_{y'} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_h & 0 \\ 0 & k_v \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{u}_3 - \bar{u}_1 \\ \bar{u}_4 - \bar{u}_2 \end{Bmatrix} . \tag{15}$$

$$\{P_{x'y'}\} = [k]\,\{\Delta\bar{u}\} .$$

Mindhárom elemet a lokális koordinátarendszerben tárgyaltuk. Globális koordinátarendszerben való felhasználásuk esetén a megfelelő transzformációról gondoskodni kell.

Eddigiekben nem szóltunk még a rugó merevségének értékéről. Jelen esetben értéke a környező beton tapadásától függ. Ahhoz, hogy a rugóban erő keletkezzék, az i és j csomópontnak egymáshoz képest el kell mozdulni. Az erő nagysága arányos a tapadás—relatív elmozdulási görbe érintőjének értékével (5. ábra).

Ez matematikailag annyit jelent, hogy $E_t = \dfrac{\mathrm{d}\tau}{\mathrm{d}u}$, [kp/cm]. Nyilvánvaló, az átvihető erő arányban áll az acélbetét fajlagos felületével is. Így a horizontális merevség:

$$k_h = E_t m \pi d. \tag{16}$$

Az összefüggésben m az acélbetétek darabszámát és d az átmérőjét jelenti.

A függőleges rugó merevség értékét (k_v) dolgozatunkban zérus értékűnek választottuk. Jelen pillanatban nincsenek megbízható értékek ennek a merevségnek a változásáról. Az eddigi kísérletek elsősorban a gerenda alsó húzott zónájában elhelyezett acélbetétek alatti betontakarás lehasításához szükséges erő értékét keresték [33, 34, 35]. Tehát a $P_y = k_v \cdot \Delta u$ egyenlet bal oldala ismeretes, és nincsenek ismereteink a k_v és Δu közötti összefüggés változásáról.

3.0 *Nemlineáris vizsgálat*

3.1 *Általános megjegyzések*

A szerkezet nem lineáris viselkedéséről beszélünk akkor, ha

a) az alkotó anyagot fizikailag jellemző $\sigma - \varepsilon$ értékek közötti összefüggés nem lineáris, azaz anyag tulajdonságból származik a nemlinearitás;

b) az alakváltozás és elmozdulás közötti összefüggések nem lineárisak, azaz geometriai nemlinearitás áll fenn.

Vasbetonszerkezetekben az elmozdulások általában kicsik, így a geometriai nemlinearitás nem számottevő. E kutatásban csak az anyag nem lineáris tulajdonságának hatását vesszük figyelembe.

A vasbetonszerkezet nemlineáris viselkedésének talán egyik legfontosabb oka a beton húzószilárdságának kicsi értéke, a húzott zónákon a repedések megjelenése. Ennek eredménye, hogy a teherviselésben részt vevő elemi betonrészek mennyisége folyton változik, vagyis a szerkezet teherbírására jellemző geometriai értékek (topológiai adatok) folyton változnak. E változás figyelembevételének egyik nyilvánvaló útja minden újabb repedés megjelenésénél a geometriai adatok megváltoztatása, így a véges elem osztások módosítása (Ngo, Scordelis, Nilson). A kísérleti kutatások azt is megmutat-

ták, hogy nemcsak a repedés, hanem annak nagysága, egymástól való távolsága és iránya jellemzi a valóságos viselkedést.

A számítás során nehézségeket okoz az egyenkénti repedések vizsgálata és ezeknek a véges elem osztásokra gyakorolt hatásának a gépi számítási programba való automatikus figyelembevétele. E helyett alternatív megoldásként a repedések hatását, az anyagjellemzőkben okozott változásokkal lehet követni, a változatlan elemosztásokon (topológiai rendszeren). Ez a módosítás viszont könnyen végrehajtható a program működése során. A dolgozatban ez utóbbi módszert alkalmaztuk. Az anyagjellemzők változását a repedések hatására az előző fejezetekben tárgyaltuk.

3.2 *Numerikus módszerek áttekintése*

A véges elemek esetében a szerkezet egyensúlyi állapota a következő egyenlettel írható le:

$$[K]\{u\} - \{P\} = \{0\}. \tag{17}$$

Nemlineáris anyagjellemzők esetén a $\sigma - \varepsilon$ közötti összefüggés

$$\mathrm{d}\{\sigma\} = [D(\sigma)]\,\mathrm{d}\{\varepsilon\}\,, \tag{18}$$

ahol $[D(\sigma)]$-t alkotó rugalmassági modulusok az elmozdulási, illetve feszültségállapot függvényei.

Tehát így a $[K]$ merevségi mátrix is az elmozdulási állapot függvénye:

$$[K(\{u\})]\{u\} - \{P\} = \{0\}\,, \tag{19}$$

$$[K]\,\mathrm{d}\{u\} - \mathrm{d}\{P\} = \{0\}\,. \tag{20}$$

A (20) egyenlet iterációs úton oldható meg a következő három módszer egyikével. Mindhárom módszer közös jellemzője, hogy az első iterációs lépésben $[K_0]$ a kezdeti merevségi mátrixot alkalmazza. A második iterációs lépéstől fogva alkalmazott merevségi mátrix szerint megkülönböztetünk

a) változó merevségi mátrix,

b) kezdeti feszültségi és

c) tangens merevségi (Newton– Raphson) módszert.

A leggyorsabb konvergenciát a tanges-módszer adja, míg a kezdeti merevségi módszer előnye, hogy minden iterációs lépésben azonos merevségi mátrix használható. A változó merevségi mátrix módszere könnyen programozható, viszont nagyobb gépidő felhasználást eredményez.

A hatásosság (gépi időben) figyelembevétele mellett, a módszerek alkalmazási lehetősége a rendelkezésre álló $\sigma - \varepsilon$ anyagtörvények (folyási jellemzők) miatt korlátozott.

Ha a megoldás függ attól, hogy ismételt terhelést alkalmazzunk (mint pl. beton esetében), akkor a teher fokozatos növelése kívánatos a vizsgálat során.

3.21 *Változó merevség módszere*

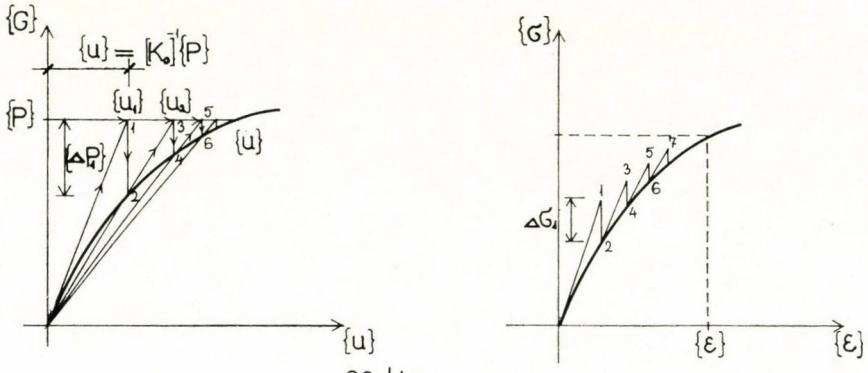
Az egyenlet megoldása során ezt a módszert alkalmaztuk. Legyen a rugalmassági mátrix $\{u\}$ függvénye: $[D(\{u\})]$, melyből következik, hogy a merevségi mátrix $[K(\{u\})]$ is az elmozdulás függvénye, így iteráció útján a következő egyenlet oldandó meg:

$$[K(\{u\})]\{u\} = \{P\}\,. \tag{21}$$

A megoldás során minden egyes tehernövekményre a teljes szerkezet egyensúlyának (elmozdulási rendszerének) vizsgálatát elvégezzük, míg a helyes (konvergens) megoldást megtaláljuk (20. ábra).

A követendő iterációs ciklust a VM jelű blokkdiagramban adtuk meg.

A programrészben megállapított j-dik teherlépcsőhöz tartozó főalakváltozások $\{\varepsilon_{p,j-1}\}$ és feszültségek $\{\sigma_{p,j-1}\}$.



20. ábra

Az $\{\varepsilon_{p,j-1}\}$ értékből nyerhetők az összetartozó rugalmas modulus értékek (figyelemmel az elem esetleges típusváltozására is). Megfelelő E_i és ν_i után a $[D]$ értékek számíthatók és

$$[K(\{u_i\})] = \Sigma\,[R]^T\,[B]^T\,[D]\,[B]\,[R]\,.$$

Az egyenletben $[R]$ a transzformációs mátrix, a többi betű jelentése az előzőkből ismert. Az adott teherlépcsőhöz tartozó iterációs ciklus a helyes eredmény megtalálásáig ismételhető. Az alakváltozási növekmény $\{\Delta\varepsilon_j\} = \{B_j\}\,\{u_j\}$, és az összegzett érték:

$$\{\varepsilon_j\} = \{\varepsilon_{j-1}\} + \{\Delta\varepsilon_j\}.$$

A módszer hátránya:

a) $[K]$ értéket minden iterációs lépésnél újból meg kell határozni és az egyenletrendszert megoldani;

b) a viszonylag lassú konvergencia, a helyes konvergencia kritérium megfogalmazása is nehéz.

A megoldás gyorsítása iterációs egyenlet megoldó eljárás alkalmazásával történhet.

4.0 *A gépi számítás programja*

4.1 *A programról általában*

A program Fortran-IV nyelven van írva. Jelenlegi mérete $140\,000_8$ szó központi memóriát igényel. Ebből a program változói mintegy $30\,000_{10}$ helyet kötnek le. E határon belül a jelenlegi dimenzió méretek, összhangban a feladat egyéb paramétereivel, megváltoztathatók.

A program kidolgozása és a számpéldák futtatása a zürichi Műszaki Főiskola (ETHZ) Számítóközpontjában, CDC-6400/6500 típusú digitális számítógépeken történt.

4.2 *A tartószerkezet idealizálása a számításhoz*

A 2. fejezetben leírtak alapján a következőképpen járunk el. A választott tartószerkezetet felosztjuk elemi háromszögekre. E hálózat megválasztásánál a következőkre kell tekintettel lennünk:

— a hálózat minél sűrűbb legyen;
— a hálózat kialakításánál alkalmazkodnunk kell a szerkezet vasvezetéséhez;
— adatbevitel egyszerűsítése céljából igyekezzünk azt minél szabályosabb elemekből felépíteni.

Példaként a 21. ábra szolgál. Ezen a szerkezet felosztása, a csomópontok, illetve elemek számozása is látható. A számítás azonban nem ezen csomóponti számozás szerint történik, hanem a 22. ábrán megadottéval, melyet a program a beton és acél elemek kapcsolati helyeinek figyelembevételével generál.

4.3 *Blokk diagram*

A program működésének főbb vonalát az alábbi blokk diagram (23. ábra) tartalmazza. A program részletes leírását kívánságra a szerző rendelkezésre bocsátja.

4.4 *A programban alkalmazott szubrutinok*

MAIN: A számítás szervezését végzi, rajta keresztül érintkezhetnek a program egységek.

INITL: A programhoz használt változók, melyek az egész rendszerre jellemző értékeket tartalmazzák, e szubrutinban zérus értékkel lesznek feltöltve.

READIN: A feladat paramétereit, anyagjellemzőket, geometriai adatokat és teherértékeket olvassa be. Ha szükséges, a hálózat felosztását is elvégzi, és a teljes rendszer csomópontszámozását végrehajtja.

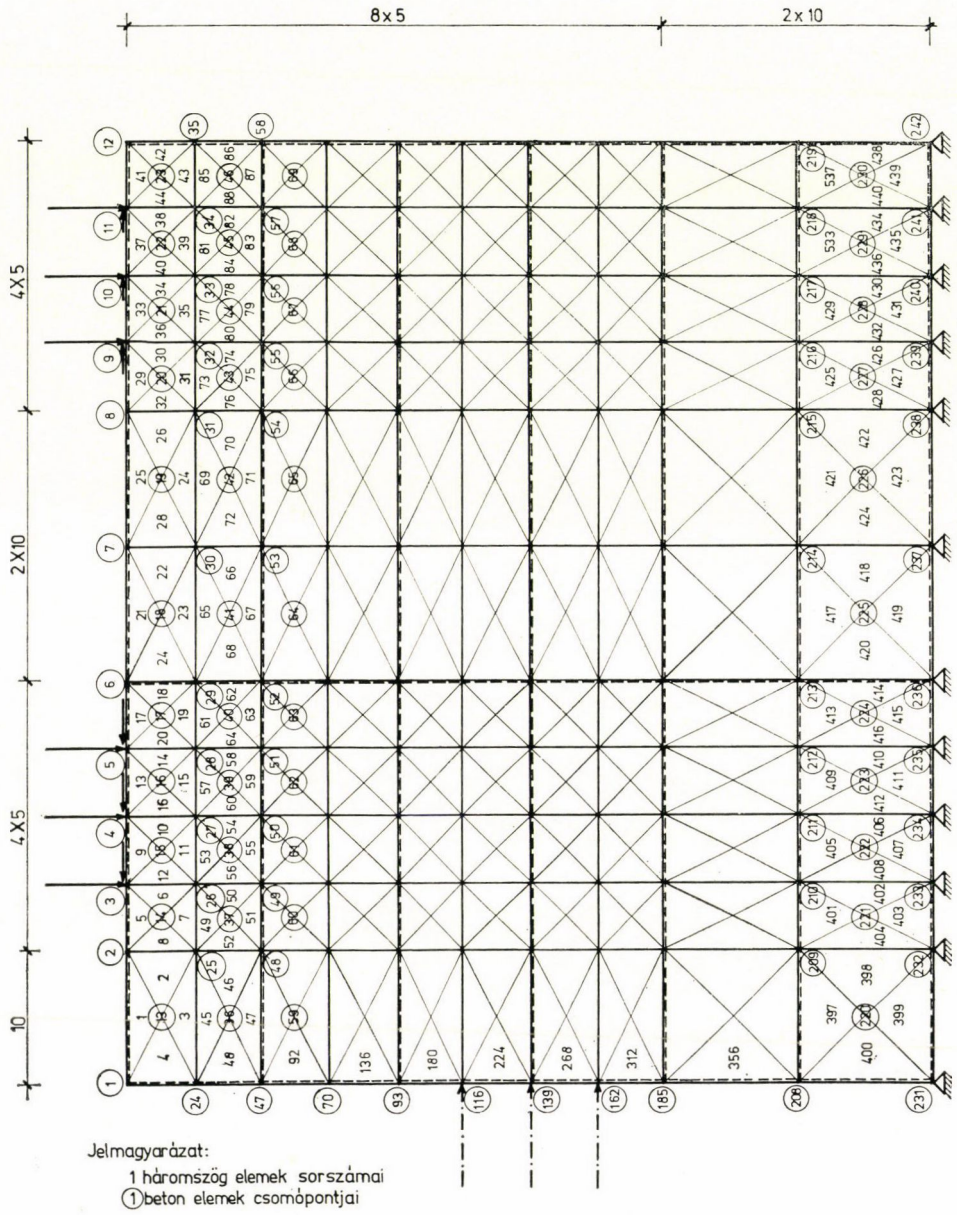
OUTPU: A beolvasott adatokat és READIN-szubrutinban végzett kiegészítő számítások eredményeit nyomtatja ki. Lényegében ezen szubrutin felhívása után a feladatra jellemző kiindulási adatok egy csoportban megtalálhatók.

STIFF: A beton-, acél- és rugóelemek merevségi mátrixát határozza meg. Az eljárás során az eredeti háromszög elemekből, négy elem összegzésével, a négyszög elem merevségi mátrixát előállítja, és a közbenső csomópont ismeretlen elmozdulási paramétereit elemi szinten kiküszöböli. Az egyes elemek esetén szükséges transzformációkat elvégzi.

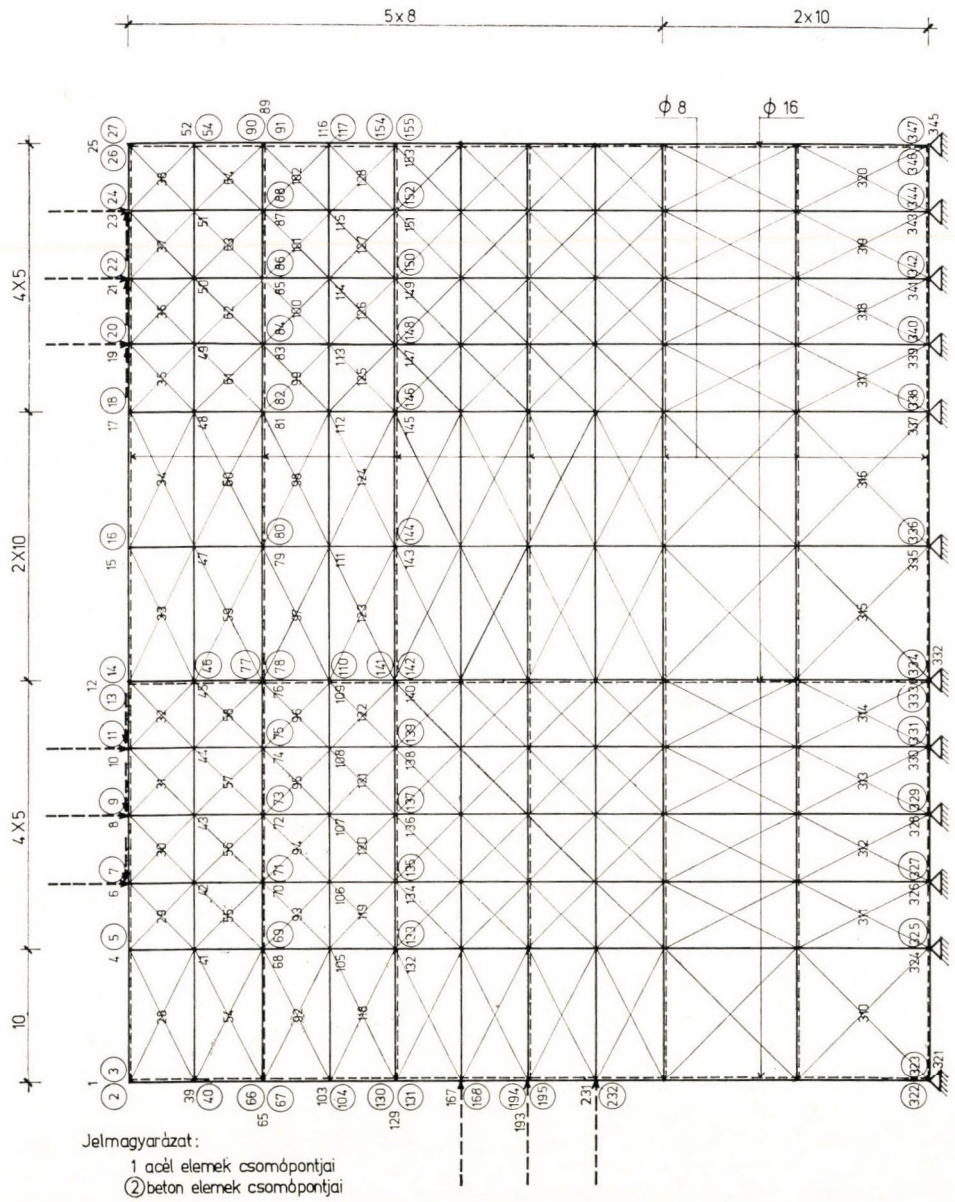
TYP: E szubrutin az adott feszültségi és alakváltozási szinthez tartozó rugalmassági modulus értéket szolgáltatja, és számontartja egyes elemek feszültség állapotát, ill. azt az eredményeket nyomtató rutin rendelkezésére bocsátja.

BANSOL: Az egyenletrendszer megoldását végzi, Gauss-féle eliminációval.

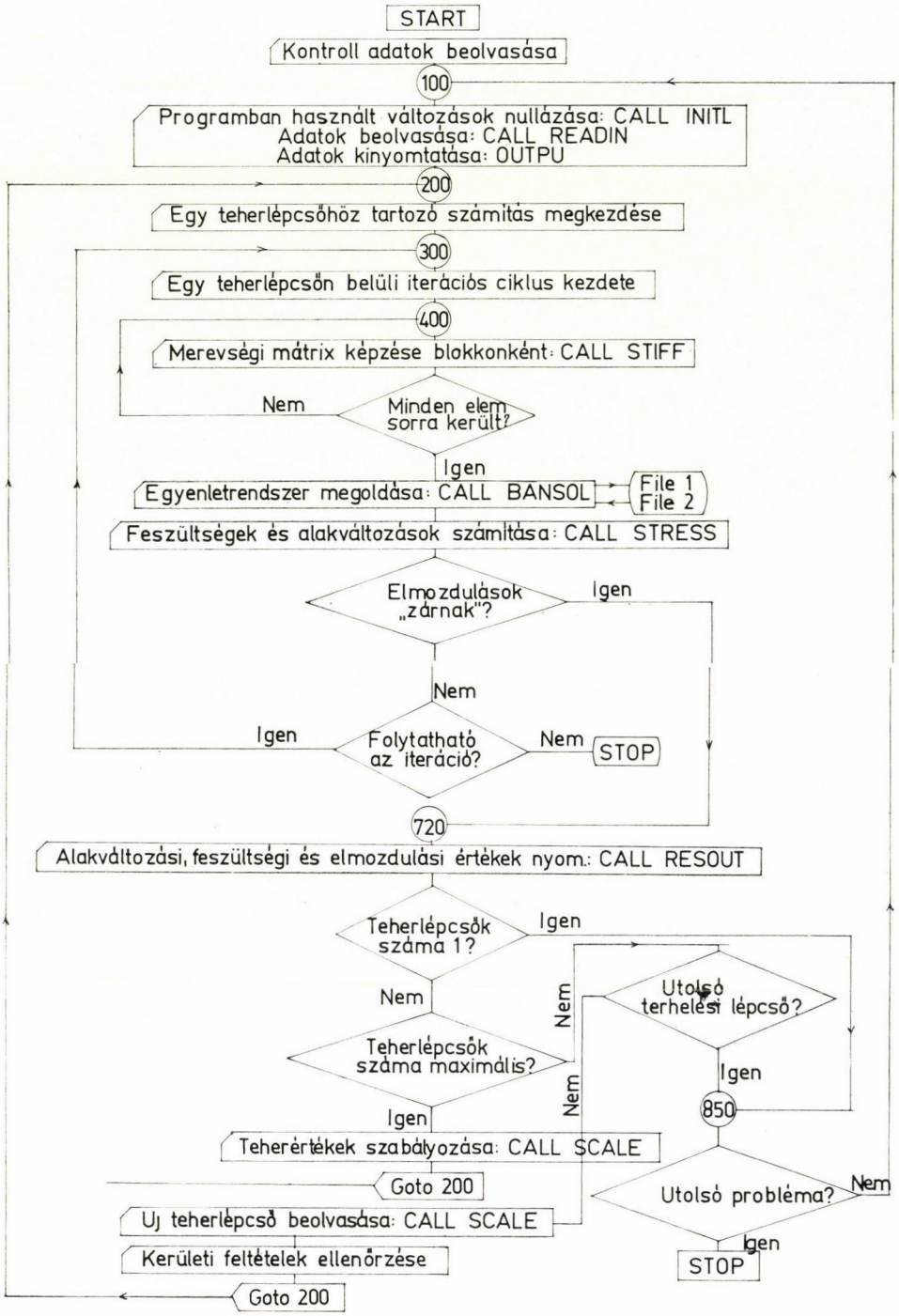
MODIFY: Az egyenletrendszerbe a kerületi feltételeket bevezeti, oly módon, hogy a kérdéses sorban és oszlopban levő elemek zérus értéket kapnak és a diagonálban elhelyezkedők 1,0-t.



21. ábra. A tartószerkezet felosztása elemi részekre



22. ábra. Az acélbetétek figyelembevételével nyert új csomóponti számozás



23. ábra. Blokkdiagram

SCALE: A kezdeti teher után a további teherlépcső beolvasását, a teher összegzését, és ezzel kapcsolatos ellenőrzéseket végzi.

STRESS: Az elemek feszültségi értékeit határozza meg a TYPE szubrutin segítségével.

RESOUT: Az egyes teherlépcsőkhöz tartozó eredményeket nyomtatja. Így ismertté válik az egyes csomópontok elmozdulása, egyes háromszög elemek σ_x, σ_y, τ_{xy} és σ_1, σ_2 főfeszültségek, valamint utóbbiak hajlásszögének értékei, és az ezzel kapcsolatos fajlagos alakváltozások. E nyomtatással figyelemmel kísérhetjük még az acélbetétekben keletkező feszültségeket, az acélbetét és beton együttdolgozását is.

PRER 1: A programban előforduló összes olyan hibajelzést végzi, amely esetén a program további futtatása nem lehetséges. Felvilágosítást is nyerünk a hiba okáról.

PRER 2: Az olyan különleges esetekre hívja fel a figyelmet, mely esetén még a program helyes működése lehetséges, de ismerete az eredményeket feldolgozó számára célszerű.

5.0 *Számpéldák*

E fejezetben a módszer alapján felépített gépi számítási program segítségével nyert eredményeket kívánjuk bemutatni. E példák egyúttal bizonyítják a módszer használhatóságát, és ahol kísérleti eredményekkel való összehasonlítás lehetséges volt, az azokkal való egyezést.

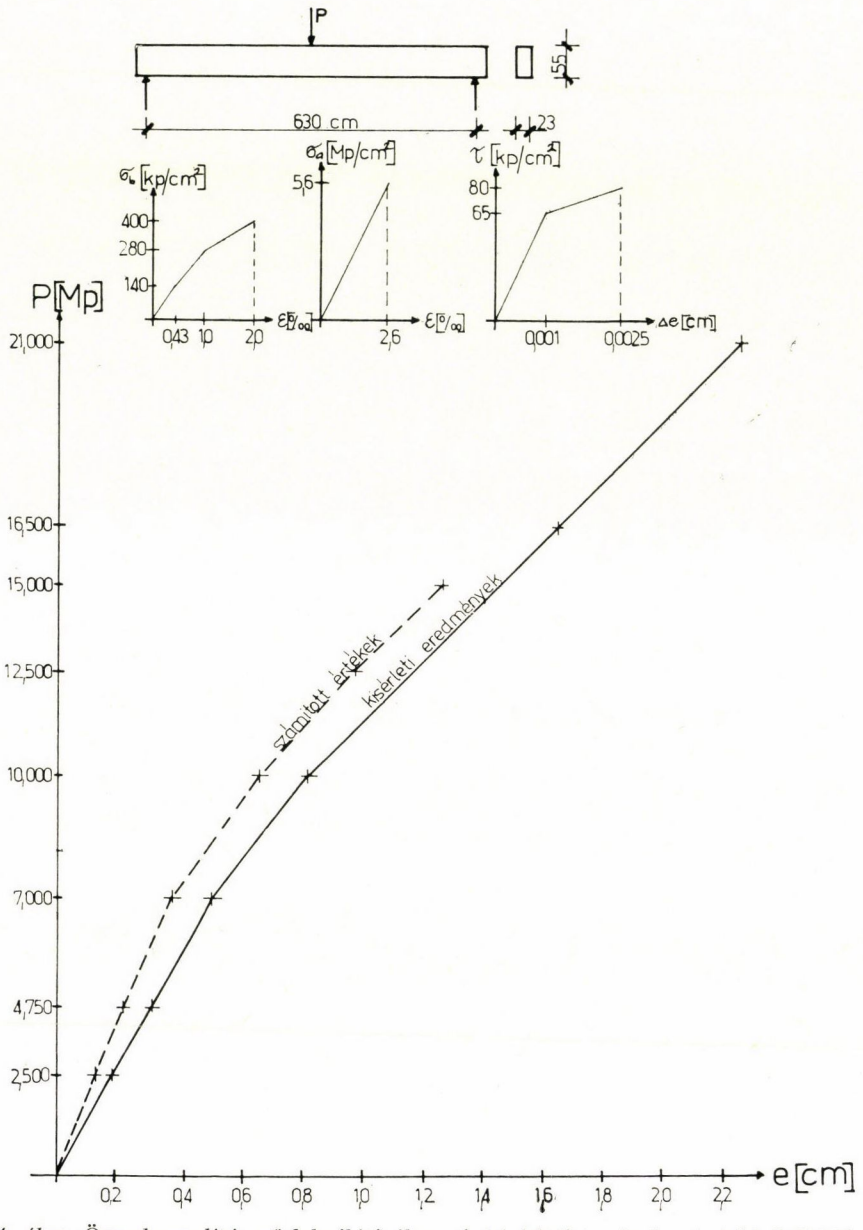
A számpéldák futtatása során szerzett tapasztalatokból elsősorban azt szeretnénk kiemelni, hogy az anyagjellemzők és teherlépcsők megválasztásánál nagy gonddal kell eljárni.

5.1 *Az 1. feladat:* középen koncentrált erővel terhelt tartó

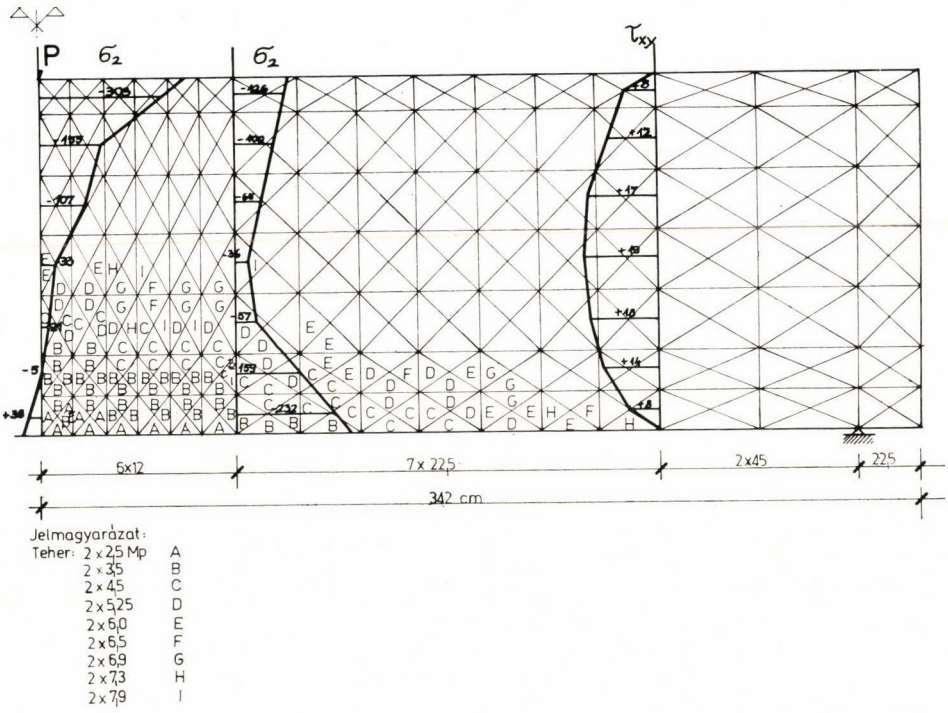
Első feladatként a két végén alátámasztott és középen koncentrált erővel terhelt gerenda esetét választottuk (24. ábra). Az ábrán feltüntettük a geometriai elrendezést, az anyagokat jellemző értékeket és a számított, valamint a kísérleti eredmények lehajlási értékeit. A számítást nem folytattuk a tartó töréséig, a számítással nyert kisebb lehajlási értékek a modell nagyobb merevségével magyarázhatók. A 25. ábrában a terhelés során a tartószerkezet repedezettségi állapotát mutatjuk be, az egyes teherlépcsőknél. Jól megfigyelhető a húzott zónában egyes elemek repedésmentessége, valamint néhány elem megrepedése, illetve a repedés utáni újrazáródás (25. ábra, azon elemek, ahol kettő betű szerepel), valamint a repedés újbóli megnyílása (hárombetűs elem). Az utolsó teherlépcsőnél kialakuló jellegzetes feszültségi értékeket ($\sigma_2 \simeq \sigma_x$ és τ_{xy}) is bemutatja a 25. ábra.

5.2 *A 2. feladat:* két koncentrált erővel terhelt tartó

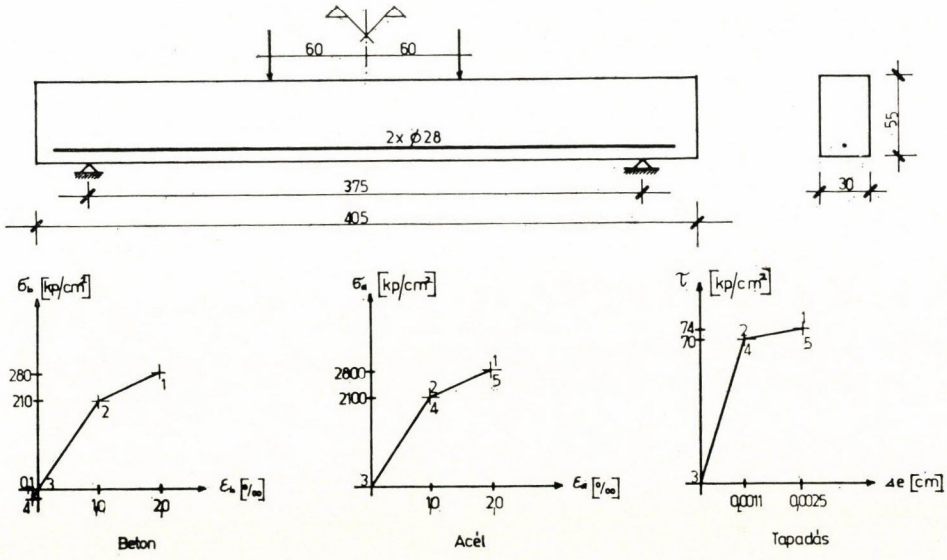
Részletesebb eredményeket közlünk a 26. ábrán feltüntetett tartó terhelési folyamatáról, alakváltozásáról és feszültségi viszonyairól. A tartó lehajlási ábráját néhány terhelési lépcsőnél 27. ábra mutatja be. Ezen látható a középső keresztmetszet elmozdulási ábrája is. Az alakváltozások nem lineáris alakulása szembetűnő, mely szorosan összefügg a tartó repedezettségi állapotával (lásd



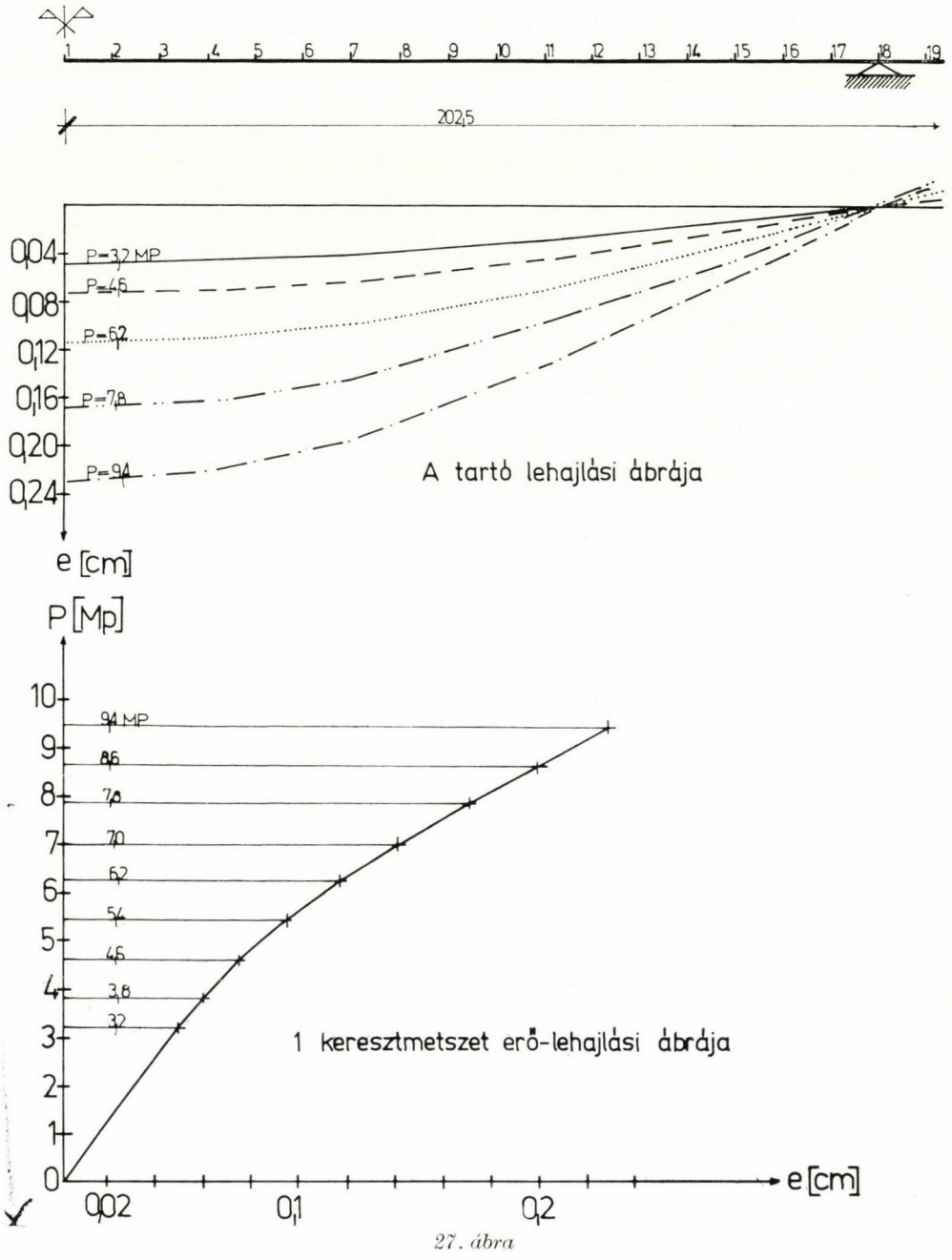
21. ábra. Összehasonlító erő lehajlási ábra. A kísérleti eredményeket lásd [11]-ben



25. ábra. A tartó repedezettségi állapotának változása a terhelés folyamán és az utolsó terhelési lépcsőnél, a $\sigma_2(\simeq\sigma_x)$, ill. τ_{xy} feszültségek

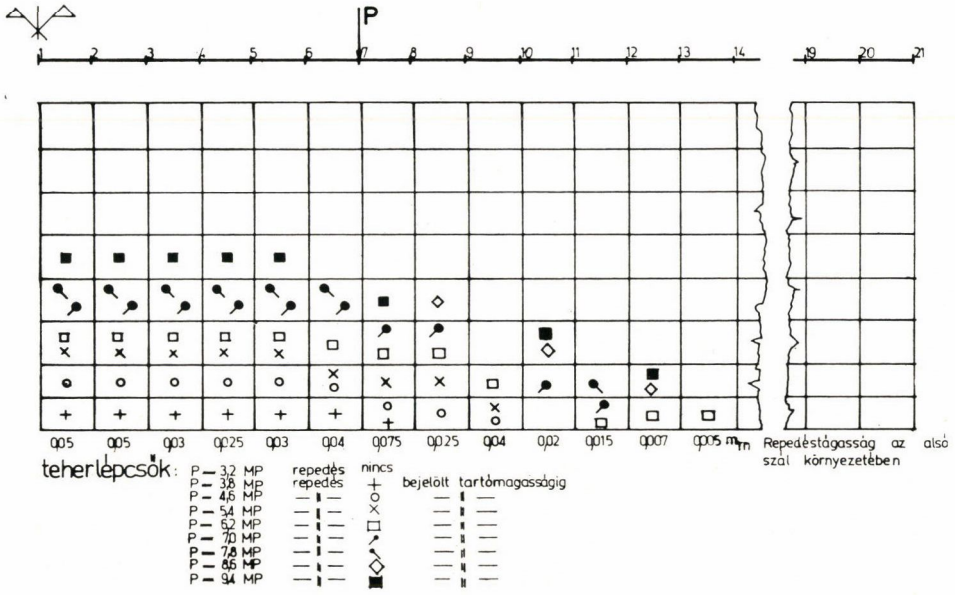


26. ábra. A tartók geometriája, vasalása, anyagjellemzők

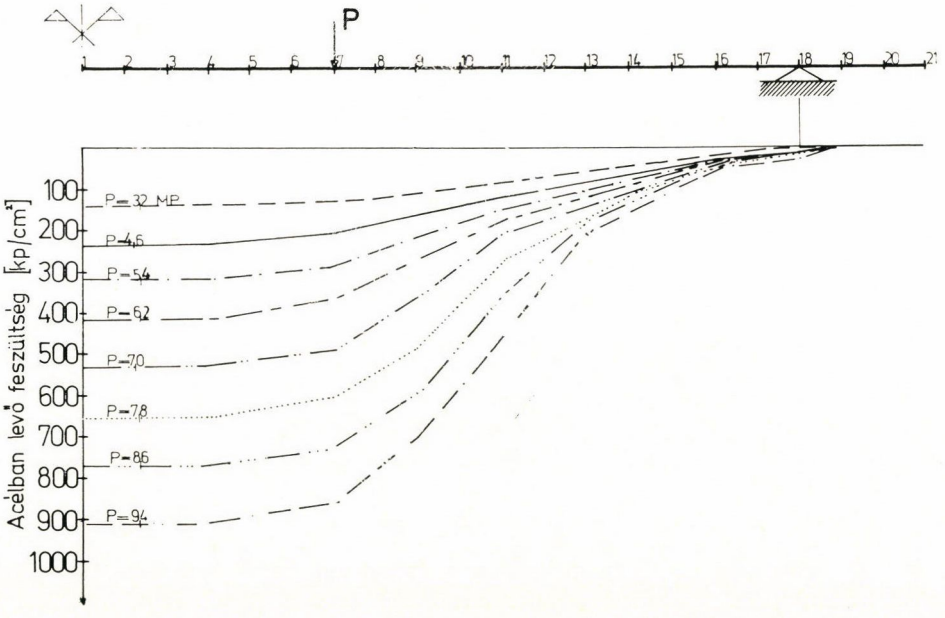

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
202,5
0,04
0,08
0,12
0,16
0,20
0,24
P=3,2 MP
P=4,6
P=6,2
P=7,8
P=9,4
e [cm]
A tartó lehajlási ábrája
P [Mp]
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0
9,4 MP
8,6
7,8
7,0
6,2
5,4
4,6
3,8
3,2
1 keresztmetszet erő-lehajlási ábrája
0,02
0,1
0,2
e [cm]

27. ábra

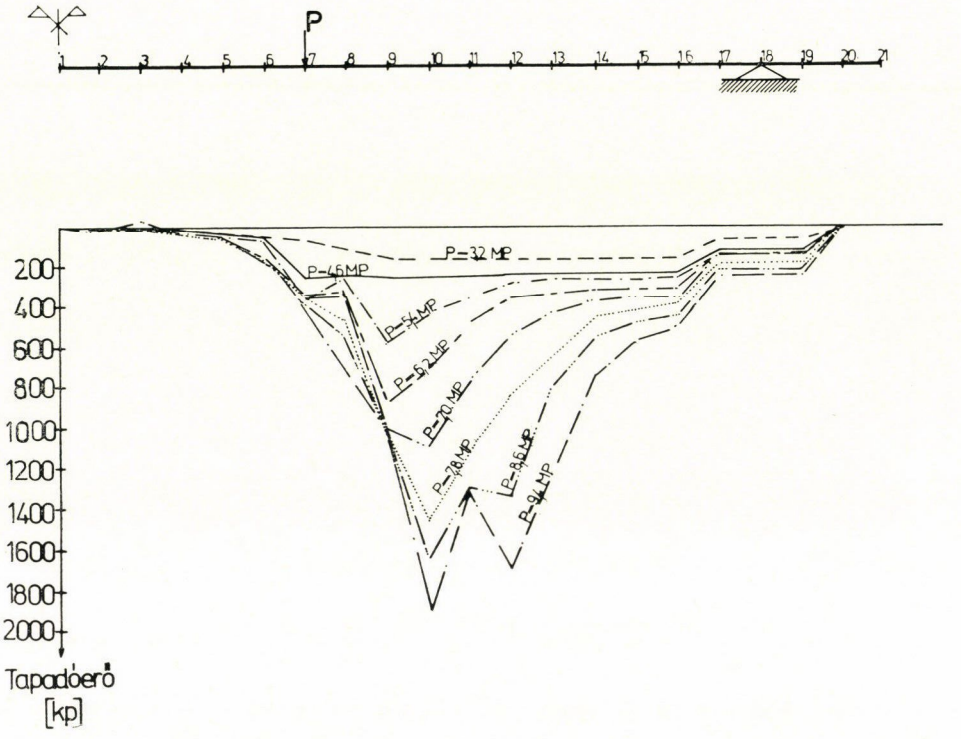
28. ábra). A $P = 3800$ kp értéknél a tartó megreped, alakváltozása a lineáristól eltér. A tartó alsó szélső szálának környezetében a repedéstágasság maximális értéke $P = 9400$ kp esetén 0,05 mm. Az acélbetétekben keletkező feszültség és annak tartó hossza menti változásáról a 29. ábra számol be.



