ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

XVI. KÖTET
1–2. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1984

ÉPÍTÉS-
ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG:

DR. KALISZKY SÁNDOR, DR. KÉZDY ÁRPÁD, DR. MAJOR MÁTÉ,
DR. PERÉNYI IMRE

TECHNIKAI SZERKESZTŐK:

HORVÁTH TIBORNÉ ÉS DR. VÁMOSSY FERENC

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

A kiadvány előfizethető vagy példányonként megvásárolható:

az AKADÉMIAI KIADÓnál, 1363 Budapest, Alkotmány utca 21.
Telefon: 111-010. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11 488.

az AKADÉMIAI KÖNYVESBOLTban
1368 Budapest, Váci u. 22. Telefon: 185-612.

Előfizetési díj egy évre: 140 Ft.

Külföldön terjeszti a
KULTÚRA KÜLKERESKEDELMI VÁLLALAT
1389 Budapest, Fő utca 32. Telefon: 429-760
Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10 990.

ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

XVI. KÖTET
1—2. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1984

TARTALOM

Dr. Halász Ottó: Dr. Kézdi Árpád 3
Dr. Jándy Géza: Értékelési lehetőségek a társadalmi—műszaki beavatkozások előkészítésében és a rendszertechnikai problémamegoldásokban 5
Dr. Kaliszky Sándor—Duong Van Thu: Lökésszerű teherrel terhelt rugalmas-képlékeny anyagú rúdszerkezetek közelítő számítása 25
Dr. Kollár Lajos: A ponyva megtámasztó hatása az ívsorra feszített sátrak íveinek oldalirányú stabilitására 39
Dr. Kollár Lajos: Lécrácshéjak kontinuum-egyenletei 55
Dr. Kollár Lajos—Dr. Bódi István: Oldalirányú eltolódás és elfordulás ellen rugalmasan megtámasztott ívek oldalirányú stabilitása 63
Dr. Roller Béla: Viszkoelasztikus rúdszerkezetek munkatételei és variációs tételei 73
Vásárhelyiné dr. Szabó Anna: Panelszerkezetek optimális tervezése sztohasztikus terhek esetén 81
Vásárhelyiné dr. Szabó Anna: Panelszerkezetek optimális tervezése valószínűségi változós anyagállandók esetén 87
Dr. Szalai József: Rétegelt ragasztott íves fatartók előállítás során fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásának meghatározása, a tartók méretezésének problémái 93
Vámos Ferenc: Adalékok Feszl Frigyes életéhez és munkásságához (II. rész) 109
Komárik Dénes: A „félköríves" romantika építészete Magyarországon 139
Dr. Bibó István: Az egykori Károlyi-palota (Bp. V. Károlyi Mihály u. 16) építésének története 195

Szemle

Keszthely mezőváros és végvár. Adalékok a település történetéhez *(Eszes László)* 249

Könyvszemle

R. Szilard: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik *(Dr. Kaliszky Sándor)* 295
Zádor Anna: A klasszicizmus és romantika építészete Magyarországon *(Dr. Rados Jenő)* 296



Dr. Kézdi Árpád
1919—1983

A Budapesti Műszaki Egyetem és Építőmérnöki Karának Tanácsa, oktatói és dolgozói, sok száz mai és sok-sok ezer korábbi hallgatója nevében veszek búcsút Kézdi Árpád akadémikustól, egyetemünk Állami-díjas tanárától, a Geotechnika tanszék volt vezetőjétől, az Egyetem korábbi rektorhelyettesétől.

Amikor az Egyetem számba veszi kincseit: az új tantermeket vagy újonnan felépült laboratóriumokat, a drágábbnál drágább műszereket — minduntalan rá kell döbbennie, hogy a legnagyobb és *legnehezebben megszerezhető* kincse az alkotó tanár: akinek híre-neve az *új tantermekbe* vonzza a tanulni vágyókat, szavai megragadják képzeletüket és formálják gondolataikat; akinek tudása és éleslátása *megszabja* a felépült laboratóriumok munkáját és vezeti a fiatal kutatók kezét, amint a drága műszerekkel dolgoznak; akinek könyvei összegyűjtik és elénk hozzák, amit a tudomány itthon és külföldön alkotott, és akinek könyvei hírt visznek a világnak, hogy ég az egyetem falai között a tűz, melynél a tudomány jövőjét kovácsolják. Nagy feladat ez: különleges embert kíván; nem minden év vagy akár évtized ad számunkra ilyen ajándékot. Kézdi Árpád ilyen alkotó tanár volt.

Amikor katedrára lépett: hallgatói előtt nemcsak egy széles tudású, az elmélet és gyakorlat minden oldalát átlátó tudós tapasztalata és gondolkodása tárult fel, de megérezhették egy mérnök olthatatlan szerelmét szakmája, az építés ősi mestersége iránt. Munkatársai és pályatársai nap nap után lehettünk tanúi, hogyan áldozott fel mindent ennek a szerelemnek oltárán: fiatalsága lendületét, a kora hajnali órák ihletét és a késői éjjel töprengéseit, hétköznapokat és vasárnapokat; férfikora alkotó energiáját és nehéz éveinek fogyatkozó erejét. Láttuk, hogyan született meg keze nyomán a munkák sora, melyekben a hajdani várépítő mérnökök mestersége, az utakat, vasutakat építő, a vizek áradását megfékező legendás hírű mérnök-elődök tapasztalatai

a korszerű, a mai tudomány szintjére emelkedtek; hogy a talaj egyre nagyobb épületeket hordhasson; hogy a metró bátrabban szelhesse át a mélységeket; a hidak pillérei biztosabban állhassanak a folyók medrében és az utak, vasutak hosszú ideig hordhassák megnövekedett terhüket.

A tudomány szerelme gyümölcsöt hozott: olyan életművet, mely egy mérnökgeneráció tudását tette biztosabbá; szervesen beleépült sok nagy hazai építménybe, melyet az elmúlt évtizedek emeltek; és amelyből a külföld is bőven merített, akár a pisai ferde torony megmentéséről vagy a madridi metró építéséről, akár tengerentúli létesítményekről esett is szó.

A kitüntetés, mellyel a hazai és nemzetközi tudomány ez életművet elismerte, nagy dicsőséget hozott egyetemünknek. Nagyszerű tudományos iskolában nevelkedett, nagy és hírneves elődök munkájának lett folytatója, olyan iskolának, melyhez az egyetemek életének ritka, de csodálatos fénypontjai kapcsolódnak, amikor sikerül egy szakma nemzetközi élvonalába emelkedni, a nemzetközi elismerés nehezen elérhető és még nehezebben megtartható babérjait megszerezni.

Az volna tisztem, hogy vigasztaló szavakat is mondjak azoknak, akik nemrég még az aktív működéstől megváló tanár köszöntésére készültünk, és most váratlanul az örök búcsúra kényszerülünk. Alig találok ilyen szavakat: a pótolhatatlan veszteségről oly gyakran elhangzó közhelyek most nem csengenek hamisan: szívünkből fakadnak. Ha mégis van, ami vigaszul szolgálhat: az, hogy elmondhatjuk a költővel: nem hal meg egészen, szavainak, mondatainak súlya még sokáig visszacseng sok-sok hazai és külföldi hallgatójának fülében, amint rajzasztaluk felett töprengenek; szellemét még sokáig felidézik azok, akik könyveit lapozgatják, hogy abból tudást merítsenek; maradandó emléket állítanak az építmények, melyeket tudása létrehozni segített és példája, nagyszerű teljesítménye, a tudományt szolgáló egész élete kitörölhetetlen emléket hagy tanártársai, kollégái, barátai szívében.

Dr. Halász Ottó

Mély megrendüléssel tudatjuk olvasóinkkal, hogy dr. Kézdi Árpád akadémikus 1983. október 20-án elhunyt. Temetésén dr. Szabó János mondott gyászbeszédet a Magyar Tudományos Akadémia, dr. Petrasovits Géza a munkatársak nevében. A fenti szavakkal a Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Karának Dékánja búcsúztatta a talajmechanikai tupomány és építőmérnök-képzés kiváló képviselőjét, lapunk szerkesztő bizottságának tagját.

Dr. JÁNDY GÉZA,
a műszaki tudományok doktora

ÉRTÉKELÉSI LEHETŐSÉGEK A TÁRSADALMI–MŰSZAKI BEAVATKOZÁSOK ELŐKÉSZÍTÉSÉBEN ÉS A RENDSZERTECHNIKAI PROBLÉMAMEGOLDÁSOKBAN

1. A TÁRSADALMI–MŰSZAKI BEAVATKOZÁSOK DÖNTÉSEINEK MEGALAPOZÁSA

Beruházásokkal és általában a műszaki alkotásokkal egyaránt *beavatkozunk* egy bonyolult — politikai, ökológiai, társadalmi, kulturális, gazdasági, műszaki és épített, ill. művi komponensekből, ipari háttérből, infrastruktúrából, látványból és egyebekből összeszövődő, szerves együttessé alakult *közegbe*, ill. annak adott *állapotába*. Ilyen értelemben beszélünk itt *társadalmi—műszaki beavatkozásról*. Rendszerelméleti szempontból e közeg egy nyílt rendszer, ha őt vizsgáljuk. Ha viszont vizsgálódásunk tárgya éppen a beavatkozás, ill. annak eszköze, mint pl. egy kialakítandó, fejlesztendő vagy korszerűsítendő műszaki objektum, esetleg eljárás, akkor a leglényegesebb külső összefüggéseivel együtt ezt egy viszonylag izolált együttessé kell komponálnunk és utóbbit tekintjük a kutatás-fejlesztés-tervezés-megvalósítás *tárgyi rendszerének*. Az előbbi közeg, mint *felhasználói rendszer*, most ennek az utóbbinak *környezete*. Ezért hangsúlyozzuk mindig, hogy a *rendszertechnika aspektusában* a rendszer és környezete összetartozó, dialektikus egységet képező fogalmak. Szétválasztásuk, a rendszer határvonalának kijelölése, ill. a rendszer megkomponálása a feladattól, a vizsgálat szempontjaitól, a *beavatkozást igénylő szituációtól függ.*[1] Jelen esetben a tárgyi rendszer környezetét úgy kell azonosítanunk, hogy az a beavatkozás hatásai terjedésének hordozója is.

A *beruházás* a megtakarított vásárlóerő, vagyis a felhalmozási alap (és esetleg az amortizációs alap) felhasználása termelési eszközök vásárlására, állóalapok bővítésére, új létesítmények megvalósítására. Az elemzés szempontjából a létesítményrendszerek és a gépek, berendezések stb. beruházása vagy pótlása között nincs lényeges elvi különbség. Mindenképpen előfeltétele a tényleges igény, a fizetőképes kereslet, az általa létrehozott teljesítőképesség értékesíthetősége, a megvalósításához és üzemeltetéséhez szükséges műszaki és kereskedelmi kultúra, valamint az üzemeltetés követelményeinek, energia és anyagszükségleteinek, a javításnak, fenntartásnak teljesíthetősége, mindez legalábbis az üzembehelyezés pillanatától a teljes tervezett hasznosítási élettartam alatt, de a legkevesebb amit el kell várnunk, hogy a beruházás a népgazdaság helyzetéből következően megengedhető időn belül megtérüljön.

A *műszaki alkotás* nyelvünkben egyaránt jelenti a célirányos *folyamatot* és az annak *végeredményeként* létrejövő új *objektumot*, gyártmányt vagy beruházást, *eljárást* vagy egy nagyszabású művelet tervét.

[1] A rendszertechnikával, abban a rendszerfogalom indokoltságával, a műszaki alkotás folyamatában a rendszertechnika jelentőségével, a helyzetelemzés, rendszerkutatás, tervezés és menedzselés gondjaival „Az interdiszciplináris műszaki alkotás" című cikkemben (Magyar Tudomány, 1983. 3. sz.) részletesebben foglalkoztam.

Nyilvánvaló, hogy a műszaki alkotási folyamat hasznosságának, sikerességének előfeltétele a *műszaki beavatkozást igénylő szituáció felismerése.* Ez tulajdonképpen annak érzékelése, hogy a felügyeletünk, irányításunk alá tartozó termelési-értékesítési, ellátási-szolgáltatási, szállítási-anyagmozgatási stb. rendszer, ipari szervezet, vagy a felelősségünk körébe tartozó fogyasztási cikk, termelőeszköz, esetleg egy technológia kifejlesztése, működése zavartalanságának biztosítása, javítása, minőségi fejlesztése, jövedelmezőbbé tétele érdekében a jelen és a lehetőség szerint előre látott változású politikai, piaci, gazdasági, társadalmi és műszaki szituációban valamit tenni kell vagy tenni lehet.

A *beavatkozás indítéka* lehet — a szituációból fakadó gond, új társadalmi vagy piaci igény, az eddigi megoldás elavulása mellett vagy éppen azzal együtt — egy új elképzelés, ötlet, újítási javaslat, esetleg csupán előrejelzése egy várható új terméknek vagy technológiának, és általában valamely hatásos operáció, összetett *cselekvés szükségességének és időszerűségének*, tehát egy *komplex problémának* a felismerése.

A beavatkozással valamit el kellene érnünk: pl. a piac által *igényelt*, kívánatos minőségben, mennyiségben és időbeli ütemezésben *gyártható* új termék előállítását, egy országos régió betegellátásának javítását, vagy valamely gyártási folyamatot korszerűbbé és gazdaságosabbá tevő technológia kidolgozását. Ezáltal a beavatkozást gerjesztő szituáció természetesen megváltozik.

A műszaki alkotási folyamat általában egy tárgyi rendszer átalakítása, megalkotása vagy lebontása szükségességének a felismeréséből, „felső" megbízásra, megrendelésre, nagyobb beruházásoknál esetleg már beruházási alapokmánnyal indul. A problémafelismerés, ill. a megbízás általában magába foglalja a *beavatkozás rendeltetésének*, ill. a *megbízói célnak* megfogalmazását is. Ez rendszerint a rendszerfejlesztő hatáskörén kívül esik, mégis hasznos már az igény felismerését vagy a szándék felvetését követően bevonni abba.

A beavatkozási döntéshozatalt, a beruházási folyamat elindítását megelőzően fel kell tárni a beruházás munkaerő, energia, nyersanyag, „know how" és információs vonzatait, a hazai fogyasztási keresletben és kínálatban, az exportban és importban várható közvetlen és továbbgyűrűző hatásait. Mindebben a politikai megfontolások döntő szerepet játszanak. Ezek a felismerések általában kívül esnek a megrendelésre meginduló rendszerkialakítás hatáskörén.

A társadalmi—műszaki beavatkozás lehetőségének, ill. szükségességének felismerése után az alkotási folyamat két fő szakasza: a beavatkozás *előkészítése*, tehát az új vagy megújítandó objektum, vagy az új eljárás *kifejlesztése;* majd a beavatkozás *megvalósítása*, tehát az objektum *kivitelezése*, sorozatgyártása, használatbavétele, értékesítése, az eljárás bevezetése stb.[2] Ez az *intuícióra*, *kreativitásra* támaszkodó és *tudatosságra* törekvő folyamat *teljességében* és *részleteiben* is újabb és újabb kérdéseket, *megoldandó problémákat* vet fel, döntéseket, helyes válaszokat és választásokat követel. S e döntések egymással kölcsönhatásban állnak.

A rendszer kialakításában, tervezésében a *probléma* egy olyan meglevő vagy előreláthatóan később jelentkező és a tervezői megítélés szerint gondot okozó helyzet (jelenség, zavaró körülmény, vagy a feladatban jelzett tényállás), amelynek *megoldása* (a helyzet bizonytalanságának megszüntetése, a gondot megszüntető eszköz kialakítása stb.) egy elkülöníthető tervezési munkát igényel.

[2] A folyamat részletesebb tárgyalása megtalálható a már hivatkozott cikkben.

Az egyes *problémamegoldásokra* mindig jellemzők a következő sematikus ciklusok: *célkeresés*, vagyis a probléma felismerése, a problémaszituáció elemzése és megítélése után a feltételeknek, követelményeknek, mint a megoldási alternatívák elfogadási kritériumainak, és az elfogadott megoldási alternatívákat rangsoroló preferenciáknak azonosítása (az ún. *célrendszer* kialakítása); majd a *megoldáskeresés* a megoldási alternatívák sajátos (a célrendszerben még nem azonosított) hatásainak elemzésével, valamint a lényeges újabb információknak a célrendszerbe való visszacsatolásával; és végül a lehetséges (elfogadható) megoldások preferenciák szerinti *értékelésén* alapuló *döntés*, vagyis *választás*.[3] A preferenciák más néven az értékelési tényezők vagy választási kritériumok.

Ez a teljes processzus természetesen néha lerövidül. Lehet, hogy a célrendszer csupán néhány feltételt, követelményt, és legfeljebb egy optimumkritériumot tartalmaz. Előfordul, hogy a megoldáskeresés kimerül egyetlen lehetséges megoldás felismerésében, kialakításában. Vagy pedig a választás remélhető hasznával már nem állna arányban több alternatíva keresése. De általában az alkotás minden funkciójában és fázisában felismerhetők e problémamegoldási ciklusok.

Értékelésre — mindenféle *döntési szituációban* — éppen a *választás* szakszerűsége, realitása miatt van szükségünk. Ehhez ismernünk kell az elfogadható megoldási alternatívákat, valamint azokat a kritériumokat, amelyek lehetővé teszik az alternatívák egyértelmű rangsorolását. A választás tehát a szóban forgó terv, ill. objektum (eszköz, szerkezet, alkotóelem, eljárás) választékától és bevezetésének, megvalósításának elvárt következményeitől, vagyis a választási kritériumok, a preferenciák teljesülésének mértékétől fog függni.

A rutinos tervező, rendszerfejlesztő az ilyen akadályt, döntési szükségletet sokszor észre sem veszi, biztonsággal halad tovább. Döntése ekkor viszonylag igen rövid idő alatt, *nem tudatosan* megy végbe.

Az egyén tudatosan csak akkor veszi észre a döntési szituációt, amikor a szubjektíve érzékelt akadály egy bizonyos magasságon már túlemelkedik. Ha ilyen szituációban nem áll rendelkezésünkre kidolgozott döntési rutin, irányítási stratégia, akkor az akadály leküzdésének az egyik útja a rögtönzés (improvizáció), a másik a döntéshozatal módszeres alátámasztása.

A rögtönzött döntéseket néhány világos kritérium, valamint a döntési szituációnak és az *elhatározás* alapján elvégzett beavatkozás várható következményeinek gyors végiggondolása, viszonylag felszínes elemzése figyelembevételével hozzuk. Ez indokolható és célravezető lehet akkor,

- ha a döntés következményeinek jelentősége és hatótávolsága viszonylag kicsiny;
- ha a döntés alapján beindított, továbbvezetett cselekvés folyamata viszonylag könnyen irányítható;
- vagy ha a felismert alternatív megoldásoknak a választási kritériumok szerinti megítélése, becsült hasznossága között egyértelműen nagy a különbség, vagyis az egyik alternatíva könnyen felismerhetően jobb az összes többinél.

Ellenkező esetben valamilyen döntéshozatali diszciplínára, a döntéselőkészítés módszeres alátámasztására van szükség. A rendszertechnikában az *alkotás folyamata közbeni döntési szituációkat* meg kell különböztetnünk azoktól a szituá-

[3] A célrendszer kialakításának feladataival és gondjaival foglalkoztam „A rendszertechnikai értékelés bázisa" c. cikkemben (Építés- Építészettudomány 1982. 1—2. sz.)

cióktól, amikor az *alkotás alternatív végeredményei* vagy fontos alternatív részeredményei között kell választanunk, ill. azok gazdaságosságát kell elbírálnunk. A *végső döntést* — az objektum kifejlesztésének, megvalósításának folytatása, üzemeltetésének megindítása stb. érdekében — a lehetőség és célszerűség szerinti módszerességgel általában egy szakértőkből álló kollektíva elvárásait, értékítéleteit figyelembe véve és a megbízó részvételével alakítják ki, rendszerint a vezetésszolgálati törzs keretében.

A *közbenső döntések* pl. a tervezés, rendszerfejlesztés, kivitelezés folyamán gyakran — nagymértékben intuíción alapuló — rögtönzések. Azonban a nagy hatótávolságú, az objektumon belül (esetleg azon kívül is) és az időben messzebbre nyúló jelentősebb következményű döntéseket ebben az esetben is indokolt nagyobb tudatosságra törekedve, megfelelő módszertan segítségével kialakítani.[4] (Természetesen intuícióra még a modellezhető és algoritmizálható döntéshozatalban is szükség van.)

2. ÉRTÉKFOGALMAK

Az *érték* fogalma általában valaminek a fontosságához, a *javaknak szükségletkielégítésünkben való jelentőségéhez*, alkalmasságához, *hasznosságához* kötődik. A *használati értékkel* a fogyasztó embernek és a javaknak, dolgoknak éppen ezt a viszonyát ítéljük meg a javak közvetlen felhasználásában. Azonban értékítéletünk nemcsak a javak hasznától, hanem a belőlük *rendelkezésre álló mennyiségtől*, kínálatuk és keresletük viszonyától is függ. Minél kevesebb van valamiből, annál értékesebb. Hiszen a *javak céltudatos felhasználását* a szükségletkielégítésben megnyilvánuló hasznuk mellett az elérhető mennyiségük is befolyásolja. Márpedig az *értékelés*, mint az érték megállapításának folyamata arra szolgál, hogy az adott körülmények között dönteni tudjunk a javak felhasználásáról.

Így az *értékelés*, a javak és teljesítmények rendelkezésre álló mennyiségének, ill. kapacitásának figyelembevétele mellett, szükségletkielégítésünkben e javak, ill. teljesítmények által realizált, megkövetelt és preferált *funkciók, tulajdonságok és hatások jelentőségének* összehasonlítása, összemérése, egymáshoz vagy egy alaphoz viszonyított *megállapítása*.

Indokolt itt arra is emlékeztetni, hogy mennyiségi szempontból az *érték* nagyságát — a közismert marxi értelemben — az (értékesíthető) áru előállításához (ill. *újraelőállításához)* társadalmilag szükséges munka (időben mért) mennyisége határozza meg. A *marxi munkaérték-elmélet*, amely szerint az értéket az *absztrakt munka* alkotja, ráirányítja a figyelmet minden gazdasági érték végső létrehozójára, az emberi munkára. De az előbbi megállapításoknak ez nem mond ellent. Ugyanis a munkaráfordítás törvénye az árutermelés piaci viszonyai között az *ár és érték* közötti összefüggést megfogalmazó *értéktörvény* objektív tendenciájában érvényesül, „amikor a terméket áruként állítják elő, és ezért a termelés a kínálat és a fogyasztás a kereslet formáját

[4] A döntéshozatal visszacsatolásos folyamatával, az előrelátásra és tudatosságra törekvő és tudományos módszerekkel segített döntéshozatal lehetőségeivel, módjaival és eszközeivel részletesebben itt nem kell foglalkoznunk. Hivatkozhatok itt többek között saját munkámra, a Rendszerelemzés és operációkutatás a kölcsönhatásban álló társadalmi-műszaki tevékenységek tervezésében és irányításában; Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980. c. könyvem I. 4. fejezetére is.

veszi fel."[5] Tehát az értéktörvény hatásmechanizmusa csak nyitott piacgazdasági viszonyok között működik, ahol az ararányok alakulását és ezen keresztül a gazdálkodást elsősorban a piaci *árjelzések* szabályozzák. E nélkül másfajta szabályozási jelzésekre, pl. rendelés- és készletjelzésekre, kapacitáskihasználási jelzésekre, tervutasításokra és hasonlókra van szükség. A legszabadabb piaci viszonyokon alapuló kapitalista nemzetgazdaságokban is készülnek olyan termékek, beruházások, amelyek árának, „bekerülési összköltségének" alakításában a kereslet-kínálat törvénye csak közvetetten és korlátozottan érvényesül, lévén ezek nem is igazi áruk. Az itt tárgyalt értékelési módszerek éppen arra valók, hogy az ilyen esetekben — a termelés hatékonysága érdekében — pótolják az értéktörvény spontán működését, míg az árutermelés viszonyai között javítsák a termékek piaci (külpiaci) versenyképességét. A piaci automatizmusokat kikapcsoló centralizált tervgazdaságban szembe kell nézni annak kockázatával, hogy a „társadalmilag szükséges munkamennyiség" helyébe „a vállalatilag szükséges költség" lép, vagyis hogy a munkaráfordítás törvénye a „költség + nyereség" árképzéssé torzul; az ararányok és értékarányok összehangolásából az értéktörvény mechanizmusa egyre inkább kiszorul; a kereslet és kínálat dinamikus egyensúlya elbillen a kereslet kárára; a fogyasztó piaci kiszolgáltatottsága mindinkább növekszik, és a népgazdaság működésében a haszon és az áldozat viszonya hosszú távon romlani fog. Itt a központi gazdaságirányításon belül elsősorban a munka tervezésének, szervezésének és irányításának, a bizonylati és számviteli rendnek, valamint a fegyelemnek (tehát a vezetésnek és a társadalmi morálnak) a kérdése az, hogy az *elszámolt és a szükséges munkaidő hogyan térnek el* egymástól. De a *felesleges munka* a gazdálkodás szemléletében akkor is *pazarlás*, ha a legfegyelmezettebben végzik. (Sajnos nálunk az eddig megvalósult reform után is fajlagosan lényegesen nagyobb az anyag-, energia- és munkaidő-ráfordítás, mint azokban az országokban, amelyekkel a külföldi piacokon versenyre kényszerülünk.)

A termelési eszközök, még inkább a beruházási javak sorában különösen fontos helyet foglal el a *pénz*, amit — mint lebonyolító (forgalmi) eszközt — a termelési tényezőkre fordítunk. Ennek értéke az általános árszínvonalban és a *kamatlábban* jut kifejezésre. Utóbbi — a felhalmozott eszközök mennyisége, valamint a tőke jövedelmezőségének foka, keresletének és kínálatának viszonya mellett — függ a megelőlegezés, ill. a hitel lejárati hosszától és a befektetés (tőke-elhelyezés) *biztonságától* is. A kamatos-kamattal azonban döntéshozatalainkban a jövő gazdasági jelentőségét és előrelátásunknak az időparaméter növekedésével csökkenő megbízhatóságát is értékeljük.

A gazdálkodás mindig az elérni kívánt haszonnak a hozandó áldozattal, könyvviteli értelemben a bevételnek a költségekkel való összevetése. A sikeres gazdálkodás alapelve nyilvánvalóan az, hogy a kívánt eredményt a legkisebb áldozattal érjük el, ill. hogy az elviselhető áldozattal (a felhasználható anyagi eszközökkel, vagyis a rendelkezésre álló javakkal) a legnagyobb eredményt hozzuk. Így például már a műszaki létesítmény tervezése során ügyelni kell arra, hogy a nagyból a kicsibe lebontható különböző *funkciók* hasznosságával legyenek összhangban az ellátásukhoz szükséges, ill. felhasznált *eszközök* (szerkezetek, alkatrészek, burkoló elemek, működési rutinok stb.) költségei. Az ún.

[5] *Csikós-Nagy B.*: Gazdaságunk tíz „kényes" kérdése; Valóság, 1983. 2. sz.

értékkialakításnak (angol nevén: value engineering) éppen az a dolga, hogy az objektum létrehozásában megelőzzük a felesleges ráfordításokat és a pazarlást.

A vásárló akkor mondja azt, hogy jó vételt csinált, ha a gazdasági jószág általa megítélt használati értéke nem kisebb, sőt lehetőleg nagyobb, mint ára, ill. a piacon kialakult csereértéke. A termelés irányításában azonban a gazdaságosság elbírálásának alapja a *hozadéki érték*, ill. a *nettó jövedelem*. A szükségletkielégítés itt közvetett, és közvetett a használati érték jelentősége is.

Köztudott, hogy ha az árak a *társadalmi áldozatot* (konkrétabban az értéket) nem *arányosan* tükrözik, akkor a gazdaságosság megítélése könnyen eltorzulhat. (Az árpolitika gondjaiba, az árkiegészítések és dotációk kérdésébe itt nem merülhetünk bele. Az utóbbiakkal kapcsolatban csak arra emlékeztetünk, hogy valahol jövedelemtöbbletként annak fedezetét is meg kell teremteni.)

Értékelképzeléseinkben különösen fontos helyet foglal el a *hatékonyság* fogalma. A szocialista ágazati gazdaságtanokban, beruházásgazdaságtanban már az 50-es években megfogalmazták a *komplex hatékonyságelemzés vázát*,[6] amely felbontja a *hatásokat* mérhető és nem mérhető *gazdasági*, valamint *nem gazdasági* hatásokra, megkülönböztetve mindezekben az *aktív* és a *passzív* hatásokat. További előrelépésnek kell tekinteni, amikor e vázban már „a rendszerben jelentkező hatások"-ról beszéltek, bár a rendszerfogalom megfelelő értelmezése, ismeretelméleti és gyakorlati hasznának felismerése még nagyrészt a gazdasági és a társadalmi hatékonyság megkülönböztetésére korlátozódott. A hatékonyság és a gazdasági hatékonyság között nem mindig tesznek különbséget és azon egyaránt a felhasznált gazdasági erőforrások eredményességét, végső soron az egységnyi ráfordításra jutó eredményt (nyereséget vagy veszteséget) értik. Külön értelmezik a *beruházások hatékonyságát*, ami népgazdasági szinten azt fejezi ki, hogy a „beruházások eredményeképpen mekkora *nemzetijövedelem-többlet* keletkezik".[7] Ez a hatékonysági fogalom elsősorban termelő beruházásokra vonatkoztatható. A *beruházások abszolút hatékonysági mutatója* a nemzetijövedelem-többlet (vagy más eredmény-, ill. hozammutató) és a beruházási költségek hányadosa. A számlálóban szereplő érték tartalma szerint erősen változó a szakirodalomban. Találkozunk itt az amortizációval megnövelt vagy a nélküli tiszta jövedelemmel (a beruházás révén lehetségessé vált kibocsátás bevételeinek és költségeinek különbségével), vállalati nyereséggel és *nettó termelési értékkel* is. Közbevetőleg megjegyezhetjük, hogy utóbbi, vagyis egy konkrét beavatkozással előidézett nemzetijövedelem-többlet közvetlenül csak ritkán mérhető.

Amikor az adott fejlesztési cél, ill. ugyanaz a haszon elérhető több beruházási variánssal is, akkor — akár termelő, akár kommunális beruházásról legyen is szó — elbírálásuk a beruházások jól ismert *relatív hatékonysági mutatója* szerint történik, amelyben a beruházási költségeken kívül már csak az üzemeltetési költségek szerepelnek:

$$\frac{\dot{U}_2 - \dot{U}_1}{B_1 - B_2} \quad \text{feltéve, hogy } \dot{U}_2 > \dot{U}_1 \text{ és } B_1 > B_2 .$$

A relatív hatékonysági mutató *reciproka* azt fejezi ki, hogy a kamatmentes beruházási költségtöbblet az üzemeltetési költségmegtakarításból hány év alatt

[6] Nálunk elsőként az 50-es évek második felétől Kádas Kálmán munkáiban jelent meg. Lásd: *Kádas K.*: Közlekedésgazdaságtan, Tankönyvkiadó, Budapest, 1972.

[7] Lásd pl.: A politikai gazdaságtan kisszótára, Kossuth Könyvkiadó, Budapest, 1981.

térül meg. A relatív hatékonysági mutató tehát alkalmas a nem-termelő beruházások terv-változatainak elbírálására is. Használják még az *alaphatékonyság* vagy *eszközhatékonyság* fogalmat is, ami azt fejezi ki, hogy az álló- és forgóalaplekötés egységnyi mennyisége mekkora termelési eredményt hoz.

A fentiekkel megalapozottnak látjuk azt a megközelítésünket, hogy a *hatékonyság a legáltalánosabb értelemben a vizsgált beavatkozás, cselekvés, gazdasági tevékenység remélt, elérni kívánt, ill. realizált hasznának és az azért hozandó áldozatnak a viszonya.* Nyilvánvalóan elsőrendű kérdés, hogy a beavatkozáshoz tartozó áldozatot és hasznot fel tudjuk-e ismerni és hogyan tudjuk mérni. Tudjuk-e lényegre törően azonosítani, hogy hol és kinek kell hoznia az áldozatot, és hol, mikor, ki élvezi a hasznot? Gyakran az időben elhúzódik az áldozat és a haszon is. A beavatkozásnak, cselekvésnek az azonnali és közvetlen aktív és passzív hatásokon kívül *továbbgyűrűző hatásai, későbbi következményei* is vannak. Ezek egy részét csak homályosan vagy egyáltalán nem ismerjük. Mindezek felismerése és megítélése, majd a haszon és az áldozat megmérése még a szocialista gazdálkodásban sem mindig egyszerű és egyértelmű. A beavatkozás hatékonyságának elemzéséhez a *vizsgálandó rendszert* úgy kell megkomponálnunk, hogy egyaránt tartalmazza a haszon *forrásait* és az áldozat *nyelőit*, együtt mindazokkal, akik a hasznot élvezhetik és akik az áldozatot hozzák. (Ezt a törekvést szokták ma kifejezni a *„rendszerhatékonyság"* fogalmával.) Az alternatívák közötti választás egy konkrét döntési szituációhoz és egy döntéshozó (dönteni hivatott és a döntésért felelős) grémiumhoz, ill. személyhez kötődik. A szituációt durván megkülönböztethetjük a szerint, hogy az *beruházást, termelést*, ill. szolgáltatást, vagy pedig *vásárlást* igényel. A fogyasztó terméket vesz és elhasznál, vagy szolgáltatást vesz igénybe. A termelő gyárt (kivitelez stb.) és elad, a szolgáltató teljesítményt nyújt, általában előre kialkudott áron, utókalkuláció alapján (költség+fix % nyereség), vagy viszonylag szabad piaci áron.

Egy termelő vagy szolgáltató vállalat számára — ha központi támogatásra nem számíthat — a hatékonyság kérdése teljesen egyértelmű. Hiszen a vállalatnak, ha el akarja kerülni, hogy fizetésképtelenné váljék, eredményesnek, konkrétabban a teljes tevékenységét tekintve és hosszabb távon feltétlenül *nyereségesnek* kell lennie, vagyis a teljes árbevételnek meg kell haladnia az összes költséget, beleértve ebbe a jövedelemelvonásokat, a felújításra és a hitel törlesztésére félretett összegeket, valamint a hitel kamatait is. Az elbírálás alapja tehát a *hozadéki érték*. Ezen felül a vállalat tevékenységében a társadalmi érdek csak törvényekkel, rendeletekkel és gazdasági szabályozókkal érvényesíthető. De az is társadalmi érdek, hogy mindezek csak a valóban szükséges mértékben korlátozzák a gazdasági tevékenység egészét, sőt hogy a nemzeti jövedelem egyenletes, lehetőleg növekvő mértékű létrehozását hosszú távon biztosítsák. Ehhez az egyéni, a vállalati, az iparági, az ágazati és a népgazdasági érdek összhangjára van szükség. Ezek a gondok azonban kívül esnek a vállalatvezetés hatáskörén.

Természetesen torzítja a *jövedelmezőség* (rentabilitás) megítélését az, ha a termelés, szolgáltatás input javainak (erőforrásainak) és az output-javaknak (terméknek, teljesítménynek) árai nem értékarányosak, vagy ha az állami elvonásokkal nem lehet előre elég pontosan számolni. Ekkor a hatékonyság csak egy nagyobb befogadó rendszerben, végső soron a nemzeti jövedelemben kereshető.

A gazdaságosság könnyebb és valósághűbb megítélhetősége érdekében gazdasági mechanizmusunk továbbfejlesztésének egy sokszor hangoztatott ésszerű követelménye az *értékarányos árrendszer*, ezen belül az élő- és holtmunka kö-

zötti reális értékarányok helyreállítása. Nagy kérdés azonban, hogy az értékarányok hűsége központi intézkedésekkel milyen megbízhatósággal tartható fent. Több közgazdász van azon a véleményen, hogy nem a rossz árrendszer és adórendszer okozza a gazdaságirányítási beavatkozások elszaporodását, hanem elsősorban a hierarchikus függés ténye.[8] A tapasztalat is alátámasztja, hogy a „gazdaság fennmaradását, rugalmas alkalmazkodását, harmonikus növekedését egyetlen tiszta mechanizmus sem képes önmagában biztosítani. A valóságos gazdaság szabályozása összetett és többfokozatú".[9] Többen — elsősorban szovjet gazdaságkutatók — az olyan megoldások kidolgozását sürgetik, „amelyek a piaci automatizmusok alapján, de lehetőleg azok hibái nélkül képesek a társadalmi munka összhangját biztosítani".[10] Könnyen felismerhetjük, hogy a vállalati nyereség és népgazdasági érdek csak a vállalat működésének hosszabbtávú időszakában hozható összhangba, rövid időszakaszokat tekintve — az igények, ill. a kereslet, a kapacitások és az árak változásainak dinamikája miatt — ez az összhang csak kivételként fordulhat elő, hiszen ebben a dinamikában különböző késedelmekkel kell számolni, és ezért pl. az árak csak késéssel követhetik az értékek változásait. A vállalati beruházásokat pedig bizonyos rövidebb időszakaszban, bizonyos gazdasági körülmények között valósítják meg. A nyereségben kifejezett népgazdasági érdek torzulásának veszélye tehát mindig fennáll. Ezért a vállalati nyereségalakulás mellett egyéb szempontokat is figyelembe kell vennünk. Például azt, hogy a kivitelező építőipar egészének kapacitása az országos igényeknek megfelelő irányban, struktúrában és tempóban fejlődjék. Ugyanis aki az állami támogatást, ill. a hitelt adja, annak már ezekre a szempontokra is fokozottabban figyelnie kell. Mindez csak a *hosszútávú nyereségben* tükröztethető.