28. ábra. A tartó repedezettségi képe, vasalás 8 db ⌀ 14



29. ábra. Az acélbetétben keletkező feszültség



30. ábra. Az acélbetét és a beton között működő tapadóerő

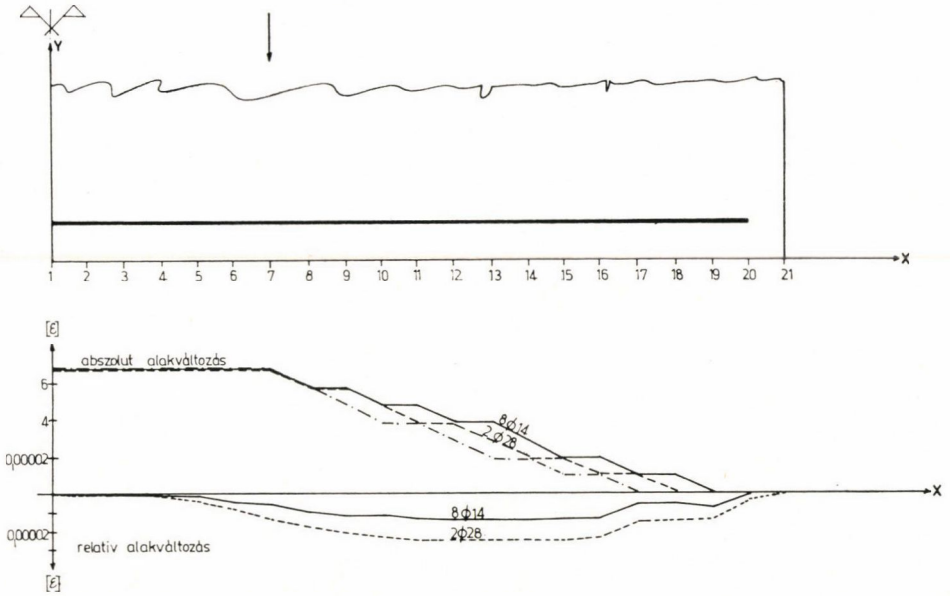
Az acélbetét és a beton között működő tapadóerő értékei a 30. ábrán láthatók.

Az acélbetétek fajlagos felületének hatását a repedezettségre, illetve az azzal közvetlenül összefüggő relatív alakváltozásokra, tanulmányozhatjuk a 31. ábrákon. Ezen összehasonlító vizsgálat során az alkalmazott vasalás 8 ∅ 14, illetve 2 ∅ 28-as acélbetét volt ($F_e = 12{,}3$ cm^2). A levonható következtetés az eddigi tapasztalatokkal és kísérleti eredményekkel megegyezik, miszerint nagyobb fajlagos felület esetén kisebb repedéstágasság adódik.

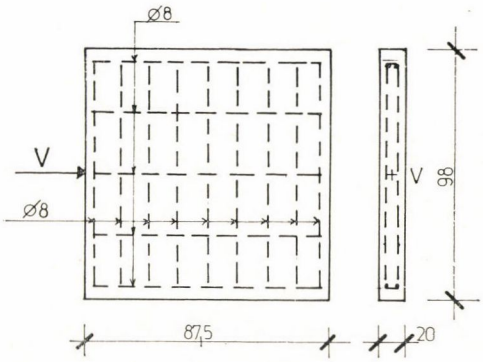
5.3 *A 3. feladat:* koncentrált erővel terhelt tárcsa

Ebben a feladatban koncentrált erő bevezetésének környzetében kialakuló feszültségi és alakváltozási állapot vizsgálatát tűztük ki célul. A tartó kialakítását a 32. ábrában és az anyagjellemzők értékeit a 33. ábrában adtuk meg. A koncentrált erő bevezetési felbontása után három csomópontban történt, $P - 2P - P$ nagyságban.

A σ_1 főfeszültségek nagyságrendjét kívánja bemutatni a 34. ábra. A sraffozott elemek egyirányú repedése bekövetkezett. A kengyelekben keletkező feszültségek kicsik, húzófeszültségek csak a beékelődési zónában és a felhasadási területen lépnek fel (35. ábra).

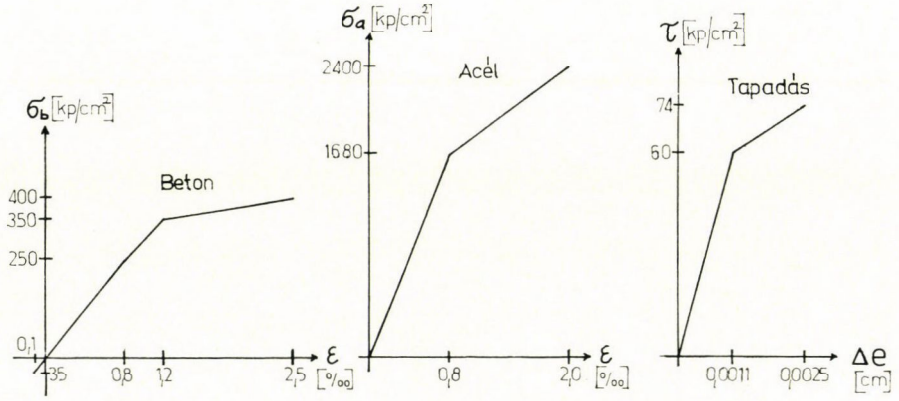


31. ábra. Abszolút és relatív alakváltozások, 8 db ⌀ 14 ≃ 2 db ⌀ 28 = 12,3 cm² vasalás esetén



32. ábra. Egy koncentrált erővel terhelt tárcsa (tartóvég részlet). A vasalás megállapítása [37] szerint történt

A vizsgálati eredményekből megállapítható, hogy a maximális nyomófeszültség értéke $V = 84$ Mp ($P = 21$ Mp)-nál mintegy 250 kp/cm², ez a törőfeszültség 65%. A repedt elemek száma (12 db) mintegy 2%-a az összes elemnek. A tartó nemlineáris állapotban van már. A feszültségi ábrák lefutása az eddig ismertekkel egyezőek. A teher további növelése ($P = 23$ Mp) esetén azt tapasztaljuk, hogy a 4. elemben a feszültségek (lásd 34. ábra) és alakváltozások tovább nőnek, a következő sorrendben: $\varepsilon_b = -0{,}00269$; $-0{,}00314$; $-0{,}00327$; $-0{,}00377$. Ezzel párhuzamosan a környező elemek folyása is megindul, míg végül a 4., 1., 36., 35. elem alakváltozása mindkét irányban húzásba megy át, tehát az erő környezetében helyi törés következik be.

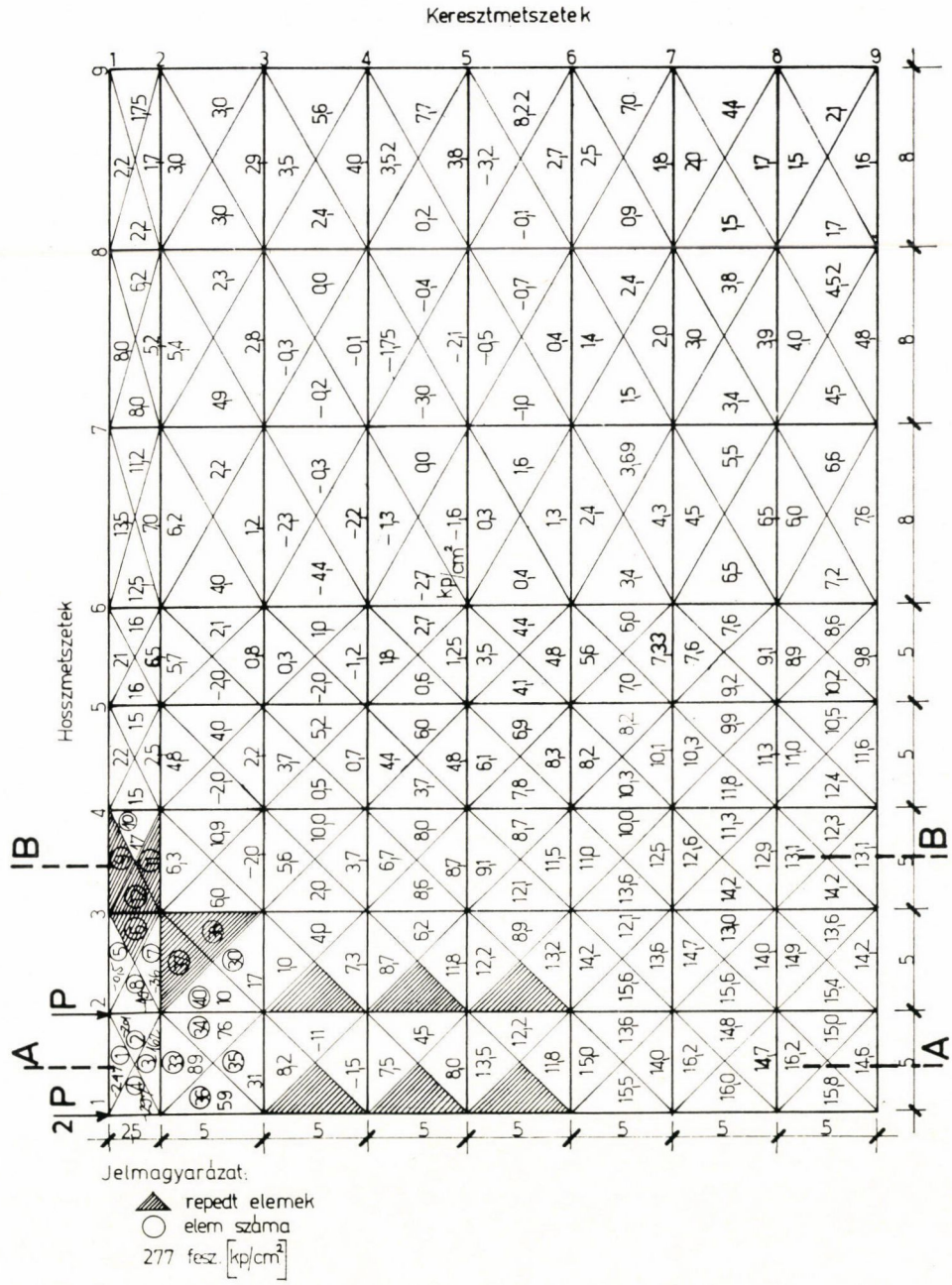


33. ábra. Anyagjellemzők

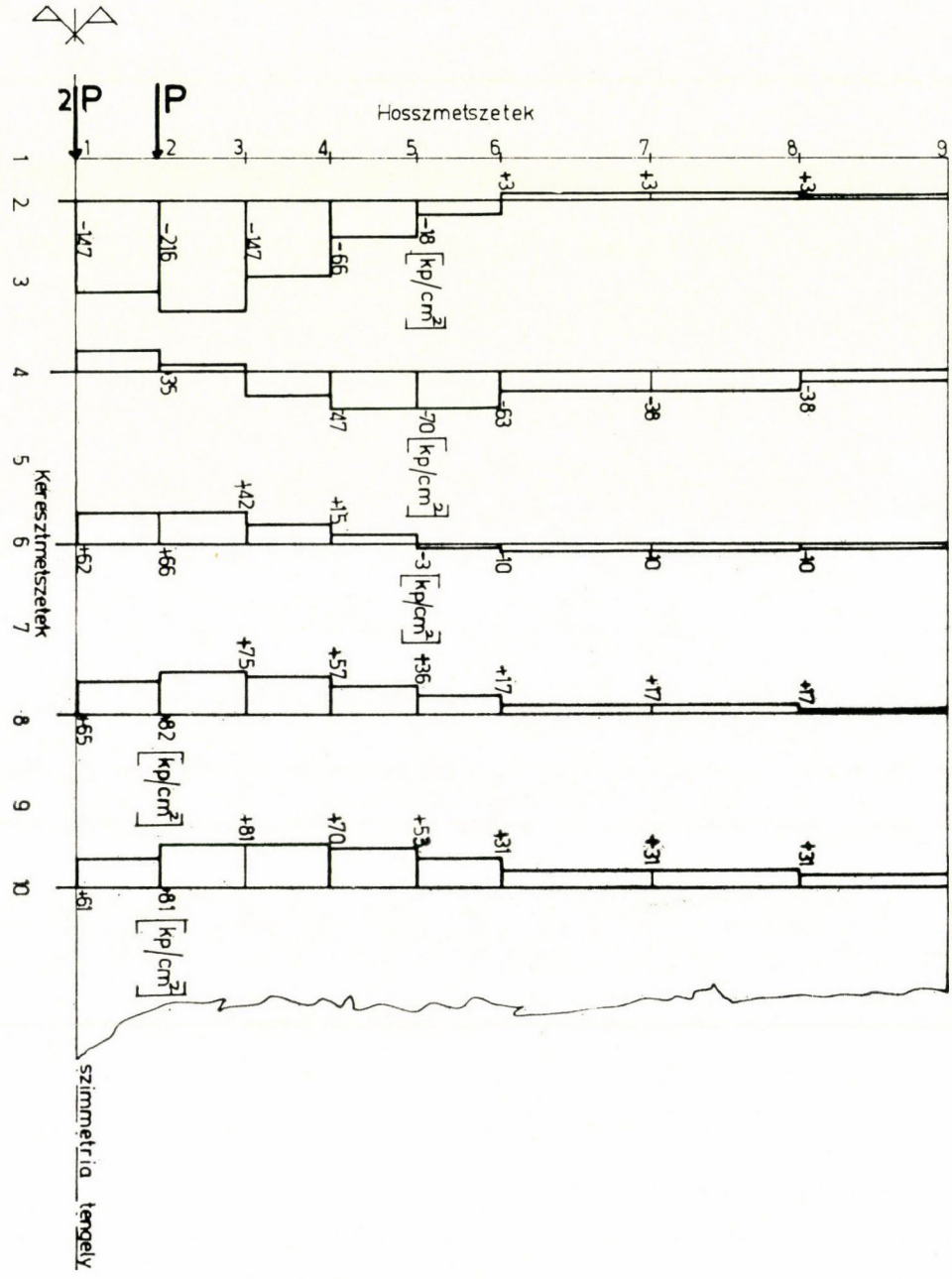
Ha a kengyelek mennyiségét 1/3-dal csökkentjük, azokban a feszültségek megnövekednek, de még így sem haladják meg a 300 kp/cm²-t. A betonfeszültségekben sem tapasztalható lényeges változás. A számítási eredmények alapján mondható, hogy koncentrált erő bevezetésekor a beékelődési és felhasadási zóna környezetében kis átmérőjű, sűrűn elhelyezett vasalás kialakítására törekedjünk. Az acélbetétek kihasználtsága nem várható.

5.4 *A 4. feladat:* tartóvég vizsgálata

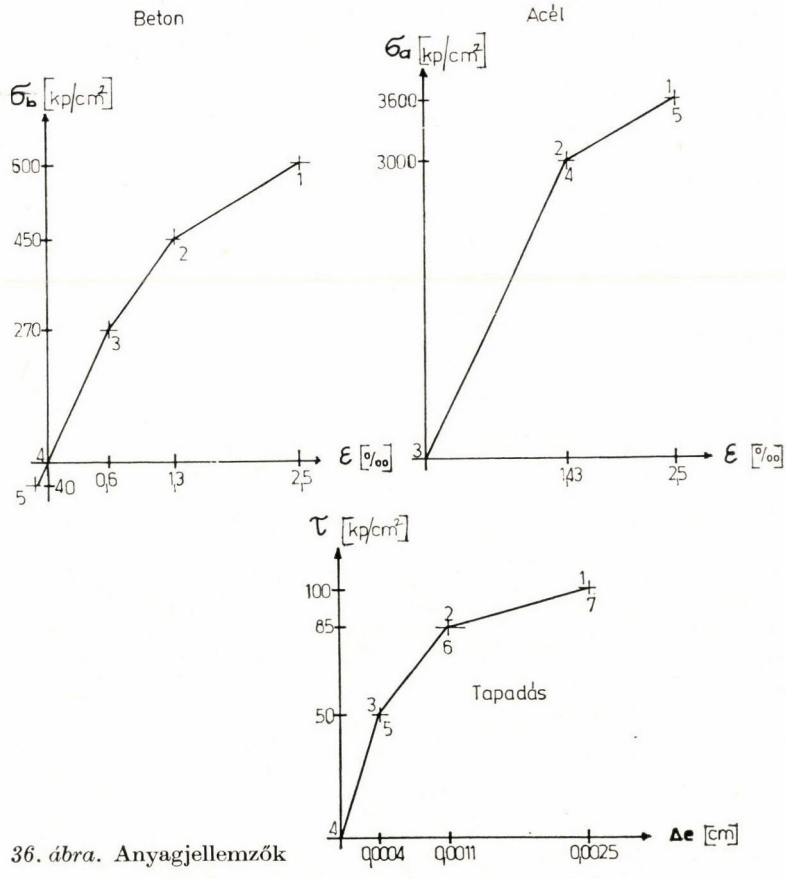
E példában megvizsgálásra kerülő tartóvég geometriáját és teher elrendezését a 21. ábrán tüntettük fel, mely az 1. ábrán látható tartó részletét jelenti. A tartóvégen széttartóan bevezetett két koncentrált erőt felbontottuk függőleges és vízszintes komponensekre. A számítás lefolytatása során az I. táblázatban közölt terhelési lépcsőket (293. o.) és a 36. ábrán közölt anyagjellemzőket használtuk. E tartó kísérleti és rugalmasságtani alapon álló vizsgálatát Tassi G. és Windisch A. [38] végezték el. A tizenkét terhelési lépcső közül a jellegzetes esetekben tapasztalható feszültség, keresztirányú nyomó- (N_x) és húzóerők (N_y) megoszlását és a repedezettségi kép változását a 37—41. ábrán adjuk meg. Ezeken nyomon követhető a σ_x feszültség változása, melynek maximális értéke — ha a feszítőerők cca. 42 Mp nagyságúak — 430 kp/cm². Az első elemi rész repedése a feszítőerő cca. 19 Mpos értékénél a beékelődési zónában következik be (38. ábra). A teher további növelése során is elsősorban a beékelődési zóna repedezettsége fejlődött ki. Ezen számítási eredményeket a kísérleti eredmények is [38] igazolják. A felhasadási zónákon az első repedés 34 Mp-os feszítőerőnél jelent meg. Ekkor a reakcióerő értéke 16 Mp volt. Az említett ábrákon jól nyomon követhetők a feszítőerővel párhuzamos tengelyerők (N_x) és keresztirányú húzóerők (N_y) változása és nagyságrendje. A nyíróerők megoszlását a 42. ábrában láthatjuk. Megfigyelhető, hogy a feszítőerő bevezetése helyén a nyíróerő zérussá válik, és a reakcióerő bevezetése helyén keletkező nyíróerők is a faltartók elméletéből ismert megoszlásokhoz hasonlóak. Ha a számítási pontosság ellenőrzése céljából a 10. metszetben elvégezzük a külső és belsőerők egyensúlyának vizsgálatát, mindkét esetben 13 498 kp-ot kapunk eredményül.



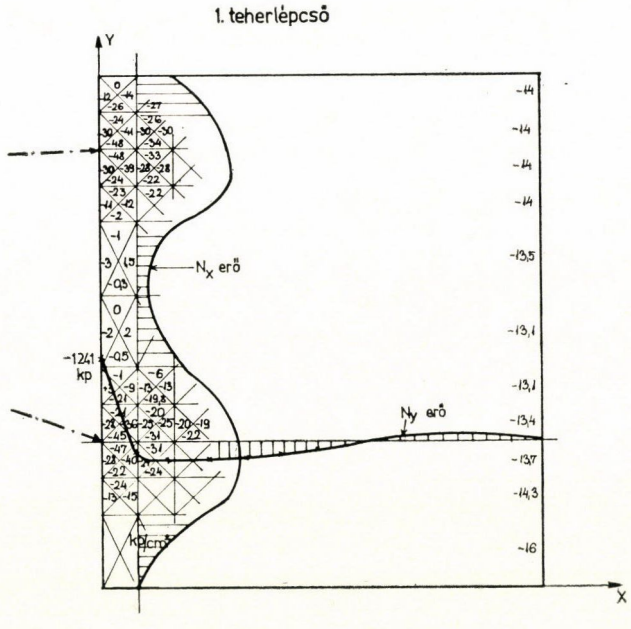
34. ábra. σ_1 feszültségek értékei, $P = 21\,000$ kp



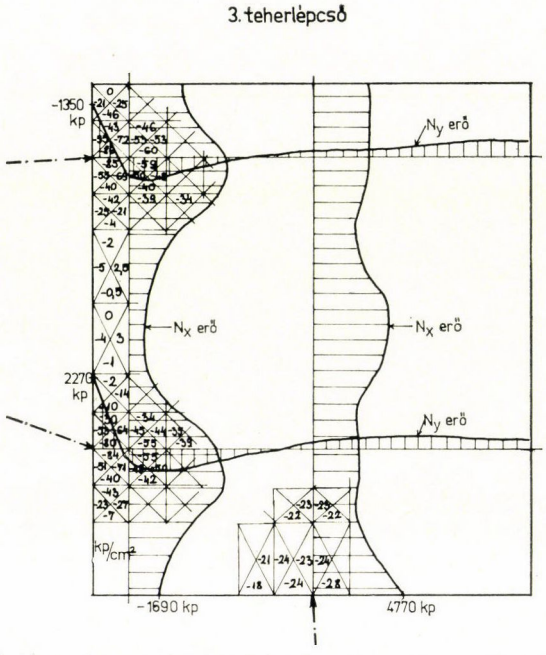
35. ábra. A kengyelekben keletkező feszültségek értékei, $P = 17\,000$ kp



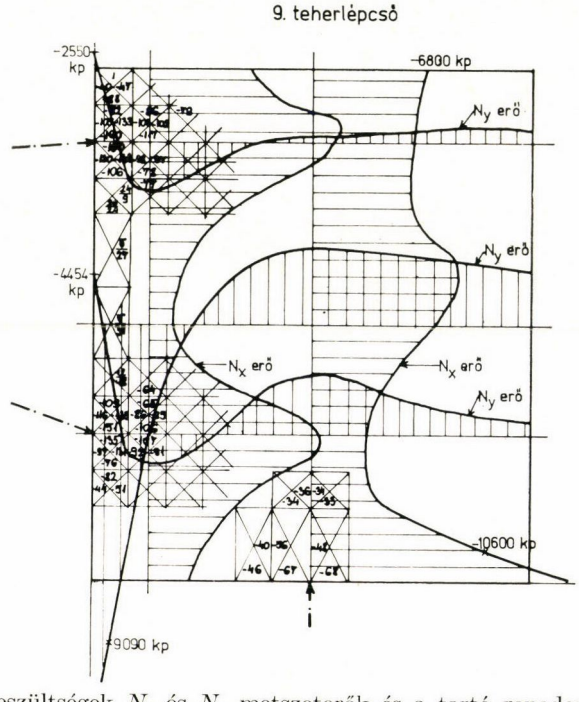
36. ábra. Anyagjellemzők



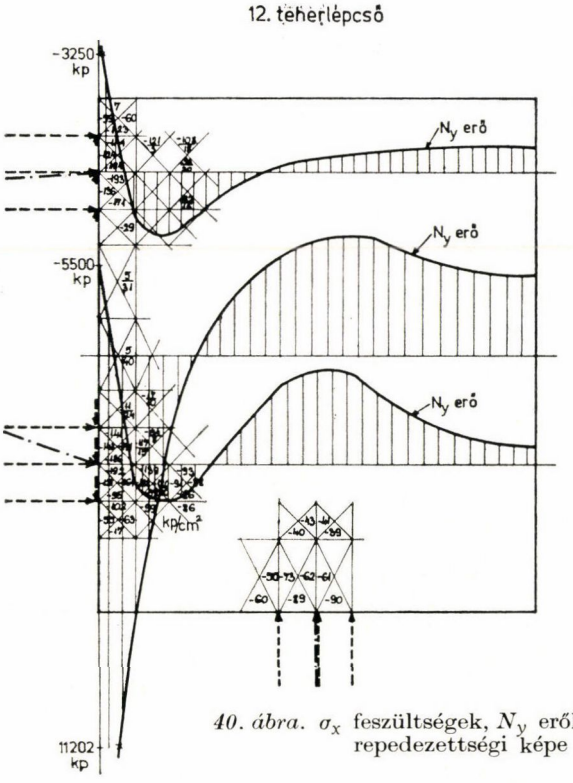
37. ábra. σ_x feszültségek az erő bevezetésének környezetében



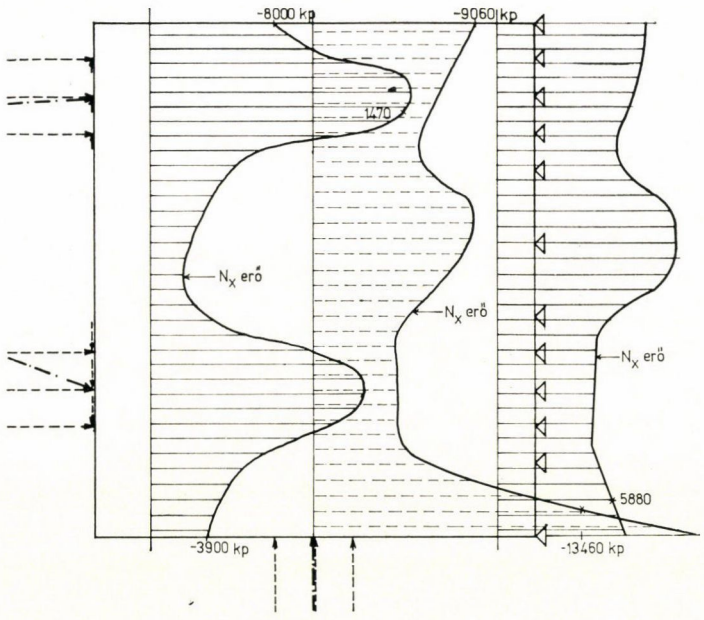
38. ábra. σ_x feszültségek és metszeterők lefutása. A tartó repedése bekövetkezett



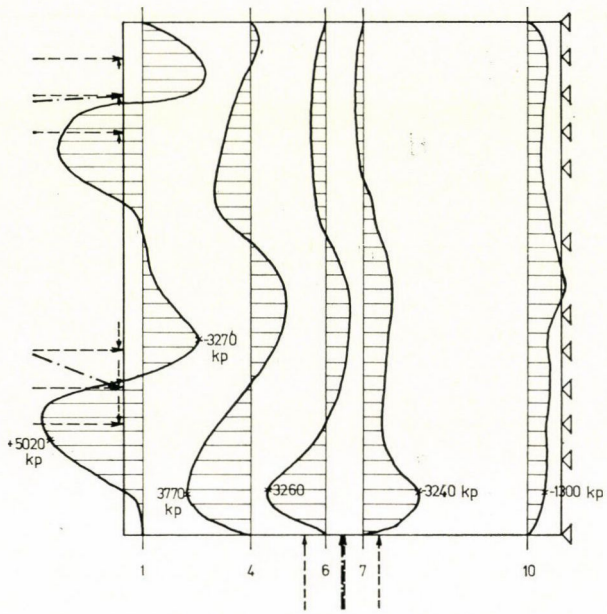
39. ábra. σ_x feszültségek N_x és N_y metszeterők és a tartó repedezettségi képe



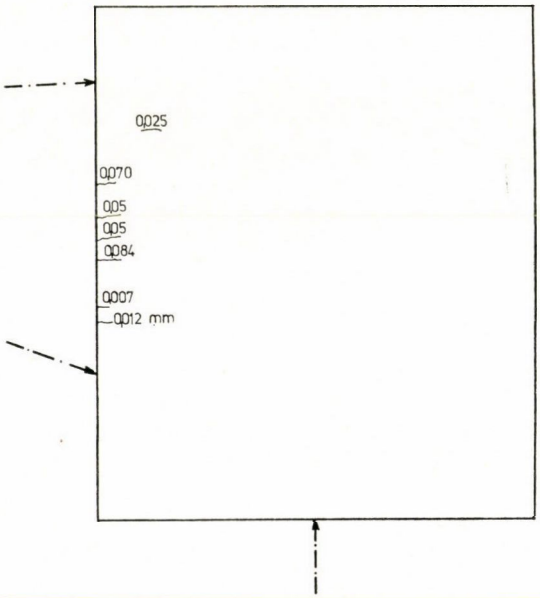
40. ábra. σ_x feszültségek, N_y erők és a tartó repedezettségi képe



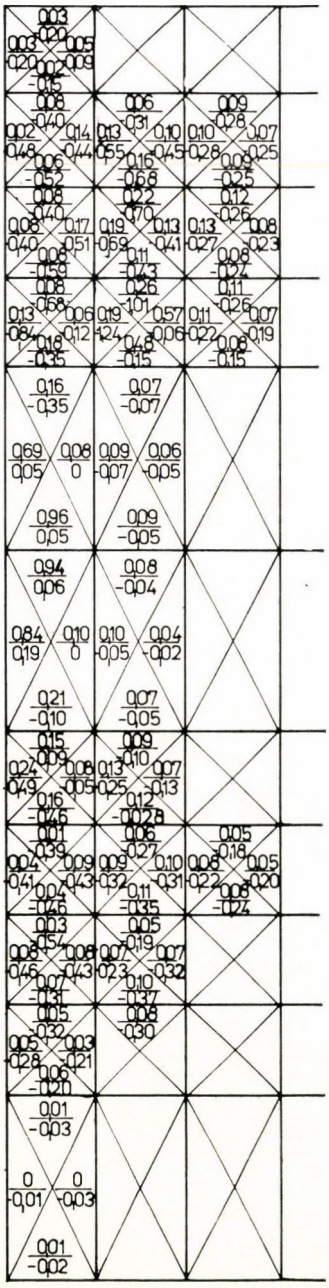
41. ábra. N_x erők lefutása



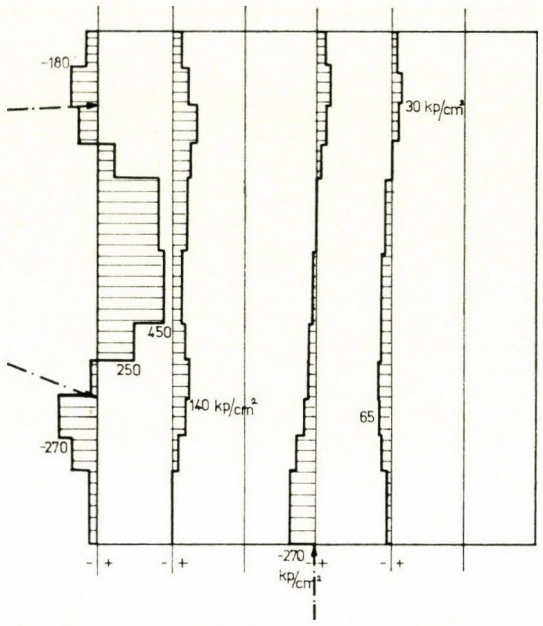
42. ábra. Nyíróerők lefutása



43. ábra. Tartó repedéstágasságának értékei



44. ábra. $\varepsilon_1/\varepsilon_2$ főalakváltozások értéke

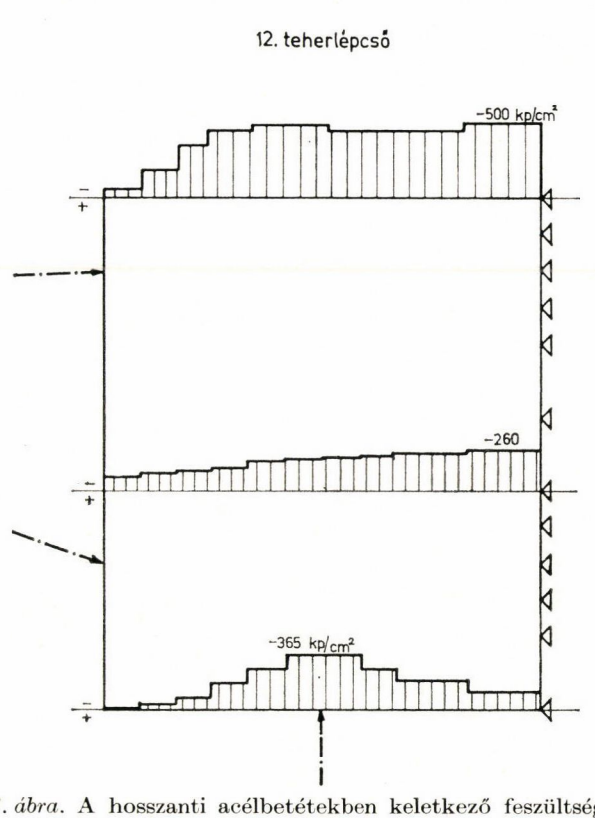


45. ábra. A kengyelekben keletkező feszültségek

Az erő bevezetésének környezetében kifejlődő főirányú alakváltozások értékeit, valamint néhány helyen a repedéstágasság értékeit a 43. és 44. ábrában láthatjuk. A számítási eredmények a beékelődési zóna egyes elemeiben kétirányú húzást mutatnak. A legnagyobb összenyomódási érték —1,24 ezrelék. A repedéstágasság maximális értéke 42 Mp-os feszítőerő esetén 0,084 mm.

A következő két ábra (45. és 46.) eddig nem ismert vizsgálati eredményeket mutat be. Nevezetesen a kengyelekben és hosszacélbetétekben kialakuló feszültségeket. A kengyelek esetében a legnagyobb húzófeszültség értéke 450 kp/cm², míg a hosszvasbetétekben 500 kp/cm² nyomófeszültség keletkezik. Ezen adatok meggyőzően bizonyítják, hogy a tartóvégen elhelyezett vasalás kihasználtsága nem várható, jelentős húzóerőt vesz fel maga a beton is. Esetünkben a kengyelek átmérője 8 mm volt, 10 cm-kénti osztásközzel a hosszacélbetétek 16 mm átmérővel rendelkeztek.

Példánk alapján levonhatjuk azt a következtetést, hogy ilyen tartó kialakításkor és feszítőerő elrendezéskor jelentős húzóerők lépnek fel a beékelődési zónában. Vasalási rendszerünk a tartóvégen kis átmérőjű, viszonylag sűrűn elhelyezett acélbetétekből álljon. Az acélbetétekben keletkező feszültségek kicsi értékűek.



46. ábra. A hosszanti acélbetétekben keletkező feszültségek

6.0 *Összefoglalás*

Dolgozatunkban a vasbetonszerkezetek feszültségi, alakváltozási és repedezettségi állapotának új — a véges elemek módszerének felhasználásával kialakított — számítási módszerét kívántuk bemutatni. A dolgozat során összefoglaltuk az eddig végzett kutatásokat, feltártuk a vasbeton számítási modelljeinek problémáit, utalva a kísérleti eredmények hiányosságaira. Ismertettük a vasbetonszerkezetű tartók véges elemekkel történő modelezését, és kutatást folytattunk a minél reálisabb alapokon nyugvó folyási, illetve törési feltételek irányába. Úgy érezzük, hogy a módszer e tekintetben a későbbiek során még jelentősen továbbfejleszthető. Rövid ismertetést adtunk a nem lineáris vizsgálatok számítógépes lefolytatásáról. A munka nagy terjedelmű részét képezi a gépi számítási program. Végül az utolsó fejezetben a számítási eredmények bemutatásával kívántuk bizonyítani a módszer helyességét, a vasbetonszerkezetek különböző területein történő felhasználásának lehetőségét.

[1] *Ngo, D.—Scordelis, A.:* „Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Beams" J. ACI Proceedings V. 64. No. 3. March 1967. pp. 152—163.
[2] *Ngo, D.—Franklin, H.—Scordelis, A.:* „Finite Element Study of Reinforced Concrete Beams with Diagonal Tension Cracks". Report No. UC-SESM-70-19, Dec. 1970.
[3] *Nilson, A.:* „Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete by the Finite Element Method". J. ACI. Procd. V. 65. No. 9. Sept. 1968. pp. 757—766.
[4] *Bresler, B.—Bertero, V.:* „Influence of Load History on Cracking in Reinforced Concrete". Report to California Division of Highways, UC-SESM-1966.
[5] *Franklin, A.:* „Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Frames and Panels" Report No. UC-SESM-70-5, March 1970.
[6] *Valliappon, S.—Doolan, T. F.:* „Nonlinear Stress Analysis of Reinforced Concrete" Journal of Struct. Div. ASCE, Vol. 98. No. ST4. April 1972. pp. 885—897.
[7] *Mufti, A. A.—Mirza, M. S.—McCutcheon, J. O.—Spokowski, R. W.:* „A Study of Nonlinear Behaviour of Structural Concrete Elements". Proceeding, Conference on McGill University Canada, Montreal, 1972. Sept.
[8] *Spokowski, R. W.:* „Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Members". M. Eng. Thesis, May, 1972. McGill University Canada, Montreal.
[9] *Jofriet, J. C.—McNeice, G. M.:* „Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs". Journal of Struc. Div. ASCE. March, 1971. pp. 785—806.
[10] *Bell, J. C.—Elms, D. G.:* „A Finite Element Approach to Post-Elastic Slab Behaviour". J. ACI. Special Publ. 30. pp. 325—346.
[11] *Lin, C. S.:* „Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Slabs and Shells". Report No. UC-SESM-73-7, April, 1973.
[12] *Hand, F. R.—Pecknold, D. A.—Schnobrich, W. C.:* „Nonlinear Layered Analysis of Reinforced Concrete Plates and Shells". Journal of Struc. Div. ASCE. July, 1973. pp. 1491—1505.
[13] *Berg, S.:* „Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Plates". Institut for Statikk, Norges Tekniske Hogskole-Universitet i Trondheim, Report No. 73-1. 1973.
[14] *Rashid, Y. R.:* „Analysis of Axisymmetric Composite Structures by the Finite Element Method". Nuclear Engineering and Design 3. 1966. pp. 163—182.
[15] *Taylor, A.—Hermann, L. H.—Romstad, K. M.—Ramey, M. R.:* „A Finite element computer program for the prediction of the behaviour of reinforced and prestressed Concrete Structure subject to Cracking". University of California, CR. 72. 019, 1972.
[16] *Herrmann, L. R.:* „Finite Element Bending Analysis for Plates". J. of Eng. Mec. Dic. ASCE, V. 93. Oct. 1967.
[17] *Zienkiewicz, O. C.:* „The Finite Element Method in Engineering Science". McGraw-Hill, London, 1971.
[18] *Watstein, D.:* „Bond Stress in Concrete Pullout Specimens". J. ACI Vol. 13. No. 1. Sept. 1941. pp. 37—50.
[19] *Mains, R. M.:* „Measurement of the Distribution of Tensile Stresses along Reinforcing Bars". J. ACI. Vol. 23. No. 3. Nov. 1951. pp. 225—252.
[20] *Rehm, G.:* „The Fundamental Law of Bond". RILEM Symposium on Bond and Crack Formation in Reinforced Concrete, Vol. II. Stockholm, 1957. pp. 491—498.
[21] *Rehm, F.:* „Über die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton". D.A.f.S. Heft 138. 1961.
[22] *Lutz, L. A.—Gergely, P.:* „Mechanics of Bond and Slip of Deformed Bars in Concrete". J. ACI. No. 11. Nov. 1967. pp. 711—721.
[23] *Wahla, M. I.:* „Direct Measurement of Bond Slip in Reinforced Concrete". Ph. D. thesis, Cornell University, Jan. 1970.
[24] *Tanner, J. A.:* „An Experimental Investigation of Bond Slip in Reinforced Concrete". M. S. thesis, Cornell University, Nov. 1971.
[25] *Nilson, A. H.:* „Bond Stress-Slip Relations in Reinforced Concrete". Cornell University, Report No. 345. Dec. 1971.
[26] *Bresler, B.—Bertero, V.:* „Behaviour of Reinforced Concrete Under Repeated Loads". Journal of Struc. Dic. ASCE. June, 1968. pp. 1567—1589.
[27] *Popovics, S.:* „Stress Strain Relations for Concrete Under Compression". J. ACI. Vol. 67. No. 3. 1970. pp. 243—248.
[28] *Timoshenko, S.:* „Strength of Materials". Part II. 3rd ed. D. Van Nostrand Co, Princeton, New Jersey, 1965.

[29] *Godycki-Cwirko:* „Shubprobleme im Stahlbetonbau". 1974.
[30] *Kupfer, H.—Hilsdorf, H.—Rüsch, H.:* „Behaviour of Concrete Under Biaxial Stresses". J. ACI. Vol. 66. August 1968.
[31] *Nilson, A. H.—Slate, F. O.—Liu, T. C.:* „Stress-Strain Response and Fracture of Concrete in Biaxial Compression". Cornell University, Report No. 339. Feb. 1971.
[32] *Felippa, C. A.:* „Refined Finite Element Analysis of Linear and Nonlinear Two-Dimensional Structures". Univ. of California, Berkeley, Ph. D. 1966.
[33] *Palotás, L.—Juhász, B.:* „A húzott vasalás szerepe a hajlított vasbetontartók nyírási teherbírásában". Mélyépítéstudományi Szemle, 1967. ápr. 145—150.
[34] *Gergely, P.:* „Splitting Cracks Along the Main Reinforcement in Concrete Members". Dept. of Struc. Eng. Cornell University, Ithaca, Apr. 1969.
[35] *Fenwick, R. C.—Paulay, T.:* „The Shear Strength of Reinforced Concrete Beams". University of Canterbury, Chirstchurch, New-Zeeland, 1966.
[36] *Lestingi, J.—Prachuktam, S.:* „A Blocking Technique for Large Scale Structural Analysis". Computer and Structures, Vol. 3. 1973. pp. 669—714.
[37] *Kammenhuber, J.—Schneider, J.:* „Arbeitsunterlagen für die Brechung vorgespannter Konstruktionen". Zürich, 1974.
[38] *Tassi, G.—Windisch, A.:* „Analysis and Model Testing of the Anchorage Zone of Post-Tensioned Beams". FIP VII. Congress, New York, 1974.
[39] *Anderheggen, E.:* „Die Methode der finiten Elemente". Vorlesung an der ETH Zürich, 1973/74.

KALISZKY SÁNDOR, a műszaki tudományok doktora

FELTÉTELES KAPCSOLATOKAT TARTALMAZÓ SZERKEZETEK VIZSGÁLATA

1. Bevezetés

Az előregyártott acél- és vasbetonszerkezetek helyszíni kapcsolatainál számos olyan bizonytalan jellegű jelenség észlelhető, amely a teljes szerkezet viselkedését lényegesen befolyásolhatja. Ennek a hatásnak a figyelembevételével az irodalomban eddig aránylag kevesen foglalkoztak. A vizsgálatok egy része abból indul ki, hogy a kapcsolat a szerkezet többi részeinél gyengébb, és ezért a rugalmas, ill. a képlékeny alakváltozások jelentősebb része vagy esetleg teljes egésze a kapcsolatok helyén alakul ki [1], [2]. Az ilyen feltételek alapján elvégzett számítások azt mutatják, hogy a kapcsolatoknál létrejövő nagy alakváltozások a szerkezet merevségét lényegesen csökkenthetik, és erőjátékát nagy mértékben megváltoztathatják. Lényegesen bonyolultabb számításra vezetnek azok az eljárások, amelyek a kapcsolatok helyén ellenállás nélküli relatív elmozdulás lehetőségét is figyelembe veszik [3]. Ilyenkor a szilárdságtan érintkezési és elválási problémáihoz hasonlóan matematikai programozás alkalmazása válik szükségessé.

A kapcsolatok viselkedése valójában igen bonyolult és matematikailag nehezen jellemezhető. A kapcsolatok egy része kezdetben laza, és így csak bizonyos mértékű elmozdulás kialakulása után képes erőt közvetíteni, más része viszont bizonyos erők hatására fellazul, és ezért további erők átadására csak részben vagy egyáltalán nem alkalmas. Ugyanakkor legtöbb kapcsolatnál ezek a jelenségek a terhelési folyamat során egymást követően alakulnak ki.

Ennek a dolgozatnak az első részében részletesen foglalkozunk a fentiekben vázolt kapcsolatok általános mechanikai tulajdonságaival. W. *Prager* „bezáruló" anyagokra (locking material) vonatkozó elméletét [4] általánosítva, bemutatjuk, hogy ezeknek az ún. feltételes kapcsolatoknak a viselkedését korlátozó geometriai, ill. szilárdságtani feltételeket a képlékenységtanból közismert képlékenységi feltételekhez teljesen hasonló matematikai modellekkel lehet jellemezni. Ennek alapján igazoljuk, hogy a feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek jellegzetes (határ-) állapotainak, ill. állapotváltozásának a vizsgálata ugyancsak a képlékenységtan alapelveinek és tételeinek értelemszerű felhasználásával végezhető el.

2. A feltételes kapcsolatok

A szerkezetnek azokat a különleges elemeit (szakaszait), amelyek viselkedését előre megszabott feltételek korlátozzák, *feltételes kapcsolatoknak* nevezzük. Attól függően, hogy a kapcsolat helyén az elmozdulások vagy az erők részére szabunk-e korlátokat, *geometriai* vagy *szilárdsági* feltételes kapcsolatról beszélünk.

2.1. A feltételes kapcsolatok matematikai modellje

Egy feltételes kapcsolat mechanikai állapotát a kapcsolat helyén létrejövő $\mathbf{q}(q_1, q_2 \ldots q_n)$ relatív elmozdulások és az ezeknek megfelelő $\mathbf{Q}(Q_1, Q_2 \ldots Q_n)$ erők jellemzik. A

geometriai *szilárdsági*

feltételes kapcsolat helyén a

$\mathbf{q}$ elmozdulásokat $\mathbf{Q}$ erőket

az

$$f(\mathbf{q}) \leq 0 \qquad F(\mathbf{Q}) \leq 0 \tag{1}$$

geometriai szilárdsági

kapcsolati feltétel korlátozza. A továbbiakban feltételezzük, hogy az

$f(\mathbf{q}) = 0$ $F(\mathbf{Q}) = 0$

függvényt a

$q_1, q_2 \ldots q_n$ $Q_1, Q_2 \ldots Q_n$

koordinátarendszerben egy *zárt*, kívülről nézve *konvex* hiperfelület ábrázolja, és az általa határolt, mechanikailag lehetséges állapotoknak megfelelő pontokat tartalmazó hipertér a feltételes kapcsolat kezdeti állapotának megfelelő origót magában foglalja (1. ábra). Feltételezzük továbbá hogy

$f(\mathbf{q})$ $F(\mathbf{Q})$

a kapcsolat helyén létrejövő

$\mathrm{d}\mathbf{Q}$ erő- $\mathrm{d}\mathbf{q}$ elmozdulás-

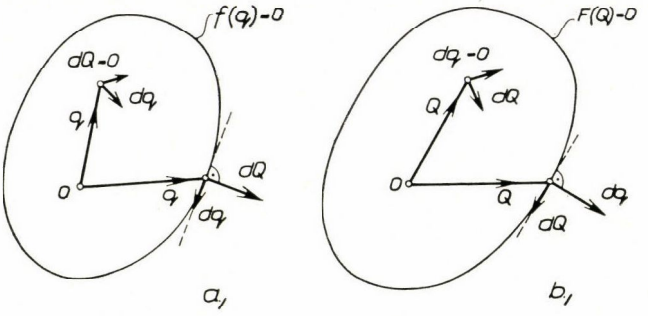
növekmények *potenciálfüggvénye*. Tehát

$$\mathrm{d}\mathbf{Q} = \mathrm{d}\lambda \frac{\partial f}{\partial \mathbf{q}}, \qquad \mathrm{d}\mathbf{q} = \mathrm{d}\Lambda \frac{\partial F}{\partial \mathbf{Q}}, \tag{2}$$

az erő- az eltolódás-

növekmények kialakulását pedig a

$\mathrm{d}\lambda \geq 0$ $\mathrm{d}\Lambda \geq 0$



1. ábra

tényezőre felírható

$$d\lambda = 0, \text{ ha } f(\mathbf{q}) < 0 \qquad d\Lambda = 0, \text{ ha } \mathbf{F}(\mathbf{Q}) < 0$$

$$d\lambda \geq 0, \text{ ha } f(\mathbf{q}) = 0 \text{ és} \qquad d\Lambda \geq 0, \text{ ha } \mathbf{F}(\mathbf{Q}) = 0 \text{ és} \qquad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial \mathbf{q}} d\mathbf{q} = 0 \qquad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Q}} d\mathbf{Q} = 0$$

feltételek szabják meg. Az

$$f(\mathbf{q}) = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial \mathbf{q}} d\mathbf{q} < 0 \qquad \mathbf{F}(\mathbf{Q}) = 0, \quad \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Q}} d\mathbf{Q} < 0 \qquad (4)$$

esetet, azaz *a már aktívvá vált feltételes kapcsolat inaktivizálódásának lehetőségét a továbbiakban kizárjuk*. Megemlítjük azonban, hogy a (4) alatti eset bekövetkezésekor a tárgyalt feltételes kapcsolatok viselkedését a

$$\mathbf{Q} = 0 \qquad d\mathbf{q} = 0 \qquad (5)$$

feltétel jellemzi.

Geometriailag a (2) és (3) feltételek azt jelentik, hogy ha a

$q_1, q_2 \ldots q_n$ $\qquad$ $Q_1, Q_2 \ldots Q_n$

koordinátarendszerrel koaxiális

$Q_1, Q_2 \ldots Q_n$ $\qquad$ $q_1, q_2 \ldots q_n$

koordinátarendszerben a

$d\mathbf{Q}$ erő- $\qquad$ $d\mathbf{q}$ elmozdulás-

növekmény vektort ábrázoljuk, és a kapcsolati feltételt ábrázoló hiperfelület

$\mathbf{q}$ $\qquad$ $\mathbf{Q}$

pontjához illesztjük, akkor a növekmény vektor a hiperfelület külső normálisával egybeesik (1. ábra).

Ha egy feltételes kapcsolat aktívan működik, azaz

$$d\lambda > 0, \qquad d\Lambda > 0,$$

akkor pillanatnyi viselkedését energetikai szempontból a

$$da = q\, dQ > 0 \qquad dA = Q\, dq > 0 \qquad (6)$$

kiegészítőenergiával $\qquad$ energiával

lehet jellemezni, amely a *konvexitás* és a *normalitás* következtében a

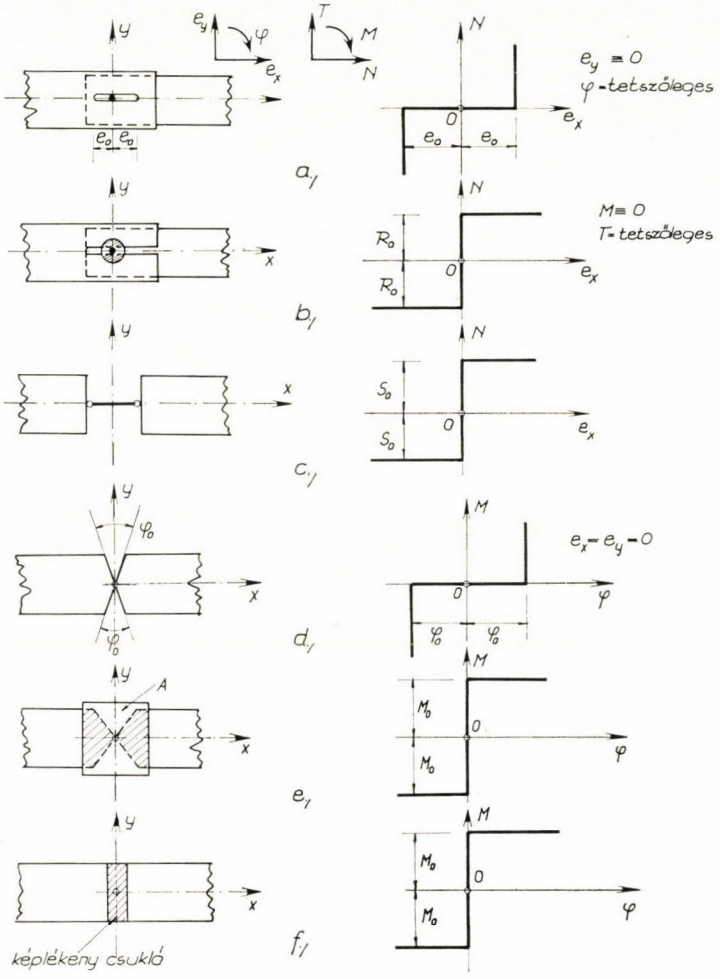
$d\mathbf{Q}$ $\qquad$ $d\mathbf{q}$

növekménnyel egyértelműen kifejezhető:

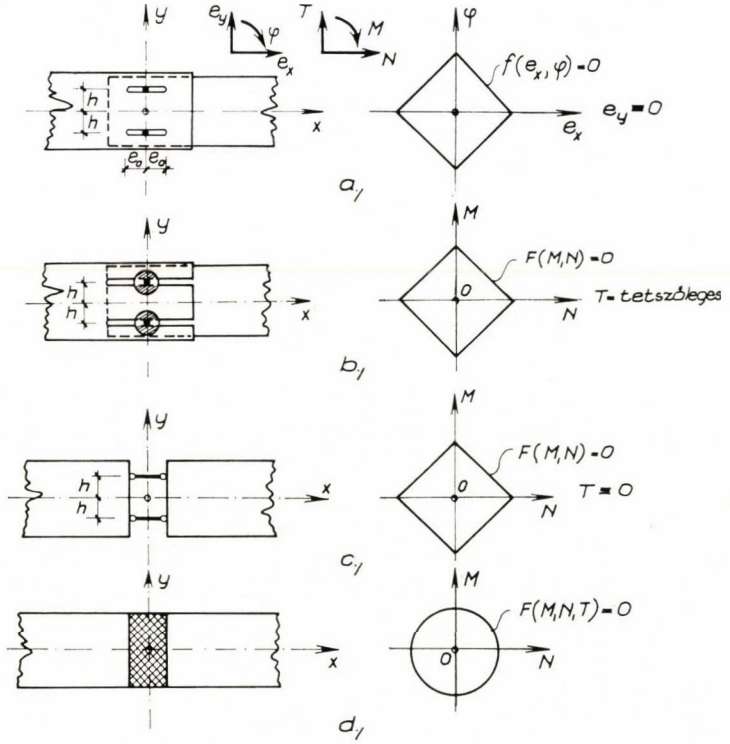
$$da = da(d\mathbf{Q}). \qquad dA = dA(d\mathbf{q}). \qquad (7)$$

2.2. *Néhány sikbeli feltételes kapcsolat*

Az alábbiakban példaképpen néhány *síkbeli* feltételes kapcsolatot mutatunk be. Ezek mindegyikét általában a tartó síkjában fellépő három elmozdulás, ill. erő (erőpár) jellemzi, különleges esetekben azonban ezeknek egy része zérus, ill. tetszőleges lehet. A 2. ábrán vázolt feltételes kapcsolatokat mindössze egyetlen elmozdulás, ill. erő jellemzi. Itt az ábra jobb oldalán az elmozdulás—erő összefüggéseit tüntettük fel. A 3. ábrán bemutatott feltételes kapcsolatokat 2 vagy 3 elmozdulás, ill. erő jellemzi. Az ábra jobb oldala a kapcsolati feltételt ábrázoló felület jellegzetes síkmetszetét szemlélteti.



2. ábra



3. ábra

2.21. Geometriai feltételes kapcsolatok

A 2/a ábra esetében a feltételes kapcsolat az egyik lemezben levő hosszúkás nyílásba elhelyezett csavarból vagy tüskéből áll, amely a csatlakozó másik lemezhez mereven van rögzítve. A kapcsolat helyén az elfordulás tetszőleges lehet, az x tengely irányú eltolódást azonban a

$$-e_0 \leq e_x \leq e_0$$

feltétel korlátozza. Ha $| e_x | = e_0$, akkor a kapcsolat e_x értelmével azonos értelemben tetszőleges nagy, x tengely irányú erőt adhat át.

A 2/d ábrán látható kapcsolat helyén az elfordulást a

$$-\varphi_0 \leq \varphi \leq \varphi_0$$

feltétel korlátozza. Ha $| \varphi | = \varphi_0$, akkor a kapcsolat tetszőleges nagy hajlítónyomatékot képes átadni.

A 3/a ábra esetében a feltételes kapcsolat két csavarból vagy tüskéből és az egyik lemezből kivágott két hosszúkás nyílásból áll. A csavarok, ill. tüskék a csatlakozó másik lemezhez mereven vannak hozzáerősítve. Könnyen igazol-

ható, hogy a kapcsolati feltétel

$$\frac{1}{e_0} \mid e_x \mid \pm \frac{h}{e_0} \mid \varphi \mid - 1 \leq 0 \; ; \quad e_y = 0$$

alakban adható meg.

A geometriai feltételes kapcsolatok esetében a (4) alatti korlátozás azt jelenti, hogy egy bezárult kapcsolat a további terhelési folyamat során már nem „nyílik szét", hanem mindvégig aktívan dolgozik. A bemutatott kapcsolatokat tehát a továbbiakban ilyen módon kell értelmezni.

2.22. *Szilárdsági feltételes kapcsolatok*

A 2/b ábrán látható esetben a rudakat jelképező két lemez egy csavarral vagy szögeccsel össze van szorítva. A mozgást x tengely irányában az összeszorításból származó súrlódó erő gátolja, egyébként azonban a lemezeken levő hosszúkás nyílások a tartótengely irányában tetszőleges nagy elmozdulást lehetővé tesznek. A súrlódó erő *Coulomb-törvény* által megszabott lehetséges legnagyobb értékét R_0-val jelölve a kapcsolati feltétel

$$- R_0 \leq N \leq R_0$$

alakban írható fel. A kapcsolat helyén az M hajlítónyomaték zérus, a T nyíróerő pedig tetszőlegesen nagy lehet.

A 2/e ábrán látható feltételes kapcsolat a 2/d ábra esetéhez hasonlóan van kialakítva, az A-val jelölt két lemez azonban szorítóerőt fejt ki, és így a csatlakozó rudak a kapcsolat helyén súrlódás révén M_0 nagyságú erőpárt képesek egymásnak átadni. A kapcsolati feltételt tehát

$$-M_0 \leq M \leq M_0$$

alakban írhatjuk fel. Ha teljesül az $\mid M \mid = M_0$ feltétel, akkor a kapcsolat helyén tetszőlegesen nagy elfordulás jöhet létre.

A 3/b ábrán látható esetben a két lemezt két csavar, ill. szegecs szorítja össze. A két lemez csak a hosszúkás nyílások által megszabott feltételnek megfelelően mozdulhat el egymáshoz képest, a lemezek között fellépő súrlódó erő azonban egy bizonyos határig még ezt a mozgást is gátolja. Jelöljük az egy-egy csavar helyén működő súrlódó erő lehetséges legnagyobb értékét $\frac{1}{2} R_0$-val. Ekkor a kapcsolati feltétel

$$\frac{1}{R_0} \mid N \mid \pm \frac{1}{R_0 h} \mid M \mid - 1 \leq 0$$

alakban írható fel. T értéke ebben az esetben tetszőleges lehet.

A 2/c ábrán látható esetben a kapcsolat egyetlen *merev-tökéletesen képlékeny* anyagú rúdból áll. A rúd folyását előidéző erőt S_0-val jelölve a kapcsolati feltételt

$$-S_0 \leq N \leq S_0$$

alakban adhatjuk meg. M és T értéke a kapcsolat helyén zérus.

A 2/f ábra egy *képlékeny csuklót* tüntet fel. Közismert, hogy a kapcsolati feltétel ebben az esetben

$$-M_0 \leq M \leq M_0$$

alakú, ahol M_0 a rúdelem által kifejtett képlékeny nyomatéki teherbírást jelöli. Ha a nyíró- és a normálerőnek a képlékenységi feltételre gyakorolt hatását figyelmen kívül hagyjuk, akkor N és T értéke a vizsgált kapcsolat helyén tetszőlegesen nagy lehet.

A 3/c ábrán vázolt esetben a feltételes kapcsolat két *merev-tökéletesen képlékeny* anyagú rúdból áll. Ha ezek képlékeny állapotban külön-külön $\frac{1}{2}\, S_0$ nagyságú erőt fejtenek ki, akkor a kapcsolati feltételt az

$$\frac{1}{S_0} \mid N \mid \pm \frac{1}{S_0 h} \mid M \mid - 1 \leq 0\,; \qquad T \equiv 0$$

összefüggések adják meg.

Végül a 3/d ábra esetében a feltételes kapcsolatot egy *merev-tökéletesen képlékeny* anyagú rúdelem jelenti. Ebben az esetben tehát a kapcsolati feltétel a rúdelem *képlékenységi feltételével azonos*, amely általános esetben az M, N és T igénybevételek között fennálló kapcsolattal adható meg.

A fentiekből látható, hogy a merev-tökéletesen képlékeny anyagú rúdelem a feltételes kapcsolatok egyik különleges esetének tekinthető. Eszerint tehát a merev-tökéletesen képlékeny anyagú tartót végtelen sok feltételes kapcsolat sorozataként képzelhetjük el.

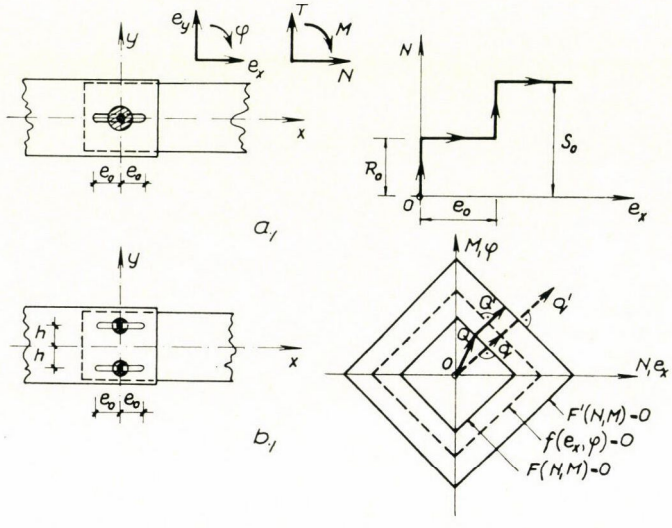
A felsorolt példákból azt is ellenőrizhetjük, hogy a tárgyalt geometriai feltételes kapcsolatok esetében az erők, a szilárdsági feltételes kapcsolatoknál pedig az elmozdulások eleget tesznek a (2) és (3) képletekkel megszabott *normalitási feltételnek*.

2.3. Összetett feltételes kapcsolatok

Olyan feltételes kapcsolatok is lehetségesek, amelyek viselkedését *egymást követően* geometriai és szilárdsági feltételek korlátozzák. Az ilyen összetett kapcsolatra a 4. ábra két példát mutat be.

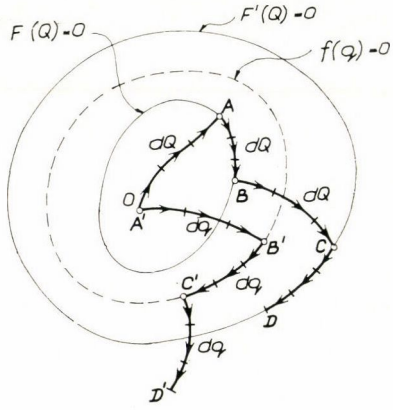
A 4/a ábra esetében a rudakat jelképező két lemezt egy csavar vagy szögecs szorítja össze. Ameddig az x tengely irányú N erő a súrlódási erő lehetséges legnagyobb (R_0) értékét nem éri el, addig elmozdulás nem jöhet létre. Ha $\mid N \mid = R_0$, akkor a lemezek x tengely irányban egymáshoz képest eltolódnak, de $\mid e_x \mid = e_0$ nagyságú eltolódás után a kapcsolat „megmerevedik", és további N erő felvételére képes. Az erő azonban csak egy bizonyos S_0 értékig növekedhetik, mert $\mid N \mid = S_0$ esetben a nyírásra igénybe vett szögecs megfolyik, és a kapcsolat helyén az N erővel megegyező értelemben tetszőleges nagy x irányú eltolódás jöhet létre.

A 4/b ábrán látható kapcsolat viselkedése a fentihez teljesen hasonló, most azonban a kapcsolat viselkedését két erő, ill. elmozdulás jellemzi. A 3. ábrán közölt eredmények segítségével az egymás után érvényesülő háromféle kapcsolati feltételt ábrázoló diagramok könnyen megszerkeszthetők.



4. ábra

Az 5. ábrán látható kapcsolati feltételt ábrázoló görbék ugyancsak annak az esetnek felnek meg, amikor a szilárdsági feltételt egy geometriai, azt pedig ismét egy szilárdsági feltétel követi. A vizsgált folyamat közben létrejövő erőket, ill. elmozdulásokat ábrázoló vektorok alakulását az $O-A-B-C-D$, ill. $O-A'-B'-C'-D'$ vonal jelképezi. Ebben az esetben is feltételezzük, hogy az egyszer már aktívvá vált kapcsolat a továbbiakban aktívan viselkedik, azaz a (4) képlettel megszabott eset bekövetkezésének lehetőségét kizárjuk.



5. ábra

3. *Határállapot-vizsgálat*

Amint láttuk, a feltételes kapcsolatok viselkedését ugyanolyan matematikai összefüggések írják le, mint amilyenek a merev-tökéletesen képlékeny anyag képlékenységi feltételét és a képlékeny alakváltozásokat leíró plasztikus potenciálelméletet jellemzik [5]. Kézenfekvő tehát a gondolat, hogy a szerkezetek korlátlan képlékeny alakváltozási határállapotára vonatkozó statikai és kinematikai tételt a fogalmak értelemszerű megváltoztatásával a feltételes kapcsolatokkal bíró szerkezetekre is kiterjesszük. A továbbiakban vizsgálatainkat az elsőrendű elmélet alapján végezzük el.

Vegyünk szemügyre egy szerkezetet, amely a benne levő

geometriai — szilárdsági

feltételes kapcsolatok eredményeként

kinematikailag — statikailag

határozatlan.

Tételezzük fel, hogy ennek a szerkezetnek a

mozgását a — terhelését a

$\mathbf{p}_j = m\mathbf{p}_{0j}$ — $\mathbf{P}_j = M\mathbf{P}_{0j}$

egyparaméteres

elmozdulásrendszer — erőrendszer

jellemzi. Ebben

$\mathbf{p}_{0j}$ — $\mathbf{P}_{0j}$

az elmozdulások — az erők

elrendezését és arányát, az

m — M

paraméter pedig az

elmozdulásrendszer — erőrendszer

mindenkori nagyságát szabja meg.

Az utóbbi monoton növelése közben elérhető egy olyan állapot, amikor a szerkezet egésze vagy legalábbis egy része a feltételes kapcsolatok aktivizálódása következtében

további mozgás — további teher

végzésére — felvételére

nem képes. A feladat az ehhez a *határállapothoz* tartozó

m_0 — M_0

paraméter meghatározása.

3.1. Alsó korlát számítása

Vegyük szemügyre a szerkezet egy olyan fiktív,

geometriailag		statikailag
	lehetséges állapotát,	

amelynél a feltételes kapcsolatok helyén levő

$\mathbf{q}'_i$		$\mathbf{Q}'_i$
elmozdulások		erők
	az adott külső	
$\mathbf{p}_j = m'\mathbf{p}_{0j}$		$\mathbf{P}_j = M'\mathbf{P}_{0j}$
elmozdulásrendszerrel		erőrendszerrel
geometriailag összeférhetők		egyensúlyban vannak

és valamennyi feltételes kapcsolat helyén kielégítik az

$$f_i(\mathbf{q}'_i) \leq 0 \qquad F_i(\mathbf{Q}'_i) \leq 0$$

feltételt. Kimondható, hogy *bármelyik*

m'	M'
kinematikailag	*statikailag*

lehetséges paraméter a határállapotnak megfelelő paraméter alsó korlátja, azaz

$$m' \leq m_0 . \qquad M' \leq M_0 .$$

Látható, hogy a szilárdsági feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezeteknél a fenti összefüggések a merev-képlékeny anyagú szerkezetek hasonló összefüggéseivel teljesen azonosak [5]. Ezért a tétel bizonyítását csak a geometriai feltételes kényszerekkel kapcsolt szerkezetekre mutatjuk be.

Jelöljük a geometriai feltételes kapcsolatokat tartalmazó, kinematikailag határozatlan szerkezet határállapotban létrejövő tényleges kapcsolati elmozdulásait $\mathbf{q}_i$-val, a (2) és (3) képletek révén ezekhez rendelt belső erőnövekményeket pedig $\mathrm{d}\mathbf{Q}_i$-val. Mivel határállapotban a szerkezet egy része vagy teljes egésze mozdulatlan, ezért — a $\mathbf{p}_{0j}$ elmozdulásrendszer által megszabott korlátozásokat figyelembe véve — a $\mathrm{d}\mathbf{Q}_i$ belső erőeloszláshoz rendelhetők olyan külső erőrendszerek, amelyek a $\mathrm{d}\mathbf{Q}_i$ belső erőkkel egyensúlyban vannak. Képzeljünk el ezek közül egyetlen egy $\mathrm{d}\mathbf{P}_j$ erőrendszert. Ugyanakkor vegyünk szemügyre egy $\mathbf{q}'_i$ geometriailag lehetséges fiktív elmozdulásrendszert. Mivel $\mathbf{q}'_i$, ill. $\mathbf{q}_i$ a külső $m'\mathbf{p}_{0j}$, ill. $m_0\mathbf{p}_{0j}$ elmozdulásrendszerrel geometriailag összeférhető, ezért a $\mathrm{d}\mathbf{Q}_i$, $\mathrm{d}\mathbf{P}_j$ egyensúlyi erőrendszerre vonatkozóan mindkettő felhasználásával felírható a virtuális elmozdulások tétele. Az első esetben:

$$m'\Sigma\mathbf{p}_{0j}\,\mathrm{d}\mathbf{P}_j = \Sigma\mathbf{q}'_i\,\mathrm{d}\mathbf{Q}_i \tag{8}$$

A második esetben:

$$m_0\Sigma\mathbf{p}_{0j}\,\mathrm{d}\mathbf{P}_j = \Sigma\mathbf{q}_i\,\mathrm{d}\mathbf{Q}_i \tag{9}$$

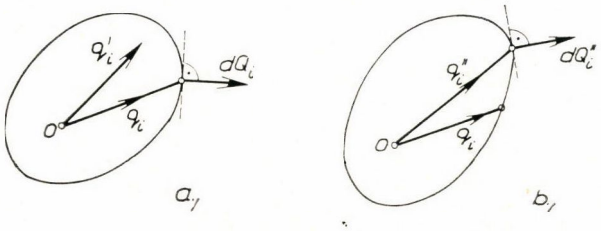
A 6/a ábra alapján azonban megállapítható, hogy az $f_i(\mathbf{q}_i) = 0$ felület *konvexitása* és a $d\mathbf{Q}_i$ vektor *normalitása* következtében fennáll a

$$\mathbf{q}_i' \, d\mathbf{Q}_i \leq \mathbf{q}_i \, d\mathbf{Q}_i$$

összefüggés, és így a (8) és (9) képletek egybevetéséből az

$$m' \leq m_0$$

eredményt kapjuk. q. e. d.



6. ábra

3.2. Felső korlát számítása

Vegyük szemügyre a szerkezet egy olyan fiktív

statikailag	geometriailag

lehetséges állapotát, amelynél a feltételes kapcsolatok helyén levő

$d\mathbf{Q}_i''$	$d\mathbf{q}_i''$
erők	elmozdulások

a külső

$d\mathbf{P}_j''$	$d\mathbf{p}_j''$
erőrendszerrel	elmozdulásrendszerrel
egyensúlyban	geometriailag
vannak.	összeférhetők.

A (6) és (7) képletek szerint a

$d\mathbf{Q}_i''$	$d\mathbf{q}_i''$
erők	elmozdulások

a kapcsolatok helyén egyértelműen meghatározzák a

$\Sigma \, da(d\mathbf{Q}'')$	$\Sigma \, dA(d\mathbf{q}_i'')$
kiegészítő energiát,	energiát,

ebből pedig az

$$m''\Sigma \mathbf{p}_{j0}\, d\mathbf{P}''_j \geq \Sigma\, da(d\mathbf{Q}''_i) \qquad M''\Sigma \mathbf{P}_{0j}\, d\mathbf{p}''_j \geq \Sigma\, dA(d\mathbf{q}''_i) \tag{10}$$

összefüggés alapján kiszámítható a felvett fiktív állapothoz tartozó paraméter. Kimondható, hogy *bármelyik*

m''	M''
statikailag	*kinematikailag*

lehetséges paraméter a határállapotnak megfelelő paraméter felső korlátja, azaz

$$m'' \geq m_0 \qquad M'' \geq M_0\,.$$

A tétel igazolását most is csak a geometriai feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetekre mutatjuk be.

Jelöljük a geometriai feltételes kapcsolatokat tartalmazó, kinematikailag határozatlan szerkezet határállapotban létrejövő tényleges kapcsolati elmozdulásait $\mathbf{q}_i$-val. Ezek az $m_0\mathbf{p}_0$ külső elmozdulásrendszerrel geometriailag összeférhetők, ezért felvéve egy fiktív $d\mathbf{P}''_j$, $d\mathbf{Q}''_i$ egyensúlyi erőeloszlást, alkalmazható rájuk a virtuális erők tétele

$$m_0\Sigma \mathbf{p}_{j0}\, d\mathbf{P}''_j = \Sigma \mathbf{p}_i\, d\mathbf{Q}''_i. \tag{11}$$

Ugyanakkor a statikailag lehetséges m'' paraméter (10) alatti definíciója szerint

$$m''\Sigma \mathbf{p}_{0j}\, d\mathbf{P}''_j \geq \Sigma\, da(d\mathbf{Q}''_i). \tag{12}$$

Ez utóbbiban $da(d\mathbf{Q}''_i)$ a $d\mathbf{Q}''_i$ erőnövekményből és a potenciálelmélet (2) és (3) képlete által ehhez rendelt $\mathbf{q}''_i$ elmozdulásból nyerhető:

$$da(d\mathbf{Q}''_i) = \mathbf{q}_i\, d\mathbf{Q}''_i.$$

A 6/b ábrából látható, hogy a *konvexitás* és *normalitás* következtében minden esetben

$$\mathbf{q}_i\, d\mathbf{Q}''_i \leq \mathbf{q}''_i\, d\mathbf{Q}''_i\,,$$

ezért a (11) képlet jobb oldala mindig kisebb a (12) képlet jobb oldalánál, vagy azzal legfeljebb egyenlő. Ezt figyelembe véve a (12) összefüggés

$$m''\Sigma \mathbf{p}_{0j}\, d\mathbf{P}''_j \geq m_0\Sigma \mathbf{p}_{0j}\, d\mathbf{P}''_j$$

alakban is felírható, amiből következik, hogy

$$m'' \geq m_0\,.$$

q. e. d.