A *végső fogyasztó* számára a vásárlás hatékonysága — különösen az időben elhúzódva várható hatások szubjektív megítélése miatt — már összetettebb dolog. Bizonyos mértékben, a megengedhető, ill. vállalt kockázaton belül hasonló a helyzet a termelőfogyasztás olyan beszerzéseinél, amelyek célja a termékstruktúra javítása, a vállalat műszaki fejlesztése és hasonlók. A haszon és az áldozat megítélése itt már korántsem olyan egyértelmű, mint a bevételek és kiadások kimutatása. Az elbírálás itt a használati érték és az ár (a csereérték) összevetésén alapszik. Azok, aki az áldozatot hozzák és akik a haszonból részesednek különbözőképpen ítélik meg a helyzetet.

Különösen így van ez a *beruházások*nál, ahol a hatások társadalmi és anyagi vonatkozásban térben és időben igen kiterjedtek lehetnek. Itt már a beavatkozás céljainak kijelölése sem konfliktusmentes. Számos hatás megítélésében pedig közösségi és személyi érdekek ütközhetnek össze. Olyan hatások ezek, amelyek a politikai feltételek, a jogrend és a gazdasági szabályozók keretei között is bizonyos érdekeket sértenek, míg másoknak éppen kedvezők (érdekkonfliktusok).

A beruházás a megtermelt, felhalmozott, de korlátozott mennyiségben rendelkezésre álló javaknak nagybani fogyasztója, a társadalmi tiszta jövedelemből tartalékolt eszközöket, felhalmozási alapot von el, tőkét köt le. Számos erőforrás, amelyre korábban úgy tekintettünk, mintha korlátlan mennyiségben

[8] Lásd pl.: *Antal L.*: Gondolatok a mechanizmus-reform továbbfejlesztéséről, Gazdaság, 1982. 3. sz.

[9] *Kornai J.—Martos B.*: Szabályozás árjelzések nélkül, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.

[10] *Bródy A.*: Ösztönzés és elidegenítés, Valóság, 1982. 10. sz.

rendelkezésünkre állna, az utóbbi évtizedekben kezdte előrejelezgetni korlátait (még a víz is), és ezáltal arra figyelmeztettek, hogy *megújításukra, újratermelésükre* fokozott gondot kell fordítani.

A beruházás hasznosságának fogalmába sok mindennek bele kell tartoznia, de az bizonyos, hogy a termelő (ill. szolgáltató) beruházásnak jövedelmezőnek, nyereségesnek (ennek érdekében mindenképpen pazarlásmentesnek) kell lennie, mert másképpen a népgazdaság hosszú távon nem prosperálhat. Ugyanis ellenkező esetben a népgazdaság beruházási javai elfogynának, a felhalmozási alap kimerülne, működését a tőkeszegénység nagyon megnehezítené. Részben ennek a világjelenségnek vagyunk most tanúi.

A *nem-termelő beruházás* hasznossága közvetlen gazdasági eredménnyel általában nem bírálható el, mivel a nettó jövedelem-növekedést csak jóval tágabb rendszerben tudjuk észlelni. Egyszerűbb ezért fordított módon eljárni, és azt vizsgálni, hogy a létesítendő, beszerzendő jószág, kommunális létesítmény, műtárgy stb. hiánya a tágabb befogadó rendszerben milyen többletköltséget, veszteséget, kárt okozhat. Hasonlóan bírálhatjuk el az olyan eszközöket, berendezéseket is, amelyek nincsenek egy gyártási vonalon folyamatosan kihasználva, hanem hol itt, hol ott, különböző termelési vonalakon, különböző munkahelyeken van rájuk szükség. Itt a használati érték kerül előtérbe, és azt a továbbgyűrűző, szövevényes hatások, a prognosztizálható későbbi következmények miatt csupán pénzzel nem mindig tudjuk kielégítően megmérni.

A hatékonyságelemzésben általában mindig nagy jelentőségük van azoknak a költségeknek, melyek a tárgyi rendszer előirányzott teljes élettartama alatt felmerülnek. A *gazdaságosság* szokásos megítélése azon alapszik, hogy a tárgyi rendszerrel kapcsolatban felmerülő költség-áramlatok — ráfordítások és hozamok — mint *„élettartam-költség"*, egy előírt időhorizonton (lehetőleg az objektum *tudatos hasznosítási élettartamán*) megbízhatóan prognosztizálhatók és *diszkontált jelenértékben* kifejezhetők. Természetesen az elbírálás objektivitása szempontjából nagyon előnyös az, ha a vizsgált hatások *egyetlen* preferencia- (ill. optimum-) *kritériumban* és egy mértékskálán (pénzben) kifejezhetők.

Ha azonban a pénzben kifejezhető hatásokon kívül egyéb fontos kvantitatív és kvalitatív hatásokat is mérlegelnünk kell, akkor már egy sokdimenziós, metrikus, arányskálás, vagy csak sorrendi, ill. szubjektív intervallumskálás értékelő térben való súlyozott összeméréssel kell kísérleteznünk. Éppen ezért terjedtek el a *komplex értékelésnek* különböző technikái. Az utóbbi évtizedben divatossá vált *pontozásos értékeléssel* a tervezők a rendszerfejlesztés és -megvalósítás döntési szituációiban, vagy a vásárlók a piacon tulajdonképpen az ilyen sokkomponensű *használati értéket* ítélik meg, osztályozzák. Célja az előnyök és a hátrányok mérlegelése, az „előnyös" megítélése, különös tekintettel a pénzben nem mérhető tulajdonságokra, hatásokra. A választást lényegesen megkönnyíti az az információ, hogy az egyes megoldási (vásárlási, cselekvési) alternatívákkal egy pénzegységért hány használati *értékpontot* kaphatunk. Így a pontozásos értékelés sokat segíthet a pazarlás megelőzésében.

Hangsúlyoznunk kell azonban, hogy a termelés és gazdálkodás aspektusában a rangsorolással (esetleg matematikai optimálással) kapott *relatív elbírálás* mellett a kialakított végtermék, ill. a beavatkozás hasznosságát önmagában is el kell bírálnunk. Hiába kiváló egy beruházás (vagy egy termék), ha élettartamának időhorizontján az érte hozott áldozat nagyobb, mint az általa eredményezett haszon. Tudnunk kell, hogy a követelmények teljesítésével és általában az *objektum megvalósításával járó áldozat és az általa remélhető haszon milyen vi-*

szonyban állnak egymással, beavatkozásuk mennyire lesz *gazdaságos* és *hatékony*. Törekednünk kell arra is, hogy a haszon és az áldozat *életlen* fogalmainak pontosításához ne csak a *gazdasági javakban* mért, hanem az élet *biztonságában, minőségében* megítélt eredményeket és ráfordításokat is figyelembe vegyük.

3. A MEGOLDÁSI ALTERNATÍVÁK KÖZÖTTI VÁLASZTÁS

A döntéshozatalnak eljárási szempontból, vagyis a választási algoritmus szempontjából leglényegesebb kérdése, hogy a lehetséges megoldásokat (ill. az egyáltalán elfogadható alternatívákat) elbírálhatjuk-e *egyetlen értékelési tényező* (céltétel, célfüggvény) szerint, tehát egy dimenzióban, egy értékelő skálán; vagy azok elbírálása reálisan csak *több — egyetlen skálán össze nem mérhető* (nem egybevethető, nem komparábilis) — *értékelési tényező* figyelembevételével történhet, többdimenziós értékelő térben, dimenziónként különböző — egymásba át nem transzformálható — skálákon mérve.

Az előbbi esetben beszélhetünk az értékelési tényező, vagyis a célfüggvény *optimumáról*, ill. a *„legjobb"*, az optimális megoldásról. Ezzel szemben a *többdimenziós értékelő tér* pontjait már nem hasonlíthatjuk úgy össze, mint a számegyenes pontjait, ahol a kisebb és a nagyobb fogalma mindig egyértelműen elbírálható. Az értékelő függvény itt egy *célvektor*, amelynek pontjai között az aritmetika alaptörvényeiből ismert három rendezési reláción kívül létezik a *nem-egybevethetőség relációja* is

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}_1) \sim \mathbf{f}(\mathbf{x}_2),$$

ami azt jelenti, hogy ebben az értékelő térben az $\mathbf{x}_1$ és $\mathbf{x}_2$ megoldások a „kisebb-nagyobb" fogalompárral egyértelműen nem hasonlíthatók össze, mert az $\mathbf{f}(\mathbf{x}_1)$ és az $\mathbf{f}(\mathbf{x}_2)$ célvektoroknak létezik legalább két olyan komponens-párja, hogy az egyiknek elemei között $>$, míg a másiknak elemei között $<$ rendezési reláció áll fent.

Ha az értékelési tényezőket (a különböző preferenciákat) egyaránt fontosnak tartjuk, és együttes hatásuknak egyetlen skalárfüggvényben való kifejezésére, súlyozásukkal való egybevetésükre, de még rangsorolásukra sincs lehetőségünk, akkor a *legjobb* fogalma általában értelmetlenné válik, szélsőérték, ill. optimum csak kivételként értelmezhető. Ezért kellett itt bevezetni a jobb vagy rosszabb, kisebb vagy nagyobb, kedvezőbb vagy kedvezőtlenebb fogalompárok mellett az értékelésnek egy újabb fogalmát, az ún. *efficiens*, komplexitásában hatékony, nem-uralt (angolul: nondominated) *megoldást*, más néven a *Pareto-optimumot*.

Az ilyen *többdimenziós értékelés* esetében nem is beszélhetünk közvetlen döntéshozatalról, hanem inkább a *lehetséges döntések többkritériumú elemzéséről*. Ennek céljából fejlesztették ki az ún. *vektor-maximumproblémát*, az efficiens megoldások halmazának (ill. e poliédrikus halmaz csúcspontjainak) meghatározására.

Ha többkritériumú, többdimenziós értékelés alapján kell döntésünket (egy cselekvési programot, megvalósítandó beruházási tervet, új termékstruktúrát stb.) kialakítanunk, ill. a megoldási alternatívák közül választanunk, akkor az legalább efficiens legyen. Az efficiens megoldások közül egyértelműen is vá-

laszthatunk, a következő megfontolás alapján. Mivel értékelési tényezőink mérő (osztályozó, rangsoroló) skálái objektíve nem vethetők egybe, *együttes hatásuknak egyetlen skalárfüggvényben történő értékeléséhez* már csak szubjektív úton, a szakértők és a beavatkozás hatásaiban érdekeltek véleményének a figyelembevételével érkezhetünk el. Ehhez ugyanis abban a kérdésben kell állást foglalni, hogy az egyes értékelési tényezők a döntéshozatalban milyen mértékben, milyen *súllyal* veendők figyelembe. Az így kialakított és elfogadott *súlyvektor* segítségével a többkritériumú értékelési feladatot máris közönséges optimálási feladatra vezettük vissza. Ezt teszi a pontozásos értékelés is, amikor a lehetséges megoldások száma nem nagy és mint elfogadható alternatívák előre azonosíthatók. Ha a súlyozott többkritériumú döntéshozatal skalár értékelőfüggvényét csak az efficiens megoldások halmazán értelmezzük, ezáltal jelentősen csökkentjük a súlyozás szubjektivitásából származó kockázatot.

A társadalmi—műszaki beavatkozások, így pl. az ipari, építőipari vagy közlekedési beruházások tervváltozatainak értékelése a *helyzet-*, ill. *rendszerelemzés* során kialakított *célrendszeren* alapszik. Hiszen mint mondottuk, ez az értékelés egy konkrét politikai-gazdasági szituációban bizonyos társadalmi *szükséglet*, ill. fizetőképes kereslet elvárt *kielégítésében* a javak és teljesítmények *jelentőségének* összemérését jelenti. A célrendszer a kielégítendő *szükséglettel* összhangban tartalmazza a társadalmi—műszaki beavatkozással, ill. a beruházással szemben támasztott funkcionális, gazdasági, ökológiai, jogi és társadalmi *követelményeket*, amelyek a beruházási program keretében kidolgozott tervváltozatok *elfogadásának* alsó vagy felső korlátok, intervallumok és egyéb előírások formájában megadott *kritériumai*, valamint a tervváltozatoknak (megoldási alternatíváknak) bizonyos *preferált hatásait*, amelyekre vonatkozóan már nem írunk elő pontos követelményt, hanem csupán *érvényesülésük kívánatos irányát* adjuk meg, e hatások mérésére, ill. értékelésére alkalmas skálákon. A legjobb alternatíva kiválasztásának alapja tehát e *preferenciarendszer*, amelyben már a követelményeket kielégítő tervváltozatokat bíráljuk el.

A műszaki alkotás folyamata a megoldási alternatívák közötti választás sorozatát tartalmazza. Rendszertechnikai problémamegoldásainkban a dolognak (eszköznek, szerkezetnek stb.) használati és érvényesülési *funkcióellátó képességét*, alapvető követelményeinknek e dolog általi teljesülését vizsgáljuk. Majd miután az összehasonlítandó alternatívák az alapvető követelményeket egyaránt teljesítik (tehát ezek szempontjából invariánsak), akkor már csak a preferált elvárások (optimumkritériumok) teljesítését kell értékelni. Az elfogadható alternatívák, tervváltozatok közötti választás alapját képező értékelésben tehát *nem az egyes változatok használhatóságáról*, hanem arról van szó, hogy ezek egymással szemben mennyire méltók az előnyben részesítésre. Ugyanis a követelményeinknek meg nem felelő, vagyis számunkra használhatatlan alternatívákat elutasítjuk (esetleg továbbfejlesztjük vagy felülvizsgáljuk követelményeinket, hogy azok egyes elemei nem indokolatlanok vagy túlzottak-e).

A tervezőnek ügyelnie kell arra, hogy — a műszaki alkotás rendeltetését és követelményeit szem előtt tartva — *felesleges* képességeket, tulajdonságokat ne építsen be az objektumba, s hogy a beépített elemek, ill. eszközök ne rontsák egymás tulajdonságát, viselkedését. A követelmények túlteljesítése általában nem (legfeljebb kivételként) tekinthető többletértéknek. Már a rendszerkutatás és az előzetes tervezés során gondolnia kell a megvalósítás és az üzemelés problémáira, annak szociológiai, pszichológia, ergonómiai és egyéb lényeges vonatkozásaira.

Az *alternatívák közötti választás* az alkotás folyamatának azon a szintjén végezhető el, ahol elbírálásukhoz már elegendő tájékozottsággal rendelkezünk, vagyis ahol az alternatívákat a preferenciarendszerben már megbízhatóan tudjuk értékelni, rangsorolni. Ha a tanulmánytervben, illetve a beruházási programban bemutatott alternatívák általános, még inkább részletes terveinek kidolgozására anyagi okokból vagy idő hiányában nincs lehetőség, akkor arra kell törekednünk, hogy a „legcélszerűbb megoldás" kiválasztásához szükséges tájékozottságot már az elemzés fázisában, a posszibilis megoldások elképzelésével, vázlatos jellemzésével és várható hatásainak végiggondolásával is meg tudjuk szerezni. Ekkor a választás, vagyis a feladatmegoldás *hogyanjának* meghatározása már az előtanulmányban megtörténhet. Azonban a számítógépes műszaki tervezés az alternatívák kidolgozását már ma is megkönnyítheti.

A választás kockázata annál nagyobb, minél nagyobb a beavatkozás (átalakítás vagy új alkotás) térbeli és időbeli hatásköre, és minél nagyobbak a preferenciák szerinti különbségek a változatok között. Gondolni kell arra is, hogy a kifejlesztett tárgyi rendszer, mint beavatkozásunk eszköze, milyen előnyöket hordoz magában és fordítva, hogy milyen társadalmi, csoport- és egyéni érdekeket sérthet már bevezetésekor és majd a későbbiekben.

A műszaki alkotás tervezésének és létesítésének a folyamatában, különösen e rendszerfejlesztési folyamat csatlakozási pontjaiban a tervező akkor kerül szembe a tudatosságot igénylő értékelés gondjaival, amikor munkája közben több megoldási, ill. cselekvési alternatíva között kell választania, hogy a rendszer tervezésének, fejlesztésének munkáját folytathassa. Ezt nevezzük itt *döntési szituációnak.*

A műszaki alkotásnak, a rendszer kialakításának folyamatában a tervezőnek újra és újra fel kell tennie önmagának azt a kérdést, hogy a betervezett eszközök, szerkezeti elemek, technológia stb. funkcióellátó képessége (teljesítőképessége) összhangban áll-e az objektum rendeltetésével és követelményeivel. Az alternatíva lehetséges megoldáskénti elfogadásának a feltétele, hogy elégítse ki az azonosított (felismert) funkciói szerinti követelményeket. Folyamatosan vizsgálni kell azonban, hogy a teljesítőképesség, a használati és érvényesülési tulajdonságok — gondolva az előrelátható átalakítások és bővítés lehetőségeire is — nem haladják-e meg indokolatlanul a követelményeket.

Az ún. *értékelemzés*[11] egy termék vagy munkafolyamat funkcióinak felderítése és értékelése a leggazdaságosabb együttes teljesülésük megvalósulása érdekében. Jellegzetes kérdései: mi a megoldás (a teljes rendszernek vagy valamely alrendszerének) rendeltetése; előállítása mibe kerül; mivel lenne helyettesíthető; mibe kerül a javasolt változat. Attól függően, hogy *meglevő objektum* (ill. kész terv) *költségcsökkentéséről*, vagy a tervezés, rendszerfejlesztés közben *többletköltségek elhárításáról* van-e szó, meg szokták különböztetni az *értékelemzést* (value analysis) és az *értékkialakítást* (value engineering). Az itt használt értéktípusok: a *használati* (pontosabban inkább *hasznossági) érték* (amit a felhasz-

[11] Az értékelemzés módszertana rendezett formában először *Miles, L. D.:* Techniques of Value Analysis and Engineering; McGraw—Hill Book Comp. New York, 1961. c. könyvében jelent meg. Egyébként jó áttekintést ad e szakirodalomról *Szőke Jánosné és Borbás György* helyzetképe (Értékelemzés az építésben). Lásd: ÉGSZI Gyorsjelentés, 1982. 6. sz. (Értékelemzési munkafüzet). Meg kell azonban jegyeznünk, hogy az értékelemzés, mint a műszaki tervezés folyamatába szervesen illeszkedő hatékonyságelemzés, törekvésében nem egészen új. Például az UVATERV-ben már 25 évvel ezelőtt is létezett ilyen célú belső segédlet. A műszaki alkotás folyamatában a külső értékelemző csoport igénybevétele csak kivétel lehet.

náló az objektum főfunkciójának tulajdonít és aminek szubjektív megbecsülése azon a feltevésen alapszik, hogy e jószág, általánosabban a dolog hasznot képes hajtani és ehhez az előfeltételek is megvannak); az *érvényesülési érték* (amivel a felhasználó, ill. vásárló a jószág, az objektum főfunkció-teljesítését meghaladó tulajdonságait, könnyű kezelhetőségét, külcsinét, látványát becsüli meg); és a *funkcióérték* (amely a funkció teljesítéséhez szükséges ráfordítással azonos és amit általában a funkciót teljesítő eszköz előállítási költségeivel mérnek). Látható, hogy csupán ez utóbbi értékfogalom tekinthető objektívnek. A legfőbb értékelési mutató a vizsgált funkció pénzben kifejezett használati értéke, de gyakran elfogadható e helyett a funkcióteljesítés műszaki-gazdasági mutatója is. Ha pedig a funkció teljesítésének követelménye egyértelmű, akkor elegendő a megfelelő legolcsóbb eszközt (megoldást) megkeresni, a teljes objektum élettartamának időhorizontján.

A hasznossági és az érvényesülési érték pénzben kifejezett becslésének nehézségei nyilvánvalóak. Ezeket a — különböző kvantitatív és kvalitatív — hatásokat egyetlen dimenzióban szinte lehetetlen összehasonlítani. Hogyan lehetne pl. a látvány értékét a termelési költségekhez hasonló egzaktsággal pénzben kifejezni? A használati és érvényesülési érték több komponensből, különböző preferált hatásokból tevődik össze, amelyeket különböző dimenziójú skálákon tudunk csak mérni. Ekkor a szakirodalom már inkább az előnyösség (pl. a „jó vétel") mérlegeléséről beszél. A — súlyozással összemérő — *többkritériumú értékelési* technikák alapmódszere a *pontozásos értékelés.*

Az alternatívák közötti választásra mindig akkor kerül sor, amikor már ismerjük a funkcióik szerinti követelményeknek eleget tevő (tehát használható, megengedett) alternatívákat, a választási kritériumok, preferenciák szerint különbözőképpen kifejezésre jutó előnyeikkel és hátrányaikkal. Az egyes kritériumok teljesítése különböző megfelelő dimenziójú numerikus mértékskálán, valamely fizikai alapskálán, vagy pl. a rugalmasság, megbízhatóság stb. mérésére alkalmas leszármaztatott skálán azonosítható. Ha pedig az érték, mint függőváltozó és a tulajdonságok vagy hatások, mint függetlenváltozók között nincs zárt matematikai kifejezésekkel leírható függvénykapcsolat, akkor az összemérés lehetősége számszerű arányskálán, sőt sorrendi, ill. szubjektív intervallumskálán is elképzelhető. Az összes olyan értékelési tényező, amelynek nincs mértékegysége (az ún. imponderábiliák), csak sorrendi (ordinális), ill. szubjektív intervallumskálán mérhető.

A pontozásos értékelés lebonyolítására még visszatérünk. De előbb azt is hangsúlyozzuk, hogy a megvalósult beruházás elsősorban hozadéki értéke, gazdasági eredményessége alapján ítélhető meg. Például a körzeti vasúti rakodópályaudvarok hálózatának kifejlesztése,[12] mint beruházás, a MÁV-nak olyan többletköltsége, amely teljes egészében a vasúti áruszállítás költségeit növeli, fedezetét az áruszállítás fuvardíj bevétel-többletének kell megteremtenie, de legalábbis a nemzetijövedelemben kell a hozamtöbbletnek jelentkeznie. E beruházás passzív gazdasági hatásai a beruházási, fenntartási, üzemeltetési költségek, amelyek mind a MÁV kiadásai. A beruházással a MÁV állóalapjában lekötött eszközállomány növekszik. Az aktív hatásoknak egy része a MÁV-nál jelentkezik. Ilyenek pl. a jobb munkaszervezés lehetősége révén munkaerő-

[12] Jelen cikk közvetlen háttere egy tanulmányom, amelyet a „Minta körzeti állomás tervezésének és létesítésének rendszertechnikája" c. többrészes kutatási feladatunk keretében a BME Építéskivitelezési Tanszékén készítettem 1982-ben. Megbízónk a Közlekedéstudományi Intézet volt.

megtakarítás és az önköltség csökkenése, az árukezelési kapacitás növekedése, az árbevétel várható növekedése. A fuvaroztatóknál jelentkező aktív hatások közé kell tartoznia a biztonságosabb vasúti árukezelésnek, a szállításra fordított fajlagos összköltség csökkenésének, a tehergépkocsi-állomány jobb kihasználásának stb. Népgazdasági szinten jelentkező aktív hatások az országos szállítási kapacitás jobb kihasználása, a kőolajfelhasználás csökkenése és hasonlók.

4. A GAZDASÁGOSSÁG, JÖVEDELMEZŐSÉG PROGNOSZTIZÁLÁSA

A beruházás várható jövedelmezőségének, fajlagos hozamának jellemzésére még ma is elterjedten használják a „beruházás abszolút hatékonysági mutatóját", mivel azt a közgazdaságtudomány számos nagy tekintélye, köztük az angol *J. M. Keynes* és a szovjet *V. V. Novozsilov*, valamint *T. Sz. Hacsaturov* neve is alátámasztotta. Mint már említettük, ez a mutató a beruházás révén elért pénzben mérhető — általában évi — gazdasági eredmény (E) és a beruházási összköltség (I), mint egyszeri ráfordítás hányadosa. Fogalmazzuk meg itt az *eredményt* úgy, mint a termelő (szolgáltató stb.) rendszer *nettó jövedelmében*, vagyis az árbevétel és a termelési ráfordítások különbözetében a beruházás következményeként bekövetkező és a vizsgált időhorizonton egyenletesnek feltételezett *évi változást*. Azonban a termelési *ráfordításokat a beruházás amortizációjával most ne terheljük*. Ugyanis éppen arra vagyunk kíváncsiak, hogy ilyen eredményességgel a beruházás mennyi idő alatt térül meg. A rendszerfogalom jelentősége itt abban van, hogy a pénzértékben kifejezhető *hatékonyságot abban a rendszerben* (egyetlen termelési vonalon, termelő egységben, vállalatnál, iparágban, népgazdasági ágazatban vagy a népgazdaságban) *vizsgáljuk*, amely a beruházással és használatával-hasznosításával kapcsolatban felmerülő azonnali és későbbi áldozatokat hozza és hasznát hosszú távon élvezi, ahol tehát az összes kiadás és az összes bevétel már szembeállítható egymással. Ezért az „egyszeri ráfordítás" hangsúlyozásával szemben a továbbiakban a beruházás I összköltségét majd úgy értelmezzük, mint az összes beruházási ráfordításnak (és fejlesztési költségnek) az üzembehelyezés időpontjára (kamatos-kamatszámítással, ill. diszkontálással) vetített, összesített jelenértékét.

Ha a *beruházás abszolút hatékonysági mutatóját* g-vel jelöljük, akkor

$$g = \frac{E}{I}.$$

E mutató reciprokja gazdaságtanunk mai (lexikális) értelmezése szerint „megmutatja, hogy az adott beruházás az általa eredményezett nettó termelési értékben mérve hány év alatt térül meg."

De mit mutat ez a g valójában? Évvégi számlakiegyenlítés esetében a t éven át tartó állandó (évente azonos nagyságokban jelentkező, lökésszerű, diszkrét) pénzáramlat *éves diszkontálású jelenértéke* $d = \frac{1}{1+i}$ diszkonttényező mellett, (ahol i a hitelezési kamatláb):

$$C_t = E(d + d^2 + \ldots + d^t) = ES_t.$$

Mivel az egyenletes pénzáramlat diszkontálási szorzója:

$$S_t = (d + d^2 + \ldots + d^t)\frac{1-d}{1-d} = \frac{d - d^{t+1}}{1-d},$$

$$C_t = Ed\,\frac{1-d^t}{1-d}.$$

A *meghatározatlan jövőbe* nyúló állandó pénzáramlat esetében pedig:

$$\lim_{t\to\infty} S_t = S_\infty = \frac{d}{1-d} \quad \text{és} \quad C_\infty = E\,\frac{d}{1-d},$$

de mert

$$\frac{d}{1-d} = i,$$

a meghatározatlan jövőbe nyúló pénzáramlat diszkontált jelenértéke:

$$C_\infty = \frac{E}{i}.$$

Ha most úgy tesszük fel a kérdést, hogy milyen kamatláb mellett lesz ez a jelenérték beruházásunk egyszeri I ráfordításával egyenlő, akkor éppen hatékonysági mutatónk képletét kapjuk, ugyanis

$$i = \frac{E}{I} = g,$$

ahol most g az a kamatláb vagy százalékos hozam, amely mellett a várható egyenletes áramlású tiszta jövedelem diszkontált jelenértéke a *végtelen időhorizonton* lesz éppen egyenlő a beruházás költségével. A polgári közgazdaságtanban ezt a fogalmat a beruházás *határ-hatékonyságának* nevezik. Az azonosság, amely a beruházások hatékonyságával foglalkozó közgazdászaink figyelmét látszólag eddig elkerülte, nyilvánvaló.[13] A g tehát egy akkora kamatláb, amelylyel a beruházás egyszeri ráfordítása az általa eredményezett egyenletes nettó jövedelemben (vagy nettó termelési értékben) a végtelen időhorizonton megtérül.

A végtelen és véges időhorizonton számított jelenérték különbsége

$$\frac{d^{t+1}}{1-d}\,E,$$

ami az idő függvényében exponenciálisan csökken. Így 20—30 év után ez a szorzó az első évinek már csak 1%-a körül mozog, vagyis az akkori árbevétel a nemzeti jövedelemből elvont előleg visszatérítésében jelenértékben már csak

[13] A „beruházás határhatékonyságával" és általában a döntéshozatalban a marginális gondolkodásmóddal, az ún. határelemzéssel találkozunk pl.: *Baumol, W. J.*: „Közgazdaságtan és operációanalízis, Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1968" c. könyvében is. Egyébként az említett azonosság is azt példázza, hogy gondolatok, fogalmak egyszerű elutasításával hosszútávon nem oldunk meg semmit. Sajnos a pénz értékének, a kamatnak és az időtényezőnek gazdálkodási jelentősége hivatalos közgazdaságtanunkból a 40-es évek végétől csaknem 20 évre kiszorult.

ilyen mértékben vesz részt. Nyilvánvaló, hogy a beruházás belátható időn belül csak akkor térül meg, ha a g nagyobb, mint a hitelezési kamatláb. Tudvalevő, hogy a jelenértékszámításban a pénz költsége, máshol elmaradt hozama jut kifejezésre.

A fentiekből következik, hogy a g reciproka tehát csak abban az irreális esetben azonos a *megtérülési idővel*, ha a pénznek nincs ára, ill. nincs hozama. Ha viszont a gazdálkodásnak erre a valós jelenségére tekintettel vagyunk, akkor i hitelezési kamatláb mellett az előbbi pénzáramlat

$$t = \frac{\log (1 - i.I/E)}{\log d}$$

év alatt képes kiegyenlíteni a beruházás teljes költségráfordítását, vagyis ez a *reális megtérülési idő*. Ma ez a kis számítás minden zsebszámolóval percek alatt elvégezhető. Például ha $I = 100$ pénzegység és $E = 20$ pénzegység/év, akkor $i = 0{,}14$ esetében (márpedig ma ez a hosszúlejáratú hitelezési kamatláb) a megtérülési idő nem 5, hanem 9,2 év. *Társadalmi haszonról* természetesen ez idő alatt is beszélhetünk, hiszen a beruházás munkaalkalmakat teremtett és a termelési, ill. fogyasztási javak folyamatos előállításával szükségleteket elégít ki. A nemzetijövedelemben azonban e beruházás következtében a felhalmozási alap növekménye csak a 10. évtől jelenik meg. (De figyelembe kellene venni itt az infláció hatását is.)

Jegyezzük itt meg, hogy az 50—60-as években népgazdasági pénzügyi tapasztalatok alapján egységesen 20%-ban határozták meg nálunk a *hatékonysági mutató normáját*, küszöbszámát, és ezt tévesen az 5 éves megtérülés normájával társították.

A g mutató figyelmen kívül hagyja a beruházás tárgyának (létesítménynek, berendezésnek, gépnek stb.) a várhatóan jövedelmező élettartamát, azt az időtartamot, amíg az objektum a funkcióját még eredményesen tudja ellátni, amíg üzemeltetésének, teljesítményének, fenntartásának haszna nagyobb, mint az azért hozandó áldozat. Márpedig a beruházási alternatívák összehasonlításánál ez egy fontos tényező. Ezeket a hibákat igyekeztek kiküszöbölni a Gazdasági Bizottság által 1969-ben elfogadott *D mutatóban*, amely az egyszeri beruházási ráfordítás helyett időbeli ütemezésükben veszi figyelembe a pótló beruházásokat és a fejlesztési költségeket, és azt fejezi ki, hogy a beruházás ráfordításai a kivitelezés kezdetétől számított és egységesen alkalmazott *15 éves időhorizonton* belül és a *hazai minimális évi hozamnak* tekintett *12%-os kamat* mellett hányszor térülnek meg a képződő társadalmi tiszta jövedelemből.[14] Utóbbi a vállalati nyereségen kívül a központosított tiszta jövedelmet (az állami elvonásokat) is tartalmazza. Nyilvánvaló, hogy a korábbi g mutatóhoz képest ez már nagy előrelépés volt, azonban a merev időhorizont és a fix kamatláb, valamint a beruházási ráfordítások következményeként képződő állami elvonások számításának bizonytalanságai miatt rövidesen ismét tovább kell lépni. Addig is megállapíthatjuk, hogy a beruházás gazdaságosságának megítéléséhez a *jövedelmezőség*, vagyis a gazdasági tevékenységgel elért (ill. várható) eredmények (árbevétel) és az ahhoz szükséges minden ráfordítás hosszabb távon számított *különbségének jelenértéke* megbízhatóbb információt ad, mint a beruházás haté-

[14] A D mutató számításával, érzékenységvizsgálatával foglalkozik *Barta I.*: A beruházások gazdaságossága és kockázata; Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest, 1979.

konysági mutatója. Tudatában kell lennünk annak is, hogy előrelátásunk bizonytalanságai, a további jövő váratlan „zavarai" miatt a várható nagyobb megtérülési idő nagyobb kockázatvállalást is jelent.[15]

Ha egy beruházási feladatra vonatkozóan, tehát azonos főfunkció ellátására az alternatívák összehasonlításakor figyelembe kell vennünk az árak, ill. az értékarányok prognózisát, az egyes alternatívák várható élettartamát, fenntartási költségeit, éves nettó jövedelmük előrelátható alakulását, sőt a hitelezési kamatláb változásainak előrelátható dinamikáját is, akkor a tervezett hasznosítási élettartamot véve időhorizontnak, az alternatívák értékelése a várható bevételek és kiadások áramlatának diszkontált jelenérték-számításával lehetséges, de most az összes és évenként változó nettó jövedelem jelenértékét nemcsak a beruházási ráfordítások összegével, hanem az alternatíva szerint szükséges fenntartások (és pótlások) jelenértékével is csökkenteni kell és mindebben az előrelátható aktuális évi diszkonttényezővel kell számolni.

Végül sem indokolatlan hangsúlyozni, hogy társadalmi szinten „megélni" nem *általában* a munkából, hanem csak az *értelmes, hasznos* munkából, *jövedelmező* tevékenységből lehet. A felesleges munka költségét és kárát, a beruházási pazarlásokat, a gazdaságtalan termelés költségeit a társadalom fizeti meg, a hasznos munkával létrehozott *nemzeti jövedelemből.*

5. A PONTOZÁSOS ÉRTÉKELÉS

Általában a rendszerfejlesztések folyamatában a *megoldásváltozatok* tudatosságot és módszerességet igénylő többkritériumú, *komplex értékelésének* alapvető (standard) eljárása a *pontozásos értékelés.*[16] Egy ilyen eljárásban hasznosíthatjuk az értékelemzéssel (ill. értékkialakítással) és a komplex értékelés gyűjtőnéven elterjedt módszerekkel szerzett tapasztalatokat is. Ahogy az a rendszertechnikai értékelésben természetes, az értékelemzés is a funkciókra koncentrál, és azt a megoldást keresi, amelyik a szükséges funkciókat (a követelményeket) a legalacsonyabb összköltséggel teljesíti. *Mint a gazdasági hatékonyság elemzése, az értékelemzés is eredmény-per-költség típusú mutatóval mér,* de itt az eredmény fogalmát a *funkcióteljesítés* fogalma helyettesíti. Ha a funkcióteljesítés követelményként elő van írva, akkor a választási kritérium a vizsgált dolog költségeinek minimuma, a teljes objektum élettartamának időhorizontján. Mindezeknek az eljárásoknak közös célja kell legyen, hogy megelőzzük a felesleges ráfordításokat és a pazarlást. E mellett a pontozásos értékelés lehetővé teszi, hogy a pénzben nem mérhető tulajdonságok, hatások, sőt a mértékegység nélküli értékelési tényezők (imponderábiliák) előnyeit, hátrányait mérlegeljük, a funkcióteljesítést és a teljesítőképességet megítéljük, és az „előnyös" megoldást felismerjük.

A *kritériumok teljesülését a pontozásos értékelés* az összemérhetőség érdekében egy speciális intervallumskálára, a megfelelő *osztályozási skálára* transzfor-

[15] Ezért írhatta *V. Kulikov* marsall *Druzsinyin, V. V.—Kontorov, D. Sz.:* A hadi rendszertechnika kérdései; Vojenizdat, Moszkva, 1976 könyvének előszavában: „az előrelátás és a kockázat elválaszthatatlan egymástól".

[16] A pontozásos értékelés ismertetésében elsősorban *Daenzer, W. F.* (szerk.): Systems Engineering, Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 1979 könyvére támaszkodunk, de a következő munkákra is hivatkozunk: *Kindler J.—Papp O.:* Komplex rendszerek vizsgálata, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1977.; *Mistéth E.:* Mérnöki létesítmények és hálózatok rendszertechnikái értékelése; Mélyépítéstudományi Szemle, 1982. 3. sz.

málja. Ha a kritériumok tartalmuk szerint hierarchikusan rendezhetők, akkor súlyozásukat a nagyból a kicsibe haladva, a kritériumrendszerben szintenként, lefelé haladva végezhetjük el. A *súlyok összegére* vonatkozóan célszerű feltételt előírni, pl. legyen ez 10-nek valamely nemnegatív hatványa, rendszerint 1, 10, 100 vagy 1000.

A pontozásos értékelés legfontosabb segédeszköze az értékelő táblázat.

Értékelő táblázat

Választási kritériumok \ Alternatívák (a követelményeket kielégítő megoldások)	Súly $\Sigma_i g_i = 1$	...	j		...
Preferenciarendszer					
.	.				
.	.				
.	.				
i	g_i	...	c_{ij}	$g_i c_{ij}$	...
.	.				
.	.				
.	.				
Összetett többkritériumú célérték $Q_j = \Sigma_i g_i c_{ij}$		...	$\Sigma_i g_i c_{ij}$		...

A c_{ij} a j alternatíva i preferencia szerinti osztályzata, pontozásos értékelése, pl. a [0, 1, . . ., 10] egészértékű zárt intervallumban, ahol a 0 a nagyon rossz, és a 10 a nagyon jó megoldás osztályzata. A g_i súlyozási szorzó nagysága a preferált tulajdonság, ill. hatás jelentőségét méri. A Q_j a j alternatíva összesített célértéke, amit a választás kritériumaiként azonosított hatások értékelési mérőszámai összemérésével, a súlyozott értékek összegezésével kapunk. Nevezhetjük ezt a súlyozott átlagértéket *komplex előnynek* is. Természetesen a legnagyobb súlyozott átlagos célértékű alternatíva a súlyozott preferencia-rendszerünk szerint és a vizsgált alternatívák között a legelőnyösebb.

A preferenciarendszer kialakításánál — ami a teljes célrendszerre is vonatkozik — ügyelnünk kell az egyes kritériumoknak egymástól való függetlenségére, nehogy az egyes hatásokat halmozottan értékeljük. Minél több választási krétériumunk van, annál differenciáltabban tudjuk megítélni az egyes változatokat, de ugyanakkor annál nehezebb az egyes kritériumok relatív jelentőségének meghatározása, a súlyok elosztása, és annál nagyobb a szándékos torzítás lehetősége, kísértése. Ezért a kritériumok száma — gyakorlati tapasztalatokkal indokolhatóan — 10-nél, maximum 20-nál ne legyen nagyobb.

Valamely kritérium teljesülésének *bizonytalanságait* az egyes változatokban *szubjektív valószínűségekkel* vehetjük figyelembe, és a továbbiakban e kritérium teljesülésének *várható értékével* számolhatunk.

Az értékelés után *érzékenységi vizsgálattal* ellenőrizhetjük, hogy értékelési rendszerünk, szabályaink, feltevéseink, így a súlytényezők és a pontozás (osz-

tályozás) indokolható változtatásaival hogyan változna alternatíváink előnyben részesítése, *rangosolása.*

Amint látható ebben az értékelésben csupán az aritmetikai alapműveletek objektívek. *Szubjektív,* önkényes az alternatívák választéka, a preferenciarendszer, a súlyozás és nagyrészt az osztályozás is. Hogy mégis komolyan kell vennünk ezt a lehetőséget, annak két oka van. Először e komplex értékelés arra kényszerít, hogy a *döntési szituációt* jobban áttekintsük, értékelképzeléseinket tagoljuk és rendezzük. Ezáltal a teljes intuíciót, sőt voluntarizmust korlátozzuk. Másodszor pedig, gyakran *nem is rendelkezünk objektívebb eljárással.*

Ha az egyes j változatok Q_j *komplex előny mutatóját* osztjuk az azonos időhorizonton felmerülő releváns beszerzési és üzemeltetési költségek K_j összegével, akkor a

$$\frac{Q_j}{K_j}$$

hányados azt fejezi ki, hogy *egységnyi mennyiségű költségért* a j változat *mennyi előnyt* (súlyozott átlagpontszámot) *nyújt.*

Általában a többkritériumú döntési szituációkban az értékelési tényezők egy része (pl. költség-, energia-, munkaerőráfordítás stb.) dimenziós mennyiségként arányskálán mérhető. Míg az imponderábiliákat (pl. környezetvédelmi hatás, esztétika stb.) dimenzió nélküli osztályozó intervallumskálán, többnyire szubjektív pontozással tudjuk csak megítélni. Észre kell vennünk, hogy a *pontozásos értékelés jelentős információveszteséget okoz,* amikor az objektív mérőszámokkal jellemzett értékelési tényezőket is szubjektív osztályozó intervallumskálára vetíti. Ezért az információveszteségekből származó torzítások csökkentése érdekében az ilyen esetekben a különböző megoldási változatoknak az egyes értékelési tényezők szerinti értékmutatóit *dimenzió-nélküli és normált mutatószámokká* alakítjuk át. Ha az értékelési tényező mutatójában a nagyobb szám jelenti a jobbat (maximális), akkor e tényező sorát a legnagyobb értékmutatóval osztjuk végig. Ellenkező esetben (minimális) a sor minden elemével elosztjuk a legkisebb értékmutatót. A dimenzió-nélküli értékelési tényezők sorait pedig osztályozó skálájuk legnagyobb pontszámával osztjuk végig. Így az összes c_{ij} értékmutató dimenzió nélküli és a [0,1] zárt intervallumba tartozó számmá lett. Az értékelési tényezők egymáshoz viszonyított fontosságát megítélő súlyozása után a *normált súlyozott többkritériumú értékelést* már az előbbiek szerint folytathatjuk.

Ha a táblázatban szereplő értékmutatók várható értékeket reprezentálnak, és azokat szórásegyüttható ikkal is ki tudjuk egészíteni, akkor elég jól megbecsülhetjük például azt is, hogy két változat milyen valószínűséggel lehet egyformán előnyös.

Dr. KALISZKY SÁNDOR, — DUONG VAN THU
a műszaki tudományok doktora

LÖKÉSSZERŰ TEHERREL TERHELT RUGALMAS-KÉPLÉKENY ANYAGÚ RÚDSZERKEZETEK KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSA

1. BEVEZETÉS

A lökésszerű teherrel terhelt, rugalmas anyagú szerkezetek és merev-képlékeny anyagú szerkezetek vizsgálatának igen kiterjedt irodalma van (pl. [1, 3, 7]). A rugalmas anyagmodell akkor alkalmazható, ha a teher intenzitása aránylag kicsi és így a szerkezet mozgása közben nem ébrednek jelentős képlékeny alakváltozások, merev-képlékeny anyag feltételezése viszont akkor indokolt, ha a teher intenzitása nagyon nagy és ennek következtében a szerkezet olyan nagy képlékeny alakváltozásokat szenved, amelyekhez képest a rugalmas alakváltozások elhanyagolhatók. Közepes nagyságú dinamikus terheknél azonban a rugalmas és a képlékeny alakváltozások azonos nagyságrendűek, ezért egyik sem hanyagolható el a másikhoz képest és így rugalmas-képlékeny anyagmodell alkalmazására van szükség.

A rugalmas-képlékeny anyagú szerkezetek pontos dinamikai vizsgálata igen bonyolult. Ennek az a magyarázata, hogy a rendszer végtelen szabadságfokú és mozgás közben a szerkezetben kialakuló képlékeny tartományok (pl. képlékeny csuklók, képlékeny élek) helye és elrendezése is megváltozik. Mindez lehetetlenné teszi a feladatok analitikus megoldását. Numerikus módszerek alkalmazására természetesen ilyenkor is lehetőség van, de ezek — egyszerű esetektől eltekintve — bonyolult, nagy gépidőt igénylő számításokra vezetnek.

Az alábbiakban olyan eljárást ismertetünk, amely a lökésszerűen terhelt rugalmas-képlékeny anyagú rúdszerkezetek közelítő dinamikai vizsgálatára alkalmas. Az eljárásnak az a lényege, hogy az alakváltozásokat a szerkezet előre meghatározott helyzetű elemeire (rugalmas-képlékeny csuklókra) koncentráljuk. Ennek következtében a megoldás egyszabadságfokú rendszerek egymást követő vizsgálatára vezethető vissza, ami viszonylag egyszerű számítást igényel és jól gépesíthető. Az eljárás segítségével meghatározhatók a lökésszerű teher hatására bekövetkező legnagyobb elmozdulások és ennek alapján mérlegelni lehet, hogy nem szenved-e a szerkezet meg nem engedhető mértékű alakváltozásokat, repedéseket vagy rideg törést.

2. A SZÁMÍTÁSI MODELL

Rúdszerkezeteknél az alakváltozások és a tömegek a rudak mentén megoszlanak, emiatt a rendszer végtelen szabadságfokú. A javasolt számítási modellnek az a rugalmas és merev-képlékeny szerkezeteknél szokásos közelítés a lényege, hogy az alakváltozásokat a rudak egyes elemeire koncentráljuk, és ezen elemek helyét a mozgás közben változatlannak, a közbenső rúdszakaszokat pedig végtelen merevnek tekintjük. Mivel a továbbiakban csak a hajlítás okozta

alakváltozásokat vesszük számításba, ezért ezeket az elemeket olyan csuklóknak tekinthetjük, amelyek rugalmas és képlékeny alakváltozások végzésére képesek. A szerkezet tömegét a merev rúdszakaszok mentén megoszlónak tekintjük. Más szóval a tényleges szerkezetet olyan szerkezettel helyettesítjük, amely rugalmas-képlékeny csuklókkal összekapcsolt teljesen merev rúdszakaszokból áll. Ez a közelítés a merev-képlékeny anyagú szerkezeteknél korábban már alkalmazott kinematikai módszer általánosításának felel meg [5].

Az a kérdés, hogy hogyan vegyük fel ezeknek a csuklóknak a helyét és hogyan határozzuk meg azok szilárdsági jellemzőit.

Egy rúdszerkezet képlékeny határállapotban képlékeny csuklók következtében létrejött folyási mechanizmusként végzi mozgását. Kézenfekvő tehát, hogy a helyettesítő csuklók helyét a kvázistatikusan működtetett teherhez tartozó folyási mechanizmusnak megfelelően vegyük fel. A folyási mechanizmusok általában egyszabadságfokúak, így mozgásuk egyetlen paraméterrel leírható. Természetesen nincs akadálya annak, hogy a helyettesítő csuklók helyét a folyási mechanizmustól eltérő módon (pl. a kvázistatikus teherhez tartozó rugalmas nyomatéki ábra legnagyobb nyomatékainak megfelelően) vegyük fel, vagy hogy a számítást több mozgási mechanizmus alapján is elvégezzük és az így nyert eredmények közül válasszuk ki a mértékadó elmozdulásokat.

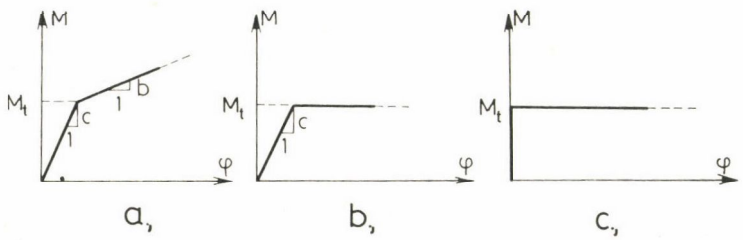
A csuklók a merevnek feltételezett rúdszakaszok ellenállását és alakváltozásait helyettesítik. Az egyes helyettesítő csuklók szilárdsági tulajdonságai különbözőek, a szerkezettől, a dinamikus teher eloszlásától és a szerkezet anyagától függenek, és kvázistatikus vizsgálat segítségével határozhatók meg.

Ha a szerkezet anyaga rugalmas-lineárisan keményedő, akkor a helyettesítő csuklók helyén létrejövő nyomaték és elfordulás közötti összefüggést az 1/a. ábrán látható tört vonal jellemzi. Rugalmas-tökéletesen képlékeny illetőleg merev-tökéletesen képlékeny anyag esetében az $M - \Phi$ összefüggés az 1/b., ill. 1/c. ábráknak megfelelően egyszerűsödik.

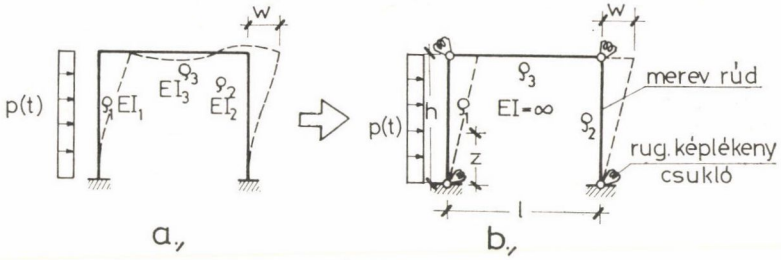
A továbbiakban az egyszerűség kedvéért feltételezzük, hogy a szerkezet anyaga rugalmas-tökéletesen képlékeny és az $M - \Phi$ diagram meghatározására alkalmas közelítő eljárásokat a 2. ábrán látható egyszerű szerkezet kapcsán ismertetjük. Az eljárások alapelvei bonyolultabb szerkezetekre és keményedő anyagok esetére is általánosíthatók.

Vegyük szemügyre a 2. ábrán látható szerkezet 2. jelű csuklóját. E csukló merevségét úgy határozhatjuk meg, hogy az eredeti szerkezeten az 1., 3. és 4. csomópontokban *tényleges* szerkezeti csuklókat iktatunk be (3. ábra).

Ennek a statikailag határozott rugalmas szerkezetnek a kvázistatikus megoldása alapján a szerkezet valamelyik jellegzetes pontjának u eltolódása és a

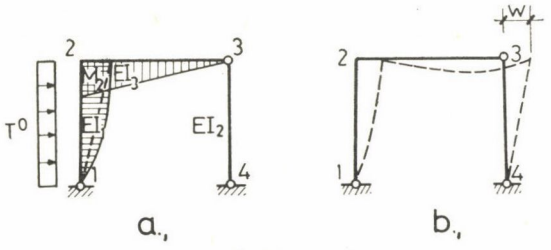


1. ábra. A helyettesítő csukló helyén létrejövő nyomaték és relatív elfordulás közötti összefüggés



2. ábra.

a) Tényleges szerkezet *b)* Helyettesítő merev-csuklós modell



3. ábra.

a) Nyomatékábra *b)* Alakváltozások

2. csukló helyén ébredő M_2 nyomaték közötti összefüggés egyszerűen meghatározható, és így a

$$c_2^* = \frac{M_2}{u} \tag{1}$$

állandó is kiszámítható. Mivel a 2/b. ábrán feltüntetett modell szerint a 2. csukló helyén létrejövő Φ_2 relatív elfordulás és az u eltolódás között $u = h\Phi_2$ kapcsolat áll fenn, így az (1) képletet felhasználva az $M_2 - \Phi_2$ összefüggés rugalmas részét jellemző

$$c_2 = \frac{M_2}{\Phi_2} = \frac{hM_2}{u} = hc_2^* \tag{2}$$

állandó is egyszerűen megkapható. A 2. csukló azonban csak addig van rugalmas állapotban, ameddig a nyomaték el nem éri a csukló helyén levő elem M_{t2} törőnyomatékát, azaz, ha $|M_2| < M_{t2}$ · Ha $|M_2| = M_{t2}$, akkor az 1/b. ábrának megfelelően az $M - \Phi$ összefüggést egy vízszintes egyenes jellemzi.

Egyébként az M_t törőnyomatékból mindegyik helyettesítő csuklónak az a Φ_t elfordulása, ill. a szerkezetnek az az u_t eltolódása is meghatározható, amely az illető csukló képlékeny állapotának bekövetkezéséhez tartozik. Például a vizsgált 2. csukló esetében:

$$\Phi_{t2} = \frac{M_{t2}}{c_2} \tag{3}$$

$$u_{t2} = \frac{M_{t2}}{c_2^*}. \tag{4}$$

Általában tehát a rugalmas-tökéletesen képlékeny helyettesítő csuklók szilárdsági viselkedését az alábbi összefüggések írják le:

$$M_i = c_i \Phi_i, \tag{5}$$

ahol

$$c_i = \frac{M_{ti}}{\Phi_{ti}}, \quad \text{ha} \quad |\Phi_i| < \Phi_{ti}$$

$$c_i = \frac{M_{ti}}{\Phi_i}, \quad \text{ha} \quad |\Phi_i| \geq \Phi_{ti}$$

vagy pedig

$$M_i = c_i^* u, \tag{6}$$

ahol

$$c_i^* = \frac{M_{ti}}{u_{ti}}, \quad \text{ha} \quad |u| < u_{ti}$$

$$c_i^* = \frac{M_{ti}}{u}, \quad \text{ha} \quad |u| \geq u_{ti}.$$

Végül Φ_i és u, ill. c_i és c_i^* között az alábbi összefüggések állíthatók fel:

$$\Phi_i = k_i u \tag{7}$$

$$c_i^* = k_i c_i$$

ahol k_i a felvett folyási mechanizmus geometriai adataitól függő állandókat jelöl. Például a 2. ábrán látható keret esetén valamennyi csuklóra $k_i = 1/h$.

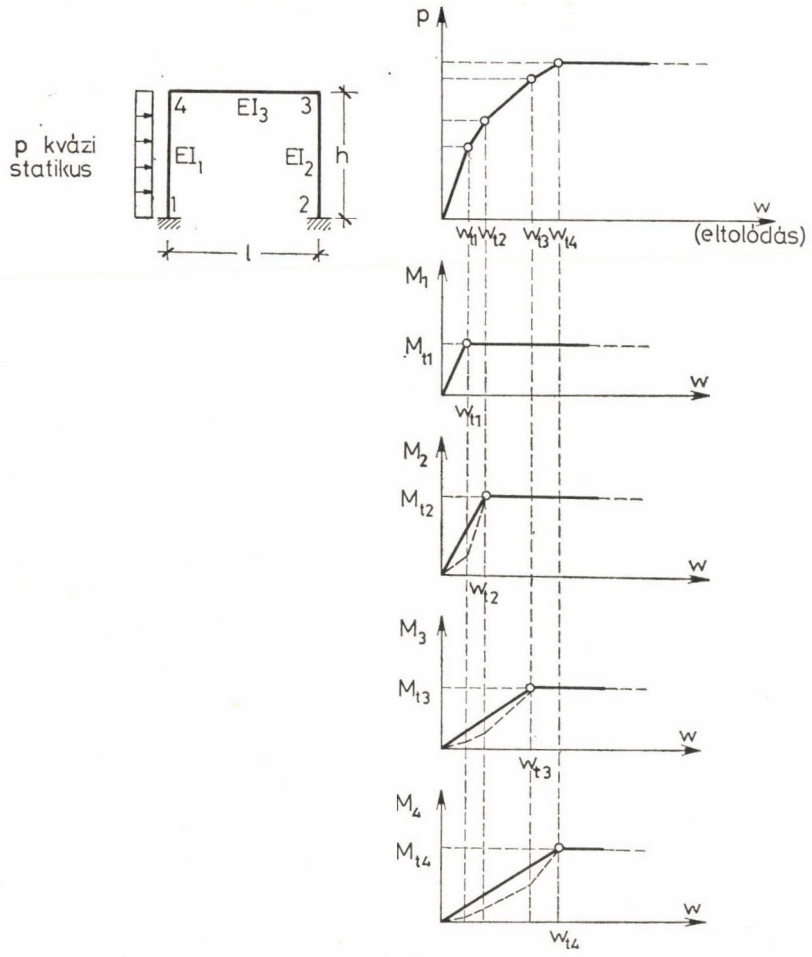
A képlékeny csuklók merevségét az eredeti rugalmas-tökéletesen képlékeny szerkezet kvázistatikus megoldása alapján is meghatározhatjuk. A számítás menetét a 4. ábrán szemléltetjük.

Tételezzük fel, hogy a 2. ábrán bemutatott szerkezet rugalmas-képlékeny megoldása alapján ismerjük a teher és az eltolódás közötti összefüggést (4/a. ábra). Eszerint amikor az eltolódás sorrendben az $u_{t1}, \ldots, u_{t4}$ értékeket eléri, akkor az első, ..., negyedik csukló képlékeny állapotba kerül. Ezekből az értékekből már meghatározhatjuk a csuklók rugalmas merevségének közelítő értékét és így az $M - \Phi$ összefüggések előállíthatók (lásd 4/b—e ábrákat).

Ha például a 2. ábrán látható keret gerendájának merevsége sokkal nagyobb, mint az oszlopoké, akkor az alábbi egyszerű képletekből is meghatározhatjuk a csuklók rugalmas merevségét:

$$c_1^* \approx c_3^* = \frac{6EJ_1}{h^2}$$

$$c_2^* \approx c_4^* = \frac{6EJ_2}{h^2} \tag{8}$$



4. ábra

Rugalmas-lineárisan keményedő anyag esetében a helyettesítő csuklók szilárdsági viselkedése annyiban módosul, hogy azok a Φ_{ti}, ill. u_{ti} elfordulás, ill. eltolódás elérése után is növekvő ellenállást fejtenek ki. Ennek mértékét a b tényező szabja meg (lásd 1/a. ábrát). Utóbbit c_i ismeretében, pontosabb vizsgálat hiányában a $b_i = \frac{E'}{E} c_i$ képletből határozhatjuk meg, ahol E és E' a keményedő anyag rugalmassági és keményedési modulusát jelöli. b_i ismeretében az (5) és (6) képletek lineárisan keményedő anyagok esetére már egyszerűen általánosíthatók.

A továbbiakban csak a lökésszerű egyparaméteres terhelés esetével foglalkozunk. Ilyenkor a terhelés nagy intenzitású és rövid ideig tart és

$$T(z, t) = T^{\circ}(z)p(t) \tag{9}$$

alakban adható meg. Ebben $T^{\circ}(z)$ a szerkezet rúdjai mentén mért z koordinátától függő vektorfüggvény, $p(t)$ pedig a lökés időbeni változását leíró skalárfüggvény. Az utóbbi néhány jellegzetes alakját az 5. ábra szemlélteti.

A lökésszerű teher hatására a szerkezet mozgásba jön. A feladat a legnagyobb elmozdulások és az ezeknek megfelelő mozgási idő meghatározása. A legnagyobb eltolódás az első mozgásfázis amplitúdója. Mivel a számítás alapját képező merev-csuklós modell egyszabadságfokú, ezért a szerkezet $u(x, t)$ elmozdulásmezője a mozgás közben stacionárius, azaz

$$u(z, t) = u^{\circ}(z)w(t) \tag{10}$$

alakban adható meg. Ebben $u^{\circ}(z)$ a térbeli koordinátáktól függő vektorfüggvény, míg $w(t)$ az időtől függő ismeretlen skalárfüggvény. A kezdeti feltételek a következők:

$$\text{ha } t = 0, \quad \text{akkor} \quad u = \dot{u} = 0. \tag{11}$$

A maximális eltolódás elérésének megfelelő t_f időtartam viszont

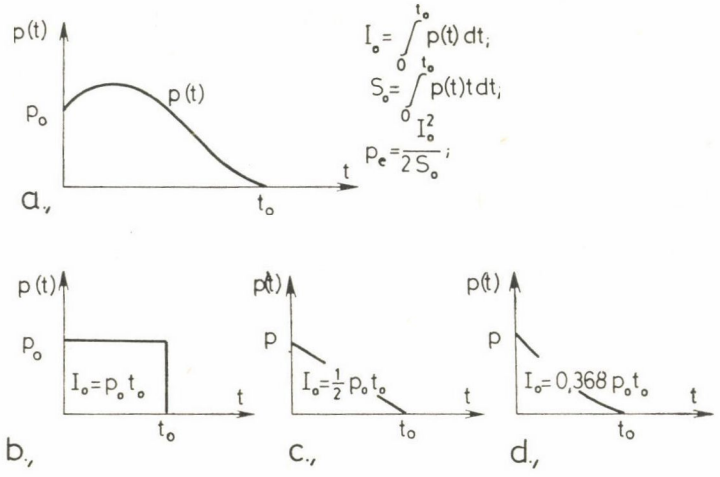
$$\dot{u}(t_f) = 0 \tag{12}$$

feltételből nyerhető. t_f ismeretében a legnagyobb eltolódásokat az

$$u_f(z, t_f) = u^{\circ}(z)w(t_f) \tag{13}$$

függvény adja meg.

A feladat megoldása a lökésszerű teherrel terhelt merev-csuklós modell rugalmas-képlékeny állapotváltozásvizsgálatára alapszik. Ezt a rugalmas-képlékeny



5. ábra. A lökésszerű teher időbeli változása

vizsgálatot viszont egy sor rugalmas feladat megoldására vezethetjük vissza. Ezért a szerkezet mozgási differenciálegyenletének az általános alakja minden mozgásfázisban ugyanolyan, mint egy rugalmas feladatnál, a differenciálegyenlet állandói viszont minden mozgásfázisban különbözőek.

Vizsgáljuk a szerkezet k-adik mozgásfázisát, és állítsuk elő az ennek a mozgásfázisnak megfelelő mozgási differenciálegyenletet. Az általánosság kedvéért most tételezzük fel, hogy a szerkezet anyaga rugalmas-lineárisan keményedő. A k-adik mozgásfázis akkor kezdődik, miután a $(k-1)$-edik képlékeny csukló kialakult, és akkor fejeződik be, amikor a k-adik csukló megjelenik. A mozgási differenciálegyenlet bevezetésére a virtuális munka tételét alkalmazzuk. Mivel a teher egyparaméteres és a szerkezet egy stacionárius elmozdulásmezőnek megfelelően mozog (lásd (9) és (10) képletet), a következők írhatók fel:

a) A külső erők virtuális munkája:

$$W_k = \sum_i \int_{l_i} T_i(z,t)u_i(z,t)dz = \sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z)p(t)u_i^\circ(z)w(t)dz =$$

$$= [\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z)\,u_i^\circ(z)dz]\,p(t)w(t) \tag{14}$$

b) A tehetetlenségi erők virtuális munkája:

$$W_T = -\sum_i \int_{l_i} \varrho_i \ddot{u}_i(z,t)u_i(z,t)dz = -\sum_i \int_{l_i} \varrho_i u_i^\circ(z)\ddot{w}(t)u_i^\circ(z)w(t)dz =$$

$$= [-\sum_i \int_{l_i} \varrho_i u_i^\circ(z)u_i^\circ(z)dz]\ddot{w}(t)w(t) \tag{15}$$

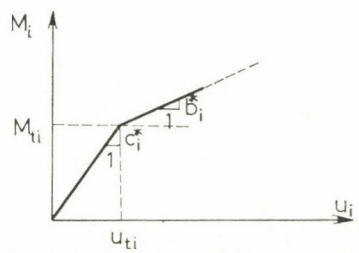
c) A belső erők virtuális munkája:

$$W_B = \sum_j M_j\Phi_j(t) \tag{16}$$

A fenti képletekben az i, ill. a j index a szerkezet egyes rúdjaira, ill. a helyettesítő csuklókra vonatkozik, l_i, ill. ϱ_i pedig az i jelű rúd hosszát, ill. fajlagos (hosszegységre jutó) tömegét jelöli.

A lineárisan keményedő anyag esetén a csukló helyén ébredő nyomaték és eltolódás közötti összefüggést a 6. ábra adja meg. Ezt figyelembe véve a belső erők virtuális munkája a következőképpen számítható:

$$W_B = \sum_{j=1}^{k-1} M_j\Phi_j(t) + \sum_{m=k}^{n} M_m\Phi_m(t) \tag{17}$$



6. ábra. A lineárisan rugalmas-lineárisan keményedő csuklónyomaték-eltolódás összefüggése

$$W_B = \{ \sum_{j=1}^{k-1} [c_j^* u_{tj} k_j + b_j^* k_j (w(t) - u_{tj})] + \sum_{m=k}^{n} c_m^* k_m, w(t) \} w(t) \tag{18}$$

$$W_B = \{ \sum_{j=1}^{k-1} (c_j^* - b_j^*) u_{tj} k_j + \sum_{j=1}^{k-1} b_j^* k_j w(t) + \sum_{m=k}^{n} c_m^* k_m w(t) \} w(t). \tag{19}$$

A virtuális munka tételét alkalmazva a (14)—(19) összefüggések felhasználásával a következő általános mozgási differenciálegyenlethez jutunk:

$$M\ddot{w}(t) + K_k w(t) = p(t) - R_k, \tag{20}$$

ahol

$$M = \frac{\sum_i \int_{l_i} \varrho_i u_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz}{\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz} \tag{21}$$

$$K_k = \frac{\sum_{m=k}^{n} c_m^* k_m}{\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz} + \frac{\sum_{j=1}^{k-1} b_j^* k_j}{\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz} \tag{22}$$

$$R_k = \frac{\sum_{j=1}^{k-1} c_j^* k_j u_{tj}}{\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz} - \frac{\sum_{j=1}^{k-1} b_j^* k_j u_{tj}}{\sum_i \int_{l_i} T_i^\circ(z) u_i^\circ(z) dz} \tag{23}$$

állandók, és a k-adik számítási lépés helyettesítő tömegének, helyettesítő merevségének, illetőleg belső ellenállásának nevezzük őket. A képletekben n a helyettesítő csuklók számát jelöli.

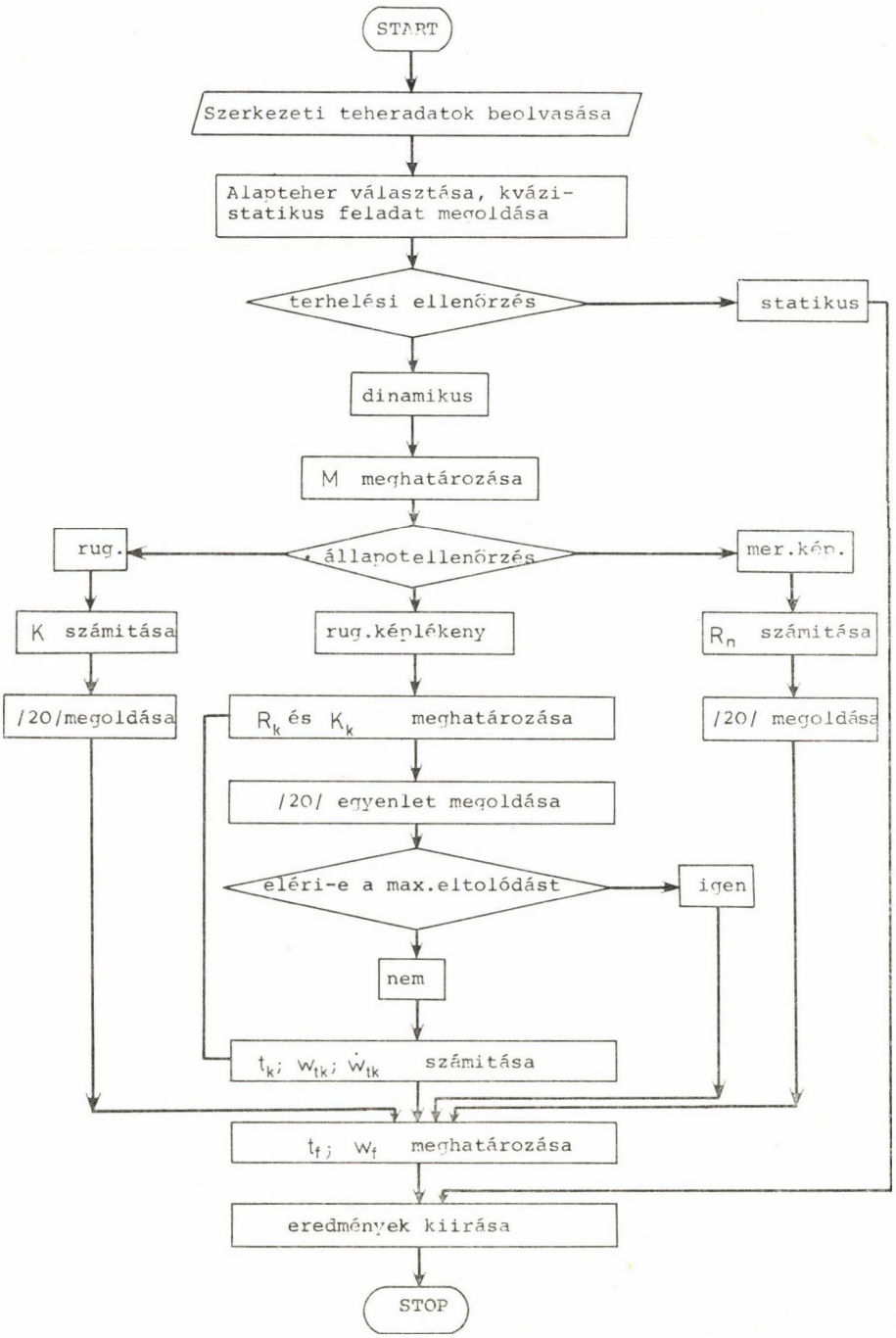
A (20) alatti másodrendű differenciálegyenlet alapján a merev-csuklós modell állapotváltozásának vizsgálata a $t = 0$ időpillanattól kiindulva elvégezhető és a (12) és (13) feltételek alapján a mozgási időtartam és a legnagyobb elmozdulások meghatározhatók.

A (20)—(23) összefüggések speciális esetként a rugalmas, a tökéletesen képlékeny és a merev-képlékeny anyagú szerkezetek megoldását is megadják.

Rugalmas állapotú szerkezetek esetében a (20) egyenletben $R_k = 0$, a (22) képlet második tagja ugyancsak zérus és a (22) képlet első tagjában a számláló összegezése valamennyi helyettesítő csuklóra kiterjed, azaz j 1-től n-ig változik. Ilyenkor a feladat egyetlen mozgásfázis vizsgálata alapján rendszerint zárt alakban is megoldható.

Rugalmas-tökéletesen képlékeny anyag esetén a (22) és (23) képletekben a keményedést kifejező második tag zérus.

Végül merev-tökéletesen képlékeny anyag esetében K_k és a (23) képlet második tagja egyenlő zérussal, a (23) képlet első tagjában pedig a számláló összegezését valamennyi helyettesítő csuklóra ki kell terjeszteni, azaz j 1-től n-ig változik. Ilyenkor ugyanis a szerkezet csak akkor jön mozgásba, ha valamennyi helyettesítő csukló képlékeny állapotba kerül. Ezért lépésről lépésre történő vizsgálatra nincs is szükség, egyetlen mozgási fázis vizsgálata zárt alakban megadja a feladat megoldását (lásd [3]).


START
Szerkezeti teheradatok beolvasása
Alapteher választása, kvázi-statikus feladat megoldása
terhelési ellenőrzés
statikus
dinamikus
M meghatározása
állapotellenőrzés
rug.
mer.kép.
K számitása
rug.képlékeny
R_n számitása
/20/megoldása
R_k és K_k meghatározása
/20/ megoldása
/20/ egyenlet megoldása
eléri-e a max.eltolódást
igen
nem
t_k; w_{tk}; $\dot{w}_{tk}$ számitása
t_f; w_f meghatározása
eredmények kiirása
STOP

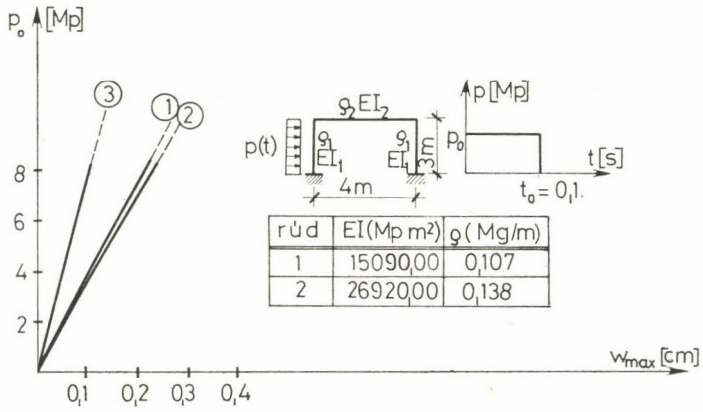
7. ábra

4. GÉPI PROGRAM ÉS SZÁMPÉLDÁK

Az ismertetett számítási modell és megoldás alapján számítógépes program készült FORTRAN IV. nyelven, amely síkbeli rúdszerkezetek számítására szolgál. A program algoritmusát és folyamatábráját a 7. ábra szemlélteti.

A különböző feladatokon végzett számítások eredményei a 8., 9. és 10. ábrákon találhatók.