3.3. Pontos számítás

Az ismertetett két tétel segítségével a szerkezet határállapotát jellemző paraméter pontos értéke is megállapítható. A képlékenységtanból közismert tételek alapján nyilvánvaló, hogy felírhatók az alábbi összefüggések:

$$\left.\begin{aligned} m_0 &= \max\,(m') & M_0 &= \max\,(M') \\ m_0 &= \min\,(m'') & M_0 &= \min\,(M'') \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Ha pedig egy paraméterről sikerül bebizonyítani, hogy statikailag és kinematikailag egyaránt lehetséges, akkor kimondható, hogy az ugyancsak megadja a határállapotnak megfelelő paramétert:

$$m_0 = m' = m'' \qquad M_0 = M' = M''$$

Végül megemlítjük, hogy a geometriai feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek határállapotvizsgálata és a merev-képlékeny anyagú szerkezetek *optimális tervezése* között közvetlen kapcsolat áll fenn [6]. Nevezetesen, ha az optimális tervezés során a szerkezetet a kapcsolatok kivételével mindenütt tökéletesen merevnek tekintjük, és az optimálizálás tárgyát képező célfüggvény gradiens függvénye azonos a geometriai kapcsolati feltételeket leíró függvényekkel, akkor a kétféle feladat — bár fizikailag tartalma különböző — matematikailag teljesen azonossá válik, és így azonos megoldásra vezet.

4. Összetett feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek állapotváltozásának vizsgálata

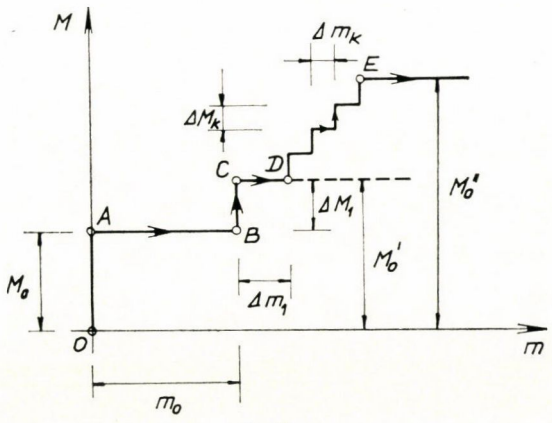
Az összetett feltételes kényszereket tartalmazó szerkezetek állapotváltozásának vizsgálatát egy olyan *merev anyagú* szerkezeten mutatjuk be, amelynél — egymást követően — a szilárdsági és a geometriai kapcsolati feltételeket az

$$\mathrm{F}(\mathbf{Q}_i) \leq 0 \; ; \quad \mathrm{f}(\mathbf{q}_i) \leq 0 \; ; \quad \mathrm{F}'(\mathbf{Q}_i) \leq 0$$

összefüggések fejezik ki, és mindenütt teljesül az $\mathrm{F}'(\mathbf{Q}_i) < \mathrm{F}(\mathbf{Q}_i)$ egyenlőtlenség.

a) A vizsgálat kezdetekor a szerkezet merev és a $\mathbf{P}_j = \mathbf{M}\mathbf{P}_{0j}$ külső erők terhelik. A határállapotvizsgálat ismertetett tételei szerint megállapíthatók az $\mathrm{F}(\mathbf{Q}_i) \leq 0$ feltétel által megszabott határállapothoz tartozó $\mathbf{Q}_i$ igénybevételek, a $\mathrm{d}\mathbf{q}_i$ belső, valamint a $\mathrm{d}\mathbf{p}_j$ külső elmozdulások és az M_0 paraméter.

A szerkezet mindenkori állapotát jelképesen az M teher- és az m elmozdulásparaméter között fennálló összefüggéssel jellemezhetjük (7. ábra). A szóban forgó határállapotot a diagram A pontja ábrázolja.



7. ábra

b) Az $M_0\mathbf{P}_{0j}$ teher hatására a szerkezet egy egyszabadságfokú labilis alakzattá változik. Ennek mozgása közben az $M\mathbf{P}_{0j}$ külső teher és a $\mathbf{Q}_i$ belső erők változatlanok, a $d\mathbf{p}_j$ külső és a $d\mathbf{q}_i$ belső elmozdulások pedig mindaddig arányosan nőnek, ameddig egy vagy esetleg egyidejűleg több feltételes kapcsolat helyén teljesül az $f(m_0\, d\mathbf{q}_i) = 0$ feltétel. Ebből a következő, geometriai feltételekkel megszabott határállapot m_0 paraméterét meg lehet határozni (lásd a diagram B pontját).

c) Ezután a szerkezet ismét merev alakzattá változik, amely további terhek felvételére képes. A teher azonban csak olyan ΔM_1 mértékben növelhető, amelynek következtében valamelyik feltételes kapcsolat helyén kielégül az $F_i(\mathbf{Q}_i) = 0$ vagy az $F'_i(\mathbf{Q}_i) = 0$ feltétel. (Az első eset természetesen csak azokra a helyekre vonatkozhat, amelyeknél korábban az $F_i(\mathbf{Q}_i) < 0$ egyenlőtlenség állt fenn.) Az

$$M'_0 = M_0 + \Delta M_1$$

intenzitású teher hatására a szerkezet ismét labilis alakzattá válik, és ez a következő határállapot bekövetkeztét jelzi (lásd a diagram C pontját).

d) Az újabb határállapot létrejötte azonban nem jelenti a teherbírás teljes kimerülését. Az elmozdulások egy bizonyos Δm_1 mértékű növekedése után ugyanis egy újabb kapcsolat helyén teljesül az $f_i(\mathbf{q}_i) = 0$ feltétel, és így ennek a kapcsolatnak az aktivizálódása révén a szerkezet ismét merevvé válik (lásd a D pontot). Ezután a geometriailag korlátozott kapcsolatok megmerevedése és a szilárdságilag korlátozott kapcsolatok fellazulása egymást követi mindaddig, amikor a szerkezet olyan labilis alakzattá változik, amelynek mozgását valamennyi aktívan működő kapcsolata helyén az $F'(\mathbf{Q}_i) = 0$ feltétel kielégülése teszi lehetővé (lásd az E pontot). Ezt követően ugyanis a labilis alakzat mozgása további szilárdsági kapcsolatok aktivizálódását (azaz az $F_i(\mathbf{Q}_i) = 0$ feltételről az $F'_i(\mathbf{Q}_i) = 0$ feltételre való áttérést) már nem teszi lehetővé.

A szerkezet végső határállapotának megfelelő teherintenzitás tehát a fenti vizsgálat lépésről lépésre történő elvégzése alapján az

$$M''_0 + M_0 + \Sigma\Delta M_k$$

képletből számítható ki. Ez az intenzitás azonban közvetlenül is kiszámítható, ha elvégezzük az $F'_i(\mathbf{Q}_i) \geq 0$ szilárdsági kapcsolati feltételekkel jellemzett szerkezet határállapot-vizsgálatát az adott $M\mathbf{P}_{0j}$ külső teher alapulvételével.

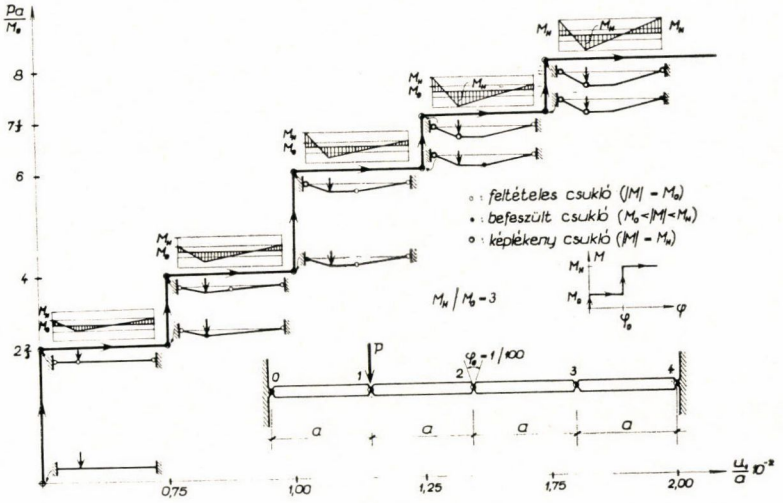
A fentiekből látható, hogy a szilárdsági-geometriai-szilárdsági feltételekkel korlátozott kapcsolatokat tartalmazó, merev anyagú szerkezet a *keményedő anyagú* szerkezetekhez hasonlóan viselkedik. Mégis két lényeges különbséget lehet megállapítani:

— a feltételes kapcsolatok teherbírásának növekedése nem az anyag, hanem a feltételes kapcsolatok tulajdonságából fakad;
— a feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezet teherbírása nem folytonosan és korlátlanul, hanem fokozatosan és csak egy meghatározott mértékig növekedik.

Megemlítjük, hogy a *rugalmas anyagú* szerkezetek állapotváltozásának vizsgálatára vonatkozó tételek és eljárások kidolgozása ugyancsak folyamatban van.

Az állapotváltozás vizsgálat szemléltetésére tekintsük a 8. ábrán látható, négy merev rúdból álló két végén befogott tartót, melyre egyetlen erő működik. A rudak ugy vannak egymáshoz kapcsolva, hogy a kapcsolatok helyén az M_0 (pl. surlódásból eredő) nyomaték elérésekor feltételes csukló alakul ki. A csukló helyén azonban csak korlátozott mértékű, $|\varphi| \leq \varphi_0$ nagyságu relatív elfordulása jöhet létre. φ_0 elérésekor a csukló „befeszül" és a továbbiakban mindaddig mereven viselkedik, ameddig a nyomaték értéke az M_H nyomatékot el nem éri. Ekkor a kapcsolati helyen tényleges képlékeny csukló alakul ki. A példában a határnyomatékok aránya $M_H/M_0 = 3$, az elfordulásképesség pedig $\varphi_0 = 1/100$.

A 8. ábrán a monoton növekvő teher és a szerkezet 1. jelű pontjának függőleges eltolódása közötti összefüggést ábrázoló diagram látható. A diagram jellegzetes pontjai mellett a tartó feltételes kapcsolatainak állapotát és a nyomatéki ábrát is feltüntettük.



8. ábra

IRODALOM

[1] *Gjelsvik A.:* Interaction Between Frames and Precast Panel Walls. Journ. Struct. Div. ST2. Proc. ASCE 1974. February.

[2] *Burnett, E. F. P.—Rajendra, R. C. S.:* Influence of Joints in Panelized Structural Systems. Journ. Struct. Div. ST.9. Proc. ASCE 1972. Sept.

[3] *Roller, B.—Szentiványi B.:* Die Berechnung von Tragwerken mit bedingten Zwangskräften mittels quadratischen Programmierung. Periodica Polytechnica — sajtó alatt.

[4] *Prager W.:* On Ideal Locking Materials. Trans. Soc. of Rheology. Vol. I (1957).

[5] *Prager W.:* Problems der Plastizitätstheorie. Birkhäuser, Basel (1955).

[6] *Rozvany, G. I. N.—Adidam, S. R.:* Rectangular Grillages of Least Weight. Journ. Eng. Mech. Div. EM. 6. Proc. ASCE 1972. Dec.

ANDORNÉ TOBIÁS JUDIT

A XVII—XVIII. SZÁZADI MAGYARORSZÁG BAROKK TEMPLOMÉPÍTÉSZETÉNEK SZERKEZETI KIALAKULÁSA ÉS FEJLŐDÉSE

Az új eszméket tartalmazó barokk művészetet Európa-szerte az ellenreformáció hívta életre. A XVII. században a katolikus egyház legfőbb célja a hívek visszaszerzése, egyházi és anyagi hatalmának visszaállítása volt. Ebben a harcban fontos szerepet vittek a *szerzetesrendek*, különösen a jezsuiták. A szerzeteseknek elsősorban a főnemességet kellett megnyerniük, akik anyagi támogatásukkal bázist teremthettek munkájukhoz.

Az ellenreformáció élénk művészi propaganda segítségével folyt. A XVII. század elejétől nagy lendülettel indultak meg Európában az egyházi építkezések.

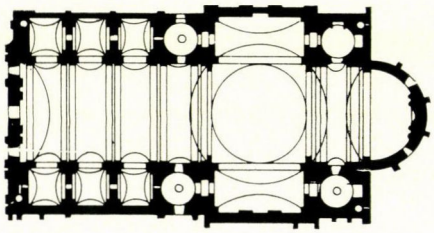
A *magyar barokk művészet* gyökerei is a XVII. század első felére nyúlnak vissza. Ebben a történelmi korszakban az ország belpolitikáját az a harc határozta meg, amelyet a nagybirtokos nemesség a *feudalizmus* fenntartásáért vívott a központi hatalmat megszilárdító Habsburgokkal. A helyzetet súlyosbították a *törökellenes háborúk*, a *nemzeti egység hiánya*. Bár a légkör nem volt nyugodt, a feudális földesúri-paraszti jellegű társadalom alkalmas volt arra, hogy magáévá tegye a barokk világnézetet: újra hinni és elhitetni a vallás tanait. Ez a helyzet alkalmas volt arra is, hogy — bár szerény keretek között — megteremtse a barokk építészetet.

I. BAROKK TEMPLOMÉPÍTÉSZETÜNK ELŐKÉPEI ÉS KIALAKULÁSA

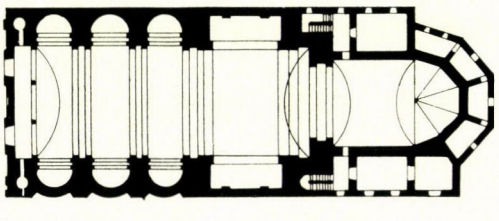
Az ellenreformáció legfőbb eszköze a *templom* volt, így az egyház fontos feladatává vált, hogy azt a megújított eszmék szolgálatának megfelelően alakítsa ki.

Ismeretes, hogy az első barokk templomot — az *Il Gesù*-t — a jezsuiták építették 1568—75 között Rómában. Az Il Gesù — kilencosztású, centrális tér és egy hosszház összekapcsolásából származó — egyhajós, keresztházas, íves záródású szentéllyel épült barokk templom. Hajóját mindkét hosszoldalán kápolnák sora kíséri. Térlefedése dongaboltozatos, a négyezetet csegelyes, tamburos kupola fedi. Tervezője *G. Vignola* (1507—1573), Michelangelo eszméit követve, egyesíti a reneszánsz centrális gondolatot a középkori hosszházas rendszerrel. Ezzel *a barokk templomépítészet sajátos térformáját hozza létre*. Az oldalkápolnák már nem nyújtanak önálló térélményt, mint a reneszánszban, csupán kísérik a monumentális hajót. Méretük a hajóhoz képest jelentéktelen, főként a díszítést, pompát fokozó mellékoltárok elhelyezésére szolgálnak. A hajón végigfutó hangsúlyos főpárkány, felette a nyugodt, egységes teret biztosító dongaboltozat, szinte felvezet a főélményre. A négyezeti kupola dobján beáradó *fény* a liturgiailag leglényegesebbet, a *szentélyt* kívánja a figyelem középpontjába állítani.

Az Il Gesù páratlan hatása Európa-szerte vitathatatlan. Érdekes megfigyelni azonban, hogy az Il Gesù térképezésének lényegét képező négyezeti kupolát, a hatására épült korai példáknál — valószínűleg anyagi, illetve technikai nehézségek miatt — legtöbbször elhagyták. Az így „leegyszerűsített" Il Gesù típus első példáját az 1583—97 között épült *müncheni Szt. Mihály-templom* adta.

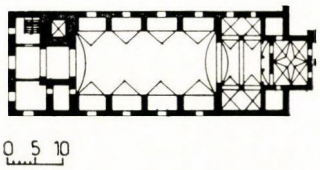


1. ábra. Róma, Il Gesú templom alaprajza



2. ábra. München, Szt. Mihály-templom alaprajza

A Szt. Mihály-templom, amelyet szintén a jezsuiták építettek, még megőrzi az Il Gesù keresztházát, de már csak alaprajzi vonatkozásban. Ez térélmény szempontjából alig nyújt többet, mint az oldalkápolnák sora. A négyezet kiemelésének elhagyásával a centrális gondolatnak nyoma sem maradt. A hajó dongaboltozata egységesen zárja a teret, amelyet a harántirányú dongákkal fedett, íves záródású oldalkápolnák bővítenek.



3. ábra. Beuerberg, jezsuita templom alaprajza

Hasonló kialakítású a *beuerbergi jezsuita templom* (1628—30) is, ahol már az oldalkápolnák téglalap alaprajzúak, s a kereszthajó emlékét őrző első, nyújtottabb oldalkápolna a többivel azonos méretűvé vált.

Ez az irány figyelhető meg a 4. és 5. ábrasoron bemutatott dél-németországi és sziléziai templomok legtöbbjénél is. Ez a leegyszerűsített, szerkezetileg még a középkor hagyományait őrző templomtípus terjedt el hazánkban is a XVII. század második felében.

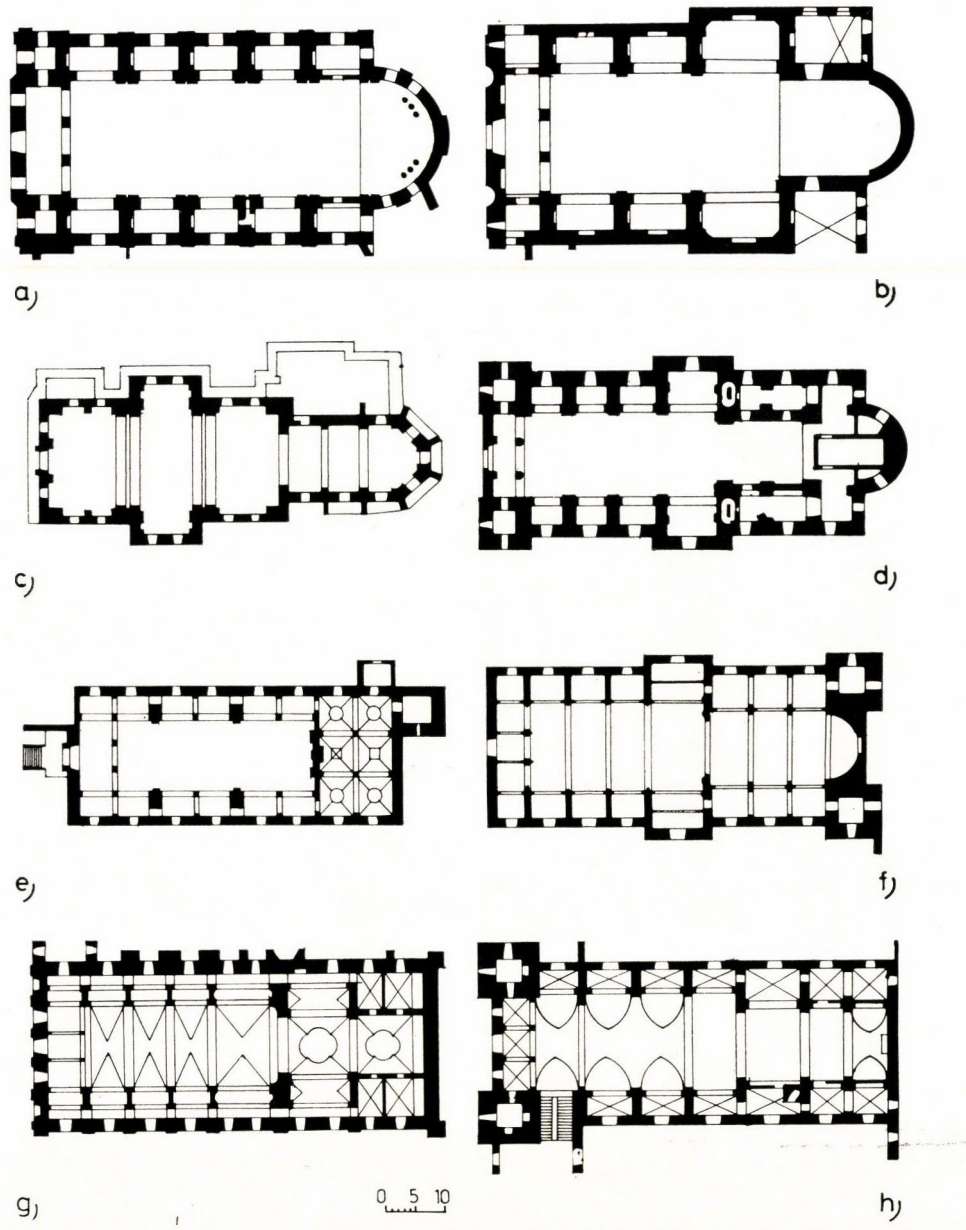
Feltétlenül említést érdemel a barokk templomtípus elterjesztésében a *jezsuita rend* szerepe.[1] A rend szorgos tevékenysége — gyakorta igénybe véve a főurak és főpapok anyagi támogatását — Európa-szerte számos templom felépítését eredményezte.

Az *első magyar barokk templomot* is a jezsuiták építették. A *nagyszombati jezsuita* (Egyetemi) *templomot* Esterházy Miklós nádor anyagi támogatásával 1629 és 1636 között építették (6/a ábra).

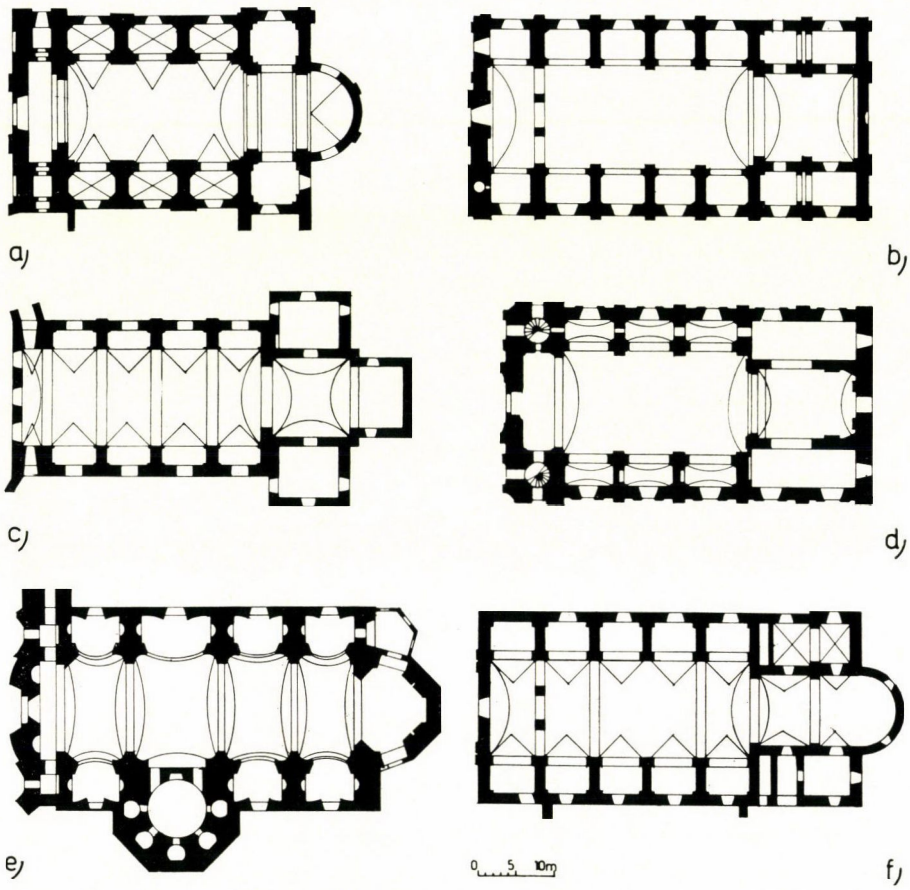
A rendházzal egybeépített, kéttornyos templom alaprajzilag az egyhajós, oldalkápolnás típust követi. A hajót kísérő 4—4 oldalkápolna közül a szentély

[1] A jezsuita rendet 1540-ben Loyolai Szent Ignác alapította Rómában, a katolikus hit védelmére, feltétlen engedelmességet fogadva a pápának. A rend elsődleges célkitűzése az ellenreformáció szolgálata volt.

A rend tagjai közül többen foglalkoztak hivatásszerűen építészettel. Csak a Magyarországon tevékenykedők közül néhányat említve: Pethő István az egri, Cristoph Tausch a trencséni, Peter Ross az esztergomi és Scherzer Bálint a marosvásárhelyi jezsuita templomok tervezője, illetve építője volt.



4. ábra. Dél-németországi korabarokk templomok alaprajzai. *a)* Luzern, jezsuita templom 1665, *b)* Solothurn, jezsuita templom 1680, *c)* Wettenhausen 1670, *d)* Schönenberg 1682, *e)* Pfafers 1688, *f)* Obermarchtal 1686, *g)* Disentis 1695, *h)* Friedrichshafen 1695



5. ábra. Dél-németországi és sziléziai barokk templomok alaprajzai. *a)* Neisse, jezsuita templom 1688—92, *b)* Breslau, jezsuita templom 1689—1709, *c)* Seedorf, bencéstemplom 1696, *d)* Glogau, jezsuita templom 1696—1724, *e)* Liegnitz, jezsuita templom 1714—27, *f)* Maihingen, jezsuita templom 1712

előtti nyújtottabb, mint a másik három, mintegy a kereszthaz emlékét őrizve. A szentély a hajóval azonos szélességű, egyenes záródású, nyújtott téglány alaprajzú. A hajót és a szentélyt egységesen fiókos dongaboltozat, az oldalkápolnákat pedig keresztboltozatok zárják.

A fentiek alapján tehát, e templomot is a korábban tárgyalt, Dél-Németországban és Sziléziában kialakult és elterjedt típussal hozhatjuk közvetlen kapcsolatba,[2] annak ellenére, hogy azt olasz építészek — a Spazzo testvérek — tervezték.

[2] Korabarokk, egyhajós oldalkápolnás templomaink alaprajzi kialakítását és térképezését általánosan elfogadott kategória „Il Gesù" típusúnak nevezni. Nem e közismert rokonság létét szeretném vitatni, meg kell azonban jegyeznem, hogy az Il Gesù alaprajzi rendszerének lényegét — a centrális és a hosszhajós gondolat egyesítését — egyetlen korai barokk templomunknál sem találjuk meg. Úgyszintén lényeges különbségnek tartom a négyezeti kupola és a kereszthaz elhagyását, amellyel a szentély megvilágítása és egyúttal hangsúlya szenved csorbát.

A nagyszombati jezsuita templom a közel két évszázadon át élő barokk építészet úttörő alkotása, és egyik legszebb példája, amely a XVII. században a magyar templomépítészet új fejezetét nyitotta meg. E templom *alakította ki a korai barokk templomok sajátos magyar alaprajzi és térformáját.*

II. A MAGYARORSZÁGI BAROKK TEMPLOMOK ALAPRAJZI ÉS SZERKEZETI TÍPUSAI

A XVII—XVIII. századbeli Magyarországon épült barokk templomokat alaprajzi és szerkezeti szempontból a következő csoportosításban tárgyalom:

a) hosszházas megoldások:
— egyhajós, oldalkápolnás,
— egyhajós, oldalkápolna nélküli típusok,

b) centrális megoldások:
— elliptikus és
— kereszt alaprajzú típusok.

c) Végül említést teszek a templomok homlokzati megjelenésének, valamint az alaprajz és a szerkezetek kapcsolatáról.

Hosszházas alaprajzi megoldások

A XVII. században és a XVIII. század első évtizedeiben Magyarországon épült nagyobb barokk templomok az egyhajós, oldalkápolnás alaprajzi elrendezést követték.

Egyhajós, oldalkápolnás típusok

E templomtípus első példái hazánkban is a jezsuiták építette templomok voltak. Mint korábban említettem, a magyar barokk templomépítészet kapuját a *nagyszombati jezsuita* (Egyetemi) templom (1629—36) építése nyitotta meg. Ezt követte a győri és a kassai jezsuita templomok építése.

A *győri jezsuita, később bencés templomot* 1634—41 között Baccio del Bianco olasz mester építette. A győri templom méretei kisebbek, mint a nagyszombati jezsuita temploméi, de alaprajzi típusát és térképezését szinte minden részletében követi. Eltérés csupán abban mutatkozik, hogy a hajót itt csak 3—3 oldalkápolna kíséri. Ez a három oldalkápolnás megoldás terjedt el a későbbiek során általánosan. 1671—81 között épült fel a *kassai jezsuita templom*, amely nagy hatással volt a Felvidék templomépítészetére. Nemcsak alaprajza, díszítőelemei, de külső megjelenése is — különösen a két zömök torony — a korai barokk jezsuita templomok jellegzetes megjelenését határozta meg. Közvetlen hatását felfedezhetjük az *eperjesi* 1709-ben és a *trencséni* 1711—15 között épült jezsuita templomoknál.

Ugyancsak a jezsuiták építették át a XVII. század végén a *soproni Szent György-templomot* barokk stílusban. A gótikus boltozatokat és a szentélyt meghagyva, egyhajós, oldalkápolnás alaprajzot alakítottak ki. 1699-ben Pethő

István jezsuita építész által készített terv[3] alapján a XVIII. század elején épült fel az *egri jezsuita, később ciszterci templom*. A jezsuiták templomépítkezései Erdélyben sem maradtak el. 1718—24 között *Kolozsvárott*, 1728—50 között pedig *Marosvásárhelyen* építettek templomot.

A jezsuita templomok jellegzetes alaprajzi kialakítását a 6. ábrasoron mutatjuk be.

A téglalap alaprajzú hajót mindkét hosszoldalán *oldalkápolnák* sora bővíti. Leggyakoribb a 3—3 oldalkápolnás megoldás. Az oldalkápolnákat a hajótól széles hevederív választja el, felettük gyakran építettek *oratóriumot*. A szintén téglalap alaprajzú *szentély* általában egyenes záródású, a hajóval azonos szélességű és magasságú, s attól nincs hangsúlyosan elválasztva.

Ebben a periódusban a hajót és a szentélyt egyaránt *dongaboltozattal fedték le*. A hajó megvilágítását szolgáló ablakok magasan történő elhelyezése céljából a boltozatba fiókokat építettek. A hajónál alacsonyabb oldalkápolnákat és az oratóriumot harántirányú dongával, keresztboltozattal vagy lapos csehsüvegboltozattal zárták le. A *térképzés* lényegében *bazilikális*, a középkorihoz képest azzal a különbséggel, hogy az oldalkápolnákat és az oratóriumot is — világosságot bőven beeresztő — ablaknyílásokkal látták el.

A XVIII. század elején már más szerzetes rendek, sőt egyházi személyek is építettek nagyobbszabású barokk templomokat. Például a piaristák *Debrecenben a Szent Anna-templomot* 1721—46 között, a pálosok *Pesten a mai Egyetemi templomot* 1725—42 között, a *minoriták miskolci templomukat* 1729—43 között és gr. Csáky Imre érsek *Kalocsán az érseki székesegyházat* 1735—54 között.

A 7. ábrasoron megfigyelhetjük, hogy az itt említett templomok is megtartották a jezsuiták által kialakított alaprajzi rendszert, de azt mégis másként, könnyedebb, kötetlenebb módon alkalmazták. A szentély gyakran keskenyebb és alacsonyabb lett, mint a hajó, a szigorúan egyenes szentélyzáródást lágyabb vonalú, íves záródás váltotta fel. Az egységes fiókos dongaboltozatos térlefedést hevederívekkel szakaszokra osztották, hangsúlyosabb diadalívet építettek.

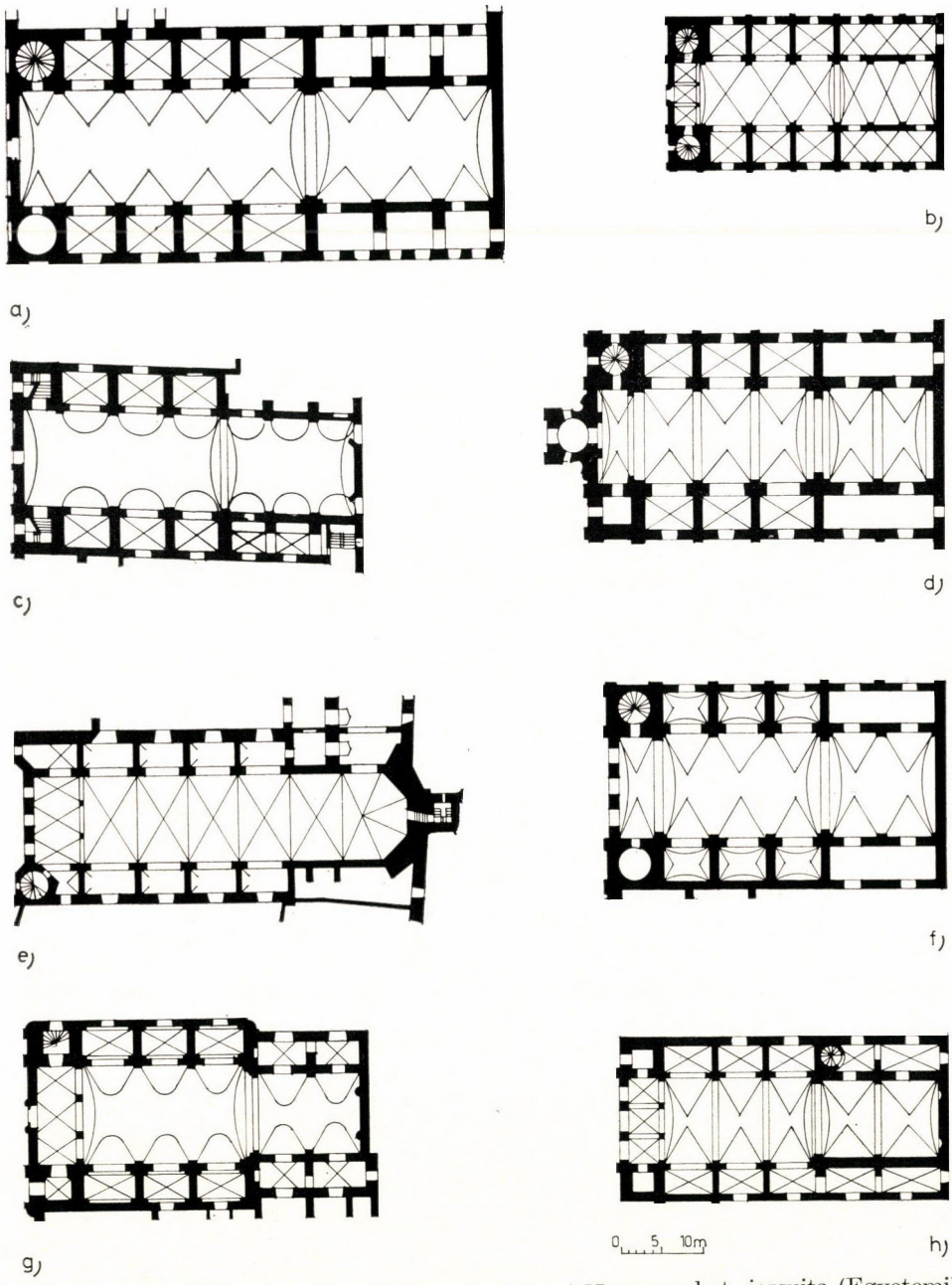
Itt említem meg, hogy különösen a korabarokk templomépítkezéseknél többször előfordult, hogy — a már nyilván rossz állapotú középkori templomból — a szentélyt meghagyták, s csak új hajót építettek hozzá. Néhány jellemző példa alaprajzát a 8. ábrán mutatom be.

[3] Eger, jezsuita (majd ciszterci) templom építéstörténetével kapcsolatos egykorú feljegyzések:

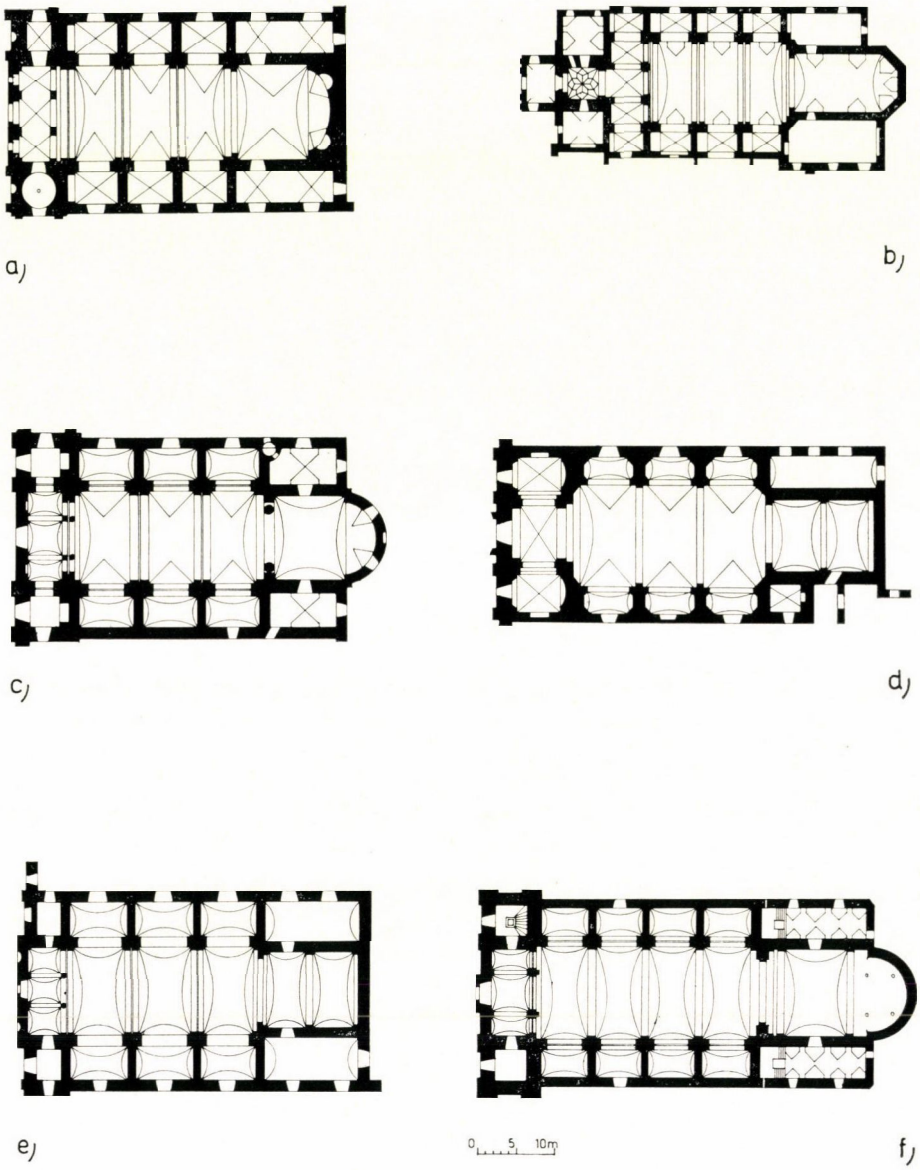
1699. A bécsi rektor (jezsuita rendi) megjegyzései a templomrendház tervéhez az alábbiak voltak: a templom aránytalanul hosszú, 28 öl, a bécsi akadémiai (azaz jezsuita) templom ily hosszú, tehát ez csak 25 öl hosszú legyen, olyan, mint a linzi. A szentélyt kell megrövidíteni 3 öllel. A kollégium 3 szárnya 87 öl, a bécsi csak 71, tehát hagyják el az egész keleti szárnyat.