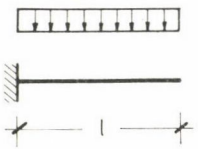
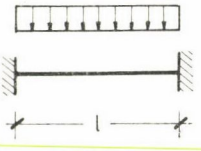
Itt említjük meg, hogy a merev-csuklós modell a rugalmas anyagú szerkezetek legkisebb önrezgésszámának közelítő meghatározására is alkalmas. Ennek nagyságát a (21) és (22) képletekkel definiált M helyettesítő tömeg és K helyettesítő merevség alapján határozhatjuk meg: $\omega_1 = \left(\frac{K}{M}\right)^{1/2}$ (K értékét a 3. fejezet végén tett megjegyzéseknek megfelelően kell meghatározni.) Az alábbi táblá-

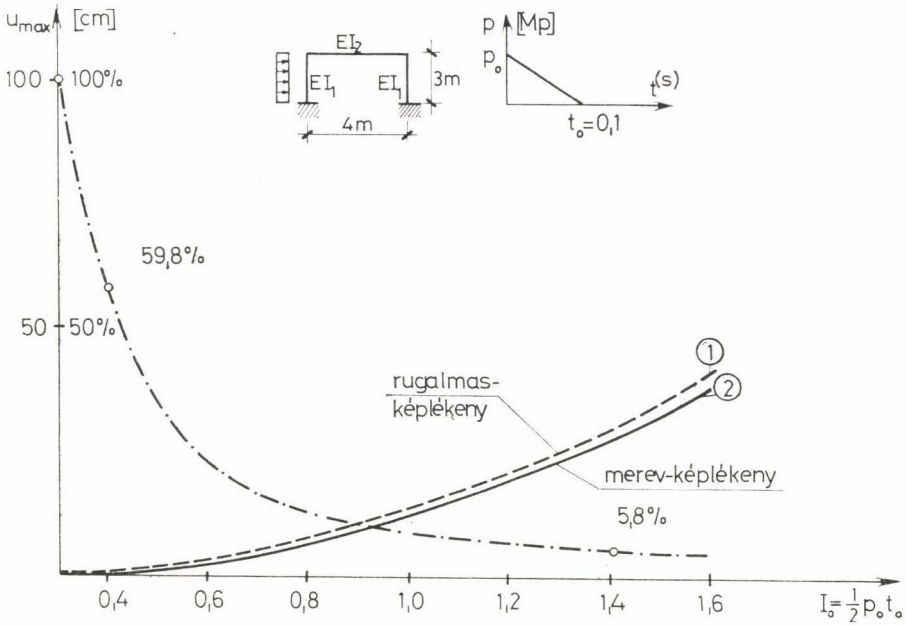


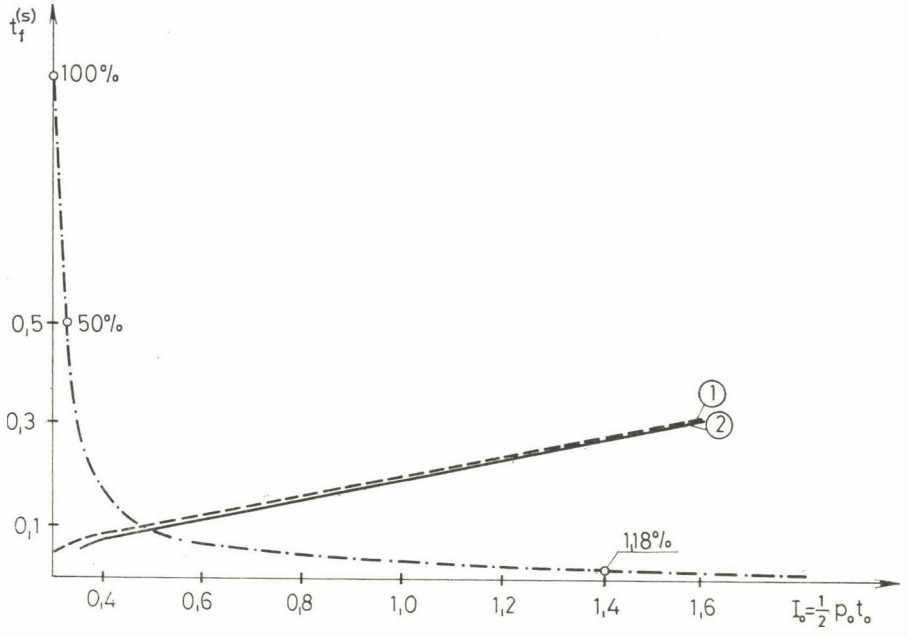
rúd	EI (Mp m²)	ϱ (Mg/m)
1	15090,00	0,107
2	26920,00	0,138

8. ábra. Rugalmas állapot vizsgálata. 3. a kvázistatikus megoldás ($t_0 \to \infty$), 1 és 2 dinamikus megoldások

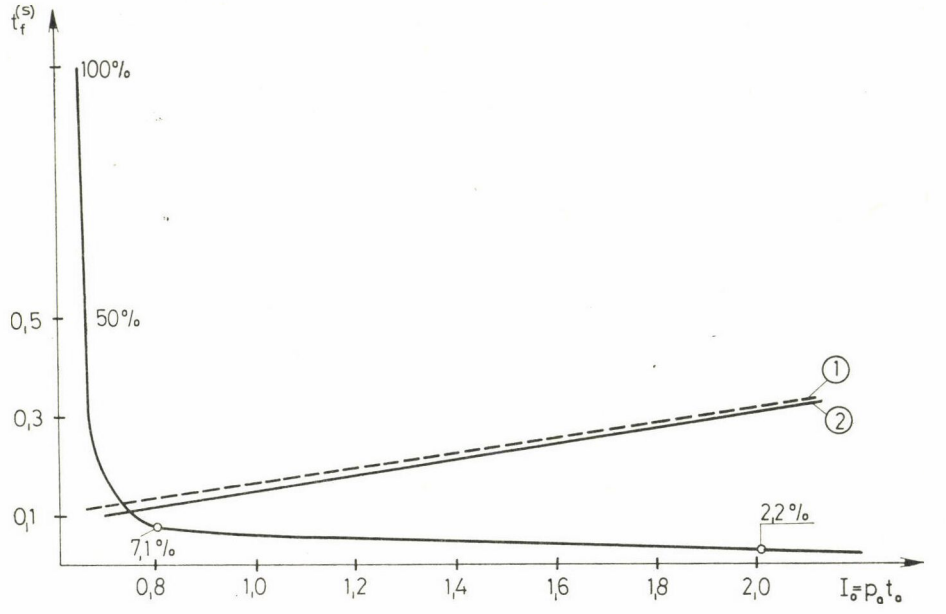
1. táblázat

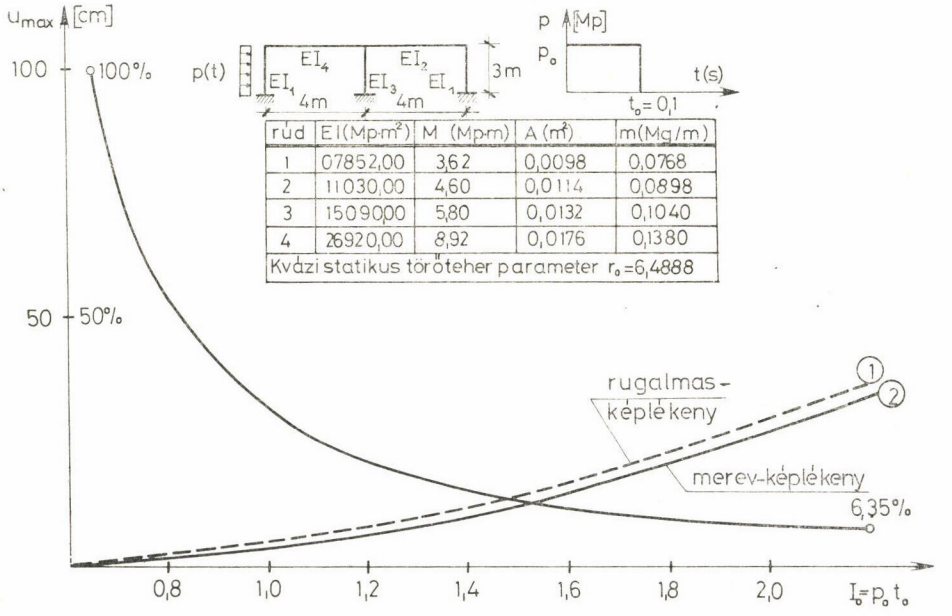
A szerkezet	legalacsonyabb önrezgésszám (ω_1)		
	pontos érték	közelítő érték	hiba
 $\varrho_1 EI = \text{const.}$	$\omega_1 = \frac{3{,}515}{l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\varrho}}$	$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{3{,}464}{l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\varrho}}$	1,45 %
 $\varrho_1 EI = \text{const.}$	$\omega_1 = \frac{22{,}4}{l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\varrho}}$	$\omega = \sqrt{\frac{K}{M}} = \frac{22{,}978}{l^2}\sqrt{\frac{EJ}{\varrho}}$	2,51 %


u_{max} [cm]
100
100%
59,8%
50
50%
EI_2
EI_1
EI_1
3m
4m
p [Mp]
p_o
t(s)
t_o=0,1
rugalmas-
képlékeny
merev-képlékeny
5,8%
①
②
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
$I_o=\frac{1}{2}p_o t_o$


t_f(s)
100%
0,5
50%
0,3
0,1
①
②
1,18%
0,4
0,6
0,8
1,0
1,2
1,4
1,6
$I_o=\frac{1}{2}p_o t_o$

9. ábra





rúd	EI(Mp·m²)	M (Mp·m)	A (m²)	m(Mg/m)
1	07852,00	3,62	0,0098	0,0768
2	11030,00	4,60	0,0114	0,0898
3	15090,00	5,80	0,0132	0,1040
4	26920,00	8,92	0,0176	0,1380
Kvázi statikus törőteher parameter $r_o = 6,4888$				

9. ábra, 10. ábra. A maximális eltolódás, a t_f mozgási idő és a lökésszerű terhelés impulzusa közötti összefüggések

① rugalmas-képlékeny modell
② merev-képlékeny modell
③ a két esetben számított eredmények százalékos különbsége

zat egy konzol és egy két végén befogott tartó esetére adja meg az első önrezgésszám pontos és a fenti úton nyert közelítő értékét.

A kapott eredmények alapján néhány megállapítást tehetünk:

a) Az irodalomban található eredményekkel (pl. [1]) összhangban megállapítható, hogy ha a lökésszerű teher p_0 csúcsértéke (illetőleg impulzusa) viszonylag nagy, a rugalmas alakváltozások hatása a maximális eltolódásra általában kicsi, ezért elhanyagolható. Ilyenkor tehát merev-képlékeny anyagmodellt alkalmazhatunk. Kisebb csúcsnyomás (ill. impulzus) esetében azonban az elmozdulásokat rugalmas-képlékeny anyagmodell alapján kell meghatározni.

b) A rugalmas alakváltozásoknak a t_f mozgási időtartamra gyakorolt hatása kevésbé jelentős, ezért a mozgási idő meghatározásakor még viszonylag kisebb lökésszerű teher esetében is merev-képlékeny anyag feltételezésével számolhatunk.

c) A csuklók rugalmas merevségének a legnagyobb elmozdulásra lényeges befolyásuk van, ezért azokat körültekintően — a szerkezet elrendezését, anyagát és a terhelés eloszlását figyelembe véve — kell meghatározni. Hasonlóképpen a helyettesítő csuklók elrendezésének ugyancsak fontos szerepe van, ezért kényesebb szerkezeteknél célszerű a feladatot többféle folyási mechanizmus alapján is megoldani. A megoldás pontossága azáltal is fokozható, ha többszabadságfokú mechanizmusokat alkalmazunk. Ilyenkor azonban a számítás lényegesen bonyolultabb, mivel egyetlen mozgási differenciálegyenlet helyett egy differenciálegyenlet-rendszer írja le a szerkezet mozgását.

d) A merev-csuklós modell és a bemutatott eljárás bármilyen rúdszerkezetre általánosítható és segítségével az anyag viszkózus tulajdonságainak és a szerkezet nagy alakváltozásainak hatása is figyelembe vehető. Ilyen irányú kutatások folyamatban vannak.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a lökésszerű teherrel terhelt rugalmas-képlékeny anyagú rúdszerkezetek közelítő vizsgálatára alkalmas eljárást ismertet. A vizsgálat rugalmas-képlékeny csuklóból és merev rudakból álló modellen alapszik és ennek a modellnek az ismételt rugalmas megoldása révén adja meg az eredeti szerkezet legnagyobb elmozdulásainak közelítő értékét. A levezetett általános összefüggések rugalmas-lineárisan keményedő anyagú szerkezetekre érvényesek, melyekből különleges esetekként a teljesen rugalmas, a merev-tökéletesen képlékeny és a rugalmas-tökéletesen képlékeny anyagú szerkezetekre vonatkozó egyenletek is megkaphatók.

Az eljárás alapján számítógépes programot készítettünk és több feladatot megoldottunk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy aránylag kisebb intenzitású lökésszerű terhek esetén a képlékeny alakváltozások mellett a rugalmas alakváltozások nem hagyhatók figyelmen kívül és ilyenkor a javasolt eljárás eredményesen alkalmazható.

A javasolt számítási modellt és eljárást más típusú szerkezetekre és az anyag viszkózus tulajdonságainak és a nagy alakváltozások hatásának figyelembevételére is általánosítani lehet.

IRODALOM

[1] Bodner, S. R., Symonds, P. S.: Experimental and theoretical investigation of the plastic deformation of cantilever beams subjected to impulsive loading. Trans. ASME. 1962. E 29, No. 4.

[2] ДИКОВИЧ, И. Л.: Динамика упруго-мастических банок. Судпромгиз. Ленинград, 1962.

[3] Kaliszky, S.: Approximate solutions for impulsively-loaded rigid-plastic structures and continua. Bull. Acad. Polonaise, Vol. XVII. No. 5. 1969.

[4] Kaliszky S., Nédli P.: Lökésszerű teherrel terhelt merev-viszkoplasztikus anyagú szerkezetek nagy alakváltozásainak vizsgálata. Építés- Építészettudomány IV. kötet 3—4. szám.

[5] Kaliszky S.: Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1975.

[6] Szabó J., Roller B.: Rúdszerkezetek elmélete és számítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.

[7] Vértes Gy.: Építmények dinamikája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1976.

Dr. KOLLÁR LAJOS,
a műszaki tudományok doktora

A PONYVA MEGTÁMASZTÓ HATÁSA AZ ÍVSORRA FESZÍTETT SÁTRAK ÍVEINEK OLDALIRÁNYÚ STABILITÁSÁRA

1. BEVEZETÉS

A sátorszerkezetek egyik leggyakrabban használt formája az ívsorra feszített sátor (1. ábra). Ennek íveit akkor alakíthatjuk ki gazdaságosan, ha figyelembe vesszük a ponyva rugalmas megtámasztó hatását az oldalirányú-elcsavarodó kihajlásukkal szemben.

A következőkben azt tűzzük ki célul, hogy kidolgozunk egy, a tervezésben közvetlenül is felhasználható módszert a ponyva rugalmas megtámasztó hatásának számításba vételére.

2. FELTEVÉSEK ÉS KÖZELÍTÉSEK

A rugalmasan megtámasztott ívek oldalirányú stabilitásproblémája csak arra az esetre van az irodalomban megoldva, amikor az oldalirányú rugalmas megtámasztások merevsége az ív hossza mentén állandó [4]. Ezért azzal a közelítéssel fogunk élni, hogy a ponyva merevségét valamilyen átlagos értékkel vesszük számításba, és ezt konstansként kezeljük az ív hossza mentén.

Magát a ponyvát lineárisan rugalmas ortotróp anyagnak tekintjük, s merevségeit az eredeti (szerelési) alakon számítjuk ki (kis alakváltozásos elmélet), azaz elhanyagoljuk a ponyva alakja megváltozásának hatását a merevségeire. Ennek következtében nem kell figyelembe vennünk sem a ponyva megtámasztó hatásából az ívekre jutó vertikális többleterőket, sem a ponyvára ható külső terhelésnek a ponyva merevségét befolyásoló szerepét. Ugyanezen okból vehetjük lineárisnak az ív alakváltozásakor fellépő megtámasztó erő összefüggését az ív eltolódásaival.

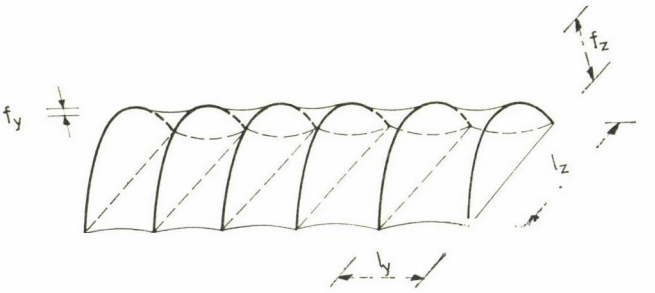
Feltételezzük, hogy a ponyva megfelelően hozzá van erősítve az ívekhez, s oly mértékben meg van feszítve, hogy az ív megtámasztásához szükséges húzást és nyomást egyaránt fel tudja venni.

A használatos ponyvaanyagok legtöbbje műanyagfilmmel kétoldalt bevont szövetből áll. Magának a szövetnek a két merőleges szál irányában tekintélyes húzási merevsége van, de nyírásra teljesen lágy. A műanyagfilmnek van mind húzási, mind nyírási merevsége, de ezek kicsik a szövet húzási merevségéhez képest. Így a teljes ponyvaanyagnak aránylag nagy húzási és aránylag kis nyírási merevsége van.

Dolgozatunkban e kétféle merevséget külön vesszük figyelembe. A 3. pontban csupán a ponyva kétirányú húzási merevségét vesszük számításba. Ehhez a ponyvát olyan kötélhálóval modellezhetjük, amelynek kötelei a két szál irányában futnak. Feltételezzük, hogy e két szálirány párhuzamos, illetve merőleges az ívek alaprajzi vetületére. Feltételezzük továbbá, hogy mind a két kötélsor lapos görbékből áll, s így az ennek megfelelő közelítéseket alkalmazhatjuk.

A ponyva nyírási merevségét a 4. pontban vesszük figyelembe.

Az egyes ívek közötti „belső" ponyvaszakaszok merevségét egymás között egyenlőnek tekintjük, de az ívsor végét a földhöz rögzítő „szélső" ponyvaszakasz merevsége ettől eltérhet.



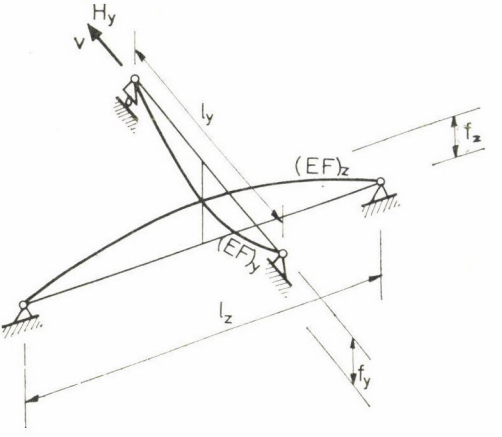
1. ábra. Ívsorra feszített sátorszerkezet

Feltételezzük, hogy valamennyi ív azonos keresztmetszetű, terhelésük totális és azonos intenzitású. (Ez utóbbi a szélső ívek szempontjából általában a biztonság javára szolgáló közelítést jelent.) Mivel az ívek a köztük levő rugalmas kapcsolat miatt egyszerre kell, hogy kihajoljanak, a fenti feltételből az is következik, hogy valamennyi ív kihajlási alakja azonos lesz.

3. A PONYVA HÚZÁSI MEREVSÉGÉNEK FIGYELEMBEVÉTELE

3.1. Az egyes ponyvaszakaszok merevsége

Egy kettős görbületű, kötélhálóval modellezhető ponyvaszakasz húzási merevségét azzal a közelítéssel számíthatjuk ki egyszerűen, hogy két, egymást keresztező egységnyi széles sávot ragadunk ki belőle, ezeket „reprezentáns"



2. ábra. A kétszer görbült ponyvaszakaszt reprezentáló kötélpár

kötelekként kezeljük, s feltételezzük, hogy valamennyi többi kötél a vele párhuzamos reprezentáns kötelekével egyező kötélerőt kap. Ily módon, a kötélhálókon elvégzett vizsgálatok szerint [5], általában elfogadható pontosságú közelítést kapunk.

Tekintsük a 2. ábrán vázolt, egymást keresztező kötélpárt a két ív közti ponyvaszakasz (1. ábra) két reprezentáns sávjának. Számítsuk ki az y irányú kötél egyik végpontjának y irányú v eltolódását az ugyanitt működtetett, ugyancsak y irányú H_y erő hatására.

Az y irányú kötél v eltolódása két részből tevődik össze. Az egyik rész a kötél H_y okozta megnyúlásából származik:

$$v_H = \frac{H_y l_y}{(EF)_y} \tag{1}$$

(a jelöléseket 1. a 2. ábrán; (EF) a kötél húzási merevsége); a másik rész pedig a rá merőleges kötélzet megnyúlásával kapcsolatos lehajlásból. Ehhez először is meghatározzuk az y irányú kötelekről a z irányúakra átadódó, egyenletesnek tekintett p terhet:

$$\begin{aligned} H_y &= \frac{p l_y^2}{8 f_y}\text{-ből} \\ p &= \frac{8 f_y H_y}{l_y^2}. \end{aligned} \tag{2}$$

Ebből a z irányú kötél középső lehajlása [5]:

$$w_z = \frac{3 p l_z^4}{128 f_z^2 (EF)_z}. \tag{3}$$

Az y irányú kötél ugyanekkora lehajlást szenved, s ennek folytán

$$v_w = \frac{16}{3} \frac{f_y}{l_y} w_z \tag{4}$$

vízszintes eltolódás jön létre a meghúzott végén [5].

Behelyettesítve (2)-t és (3)-at (4)-be:

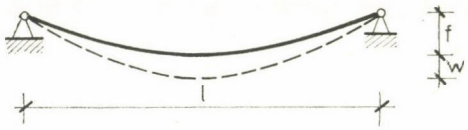
$$v_w = \frac{f_y^2}{f_z^2} \frac{l_z^4}{l_y^2 (EF)_z} H_y. \tag{5}$$

A ponyvaszakasz e rugómerevségét, vagyis az egységnyi elmozduláshoz szükséges erőt már most úgy kapjuk meg, hogy H_y-t elosztjuk a teljes v eltolódással, azaz (1) és (5) összegével:

$$c = \frac{H_y}{v_H + v_w} = \frac{1}{\dfrac{l_y}{(EF)_y} + \dfrac{f_y^2}{f_z^2} \dfrac{l_z^4}{l_y^3 (EF)_z}}. \tag{6}$$

Ez a rugómerevség az ív közepén érvényes; másutt nagyobb, mivel a feltételezett egyenletes p teher a 3. ábrán vázolt lehajlást okozza a kötelekben, azaz középen a legnagyobbat, másutt kisebbet. A biztonság javára azonban mindenütt a középső rugómerevséget tekintjük érvényesnek.

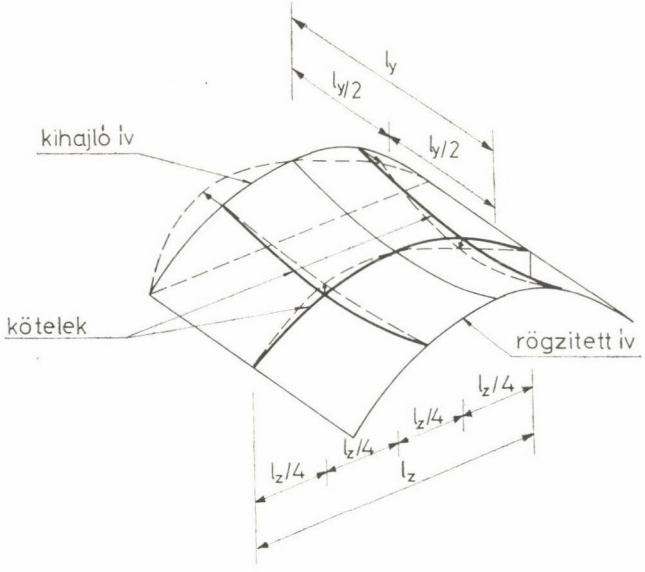
A bemutatott levezetés feltételezi, hogy a z irányú lefeszítő kötelek az alakváltozás során végig kifelé (vagy befelé) mozdulnak el. Ez az ívek egy félhul-



3. ábra. A kötél lehajlása egyenletes teher hatására

lámban bekövetkező kihajlásának felel meg. Két vagy több félhullám kihajlás esetében más helyzet áll elő. A 4. ábráról szemlélet alapján azt olvashatjuk le, hogy az y irányú kötelek az ív egyik felén megnyúlást, a másik felén megrövidülést szenvednének, de a z irányú kötélzet antimetrikus alakváltozása lehetővé teszi, hogy az y irányú kötelek belógásuk megváltoztatásával, hosszváltozás nélkül kövessék ezeket az elmozdulásokat. Így nincs szükség semmiféle erőre a kötélhálónak ehhez az alakváltozásához; a kötélzetnek tehát erre az alakváltozásra zérus lesz a rugóállandója.

Pontosabb vizsgálattal valószínűleg azt az eredményt kapnánk, hogy az y irányú kötelek kismértékű hosszváltozást is szenvednek. Mindenképpen a biztonság javára közelítünk azonban akkor, ha elhanyagoljuk a hosszváltozásból származó merevséget. A továbbiakban tehát így fogunk eljárni.



4. ábra. A kötélháló „nyúlásmentes alakváltozása" két félhullámú kihajlás esetében

Két vagy több félhullámú kihajlás esetében tehát a ponyvának csupán az eddigi tárgyalásunkban nem szereplő nyírási merevsége támasztja meg az íveket, 1. a 4. pontot.

3.2. Az egyes íveket megtámasztó rugóerő nagysága

Az egyes ponyvaszakaszok rugóállandóinak ismeretében a következőképpen határozhatjuk meg az ívsor egyes íveit megtámasztó, „hatékony" rugóállandó (c_{iv}) nagyságát:

A teljes szerkezetet az 5a. (5b.) ábrán vázolt módon modellezhetjük. Az ívek egységnyi hosszúságára ható rugók merevségét a szélső nyílásban c_{sz}-szel, a belső nyílásokban c_b-vel jelöljük. Kikötjük, hogy sem c_{sz}, sem c_b nem lehet végtelen nagy vagy zérus.

Mivel valamennyi ív terhelése és merevsége azonos, és a köztük levő kapcsolat miatt csak egyszerre hajolhatnak ki, a kihajlás közben végzett oldalirányú y elmozdulásuk egymáshoz viszonyított nagysága akkora kell legyen, hogy végeredményben mindegyik ívre azonos c_{iv} állandójú rugóerő hasson, azaz: az ívre kétoldalról ható rugóerők összege osztva az oldalirányú elmozdulással mindegyik ívre ugyanazt a c_{iv} értéket kell megadja.

Szemléletből is nyilvánvaló, hogy valamennyi ívnek azonos irányban kell kihajolnia, mivel ily módon fejtik ki a rugók a legkisebb összes ellenállást. Szemléletből azt is megállapíthatjuk, hogy a középen levő íveknek nagyobb y elmozdulásokat kell végezniük, mint a szélsőknek, hiszen másképp nem támaszthatnák meg őket a rugók. Végül azt is beláthatjuk, hogy az egyes ívek y elmozdulásainak nagysága az egész szerkezet szimmetriatengelyéhez képest szimmetrikusan oszlik meg, az egyes rugóerők nagysága viszont ennek megfelelően antimetrikusan változik. Így a szerkezet közepén, a szimmetriavonalban nem működhet rugóerő, itt tehát kettévághatjuk a szerkezetet. (Ha a szimmetriavonalban ív van, akkor ezt két fél ívre vágjuk ketté, melyek mindegyike az eredeti ív fele merevségeivel rendelkezik. Ekkor a két fél ívet összekötő kapcsolóelemben nem ébred erő, tehát ismét két önálló, fél szerkezethez jutunk.)

A rugókkal összekötött ívsor viselkedésének legjellegzetesebb vonásait az 5c. ábrán vázolt, rugókkal összekapcsolt ingasoron is szemléltethetjük. Itt az ingaoszlopoknak nincs saját merevségük, s csak egy-egy rugó köti őket össze, a rendszer tehát lényegesen egyszerűbb, mint az 5a, b ábrák ívsora, de a rugók hatását ez az egyszerű modell is jól mutatja.

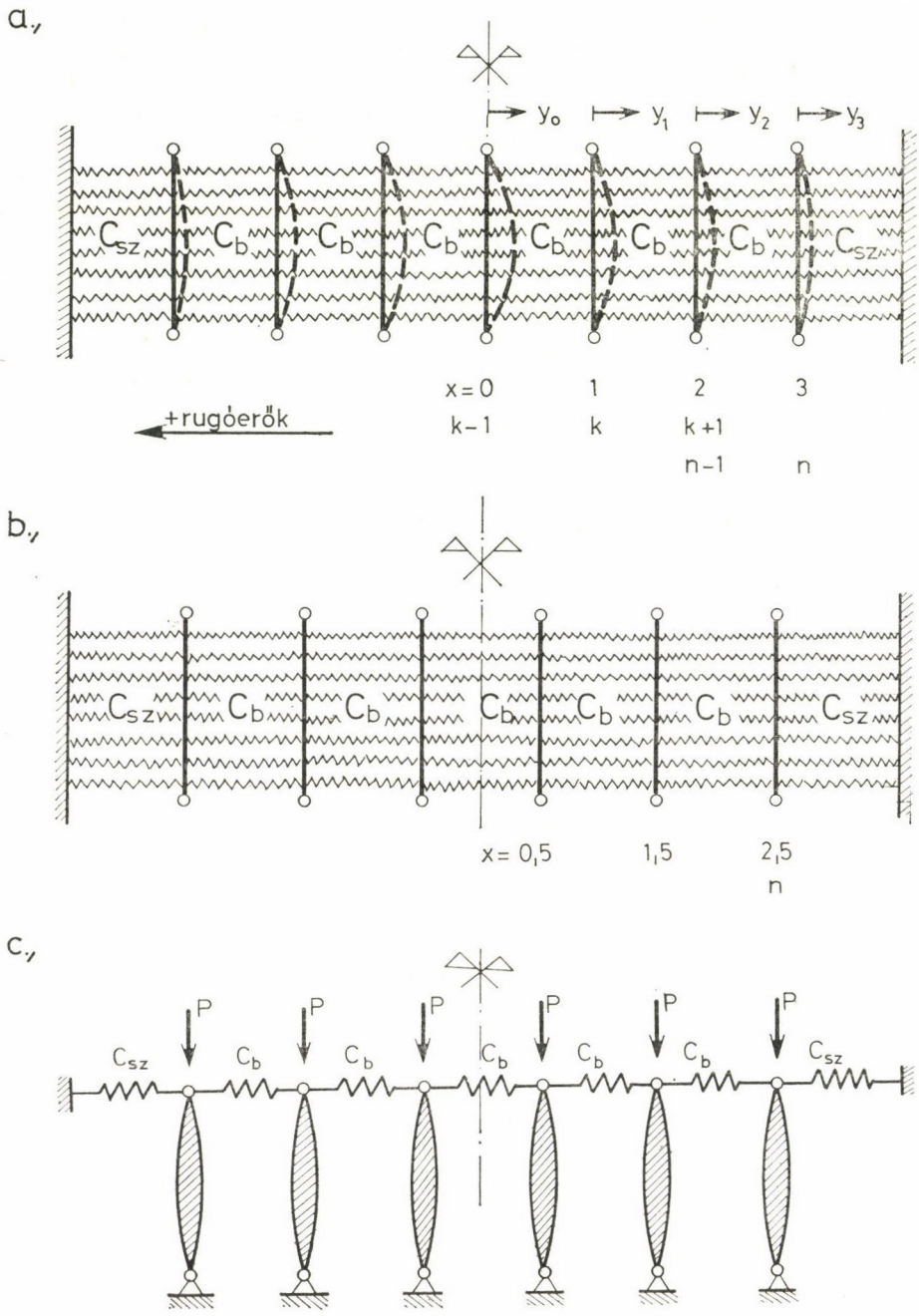
Az itt következő levezetés egyaránt érvényes mind az ingasorra, mind az ívsorra.

Levezetésünkhöz a differenciaszámítás szokásos jelöléseit alkalmazzuk. A szerkezet közepén kezdjük az ívek számozását. Ha középen ív van (5a. ábra), akkor e középső ívre $x = 0$, majd $x = 1$; 2 s i. t., s így egy osztásköz $\Delta x = 1$ lesz. Ha viszont a szerkezet közepén rugó van (5b. ábra), akkor az első ívre $x = 0{,}5$, majd 1,5; 2,5 s i. t., de egy osztásköz most is $\Delta x = 1$.

Mindezek alapján a következő összefüggéseket írhatjuk fel (l. [3]-at is):

Egy közbenső k-adik ívre az alábbi rugóerők hatnak (a rugóerőket az 5a. ábrán feltüntetett értelemben véve pozitívnak):

$$\begin{aligned} \text{balról:} &\quad -c_b(y_{k-1} - y_k); \\ \text{jobbról:} &\quad +c_b(y_k - y_{k+1}); \\ \text{összesen tehát:} &\quad -c_b[(y_{k+1} - y_k) - (y_k - y_{k-1})] = -c_b\Delta^2 y_k, \end{aligned} \tag{7}$$



5. ábra. A szerkezet modellezése a ponyvaszakaszok húzási merevségéből származó rugalmas megtámasztó hatás számításához

a) páratlan számú ívből álló szerkezet
b) páros számú ívből álló szerkezet
c) rugókkal összekapcsolt ingasor

vagyis az ívre ható rugóerők eredője az oldalirányú y elmozdulás második differenciahányadosával arányos. (A nevezőben nem írtuk ki a Δx-et ill. a $\Delta^2 x$-et, mivel $\Delta x = 1$.)

A rugóállandó a rugóerő és az elmozdulás hányadosa:

$$c_{iv} = -c_b \frac{\Delta^2 y_k}{y_k}. \tag{8}$$

Mivel c_{iv}-nek valamennyi ívre azonosnak kell lennie, (8) egy állandó együtthatójú, lineáris, homogén differenciaegyenlet:

$$\Delta_y^2 + \frac{c_{iv}}{c_b} y = 0. \tag{9}$$

Ennek megoldása:

$$y = A \cos \lambda x + B \sin \lambda x, \tag{10}$$

ahol

$$\lambda = \sqrt{\frac{c_{iv}}{c_b}}, \tag{11a}$$

azaz

$$c_{iv} = \lambda^2 c_b. \tag{11b}$$

Az y eltolódások említett szimmetrikus eloszlása miatt a (10) megoldásból csak a szimmetrikus részt kell megtartanunk, így tehát:

$$y = A \cos \lambda x. \tag{12}$$

A peremfeltételt az n-edik (szélső) ív szolgáltatja. A rá ható rugóerő nagysága:

$$\begin{aligned} &\text{balról: } - c_b(y_{n-1} - y_n); \\ &\text{jobbról: } + c_{sz} y_n; \\ &\text{összesen tehát: } - c_b(y_{n-1} - y_n) + c_{sz} y_n. \end{aligned} \tag{13}$$

A rugóállandó pedig:

$$c_{sz} = c_b \frac{y_{n-1} - y_n}{y_n}. \tag{14}$$

E rugóállandónak is meg kell egyeznie a közbenső ívekre ható c_{iv} rugóállandóval, amelyet (11b) szerint λ-val fejezhetünk ki. Ily módon a következő összefüggéshez jutunk:

$$c_{sz} + c_b \frac{y_n - y_{n-1}}{y_n} = c_b \lambda^2, \tag{15a}$$

azaz

$$\frac{c_{sz}}{c_b} + 1 - \lambda^2 - \frac{y_{n-1}}{y_n} = 0. \tag{15b}$$

A negyedik tag számlálója (12) alapján A cos $\lambda(n-1)$-gyel egyenlő, nevezője pedig A cos λn-nel. Így (15b)-t a következő alakba írhatjuk:

$$\frac{c_{sz}}{c_b} + 1 - \lambda^2 - \frac{\cos \lambda(n-1)}{\cos \lambda n} = 0. \tag{16}$$

Az eleddig ismeretlen λ-t és ezzel együtt a keresett c_{iv}-et (11) tehát a (16) transzcendens karakterisztikus egyenlet megoldása szolgáltatja. Mivel λ (11) szerint arányos c_{iv}-vel, ezért (16) gyökei közül a legkisebbet kell felhasználnunk, hogy a leggyengébb rugóállandót kapjuk meg, azaz a mértékadó kritikus erőhöz jussunk.

Az elmozdulások nagyságát megszabó A együttható határozatlan marad, mint a kihajlási amplitúdók általában.

A (16) transzcendens egyenlet legkisebb gyökének megkereséséhez tájékoztatást nyújt az a megfontolás, hogy c_{iv}-nek kisebbnek kell lennie, mint a két szélső rugóállandó összege, elosztva az összes ív darabszámával, azaz

$$c_{ix} < \frac{2c_{sz}}{2(n + 0{,}5)}, \tag{17}$$

vagyis, (11b)-t figyelembe véve:

$$\lambda < \sqrt{\frac{c_{sz}}{c_b(n + 0{,}5)}} \tag{18}$$

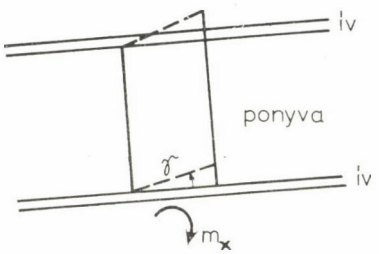
Ennek az az indokolása, hogy ha a belső ívek egymással végtelen merev rugókkal lennének összekötve, akkor válnék a (17) egyenlőtlenség egyenlőséggé. A belső rugók véges merevsége ehhez képest nyilvánvalóan csökkenti az íveket megtámasztó c_{iv} merevséget.

4. A PONYVA NYÍRÁSI MEREVSÉGÉNEK FIGYELEMBEVÉTELE

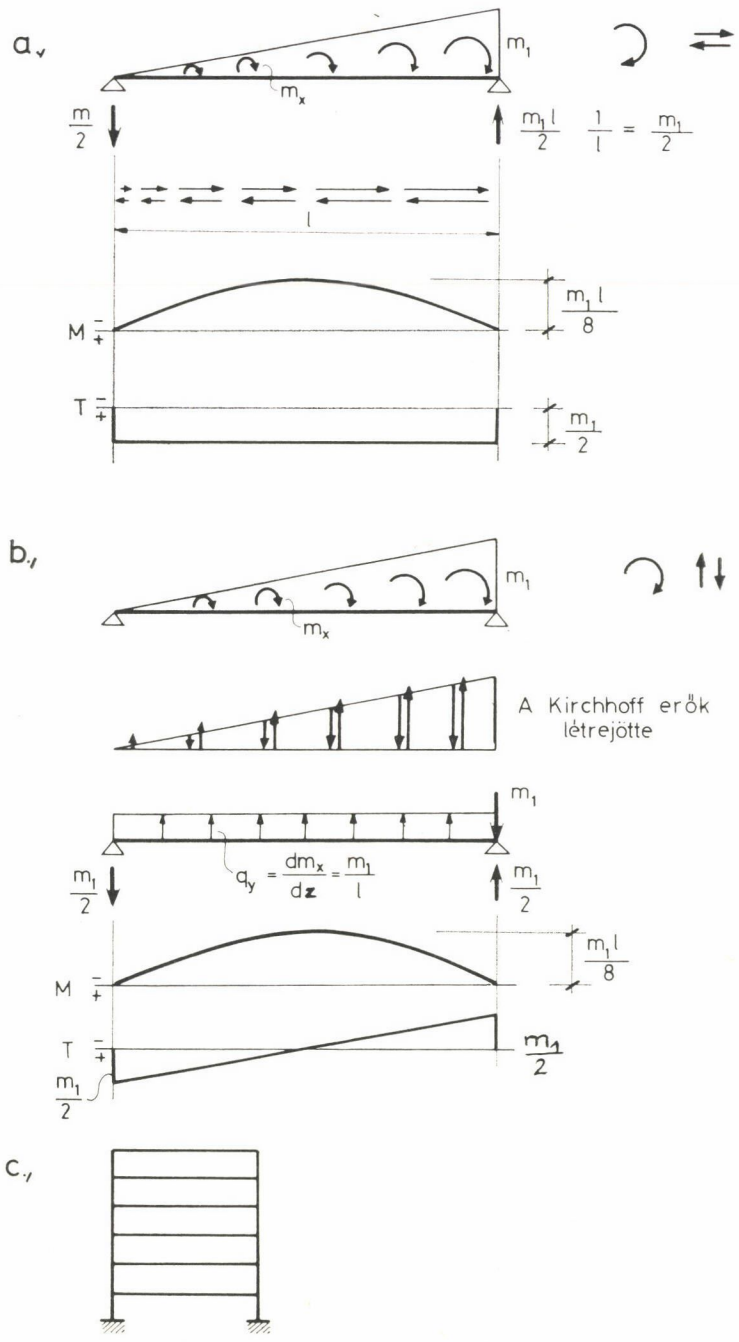
A ponyvának a nyírási alakváltozással szemben tanúsított ellenállása megoszló nyomaték formájában hat az ívre (6. ábra). A következőkben tehát először is néhány alapvető kérdést kell tisztáznunk a megoszló nyomatékteherrel kapcsolatban.

4.1. A megoszló nyomaték fajtái

Vegyük szemügyre a 7. ábrán vázolt kéttámaszú gerendatartót, amelyre lineárisan növekvő megoszló, a tartó síkjában működő hajlítónyomaték-teher működik. Vizsgáljuk meg először azt az esetet, amikor a megoszló nyomatékokat a gerenda tengelyével párhuzamos erőpárok formájában adjuk át (pl. oldalról csatlakozó kétövű rácsostartók csavarónyomatékaként). Ekkor a gerenda nyo-



6. ábra. A ponyva nyírási merevsége által kifejtett megoszló nyomaték



7. ábra. A megoszló nyomaték átadásának esetei
a) a gerenda tengelyével párhuzamos erőpárok formájában
b) a gerenda tengelyére merőleges erőpárok formájában
c) példa b-re.

maték- és nyíróerőábráját a statika szabályai szerint megszerkesztve a 7a. ábrán vázolt diagramokhoz jutunk.

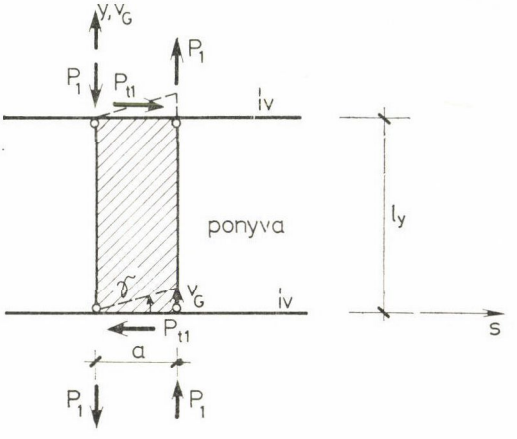
Ha azonban a megoszló nyomatékokat a gerenda tengelyére merőleges erőpárok formájában adjuk át (pl. a gerenda síkjában, a tengelyére merőlegesen csatlakozó függőleges rudak hajlítónyomatékaként, 1. a 7c. ábrát, amely a 7b. ábra 90°-kal elfordított változata), akkor e megoszló nyomatékok — a hajlított lemez peremén működő csavarónyomatékokból származó Kirchhoff-erőkhöz hasonlóan [6] — a gerenda tengelyére merőleges megoszló q_y erőket adnak eredőül, amelynek nagysága a megoszló nyomatékok első deriváltjával egyezik meg, a jelen esetben tehát egyenletes intenzitású lesz (7b. ábra). E q_y erőkből ugyanaz a nyomatékábra származik, mint a 7a. ábra esetében, de a nyíróerőábra eltér.

A gerenda jobb oldali végén, ahol tehát nem zérus a megoszló nyomaték intenzitása, de „hirtelen abbamarad", e „derivált"-nak megfelelően koncentrált erőnek kell ébrednie, hasonlóan a négyszögletes lemezek Kirchhoff-féle koncentrált sarokerőihez.

Amint látjuk tehát, a kétféleképpen átadott megoszló nyomaték ugyanazt a nyomatékábrát hozza létre, de a nyíróerő és az oldalirányú q_y erő szempontjából eltérő eredményeket szolgáltat. Ezért minden esetben a szerkezet statikai modellje alapján kell eldöntenünk, hogy melyik nyomaték-átadási móddal állunk szemben, s ennek megfelelően kell meghatároznunk az igénybevételeket.

4.2. A ponyva nyírási merevségének megtámasztó hatása

A ponyvát nyírási merevségének figyelembevételéhez a 8. ábrának megfelelően modellezzük, azaz az ív alaprajzi tengelyére merőlegesen keskeny (a szélességű) sávokra bontjuk, és e sávok mindegyikét összenyomhatatlan, csuklós rúdkerettel vesszük körül. A ponyva a G-vel jelölt pontban csatlakozzék az ív keresztmetszetéhez. Így a ponyva-sáv $\gamma = dv_G/ds$ eltorzulásához szükség nyíróerőket az ív az ábrán vázolt $P_1 a$ erőpárral és a Pt_1 tangenciális erővel tudja kifejteni. Az ív tehát egyrészt tengelyirányú megoszló P_{t1}/a erőt, másrészt $P_1 a/a = P_1$ nagyságú megoszló nyomatékot kap; a ponyvára viszont mind a



8. ábra. A ponyva modellezése a nyírási merevség megtámasztó hatásának számításához

P_t, mind a P_1 erőkből nyírófeszültségek adódnak át. (v_G a ponyva bekötési pontjának y irányú eltolódását jelenti.)

Mivel egy l_y szélességű ponyvaszakasz két ívhez csatlakozik, az egyik ívről

$$P_1 = \tau\delta\frac{l_y}{2} = G\delta\gamma\frac{l_y}{2} = G\delta\frac{l_y}{2}\frac{dv_G}{ds} \tag{19}$$

erőnek kell hatnia a ponyvára a γ szögtorzulás előidézéséhez. (Itt δ-val a ponyva vastagságát, G-vel a ponyva nyírási rugalmassági modulusát jelöltük.)

A megoszló nyomatékot ebben az esetben az ívtengelyre merőleges erőpárok adják át. A 4.1. pontban mondottak értelmében tehát e megoszló nyomaték deriváltja fog működni oldalirányú q_{y1} megoszló teher formájában:

$$q_{y1} = \frac{dP_1}{ds} = G\delta\frac{l_y}{2}\frac{d\gamma}{ds} = G\delta\frac{l_y}{2}\frac{dv_G^2}{ds^2} = g_1\frac{dv_G^2}{ds^2}, \tag{20a}$$

ahol

$$g_1 = G\delta l_y/2. \tag{20b}$$

Mivel a ponyva általában nem az ívtartó nyírásközéppontjának magasságában van bekötve, e külpontossággal a fentemlített q_{y1} erő megoszló csavaró-nyomatékot is kifejt az ívre. Ezen kívül ébred még a tengelyirányú

$$\frac{P_{t1}}{a} = \frac{\tau\delta a}{a} = G\delta\gamma = G\delta\frac{dv_G}{ds} \tag{21}$$

megoszló erő is.

A fenti adatok egy ponyvaszakaszról az egyik ívre jutó megtámasztó erőket adják meg. Erre utalnak az 1-es indexek. Mivel egy ívet általában két ponyvaszakasz merevít, ennek megfelelően a fenti értékek kétszeresét kell figyelembe vennünk. Egy ívre tehát

$$q_y = g\frac{d^2v_G}{ds^2} \tag{22a}$$

erő hat, ahol

$$g = 2g_1 = G\delta l_y. \tag{22b}$$

Megjegyezzük, hogy a fenti eredményt az elemi szilárdságtan segítségével is megkaphatjuk: ha két ívet a köztük levő ponyvaszakasszal együtt egyetlen gerinclemezes tartónak tekintünk, akkor a gerinclemez nyírási szögtorzulása a

$$\frac{dv_G}{ds} = \frac{T}{G\delta l_y} \tag{23a}$$

képletből számítható. Mivel

$$q_y = (-)\frac{dT}{ds}, \tag{23b}$$

így megkapjuk a (22) összefüggést (amely most egy teljes ponyvaszakasznak a két ívre gyakorolt összmerevségét adja meg).

A ponyva görbült volta önmagában nem változtatja meg a sík ponyvára meghatározott nyírási merevséget, mivel az alapul vett tiszta nyírási feszültségállapot a görbült felületben éppen úgy létrejöhet (pl. vékonyfalú zárt szelvények

csavarása esetén), mint a sík ponyvában. Csupán amiatt módosulhat a nyírási merevség, hogy a görbült ponyva ívhossza nagyobb az ívek l_y távolságánál, ez az eltérés azonban a 2. pontban a ponyva laposságára tett feltevésünk folytán elhanyagolható.

5. AZ ÍVEK VIZSGÁLATA OLDALIRÁNYÚ KIHAJLÁSRA

5.1. Vizsgálat a ponyva nyírási merevségének elhanyagolásával

Ha csupán a ponyva húzási merevségét vesszük figyelembe, akkor az ívek kihajlásvizsgálatát a 3. pontban mondottak alapján úgy kell elvégezni, hogy a (16) és (11) képletekből kiszámított c_{iv} alapulvételével meghatározzuk az oldalirányban rugalmasan megtámasztott ív kritikus nyomóerejét, az ív végeinek megtámasztásmódjától függően az [1]-ben közölt módon, egy kihajlási félhullámot alapul véve (első, szimmetrikus kihajlási alak). Ezenkívül kiszámítjuk a szabad ív ($c_{iv} = 0$) két félhullámú kihajlásához (második, antimetrikus kihajlási alak) tartozó kritikus nyomóerőt is. A kettő közül a kisebbik lesz a mértékadó.

5.2. A ponyva húzási és nyírási merevségének figyelembevétele

Ha a ponyvának mindkét fajta merevségét figyelembe vesszük, akkor az 5.1. pontban leírtak értelmében úgy kell eljárnunk, hogy egy félhullámú kihajlásra (az első kritikus alakhoz) mind a húzási, mind a nyírási merevséget figyelembe véve számítjuk ki a kritikus erőt [4], [1], a két (vagy több) félhullámú kihajláshoz (a második, antimetrikus kihajlási alakhoz) pedig csupán a nyírási merevséget vesszük figyelembe, vagyis az egyenletekben $c_{iv} = 0$-t helyettesítünk.

Szemléletből is nyilvánvaló, hogy a ponyvának mind a húzási, mind a nyírási merevsége növeli az ív kritikus terhét.

6. SZÁMPÉLDÁK

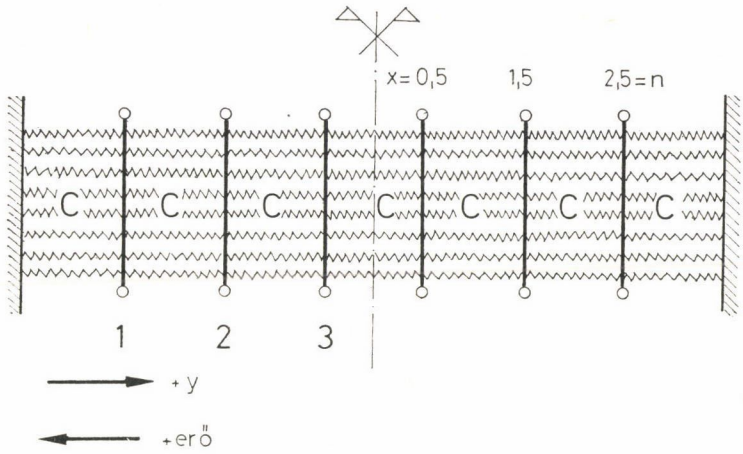
6.1. Ellenőrző számpélda

Számítsuk ki a 9. ábrán vázolt, összesen hat ívből álló sátorszerkezet egy-egy ívét megtámasztó c_{iv} rugómerevséget. A szélső és a belső rugók merevsége legyen azonos ($c_{sz} = c_b = c$). Végezzük el a számítást mind az itt bemutatott módszerrel, mind pedig úgy, hogy közvetlenül oldjuk meg az egyes ívekre felírt egyenleteket (pontos módszer).

6.1.1. A dolgozatban bemutatott módszerrel:

A szélső ívre: $n = 2{,}5$ (vö. az 5b. ábrával) A (16) egyenlet:

$$1 + 1 - \lambda^2 - \frac{\cos 1{,}5\lambda}{\cos 2{,}5\lambda} = 0.$$



9. ábra. Az ellenőrző számpéldához alapul vett szerkezet modellje

(18) szerint:

$$\lambda < \sqrt{\frac{1}{2{,}5 + 0{,}5}} = 0{,}58.$$

Próbálgatással:

$$\lambda = 0{,}448,$$

azaz, (11b)-nek megfelelően:

$$c_{iv} = 0{,}201c.$$

6.1.2. Az egyenletek közvetlen megoldásával:

Az egyes ívek „sorszáma" az 5b. ábra szerint törtszám lenne. Ezért az írásmód egyszerűsítése céljából a szerkezet bal oldalán 1-től kezdve egész számokkal számozzuk meg az íveket, s ezekre írjuk fel az egyenleteket. Az egyes ívek elmozdulását y-nal jelöljük. Az egyes ívekre ható rugóerők:

1. ív: $cy_1 - c(y_2 - y_1)$,
2. ív: $c(y_2 - y_1) - c(y_3 - y_2)$,
3. ív: $c(y_3 - y_2)$ (a középső rugóban nem ébred erő).

Az egyes ívekre ható c_{iv} rugóállandót ezekből az erő-értékekből a megfelelő y elmozdulással történő osztással kapjuk meg. Mivel c_{iv} mindegyik ívre egyforma nagyságú kell legyen, ezért felírhatjuk, hogy

$$c_{iv} = \frac{c(2y_1 - y_2)}{y_1} = \frac{c(2y_2 - y_1 - y_3)}{y_2} = c_{iv}, \qquad \text{(a)}$$

és:

$$\frac{c(2y_2 - y_1 - y_3)}{y_2} = \frac{c(y_3 - y_2)}{y_3} = c_{iv}. \qquad \text{(b)}$$

Az (a) egyenletből:

$$y_2 = \sqrt{y_1^2 - y_1 y_3}. \qquad \text{(c)}$$

Ezt (b)-be helyettesítve az alábbi negyedfokú egyenletet kapjuk $\eta_3 = y_3/y_1$-re:

$$\eta_3^2 - \eta_3 \sqrt{1 + \eta_3} - 1 = 0.$$

Próbálgatással:

$$\eta_3 = 2{,}25,$$

azaz

$$y_3 = 2{,}25\, y_1,$$

és (c)-ből:

$$y_2 = 1{,}80\, y_1.$$

A c_{iv} merevséget megkaphatjuk akár (a)-ból, akár (b)-ből:

$$c_{iv} = 0{,}200\, c,$$

ami gyakorlatilag megegyezik a dolgozatban közölt módszerrel kapott c_{iv}-vel.

6.2. Egy megépült sátorszerkezet vizsgálata

Határozzuk meg a 10. ábrán vázolt sátorszerkezet ponyvájának az íveket megtámasztó húzási és nyírási merevségeit. Az ábrán nem szereplő adatok a következők:

A ponyva 1 m széles sávjának húzási merevségei [2] alapján:

$$(EF)_y = E_y \delta = 737{,}7 \text{ kN/m}$$

$$(EF)_z = E_z \delta = 257{,}7 \text{ kN/m}$$

$$G\delta = 24{,}0 \text{ kN/m}$$

Egy belső ponyvaszakasz húzási merevsége (6) szerint (1. a 10. ábrát):

$$c_b = \frac{1}{\dfrac{9}{737{,}7} + \dfrac{1{,}5^2}{6^2}\,\dfrac{18^4}{9^3 \cdot 257{,}7}} = 21 \text{ kN/m}^2;$$

A ferde irányú szélső ponyvaszakasz merevségét a 10. ábra B—B metszete alapján számítjuk ki a (6) képlettel:

$$c_{sz}^{\text{ferde}} = \frac{1}{\dfrac{6{,}5}{737{,}7} + \dfrac{0{,}40^2}{3{,}1^2}\,\dfrac{12{,}7^4}{6{,}5^3 \cdot 257{,}7}} = 67{,}0 \text{ kN/m}^2.$$

Ebből meg kell határoznunk a szélső ív $\Delta^{\text{vízsz}} = 1$ eltolódásakor ébredő rugóerőt (11. ábra).

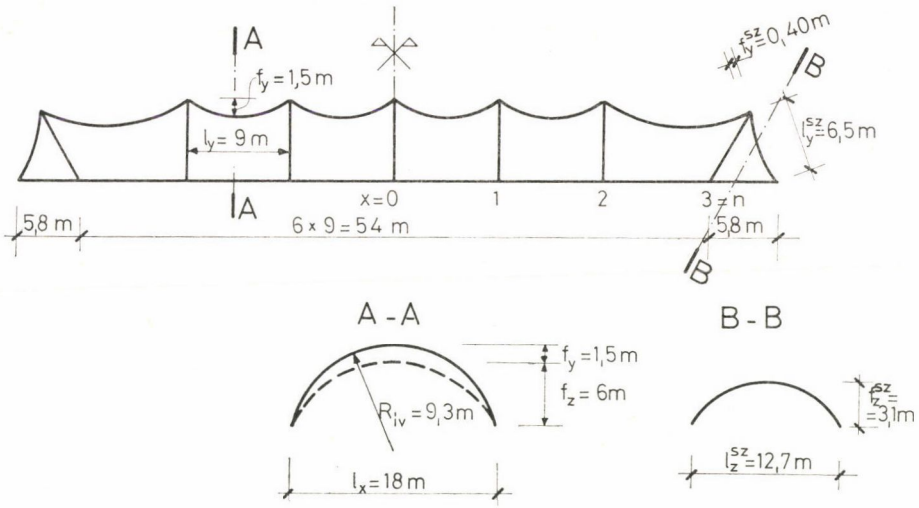
Mivel $\quad \Delta^{\text{vízsz}} = \Delta \sin \alpha = 0{,}872 \Delta$

és $\quad \Delta^{\text{sz}} = \Delta \sin (\alpha + \beta) = 0{,}731 \Delta,$

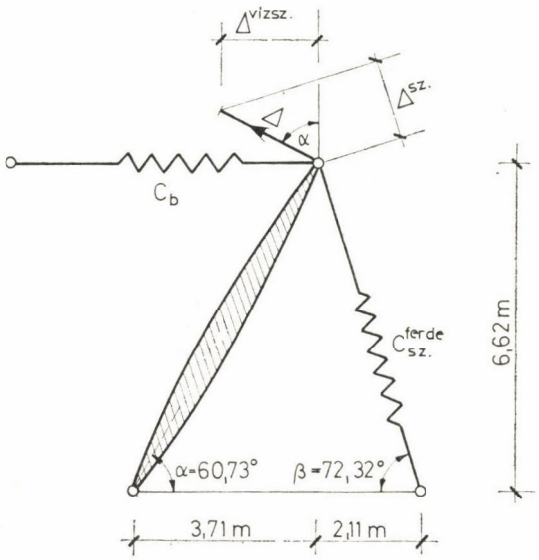
ezért $\quad \Delta^{\text{sz}} = \dfrac{0{,}731}{0{,}872}\, \Delta^{\text{vízsz}} = 0{,}838\, \Delta^{\text{vízsz}}.$

Így $\Delta^{\text{vízsz}} = 1$-ből

$$c_{sz}^{\text{vízsz}} = 0{,}838 \cdot 67{,}0 = 56{,}1 \text{ kN/m}^2$$



10. ábra. A megépült sátorszerkezet méretei



11. ábra. A ferde rugómerevség átszámítása vízszintessé

rugóerő keletkezik, vagyis a szélső szakasz számításba veendő rugómerevsége:

$$c_{sz} = 56{,}1 \text{ kN/m}^2.$$

Mivel a szerkezet összesen hét ívet tartalmaz, az 5a. ábra szerint a szélső ívre $n = 3$.

A (16) egyenlet:

$$2{,}671 + 1 - \lambda^2 - \frac{\cos 2\lambda}{\cos 3\lambda} = 0$$

(18) alapján:

$$\lambda < \sqrt{\frac{56{,}1}{21\,3 + 0{,}5}} = 0{,}874.$$

Próbálgatással:

$$\lambda = 0{,}465,$$

és (11b) szerint:

$$c_{iv} = 4{,}54 \text{ kN/m}^2.$$

Egy ponyvaszakasz nyírási merevségéből (20) szerint

$$q_{y1} = 24{,}0 \frac{9}{2} \frac{d^2 v_G}{ds^2} = 108 \frac{d^2 v_G}{ds^2} \text{ kN/m}$$

megoszló erő hat, egy ívre tehát ennek kétszerese jut:

$$q_y = 216 \frac{d^2 v_G}{ds^2} \text{ kN/m},$$

azaz (22) szerint:

$$g = 216 \text{ kN}.$$

Jóllehet a két merevségi jellemző (c_{iv} és g) dimenziójuk különbözősége miatt nem mérhető közvetlenül össze, a kapott számértékek mégis azt mutatják, hogy a ponyvaanyag aránylag nagy húzási merevségéből kis c_{iv} származik, a ponyva aránylag kis nyírási merevségéből pedig nagy g. Ennek az a magyarázata, hogy c_{iv} egyrészt az ívek számának növekedésével egyre kisebb lesz (a (17)—(18) képletekhez fűzött indokolásnak megfelelően), másrészt fordítva arányos a ponyvaszakaszok hosszával. Ezzel szemben g nem függ az ívek számától, mivel mindegyik ívet a hozzá csatlakozó két ponyvaszakasz merevíti, s ezenkívül a 4,2. pontban tett feltevésünk szerint g nagysága egyenesen arányos a ponyvaszakaszok hosszával.

A P_t tengelyirányú erőt nem számítjuk ki, mivel a stabilitásvizsgálatban másodrendűen kicsiny mennyiséget ad, így elhanyagolandó az elsőrendű tagok mellett.

A fenti adatokkal a [4] dolgozatban végezzük el az ív stabilitásvizsgálatát az 5. pontban leírt elvek szerint.

IRODALOM

[1] Bódi I.: Befogott végű, oldalirányú eltolódás és elfordulás ellen rugalmasan megtámasztott ívek oldalirányú kihajlása. Építés- Építészettudomány (megjelenés alatt).

[2] Harnach, R.—Hartmann, B.—Niemann, H.—J.: Stresses and Deformations of Pneumatic Structures under Wind Load and Internal Pressure. Paper presented and the IASS Symposium on Shell and Spatial Structures: The Development of form. Morgantown, 1978. Megjelent még: Research Report. IASS Working Group of Pneumatic Structures. (Chairman: Y. Tsuboi), Yokohama National University Japan, 1978. 125—150 old.

[3] Kármán T.—Biot, M. A.: Matematikai módszerek műszaki feladatok megoldására. 2. kiadás. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.

[4] Kollár L.—Bódi I.: Oldalirányú eltolódás és elfordulás ellen rugalmasan megtámasztott ívek oldalirányú stabilitása. Építés- Építészettudomány (megjelenés alatt).

[5] Szabó J.—Kollár L.: Függőtetők számítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974.

[6] Timoshenko, S.—Woinowsky-Krieger, S.: Lemezek és héjak elmélete. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.

Dr. KOLLÁR LAJOS,
a műszaki tudományok doktora

LÉCRÁCSHÉJAK KONTINUUM-EGYENLETEI

1. BEVEZETÉS

Nagy terek lefedésének egyik szellemes megoldása a (többnyire fából készült) lécrácshéj [2], amelyet úgy építenek meg, hogy a földön négyzethálós (vagy más) alakban lazán összecsavarozzák a folytatólagos léceket (1. kép), majd felemelik a kívánt alakú felületre, s e helyzetben rögzítik a peremeken (2. kép). A lécek e művelet során általában kétirányú hajlítást és csavarást szenvednek, s egymással bezárt szögük, amely eredetileg derékszög volt, eltorzul.

A következőkben célul tűzzük ki a lécrácshéj belső erőit és alakváltozásait leíró kontinuum-differenciálegyenletek felírását.

2. FELTEVÉSEK

Az egyes lécek folytonosak; egymáshoz a csomópontokban csavarokkal vannak rögzítve, amelyek akadálytalanul lehetővé teszik, hogy a két léc a héjfelület érintősíkjában egymáshoz képest elforduljon.

A lécek egyik keresztmetszeti főiránya merőleges a héjfelületre, a másik beleesik az érintősíkba.

A lécek hosszváltozása elhanyagolhatóan kicsi.

A lécrácshéj felülete oly mértékben laposnak tekinthető, hogy érvényesek rá a laposhéj-elmélet közelítései, így az is, hogy az alaprajzban derékszögű négyzet- (vagy táglalap-)háló a héjfelületen elhelyezkedve is közelítően derékszögű háló marad.

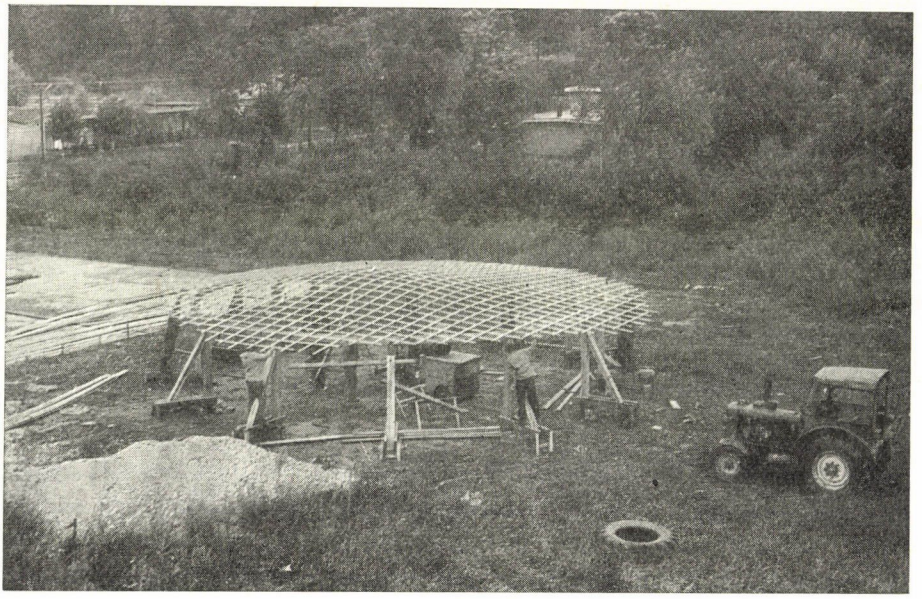
A lécek elég sűrűn helyezkednek el ahhoz, hogy a lécrácshéj belső erőit egy kontinuum metszeterőivel írhassuk le. Ehhez az egyes lécekben fellépő erőket, ill. nyomatékokat el kell osztanunk a lécre merőleges b_x (vagy b_y) távolsággal, hogy fajlagos erőket, ill. nyomatékokat kapjunk. E közelítés jogosságának feltételeit [4]-ben tisztáztuk.

A kontinuum harántkontrakciós tényezőjét zérusnak vesszük ($\nu = 0$).

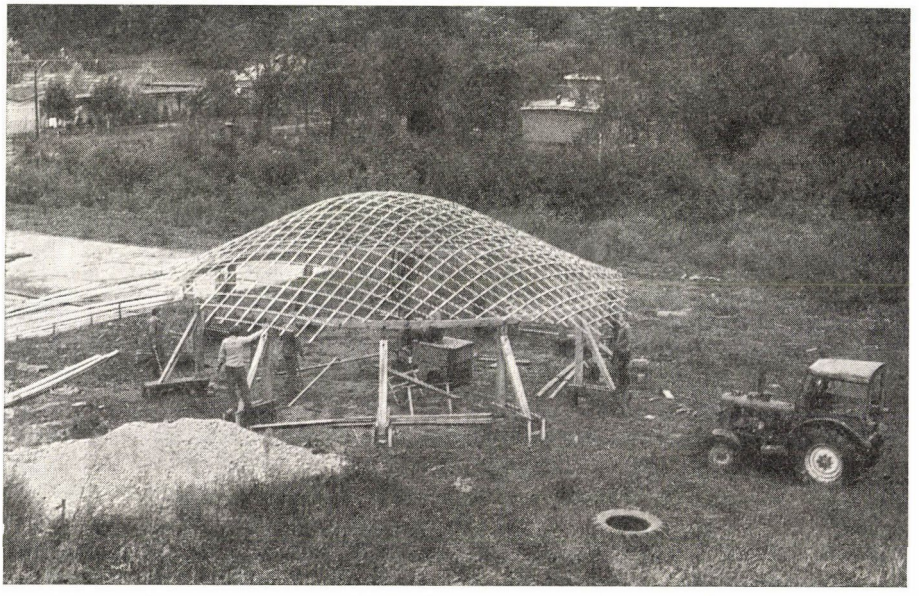
A szerkezetre csak függőleges p_z teher hat.

3. AZ EGYENSÚLYI EGYENLETEK

A lécrácshéjban a 3a, 4a és 5. ábrákon vázolt belső erők ébrednek. Ezek közül a 3a. és 4a. ábrán szereplőknek van egyenértékű párjuk a folytonos hajlított laposhéjban (3b. és 4b. ábrák). Az 5. ábrán látható belső lécrácserőknek megfelelő erők azonban már nincsenek meg a folytonos héjban, így a lécrácshéjnak egy magasabbrendű, általánosabb (poláros) kontinuum felelhet csak meg, amelyben megvannak az 5. ábrának megfelelő belső erők is.



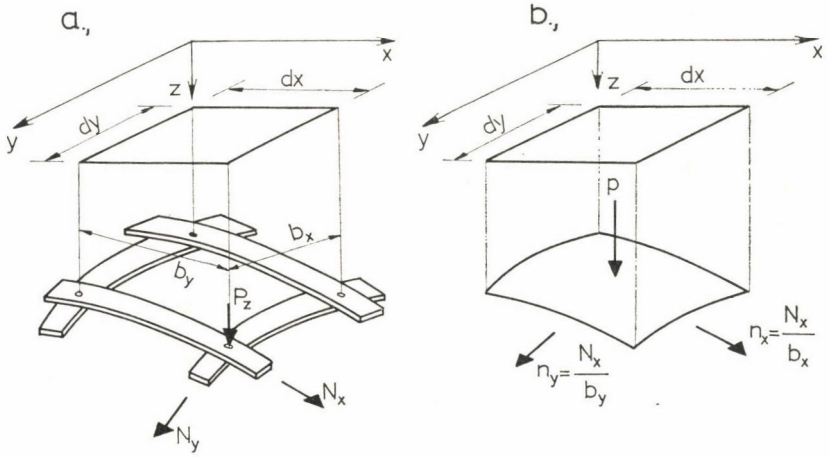
1. ábra



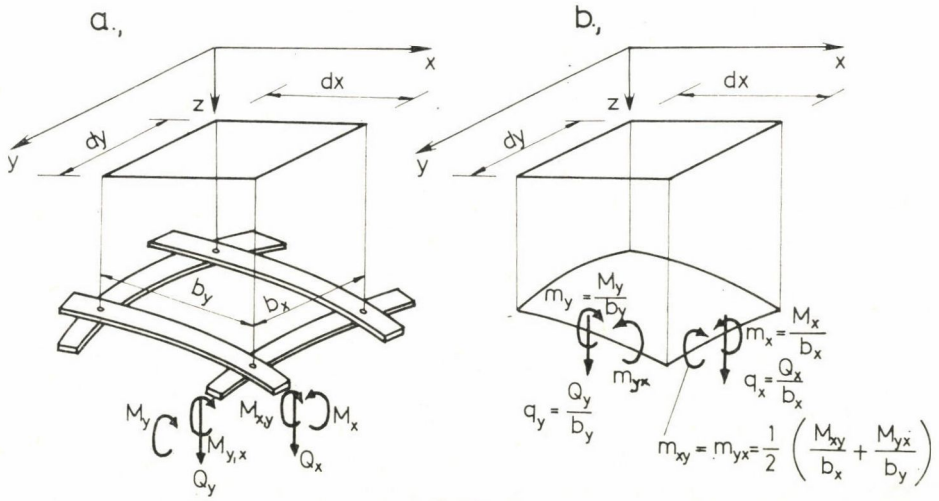
2. ábra

A 3. ábra erőivel kapcsolatban azt kell megemlítenünk, hogy a lécrácshéjban nem ébred a folytonos héj n_{xy} membrán-nyíróerejének megfelelő erő, mivel az egyes négyzeteknek önmagukban nincs nyírási ellenállásuk. Ezért szerepel a 3b. ábrán $n_{xy} = n_{yx} = 0$. Az 5. ábrán látható $T_{z,x}$ és $T_{z,y}$ nyíróerők ugyan látszólag a folytonos héj n_{xy} és n_{yx} erőinek felelnek meg, valójában azonban alapvető különbség van köztük. $T_{z,x}$ és $T_{z,y}$ az egymásra merőleges léceknek, mint a héj érintősíkjában hajlított tartóknak a „saját" nyíróerői, ezek azonban nincsenek egymással az $n_{xy} = n_{yx}$ összefüggésnek megfelelő közvetlen kapcsolatban, mivel két, egymástól független hajlított tartóban keletkeznek, s ezért nem egymással, hanem e tartók hajlítónyomatékának megváltozásával tartanak egyensúlyt.