A bécsi rektor eme megjegyzéseire az egri házfőnök új tervet készített, Bécsben ezt is megtárgyalták. Válaszok, viszontválaszok követték egymást Eger és Bécs között. Létrejött 3 egri terv és 3 bécsi terv. Lényegtelen részletekről pusztán a hiúság érdekéből hosszadalmas vitákat folytattak. Végül az egri rektor 3. sz. tervét minden változtatás nélkül felküldték Rómába a rend generálisához jóváhagyásra. Ez a tervkészítő egri rektor P. Pethő István volt, míg a bécsi terveket P. Geyer Bernát készítette.

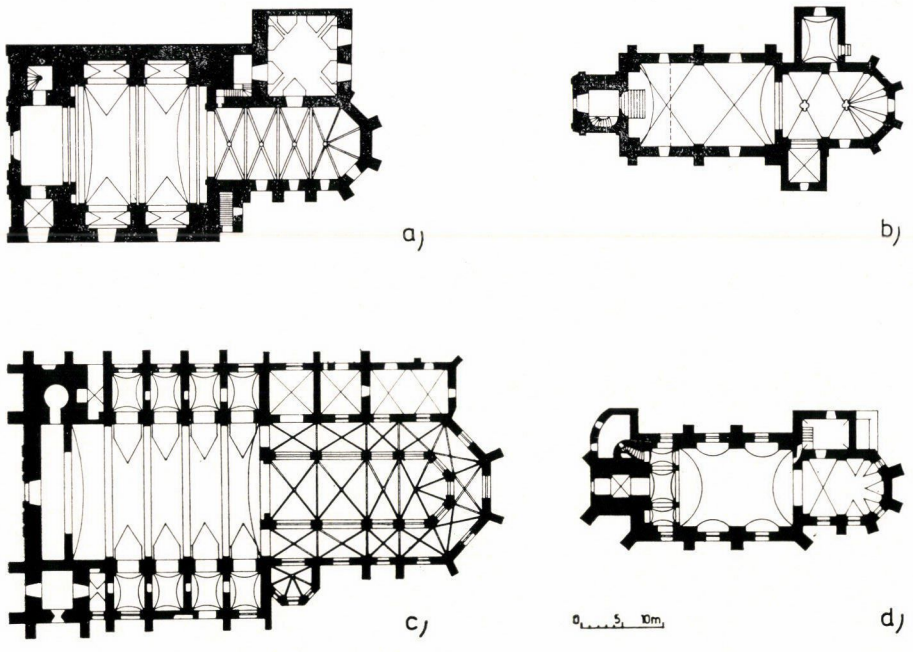
Heves megye műemlékei II. kötetéből átvéve.



6. ábra. Korabarokk magyar jezsuita templomok. *a)* Nagyszombat, jezsuita (Egyetemi) templom 1629—36, *b)* Kassa, jezsuita templom 1671—81, *c)* Győr, jezsuita (majd bencés) templom 1634—41, *d)* Eger, jezsuita templom 1699—1734, *e)* Sopron, Szt. György- (volt jezsuita) templom 1682 után, *f)* Trencsén, jezsuita templom 1711—15, *g)* Kolozsvár, volt jezsuita templom 1718—24, *h)* Marosvásárhely, jezsuita templom 1728—50



7. ábra. Egyhajós oldalkápolnás korabarokk templomok. *a)* Debrecen, piarista, majd Szt. Anna-templom 1721—46, *b)* Budai ferences (Mária Magdolna-) templom XVIII. sz. eleje, *c)* Pesti pálos (Egyetemi) templom 1725—42, *d)* Pesti ferences templom 1727—43, *e)* Miskolc, minorita templom 1729—43, *f)* Kalocsa, érseki székesegyház 1735—54 (terv: 1728)



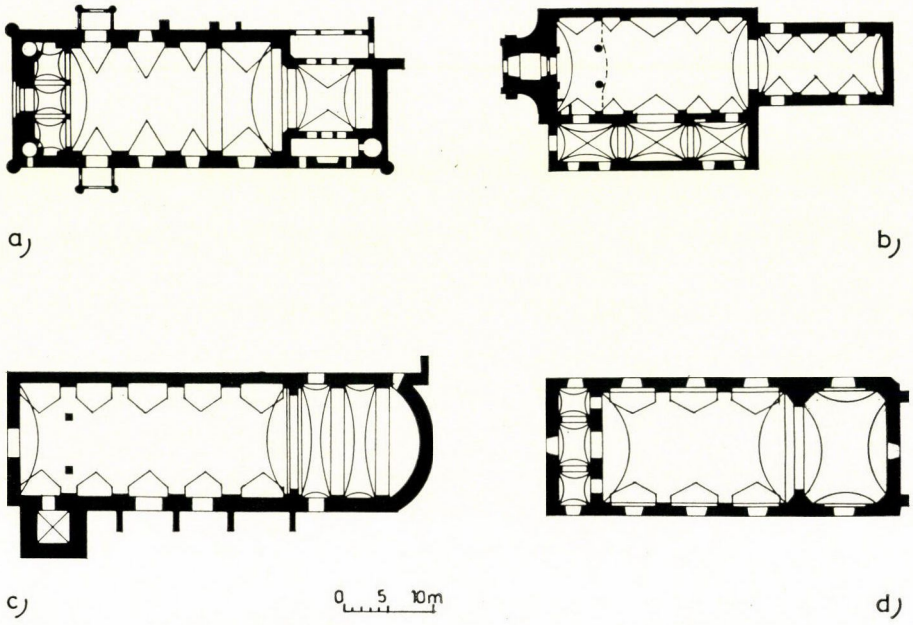
8. ábra. Középkori szentélyhez épített barokk templomhajók. *a)* Márianosztra, pálos templom 1711—29, *b)* Érd, r. k. templom 1703, *c)* Pesti Belvárosi plébániatemplom 1725—40, *d)* Aszód, evangélikus templom 1719—22

Egyhajós, oldalkápolna nélküli típusok

A XVIII. század közepétől az előbbiekben ismertetett egyhajós, oldalkápolnás alaprajzi megoldás egyszerűsödött. A külön teret képező oldalkápolnákat kezdték elhagyni, s megelégedtek csak a mellékoltárok elhelyezéséhez szükséges „falfülkékkel". A templomtér egységessé vált. Ezt a törekvést — nem véletlenül — legkorábban a puritánságra törekedő remete, illetve kolduló rendek szerzetesi templomaiban figyelhetjük meg (9. ábrasor).

A XVIII. század harmincas éveitől kezdve a dongaboltozatos térlefedést szinte teljesen kiszorította a *csehboltozatok alkalmazása.*[4] Ez az új boltozati típus új szerkezeti rendszer kialakulását teremtette meg. A hajót lefedő cseh- vagy csehsüvegboltozatokat hevederívek választják el egymástól. A hevederívek — általában hangsúlyos párkány közbeiktatásával — a hajó oldalfalának síkja elé ugró lizénákra támaszkodnak. A szerkezeti kiteljesedést *a lizénáknak pillérré alakulása* jelentette. Ezzel ugyanis a korábbi tömör falas szerkezeti rendszer lényegileg *pillérvázas szerkezetté fejlődött.* E szerkezeti fej-

[4] Érdekes megfigyelni, hogy a csehboltozatos templomhajó lefedést Németországban is először csak a XVIII. század második évtizedében alkalmazták (Weingarten, bencés apátsági templom 1715—25, Ebersmünster, bencés templom 1719—27).



9. ábra. Egyhajós, oldalkápolna nélküli dongaboltozatos templomok. *a)* Budai kapucinus templom 1703—16 (romantikus átalakítással), *b)* Eger, szervita templom 1728—33, torony 1751—54, *c)* Pécs, ferences templom 1729, szentély 1758, torony 1745, *d)* Pesti angolkisasszonyok (volt domonkos) templom 1747—49

lődés lehetőségét a csehboltozat — későbbiekben ismertetett — kedvező erőjátéka adta meg.

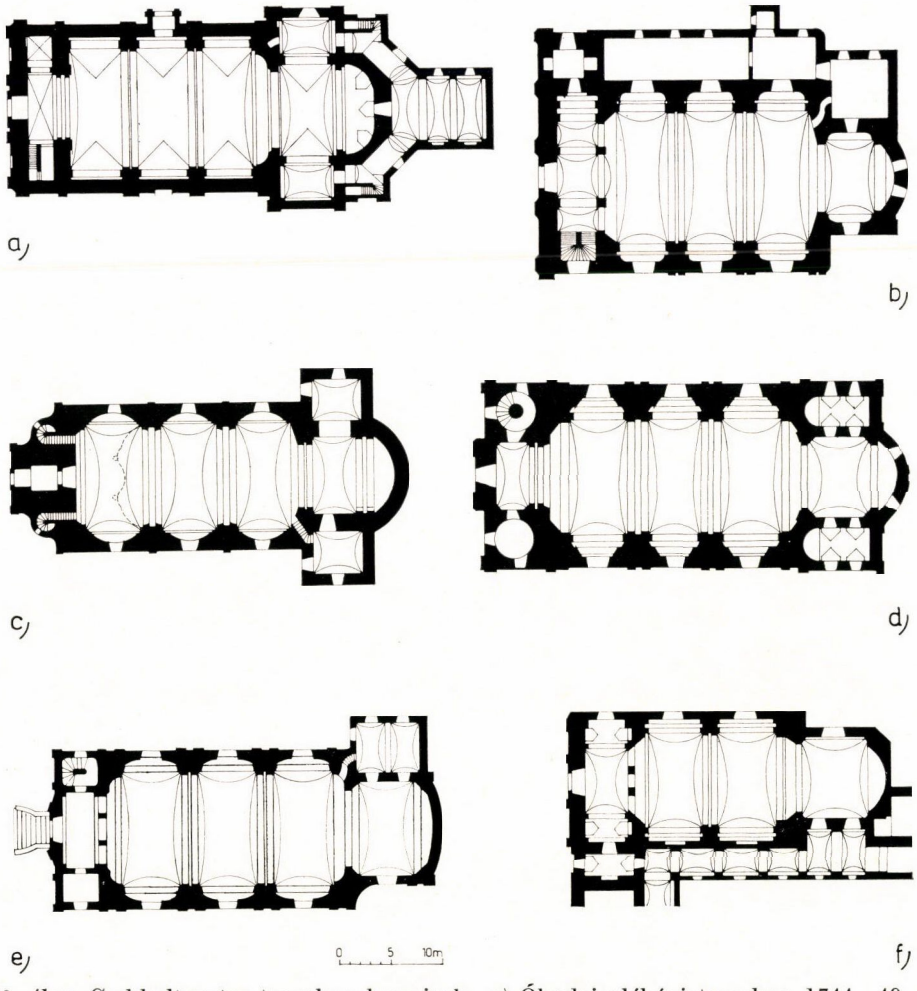
A csehboltozatos barokk templomok néhány jellegzetes alaprajzi példáját láthatjuk a 10. ábrasoron.

A *csehboltozatos térlefedési mód* egészen a XVIII. század végéig jellegzetessége marad a barokk templomépítészetnek, majd pedig megalapozza a klasszicizmus nagyvonalú téralkotásainak szerkezeti feltételeit.

A barokk templomépítészet kialakulását és fejlődését csak a katolikus templomok körében tudjuk — a XVII. századtól a XVIII. század végéig — következetesen levezetni. Itt is bizonyos sajátosságokat kell szem előtt tartanunk. A korai oldalkápolnás kialakítást az esetek nagy részében rendi templomok körében találjuk. A több oltár elhelyezésének igénye ugyanis elsősorban a szerzetesi templomoknál merült fel.

A korai időszakban — minden bizonnyal az anyagi nehézségek miatt— a *plébániatemplomok* csak szerény kivitelben épülhettek. Lefedésük leggyakrabban még síkfödémmel történt. Csak a XVIII. század közepe táján kezdett a templomépítés széles körű méreteket ölteni. Néhány plébániatemplom alaprajzát a 11. ábrasoron láthatjuk.

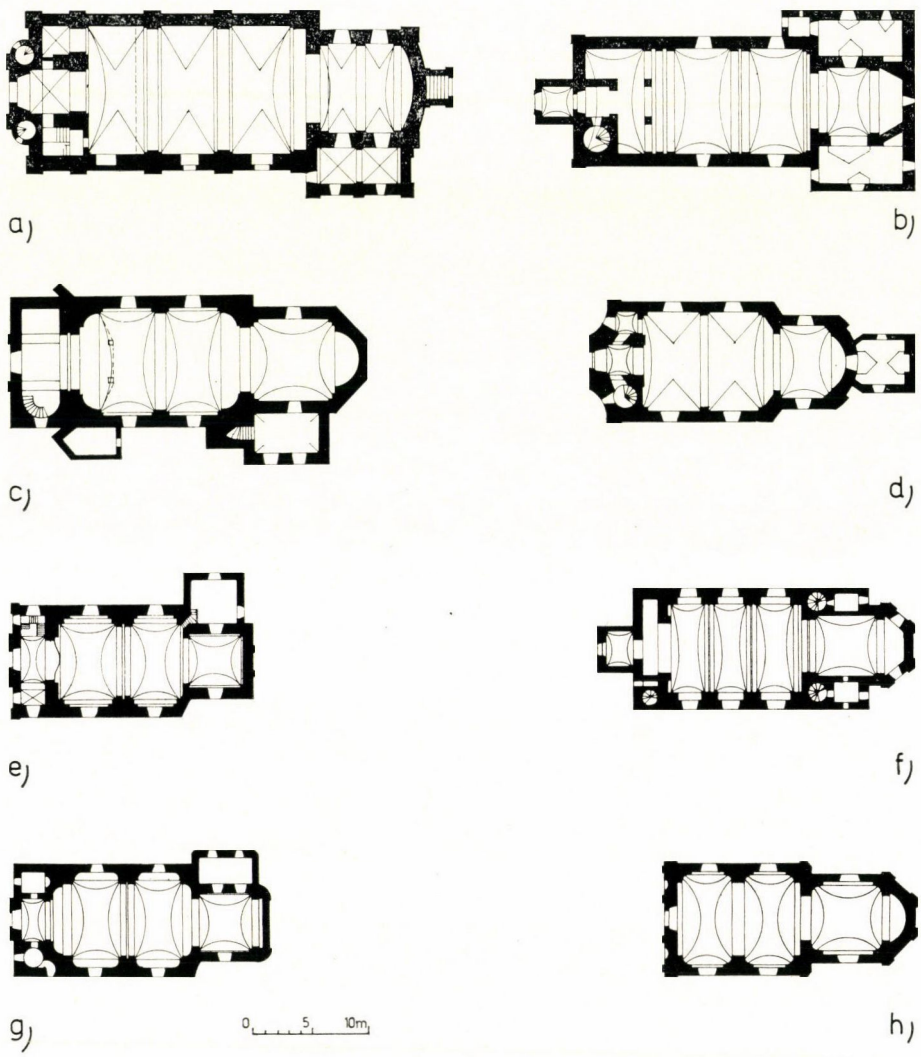
Említésre méltóak a *szerb telepesek* templomépítkezései, akik a balkáni—bizánci építési hagyományok és a hazai barokk építészet sajátos szintézisét



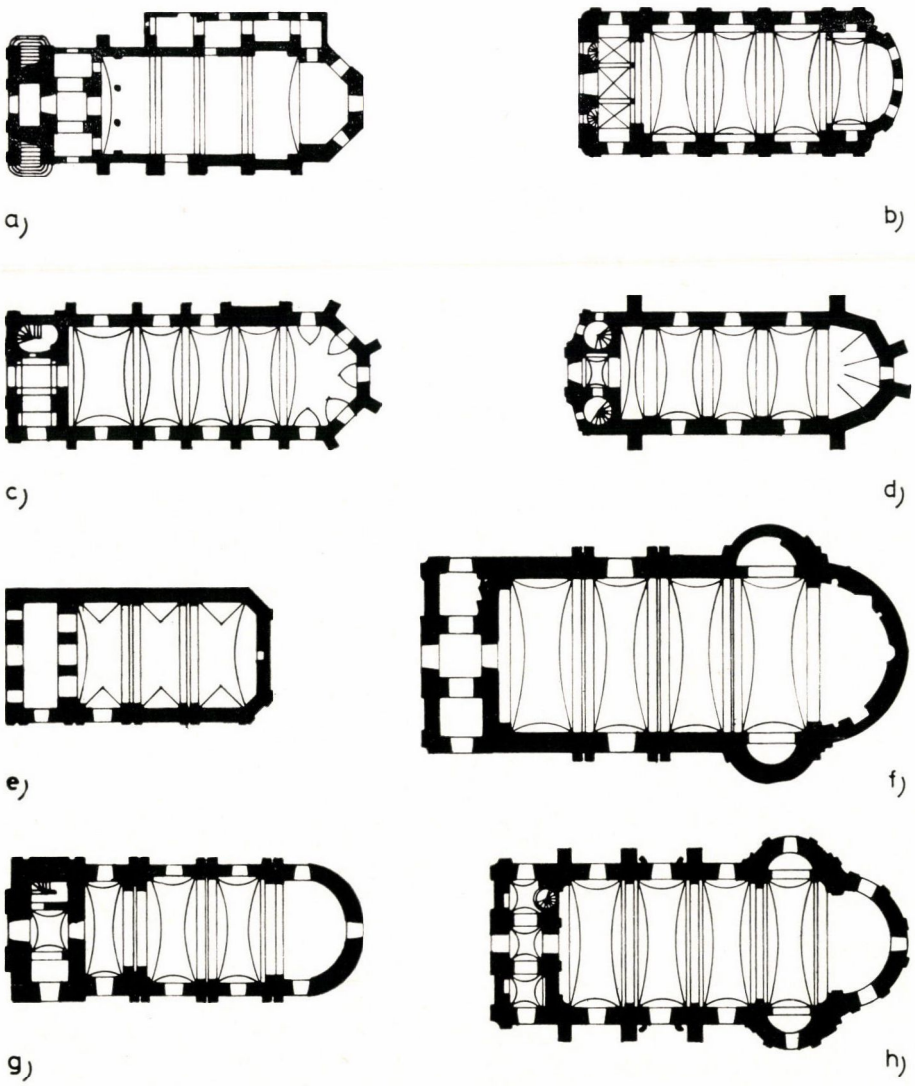
10. ábra. Csehboltozatos templomalaprajzok. *a)* Óbudai plébániatemplom 1744—49, *b)* Újlaki plébániatemplom 1746—59, *c)* Zsámbék, plébániatemplom 1749—82, *d)* Piliscsaba plébániatemplom 1778—81, *e)* Nagybörzsöny, plébániatemplom 1782—88, *f)* Dunaföldvár, ferences templom 1786

hozták létre. A magyarországi szerb templomok jellegzetes alaprajzi példáit a 12. ábrasoron mutatom be. Megfigyelhetjük, hogy a szerb templomok szentélye általában a hajóval azonos szélességű, félkör, illetve kosáríves záródású. Diadalívet egyáltalán nem vagy csak kevéssé hangsúlyos kialakításban építettek. Jellegzetes azonban a szentély oldalfalaiban a két kis félkörös fülke (prothesis és diakonikon) megjelenése.

A *református egyház* említésre méltó építkezései csak a türelmi rendelet utáni időszakban — a XVIII. század végén — indultak meg. Templomaikat ekkor is a szerény, egyszerű megoldások jellemezték. Általában egyetlen osztatlan

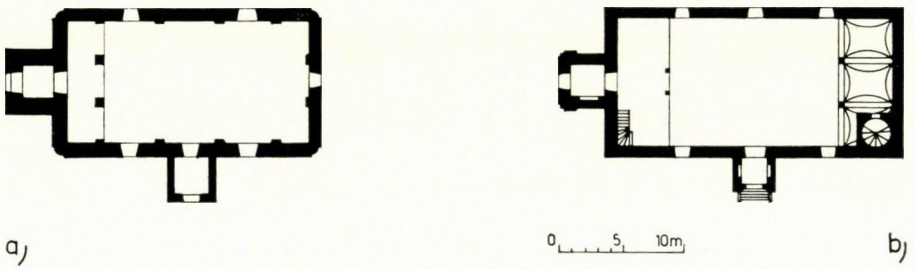


11. ábra. XVIII. század közepén épült kisebb barokk templomok alaprajzai. *a)* Balassagyarmat r. k. templom 1740—46, *b)* Nagykovácsi r. k. templom 1742—46, *c)* Perbál r. k. templom 1748—52, *d)* Budai Szt. Flórián-templom 1759—60, *e)* Kisoroszi r. k. templom 1755, *f)* Sümeg r. k. templom 1756—59, *g)* Visegrád r. k. templom 1773, *h)* Pilisszentlászló, pálos templom 1770—72



12. ábra. Szerb templomok. *a)* Pesti szerb templom 1733, torony 1750, *b)* Tabáni görögkeleti templom 1742–54, *c)* Szentendre, Preobrazsenszka-templom 1741–46, torony 1794, *d)* Szentendre, Opavacska-templom 1746, torony 1777, *e)* Szentendre, Blagovesztenszka-templom 1752, *f)* Szentendre, Péter Pál (volt Csiprovacska) templom 1753–91, *g)* Szentendre, Pozsarevacska-templom 1759–63, torony 1794, *h)* Eger, rác templom 1784, *i)* Szentendre, görögkeleti püspöki székesegyház 1762–63

térből (hajóból) és a legtöbbször homlokzati sík elé állított toronytestből álltak. A hajót többnyire három boltszakasz tagolta; mindkét vagy csak egyik végén a gyülekezet elhelyezésére karzatot építettek. A 13. ábrán a XVIII. századi református templomok jellegzetes alaprajzi kialakítását szemléltetem.



13. ábra. Református templomok. *a)* Dabas, református templom 1793, torony 1880, *b)* Óbudai református templom 1785—86, torony 1788

Centrális alaprajzi megoldások

A magyar barokk templomépítészetben előfordul, de nem tipikus a hajó centrális kialakítása.

Elliptikus alaprajzi megoldások

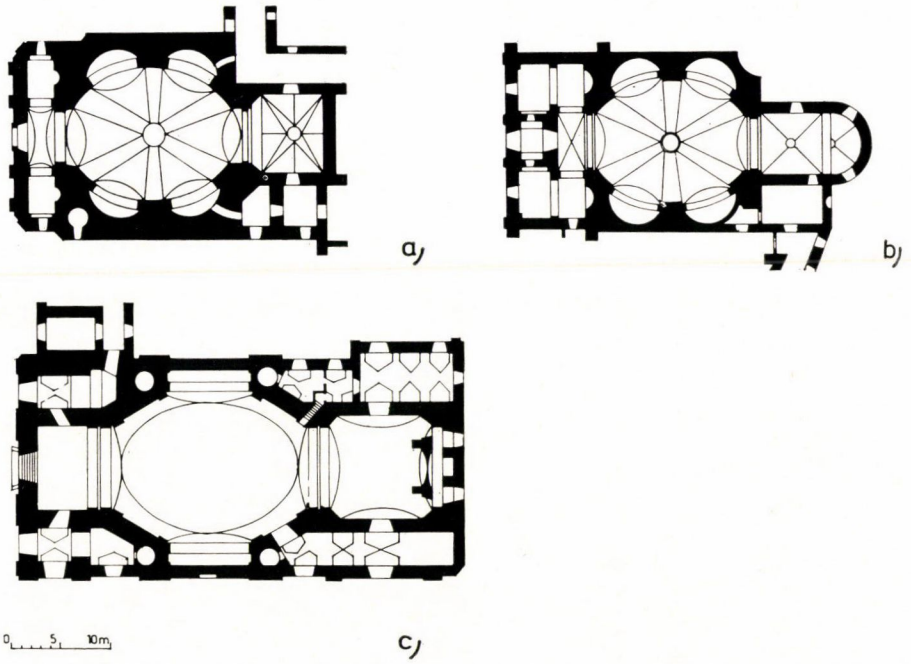
Magyarországi példái a pozsonyi trinitárius templom (1717—23), a győri karmelita templom (1721—25), a pápai pálos, később bencés templom (1737—42) és a budai Szent Anna-templom (1740—62). Alaprajzi megoldásukat a 14. ábrán láthatjuk.

A bemutatott templomok mindegyikében *a hajó elliptikus alaprajzú*; hosszirányban elnyújtott ovális kupolával fedett egységes tér.

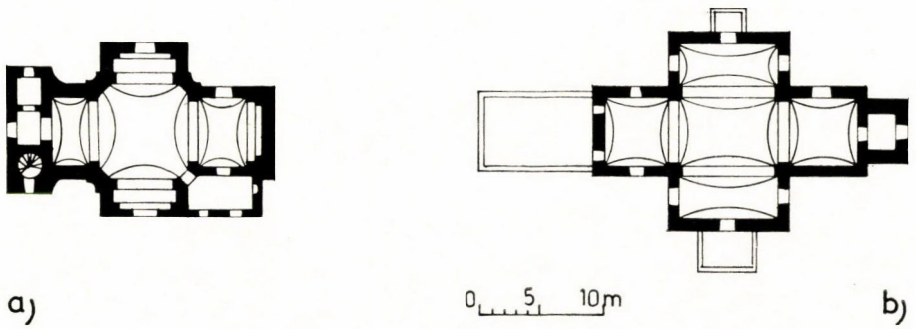
A centrális téralkotás *alapgondolata Itáliából származik*, s gyökerei még a reneszánszba nyúlnak vissza. Előképek tehát vagy innen közvetlenül (pl. római karmelita templom — győri karmelita templom), vagy *Ausztrián keresztül* közvetve jutottak Magyarországra. Ausztriában különösen kedvelt volt és magas művészi szintre emelkedett a centrális térképzés. Például a bécsi Peterskirche (1702—13), a salzburgi Szentháromság-templom (1694—1702) és a bécsi Karlskirche (1716—37) Fischer von Erlach művei, valamint a linzi karmelita apácák temploma (1713—38) Martin Wittwer műve. Természetesen Magyarországon az osztrák hatás érvényesült intenzívebben, a tervező építész személyén keresztül is.

Keresztalaprajzok

Megemlítem még a szintén egyedi példaként felbukkanó *görög- vagy latinkereszt alaprajzú* templomainkat (15. ábra) mint a *domonyi evangélikus templomot* (1774—77) és a *nagykőrösi* Szabadság téri r. k. templomot (1782—88).



14. ábra. Elliptikus hajójú templomok alaprajzai. *a)* Győr, karmelita templom 1721—25, *b)* Pápa, pálos (később bencés) templom 1737—42, *c)* Budai Szt. Anna-templom 1740—62



15. ábra. Kereszt alaprajzú templomok. *a)* Nagykőrös, Szabadság téri r. k. templom 1782—88, *b)* Domony, evangélikus templom 1774—77

Homlokzati típusok alaprajzi és szerkezeti vonatkozásai

Az oldalkápolnás, kora barokk templomok homlokzatképzésében sajátos és jellegzetes a *kéttornyos* megoldás. A két homlokzati torony az alaprajzban az oldalkápolnákkal egy vonalban, általában az előcsarnokot közrezárva helyezkedik el. A ferences, domonkos és kapucinus templomok körében a homlokzati torony legtöbbször — a rendi regulák előírásai miatt — elmaradt, csupán kis harangtornyot építettek a szentély közelében.

A XVIII. század közepétől elterjedt a *homlokzati középtornyos* megoldás. Az oldalkápolnák elhagyásával ugyanis a főhomlokzat lényegesen keskenyebbé vált, s arányainak jobban megfelelt az egytornyos kialakítás. Természetesen ebben az időszakban is előfordul az erős vertikális hatást adó kéttornyos homlokzat. Példáit a nagyobb szabású alkotások körében találjuk (budai Szent Anna-templom 1740—62, jászói premontrei prépostsági templom 1745—65, tatai plébániatemplom 1751—84, szombathelyi püspöki székesegyház 1791—97 stb.).

Számos templom tornya *nem egyidőben épült a hajóval*, illetve a homlokzattal. Ez különösen a *református templomoknál* volt gyakori, mivel a bécsi udvar protestánsellenes politikájából kifolyólag — különböző egyéb megszorítások mellett — a torony építését is tiltotta, illetve különleges engedélyhez kötötte.

Ugyancsak gyakran előfordult a *szerb templomépítkezések* között, hogy a tornyot 20—30 évvel később építették, mint a templomhajót. Ennek okát egyrészt anyagi nehézségek, másrészt a helyi ízléshez való alkalmazkodás magyarázza.[5] Példáit az építési időpontok feltüntetésével a 12. ábrasoron láthatjuk.

Részletes homlokzati elemzésre e dolgozat keretében nem térhetek ki, csupán az egyes homlokzati csoportokon belül megfigyelhető típusformáló példák hatására és továbbélésére szeretném a figyelmet felhívni.

III. A TERVEZÉS MÓDJA ÉS TUDOMÁNYOS MEGALAPOZOTTSÁGA A BAROKK KORBAN

Számos levéltári adat és terv bizonyítja, hogy a barokk templomok építését átgondolt, gondosan kidolgozott tervek készítése előzte meg.

A templom építéséhez általában alaprajzot, homlokzati rajzot, kereszt- és hosszmetszetet, fedélszék- és toronytervet készítettek. Természetesen előfordul, hogy csak egy metszet készült, vagy a fedélszéktervet a metszettel kombinálva rajzolták meg. A tervrajzok a tervekre mindig rárajzolt *méretarányban* (ölben és annak hatodrészét, a lábméretet jelölve) készültek.

A tervek a lépték feltüntetésén kívül más méretet (kottát) nem tartalmaznak, de ábrázolásaik pontosak és érthetőek.

Az alaprajzokra a boltozatok és hevederívek vetületét és beforgatott nézetét általában rárajzolták. A tervrajzokon *színezéssel* jelölték a meglevő falakat (fekete), az újonnan építendő falakat (piros), és az elbontandó falszakaszokat (sárga vagy kék). Említésre méltó, hogy ez a színezési rendszer — a műszaki ábrázolásban — napjainkig fennmaradt.

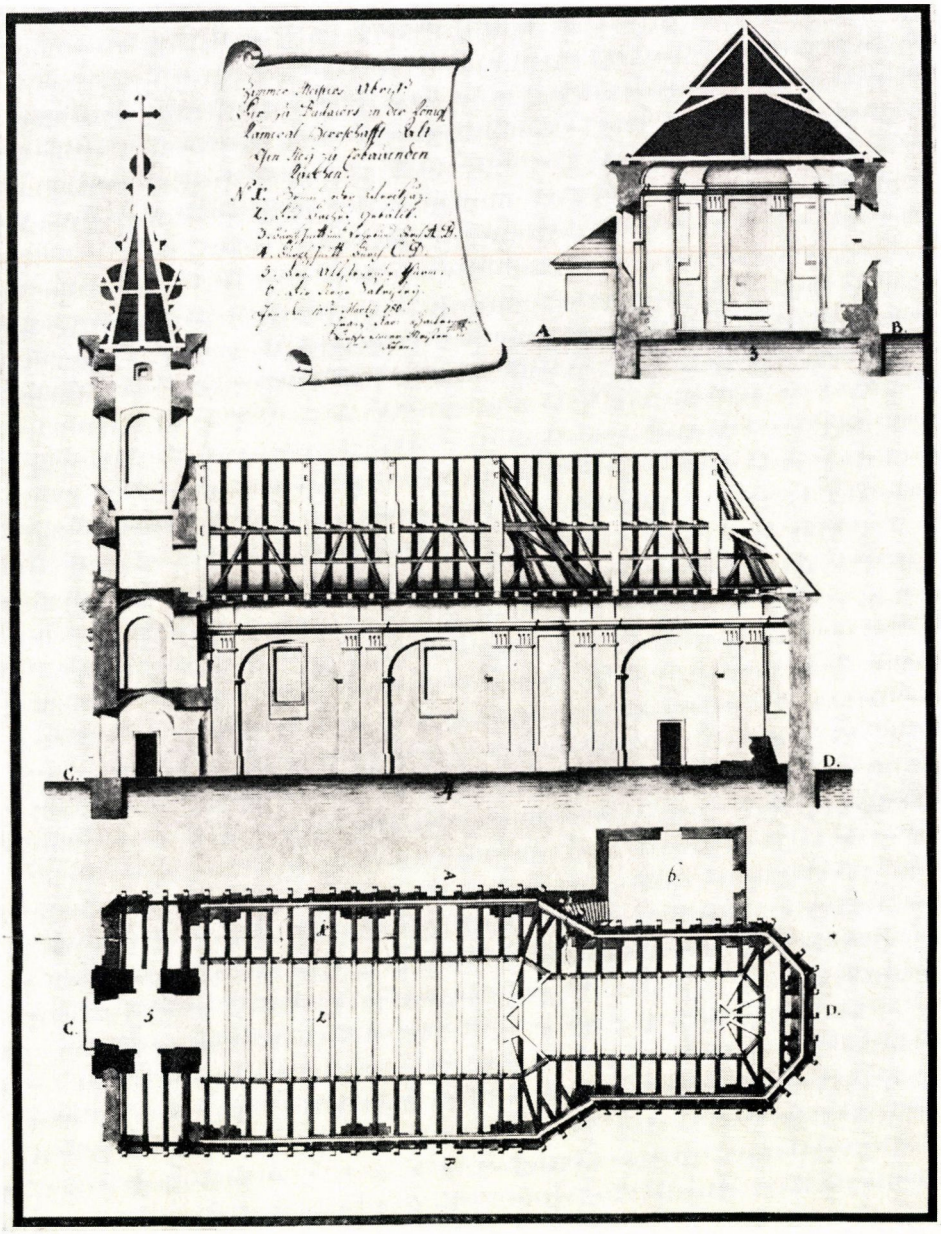
A 16—19. ábrákon a XVIII. századi tervrajzok néhány példáját mutatom be.[6,7]

A tervkészítés alapjául — valószínűleg — *mintakönyvek* szolgáltak. Természetesen a mintakönyvben megadott példa mindig továbbfejlődött a helyi adottságoknak (pl. középkori előzmény, beépítési problémák stb.) és a tervező építőmester saját fantáziájának megfelelően. Így az átfogó stíluskorszakokon

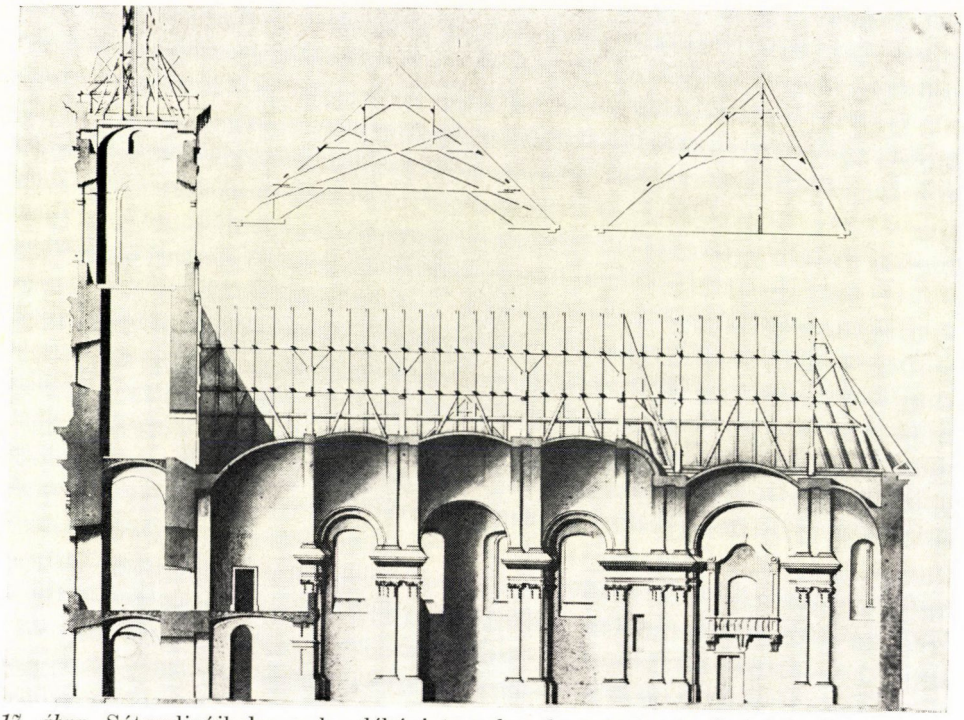
[5] Egyházi épületek és műtárgyak gondozása c. könyve: Horváth Alice: Bizánci liturgia és műemlékek.

[6] Országos Levéltár T 62 197: 9 1780.

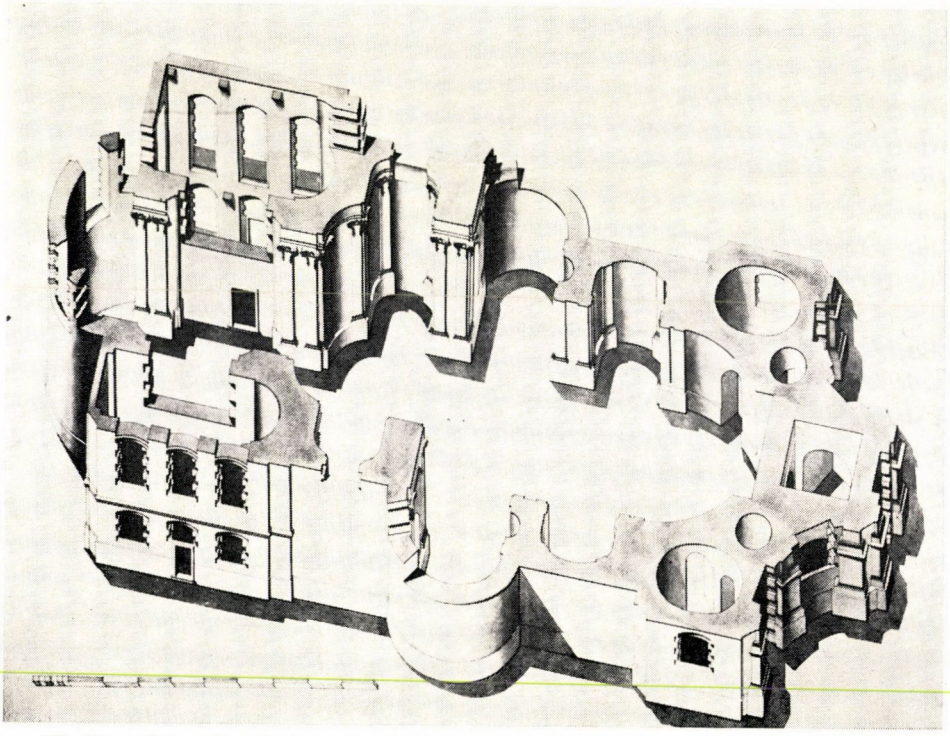
[7] Országos Levéltár T 62 198: 1—3 1781.