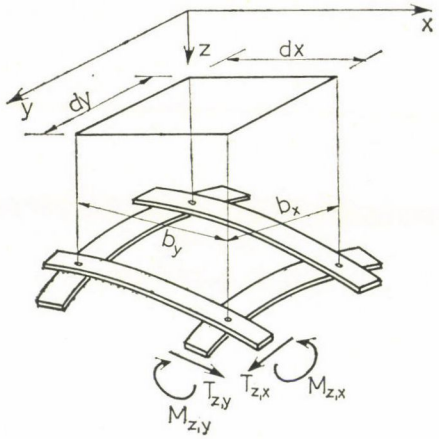
A lécrácsnak ezt a tulajdonságát úgy is megfogalmazhatjuk, hogy nincs közvetlen nyírási ellenállása: a 6a. ábrán vázolt alakváltozás (γ = konst.) ellen-



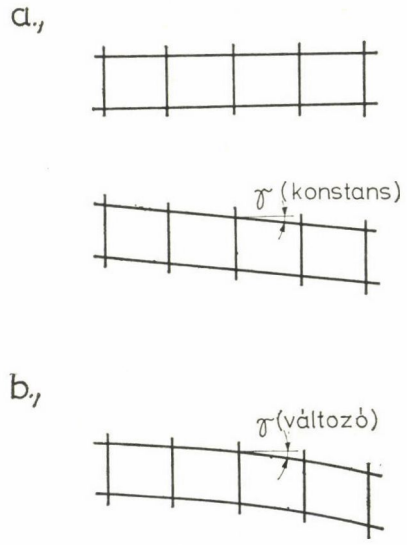
3. ábra



4. ábra



5. ábra



6. ábra

állás nélkül létrejöhet benne. Van viszont ellenállása a 6b. ábrán látható alakváltozással szemben, amely γ megváltozásából áll. Ez a gerenda érintősíkbeli hajlítási merevsége, amely az 5. ábrán szereplő belső erőkkel van kapcsolatban.

Az említett $T_{z,x}$, ill. $T_{z,y}$ nyíróerő közvetlen kapcsolatban áll a másik irányú léc derékerőjével: amennyivel csökken egy keresztezési pontban $T_{z,x}$ (ill. $T_{z,y}$), annyival növekszik itt N_y (ill. N_x).

Mindezek alapján derékszögű koordinátarendszerben a következő egyensúlyi egyenletek adódnak a helyettesítő kontinuum metszeterőire (az x szerinti deriválást vesszővel, az y szerintit ponttal jelölve):

Vetületi egyensúly az x és az y irányban:

$$\frac{T_{z,y}}{b_y} = n'_x, \tag{1}$$

$$\frac{T'_{z,x}}{b_x} = n_y. \tag{2}$$

A z irányban vett vetületi egyensúlyi egyenletet a laposhéj-elmélet alapján [1], [1a] így írhatjuk fel (figyelembe véve, hogy $n_{xy} = 0$):

$$n_x(z'' + w'') + n_y(z\cdot\cdot + w\cdot\cdot) + q'_x + q_y + p_z = 0. \tag{3}$$

Ebben az egyenletben

z — a héjfelületnek az xy síktól mért ordinátája terheletlen állapotban („szerelési alak"),

w — a héjfelület pontjainak a felületre merőleges eltolódása. Az y és az x tengely körül forgató nyomatékok egyensúlyát szintén a laposhéj-elméletből vehetjük át:

$$m'_x + m_{xy} - q_z = 0, \tag{4}$$

$$m'_{xy} + m_y - q_y = 0. \tag{5}$$

Végül a z tengely körül forgató nyomatékok egyensúlyát nem szükséges külön felírnunk, mivel ezt a követelményt a lécekre, mint a héj érintősíkjában hajlított tartókra érvényes $T_{z,x} = M'_{z,x}$, ill. $T_{z,y} = M_{z,y}$ összefüggések biztosítják.

A (3) egyenletben a görbületek kifejezésében $z - n$ kívül w deriváltjait is szerepeltettük, azaz ezt az egyenletet nem az „eredeti" (z-vel meghatározott) alakra írtuk fel, hanem a (terhelés folytán) megváltozott alakra, vagyis a „nagy alakváltozásos" elméletet használtuk. Ha megelégszünk a „kis alakváltozásos" elmélettel, akkor (3)-ból törölhetjük a két w-deriváltat.

4. A METSZETERŐK KIFEJEZÉSE AZ ELTOLÓDÁSOKKAL

Ha az x, ill. y irányú eltolódást u-val, ill. v-vel jelöljük, akkor a folytatólagos léceknek, mint a héjfelület érintősíkjában hajlított tartóknak a belső erői a szokásos képletekkel fejezhetők ki:

$$v'' = -\frac{M_{z,x}}{EI_{z,x}}, \tag{6a}$$

$$v''' = -\frac{T_{z,x}}{EI_{z,x}}, \tag{6b}$$

$$v'''' = -\frac{T'_{z,x}}{EI_{z,x}}; \tag{6c}$$

$$u\cdot\cdot = -\frac{M_{z,y}}{EI_{z,y}}, \tag{7a}$$

$$u''' = -\frac{T_{z,y}}{EI_{z,y}}, \tag{7b}$$

$$u'''' = -\frac{T_{z,y}}{EI_{z,y}}. \tag{7c}$$

Ezekben a képletekben $EI_{z,x}$, ill. $EI_{z,y}$ az x, ill. y irányú léc-gerendáknak a héj érintősíkjában bekövetkező hajlítás során szerephez jutó (azaz a z tengelyre vonatkozó) hajlítási merevsége.

A továbbiakban u_0, v_0-val fogjuk jelölni a szerelési alak előállítása során keletkező x, y irányú eltolódásokat, a terhelés hatására létrejövőket pedig u, v-vel.

A (4) és (5) egyenletekben szereplő lemeznyomatékok a héjfelület görbületeivel és elcsavarodásával, valamint a héjfelületre merőleges w elmozdulással fejezhető ki:

$$m_x = -\frac{EI_x}{b_z}(z'' + w''), \tag{8}$$

$$m_y = -\frac{EI_y}{b_y}(z'' + w''), \tag{9}$$

$$m_{xy} = -\frac{1}{2}\left(\frac{GI_{tx}}{b_x} + \frac{GI_{ty}}{b_y}\right)(z'\cdot + w'\cdot), \tag{10}$$

ahol EI_x, ill. EI_y az x, ill. y irányú léc-gerendáknak a héjra merőleges síkban bekövetkező hajlításakor szerephez jutó hajlítási merevsége, GI_{tx}, ill. GI_{ty} pedig ugyanezen gerendáknak a csavarási merevsége.

A (8)—(10) egyenletekben z második deriváltjai azt fejezik ki, hogy a lécekben a kívánt szerelési alakba történő meggörbítés okozza a nyomatékok egy részét, w második deriváltjai pedig azt mutatják, hogy más részüket a z szerelési alaktól mért w elmozdulás hozza létre.

Most még az (1) és (2) egyenletekben szereplő n_x és n_y derékerőket kellene kifejeznünk a saját lécek irányába eső eltolódásokkal. Ez azonban a lécek nyúlásmentességére vonatkozó feltevésünk miatt nem lehetséges. Helyette magának a nyúlásmentességnek a feltételét tudjuk felírni.

A szerelési alak előállítása során fennálló nyúlásmentesség feltétele nem fejezhető ki egyszerű egyenlettel, mivel a szerelési alak z ordinátája semmiképpen sem tekinthető „kis" eltolódásnak. E követelmény teljesülését tehát egy, a nagy eltolódásokra is érvényes módszerrel kell leírnunk, amilyen pl. [3]-ban található, s amely megadja a z-hez tartozó u_0 és v_0 eltolódásokat.

A terhelés hatására bekövetkező alakváltozás nyúlásmentes voltát a kis elmozdulásokra érvényes

$$u' - w(z'' + w'') = 0 \tag{11}$$

és

$$v\cdot - w(z'' + w'') = 0 \tag{12}$$

egyenletek fejezik ki, l. pl. [6]-ban. Ezekből az egyenletekből a legtöbb esetben elhagyhatjuk a w'' és w'' tagokat, mert kicsik z megfelelő deriváltjaihoz képest.

Az n_x és n_y derékerőket azonban összefüggésbe tudjuk hozni a merőleges lécek u, v eltolódásaival, mégpedig oly módon, hogy $T'_{z,x}$-t és $T_{z,y}$-ot (6c)-ből és (7c)-ből kifejezzük és behelyettesítjük (1)-be és (2)-be (különválasztva u_0, v_0-t és u, v-t):

$$n'_x = -\frac{EI_{z,y}}{b_y}(u_0'''' + u''''), \tag{13}$$

$$n'_y = -\frac{EI_{z,x}}{b_x}(v_0'''' + v''''). \tag{14}$$

5. AZ EGYENLETEK FELÍRÁSA AZ ELTOLÓDÁSOK SEGÍTSÉGÉVEL

Helyettesítsük be (8), (9), (10)-et (4)-be és (5)-be, majd fejezzük ki belőlük q_x-et és q_y-t és helyettesítsük be (3)-ba:

$$\begin{aligned} &n_x(z'' + w'') + n_y(z'' + w'') - \frac{EI_{x,n}}{b_x}(z'''' + w'''') - \\ &- \left(\frac{GI_{tx}}{b_x} + \frac{GI_{ty}}{b_y}\right)(z''\cdot\cdot + w''\cdot\cdot - \frac{EI_{y,n}}{b_y}(z'''' + w'''') + p_z = 0. \end{aligned} \tag{15}$$

Ehhez járul még a két nyúlásmentességi egyenlet, (11) és (12), amelyeket a szerelési alak meghatározásakor az említett, [3]-ban található módszerrel kell pótolnunk.

Ily módon tehát három egyenletünk van a három eltolódásfüggvényre, de (15)-ben szerepel még n_x és n_y, s ezeket nem tudjuk kiküszöbölni. E három egyenlethez tehát hozzá kell még vennünk (13)-at és (14)-et, azaz öt egyenletünk lesz az öt ismeretlen mennyiségre (n, v, z azaz w, n_x, n_y).

6. AZ EGYENLETEK MEGOLDÁSI ELVE

Egyenletrendszerünket két különböző esetre kell megoldanunk: a szerelési alak előállítására és a terhekre.

Ha a *szerelési alakot* akarjuk vizsgálni, akkor

$$u = v = w = 0. \tag{16}$$

Felvesszük a kívánt $z(x, y)$ szerelési alakot, célszerűen valamilyen függvénysor formájában. Meghatározzuk (pl. [3] alapján) az ehhez tartozó u_0, v_0 függvényeket, azaz a lécek vízszintes eltolódásait, s ebből (13)-ból és (14)-ből n'_x-t és n'_y-ot. Integrálással előállítjuk n_x-et és n_y-t, majd behelyettesítjük (15)-be. Így z-re kapunk egy feltételi egyenletet, amelyben még az n_x és n_y integrálásakor fellépő két ismeretlen egyváltozós függvény is szerepel. Ebből meghatározzuk z-t, majd ebből kiindulva, megismételjük az eljárást. Az iterációt addig folytatjuk, amíg a (11)-ből kapott z kellő pontossággal nem egyezik meg a kiindulási z-vel.

Egyszerűsíthetjük a feladatot, ha közelítésképpen elhanyagoljuk a lécrácshéj önsúlyát ($p_z = 0$). Ekkor tulajdonképpen a lécrácshéj nagy alakváltozásos horpadási alakját határozzuk meg.

Ha ismerjük a z szerelési alakot, és *adott* p_z *teherre* keressük a lécrácshéj alakváltozását és belső erőit, akkor a feladat bonyolultabbá válik. Megtehetjük azonban, hogy több lépésben határozzuk meg a megoldást, s az első lépésekben közelítéseket alkalmazunk. Így az első lépésben elhanyagolhatjuk u-t és v-t, azaz n_x-et és n_y-t változatlan nagyságúnak tételezhetjük fel.

Egy következő dolgozatban szándékozunk bemutatni a fentiek alkalmazását számpélda keretében.

IRODALOM

[1] Flügge, W.: Statik und Dynamik der Schalen. 3. Aufl. Springer, Berlin(Göttingen)-Heidelberg 1962.

[1a] Flügge, W.: Stresses in Shells. Springer, Berlin (Heidelberg) New York, 1973.

[2] Happold, E.—Liddell, W. I.: Timber Lattice Roof for the Mannheim Bundesgartenschau. In: The Structural Engineer *53* (1975), 99—135.

[3] Hegedüs, I.: Computation of the Stretched Network Shape of Timber Lattice Shells. In: Acta Techn. Acad. Sci. Hung.

[4] Kollár, L.—Hegedüs, I.: Analysis and Design of Space Frames by the Continuum Method. Publ. House Hungarian Academy of Sciences, Budapest, és Elsevier Scientific Publ. Corp., Amsterdam, 1983.

[5] Love, A. E. H.: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. 4th Ed. Dover Publ. New York, 1944.

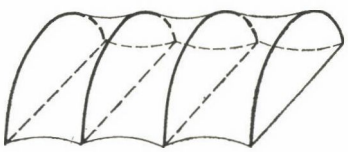
[6] Timoshenko, S. P.—Gere, J. M.: Theory of Elastic Stability. McGraw-Hill, New York/Torontó/London, 1961.

Dr. KOLLÁR LAJOS—Dr. BÓDI ISTVÁN
a műszaki tudományok doktora

OLDALIRÁNYÚ ELTOLÓDÁS ÉS ELFORDULÁS ELLEN RUGALMASAN MEGTÁMASZTOTT ÍVEK OLDALIRÁNYÚ STABILITÁSA

1. BEVEZETÉS

A központosan nyomott, oldalirányban rugalmasan megtámasztott ívek oldalirányú-elcsavarodó kihajlásával [1] foglalkozik. Ezt az oldalirányú megtámasztást igen sok esetben az ívekre feszített ponyva-héjazat húzási merevsége biztosítja (1. ábra). A ponyva statikai tulajdonságainak részletes vizsgálata [3] azt mutatja, hogy a ponyva a rugalmas megtámasztáson kívül még egy merevítő hatást fejt ki az ívre: a ponyva nyírási merevsége gátolja az ív oldalirányú elfordulását (rugalmas befogás). Ez a gátló hatás egy vízszintes megoszló erőrendszer formájában jelentkezik, amely általában a nyírásközéponton kívül hat, s így csavarónyomatékot is fejt ki az ívre [3].



1. ábra. Ívekre feszített sátorszerkezet

Jelen dolgozatunkban figyelembe vesszük a ponyvának mind a húzási, mind a nyírási merevségét, azaz az ívet egyrészt oldalirányban rugósorral megtámasztottnak, másrészt elfordulás ellen rugalmasan befogottnak tekintjük.

2. FELTEVÉSEK ÉS KÖZELÍTÉSEK

Vizsgálatunk tárgya legyen egy homogén, izotrop, lineárisan rugalmas anyagból készített állandó keresztmetszetű ív, amelynek tengelye körív alakú. További feltevésünk, hogy az ívben csak központos nyomás ébred, azaz a külső erők q eredője sugárirányú és egyenletesen megoszló erőrendszer (2a ábra). Irányát a kihajlás során is megtartja (konzervatív erő).

Az ív keresztmetszete legalább egyszeresen szimmetrikus és a keresztmetszet szimmetriasíkja azonos az ív síkjával. A keresztmetszet vékonyfalú is lehet. A külső teher támadáspontja a keresztmetszet szimmetriatengelyén bárhol elhelyezkedhet, de mindegyik keresztmetszetben ugyanott van.

Az alábbi közelítő feltevéseket alkalmazzuk:

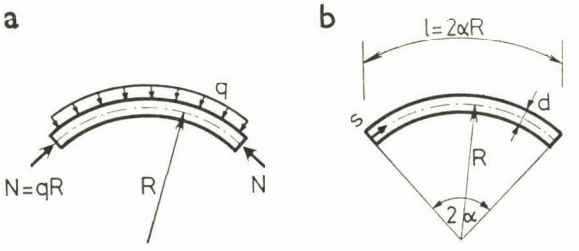
— Az ív görbülete nem túlságosan nagy, vagyis a keresztmetszet magasságának és az ív sugarának hányadosa elhanyagolható az egység mellett.

Ebből következik, hogy a keresztmetszet egyéb függőleges méretei is elhanyagolhatók az ív sugara mellett:

$$1 \pm \frac{d}{R} \approx 1 \tag{1}$$

(d a keresztmetszet sugárirányú magassága, R az ív középsugara, lásd a 2b. ábrát).

— A kihajlás során az ív hossztengellyel párhuzamos elemi szálai a keresztmetszet szimmetriatengelyére nézve antimetrikus törvényszerűségnek



2. ábra. A vizsgált szerkezet
a) a terhelés *b)* az ív méretei

megfelelően nyúlnak meg. Így az ív oldalirányú mozgása következtében fellépő keresztirányú hajlítás nyomán csak a szimmetriatengelybe eső elemi szál marad nyúlásmentes.

— Az oldalirányú kihajlás során az ív keresztmetszetei megőrzik eredeti alakjukat, eltekintve a síkjukra merőleges öblösödéstől. A keresztmetszeti jellemzők kihajlás közben bekövetkező megváltozását elhanyagoljuk.

A fenti alapfeltevések megegyeznek a [2]-ben használtakkal.

3. JELÖLÉSEK

(L. 3. ábrát.)

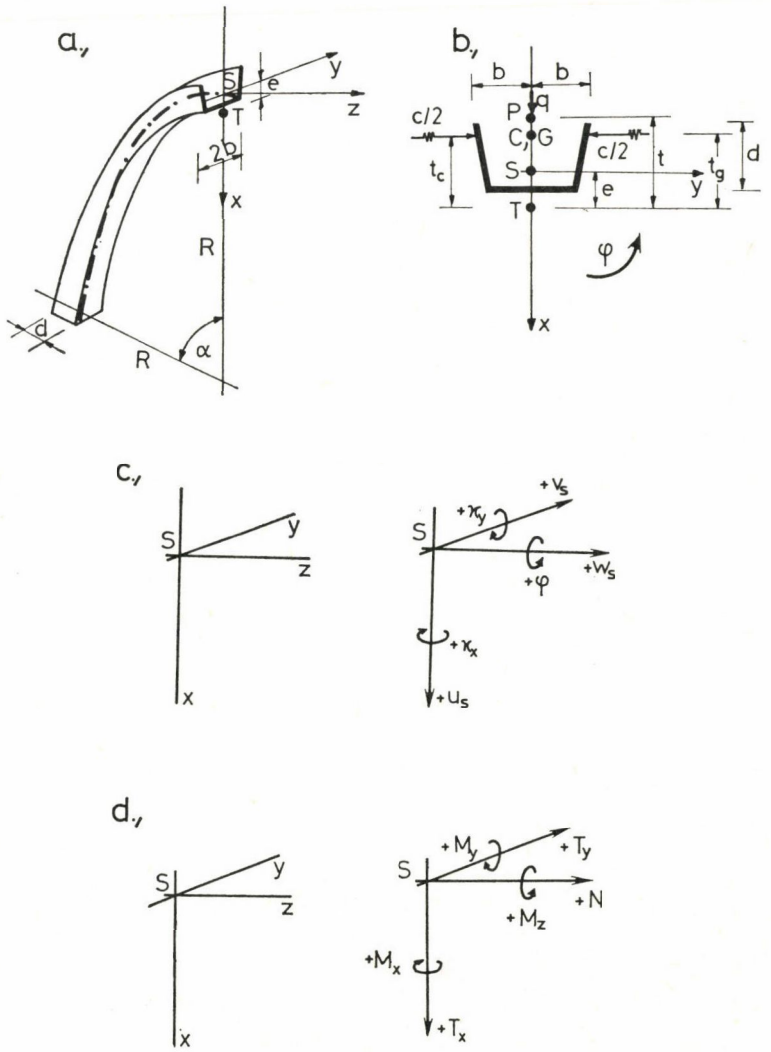
S: az ívkeresztmetszet súlypontja;
T: az ívkeresztmetszet nyírásközéppontja;
e: T és S távolsága;
u, v, w: egy tetszőleges pont x, y, z irányú (egymásra merőleges) eltolódáskomponensei;
$\varkappa_x$, $\varkappa_y$, φ: a súlyponti tengelyek (x, y, z) elfordulásai:
M, T, N: az ívre ható igénybevételek (nyomaték, nyíróerő, normálerő);
s: ívhossz, az ív súlyvonalában mérve (2b. ábra);
$( )' = d/ds$ az ívhossz szerint végrehajtott differenciálás;
α: az ív félnyílásszöge (radiánban);
l: az ív középvonalának hossza (2b. ábra);
t: P és T távolsága;
C: az oldalirányú rugalmas megtámasztás helye;
t_c: T és C távolsága;
c: az ívhossz-egységre vonatkozó rugalmas ágyazási tényező [N/m²], ill. [kN/m²];
G: az oldalirányú nyírási rugalmas megtámasztás helye;
v_G: e pont y irányú eltolódása;
g: a T nyírásközéppont és G távolsága;

g: az í vhossz-egységre vonatkozó nyírási rugalmas ágyazási tényező [N], ill. [kN], amellyel a rugalmas befogást adó vízszintes $\bar{q}_y^g$ erő a

$$\bar{q}_y^g = g v_G'' \tag{2}$$

képletből számítható ki [3].

Megjegyezzük, hogy a 3. ábrán a C és a G pontokat egybeesőnek ábrázoltuk, mivel a két megtámasztó hatást általában ugyanaz a ponyva fejti ki.



3. ábra. Jelölések

a) az ív
b) a keresztmetszet
c) a súlyponti elmozduláskomponensek
d) az ív igénybevételei

4. AZ OLDALIRÁNYÚ KIHAJLÁS DIFFERENCIÁLEGYENLETEI

Az egyensúlyi elágazás állapotába került ív statikai egyenletrendszere Love [4] szerint:

$$M_z' + \frac{M_x}{R} + \overline{m}_z = 0, \tag{3a}$$

$$T_y' + \bar{q}_y = 0, \tag{3b}$$

$$M_x' + \frac{M_z}{R} - T_y + \overline{m}_x = 0, \tag{3c}$$

ahol M, T a kihajlás során ébredő belső erőket jelölik, $\overline{m}$ és $\bar{q}_y$ pedig a kihajlás következtében előálló terhelési tagok, ívhossz-egységre vonatkoztatva.

A terhelési tagokat a rugalmas megtámasztás nélküli ív esetére [2]-ben találhatjuk meg. Az ott szereplő (3,120)—(3,123) számú összefüggéseket — amelyek a terhelési tagokat határozzák meg — az oldalirányú rugalmas megtámasztás valamint a rugalmas befogás hatását kifejező additív tagokkal kell kiegészítenünk.

Fejezzük ki a 3b. ábránkon látható C pont $+y$ irányú v_C eltolódását a T nyírásközéppont elmozdulásaival

$$v_C = v_T - t_c\varphi; \tag{4}$$

ahol v_T a nyírásközéppont $+y$ irányú eltolódása.

Az ív oldalirányú elmozdulása során keletkező y irányú fajlagos terhelőerőt tehát a rugalmas ágyazás miatt a

$$\bar{q}_y^c = -cv_C = -c(v_T - t_c\varphi) \tag{5}$$

additív taggal kell kiegészíteni.

Mivel ez a $\bar{q}_y^c$ erő a T nyírásközépponthoz képest külpontosan működik, ezért a z tengellyel párhuzamos vektorú $\overline{m}_z$ terhelési tag (csavarónyomaték) is megváltozik az

$$\overline{m}_z^c = -\bar{q}_y^c t_c = c(t_c - e)(v_T - t_c\varphi) \tag{6}$$

nagyságú tag hozzáadásával.

A terhelési tagok a nyírási megtámasztás miatt további, g indexszel jelzett tagokkal egészülnek ki. Ezek az új tagok (2) alapján az alábbiak:

$$\bar{q}_y^g = gv_G'' = g(v_T'' - t_g\varphi''), \tag{7a}$$

$$\overline{m}_z^g = -gt_g v_G'' = -gt_g(v_T'' - t_g\varphi''). \tag{7b}$$

Így a terhelési tagokra végeredményben az alábbi összefüggéseket kapjuk:

$$\bar{q}_y = -Nv_T'' + Ne\varphi'' - c(v_T - t_c\varphi) + g(v_T'' - t_g\varphi''). \tag{8a}$$

$$\overline{m}_z = N\left[\frac{t-e}{R}\varphi - (i_x^2 + i_y^2)\varphi'' - \frac{i_x^2}{R^2}\varphi\right] + c(t_c - e)(v_T - t_c\varphi) - g(t_g - e)(v_T'' - t_g\psi''), \tag{8b}$$

$$\overline{m}_x = 0, \tag{8c}$$

ahol i_x és i_y az ívkeresztmetszet inerciasugarai.

Az igénybevételeket a T nyírásközéppont elmozdulásaival kifejezve a következőket kapjuk:

$$N = qR = \text{const.}, \tag{9a}$$

$$T_y = N(v_T' - e\varphi') + c\int_{(s)}(v_T - t_c\varphi)ds - g(v_T' - t_g\varphi'), \tag{9b}$$

$$M_x = EI_x\left(\frac{\varphi}{R} - v_T''\right), \tag{9c}$$

$$M_z = GI_T\left(\varphi' + \frac{v_T'}{R}\right) - EI_\omega\left(\varphi''' + \frac{v_T'''}{R}\right) + eT_y, \tag{9d}$$

ahol EI_x az ív hajlítási merevsége, GI_T és EI az ív csavarási merevségei.

A szükséges deriválások elvégzése után helyettesítsük be a (9) kifejezéseket a (3a) és (3c) egyenletekbe. Ekkor a (3a) jelű egyenlet az alábbi alakot ölti:

$$\begin{aligned} &GI_T\left(\varphi'' + \frac{\vartheta_T''}{R}\right) - EI_\omega\left(\varphi'''' + \frac{v_T''''}{R}\right) + eN(v_T'' - e\varphi'') - \\ &- \frac{EI_x}{R}\left(\frac{\varphi}{R} - v_T''\right) + N\left(\frac{t-e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}\right)\varphi - \\ &- (i_x^2 + i_y^2)N\varphi'' + ct_c(v_T - t_c\varphi) - gt_g(v_T'' - t_g\varphi'') = 0. \end{aligned} \tag{I}$$

A (3c) jelű egyenletet behelyettesítés után deriváljuk még egyszer, majd T_y' helyébe (3b) szerint $-\bar{q}_y$ kifejezését beírva, rendezés után megkapjuk a szükséges másik differenciálegyenletet:

$$\begin{aligned} &EI_x\left(\frac{\varphi''}{R} - v_T''''\right) + \frac{GI_T}{R}\left(\varphi + \frac{v_T''}{R}\right) - \frac{EI_\omega}{R}\left(\varphi'''' + \frac{v_T''''}{R}\right) + \\ &N(e\varphi'' - v_T'') - c(v_T - t_c\varphi) + g(v_T'' - t_g\varphi) = 0. \end{aligned} \tag{II}$$

A v_T és φ elmozdulásfüggvényekre vonatkozó (I), (II) egyenletek alkotják a vizsgált ív oldalirányú kihajlásának differenciálegyenlet-rendszerét. A két egyenlet és a választott végtámasztásnak megfelelő peremfeltételek segítségével a stabilitáselmélet ismert módszereivel [5] mindig kiszámíthatjuk a kihajlást okozó $N = N_{kr}$ kritikus nyomóerőt.

5. MEGOLDÁS „VILLÁS MEGTÁMASZTÁS" ESETÉRE

A „villás megtámasztás" esetében, amikor is a végkeresztmetszetek oldalirányban helybenmaradnak, de szabadon elfordulhatnak, nem csavarodhatnak el, de szabadon öblösödhetnek, az alábbi peremfeltételi egyenletek érvényesek:

$$\left.\begin{aligned} s = 0: \\ s = 1: \end{aligned}\right\} \qquad v_T = 0; \tag{10a}$$

$$\left.\begin{aligned} s = 0: \\ s = 1: \end{aligned}\right\} \qquad \frac{\varphi}{R} - v_T'' = 0; \tag{10b}$$

$$\varphi = 0; \tag{10c}$$

$$\varphi'' + \frac{1}{R} v_T'' = 0. \tag{10d}$$

Az ismeretlen elmozdulásfüggvényeket a következő alakban vesszük fel:

$$\varphi = \sum_{k=1,2,3,\ldots} \varphi_k \sin(\lambda_k s), \tag{11a}$$

$$v_T = \sum_{k=1,2,3,\ldots} v_k \sin(\lambda_k s), \tag{11b}$$

ahol $\lambda_k = k\frac{\pi}{l}$; $k = 1, 2, 3, \ldots$ a kihajlási félhullámok száma, φ_k és v_k állandók.

E két függvény kielégíti a villás megtámasztás (10a—d) peremfeltételeit, valamint az (I)—(II) differenciálegyenlet-rendszert. Ha ez utóbbiakba behelyettesítjük a (11a, b) függvények s szerinti megfelelő deriváltjait, akkor — feltéve, hogy $s \neq l$ és $s \neq 0$, — a következő egyenletrendszerre jutunk:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_k \\ \varphi_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{12}$$

A (12)-ben szereplő első mátrix, melyet A-val jelölünk, szimmetrikus: $a_{12} = a_{21}$. Elemei a következők:

$$a_{11} = -\lambda_k^2[GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega - N(e^2 + i_x^2 + i_y^2) + gt_g^2] + \\ + \frac{1}{R}\left[N\left(t - e - \frac{i_x^2}{R}\right) - \frac{EI_x}{R}\right] - ct_c^2, \tag{13a}$$

$$a_{12} = a_{21} = -\lambda_k^2\left[Ne + (GI_t + \lambda_2^k EI_\omega + EI_x)\frac{1}{R} - gt_g\right] + ct_c, \tag{13b}$$

$$a_{22} = \lambda_k^2\left[N - (GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega)\frac{1}{R^2} - \lambda_k^2 EI_x - g\right] - c. \tag{13c}$$

Az $N = N_{kr}$ központos nyomóerő kritikus értékét a

$$\det(\mathbf{A}) = a_{11} \cdot a_{22} - a_{21}^2 = 0 \tag{14}$$

feltételből kapjuk, mivel a v_T-re és φ-re vonatkozó homogén egyenletrendszernek csak akkor létezik a triviálistól különböző megoldása, ha az együtthatómátrix determinánsa nulla.

A (14) egyenlet N_{kr}-ra nézve másodfokú:

$$K_2 N_{kr}^2 + K_1 N_{kr} + K_0 = 0; \quad \text{ha} \quad \lambda_k \neq 0. \tag{15}$$

A szorzásokat elvégezve és λ_k^2-tel egyszerűsítve az együtthatókra a következő kifejezéseket kapjuk:

$$K_2 = (i_x^2 + i_y^2)\lambda_k^2 + \frac{t - e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}; \tag{16a}$$

$$K_1 = -EI_x\left[\frac{1}{R^2} + \lambda_k^4(e^2 + i_x^2 + i_y^2) + \lambda_k^2\left(\frac{t+e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}\right)\right] -$$
$$- (GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega)\left[\lambda_k^2 + \frac{1}{R^2}\left(\frac{t-e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}\right) + \frac{\lambda_k^2}{R^2} i_x^2\right] -$$
$$- c\left[(e - t_c)^2 + i_x^2 + i_y^2 + \frac{1}{\lambda_k^2}\left(\frac{t-e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}\right)\right] - \tag{16b}$$
$$- g\left[\lambda_k^2(e - t_g)^2 + \lambda_k^2(i_x^2 + i_y^2) + \frac{t-e}{R} - \frac{i_x^2}{R^2}\right];$$

$$K_0 = EI_x(GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega)\left(\lambda_k^2 - \frac{1}{R^2}\right)^2 +$$
$$+ c\left[EI_x\left(\lambda_k t_c + \frac{1}{\lambda_k R}\right)^2 + GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega\right] + \tag{16c}$$
$$+ g\left[EI_x\left(\lambda_k^2 t_g + \frac{1}{R}\right)^2 + \lambda_k^2(GI_T + \lambda_k^2 EI_\omega)\right] + cg(t_g - t_c)^2.$$

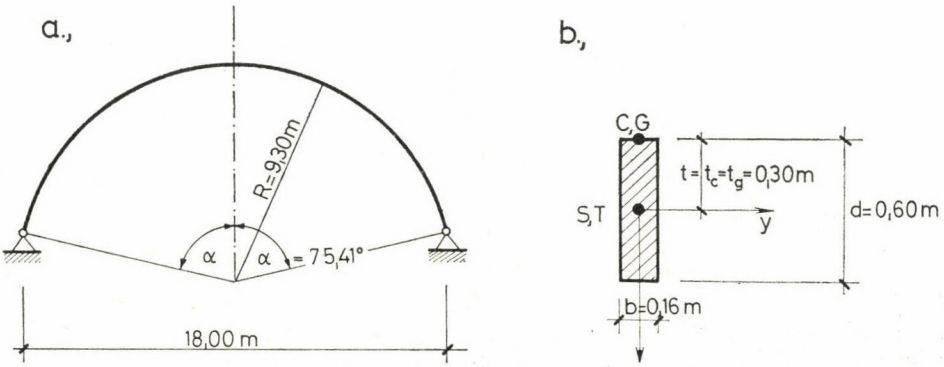
Így a villásan megtámasztott ív kritikus nyomóerejére zárt képletet kaptunk.

6. SZÁMPÉLDA

Számítsuk ki a 4. ábrán látható, oldalirányban rugalmasan megtámasztott fa-ív kritikus nyomóerejét. Az ív a [3] dolgozat 6.2. pontjában vizsgált sátorszerkezet megtámasztó íve.

A szerkezet méretei:

$R = 9{,}30$ m,
$d = 0{,}60$ m,
$b = 0{,}16$ m,



4. ábra. A számpéldához alapul vett ív
a) oldalnézet *b)* keresztmetszet

$$l = 2 \cdot \frac{75{,}41^\circ}{180^\circ} \cdot \pi \cdot 9{,}30 = 24{,}48\ \text{m},$$

$$\lambda_k^2 = k^2 \frac{\pi^2}{l^2}, \quad (k = 1, 2, 3, \ldots),$$

Az ív keresztmetszeti jellemzői:

$$E = 10^7\ \text{kN/m}^2,$$
$$G \approx 0{,}4\, E = 4 \cdot 10^6\ \text{kN/m}^2,$$
$$EI_x = \frac{0{,}16^3 \cdot 0{,}60}{12} \cdot 10^7 = 2048\ \text{kNm}^2,$$
$$GI_T = 4 \cdot 10^6\, \frac{0{,}60 \cdot 0{,}16^3}{3{,}6055} = 2726{,}5\ \text{kNm}^2,$$
$$EI_\omega \approx 0,$$
$$t = t_c = t_g = 0{,}30\ \text{m},$$
$$e = 0$$
$$i_x^2 \approx 0,$$
$$i_y^2 = \frac{0{,}60^2}{12} = 0{,}030\ \text{m}^2.$$

A rugalmas megtámasztás fajlagos (1 m-re vonatkoztatott) jellemzői: (l. [3]-ban):

$$c_{iv} = 4{,}54\ \text{kN/m}^2,$$

$$g_{iv} = 216\ \text{kN}.$$

A fenti adatokkal az együtthatók (16 a, b,c) képletei egyszerűsödnek, s az N_{kr}-ra vonatkozó másodfokú egyenlet (15) az alábbi alakban írható fel:

$$\begin{aligned} &N_{kr}^2 \left(i_y^2 \lambda_k^2 + \frac{t}{R} \right) + N_{kr} \left\{ - EI_x \left[\frac{1}{R^2} + \lambda_k^4 i_y^2 + \lambda_k^2 \frac{t}{R} \right] + \right. \\ &+ GI_T \left[\lambda_k^2 + \frac{t}{R^3} \right] - c \left[t_c^2 + i_y^2 + \frac{1}{\lambda_k^2} \frac{t}{R} \right] - g \left. \left[\lambda_k^2 (t_g^2 + i_y^2) + \frac{t}{R} \right] \right\} + \\ &+ EI_x GI_T \left(\lambda_k^2 - \frac{1}{R^2} \right)^2 + c \left[EI_x \left(\lambda_k t_c + \frac{1}{\lambda_k R} \right)^2 + GI_T \right] + \\ &+ g \left[EI_x \left(\lambda_k^2 t_g + \frac{1}{R} \right)^2 + \lambda_k^2 GI_T \right] + cg(t_g - t_c)^2 = 0. \end{aligned} \tag{17}$$

Oldjuk meg a (17) alatti egyenletet $k = 1, 2, 3, 4, 5$ félhullámszámot felvéve, mégpedig négy különböző esetre: a ponyvaszerkezet nyírási és húzási merevségének figyelembevételével, a nyírási merevséget, ill. a húzási merevséget figyelmen kívül hagyva, s végül szabadon álló ív esetére.

Az N_{kr} kritikus erő értékeit (kN-ban) az alábbi táblázatban foglaljuk össze:

	$c = 4{,}54$ kN/m $g = 216$ kN	$c = 4{,}54$ kN/m² $g = 0$	$c = 0$ $g = 216$ kN	$c = 0$ $g = 0$
$k = 1$	488,5	276,4	217,4	1,9
$k = 2$	371,3	150,7	301,2	79,9
$k = 3$	496,7	273,7	465,3	241,9
$k = 4$	717,3	493,3	699,6	475,3
$k = 5$	1013,5	789,0	1002,1	777,4

A táblázat azt mutatja, hogy a rugalmas megtámasztás általában egynél nagyobb kihajlási félhullámszámot eredményez.

A [3] dolgozatban közölt okfejtés szerint a ponyva rugalmas megtámasztásának c állandója a $k \geq 2$ esetekben zérusra vehető. Így a ponyvával megtámasztott ívre $k = 1$-nél a $c = 4{,}54$ kN/m², $g = 216$ kN-nak megfelelő 462,5 kN, a $k \geq 2$ esetekben pedig a $c = 0$, $g = 216$ kN-nak megfelelő kritikus erők érvényesek. A táblázatban mindezeket aláhúztuk. Közülük a $k = 2$-nek megfelelő 301,2 kN a legkisebb (bekeretezett érték), így ez lesz a ponyvával megtámasztott ív kritikus ereje. Ez esetünkben 158-szor nagyobb a szabad ív 1,9 kN nagyságú kritikus nyomóerejénél. (A szabad ív kritikus ereje példánkban azért ilyen kicsi, mert az ív $2\alpha = 150{,}82°$ középponti szöge közel áll 180°-hoz, amelynél viszont $N_{kr} = 0$, mert a feltételezett villás megtámasztás mellett a $2\alpha = 180°$ középponti szögű ív oldalirányban minden ellenállás nélkül, merevtest-szerűen „lefekszik".)

IRODALOM

[1] Gyurkó J.—Kollár L.: Rugalmasan megtámasztott ív oldalirányú kihajlása. ÉTI Kutatási Jelentés. (Tartószerkezetek mechanikai modelljeinek és méretezési módszereinek fejlesztése. Témaszám: 1 0801.) Építéstudományi Intézet, 1981.

[2] Kollár, L.: Statik und Stabilität der Schalenbogen und Schalenbalken. Akadémiai Kiadó, Budapest — W. Ernst und Sohn, Berlin, 1973.

[3] Kollár L.: A ponyva megtámasztó hatása az ívsorra feszített sátrak íveinek oldalirányú stabilitására. Építés- Építészettudomány (megjelentés alatt).

[4] Love, A. E. H.: A Treatise on the Mathematical Theory of Elasticity. Dover Publ., New York, 1944.

[5] Timoshenko, S. P.—Gere, J. M.: Theory of Elastic Stability. McGraw Hill, New York, 1961.

*DR. ROLLER BÉLA**
a műszaki tudományok doktora

VISZKOELASZTIKUS RÚDSZERKEZETEK MUNKATÉTELEI ÉS VARIÁCIÓS TÉTELEI

1. A RÚDSZERKEZET EGYENSÚLYI ÉS KOMPATIBILITÁSI EGYENLETE

Ismeretes [3], hogy a kvázistatikus viselkedésű rúdszerkezetek elsőrendű elméletének egyensúlyi és kompatibilitási egyenleteit a

$$\begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}(t) \\ \mathbf{s}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \Delta\mathbf{g}(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{q}(t) \\ \mathbf{d}(t) \end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{1}$$

alakban lehet felírni, ahol

t — az idő,
$\mathbf{q}(t)$ — a szerkezeten működő terhek vektora,
$\mathbf{d}(t)$ — a támaszelmozdulások hatásának figyelembevételével felírt, redukált kinematikai terhek vektora,
$\mathbf{u}(t)$ — az ismeretlen csomóponti elmozdulások vektora,
$\mathbf{s}(t)$ — az ismeretlen belső erők vektora,
$\Delta\mathbf{g}(t)$ — az igénybevételekből származó relatív elmozdulások vektora,
$\mathbf{G}^*$ — az egyensúlyi mátrix,
$\mathbf{G}$ — a merevtestszerű elmozdulásokat kifejező mátrix.

2. AZ ANYAGEGYENLET

Ebben a dolgozatban olyan egyenestengelyű rudakból álló, időfüggő anyagtörvényű rúdszerkezetekkel foglalkozunk, amelyeknek anyaga egytengelyű feszültségállapotban rudanként eleget tesz a viszkoelaszticitástan Boltzmann—Volterra-féle integrálegyenleteinek, azaz a kúszásra nézve érvényes az

$$\varepsilon(t) = Y_\varepsilon(t, t)\sigma(t) + \int_0^t K_\varepsilon(t, t')\sigma(t')dt' \tag{2}$$

a relaxációra nézve pedig a

$$\sigma(t) = Y_\sigma(t, t)\varepsilon(t) + \int_0^t K_\sigma(t, t')\varepsilon(t')dt' \tag{3}$$

egyenlet. $Y_\varepsilon(t, t')$ a kúszásfüggvény, $Y_\sigma(t, t')$ az ernyedési függvény,

* Budapesti Műszaki Egyetem Építőmérnöki Kar Mechanika Tanszék

$$K_\varepsilon(t, t') = \frac{dY_\varepsilon(t, t')}{d(t - t')},$$

illetve (4)

$$K_\sigma(t, t') = \frac{dY_\sigma(t, t')}{d(t - t')}$$

pedig a kúszási, illetve az ernyedési magfüggvény.

3. A RUDAK HAJLÉKONYSÁGI ÉS MEREVSÉGI EGYENLETEI

Feltételezzük, hogy a szerkezet rúdjaira nézve érvényesek az elemi szilárdságtan megszokott kikötései, így egy-egy a j és k indexű pontok között elhelyezkedő térbeli rúd hajlékonysági, illetve merevségi egyenletét az alábbi képletek szolgáltatják:

$$\Delta\mathbf{g}_{j,k}(t) = \mathbf{F}_{j,k}(t, t)\mathbf{s}_{j,k}(t) + \tilde{\mathbf{F}}_{j,k}\int_0^t \mathbf{K}_{\varepsilon;j,k}(t, t')\mathbf{s}_{j,k}(t')dt' \tag{5}$$

$$\mathbf{s}_{j,k}(t) = \mathbf{S}_{j,k}(t, t)\Delta\mathbf{g}_{j,k}(t) + \tilde{\mathbf{S}}_{j,k}\int_0^t \mathbf{K}_{\sigma;j,k}(t, t')\Delta\mathbf{g}_{j,k}(t')dt'. \tag{6}$$

Itt

$$\Delta\mathbf{g}^*_{j,k}(t) = \left[\Delta w_\xi(t)\ \Delta w_\eta(t)\ \Delta w_\zeta(t)\ \Delta\theta_\xi(t)\ \Delta\theta_\eta(t)\ \Delta\theta_\zeta(t)\right]_{j,k} \tag{7}$$

a rúdvégek relatív eltolódásainak, illetve relatív elfordulásainak vektorait,

$$\mathbf{s}^*_{j,k}(t) = \left[P_\xi(t)\ P_\eta(t)\ P_\zeta(t)\ M_\xi(t)\ M_\eta(t)\ M_\zeta(t)\right]_{j,k} \tag{8}$$

pedig a rúd k jelű végpontján fellépő belső erők, illetve erőpárok vektorait jelenti. Továbbá [3] és [5] jelöléseivel

$$\tilde{\mathbf{F}}_{j,k} = \begin{bmatrix} l/A & & & & & \\ & l^3/3I_\zeta & & & & l^2/2I_\xi \\ & & l^3/3I_\eta & & -l^2/2I_\eta & \\ & & & \omega l/I_{cs} & & \\ & & -l^2/2I_\eta & & l/I_\eta & \\ & l^2/2I_\xi & & & & l/I_\xi \end{bmatrix} \tag{9}$$

az egységnyi rugalmassági modulushoz tartozó hajlékonysági mátrix, azonkívül

$$\mathbf{F}_{j,k}(t, t) = Y_{\varepsilon;j,k}(t, t)\tilde{\mathbf{F}}_{j,k} \tag{10}$$

$$\tilde{\mathbf{S}}_{j,k} = \tilde{\mathbf{F}}^{-1}_{j,k}, \quad \mathbf{S}_{j,k}(t, t) = \mathbf{F}^{-1}_{j,k}(t, t) \tag{11}$$

$$\mathbf{K}_{\varepsilon;j,k}(t, t') = K_{\varepsilon;j,k}(t, t')\mathbf{E} \quad \mathbf{K}_{\sigma;j,k}(t, t') = K_{\sigma;j,k}(t, t')\mathbf{E} \tag{12}$$

($\mathbf{E}$ az egységmátrix).

A (9) képletben szereplő ω paraméter a nyírásra és a húzásra vonatkozó kúszási függvény állandónak feltételezett viszonya.

Az (1) egyenlet $\Delta\mathbf{g}(t)$ vektorát az (5) egyenlet szerint, rudanként felírt blokkvektorokból, hipervektorként állítjuk elő. Hasonlóképpen az $\mathbf{s}(t)$ vektort is fel lehet írni, mint a rudak $\mathbf{s}_{j,k}(t)$ vektoraiból alkotott hipervektort. Ezek szerint az összes rudak tulajdonságait egybefoglaló

$$\mathbf{F}(t,t),\ \tilde{\mathbf{F}},\ \mathbf{K}_\varepsilon,\mathbf{S}(t,t),\ \tilde{\mathbf{S}},\ \mathbf{K}_\sigma$$

hiper-diagonálmátrixok alkalmazásával

$$\Delta\mathbf{g}(t) = \mathbf{F}(t,t)\mathbf{s}(t) + \tilde{\mathbf{F}}\int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t,t')\mathbf{s}(t')dt' \tag{13/a}$$

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{S}(t,t)\Delta\mathbf{g}(t) + \tilde{\mathbf{S}}\int_0^t \mathbf{K}_\sigma(t,t')\Delta\mathbf{g}(t')dt'. \tag{13/b}$$

4. MUNKAEGYENLETEK

a) Az idegen munkák felcserélhetőségének általános tétele szerint egy szerkezeten két valódi, vagyis az (1) alapegyenletet kielégítő állapotváltozó vektorrendszernek egymással végzett, általánosított munkája egyenlő. A tétel felírásakor a két rendszert *I* és *II* indexszel különböztetjük meg, és abból indulunk ki, hogy

$$\begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{u}_I(t)\\ \mathbf{s}_I(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \Delta\mathbf{g}_I(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{q}_I(t)\\ \mathbf{d}_I(t)\end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{14/a}$$

$$\begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{u}_{II}(t)\\ \mathbf{s}_{II}(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \\ \Delta\mathbf{g}_{II}(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\mathbf{q}_{II}(t)\\ \mathbf{d}_{II}(t)\end{bmatrix} = \mathbf{0} \tag{14/b}$$

egyaránt érvényes.

(14/a)-t elölről $[\mathbf{u}^*_{II}(t)\ \mathbf{s}^*_{II}(t)]$-vel, (14/b)-t pedig $[\mathbf{u}^*_I(t)\ \mathbf{s}_I(t)]$-vel végigszorozva, és az így kapott első skaláregyenletből a másodikat kivonva, majd figyelembe véve, hogy

$$[\mathbf{u}^*_{II}(t)\ \mathbf{s}^*_{II}(t)]\begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{u}_I(t)\\ \mathbf{s}_I(t)\end{bmatrix} = [\mathbf{u}^*_I(t)\ \mathbf{s}^*_I(t)]\begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \end{bmatrix}\begin{bmatrix}\mathbf{u}_{II}(t)\\ \mathbf{s}_{II}(t)\end{bmatrix} \tag{15}$$

a tétel képletszerű kifejezését

$$\begin{aligned}&\mathbf{s}^*_{II}(t)\Delta\mathbf{g}_I(t) + \mathbf{u}^*_{II}(t)\mathbf{q}_I(t) + \mathbf{s}^*_{II}(t)\mathbf{d}_I(t) = \\ &= \mathbf{s}^*_I(t)\Delta\mathbf{g}_{II}(t) + \mathbf{u}^*_I(t)\mathbf{q}_{II}(t) + \mathbf{s}^*_I(t)\mathbf{d}_{II}(t)\end{aligned} \tag{16}$$

alakban kapjuk.

Figyelembe véve, hogy $\Delta\mathbf{g}_I(t)$ és $\mathbf{s}_I(t)$, illetve $\Delta\mathbf{g}_{II}(t)$ és $\mathbf{s}_{II}(t)$ összefüggését egyaránt a (13/a) egyenlet jellemzi, továbbá, hogy az

$$\mathbf{A}(t,t) = \begin{bmatrix} & \mathbf{G}^* \\ \mathbf{G} & \mathbf{F}(t,t)\end{bmatrix} \tag{17}$$

hipermátrix ugyancsak szimmetrikus, a tétel közelebbi alakj a

$$\mathbf{u}_{II}^{*}(t)\mathbf{q}_{I}(t) + \mathbf{s}_{II}^{*}(t)\mathbf{d}_{I}(t) + \mathbf{s}_{II}^{*}(t)\tilde{\mathbf{F}}\int_{0}^{t}\mathbf{K}_{\varepsilon}(t,t')\mathbf{s}_{I}(t')dt' =$$

$$= \mathbf{u}_{I}^{*}(t)\mathbf{q}_{II}(t) + \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\mathbf{d}_{II}(t) + \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\tilde{\mathbf{F}}\int_{0}^{t}\mathbf{K}_{\varepsilon}(t,t')\mathbf{s}_{II}(t')dt'. \tag{18}$$

b) A külső és belső idegen munkák egyenlőségének tételét úgy írjuk fel, hogy egyfelől egy olyan $\mathbf{q}_{I}(t)$, $\mathbf{s}_{I}(t)$ külső és belső erőrendszert tekintünk, amely statikailag lehetséges, másrészt egy olyan $\mathbf{u}_{II}(t)$, $\Delta\mathbf{g}_{II}(t)$, $\mathbf{d}_{II}(t)$ abszolút, illetve relatív elmozdulásrendszert, amely kielégíti az összeférhetőség követelményét.

$$\mathbf{G}^{*}\mathbf{s}_{I}(t) + \mathbf{q}_{I}(t) = \mathbf{0} \tag{19/a}$$

$$\mathbf{G}\mathbf{u}_{II}(t) + \Delta\mathbf{g}_{II}(t) + \mathbf{d}_{II}(t) = \mathbf{0} \tag{19/b}$$

Az első egyenletet elölről $\mathbf{u}_{I}^{*}(t)$-vel, a másodikat pedig $\mathbf{s}_{I}^{*}(t)$-vel végigszorozva és az így kapott első skaláregyenletből a másodikat kivonva, majd figyelembe véve, hogy

$$\mathbf{u}_{II}^{*}(t)\mathbf{G}^{*}\mathbf{s}_{I}(t) = \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\mathbf{G}\mathbf{u}_{II}(t) \tag{20}$$

azt kapjuk, hogy

$$\mathbf{q}_{I}^{*}(t)\mathbf{u}_{II}(t) = \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\Delta\mathbf{g}_{II}(t) + \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\mathbf{d}_{II}(t), \tag{21}$$

illetve tekintettel arra, hogy $\Delta\mathbf{g}_{II}(t)$ a (13/a)-nak megfelelően kifejezhető viszkoelasztikus relatív elmozdulás

$$\mathbf{q}_{I}^{*}(t)\mathbf{u}_{II}(t) = \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\mathbf{F}(t,t)\mathbf{s}_{II}(t) + \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\mathbf{d}_{II}(t) + \mathbf{s}_{I}^{*}(t)\tilde{\mathbf{F}}\int_{0}^{t}\mathbf{K}_{\varepsilon}(t,t')\mathbf{s}_{II}(t')dt' \tag{22}$$

5. VARIÁCIÓS TÉTELEK

a) A potenciális energia állandóértékűségének tételét az elmozdulásmódszer integrálegyenletéből [4] kiindulva írjuk fel. A kinematikai terhet elhagyva

$$\mathbf{N}(t,t)\mathbf{u}(t) + \int_{0}^{t}\mathbf{V}(t,t')\mathbf{u}(t')dt' = \mathbf{q}(t)\,, \tag{23}$$

ahol

$$\mathbf{N}(t,t) = \mathbf{G}^{*}\mathbf{S}(t,t)\mathbf{G}\;\; \mathbf{V}(t,t') = \mathbf{G}^{*}\tilde{\mathbf{S}}\mathbf{K}_{\sigma}(t,t')\mathbf{G}\,. \tag{24}$$

Legyen $\delta\mathbf{u}$ az elmozdulásvektornak egy kompatibilis variációja. Ezzel (23)-ból

$$\delta\mathscr{E}_{p}(\mathbf{u}) = \delta\mathbf{u}^{*}\mathbf{N}(t,t) + \delta\mathbf{u}^{*}\int_{0}^{t}\mathbf{V}(t,t')\mathbf{u}(t')dt' - \delta\mathbf{u}^{*}\mathbf{q}(t) = 0, \tag{25}$$

illetve $\mathbf{u}$ szerint integrálva

$$\mathscr{E}_{p}(\mathbf{u}) = \frac{1}{2}\left[\mathbf{u}^{*}(t)\mathbf{N}(t,\mathbf{u})(t) + \mathbf{u}^{*}(t)\int_{0}^{t}\mathbf{V}(t,t')\mathbf{u}(t')dt'\right] - \mathbf{u}^{*}(t)\mathbf{q}(t) = \text{stac}\,! \tag{26}$$

b) Az alakváltozási munka minimumtételének felírásakor az összeférhetőségi követelményből indulunk ki, de a kinematikai terhet mellőzzük.

$$\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')dt' = \mathbf{0}. \tag{27}$$

Legyen ezután $\delta\mathbf{s}$ a belső erők vektorának egy olyan statikailag lehetséges variációja, amely saját-igénybevételekkel jár. (1) első blokkegyenletének megfelelően

$$\mathbf{G}^*\delta\mathbf{s} = \mathbf{0}. \tag{28}$$

Ha (27)-et $\delta\mathbf{s}^*$-gal elölről végigszorozzuk, majd (28)-at is figyelembe vesszük,

$$\delta\mathfrak{L}_a(\mathbf{s}) = \delta\mathbf{s}^*\mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \delta\mathbf{s}^*\tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')\mathbf{s}(t')dt' = 0, \tag{29}$$

illetve $\mathbf{s}$ szerint integrálva

$$\mathfrak{L}_a(\mathbf{s}) = \frac{1}{2}\left[\mathbf{s}^*(t)\mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \mathbf{s}^*(t)\tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t,t')\mathbf{s}(t')dt'\right] = \min ! \tag{30}$$

c) A Reissner-tétel megfelelőjének felírásakor ismét eltekintünk a kinematikai tehertől, majd felírjuk az összevont (1) és (13/a) rendszer blokkegyenleteit

$$\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \mathbf{q}(t) = \mathbf{0} \tag{31/a}$$

és

$$\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')\mathbf{s}(t')dt' = \mathbf{0}. \tag{31/b}$$

Legyen ez után $\delta\mathbf{u}$ az elmozdulásvektornak egy kompatibilis variációja, $\delta\mathbf{s}$ pedig a belső erők vektorának egy statikailag lehetséges variációja. Szorozzuk végig (31/a)-t elölről $\delta\mathbf{u}^*$-gal, (31/b)-t pedig $\delta\mathbf{s}^*$-gal, majd adjuk össze az így kapott két skaláregyenletet:

$$\begin{aligned} &\delta\mathbf{u}^*\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \delta\mathbf{s}^*\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \delta\mathbf{s}^*\mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \\ &+ \delta\mathbf{s}^*\tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')\mathbf{s}(t')dt' + \delta\mathbf{u}^*\mathbf{q}(t) = 0. \end{aligned} \tag{32}$$

Figyelembe véve, hogy

$$\delta\mathbf{u}^*\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \delta\mathbf{s}^*\mathbf{G}\mathbf{u}(t) = \delta\left[\mathbf{s}^*(t)\mathbf{G}\mathbf{u}(t)\right], \tag{33}$$

(32)-ből

$$\begin{aligned} &\delta\mathfrak{R}(\mathbf{u}, \mathbf{s}) = \delta\left[\mathbf{s}^*(t)\mathbf{G}\mathbf{u}(t)\right] + \delta\mathbf{s}^*\mathbf{F}(t, t)\mathbf{s} + \\ &+ \delta\mathbf{s}^*\tilde{\mathbf{F}} \int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')\mathbf{s}(t')dt' + \delta\mathbf{u}^*\mathbf{q}(t) = 0 \end{aligned} \tag{34),}$$

következésképpen

$$\mathcal{R}(\mathbf{u}, \mathbf{s}) = \mathbf{s}^*(t)\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \frac{1}{2}\mathbf{s}^*(t)\mathbf{F}(t, t)\mathbf{s}(t) + \\ + \frac{1}{2}\mathbf{s}^*(t)\tilde{\mathbf{F}}\int_0^t \mathbf{K}_\varepsilon(t, t')\mathbf{s}(t')dt' + \mathbf{u}^*(t)\mathbf{q}(t) = \text{stac}! \tag{35}$$

Végül a Hu—Washizu-féle variációs tétel megfelelőjének felírásakor a rúdszerkezet állapotváltozási egyenletét $\mathbf{d}(t) = \mathbf{0}$ választása nyomán

$$\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \mathbf{q}(t) = \mathbf{0} \tag{36/a}$$

$$\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \Delta\mathbf{g}(t) = \mathbf{0} \tag{36/b}$$

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{S}(t, t)\Delta\mathbf{g}(t) + \tilde{\mathbf{S}}\int_0^t \mathbf{K}_\sigma(t, t')\Delta\mathbf{g}(t')dt' \tag{36/c}$$

alakban állítjuk össze. Az első egyenletet a $\delta\mathbf{u}^*$, a másodikat $d\mathbf{s}^*$, a harmadikat a kompatibilis $\delta\Delta\mathbf{g}^*$ variációval elölről végigszorozva és az így kapott három skaláregyenletet összeadva

$$\delta\mathbf{u}^*\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \delta\Delta\mathbf{g}^*\mathbf{s}(t) + \delta\mathbf{s}^*\big[\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \Delta\mathbf{g}(t)\big] - \\ - \delta\Delta\mathbf{g}^*\big[\mathbf{S}(t, t)\Delta\mathbf{g}(t) + \tilde{\mathbf{S}}\int_0^t \mathbf{K}_\sigma(t, t')\Delta\mathbf{g}(t')dt'\big] + \delta\mathbf{u}^*\mathbf{q}(t) = 0. \tag{37}$$

Tekintve, hogy (36/b) miatt

$$\delta\mathbf{u}^*\mathbf{G}^*\mathbf{s}(t) + \delta\Delta\mathbf{g}^*\mathbf{s}(t) = 0 \tag{38}$$

(37)-ből

$$\delta\mathcal{H}(\mathbf{u}, \mathbf{s}, \Delta\mathbf{g}) = \delta\mathbf{s}^*\big[\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \Delta\mathbf{g}(t)\big] - \\ - \delta\Delta\mathbf{g}^*\big[\mathbf{S}(t, t)\Delta\mathbf{g}(t) + \tilde{\mathbf{S}}\int_0^t \mathbf{K}_\sigma(t, t')\Delta\mathbf{g}(t')dt'\big] + \delta\mathbf{u}^*\mathbf{q}(t) = 0, \tag{39}$$

ennélfogva

$$\mathcal{H}(\mathbf{u}, \mathbf{s}, \Delta\mathbf{g}) = \frac{1}{2}\Delta\mathbf{g}^*(t)\mathbf{S}(t, t)\Delta\mathbf{g}(t) - \mathbf{s}^*(t)[\mathbf{G}\mathbf{u}(t) + \Delta\mathbf{g}(t)] + \\ + \frac{1}{2}\Delta\mathbf{g}^*(t)\tilde{\mathbf{S}}\int_0^t \mathbf{K}_\sigma(t, t')\Delta\mathbf{g}(t')dt' - \mathbf{u}^*(t)\mathbf{q}(t) = \text{stac}! \tag{40}$$

A bemutatott tételek szerint

a) Mindazon elmozdulásrendszerek közül, amelyek kompatibilisek és viszkoelasztikus alakváltozásokkal járnak, ahhoz az egyhez tartoznak egyensúlyi erők, amely a (26)-ban szereplő $\mathcal{E}_p(\mathbf{u})$ funkcionált állandó értékűvé teszi.

b) A statikailag határozatlan szerkezeteken felléphető mindazon belső erőrendszerek közül, amelyek statikailag lehetségesek, ahhoz az egyhez tartoznak kompatibilis és viszkoelasztikus alakváltozással járó elmozdulások, amely a (30) bal oldalán álló $\mathcal{L}_a(\mathbf{s})$ funkcionált minimálja.

c) Mindazon elmozdulásrendszerek közül, amelyek kompatibilisek és viszkoelasztikus alakváltozással járnak, továbbá mindazon erőrendszerek közül, amelyek statikailag lehetségesek, egyedül azok jönnek együttesen létre, amelyek a (35)-ben található $\mathcal{R}(\mathbf{u}, \mathbf{s})$ funkcionált állandó értékűvé teszik.

d) Mindazon elmozdulásrendszerek közül, amelyek kompatibilisek, ezen belül mindazon alakváltozás-rendszerek közül, amelyek viszkoelasztikusak, továbbá mindazon erőrendszerek közül, amelyek statikailag lehetségesek, egyedül azok jönnek együttesen létre, amelyek a (40) bal oldalán álló $\mathcal{H}(\mathbf{u}, \mathbf{s}, \Delta\mathbf{g})$ funkcionált állandó értékűvé teszik.

A kontinuummechanika variációs tételeire vonatkozólag utalunk még az [1], [2] és [6] irodalomra.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban felírtuk a lineárisan viszkoelasztikus, Boltzmann—Volterra-féle szuperpozíciónak eleget tevő anyagú rúdszerkezetek állapotegyenleteit, majd ezekből kiindulva a szerkezeti mechanika nevezetes tételeinek a viszkoelasztikus rudakra érvényes általánosításait. A felsorolt tételek, illetve elvek igen áttekinthetően segítik elő a viszkoelasztikus szerkezetek állapotvizsgálatát.

IRODALOM

[1] Lippmann, H.: Extremum and Variational Principles in Mechanics, CISM Courses and Lectures, Springer Verlag, Wien—New York, 1972.
[2] Olszak, W.—Perzyna, P.: Variational Theorems in General Viscoelasticity, Ing. Archiv, *28*, 1959 246—250.
[3] Roller, B.: Integral equations for linear elastoviscous skeletons. Periodica Polytechnica, Civil Eng., Vol. 25. No. 3—4. 1981. 211—226.
[4] Roller B.: Viszkoelasztikus anyagú rúdszerkezetek állapotváltozási vizsgálata. Akadémiai doktori értekezés, Budapest, 1980.
[5] Szabó, J.—Roller, B.: Anwendungen der Matrizenrechnung auf Stabwerke. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1978.
[6] Washizu, K.: Variational Methods in Elasticity and Plasticity, Pergamon Press, Oxford 1968.

VÁSÁRHELYINÉ DR. SZABÓ ANNA

PANELSZERKEZETEK OPTIMÁLIS TERVEZÉSE SZTOHASZTIKUS TERHEK ESETÉN

1. BEVEZETÉS

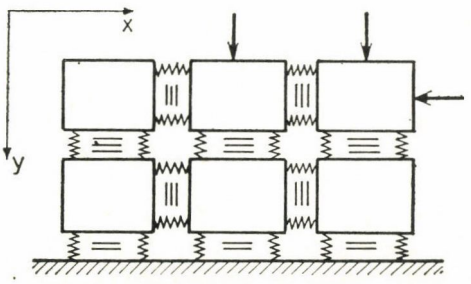
A szerkezetekre részint időben állandó, részint időben változó terhek hatnak. Ebben a dolgozatban kizárólag az időben állandó terhekkel foglalkozunk panelszerkezetek esetén. A terheket térben korrelált valószínűségi változóknak tekintve megoldjuk a képlékeny optimális feladatot. Az eljárás alkalmazására számpéldát mutatunk be.

2. PANELSZERKEZETEK MECHANIKAI MODELLJE ÉS KÉPLÉKENY OPTIMÁLIS TERVEZÉSI FELADATA

A panelszerkezeteket a Kaliszky-féle merevtárcsa-modell felhasználásával számítjuk. Az eljárást csak síkbeli szerkezetre mutatjuk be, hogy a numerikus munkát csökkentsük, megjegyezve, hogy a térbeli mechanikai modell is elkészült és a bemutatásra kerülő matematikai eljárás sem jelent korlátozást.

A merevtárcsa-modell lényege az, hogy a paneleket merev testként kezeljük, amelyeket élenként három lineáris rugó kapcsol össze. Kettő húzó-nyomó, egy pedig nyíró igénybevételek felvételére szolgál (1. ábra). A modell részletes ismertetése a [2]-ben megtalálható.

Optimális tervezési feladat esetén feltételezzük, hogy a szerkezeti elemek súlyai arányosak a teherviselő képességgel — a folyási határértékekkel. A feladat a szükséges képlékeny teherbírásjellemzők meghatározása úgy, hogy az adott terhekre a szerkezet épp képlékeny határállapotba kerüljön, és ugyanakkor bizonyos optimum-feltételeknek (minimális súly) eleget tegyen. Panelszerkezeti modellünk esetén ez azt jelenti, hogy e szerkezet súlyát arányosnak tekintjük a kapcsoló rugók erősségével. Ez a feladat lineáris programozássa



1. ábra

oldható meg determinisztikus változók esetén [3]. A továbbiakban a duál feladatot fogjuk felhasználni:

$$\mathbf{G}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{N}\dot{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0} \tag{1}$$

$$\mathbf{l} \geq \dot{\boldsymbol{\lambda}}$$

$$\dot{\boldsymbol{\lambda}} \geq 0$$

$$\mathbf{q}^* \mathbf{u} \rightarrow \max.$$

ahol:
- $\mathbf{G}$: a szerkezet geometriai mátrixa
- $\dot{\mathbf{u}}$: elmozdulássebességek vektora
- $\mathbf{N}$: a szerkezet képlékenységi mátrixa
  (panelszerkezeti modellünk esetén egység-mátrix)
- $\dot{\boldsymbol{\lambda}}$: képlékeny sebességszorzók vektora
- $\mathbf{l}$: lineáris kombináció együtthatói
- $\mathbf{q}$: tehervektor

A duálfeladat műszaki értelmezéséhez a Foulkes-mechanizmus fogalmát szükséges bevezetni. Azt a folyási mechanizmust, mely a $\mathbf{G}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{N}\dot{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0}, \dot{\boldsymbol{\lambda}} \geq \mathbf{0}$ feltételeken kívül a $\mathbf{k}^{F*}\dot{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{k}^{F*}\mathbf{l}$ kikötést is teljesíti a Foulkes-mechanizmusnak nevezzük. Itt a $\mathbf{k}^{E*}$ a mechanizmus által meghatározott folyási helyeken a szerkezet teherbírására jellemző értékek vektora úgy, hogy a külső-belső teljesítményegyenlőség $\mathbf{q}^*\dot{\mathbf{u}} = \mathbf{k}^{F*}\dot{\boldsymbol{\lambda}}$ fennálljon. Ennek segítségével az optimális tervezés kinematikai tétele megfogalmazható: annak a szerkezetnek a súlya, amelyhez található egy Foulkes-mechanizmus kisebb vagy egyenlő, mint a minimális súly.

3. OPTIMÁLIS TERVEZÉSI FELADAT TÉRBEN KORRELÁLT TERHEK ESETÉN

Paneles építési mód esetén nagy többletigénybevétel származik abból a tényből, hogy az egyes függőleges elemek síkjai nem esnek egybe az elméleti falsíkkal, vagyis excentrikus bekötések keletkeznek a kivitelezési pontatlanságok miatt. Ezen többletigénybevétel miatt az épület teherbírása nem egy esetben 30%-kal is csökkent.

Ezekről a többletterhekről a következőket tételezzük fel:

F1: Időtől független valószínűségi változók.

F2: Eloszlásuk normális, ismert várható értékekkel és szórásokkal.

F3: Nem független valószínűségi változók, a köztük levő kovariancia mátrix ismert.

A normális eloszlás feltételezését jogosnak tartjuk, mivel a többletterhelés mérési hibákból származó excentricitásokra vezethető vissza, és a mérési hibák normális eloszlásúak. Az egyes elemek excentricitásai — s így az ebből keletkező erők — nem lehetnek függetlenek, összefüggésüket a kovariancia mátrix mutatja.

Továbbá feltételezzük az összes teherről:

F4: Egyparaméteres.

F5: Kinematikai terhek nem hatnak.

Eljárásunk az optimális tervezés kinematikai tételén (1) alapszik. A feladat megoldásához Kataoka sztohasztikus programozási modellje használható.

Kataoka [4] lineáris programozási feladat esetén a véletlen célfüggvény kérdésével foglalkozik. Egy $\mathbf{q}^*\dot{\mathbf{u}}$ lineáris célfüggvény $\mathbf{q}$ normálvektorának $q_1 \ldots q_n$

komponensei legyenek normális együttes eloszlású valószínűségi változók. Az új célfüggvény legyen f, melyet maximálni akarunk. f-re az alábbi feltételt írjuk elő:

$$P(q_1u_1 + \ldots q_nu_n \geq f) \geq p \qquad 0 < p < 1. \tag{2}$$

Ha az optimális megoldás esetén az eredeti $\mathbf{q}^*\dot{\mathbf{u}}$ célfüggvény nem elfajult, akkor (2) egyenlőséggel teljesül és helyettesíthető az alábbi célfüggvénnyel:

$$f = \sum_{i=1}^{n} E(q_i)u_i + \Phi^{-1}(1-p)\sqrt{\dot{\mathbf{u}}^*\mathbf{K}\dot{\mathbf{u}}} \to \max. \tag{3}$$

ahol: $\mathbf{K}$ — az erők közötti kovariancia mátrix
Φ — standard normális eloszlásfüggvény
$p \geq 0{,}5$ esetén Kataoka célfüggvénye konkáv. Feladatunkban a célfüggvényt minimálni kell. Ekkor (3) helyett a következő függvényt vezethetjük be:

$$f = \sum_{i=1}^{n} E(q_i)\dot{u}_i + \Phi^{-1}(p)\sqrt{\dot{\mathbf{u}}^*\mathbf{K}\dot{\mathbf{u}}} \to \min. \tag{4}$$

$p \geq 0{,}5$ esetén ez a célfüggvény konvex.

Ezek alapján a következőket írhatjuk fel:

$$\mathbf{G}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{N}\dot{\boldsymbol{\lambda}} = \mathbf{0} \tag{5}$$

$$\mathbf{0} \leq \dot{\boldsymbol{\lambda}} \leq \mathbf{1}$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} E(q_i)\dot{u}_i + \Phi^{-1}(p)\sqrt{\dot{\mathbf{u}}^*\mathbf{K}\dot{\mathbf{u}}}\right) \to \min.$$

Nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy a Kataoka-modell matematikailag egy közelítés, valósághoz közeli eredmények csak nagyszámú teher esetén várhatók.

Panelszerkezeti modellünk esetén az $\mathbf{N}$ egységmátrix lesz.

4. NUMERIKUS TAPASZTALAT

A fent bemutatott eljárással a következő feladatot oldottam meg: determinisztikus és sztohasztikus esetben (2. ábra):

Sztohasztikus esetben a terhek között térbeli összefüggést feltételezve a számításban a következő kovariancia mátrix szerepelt:

$$K = \begin{bmatrix} 95 & 40 & 37 & 33 \\ 40 & 120 & 5 & 28 \\ 37 & 5 & 150 & 20 \\ 30 & 28 & 20 & 80 \end{bmatrix}$$

Mind determinisztikus, mind sztohasztikus esetben a súlyozó faktor (1) egységnyi volt.

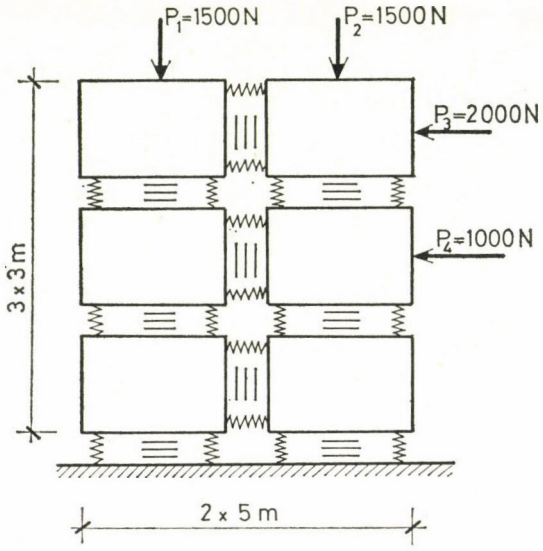
A determinisztikus feladat megoldása a 3. ábrán látható.