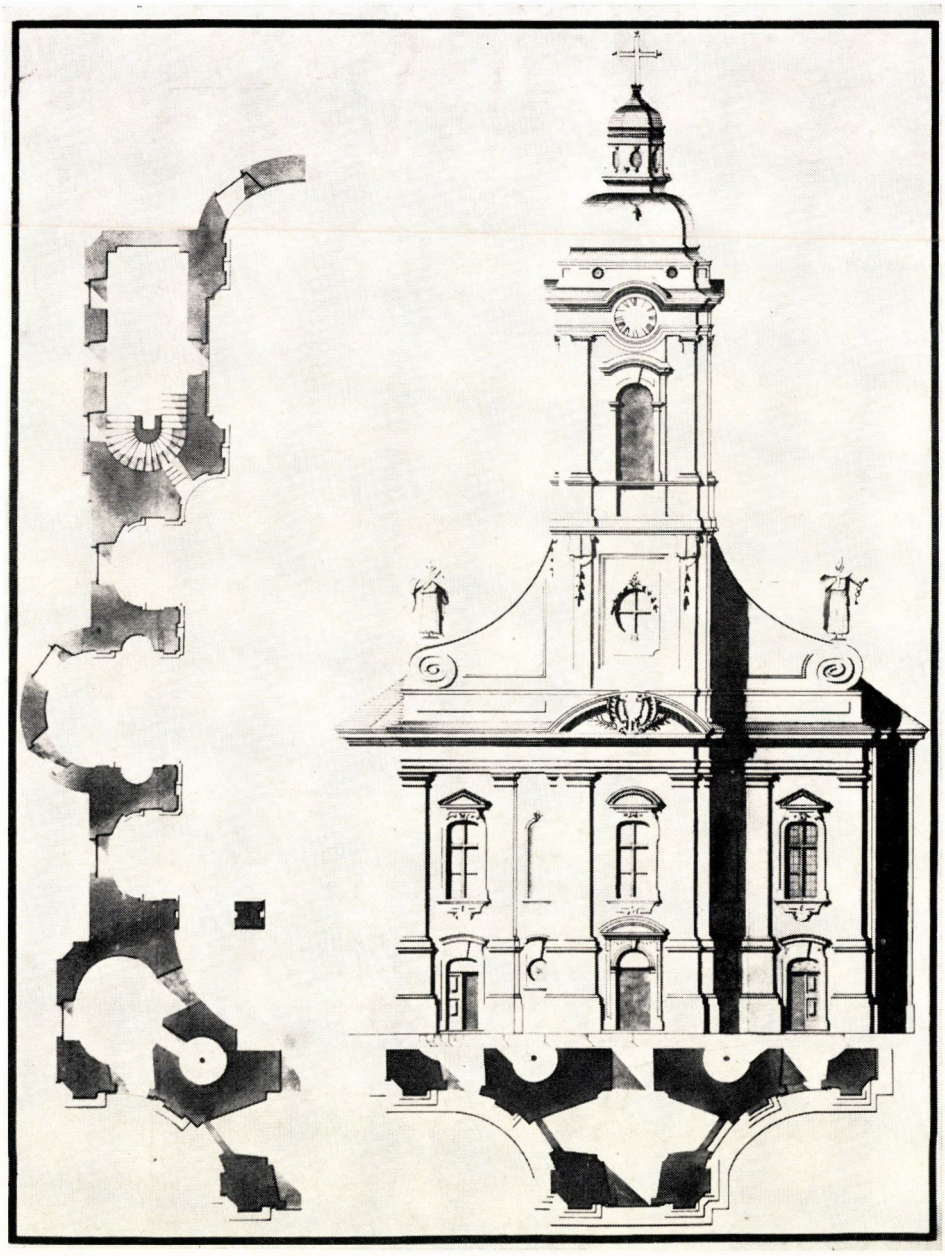
16. ábra. Budaörs, plébániatemplom fedélszékterve, Hacker F. ácsmester 1780



17. ábra. Sátoraljaújhely, r. k. plébániatemplom hosszmetszete és fedélszékterve 1781



18. ábra. Sátoraljaújhely, r. k. plébániatemplom axonometrikus alaprajza 1781



19. ábra. Sátoraljaújhely, r. k. plébániatemplom alaprajza és homlokzati terve 1781

belül egy-egy átütő tehetségű mester olyan sajátos vonásokkal gazdagította alkotásait, hogy azok az alaptípusra már csak lényegét tekintve hasonlítottak.

Tudomásunk van arról is, hogy léteztek ún. *típustervek*, természetesen csak kisebb falusi plébániatemplomok építéséhez amelyeket egy-egy püspök egyházmegyéje számára vagy például a Királyi Kamara készíttetett többszöri felhasználásra.[8]

A mintakönyveken és típusterveken kívül, az építőanyagokra és az egyes szerkezeti részletek kialakítására vonatkozó ismereteket tartalmazó *szakkönyvekről*[9] is tudunk.

Matematikailag helyes, tudományosan megalapozott statikáról, illetve szilárdságtanról azonban csak a XVIII. század közepétől beszélhetünk.[10]

A hajlított tartó teherbírásának helyes összefüggéseit *Parent* (1666—1716) francia tudós találta meg. Ő adott ki először összehasonlító táblázatokat fagerendák hajlítási teherbírására. *Buffon* (1707—1788) francia természettudós mérte első ízben a hajlított gerendák törés előtti lehajlását, s igazolta a *Galilei* (1564—1642) által megállapított négyzetes összefüggést a gerenda szélessége és magassága között. *Bernoulli Jakab* (1654—1705) és *Bernoulli János* (1667—1748) holland származású bázeli matematikusok nagy lépést tettek előre a rugalmasságtan megalapozásában. *Euler* (1707—1783) bázeli matematikus 1741-től a Porosz Akadémia tagjaként Berlinben dolgozott. 1757-ben megjelent művében a rudak kihajlásával foglalkozott, és felállította a törőerő meghatározására vonatkozó differenciálegyenletet. *Lagrange* (1736—1813) francia matematikus 1766—87-ig Berlinben működött. 1788-ban kiadott munkájában a függőleges erővel terhelt oszlopok kihajlását és rugalmas alakváltozását vizsgálta.

A fentiek csak röviden vázolják a szorosan magasépítési vonatkozású elméleti felfedezéseket, amelyek *a gyakorlati alkalmazás lehetőségének bázisát adták*. Az építési gyakorlatban a XVIII. század közepéig csupán az *erőjátékok szerkesztését ismerték*. Az egyes *szerkezeti elemek szükséges méretét gyakorlati tapasztalatok alapján határozták meg.*

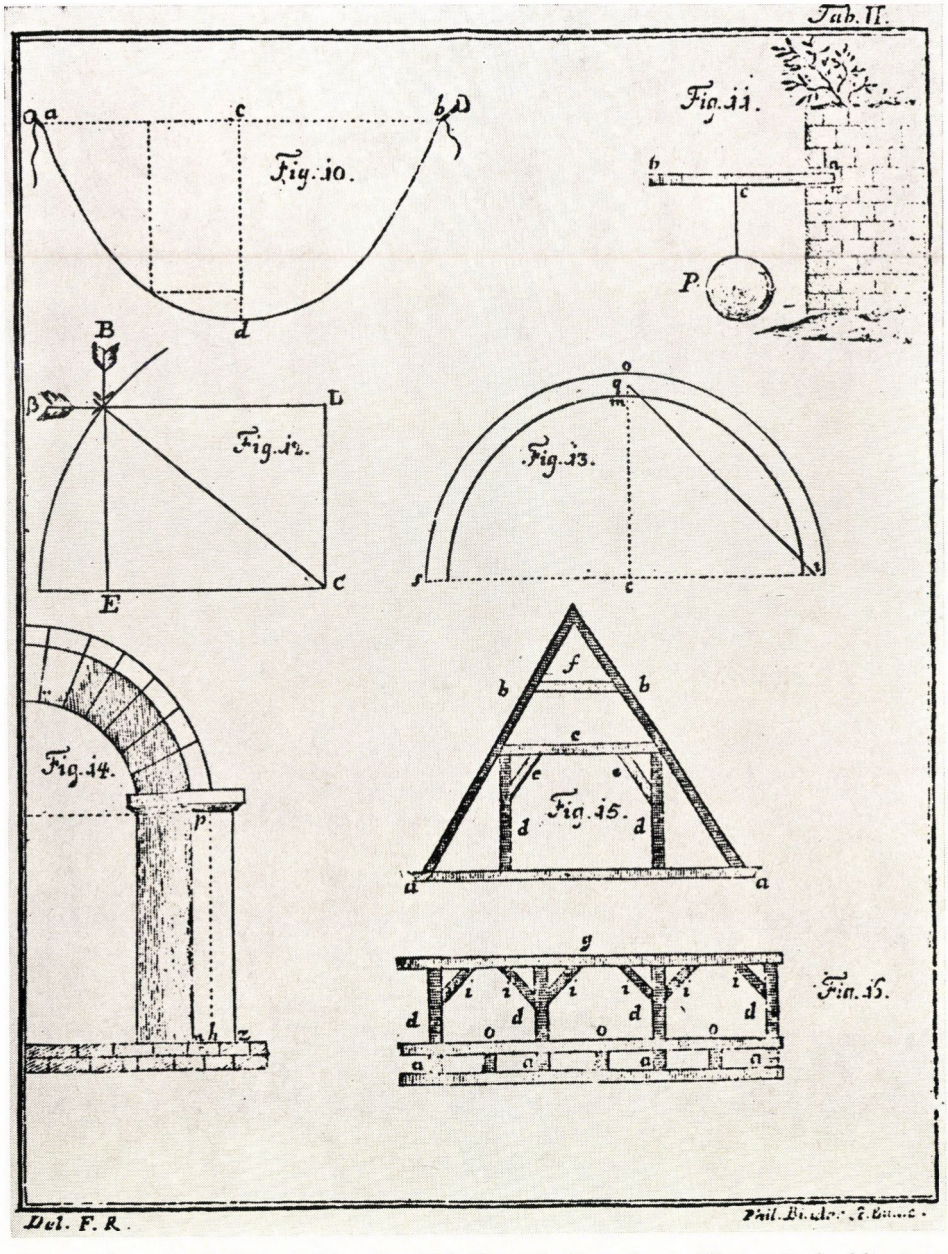
A matematikai és fizikai törvények gyakorlati alkalmazásának első példája az 1743-ban kiadott „statikai szakvélemény", amelyet *Doscowich*, *Sacquier* és *Le Seur* matematikusok a római Szt. Péter-templom megrepedezett kupolájának szerkezeti vizsgálatáról készítettek.[11] Jellemző a korszellemre, hogy a szakvélemény matematikára való alapozása miatt a gyakorló építészek élénk bírálattal léptek fel, azt állítván, hogy ha tapasztalatokra támaszkodva tervezték és építették a kupolát, akkor meg is lehet javítani matematika nélkül. *Michelangelo* nem ismerte a matematikát, és mégis képes volt a kupolát megépíteni.

[8] Például: Országos Levéltár T 62 Kamarai tervrajzok 54: 1 Karvukovó (Bács m.) templom és a vele azonos kivitelben építendő további kilenc bécsi kamarai kerületi templomok. Pischoff J. 1784.

[9] Rausch, Franciscus: Elementa Architecturae ad Structuras Oeconomicae Applicatae in usum Academiarum per Regnum Hungariae. Budae, 1779.

[10] A történeti adatokat Andai Pál: A mérnöki alkotás története 1959. c. könyvéből vettem át.

[11] Andai Pál: A mérnöki alkotás története c. könyvéből: „A szakvélemény a szokásosnak megfelelően elsősorban részletesen leírja az építményt és a fennálló károsodásokat, továbbá a repedések keletkezése óta végzett megfigyelések eredményét. . . . megállapítja, hogy a feltételezett okok nem járultak hozzá a kupola megrepedezéséhez, és a károsodás egyetlen oka a kupolagyűrű tágulása."



20. ábra. Szerkesztések és építészeti rajzok Rausch, Franciscus: Elementa Architecturae ad Structuras Oeconomicas Applicatae in usum Academiarum per Regnum Hungariae Budae, 1779 könyvéből

A fent leírt esemény *1743-ban* zajlott le, tehát a barokk kor hazai értelemben számított második szakaszában. A XVIII. század végén sem lehetett jobb a helyzet. *Tredgold* (1788—1829) angol mérnök egyik művében így ír: „Valamely építmény állékonysága fordítottan arányos építőjének tudományosságával".

A *gyakorlati tapasztalatok* megszerzése azonban nem volt egyszerű út, s nemegyszer kudarcokat is követelt. Nem véletlen például, hogy az 1714 és 1727 között — a sziléziai Liegnitzben — épült jezsuita templom (Johanniskirche) csehboltozatai még a templom befejezése előtt megrepedtek, majd később a hajó feletti boltozatsor le is szakadt.[12] Itt alkalmaztak ugyanis — német földön — elsők között csehboltozatos lefedést nagy fesztávolságra. Nyilvánvalóan nem volt kellő tapasztalatuk, s nem ismerték eléggé ennek a szerkezetnek az erőjátékát.

Az építési gyakorlatban bizonytalanságot okozott az a tény is, hogy az *altalajjal*, illetve annak teherbírásával és egyéb jellemzőivel kapcsolatban akkor még semmiféle elméleti tudással nem rendelkeztek. A *talajmechanika* tudománya jóval később, csak a XX. században született meg. A tetemes önsúllyal rendelkező templomtest, kiváltképp a torony, igen nagy terheket ad át az altalajnak. Nem ismervén az alapozási sík alatti talajrétegeket, nemegyszer súlyos építési hibát követtek el.[13]

IV. A BAROKK TEMPLOMOK TÉRLEFEDŐ ÉS TEHERHORDÓ SZERKEZETEINEK GEOMETRIAI ÉS ERŐTANI KÉRDÉSEI

A templomtereket *síkfödémmel* vagy *boltozatokkal* fedték le. Ezek felett — általában nyeregtetős kialakításban — *fa fedélszerkezet* és *héjalás* került elhelyezésre.

A *síkfödémes* térlefedés csak kisebb, falusi templomokban, főleg a protestáns templomépítészetben fordul elő. Később ezeket is gyakorta boltozatokra cserélték. Anyaguk minden esetben *fa*, általában a gerendák egymás mellé helyezésével kialakított ún. *csaposgerendás födém*. Előfordul azonban ritkább gerendaosztás és deszkaborítás alkalmazásával a *borított gerendás* fafödém, sőt a *pórfödém* alkalmazása is (pl. szennai 1787-ben és a tákosi 1760 körül épült református templomokban).

A templomok nagy többségét *boltozattal* vagy *boltozatok sorával* fedték le. Továbbiakban ezzel a típussal foglalkozunk.

A hazai barokk templomépítészetben *donga-*, *cseh-* és *csehsüveg-*, *kupola-* és ún. *cikkelyes boltozatokat* alkalmaztak. A geometriai és erőtani kérdéseket boltozatfajtánként tárgyalom.

Dongaboltozat

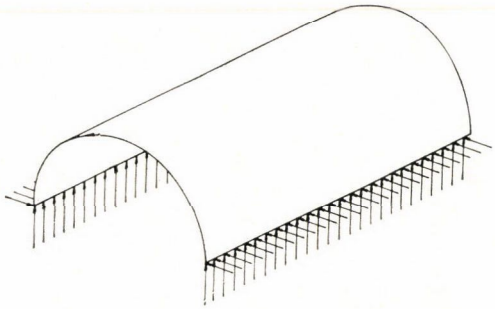
A dongaboltozat a hajó két hosszfalán egyenletesen megoszló terhelést ad át, ennek megfelelően *folytonos alátámasztást igényel*. A függőleges erőátadáson kívül a boltvállban vízszintes erőhatás is fellép. Ezek mértéke a boltozat

[12] Bode, Helmut: Die Kirchenbauten der Jesuiten in Schlesien 1935. Halle c. könyvében foglaltak szerint a boltozatok leszakadását a tetőszerkezet helytelen kialakítása okozta.

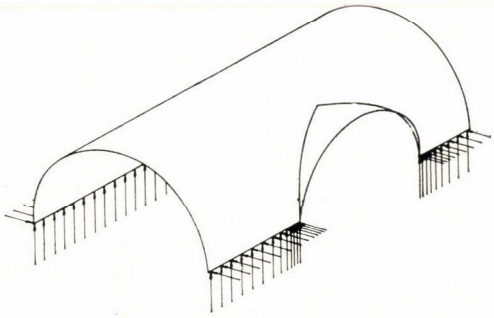
[13] A pozsonyi kapucinus templomot is többször átépítették és renoválták az altalaj süllyedéséből származó károsodások miatt. Tölgyesy Felicia: A pozsonyi barokk építészet. Budapest, 1937.

fesztávolságától és önsúlyától függ. A boltvállnál magasabbra nyúló nyílások vagy az oltárok elhelyezése céljából, a dongaboltozat felületén úgynevezett *fiókokat* alakítottak ki. A fiók geometriailag a főhenger (donga) és egy — a főhenger tengelyére merőleges tengelyű — annál kisebb sugarú félhenger (fiók) áthatása.

A fiók beépítésével tulajdonképpen a boltváll egy szakaszát kiiktatjuk a teherviselésből. Ezzel a boltvállon fellépő egyenletesen megoszló terhelés megszakad, s a fiók két szélén adódik át, így itt „koncentráltan" jelentkezik (22.



21. ábra. Dongaboltozat



22. ábra. Fiókos dongaboltozat

ábra). A fiók homlokívén nincs erőátadás. Az elhelyezendő nyílás, illetve a fiók szélességének növelése a megmaradó, rövid vállszakaszoknál a falban *feszültségcsúcsokat* hoz létre. Itt a boltozat héjvastagsága már nem ad elegendő keresztmetszetet a megnövekedett feszültségek felvételére. A keresztmetszet növelése érdekében a fiókok között *hevederekkel* erősítik a dongaboltozatot. Ez statikailag egyébként is kedvező, mivel ez a boltozat kihajlási veszélyét is hathatósan csökkenti, az önsúly tetemes megnövelése, vagyis a héj vastagítása nélkül.

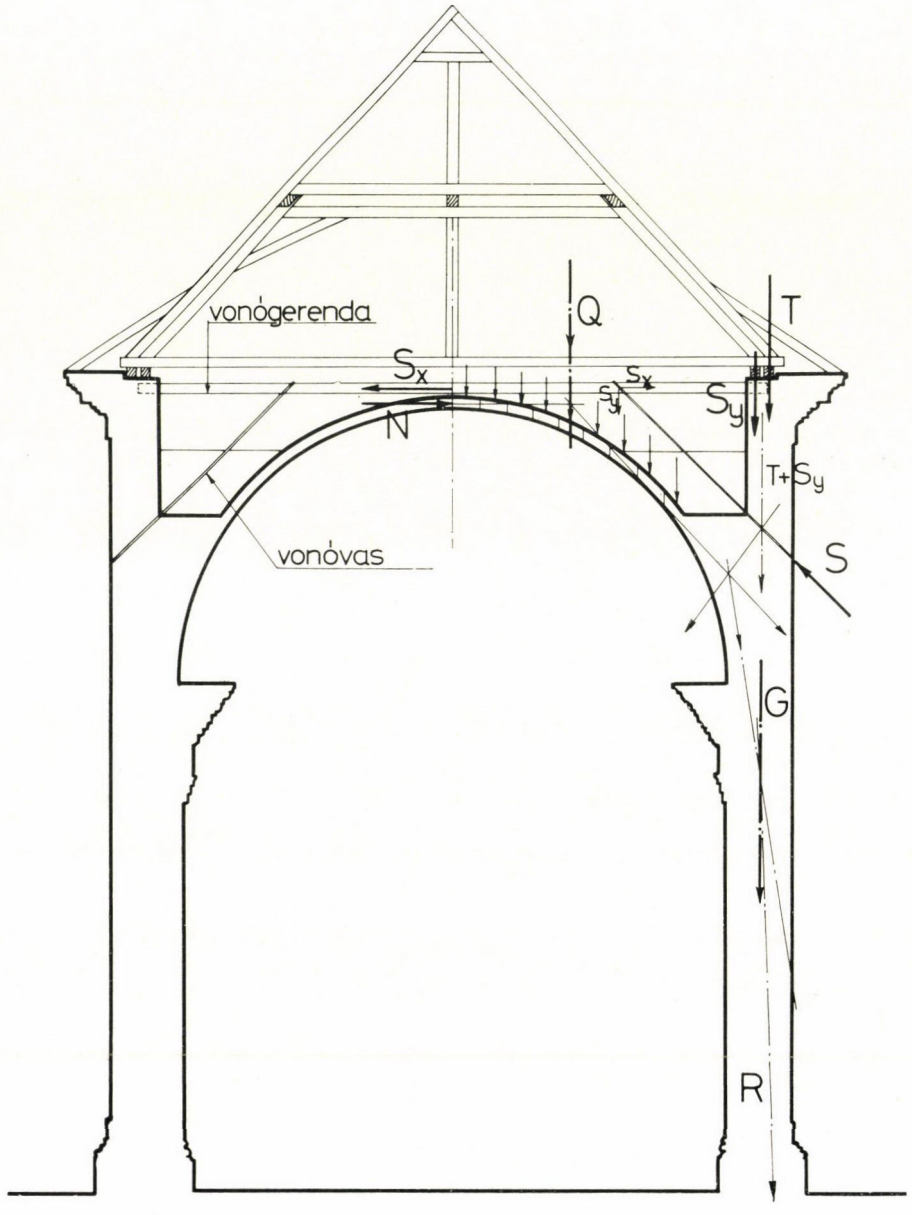
Dongaboltozatos templomok szerkezeti rendszere

A boltozat *oldalnyomásának felvételét* a korai barokk templomokban (XVIII. század elejéig) szinte kizárólag a hajó mellé épített külső támpillérekkel oldották meg. A hajó támpilléreit alul az oldalkápolnákat egymástól elválasztó fal helyettesíti. Ez a szerkezeti kialakítás a középkori építésmód továbbélésével magyarázható, illetve azzal, hogy a tudatos statikai tervezés még nem tudott túllépni a korábbi, tapasztalatokon alapuló megoldáson. Ezzel magyarázhatjuk az oldalkápolnás alaprajzhoz való ragaszkodást is.

A XVIII. század húszas éveiben találkozunk először olyan példákkal (pesti 1725—32-ben és az egri 1728—33-ban épült szervita templomok), ahol *a külső támpillér elmarad*, és a vízszintes erőhatás felvételét a padlástérben elhelyezett vonóvassal lehorgonyzott *vonógerenda* segítségével oldották meg. Ezt a megoldást a későbbiek során minden barokk templomban megtaláljuk. A szerkezet erőjátékának sémáját a 23. ábra mutatja be.

A szerkezeti kialakítás lényege az, hogy a *boltozat* fölé — az oldalfalakra támaszkodó — *vonógerendát* helyeznek el, amelyet ferde *vonóvassal* (vonóvasakkal) a boltvállhoz lefeszítenek.

A vízszintes erők egyensúlyából következik, hogy a padlástérben elhelyezett vonógerendában keletkező húzóerő (S_x) egyenlő a boltozat oldalnyomásával



23. ábra. Dongaboltozat erőjátéka; jelölések: Q — a félboltozat önsúlyának eredője, T — tetőszerkezet súlya, G — oldalfal önsúlya, N — a boltozat záradékában fellépő nyomóerő, S — a vonóvas által az oldalfalra közvetített erő, S_x — a vonógerendában működő húzóerő, S_y — a vonógerenda által átadott függőleges erő, R — az altalajra közvetített erőhatás

(N). Ezt a boltvállban keletkező vízszintes erőkomponenst ferde vonóvasak közvetítik a vonógerendára. A vonóvasak a megfelelő erőátadásra a 24. képen látható kialakítást kapták.

A függőleges erők serege, közöttük a vonógerenda által a párkányfalnak átadott támaszerő (S_y), valamint T és G súlyerők nyomják vissza a boltozat oldalnyomása következtében kitörni szándékozó eredőt (R) az alapfal biztonságos belső harmadába. Az R eredő a teljes erőrendszer eredője, amely az



24. ábra. Vonógerenda — vonóvas

alapokon keresztül az altalajra adódik át. Az ábrán láthatjuk, hogy a boltozat alakállandóságát (kihajlás ellen) védő hátfalazatra az erők továbbítása érdekében is szükség van.

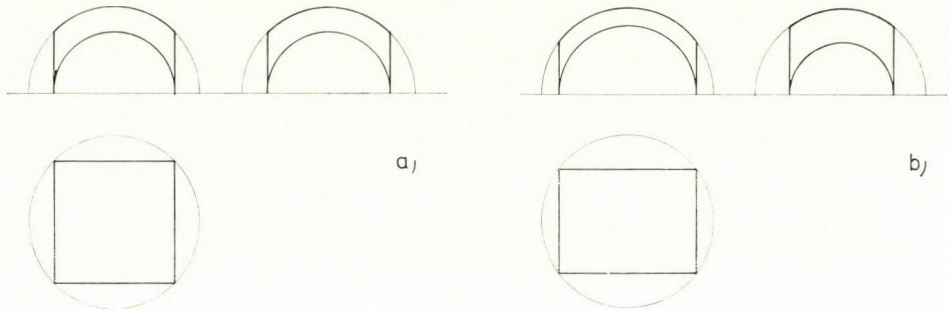
A vonógerendás-vonóvasas szerkezettel el lehetett érni, hogy az eredő a faltest belső harmadába kerüljön. Az ismertetett megoldás szerkezetileg egyenértékű a vállvonalban elhelyezett vonóvassal; tulajdonképpen ennek esztétikai hátrányát küszöböli ki azzal, hogy mintegy kiváltja a vonóvasat a boltozat fölé. Az az *esztétikai igény* tehát, amelynek alapján a barokk kor gazdagon díszített, nagyvonalú téralkotásait létrehozta, *új szerkezeti megoldást teremtett.*

Igaz, hogy a vonógerendás-vonóvasas megoldás elméletileg csak az erők vektorális összegezésének ismeretét igényli, mégis nagyra értékeljük ezt a szellemes és *sajátosan barokk szerkezetet*, amely már magában hordja a tudatos statikai tervezés csíráját.

A XVIII. század második felében a csehboltozatos térlefedés elterjedésével — lényegét megtartva — továbbfejlesztik az ismertetett vonógerendás szerkezeti megoldást.

Csehboltozat

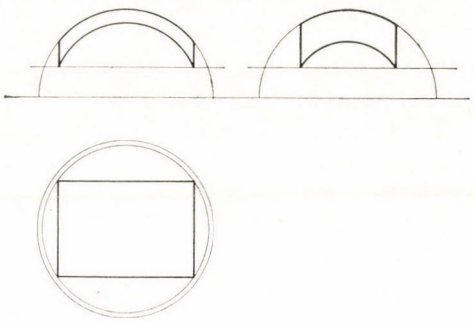
A csehboltozat négy oldalon félköríves hevederekre támaszkodó *gömbfelület*. A boltozat csúcspontjai mindig a félgömb alapkörén vannak. Képezhető négyzet (25/a ábra) és téglalap alaprajz (25/b ábra) fölé. A boltozat alátámasztást csak négy sarokpontjában igényel. Itt függőleges és vízszintes irányú erőhatások jelentkeznek.



25. ábra. Csehboltozat. *a)* négyzet, *b)* téglalap alaprajz fölé emelve

Csehsüvegboltozat

Négy oldalon hevederívekre támaszkodó *gömbfelület*. A boltozat négy csúcsa a félgömb alapkörével párhuzamos, vízszintes síkban elhelyezkedő gömbi körön van. Hevederívei körívek, de nem félkörök. Alátámasztást csak a négy sarokpontban igényel. A lapos homlokívek miatt fellépő nagy vízszintes erők statikailag kedvezőtlenek (26. ábra).



26. ábra. Csehsüvegboltozat

Gyakori a csehsüvegboltozat *fiókos* kialakítása, amikor az ablaknyílások vagy oltárfülkék felett alkalmazott félköríves homlokívekkel egy kisebb sugarú félhenger áthatása, magasabb nyílások elhelyezését teszi lehetővé. Fiókos megoldás csehboltozatnál nem fordul elő. Ilyen esetben biztosak lehetünk hogy csehsüvegboltozattal van dolgunk.

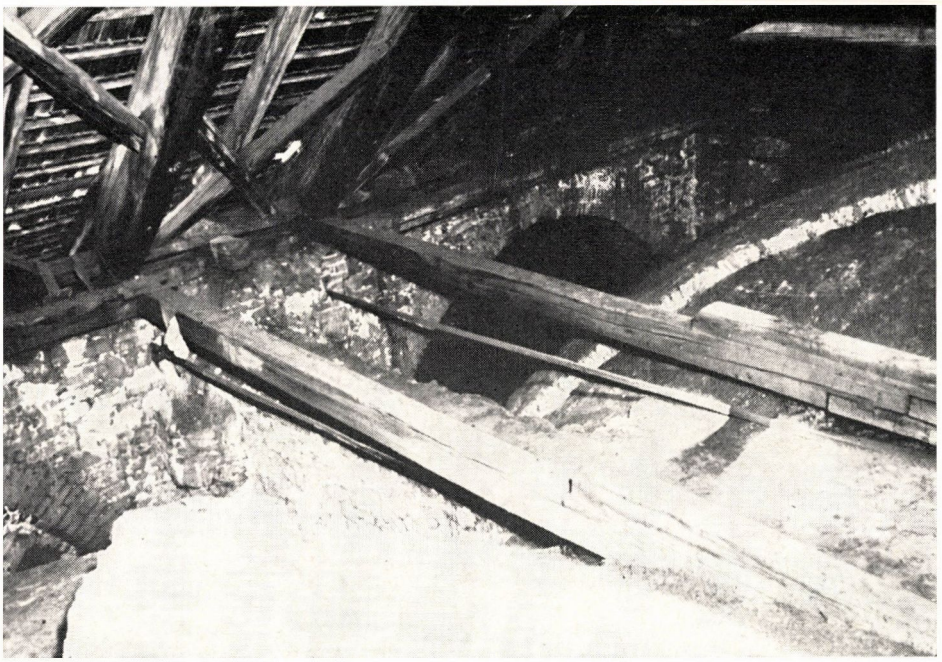
A csehsüvegboltozatot leggyakrabban kis terek, például oldalkápolnák lefedésére használták.

Kisebb falusi templomok lefedését gyakran *kosáríves hevederívek* közötti „lapos csehboltozattal" oldották meg. Ez a geometriailag szabályos csehsüvegboltozatnál kedvezőbb erőtani helyzetet teremt, kevesebb anyagot igényel, és elkészítése is egyszerűbb. Kevésbé hatásos megjelenése miatt azonban mégsem terjedt el széles körben.

A cseh- és csehsüvegboltozatokkal fedett templomok szerkezeti rendszere

A csehboltozat és a csehsüvegboltozat erőjátéka statikailag lényegében megegyező, ezért csak a csehboltozatos típus részletes tárgyalására szorítkozom.

A szerkezeti kialakítás a dongaboltozat ismertetett megoldásának lényegét fejleszti tovább. Nagy különbség a kettő között az, hogy a dongaboltozat az oldalfalakra egyenletesen megoszló terhelést közvetít, a csehboltozat pedig a



27. ábra. Teherátháritó falazat és a vonóvasak (Budai Erzsébet-apácák temploma 1731—41)

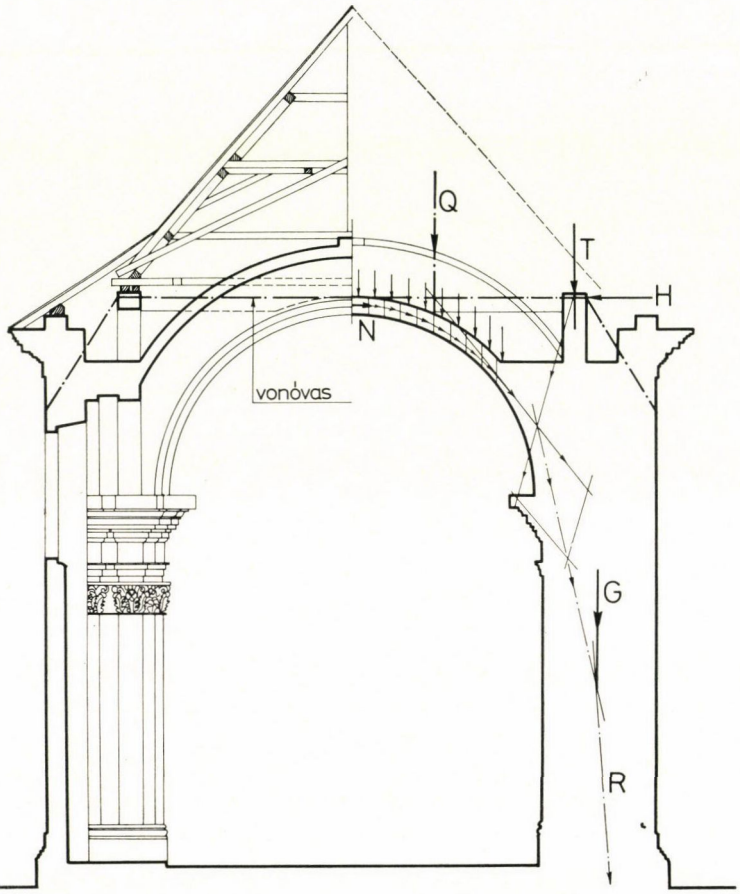
terheket koncentráltan — a boltozat négy sarokpontjában — adja át a hevederívek segítségével, amelyek a bolthéj önsúlyát továbbítják a *templomtérbe beugró pillérekre.*

A hajó oldalfalai csupán térelhatárolásra szolgálnak, még a tetőszerkezet terhét sem viselik. A tetőszerkezet a statikailag legideálisabb helyen fejti ki leterhelő hatását — a padlástérben levő „árkádos" falazat segítségével — koncentráltan, szintén a *pillérekre* átadva (27. kép).

A csehboltozatos térlefedés erőjátékát a 28. ábrán — a harántirányú hevederíven felvett keresztmetszeten — szerkezeti megoldását pedig a 29. ábrán bemutatott padlástéri alaprajzon láthatjuk.

Az oldalnyomás felvételét a harántirányú hevederívek felett elhelyezett vonóvassal vagy vonóvasakkal oldják meg. A főpárkány alatt lehorgonyzott vonóvas a pillérek felett megtörik.

Az erőjáték tulajdonképpen igen egyszerű. A megfeszített vonóvasban működő H húzóerő és a tetőteherből származó T erő eredője egy — a boltozat

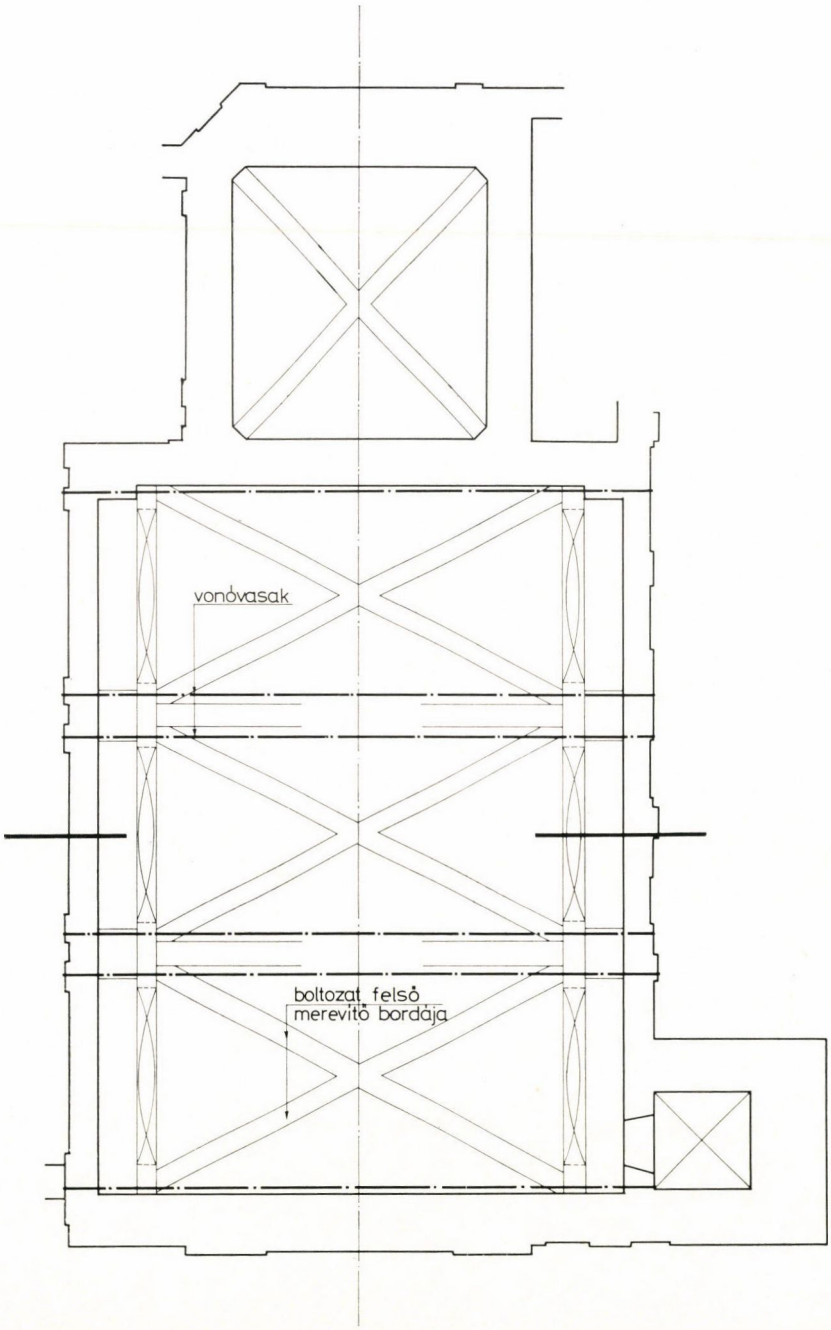


28. ábra. Csehboltozat erőjátéka; jelölések: Q — a félboltozat önsúlyának eredője, T — a tetőszerkezet önsúlya, G — falpillér önsúlya, — N hevederív záradékában fellépő vízszintes erő, H — a vonóvasban működő húzóerő, R — az altalajra közvetített erőhatás — eredő

belseje felé mutató erő. Ennek továbbvitelét szolgálja a kitámasztó hátfalazat a hevederív válla felett. Ez az erő a hevederívről érkező ferde $(Q + N)$ kifelé mutató erővel összegezve, közel függőlegessé válik. Ezt korrigálja még a pillér önsúlyából származó G erő, s adja a teljes erőrendszer eredőjét (R). Mint a 28. ábrán láthatjuk, az R eredő a pillér belső harmadában marad.

A fent ismertetett *csehboltozatos térlefedő rendszer újszerűségét és eredményeit* az alábbiakban összegezzük:

1. A boltozat terhét a hevederívek — a négy sarokponton — koncentráltan közvetítik a hajóba befelé ugró pillérekre.
2. A tetőszerkezet súlya a padlástérben levő teherátadó ívek segítségével a pilléreket terheli.
3. Az oldalnyomást a padlástérben, a harántirányú hevederívek felett elhelyezett vonóvasak veszik fel.
4. *A szerkezeti rendszer vázas jellegűvé válik.*



29. ábra. Padlástéri alaprajz (Budai Erzsébet-apácák temploma 1731—41)

Ez a fejlődés azt mutatja, hogy a kor építői megismerték a korábban csak tapasztalatokon alapuló szerkezet erőjátékát. A faltestek keresztmetszetét a bennük működő erők irányának és nagyságának megfelelően alakították ki.

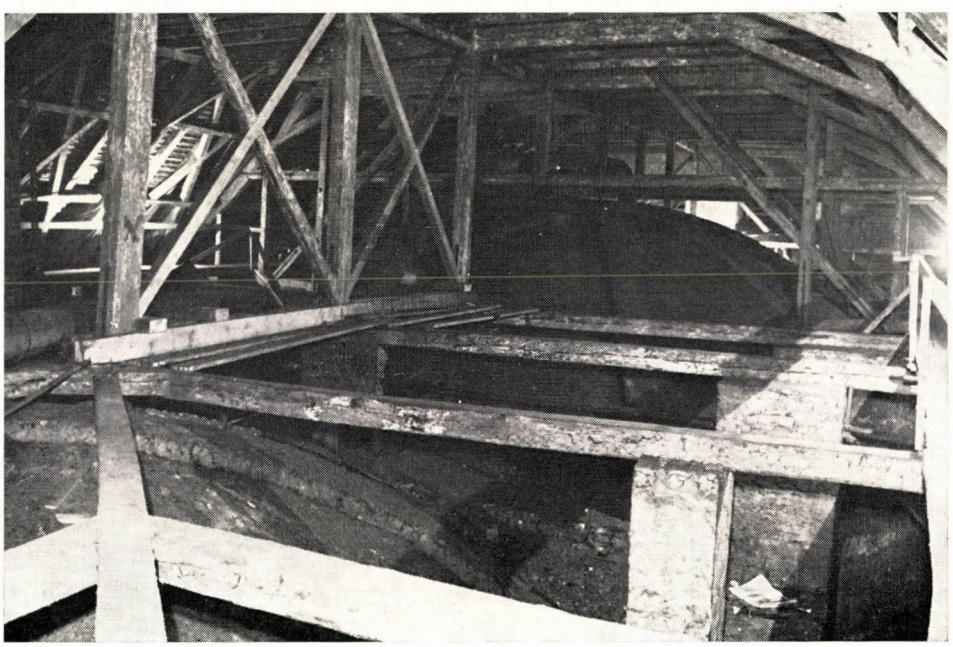
Az oldalnyomás vonóvasas felvétele egyben lehetőséget adott kötetlenebb alaprajzi és térképezési módozatok kialakítására. *Nem kellett már szükségszerűen oldalkápolnákat építeni, amelyek tulajdonképpen rejtett támpilléreket takartak.* E statikailag racionálisabb szerkezet az épület önsúlyának csökkenését, anyagtakarékosabb építést eredményezett. Összegezve, *a vázas jellegű építési mód fejlettebb elméleti és technikai felkészültséget tükröz*, amivel a templomépítészet szerkezeti és formai továbbfejlődését segítette elő.

Egyéb boltozatformák

Kupolaboltozat

A vizsgált korszakban ovális alaprajz fölé emelt kupolaboltozatokkal is találkozunk. Néhány centrális alaprajzú templomban (pl. pozsonyi trinitárius templom 1717—23, győri karmelita templom 1721—25, pápai pálos később bencés templom 1737—42, budai Szent Anna-templom 1740—62) fordul elő ilyen alaprajzi, illetve szerkezeti megoldás.

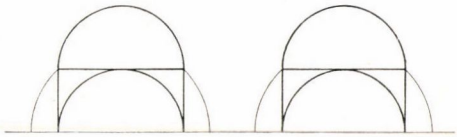
A 30. kép bemutatja a budai Szent Anna-templom nagyméretű, ovális kupolájának felülnézetét. Érdekes megfigyelni, hogy itt is — mint a nagyobb csehboltozatok esetében — *felülről bordákkal erősítették meg a fesztávolsághoz*



30. ábra. Kupolaboltozatok (Budai Szt. Anna-templom 1740—62)

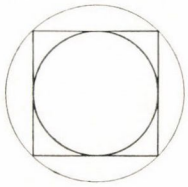
képest csekély héjvastagságú boltozatot. E bordák beépítése természetesen a kupola erőjátékát alapvetően megváltoztatja, az egyébként — vízszintes vezérgörbénként — egyenletesen megoszló feszültségeket a bordákra koncentrálva, *a kupolaboltozatot is vázas jellegű szerkezetté alakítja.*

Igen gyakori a kupolaboltozat alkalmazása a szentély félköríves apszisa felett is.



Csegelyes kupolaboltozat

Négyzetes alaprajz fölé — négy csegely közbeiktatásával — emelhető félgömb. Előfordul téglalap alaprajz fölött ovális-elliptikus alapgörbéjű kupola is.



31. ábra. Csegelyes kupolaboltozat

A kupola önsúlyából függőleges irányú erőhatás, valamint gyűrű irányú erők ébrednek. A függőleges erőhatást a csegelyek a tartófalakra közvetítik, a gyűrű irányú erők felvételét általában kovácsoltvasból készített vonógyűrűvel oldották meg.

A magyar barokk templomépítészetben csak néhány példáját ismerjük a csegelyes kupola alkalmazásának (pozsonyi Erzsébet-apácák temploma 1739—45, váci székesegyház 1762—74).

Cikkelyes barokk boltozat

E boltozati típust, amely szinte kizárólag a szentély apszisának lefedésekor fordul elő, csak a teljesség kedvéért említem meg.

Geometriailag nem meghatározható, általában több íves felület összemetszéséből áll. Alkalmazását leggyakrabban a középkori előzményre épült templomokban a poligonális szentélyzáródás lefedése teszi szükségessé.

V. ÉPÍTÉSTECHNOLÓGIAI ÉS ANYAGTANI KÉRDÉSEK

Minden kor építéstechnológiája híven tükrözi a technikai fejlettség színvonalát.

A XVII—XVIII. század építéstechnikája nem sokat fejlődött a középkorihoz képest. Igaz, hogy a fejlettebb technikát létrehozó, nagy jelentőségű felfedezések csak éppen ebben az időszakban születtek. Az építési munka — szinte minden mozzanata — kézi erővel készült. Csupán a legegyszerűbb — rég bevált — technikai eszközöket, felszereléseket alkalmazták.

Említésre méltó fejlődést a korszakban talán csak a *tégla kiterjedt használata* jelentett. Mind a falazatok, mind a nagyszabású térlefedő szerkezetek (boltozatok) téglából épültek.

A falazáshoz *mészhabarcsot* használtak, amelyben a mész és a homok keverési aránya általában 1 : 2—1 : 3 körül volt. A XVIII. század közepéig jellegzetes a nagyszemcsés töltőanyag használata. Később a töltőanyag mennyisége kezdett visszaszorulni, majd el is maradt, s a század végére már általános volt a fehér színű, homogén mészhabarcs.[14]

[14] Dr. Zádor Mihály kutatásai és előadása nyomán.

A téglafalazatok készítése építéstechnológiai szempontból nem igényel részletes tárgyalást. Nagyobb figyelmet kell fordítanunk viszont a *téglaboltozatok falazásával* kapcsolatos technológiai kérdésekre.

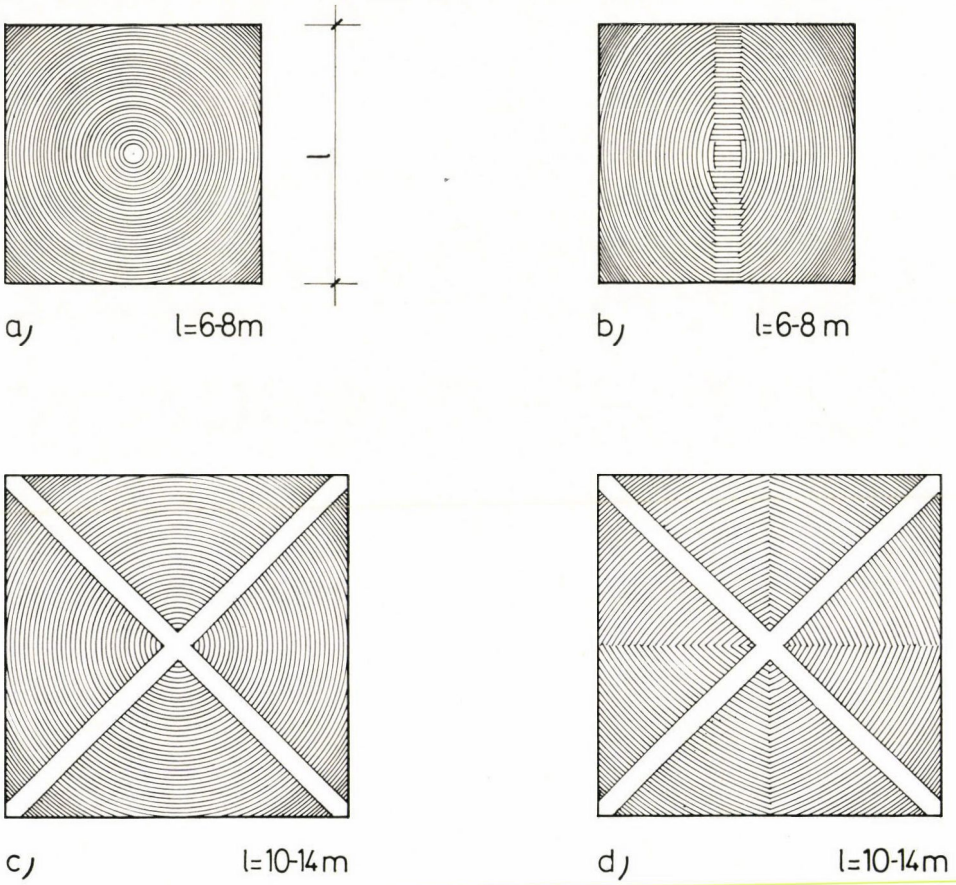
A boltozatok *héjvastagsága* legtöbbször 17—20 cm között van. Gyakran előfordult az általánosan használt falazótégla méretétől eltérő — valószínűleg külön a boltozat falazásához készített — tégla alkalmazása is.

A templomtereket lefedő boltozatokon feltöltést vagy egyéb kiegyenlítő, illetve burkoló réteget nem alkalmaztak. Így a padlástérben az általában vakolatlan boltozatokat láthatjuk, azok anyagát és falazási technikáját könnyen megfigyelhetjük.

A *dongaboltozatokat* gyűrűsen vagy sugárirányban falazták. A *csehboltozatoknál* leggyakrabban a gyűrűs falazási technikával találkozunk.

Különösen kisebb, 6—8 m fesztávolság esetén általános a gyűrűs falazás (32/a ábra). Előfordult, hogy a gyűrűs falazást a boltozaton hosszirányban végigfutó téglasorral zárták (32/b ábra és 33. kép).

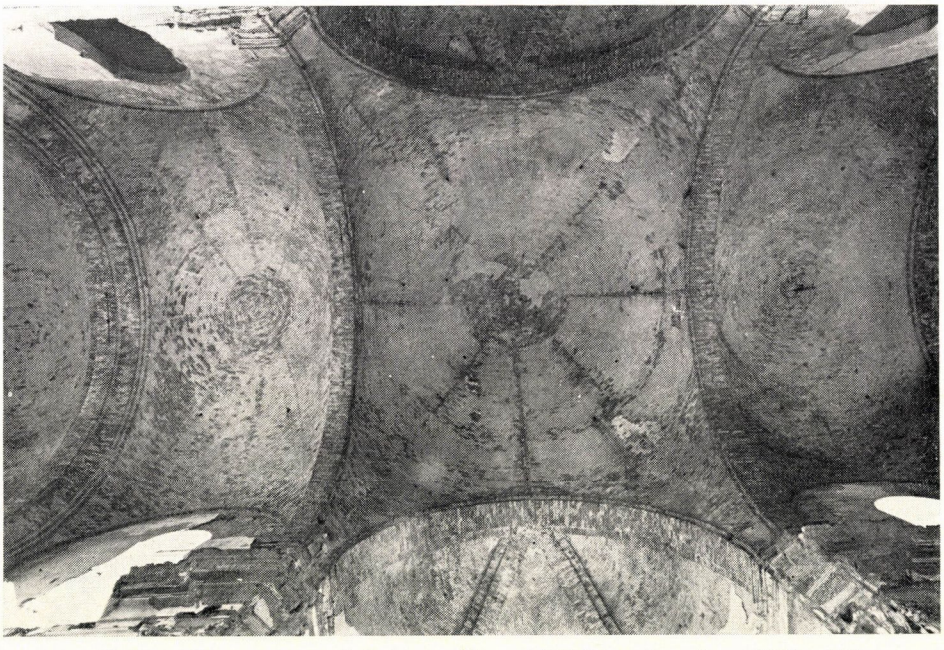
Nagyobb — 10—14 m fesztávolságú — templomok boltozatait átlós irányban *hevederívekkel erősítették* (32/c, d ábra és 34. kép). A hevederek 1,5—2



32. ábra. Csehboltozat falazási módjai



33. ábra. Gyűrűs falazás zárósorral (Zagyvaszántó r. k. templom)



34. ábra. Csehboltozat alulnézete (Eger, trinitárius templom 1730—60)

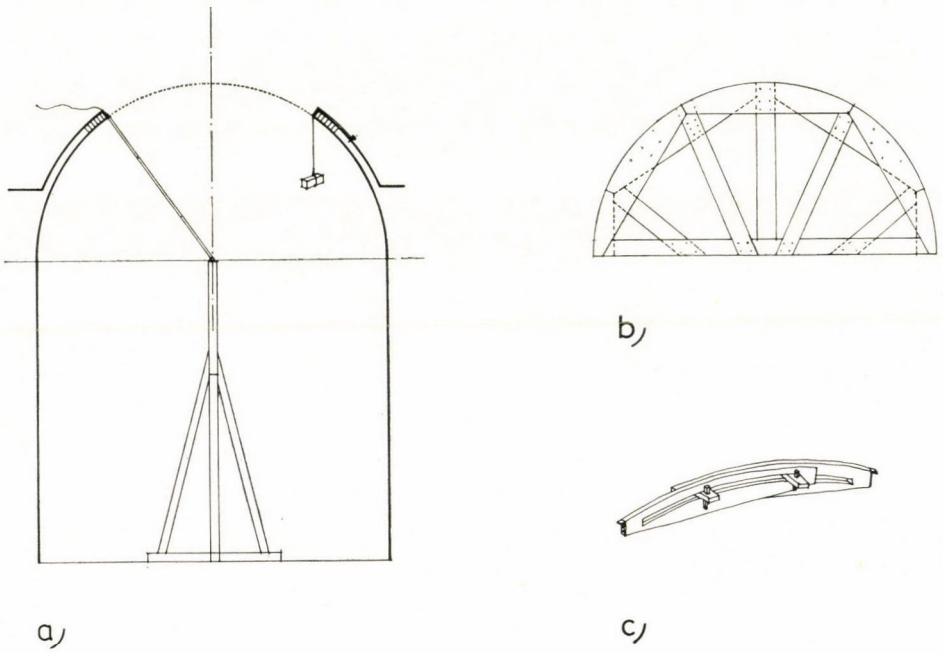
tégla szélesek, és féltéglányit állnak ki a boltozat felső síkjából. A 32/d ábrán látható „fecskefarkú" falazással készített bolthéj is számos alkalommal előfordul.

14 m-t meghaladó fesztávolsággal főleg centrális templomainkban találkozunk (pl. budai Szt. Anna-templom és a pozsonyi trinitárius templom). Ezekben a templomokban a nagy ovális kupolát három átlós hevederív merevíti (30. kép).

A *dongaboltozatok falazásához* teljes *mintadeszkázatot* készítettek. Ez egyszerű volt, mivel a donga tengelyirányú alkotói egyenesek. Feltételezhető, hogy a vállvonalban kiugró *belső főpárkányt felhasználták a mintaívek alátámasztására.* Így a boltozat falazásához készített mintaállványt nem — vagy csak részben — kellett a hajó padlószintjéig levezetni.

Nem ilyen egyszerű a *csehboltozatok falazása.* Itt ugyanis gömbfelületről van szó, amihez elég nehéz mintadeszkázatot készíteni. Ezeket a boltozatokat tehát nem is falazták mintadeszkázatra. Kisebb fesztávolságú boltozatokhoz valószínűleg a 35/a ábrán látható megoldást alkalmazták. Nagyobb boltozatok gömbfelületének kialakítására „vezéríveket" használtak. A mintaívek közötti szakaszokat „kézből", nagyobb boltozatok esetében pedig a 35/c ábrán bemutatott *ívsablon* segítségével falazták.

A hevederekkel erősített csehboltozatoknál minden bizonnyal a *hevederíveket falazták először,* vagyis ezek alá feltétlenül készítettek mintaívet. A hevedereket mindkét oldalukon csorbázatosan képezték ki, s ehhez falazták hozzá kötésben a bolthéjat.



35. ábra. Boltozatfalazás segédeszközei; *a)* alátámasztás nélküli boltozatfalazási mód, *b)* mintaív, *c)* ívsablon

Ezzel kapcsolatban meg kell jegyeznem, hogy a boltozás megkezdése előtt a fedélszéknek feltétlenül állnia kellett. Célszerűen a héjazatot is korábban elkészítették, nemcsak azért, hogy fedett helyen dolgozhassanak, hanem azért is, hogy annak leterhelő hatása érvényesüljön.

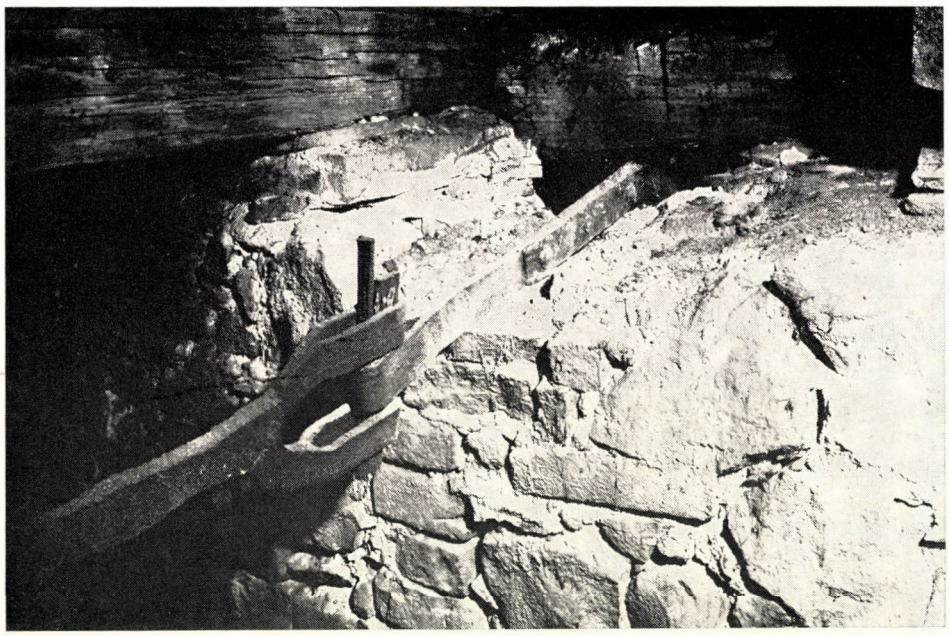
A boltozatok oldalnyomását felvevő *vonóvasakat*, illetve falkötővasakat a falazással egyidőben helyezték el. A vonóvasakat kovácsoltvasból készítették, és vasékekkel feszítették meg (36. kép).

A barokk templomok *tetőszéke* nyeregtetős kialakítású. A főhomlokzaton általános a volutás vagy timpanonos „oromlezárás", a szentélynél pedig a kontyolás.

A *fedélszék anyaga* leggyakrabban vörösfenyő, de más fenyőfélék használata is előfordult. Nagy terhelésű székoszlopokat néha keményfából is készítettek. A fagerendák *bárdolt megdolgozásúak*, a fakötéseket *keményfa csapokkal* rögzítették. A nagyobb igénybevételű csomópontokban *kovácsolt laposvas* hevedereket alkalmaztak.

A barokk templomok fedélszéke általában dőltszékes (szarufával párhuzamos s amellé épített), szelemenes, mellszorítós kialakítású (16. ábra). Kisebb fesztávolságú tetőknél előfordul a kétállószékes, szelemenes fedélszék is. Jellemző a barokk fedélszékekre, hogy az építők általában tetemes szelvényméreteket alkalmaztak, tehát igen faigényes szerkezeteket készítettek. Sajátos szerkezeti eleme a barokk fedélszéknek a szarufákat alátámasztó ún. *szélrácsgerendázat* (27. kép).

A *tetőfedéshez* természetes *palát* vagy *kézi vetésű*, *hódfarkú cserepet* használtak.



36. ábra. Vonóvas ékelt toldása

VI. A SZERKEZETI VIZSGÁLAT TOVÁBBFEJLESZTÉSE ÉS FELHASZNÁLÁSA

A *szerkezeti vizsgálat* — amelyen a templom alaprajzának, térképzésének és épületszerkezeteinek megismerését értem — segítséget nyújthat egyéb kérdések megoldásában is. Két ilyen kérdést említek meg: az egyik a szerző (tervkészítő) személyének valószínűsítése, a másik pedig a dolgozat eredményének felhasználása a műemlékvédelemben.

A szerző személyének valószínűsítése szerkezeti vizsgálat útján

Egyes *szerzőkérdések megközelítése*, illetve eldöntése tárgyában megbízható támpontot nyújthat az épület magjának ismerete. Véleményem szerint — ahogy a stíluskritikai vizsgálat a művészeti alkotás egyéni, leutánozhatatlan vonásait keresi, s azt bizonyított szerzőjű művekhez hasonlítva lehetőséget vagy javaslatot nyújt az ismeretlen szerző meghatározására — épület esetében is van erre mód, de ez *a belső lényeg leginkább a szerkezetben rejlik.*

Az épület alaprajzát vagy téraránvait az épület megtekintése és részletes megfigyelése után ma sem tudjuk pontosan leutánozni *a tervrajz ismerete nélkül.* Ahol tehát a terv vagy például a meghatározó méretek és arányok megegyeznek, a szerző azonossága vagy a terv valamilyen úton (pl. építtető, mester—tanítvány, szerzetesrend stb.) történő továbbjuttatása, illetve annak ismerete feltételezhető. Ez a gondolat azzal is alátámasztható, hogy ebben az időben nem ismerték az építéstechnológiával kapcsolatos matematikai és statikai törvényeket. A mesterek tehát csak tanítójuk, illetve saját tapasztalataikra támaszkodva alakították ki az építendő épület terveit. Nem valószínű, hogy az építész egy templom esetében már jól bevált szerkezeti kialakítást és az ezzel szoros kapcsolatban levő alaprajzot lényegileg is megváltoztatta volna. Természetesen ez nem áll egy-egy lángoló fantáziájú, nagy tehetségű egyéniségre. Ezek esetében viszont éppen ezek a sajátosságok lehetnek meghatározó jellegűek. Gondoljunk például Christoph Dientzenhoferre, Martin Wittwerre Anton Pilgramra vagy akár Fellner Jakabra

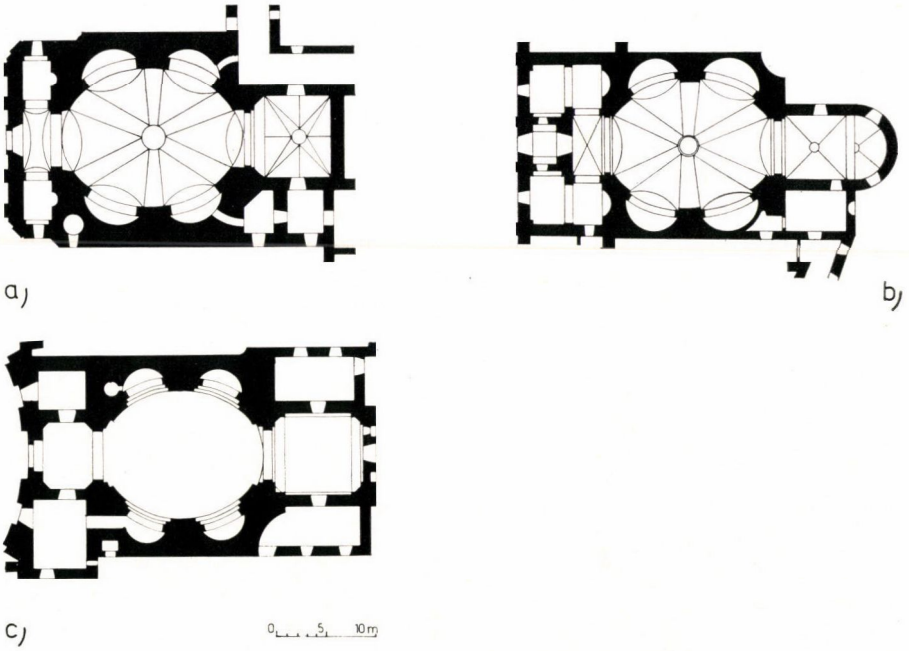
Nem szeretném azt a látszatot kelteni, hogy a fentiek szerint *csak az épület szerkezete* döntheti el a vitatott szerzőkérdéseket. Inkább egy új útra, módszerre, egy megvizsgálandó lehetőségre szeretném a figyelmet irányítani.

Elgondolásomat néhány ismert vagy elfogadottnak mondható szerzőtől származó emlék összehasonlításával szeretném illusztrálni. Itt csak az alaprajzok összehasonlítására nyílik mód, lényeges azonban a térképzés és az alkalmazott szerkezetek (pl. boltozatok), méretek és arányok összevetése is.

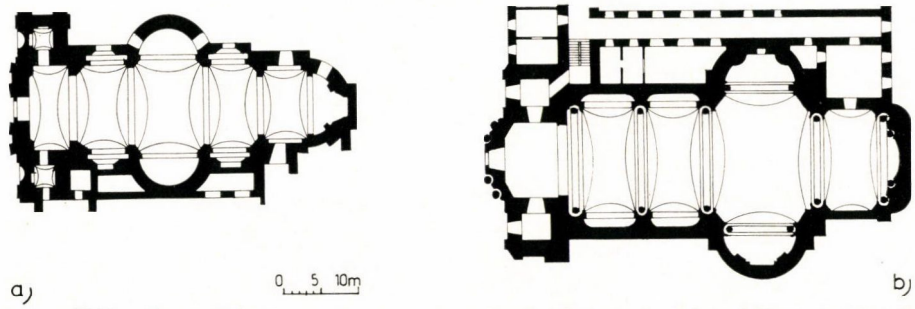
A 37. ábrán három templomalaprajzot mutatok be, amelyek Martin Wittwer tervei szerint készültek.[15] A linzi és a győri templom építésénél a mester is részt vett, a pápai pálos templom azonban már a szerző halála után épült meg.

A két közismert egri templom alaprajzát láthatjuk a 38. ábrán. Az 1730—60 között épült trinitárius templom és az alaprajzi kialakításában igen hasonló, azonos jellegzetes vonásokat tartalmazó minorita templom tervezője a legújabb kutatások szerint azonos Kilian Ignaz Dientzenhofer személyével.[16]

[15] Voit Pál: Martin Wittwer, a győri karmelita templom építésze — adatok a dunai barokk építőiskola magyarországi kapcsolataihoz. Magyar Műemlékvédelem 1963—1966.
[16] Voit Pál: Heves megye műemlékei II.



37. ábra. Martin Wittwer tervei alapján épült templomok; *a)* Győr, karmelita templom 1721—25, *b)* Pápa, pálos (később bencés) templom 1737—42, *c)* Linzi karmelita templom 1713—38

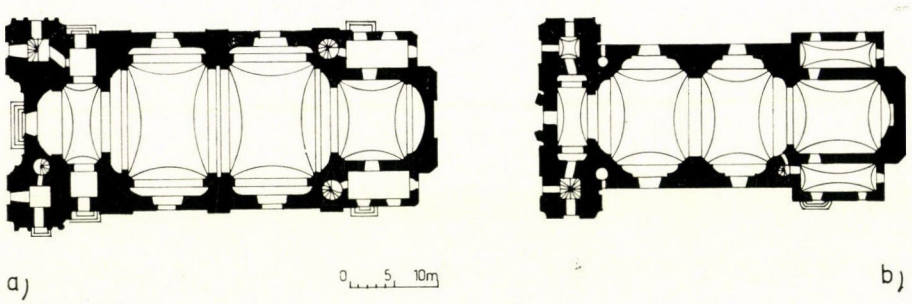


38. ábra. Kilian Ignaz Dientzenhofer tervei szerint épült templomok; *a)* Eger, trinitárius templom 1730—60, *b)* Eger, minorita templom 1758

Ugyancsak azonos kéz munkáját tükrözi az Eszterházy család által építtetett tatai és pápai plébániatemplom. Mindkettőt Fellner Jakab tatai építőmester tervezte.[17]

Végezetül egy, mondhatjuk a közérdeklődés fényében álló emlékcsoportra vonatkozó feltételezésemet szeretném bemutatni.

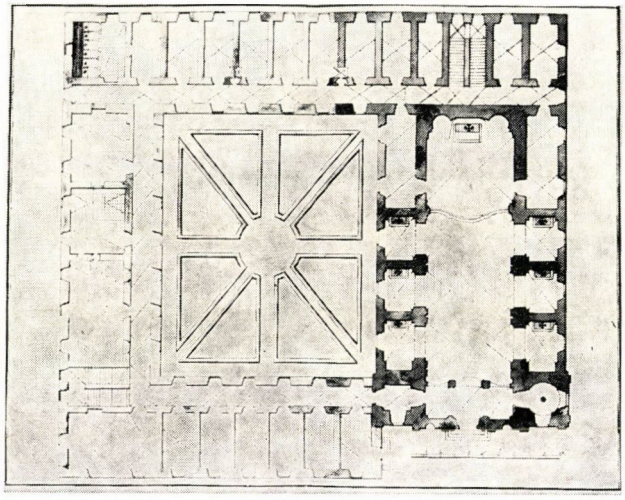
[17] Dr. Révhelyi Elemér kutatásai és szíves közlése alapján.



39. ábra. Fellner Jakab tervei alapján épült templomok; *a)* Tata, plébániatemplom 1751—84, *b)* Pápa, plébániattemplom 1774—86

Mindenekelőtt közlöm a pesti pálos (Egyetemi) templom általam eredetinek vélt tervét,[18] és a — G. B. Carlone által épített — debreceni piarista, majd (Szt. Anna-templom[19] alaprajzát, amelyek szerkezeti kialakítása és méretei között meglepő hasonlatosságot találtam. Szemléletesség céljából a 40. és 41. ábrán a jellemző méreteket a terveken szereplő lépték felhasználásával ölben, illetve lábméretben adom meg.

A két terv méreteinek összehasonlítását a túloldali táblázat tartalmazza:



40. ábra. Debrecen, piarista (majd Szt. Anna-) templom terve, 1774

[18] Országos Levéltár T 16 pálos rend tervrajzai No. 11.

Azt, hogy ez a terv eredeti terv lehetett, az alábbiakkal szeretném alátámasztani:

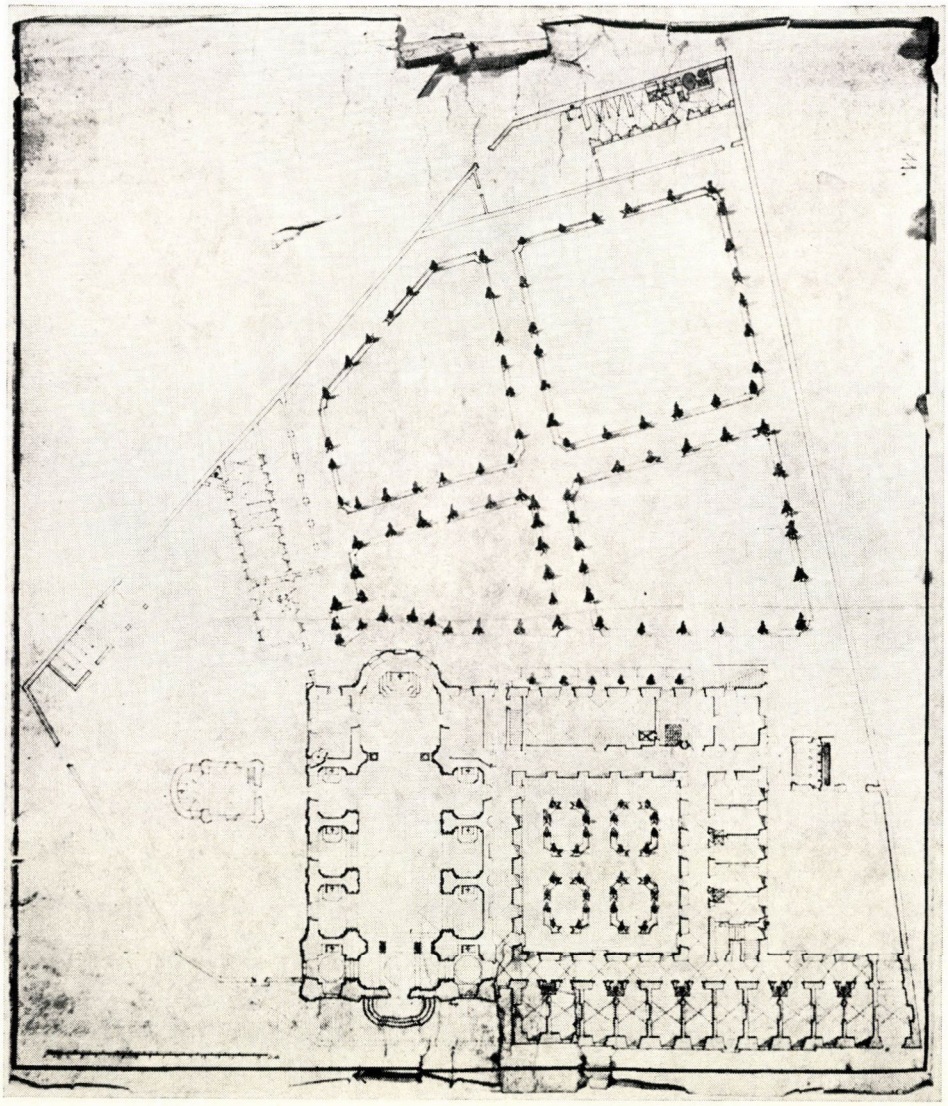
— a terv ábrázolja a Bél Mátyás leírásából (1720 körül) ismert kis ideiglenes kápolnát, amelyet a pálosok pesti telkükön építettek, és használtak a végleges templom elkészültéig;

— a kis kápolna a terven sárgára van színezve — tehát annak elbontását irányozza elő. A templom és a rendház egységesen piros színű, tehát *építendő épületek*. A tervrajzon a meglevő kis épületeket rózsaszínnel jelölték.

— Ha a tervrajz felmérés lett volna, nem tartalmazná a már elbontott kis kápolnát, illetve a szintén sárga színnel jelölt elbontandó kerítésfalat, amely a templom főbejárata előtt néhány méterrel húzódott.

[19] Országos Levéltár Htt. Acta Miscellanea Fasc. 93. No. 8.

	debreceni piarista templom	pesti pálos templom	
hajó szélessége	6 öl	6 öl	
oldalkápolna szélessége hajótól mérve	3 öl	3 öl	
egy boltszakasz szélessége	2,5 öl	3 öl	1 : 2,5
kettős hevederív szélessége	6 láb	8 láb	1 : 2,5
szentély szélessége	6 öl	6 öl	
szentély hossza	4,5 öl	4,5 öl	
két torony tengelytávolsága	10 öl	10 öl	



41. ábra. Pesti pálos templom terve (évszám és aláírás nélkül)

Szeretném megjegyezni, hogy a debreceni terven a templom rajza 1774-ben készült felmérés — Szabó Erzsébet szerint[20] a templom az eredeti terv másolata, amihez a rendház bővítésének terve készült. E terv nem tartalmazza viszont a hajót tagoló jellegzetes kettős hevederívek vetületi vonalait, amit a pesti terven láthatunk.

A boltozatokat a 42. és 43. képen láthatjuk, ugyancsak összehasonlításra ad módot a 46. és 47. kép, ahol C. B. Carlone által kivitelezett egri jezsuita templom (1717—43) és a pesti pálos templom orgonakarzatát láthatjuk.

A debreceni piarista templomot gr. Csáky Imre váradi püspök, majd kalocsai érsek és bíbornok építtette 1721—46 között. A pesti pálos templom alapkőletételének időpontját nem ismerjük. Feltételezett kezdési időpont 1725. évre esik.[21] Tehát valószínű, hogy néhány évvel később készült a debreceni terv, mint a pesti pálos templom terve.

Az elmondottak alapján felvetődik a gondolat, vajon nem G. B. Carlone személyében kell-e látnunk a pesti pálos templom — eddig ismeretlen — tervezőjét. Ezt a gondolatot alátámasztja gr. Csáky Imre és a pálosok közt fennálló közismert jó kapcsolat. Feltűnő továbbá a részletképzésben való bizonyos hasonlatosság a pálos templom és a bizonyítottan G. B. Carlonetől származó miskolci minorita templom (45. kép), valamint a feltételesen neki tulajdonított kalocsai érseki székesegyház[22] között (pl. arcus triumphalis kiképzése, oldalkápolnák).

Csak futólag szeretnék utalni arra az érdekes szerkezeti hasonlóságra, ami a miskolci minorita templom (Carlone) és a pesti ferences templom (?) között mutatkozik (44., 45. kép). Ezeken a képeken és a korábban közölt 7. ábrasoron láthatjuk, hogy e két templom alaprajza — főleg szentélye — igen hasonló kialakítású.

Érdekes megfigyelni a szerkezeti fejlődés töretlen folyamatát a debreceni piarista (1721—46), a pesti pálos (1725—42), a pesti ferences (1727—43), a miskolci minorita (1729—43) és a kalocsai székesegyház (terv: 1728, 1735—54) alaprajzának és szerkezeteinek összehasonlításánál. Míg a debreceni templom hajóját és szentélyét is fiókos dongaboltozat fedi, a pesti pálos templom hajóját donga, de szentélyét és oldalkápolnáit már a szerkezetileg fejlettebb csehboltozattal fedték le. A pesti ferences templom hajója 1 öllel szélesebb ugyan a pálos templom hajójánál, de még dongaboltozatos, szentélyét kétszakaszos csehboltozat fedi, amely teljesen azonos méretű és kialakítású a miskolci minorita templom szentélyével. A miskolci templom hajója azonban már csehboltozatos lefedést kapott. Ugyancsak csehboltozatos fedése van a kalocsai székesegyháznak, ahol a hajót, a szentélyt és az oldalkápolnákat is csehboltozat fedi (7. ábrasor).

A szerkezet az építészeti alkotás lényeges eleme, ez nemcsak a funkcionális modern építészetre érvényes, hanem minden kor építészetére. Magától értetődő tehát, hogy a részletes szerkezeti analízis a barokk építészetben is sok mindent

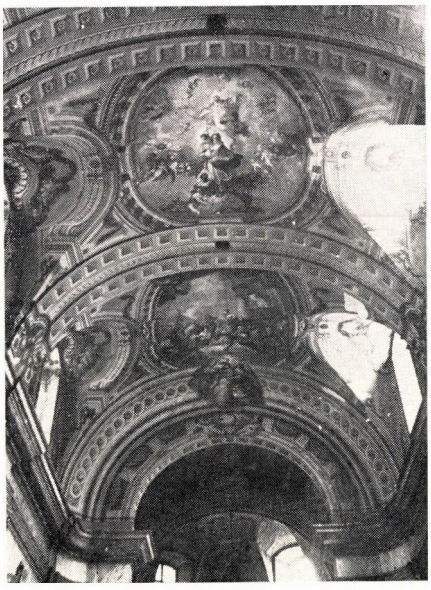
[20] Szabó Erzsébet: Johannes Baptista Carlone. Műv. Tört. Ért. 1968. XVII. évf. 3—4.sz.

[21] Kuthy Sándor: A pesti Egyetemi templom 1960. c. könyvéből: „A végleges templom, a mai egyetemi templom építése kezdetének biztos időpontja ismeretlen, minden valószínűség az 1725. évre utal. Ekkor ugyanis a városi tanács a pálosoknak templomuk építéséhez nagy mennyiségű követ biztosított.

[22] Szabó Erzsébet: A miskolci volt minorita templom és rendház. Magyar Műemlékvédelem 1969—1970.



42. ábra. Debreceni piarista (Szt. Anna-) templom (1721—46) boltozatai



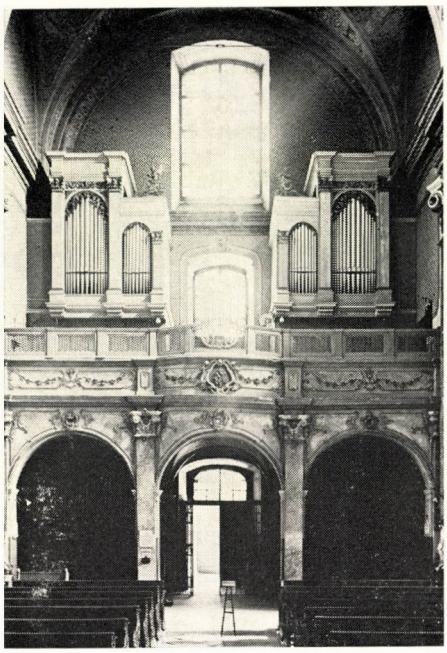
43. ábra. Pesti pálos (Egyetemi) templom (1725—42) boltozatai



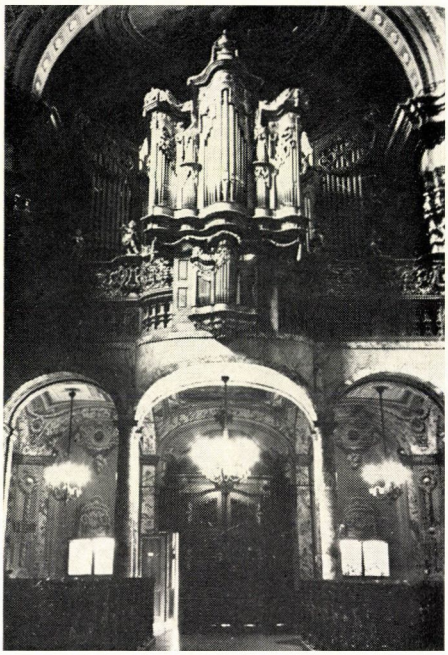
44. ábra Pesti ferences templom (1727–43) boltozatai



45. ábra. Miskolci minorita templom (1729—43) boltozatai



46. ábra. Eger, jezsuita (majd ciszterci) templom (1717—43) orgonakarzata



47. ábra. Pesti pálos (Egyetemi) templom (1725—42) orgonakarzata

megvilágít, megközelíthetővé tesz, amit enélkül nem vagy csak körülményesebben lehetne megoldani. Túl tehát azon, hogy a szerkezet megismerésével az épület egyik lényeges eleméhez férkőzünk közel, az épület egészéhez, történeti problémáinak megfejtéséhez is út nyílik. Vázlatos fejtegetésünk talán érzékeltet ebből valamit.

Műemlékvédelmi helyreállítások gyakorlati kérdései

A dialektika a szerkezeti megoldások tekintetében is töretlenül érvényesül. Az építészettörténetet végigtekintve megállapíthatjuk, hogy valamennyi történeti korszaknak megvolt a maga építéstechnikai vívmánya. A korábban tapasztalaton alapuló szerkezeti kialakítások azonban csak a XVIII. század végén kaptak matematikai, statikai és szilárdságtani megalapozottságot. Az ezt megelőző időszak szerkezeti vizsgálatakor tehát bizonyos fokig vissza kell helyezkednünk abba a szemléletbe, amellyel ezek az emlékek születtek. Ez természetesen nem zárhatja ki a műemlékvédelemben a legkorszerűbb eszközök és módszerek alkalmazását. Ugyanakkor számolnunk kell azzal, hogy *az erőjáték átrendezése mindig előnytelen, veszélyes, és műemléki szempontból sem korrekt* megoldás.

A műemléképületek helyreállításának statikai kérdései feltétlenül önálló tanulmány tárgyát képezik. Itt csak röviden utalni szeretnék néhány jellegzetes, e témakörben előforduló szerkezeti problémára.

Leggyakoribb károsodás *a boltozatok záradékában megjelenő repedés.* A IV. fejezetben tárgyalt vonóvasas rendszer ismeretében ebben az esetben feltétle-

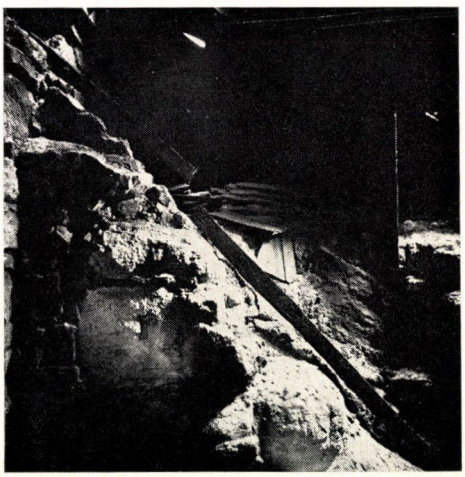
nül a padlástérben elhelyezkedő *vonógerenda*, illetve *vonóvas* meghibásodására kell gondolnunk. A 48. képen bemutatott vonóvasszakadás például a hajóban a két boltszakasz közötti hevederív megrepedését okozta. A helyreállítást a meglevő vonóvas mellé behúzott, a régi vonóvassal azonos teherbírású — ellenmenetes anyával ellátott — vonóvas beépítésével oldottuk meg (49. kép).

Másik jellegzetes hibaforrás *a héjazat könnyebb fedésre történő cseréje*. Különösen vidéki templomoknál fordul elő, hogy a régi természetes pala- vagy kézi vetésű nehéz cserépfedést — műemléki szempontból is helytelenül — műpala fedésre cserélik. Ez a tetőből származó leterhelést közel felére csökkenti, a boltozatok erőjátéka átrendeződik, repedések jelennek meg. Előfordulhat olyan eset is, hogy a vonóvasban a fentiek miatt megnövekedett húzóerő okozza annak tönkremenetelét.

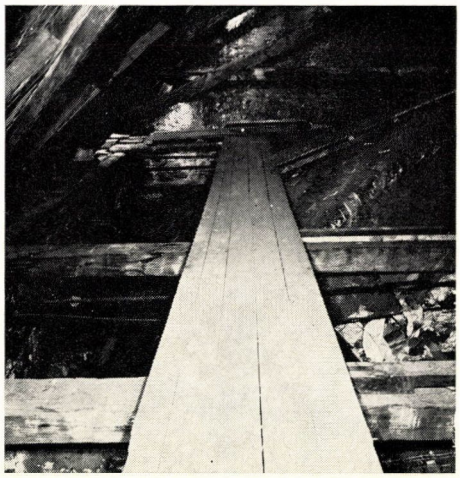
Gyakori hiba az is, hogy a fedélszék javításakor a *vonógerendát* vagy annak felfekvésénél levő szerkezeteket *megbolygatják*. Emiatt a vonógerenda elmozdul (leszáll), s a reá kapaszkodó ferde vonóvasak meglazulnak. Ezáltal a vonógerenda a vízszintes erők felvételére alkalmatlanná válik.

Említésre méltó probléma templomainknál a *toronytesttel* kapcsolatos szerkezeti károsodások köre. Egy részük az egyenlőtlen talajfeszültségek miatt előálló süllyedéskülönbségből adódik. Ez általában a torony és hajófal csatlakozásánál okoz falrepedést. A repedések kialakulása után a mozgás legtöbbször megszűnik, s további problémát nem okoz. Ha a mozgás folyamatos, a károsodást valószínűleg az altalaj süllyedése okozza.

Gyakori a *középtorony* hajó felőli falának *kiváltása* (az orgonakarzat felett) hevederívvel. Ez a szerkezeti megoldás igen sok esetben vezet a boltöv repedéséhez, esetleg töréséhez (például pesti szervita templom). Gyakran alkalmazott, bár helytelen helyreállítási mód a befalazás vagy a padlószintre levezetett pillérek beépítése. A boltövet hiába támasztjuk alá, az abban működő erők irányát ez nem változtatja meg. Megoldást csak az oldalnyomás felvétele nyújthat. Ez — egyedi elbírálás alapján — vonóvassal, a padlástérben rejtett támpillérrel vagy más hasonló módon történhet.



48. ábra. Szakadt vonóvas



49. ábra. Meglazult vonóvasak helyreállítás után (Budai Erzsébet-apácák temploma)

Megjegyezzük, hogy a toronyfal hevederíves kiváltása eredetileg is hibásan konstruált szerkezet. Nem egy olyan esetet ismerünk — régi feljegyzésekből —, hogy már az építést követő években javították, illetve újrafalazták a tornyot.

Más a helyzet a *fedélszékek* felújításánál. Itt a problémát a barokk fedélszék faelemeinek túlméretezett volta jelenti. Az egyes korhadt elemek cseréje a fakötések visszaállítása miatt csak *ugyanolyan keresztmetszetű* fával lehetséges. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a 25—30%-os javításhoz majdnem annyi faanyag szükséges, mint egy új fedélszékhez. Gazdaságossági okok miatt gyakran a tetőszerkezet teljes cseréje mellett döntenek, ami a boltozatok stabilitása szempontjából veszélyes. Továbbá, ha ez a tendencia továbbra is így érvényesül, a XVIII. századi ácsszerkezeteknek nemsokára csak emlékét őrizhetjük.

Nem térek ki részletesen egyéb területen is előforduló nehézségek, illetve hibaforrások elemzésére (gombásodás, rovarkár, beázás, süllyedések stb.), ezekkel a problémákkal ugyanis más épületek helyreállításánál is számolni kell.

A történeti stílusok sajátos szerkezeteinek ismerete úgy érzem az építész számára is nélkülözhetetlen. Gyakran az építésznek kell a statikus figyelmét felhívnia az épület jellegéből és korából fakadó sajátos kérdésekre.

Véleményem szerint az esetek nagy többségében szerkezetileg leghelyesebb a meglevő, *eredeti szerkezet helyreállítása* az eredeti erőjáték megőrzésével. Természetesen csak abban az esetben, ha a tönkremenetel mértéke ezt még megengedi. A barokk templomok esetében a műemlékvédelmi és esztétikai szempontok is ezt követelik meg.

VII. A SZERKEZETI VIZSGÁLAT ÉRTÉKELÉSE

A dolgozat lényegesebb megállapításai az alábbiakban foglalhatók össze:

1. Magyarországon a barokk templomok elismert előképének az Il Gesùnak jellegzetes vonásai leegyszerűsített formában, a földrajzi és történelmi helyzetnek megfelelően, áttételesen valósultak meg. A hazai korabarokk templomokon a Dél-Németországban és Sziléziában épült barokk templomok nagyfokú hatása mutatható ki.
2. A fejlődés folyamán két alaptípus alakult ki. Az első az Il Gesù-t szorosabban követő, egyhajós oldalkápolnás típus, amely a XVIII. század első harmadáig élt. Ezután a század végéig általánosan elterjedt az előbbinek tovább egyszerűsített formája, az ugyancsak egyhajós, de oldalkápolna nélküli megoldás, amely a magyar barokk templom sajátos típusának mondható.
3. E magyar típus téralkotásának jellemző motívuma a csehboltozat alkalmazása a korábbi dongaboltozat helyett. A csehboltozatok a hajó terét szakaszokra osztják, s ezzel a belső térélmény színessé, mozgalmassá válik.
4. A szerkezeti vizsgálat feltárta a barokk boltozati rendszerek lényegét. A boltváll magasságában jelentkező oldalnyomást — szellemes megoldással — a boltozat felett vezetett vonóvasakkal veszik fel. Így elkerülik a térhatást rontó belső vonóvasakat, illetve a nagy anyagfelhasználást igénylő támpilléreket. Ehhez járul még a tetőszerkezet teherátadási helyének előnyös megválasztása, amellyel a barokk templomok viszonylag könnyed felépítménye kialakulhatott.
5. Végezetül a dolgozat felhívja a figyelmet a szerkezeti vizsgálat művészettörténeti és műemlékvédelmi hasznosításának lehetőségére.

IRODALOM

Aggházy Mária: Adatok a pálosok XVIII. századi művészi tevékenységéhez. Arch. Ért. XLIX. 1936. 98—104. o. — Centrális barokk templomok a Dunántúlon. Bp. 1940.
Andai Pál: A mérnöki alkotás története. Műszaki Kiadóvállalat, Bp. 1959.
Baranyai Béláné: Adatok a XVIII. századi márianosztrai pálos művészethez. Műv. Tört. Ért. 1957. 65—76. o.
Baumeister, Engelbert: Rokoko-Kirchen Oberbayerns. Strassburg, 1907.
Bode, Helmut: Die Kirchenbauten der Jesuiten in Schlesien. Halle, 1935.
Bónisné, Wallon Emma: Pilgram Antal váci székesegyházterve. Műv. tört. Ért. 1957. 29—37. o. — Vác művészete a XVIII. században. Bp. 1935.
Budapest műemlékei I. Horler Miklós, szerk. Dercsényi Dezső. Akadémiai Kiadó, Bp. 1955.
Budapest műemlékei II. Akadémiai Kiadó, Bp.
Csemegi József: Adalékok Fellenthali Fellner Jakab munkásságához. Magyar Mérn. és Ép. Egyl. 1935.
Divald Kornél: Magyarország művészeti emlékei. Bp. 1927. — Magyar városok művészete, Eperjes templomai. Bp. 1904.
Dornyai Béla: Fellenthali Fellner Jakab tatai építőművészetéről. Magyar Mérn. és Ép. Egylet Közl. Bp. 1930.
Foerk Ernő: A kalocsai székesegyház. Bp. 1915.
Földvári László: Adalékok a dunamelléki ev. és ref. egyházkerület történetéhez. Bp. 1898. I. kötet.
Franz, H. G.: Bauten und Baumeister der Barockzeit in Böhmen. Leipzig 1962.
Genthon István: Magyarország művészeti emlékei I. Dunántúl. Bp. 1959. — Magyarország művészeti emlékei II. Bp. 1961.
Genthon István – Zakariás G. Sándor: Magyarország művészeti emlékei III. Bp. 1961. — Nógrád megye műemlékei. Akadémiai Kiadó, Bp. 1954.
Gerő László: Budapest templomai az ostrom után. Bp. II. 1946. — Eger. Bp. 1954. — Pápa. Bp. 1959. Városképek — Műemlékek sor.
Gosztonyi Gyula: A barokk Pécs. Pécs, 1942.
Haeufler, J. V.: Buda-Pest historisch-topographische Skizzen. Pest, 1845.
Hartmann, K. O.: Die Entwicklung der Baukunst III. Barock, Rokoko und Neuzeit. Deutsche Bauzeitung. Berlin, 1931.
Hegemann, H. W.: Die deutsche Barockbaukunst Böhmens. München, 1943.
Hempel, E.: Geschichte der Deutschen Baukunst. München, 1949.
Heves megye műemlékei I. Akadémiai Kiadó, Bp. 1969.
Heves megye műemlékei II. Akadémiai Kiadó, Bp. 1972.
Horler Miklós: Szentendre. Városképek — Műemlékek sor. Műsz. Könyvkiadó, Bp. 1960.
Kapossy János: Későbarokk építészet Magyarországon. Magyar Művészet, Bp. 1927. — A magyarországi barokk európai helyzete. Magyar Művészet, Bp. 1931.
Kapossy János: Barokk művészetünk olasz kapcsolatainak kérdéséhez. O. M. Régészeti Társ. évk. II. — A Grassalkovichok mint művészetpártolók. Napkelet, IX. 1924.
Kemény Lajos: Hefele Menyhért. Pozsony, 1915. — Evangélikus templomok. Bp. 1944.
Kotsis István: Eger építményei a XVIII. század második feléből. Magyar Építőművészet X. 1912. 9—10. sz.
Kováts J. István: Magyar református templomok I—II. Bp. 1942.
Kuthy Sándor: A pesti egyetemi templom Műemlékeink sor, Képzőműv. Alap Kiadóváll. Bp. 1960.
Lieb, N.: Barockkirchen zwischen Donau und Alpen. München, 1953.
Lieb, N.—Dieth, F.: Die Vorarlberger Barockbaumeister. München, Zürich, 1960.
A magyarországi művészet története I—II. Bp. 1970.
Mojzer Miklós: Adatok Mayerhoffer András működéséhez. Műv. tört. Ért. 1956. V. évf. 136—145. o.
B. Nagy Margit: Reneszánsz és barokk Erdélyben. Bukarest, 1970.
Pest megye műemlékei I—II. Akadémiai Kiadó, Bp. 1958.
Pevsner, Nikolaus: Az európai építészet története. Corvina Kiadó, 1972.
Pokorny Emánuel: A Szent Erzsébet-szerzet tekintettel budapesti kolostorára, templomára és női kórházára. Bp. 1935.
Rados Jenő: Magyar építészettörténet. Műsz. Kiadó, Bp. 1961. — Tata. Városképek — Műemlékek sor. Műsz. Könyvkiadó, Bp. 1964.
Révhelyi Elemér: A régi Buda és Pest építőmesterei Mária Terézia korában. Bp. 1932. — Adatok a XVIII. századi építőmesterek működéséhez. Arch. Ért. 1931. 168. old.

Schoen Arnold: A budai Szent Anna-templom. Bp. 1930. — Az óbudai Szent Péter és Pál plébániatemplom. Egyházközségi Tudósító, 1933. 47. sz. — Buda és Óbuda XVIII. századi templomai. Bp. 1937. — Buda Óbuda Pest 1800 előtt. Bp. 1946. — Hölbling építőmester Budán. Műv. tört. Ért. 1958. VII. évf. 2—3. szám.
Somogy megye műemlékjegyzéke. Bp. ÉTK 1973.
Szabó Erzsébet: Adatok gr. Esterházy Károly építési tevékenységéhez. Műv. tört. Ért. VII. 1958.
Szabó Erzsébet: A pesti ferences templom. Képzőműv. Alap Kiadóváll. 1959. — Johannes Baptista Carlone. Műv. tört. Ért. XVII. évf. 1968. 3—4. sz. — A miskolci volt minorita templom és rendház. Magyar Műemlékvédelem, 1969—1970.
Szentkirályi Zoltán: A barokk értékelésének néhány problémája. ÉKME Tudományos Közl. 1964. X. kötet 5. szám.
Szőnyi Ottó: Pécs műemlékei. Magyar Mérnök és Ép. egyl. Közl. V. 1929. — Régi magyar templomok. Bp. 1933.
Tölgyesy Felicia: A pozsonyi barokk építészet. Bp. 1937.
Voit Pál: Az egri extrinitárius templom. Magyar Műemlékvédelem 1959—60. Bp. 1964. — Martin Wittwer, a győri karmelita templom építésze — adatok a dunai barokk építőiskola magyarországi kapcsolataihoz. Magyar Műemlékvéd. 1963—1966. Bp.— Az egri minorita templom. Műemlékeink sor. Bp. 1971.

A képek forrásai

FIMÜV Műemléki Osztály, Szilágyi Edit felvétele: 27, 30, 36, 48, 49

Az Országos Műemléki Felügyelőség fotótárából: 34, 46

A szerző felvétele: 24, 33, 42, 43, 44, 45, 47

KÖNYVSZEMLE

GONDOLATOK DR. PERÉNYI IMRE „TELEPÜLÉSTERVEZÉS" C. KÖNYVÉNEK ÚJ KIADÁSÁRÓL

Immár harmadízben kerül a téma felsőfokú tanulói, valamint a szakemberek és a nagyközösség kezébe ez a nagy jelentőségű munka, amely legújabb — az előző két kiadásához képest lényegbevágóan módosított-továbbfejlesztett — változatában is nélkülözhetetlen tananyaga, ill. olvasmánya az előbb említett mindhárom kategóriának. Ami a szerző és a kiadó célkitűzésének helyességét és időszerűségét illeti, úgy gondolom, senkinek sem lehet kétsége, hogy ma — a világszerte és nálunk is tapasztalható „urbanizációs robbanás" kibontakozásának, a települések fejlődésének mennyiségi és minőségi hiányosságaival kapcsolatos panaszok, a városokban kialakuló művi környezet ártalmainak elburjánzásából eredő problémák rohamos növekedésének és a nemzeti jövedelem egyre nagyobb hányadrészét igénylő városépítési és városgazdasági feladatok korszakában — mind az oktatáshoz, mind a szakszerű tájékoztatáshoz, mind pedig az életünk minőségét meghatározó döntések helyes irányú befolyásolásához nélkülözhetetlen egy ilyen mű, de éppúgy nélkülözhetetlen annak rendszeres továbbfejlesztése, egyre újabb és újabb kiadása is.

Ez a véleményem egyben válasz is Szerzőnek az előszóban felvetett kétségeire, amelyek szerint: „. . . ilyen körülmények között vajon eredményes lehet-e az a vállalkozás, amely az egész szakterületre kiterjedő, összefoglaló munka elkészítését tűzi ki célul? Nem lesznek-e a munkában olyan állítások, amelyek már a mű megjelenésekor elavultnak tekinthetők? Nem tartalmaz-e a könyv — éppen a korszerűségre való törekvés miatt — számos, még meg nem vitatott, a gyakorlatban nem eléggé ellenőrzött állítást?" stb. A magam részéről a vállalkozást — függetlenül attól, hogy eredményesnek is — egyben feltétlenül szükségesnek tartom. Ahogyan egy város megépítésének megkezdése előtt — amennyiben szükség van arra a városra — indokolatlannak látom felvetni az aggályt, hogy amikorra az a város felépül, addigra már kisebb-nagyobb részben mások lesznek a városépítés szempontjai, követelményei és előírásai. Az egyre „gyorsuló időben" kénytelenek vagyunk egyaránt olyan alkotásokat építeni — és olyan műveket írni —, amelyeknek az erkölcsi kopása már a tevékenységünk első percében megkezdődik. Mégsem szabad várnunk vele. Ismeretanyagaink tartalmi értékének „felezési ideje" a műszaki tudományokban általában 8—10 év, a kibernetikában már csak egy-két év. És a kibernetika könyörtelenül betör a műszaki tudományok minden ágazatába — közöttük a településtudományba is —, és ott is egyre jobban megrövidíti mindenkori tudásunk értékének felezési időtartamát. Ezzel számolnunk kell, de ennek tudatában sem nélkülözhetjük a tudományterület alapvető ismereteinek a megírásuk időpontjára jellemző általános színvonalon összefoglalt enciklopédiáját, mert annak hiányában az oda szükségszerűen behatoló matematikusoknak, ill. rendszertechnikai szakembereknek sem volna módjukban bármit is kvantifikálni és képletekbe foglalni.

Nincs tehát kétségem aziránt, hogy — bármennyire is teljességre törekvő és a jövő felé tekintő ez a mű — időről időre szükségszerűen meg kell majd jelennie további — megjelenésük időszakában már kiforrott újabb ismereteket is hasonló alapossággal tartalmazó — kiadásainak is.

Minthogy ebben a kis írásban nemcsak a véleményemet, hanem tájékoztatást is kívánok nyújtani olyan potenciális olvasók számára, akiknek még nem volt alkalmuk megismerni a könyvet, a következőkben igen röviden vázolom annak tartalmát. Nyolc főfejezetéből az első: általános jellegű megalapozást nyújt a települések kialakulásának társadalmi-gazdasági, tudományos-technikai összetevőivel, a településnek a településhálózat rendszerében betöltött szerepéről, egy új város telepítésének elveiről és előkészítésének gyakorlati

feladatairól. A második fejezet a város funkcionális felépítését, esztétikumát, valamint a tájjal fennálló kapcsolatát mutatja be, majd kitér rekonstrukciójának okaira, célkitűzéseire, megvalósításának gyakorlati követelményeire. A harmadik fejezet témája: a város közlekedési rendszere. A negyedik fejezetben a lakóhely, ill. a lakóterület és annak tartozékait képező közintézmények rendszerét ismerteti. Ezenkívül bemutatja a lakóterületi rekonstrukció problematikáját és annak megoldását is. Az ötödik fejezet az iparnak, az ipari és a többi városi terület kapcsolatának, valamint az ipari terület rekonstrukciójának szenteli, beleértve a közüzemek és közraktárak településtervezési problémáit is.

A hatodik fejezet a városközpont szerepével, funkcionális és esztétikai megoldásával, annak igen bonyodalmas — de világszerte és nálunk is folyamatosan napirenden szereplő — rekonstrukciós feladataival foglalkozik. Ismerteti az agglomerációk egységes központ-rendszerének kialakítására vonatkozó elgondolásokat és gyakorlati lehetőségeket, továbbá az — általában a városközpontokban halmozódó — műemléki együttesek megóvásának feladatait. A hetedik fejezetben a városi zöldterületek kialakításával, ill. megóvásával, fejlesztésével, a lakosság egyre növekvő pihenési-üdülési igényeinek kielégítési lehetőségeivel ismerkedhetünk meg. Az adott keretek között elérhető teljességre törekvő és alaposan kidolgozott fejezetekhez részletes irodalmi tájékoztató csatlakozik.

Műfaját tekintve a könyv éppúgy tankönyv, mint szakkönyv vagy kézikönyv, de egyben valóban enciklopédia is mindazok számára, akik foglalkozásuk szerint ugyan kívül állnak a településszervezés területén, de — mint ahogyan minden művelt embertől elvárható — érdeklődnek a településtudomány ismeretanyaga iránt. Véleményem szerint a napisajtóban, a telekommunikációs eszközökben, vagy akár baráti, munkatársi beszélgetések során szinte naponta rendszeresen felmerülő városépítészeti diadalok és anomáliák, dicshimnuszok és felelősségrevonások nem értelmezhetők érdemük szerint, ha azok résztvevői nem rendelkeznek olyan alapvető jellegű és egyben szakaszerű tájékozottsággal, amelyet éppen ez az egyetlen magyar könyv többek között erre a célra is nyújtani képes. Rendszerezése, szövegezési módja, kép- és ábraanyaga annyira könnyen felfoghatóvá teszi az általa kifejezni kívánt tartalmat, hogy megértése a szakmától idegen olvasó számára sem jelent nehézséget. (Mindezt figyelembe véve a mű példányszámát indokolatlanul alacsonynak tartom. Ahhoz pedig, hogy olvasóinak az előzőkben már említett három kategóriája kényelmesen és jó eredménnyel használhassa, szükséges lett volna tárgy- és névmutatóval is ellátni. No meg az egyébként is jól megválasztott fényképfelvételek is jobb nyomdatechnikát érdemeltek volna. Ezek a megjegyzések azonban inkább a kiadóra vonatkoznak, mint a műre.)

Magával a könyv tartalmával kapcsolatban — tiszteletben tartva a szerző ama szándékát, a településtudomány teljes spektrumából mely témákat kívánt ebben a művében a nyilvánvalóan korlátozott keretek között kidolgozni és közreadni — nincs lényeges észrevételem. Minden, ami a könyvben szerepel, az nagyjában és egészében helyesen van megírva, megszerkesztve és illusztrálva. A szerző által maga elé tűzött célnak kiválóan megfelel. Így tehát — nem annyira recenzióként, inkább annak ürügyén — írásom további (bírálatnak semmiképpen sem tekinthető) részét annak a felvázolására igyekszem felhasználni, hogy mi mindent kellene még a könyv címe által meghatározott tárgykörben a későbbi — szükségszerűen egyre bővülő tartalommal megjelenő újabb és újabb kiadások keretei között — kidolgozni ahhoz, hogy a településtervezés elméletében és gyakorlatában ma már egyre gyakrabban felbukkanó — és jövőben várhatóan általánossá váló — itt nem tárgyalt problémákra is választ kapjon az olvasó. Talán úgy is mondhatnám, hogy néhány javaslatot szeretnék tenni a majdan időszerűvé váló későbbi kiadások tematikájának kiegészítéséhez — vagy esetleg egy időközben megírandó pótkötethez.

Ebben a kiegészítő tematikában mindenekelőtt azt tűzném ki célul, hogy a kibővített mű megfelelő szempontokat, irányelveket, elemzési (esetleg számítási) módszereket adjon a településtervezés terén kidolgozásra kerülő — vagy akár csak elvben felvethető — számos megoldásbeli változat közül a legalkalmasabbnak, a leghatékonyabbnak a kiválasztásához, vagy akár az adott feltételekből kiindulva elérhető legcélszerűbb változat lehetőségeinek és korlátainak megállapításához. Kétségtelen, hogy a már megjelent mű bőséges tájékoztatást ad arra vonatkozóan, hogy a városnak — és legfőbb elemeinek — milyennek kell — ill. kellene — lennie. De jól tudjuk, hogy a valóságos helyzetben a korlátok egész sora akadályozza ezek elérését. Földrajzi korlátok (pl. terep- és talajviszonyok), műszaki korlátok (pl. a meglevő létesítmények eltávolításának nehéz-

ségei), gazdasági-pénzügyi korlátok, technológiai (főként építéstechnológiai) korlátok, egészségügyi korlátok, jogi korlátok, szociálpolitikai korlátok stb. A településtervezőnek a legtökéletesebb településtudományi ismeretek birtokában is mindezeket vagy le kell tudni küzdenie (amire ritkán nyílik lehetősége), vagy (ez az általánosabb eset) meg kell velük alkudnia és az adott feltételek mellett elérhető optimális megoldásra kell törekednie. De melyek az optimális megoldás kritériumai? Legnagyobb részük ökológiai és ökonómiai alapokra vezethető vissza. A környezetvédelem — vagy inkább: környezetfejlesztés — diszciplínája ma már többékevésbé egyenlőségi jelet tesz a „művi környezet" és a „város" fogalma közé. Ennek kapcsán olyan viszonyt kíván kialakítani az ökológia és az ökonómia között, amely szerint az ember kedvező életfeltételeit a városban is hiánytalanul biztosítani kell, mégpedig a gazdaságilag lehatékonyabb módon. (Az ökológiai követelményekbe természetesen az esztétikum is beletartozik.) Úgy látszik tehát, hogy ez a két — önmagában is interdiszciplináris — tudományterület: az ökológia és az ökonómia fog majd segítséget adni a településtervezési optimum meghatározásához. Hogy hogyan? Ehhez volna szükség egy új — és nem könnyen megírható — fejezetre.

Ez a fejezet azonban már magába foglalja annak szükségességét is, hogy kvalitatív módon, szavakban megfogalmazott ismeretanyagunkat képesek legyünk egyre nagyobb arányban kvantifikálni, követelményeinket és megállapításainkat, valamint minőségi meghatározásainkat parametrizálni és értékítéleteinket a „jó" és a „rossz", ill. a „tetszik" és „nem tetszik" indokolásokon túlmenően szabatos és egyértelmű jellemzőkkel is kifejezni. De hogyan? Nem a településtervező feladata, hogy a saját céljaira maga használja fel a rendelkezésre álló számító-apparátust. De hogy mit várjon és „hogyan kérdezzen" tőle, az is egy nagyon értékes fejezet lehetne.

Érdemes volna egy fejezetet szentelni a településtervezés módszertanának is. Milyen tervfajták készülnek? Azok hogyan illeszkednek bele politikai-gazdasági-területi tervezésünk egész rendszerébe? Hogyan készülnek ezek a tervek? Mi a sorsuk? Milyen jogok és kötelezettségek fűződnek hozzájuk? Kik csinálják? Kik csináltatják? Hogyan használják-hasznosítják azokat?

Ennek szerves folyománya, hogy egy fejezetben le kellene írni államigazgatási, hatósági, népgazdasági szervezetünknek azokat a szektorait és funkcióit, amelyeknek részük van a településszervezésben, akár mint megrendelőknek, akár mint jóváhagyóknak, akár mint a terv végrehajtóinak, vagy a tervekkel ellentétes megoldások megakadályozóinak. Hogyan működnek együtt ezek a rendkívül bonyolult szektorok? És részvételükkel hogyan realizálódik a valóságos város? Hogyan válik a településtervező koncepciója olyanná, amilyenre soha nem is gondolt? És miért? Talán, ha egyszer megfogalmazódik, annak nyomán sikerülni fog egymáshoz közelebb hozni a koncepciót és az életet. És sikerülni fog kiküszöbölni azt a sok, keserves családást, amelyenen sajnos ez ideig csaknem minden településtervezőnknek keresztül kellett esnie.

Talán kevésbé izgalmas, de szerintem nagyon fontos fejezet lenne annak a szabály-rendszernek a bemutatása, amely ez idő szerint a településtervezés miként jét tartalmában meghatározza. A könyvben szereplő rengeteg követelmény és adat mindegyike valamiféle szabályból ered: építésügyi szabályzatból, tervezési irányelvből, ilyen vagy olyan rangú normából, esetleg szabványból, vagy éppen miniszteri utasításból. Vannak, amelyek a tűzvédelemre, mások a légoltalomra vonatkozó előírásokból, egyesek pl a KRESZ-ből származnak. Ha valaki el akar igazodni a feladatkörünket szabályozó dokumentumok dzsungelében — és ha figyelemmel is akarja kísérni azok alakulását, mert másképp sem tervezni, sem tervet elbírálni nem tud —, akkor bizony meg kell ismernie azok forrásait is. Különösen égetővé válik ez a követelmény azáltal, hogy most alakulnak ki és látnak napvilágot a legkülönbözőbb forrásokból a környezetvédelem új szabályai — amelyeknek keretörvényben való összefoglalása is hamarosan remélhető —, és amelyeknek igen nagy része többé vagy kevésbé érinti a településszervezéssel szemben fennálló követelményeket is.

Egy fejezetet megérdemelne a városgazdaság ismertetése is, legalább olyan mértékben, hogy a településtervezők számára megvilágítsa az általuk tervezett települési egységben vegbemenő gazdasági-igazgatási-szociális funkciók célszerű lebonyolításának feltételeit, amelyek követelményként hatnak vissza magára a tervezésre is.

Nagyon hiányzik a településtervezés szakirodalmából — de értelemszerűen ide kívánkozik — a települések fejlesztésének: a megtervezett állapot (ill. állapotok) megvalósításának megtervezése is. Településterveink igen nagy részben azért nem valósulhatnak meg tervezőjük elgondolása sze-

rint, mert gyakorlatunkból (sőt, nagyrészt még elméletünkből is) hiányzik a megvalósítás tervszerűségét biztosító tervezési tevékenység ismeretanyaga. Közismert, hogy egy város vagy városrész számos — egymástól nagyrészt függetlenül működő, sajátos ágazati követelményeinek minél kedvezőbb kielégítésére törekvő beruházó tevékenységének eredményeképpen jön létre. Létesítményeink megvalósításának időszaka, ütemezése sajátos finanszírozási feltételektől függ, ugyanakkor maguk a létesítmények funkciók tekintetében szorosan összefüggnek a város számos más funkciójával és létesítményével. Tehát a településterv hatékonysága érdekében a tervben meghatározott állapot (ill. a fejlődés különböző szakaszaira előirányzott állapotok) létrejöttét — vagy legalábbis a városépítési koncepció érvényesülését — kell biztosítani az ágazati érdekekkel szemben. Ma már világviszonylatban széles körű gyakorlata és irodalma van a városméretű generálorganizáció hálódiagramos tervezésének és a városépítés programozott szervezésének. A hazai gyakorlatban is egyre több eredményes példát láthatunk a hosszú távlatot képviselő általános városrendezési és regionális tervek egy-egy ötéves tervidőszakra eső fejlesztési feladatainak koordinációs tervek, ill. regionális fejlesztési programok útján történő összehangolására. Mindezek ismeretanyaga is belekívánkozik a településtervezés szakirodalmába.

Végezetül még kívánatos volna foglalkozni az itt ismertett műben bemutatott általános várostípustól eltérő településfajtákkal is. Mindenekelőtt az új falvakkal, pontosabban: a fejlődőképes falvak településtervezési követelményeivel. Érdemes volna a tanyák még hátralevő életének településtervezési problematikáját is bemutatni. Kívánatos volna a települések egyes speciális fajtáit: az üdülő-településeket, valamint a nagyobb ipari gócpontokkal kapcsolatban megvalósuló településformákat is tárgyalni. Azokat, amelyeknek nappal, vagy az üdülési idényben mért lélekszáma sokszorosa is lehet az ún. éjjeli népességnek. Érdekes, sőt izgalmas és nagyon időszerű kérdései ezek is a településszervezésnek.

Persze, amit mindezekről el kellene mondani, az már több pótkötetbe se férne bele, de ismerve a városépítés feladatának egyre időszerűbbé váló új problémáit, előbb-utóbb meg kell írni azokat is. Éppolyan szakmai gondossággal, mint ahogyan azt az itt véleményezett műben tapasztalhattuk.

Dr. Gerle Görgy

CONTENTS

GÁBOR, L.: Creational correlations of architectural design and building technology 203
ROLLER, B.—KURUTZ-KOVÁCS, M.—SZENTIVÁNYI, B.: Computer analysis methods for high-rise buildings on subsiding foundation 215
PÁCZELT, I.: Discussion of elastic contact problems in knowledge of the influence functions, vibration patterns of bodies 241
SCHARLE, P.: Development and relation of enginerring and mathematical interpretation of the finite elements method 261
ALMÁSI, J.: Analysis of r. c structural units by the finite elements method 279
KALISZKY, S.: Analysis of structures with conditional connections 325
ANDOR-TOBIAS, J.: Structural origins and development of Baroque church architecture in the 17th and 18th centuries in Hungary 341
Book review 387

СОДЕРЖАНИЕ

д-р Ласло Габор: Роль и взаимосвязь архитектурного проектирования и строительной технологии в творчестве 203
д-р Бела Роллер — д-р Марта Куруц-Ковач — Бела Сентивани: Методы расчета надземных объектов на податливых опорах с помощью вычислительной техники 215
д-р Иштван Пацелт: О задачах упругого контакта со знанием функции влияния и формы колебания тел 241
Петер Шарле: Становление и соотношения инженерного и математического толкования метода конечных элементов 261
д-р Йожеф Алмаши: Исследование элементов железобетонных конструкций методом конечных элементов 279
д-р Шандор Калиски: Исследование конструкций с условными узлами 325
Юдит Андор-Тобиаш: Становление архитектуры церквей барочного стиля и ее развитие в Венгрии, в период XVII—XVIII вв. 341
Обзор книг 387

INHALT

Dr. László Gábor: Rolle und Zusammenhang der Bauplanung und Bautechnologie im architektonischen Schaffen 203
Dr. Béla Roller—Dr. Márta Kovács-Kurucz—Béla Szentiványi: Beiträge zu den rechentechnischen Methoden von Hochbauten auf nachgiebigen Unterlagen 215
Dr. István Páczelt: Behandlung elastischer Kontektprobleme in Kenntnis der Wirkungsfunktion, des Schwingungsgebildes der Körper 241
Péter Scharle: Herausbildung und Beziehungen der technischen und mathematischen Deutung der Methode der endlichen Elemente 261
Dr. József Almási: Berechnung von Stahlbetonbauteilen nach der Methode der endlichen Elemente 279
Dr. Sándor Kaliszky: Berechnung von Konstruktionen mit bedingten Knoten 325
Judit Tóbiás-Andor: Konstruktive Gestaltung und Entwicklung der Kirchenbaukunst im Barockstil des 17. und 18. Jahrhunderts in Ungarn 341
Bücherschau 387

SOMMAIRE

Dr. László Gábor: Le rôle et les rapports de l'étude des projets de construction et de la téchnologie dans le travail créateur 203
Dr. Béló Roller—Dr. Márrta Kovács-Kurucz—Béla Szentiványi: Sur les méthodes de calcul à calculatrice électronique des constructions en surface sur des supports souples 215
Dr. István Páczelt: Étude des problèmes de contact élestique en connaissance de la fonction d'influence, de la courbe d'oscillations du corps 241
Péter Scharle: Le développement et les rapports des interprétations technique et mathématique de la méthdoe des éléments finis 261
Dr. József Almási: Calcul des pièces de construction en béton ermé à l'aide de la méthode des éléments finis 279
Dr. Sándor Kaliszky: Calcul des constructions contenant des noeuds conditionnels 325
Judit Tóbiás-Andor: La formation structurelle et le développement de la construction d'églises en style baroque au XVIIe et XVIIIe siècle en Hongrie 341
Revue des livres 387

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója – Műszaki szerkesztő: Agócs András
A kézirat nyomdába érkezett: 1975. I. 30. – Terjedelem: 16,8 (A/5) ív
75.1388 Akadémiai Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Bernát György

A kiadvány előfizethető vagy példányonként megvásárolható:

az AKADÉMIAI KIADÓ-nál, 1363 Budapest V., Alkotmány utca 21.
Telefon: 111—010. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11488

az AKADÉMIAI KÖNYVESBOLT-ban
1368 Budapest V., Váci u. 22., telefon: 185—612.

Előfizetési díj egy évre: 80,— Ft.

Külföldön terjeszti a
KULTÚRA KÖNYV ÉS HÍRLAP KÜLKERESKEDELMI VÁLLALAT
1389 Budapest I., Fő utca 32. Telefon: 429—760.
Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10990

Ára: 50,— Ft
Évi előfizetés: 80,— Ft

INDEX: 26.213