A célfüggvény értéke: 2462,62

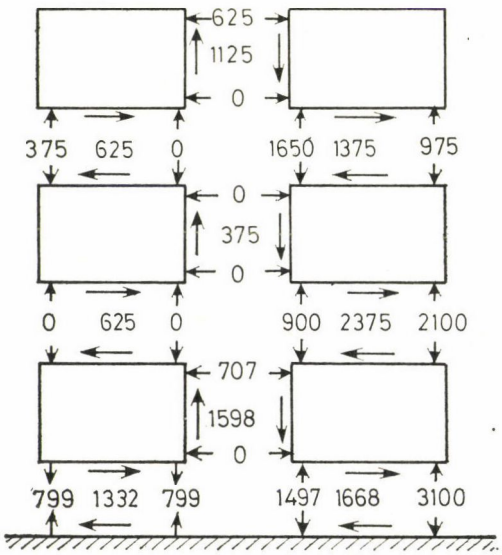
A sztohasztikus feladat megoldását a 4. ábra tartalmazza.

A folyási határok várható értékének összege: 1997,8

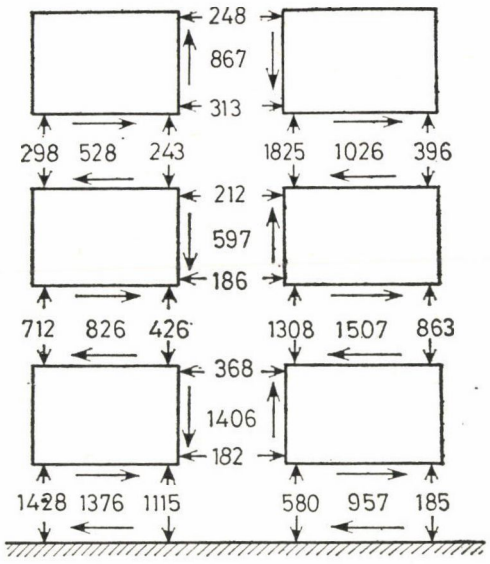
Az eredmények azt mutatják, hogy térben összefüggő teherrendszer esetén a sztohasztikus optimális tervezés gyengébb szerkezetet eredményezett, mint determinisztikus esetben. Megfigyelhető, hogy nem adódtak olyan kiugróan magas folyási határértékek, mint determinisztikus feladat esetén, a szerkezetre egyenletesebb anyagerősséget kapunk. Jelen feladat esetén inkább az eredmény tendenciája jellemző, nem a számértékek. Mint már a Kataoka-modellnél



2. ábra



3. ábra



4. ábra

jeleztük, ez egy erős közelítés, a valósághoz jobban közelítő eredmények csak nagy feladatok esetén (30—40 teher) remélhetők. A rendelkezésre álló nemlineáris programozási programcsomagok azonban nem tették lehetővé ekkora feladat futtatását, ez is indokolja, hogy a továbbfejlesztés egyik iránya feltétlenül a mérnöki igényeket kielégítő programcsomag kidolgozása. Az MTA CDC 3300-as gépre készült programmal a feladat futási ideje igen rövid volt (20 perc).

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Panelszerkezetek optimális tervezése térben korrelált valószínűségi változóval megadott terhelés esetén sztohasztikus programozással megoldható. Matematikai modellként a lineáris programozás duál feladatából kiindulva a célfüggvény helyett a Kataoka-féle célfüggvényt használva felírtuk a sztohasztikus programozási feladatot, melyet nemlineáris programozással már meg lehet oldani. A bemutatott feladatból megállapítható, hogy gyengébb szerkezetre volt szükség, mintha a terheket determinisztikus értékekkel számítjuk, továbbá a szerkezet egyenletesebben vett részt a teherviselésben, ha sztohasztikus terhekkel számolunk, mint determinisztikus esetben.

IRODALOM

[1] Kaliszky S.: Képlékenységtan, Elmélet és mérnöki alkalmazások, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.
[2] Kaliszky S.—Wolf K.: Analysis of Panel Buildings by the Use of Rigid Panel Models, Periodica Polyt. Vol. 23. No 2., Budapest, 1979. 89—100
[3] Nédli P.: Lineárisan rugalmas — tökéletesen képlékeny rúdszerkezetek számítása matematikai programozással, Egyetemi doktori értekezés, 1976.
[4] Kataoka, I.: A Stochastic Programming Model, Economica, Vol. 31. 1963. 181—196.

VÁSÁRHELYINÉ DR. SZABÓ ANNA

PANELSZERKEZETEK OPTIMÁLIS TERVEZÉSE VALÓSZÍNŰSÉGI VÁLTOZÓS ANYAGÁLLANDÓK ESETÉN

BEVEZETÉS

A kivitelezés során nem biztosítható az anyagjellemzők állandósága. Ebben a dolgozatban képlékeny optimális tervezési feladattal foglalkozunk abban az esetben, ha az anyagjellemzők közül a folyási határértékeket valószínűségi változóknak tekintjük. Először a számítások alapját képező panelszerkezeti modellt ismertetjük, majd felírjuk a feladat megoldását sztohasztikus programozással. Végül az eljárás alkalmazására számpéldát mutatunk be.

2. PANELSZERKEZETEK MECHANIKAI MODELLJE ÉS KÉPLÉKENY OPTIMÁLIS TERVEZÉSI FELADATA

Panelszerkezetek számításához a Kaliszky-féle merev-tárcsa modellt használjuk, mert egyszerű, áttekinthető, aránylag kevesebb ismeretlennel írja le a szerkezet viselkedését, mint például a végeselemes módszer. E modell esetén a helyszíni kapcsolatok alakváltozásai és hibái közvetlenül vehetők figyelembe.

A paneleket merev tárcsáknak tekintjük. Panelek közötti kapcsolatokat lineáris rugókkal modellezzük, egy él mentén 2 rugó húzás-nyomásra kapcsolja össze a szomszédos éleket, egy pedig a nyíró-igénybevételek felvételére szolgál az 1. ábra szerint. A modell részletes ismertetése [2]-ben megtalálható.

Képlékeny optimális tervezési feladatok esetén feltételezzük, hogy a szerkezet súlya felírható a teherbírási jellemzők lineáris kombinációjaként. Panelszerkezeti modellünk esetén ez azt jelenti, hogy e szerkezet súlyát arányosnak tekintjük a kapcsoló rugók erősségével. Adottnak tekintjük a terheket, a szerkezet geometriáját (geometriai mátrixát), a képlékenységi feltételeket (képlékenységi mátrixát) és keressük a szerkezet teherbírását jellemző értékeket (folyási határok értékeit) úgy, hogy az egyensúlyi egyenletek és a képlékenységi feltételek teljesüljenek, a teherbírás-jellemzők lineáris kombinációja pedig minimális legyen. A feladat lineáris programozás primál feladataként felírható [3].

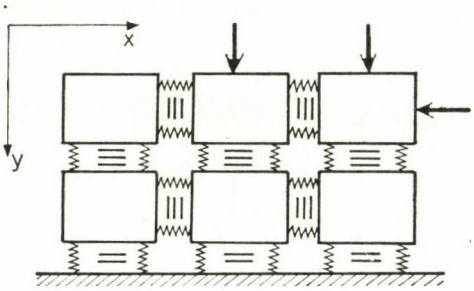
$$\mathbf{G}^{*}\mathbf{s} + \mathbf{q} = 0 \tag{1}$$

$$\mathbf{N}^{*}\mathbf{s} - \mathbf{k} = 0$$

$$l^{*}\,\mathbf{k} \rightarrow \min.$$

ahol: $\mathbf{G}$ — a szerkezet geometriai mátrixa
$\mathbf{s}$ — a belső erők vektora
$\mathbf{q}$ — tehervektor
$\mathbf{N}$ — képlékenységi mátrix
(panelszerkezeti modellünk esetén egységmátrix)

$\mathbf{k}$ — a folyási határértékek vektora
$\mathbf{l}$ — lineáris kombináció együtthatói
Az (1) összefüggések az optimális tervezés statikai tételét fejezik ki.



1. ábra

3. OPTIMÁLIS TERVEZÉS ABBAN AZ ESETBEN, HA A FOLYÁSI HATÁROK ÉRTÉKEI VALÓSZÍNŰSÉGI VÁLTOZÓK

Szerkezeti elemek (illetve keresztmetszetek) vizsgálatánál csak véges számú pontban szoktunk feszültségeket számítani, és feltételezzük, hogy az elemeknek csak ezen kitüntetett pontjai játszanak szerepet a képlékenységi feltételeknél. A panelszerkezeti modellünknél az egy él mentén levő három rugó jelenti azt a három pontot, melyeket vizsgálunk. Feltételezzük:

F1: A kapcsoló rugók folyási határai normális eloszlású valószínűségi változók ismert várható értékekkel és szórásokkal.

F2: A kapcsoló rugók alsó és felső folyási határa egymástól független valószínűségi változók.

F3: Egy panelél mentén levő három rugó felső folyási határai nem függetlenek, a köztük levő korreláció ismert. Ugyanez a helyzet az alsó folyási határok esetén is.

Legyen egy él megbízhatóságának valószínűségi szintje adott (p). Egy él képlékenységi feltétele:

$$g(\mathbf{k}, s) = P(k_{a1} \leq s_{\mathrm{I}},\ k_{a2} \leq s_{\mathrm{II}},\ k_{a3} \leq s_{\mathrm{III}},\ -k_{f1} \leq -s_{\mathrm{I}},\ -k_{f2} \leq -s_{\mathrm{II}},\ -k_{f3} \leq -s_{\mathrm{III}})p \tag{2}$$

ahol: k_{ai} — az egy él mentén levő i-edik rugó alsó folyási határa
k_{ai} — az egy él mentén levő i-edik rugó felső folyási határa
s_i — az egy él mentén levő i-edik belső erő

Mint látható, a (2) összefüggés a definíciószerűen az eloszlásfüggvény értéke, a belső erők értékeitől függő helyen. F1-ben normális eloszlást tételeztünk fel, így (2) standardizált változókkal egyszerűbb alakra hozható.
Vezessük be a következő jelöléseket:

$$\frac{k_{ai} - E(k_{ai})}{D(k_{ai})} = \xi_i \qquad \frac{-k_{fi} + E(k_{fi})}{D(k_{fi})} = \eta_i$$

$$\frac{s - E(k_{ai})}{D(k_{ai})} = x_i \qquad \frac{-s_{fi} + E(k_{fi})}{D(k_{fi})} = y_i$$

A fenti jelölésekkel (2) a következő alakra hozható:

$$P(\xi_i \leq x_i,\ \eta_i \leq y_i,\ i = 1, \ldots 6) \geq p. \tag{3}$$

Az F2 feltételezést felhasználva (3) a független valószínűségi változók szorzatára vonatkozó tétel szerint egyszerűbb alakra hozhatjuk.

$$P(\xi_i \leq x_i,\ i = 1, 2, 3) \cdot P(\eta_i \leq y_i,\ i = 1, 2, 3) \geq p, \tag{4}$$

illetve a standard normális eloszlásfüggvény szokásos jelölésével:

$$\Phi^{(0,1,R_a)}_{(x_i,\ i=1,2,3)} \Phi^{(0,1,R_f)}_{(y_i,\ i=1,2,3,)} \geq p, \tag{5}$$

ahol: R_a, illetve R_f: az alsó, illetve felső folyási határok közötti korrelációs mátrix

Az optimális tervezés determinisztikus feladatának megfogalmazásától a sztohasztikus feladat annyiban tér el, hogy most a folyási határok várható értékeit keressük. A szórások és a korrelációk értékeit ismertnek tételezzük fel. Az optimális tervezési feladatunk kiindulópontját (1) összefüggésekkel leírt statikai tétel jelenti.

A szerkezet egyensúlyi egyenletei változatlanok maradnak. A képlékenységi feltétel helyett az (5) összefüggésben bevezetett sztohasztikus képlékenységi feltételt használjuk. A célfüggvény felírásakor következő gondolatmenetet követjük: A szerkezet súlya annál kisebb, minél jobban megközelítik a belső erők a folyási határok értékeit. Ezt az eltérést — a valószínűségi változójú folyási határértékek és a belső erők közötti különbséget — mint büntető függvényt tekintjük. Feltételezzük, hogy az eltéréstől a büntetés lineárisan függ. A büntetések összegének várható értékét az alsó folyási határ esetén a következőképp írhatjuk fel:

$$P_e^{(1)} = \sum_{i=1}^{m} (N_i s_i - E(k_{ai})) \cdot \int_{-\infty}^{N_i s_i} (Ns - v) dF_i^{(k_{ai})}. \tag{6}$$

Analóg módon a felső folyási határtól való eltérés esetén a büntetés a következő alakú:

$$P_e^{(2)} = \sum_{i=1}^{m} (E(k_{fi}) - N_i s_i) \cdot \int_{N_i s_i}^{\infty} (v - N_i s_i) dF_i^{(k_{fi})}(v). \tag{7}$$

gy a célfüggvény (6) és (7) összegeként felírható. A Stieltjes-integrálokat a sűrűségfüggvények segítségével Riemann-integrálokká átalakítva és parciálisan integrálva (6) és (7) egyszerűbb alakban írható, kihasználva azt, hogy $vF(v) \rightarrow$

$\rightarrow 0$, ha $v \rightarrow -\infty$, illetve $v(1 - F(v)) \rightarrow 0$, ha $v \rightarrow \infty$.

$$P_e^{(1)} = \sum_{i=1}^{m} (N_i s_i - E(k_{ai})) \int_{-\infty}^{N_i s_i} F_i^{(k_{ai})}(v) dv \tag{8}$$

illetve

$$P_e^{(2)} = \sum_{i=1}^{m} (-N_i s_i + E(k_{fi})) \int_{-\infty}^{N_i s_i} (1 - F_i^{(k_{fi})}(v)) dv. \tag{9}$$

A panelszerkezeti modell esetén az **N** egységmátrix lesz.

A sztohasztikus programozási feladat a következő:

$$\mathbf{G}^*\mathbf{s} + \mathbf{q} = \mathbf{0} \tag{10}$$

$$\Phi^{(0,1,R_a)}_{(x^i_j,\ j=1,2,3)}\ \Phi^{(0,1,R_f)}_{(yt,\ j=1,2,3)}\ p^i = 1 \ldots n$$

$$P_e^{(1)} + P_e^{(2)} \rightarrow \min.$$

ahol: n : a panelélek száma.

A (10) összefüggések megfelelnek Prékopa M11-es modelljének, melynek megoldhatóságát [4]-ben bizonyítja.

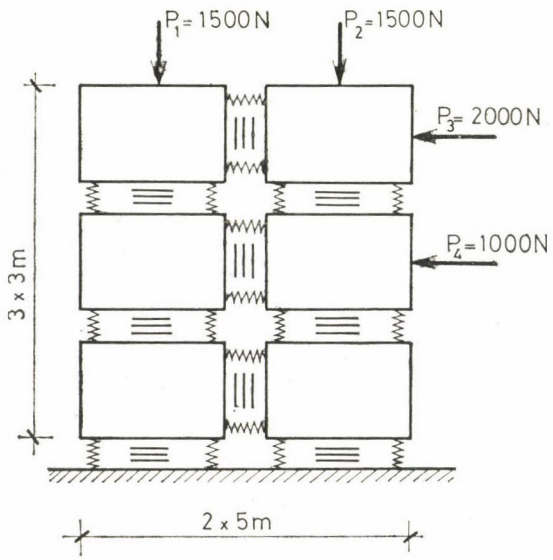
4. NUMERIKUS TAPASZTALATOK

A (10) jelű összefüggésekre program készült az MTA CDC 3300-as gépre. A feladatot Lagrange-féle multiplikátoros módszerrel oldottuk meg. A függvényértékek számítása a Milton-féle transzformációval és numerikus közelítéssel történt [5], a gradiensek számításához Szántai módszerét használtuk fel [6]. A célfüggvényben szereplő integrálokat Simpson-szabállyal közelítettük.

A bemutatott eljárással a következő feladatot oldottuk meg determinisztikus és sztohasztikus esetben (2. ábra).

Sztohasztikus esetben a folyási határok szórásértékei a vízszintes élek mentén 25,5, függőleges élek mentén 18,0 volt minden egyes rugónál. Az egy él mentén levő rugók folyási határai közötti korrelációs mátrixot a következőképp vettük fel:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0{,}7 & 0{,}2 \\ 0{,}7 & 1 & 0{,}2 \\ 0{,}2 & 0{,}2 & 1 \end{bmatrix}$$



2. ábra

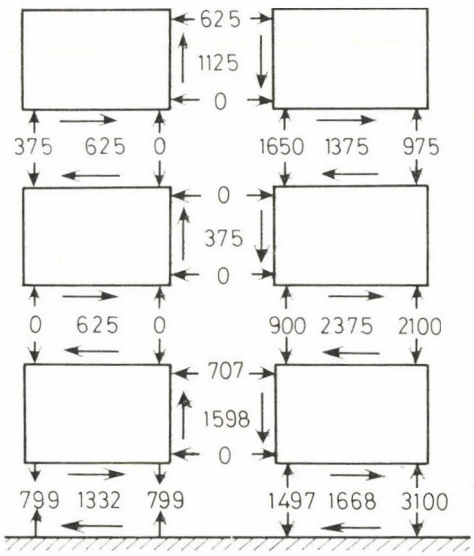
Mind a determinisztikus, mind a sztohasztikus feladat esetén a súlyozó faktort (l) egységnyinek vettük.

Determinisztikus feladat megoldása a 3. ábrán található.

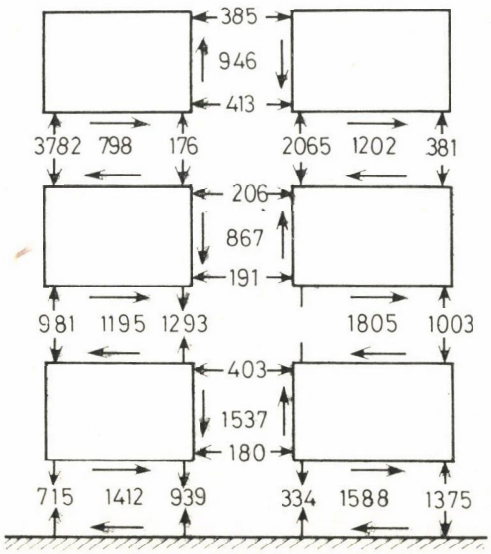
A célfüggvény értéke — vagyis a folyási határok értékeinek összege — 2462,62.

A sztohasztikus feladat megoldását a 4. ábra tartalmazza.

A folyási határok várható értékeinek összege — 2535,28.



3. ábra



4. ábra

Az eredmények azt mutatják, hogy különböző rugók folyási határértékei között a különbség lényegesen alacsonyabb sztohasztikus esetben (187,88), mint determinisztikus esetben (310,07), vagyis a szerkezet egyenletesebben „kívánja" az anyagot. Igaz ugyan, hogy a Σk érték valamivel magasabb volt sztohasztikus esetben, mint determinisztikus esetben, de a gyakorlatban olyan szerkezetet nem lehet építeni, ahol a folyási határ értéke nulla, így legalább egy él mentén — de általában nagyobb egységekre bontva a szerkezetet — azonos minőségű anyagot szoktak használni. Ekkor azonban a sztohasztikus feladat megoldása kedvezőbb, mert a legmagasabb folyási határérték itt 206,48, míg determinisztikus esetben 310,07.

A feladat futási ideje igen hosszú volt (2 óra 23 perc). Ennek oka az, hogy a célfüggvényben is eloszlásfüggvény-értékeket kellett számolni, és ez igen számításigényes.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban panelszerkezeteket merevtárcsa modellel számítva egy eljárást mutattunk be képlékeny optimális tervezési feladatra. Feltételeztük, hogy a szomszédos éleket összekapcsoló lineáris rugók folyási határai korrelált valószínűségi változók, és kerestük e folyási határértékek várható értékeit úgy, hogy a szerkezet súlya minimális legyen. A példából látható, hogy valószínűségi változókkal számolva a szerkezetre egyenletesebb anyagminőséget kaptunk, mint determinisztikus esetben.

IRODALOM

[1] Kaliszky S.: Képlékenységtan. Elmélet és mérnöki alkalmazások. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1975.

[2] Kaliszky S.—Wolf K.: Analysis of Panel Buildings by the Use of Rigid Panel Models, Periodica Polyt. Vol. 23. No 2., Budapest, 1979. 89—100

[3] Nédli P.: Lineárisan rugalmas — tökéletesen képlékeny rúdszerkezetek számítása matematikai programozással, Egyetemi doktori értekezés, 1976.

[4] Prékopa A.: Sztohasztikus rendszerek optimalizálási problémáiról. Matematikai doktori értekezés, Budapest, 1970.

[5] Milton, R. C.: Computer Evaluation of the Multivariate Normal Integral, Technometrics, Vol. 14., No 4., 1972. 881—888

[6] Szántai T.: Egy eljárás a többdimenziós normális eloszlásfüggvény és gradiense értékének meghatározására, Alk. Mat. Lapok, Budapest, 1976/2 27—39

*Dr. SZALAI JÓZSEF**

RÉTEGELT RAGASZTOTT ÍVES FATARTÓK ELŐÁLLÍTÁS SORÁN FELLÉPŐ SAJÁTFESZÜLTSÉGEINEK ÉS ALAKVÁLTOZÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA, A TARTÓK MÉRETEZÉSÉNEK PROBLÉMÁI

1. BEVEZETÉS

A faanyag építőipari alkalmazása az utóbbi években — örvendetes módon — egyre jobban kezd elterjedni. Felhasználása azonban csak akkor indokolt, ha szerkezeti, gazdaságossági, esztétikai szempontból felveszi a versenyt a többi építőanyaggal, ill. azoknál előnyösebb. Helyes tervezés és gyártástechnológia mellett a rétegelt ragasztott faszerkezetek minden tekintetben megfelelnek a korszerű építés követelményeinek.

A rétegelt ragasztott íves fatartók szilárdsági méretezésénél az előállításkor ébredő feszültségeket általában nem veszik figyelembe és a kész, homogénnak tekintett tartóra a görbe tengelyű rudakra levezetett elméleti összefüggéseket, ill. a gyakorlati tapasztalatok eredményeit alkalmazzák. Az íves tartók gyártása során azonban — helytelenül tervezett szerkezet esetén — mind a faanyagban, mind a ragasztórétegben ébredhetnek olyan feszültségek, melyek a terhelt vagy talán már a terheletlen tartó tönkremenetelét okozzák.

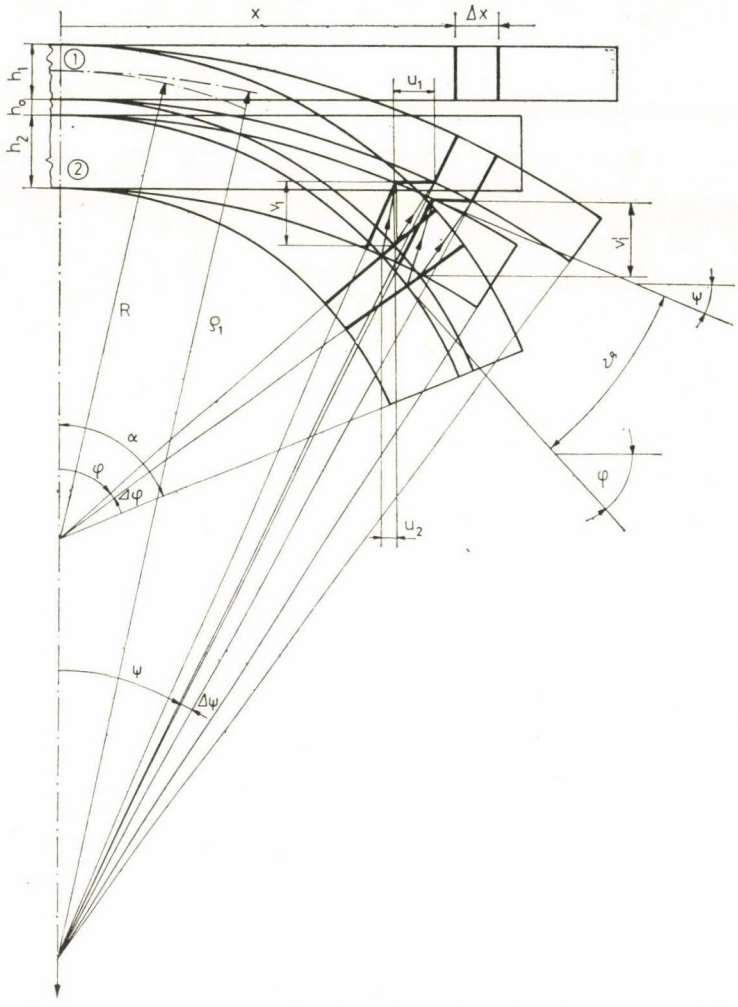
Az sem elhanyagolható kérdés, hogy a préselősablonból való kivétel után mekkora lesz a visszarugózás nagysága, milyen lesz a tartó alakja, hiszen a tervezéskor előírt alak pontos betartása — különösen sztatikailag határozatlan szerkezetek esetében — igen fontos.

A SAJÁTFESZÜLTSÉGEK ÉS AZ ALAKVÁLTOZÁS MEGHATÁROZÁSA (I. MÓDSZER)

A rétegelt ragasztott íves fatartók sajátfeszültségeinek és alakváltozásának meghatározásához egy differenciálegyenletrendszert kell megoldanunk. Ehhez a differenciálegyenletrendszerhez az alábbi gondolatmenettel juthatunk. (A megoldás részletes ismertetése [3]-ban megtalálható.)

A ragasztás síkjában uralkodó feszültségi és alakváltozási viszonyok vizsgálatára ragadjuk ki az n lamellából álló, körív alakú tartó valamelyik ragasztórétegét. A ragasztóréteggel szomszédos lamellákat jelöljük 1-gyel és 2-vel (1. ábra). Az ábrán a két lamella egyenes, R_1 és R_2 sugárra hajlított állapotban, majd a préselősablonból való kivétel utáni, kismértékben visszarugózott állapotban látható. A sablonból való kivétel után, a görbületi sugarak megnövekedése következtében az 1-es lamella ragasztóréteggel szomszédos szálai megnyúlni, a 2-es lamella ragasztóréteggel szomszédos szálai összehúzódni igyekeznek. En-

*Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron Mechanikai Tanszék.



1. ábra. A rétegelt ragasztott, körív alakú tartóból kiragadott két lamella alakváltozása az előállítás során

nek hatására a ragasztóréteg eredetileg egymásra merőleges síkjai egymáshoz képest γ szöggel elfordulnak. Írjuk fel a nyírófeszültség okozta szögváltozást az elmozdulások felhasználásával az 1. ábrának megfelelően:

$$-\gamma = -\frac{\tau}{G} = \frac{du}{dy} + \frac{dv}{dx} \cong \frac{\Delta u}{\Delta y} + \frac{\Delta v}{\Delta x}, \tag{1}$$

ahol

τ — a ragasztórétegben ébredő nyírófeszültség,
G — a ragasztóanyag nyíró rugalmassági modulusza,
u, v — az x és y irányú elmozdulás.

Az ábra alapján:

$$\frac{\Delta u}{\Delta y} = \frac{u_2 - u_1}{h_0} \quad \text{és} \quad \frac{\Delta V}{\Delta x} = \frac{v_1' - v_1}{\Delta x} = \frac{\Delta x(\varphi - \psi)}{\Delta x} = \vartheta, \tag{2}$$

ahol

u_1, u_2, v_1, v_1' — a h_0 vastagságú, Δx hosszúságú, elemi ragasztóréteg csúcsainak vízszintes és függőleges irányú elmozdulása,

φ — a keresztmetszet síkja és az y tengely által bezárt szög az adott görbületi sugárra (R_1, R_2) való hajlításkor,

ψ — a keresztmetszet síkja és az y tengely által bezárt szög a préselősablonból való kivételkor,

ϑ — a keresztmetszet szögelfordulása a préselősablonból való kivételkor.

Helyettesítsük be (2)-t (1)-be és differenciáljuk x szerint. Ha figyelembe vesszük, hogy

$$\frac{du_1}{dx} = \varepsilon_{1x}, \qquad \frac{du_2}{dx} = \varepsilon_{2x},$$

ahol

ε_{1x}, ε_{2x} — a lamellák ragasztóréteggel szomszédos szálainak rostokkal párhuzamos fajlagos hosszváltozása, az 1-es kifejezés a következőképpen alakul:

$$\varepsilon_{1x} - \varepsilon_{2x} - h_0 \frac{d\vartheta}{dx} - \frac{h_0}{G} \frac{d\tau}{dx} = 0.$$

Mivel a fenti összefüggés bármelyik ragasztórétegre érvényes, általánosan így írható:

$$\varepsilon_{ia} - \varepsilon_{i+1,f} - h_0 \frac{d\vartheta_i}{dx} - \frac{h_0}{G} \frac{d\tau_i}{dx} = 0, \tag{3}$$

ahol

ε_{ia} — az i-edik lamella alsó szálának fajlagos hosszváltozása,

$\varepsilon_{i+1,f}$ — az $i + 1$-edik lamella felső szálának fajlagos hosszváltozása,

ϑ_i — az i-dik lamella keresztmetszetének szögelfordulása, τ_i — az i-edik ragasztórétegben ébredő nyírófeszültség.

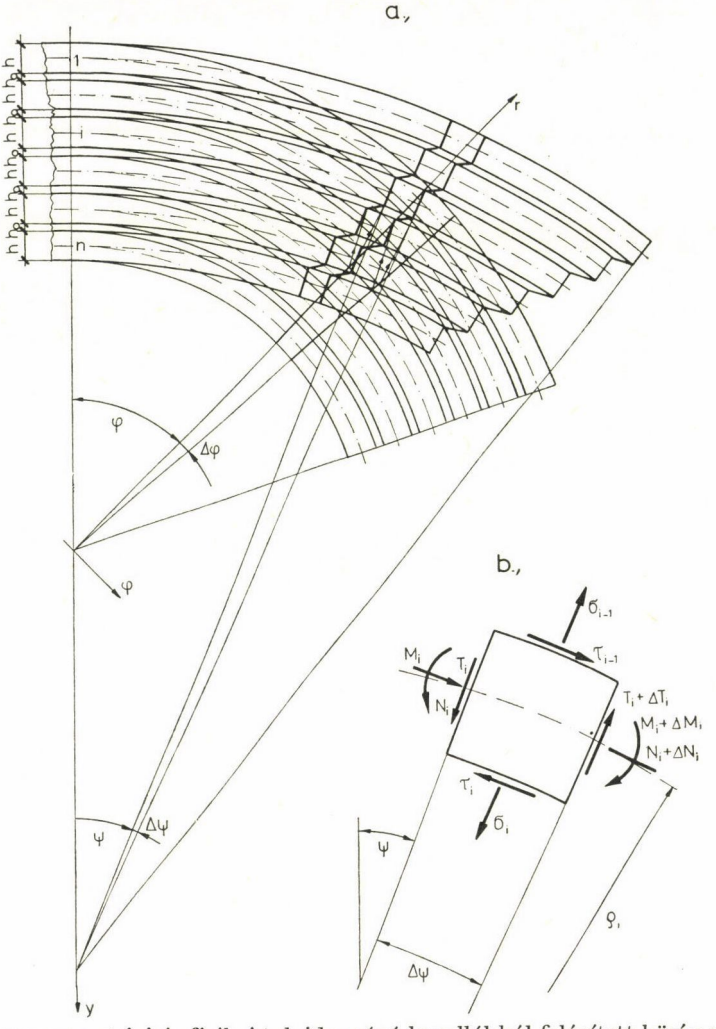
Megjegyezzük, hogy (3) akkor is érvényes, ha $R_1 \to \infty$.

Vizsgáljunk meg ezek után egy n lamellából álló, körív alakú tartót (2. ábra). A lamellák vastagsága h, szélessége b, a rostokkal párhuzamos rugalmassági modulusza E, a rostokra merőleges Poisson-tényező μ. A legkisebb görbületű lamella görbületi sugara R_1. A ragasztórétegek vastagsága h_0, a ragasztóanyag nyíró rugalmassági modulusza G.

Az i-edik lamella meghajlításához szükséges nyomaték:

$$M_{0i} = \frac{EI}{R_i} = \frac{Eh^3 b}{12[R_1 - (i-1)(h + h_0)]}.$$

Jelöljünk ki a tartón a φ szöggel megadott helyzetben két, egymással $\Delta\varphi$ szöget bezáró síkot. A két sík között elhelyezkedő elemi tartódarab a préselősablonból való kivétel után az ábrán látható „lépcsőzetes" alakot veszi fel. Vizsgáljuk meg az i-edik lamella elemi darabjának egyensúlyát a 2b. ábrán látható belső erőket és feszültségeket feltételezve. A vetületi és nyomatéki egyensúlyi egyenletekből a $\Delta\psi \to 0$ átmenet és a $\varrho_i \gg h/2$ esetén jó közelí-



2. ábra. Azonos geometriai és fizikai tulajdonságú lamellákból felépített körív alakú tartó
a) A tartó alakváltozása a préselősablonból való kivétel után.
b) Az i-edik lamella elemi darabjára ható belső erők és feszültségek

téssel igaz — $dx \cong \left(\varrho_i + \frac{h}{2}\right) d\psi \cong \left(\varrho_i - \frac{h}{2}\right) d\psi$ összefüggés felhasználásával az alábbi kifejezéseket nyerjük:

$$\left.\begin{aligned} T_i &= \frac{dM_i}{dx} + (\tau_{i-1} + \tau_i) b \cdot \frac{h}{2}, \\ \sigma_i &= \frac{1}{b} \frac{dT_i}{dx} + \sigma_{i-1}, \\ \tau_i &= -\frac{1}{b} \frac{dN_i}{dx} + \tau_{i-1}. \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

A fenti három egyenlet mindegyik lamellaelemre felírható, azok tehát érvényesek az $i = 1, 2, \ldots, n$ esetekre azzal a kiegészítéssel, hogy $\tau_0 = \tau_n = \sigma_0 = \sigma_n = 0$.

Mivel a tartóra külső erők nem hatnak, a belső erőknek tetszőleges keresztmetszetben egyensúlyban kell lenniük egymással:

$$\left.\begin{aligned} &\sum_{i=1}^{n} N_i = 0, \\ &\sum_{i=1}^{n} T_i + \sum_{i=1}^{n-1} \tau_i b h_0 = 0, \\ &\sum_{i=1}^{n} M_i - \sum_{i=1}^{n-1} N_i (n - i)(h + h_0) = 0. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

Mivel a lamellák görbületi sugara a lamelláknak a tartókeresztmetszetben elfoglalt helyétől csak igen kis mértékben függ, mind a préselősablonbeli, mind a sablonból való kivétel utáni görbületi sugarakra közelítőleg igaz, hogy

$$\left.\begin{aligned} R_i &\cong R_{i+1} \cong R_1, \\ \varrho_i &\cong \varrho_{i+1} \cong \varrho_1. \end{aligned}\right\} \tag{6}$$

A belső erők és feszültségek ismeretében a ragasztóréteggel szomszédos lamellaszálak fajlagos hosszváltozása felírható:

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon_{ia} &= \frac{M_{0i} - M_i}{EI} \frac{h}{2} - \frac{N_i}{Ehb} - \frac{\mu}{E} \sigma_i, \\ \varepsilon_{i+1,\,f} &= -\frac{M_{0,i+1} - M_{i+1}}{EI} \frac{h}{2} - \frac{N_{i+1}}{Ehb} - \frac{\mu}{E} \sigma_i. \end{aligned}\right\} \tag{7}$$

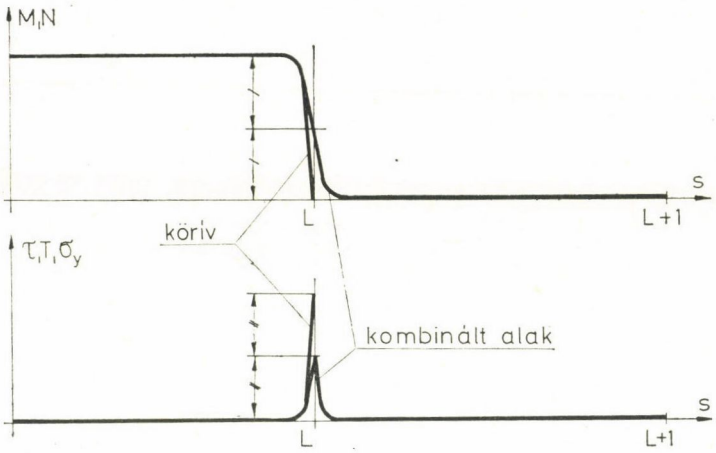
Helyettesítsük be a 4—7 kifejezéseket a 3-as differenciálegyenletbe. Rendezés után a következő differenciálegyenletrendszert nyerjük:

$$\left.\begin{aligned} Q_i = \frac{h_0}{Gb} \sum_{j=1}^{i} \frac{d^2 N_j}{dx^2} + \frac{N_{i+1} - N_i}{Ehb} - \frac{h^2 - h_0^2}{n\,EI} \sum_{j=1}^{n-1} N_j (n - j) + \\ + \frac{M_{0i}}{EI} (h - h_0) = 0, \qquad i = 1, 2, \ldots, n - 1. \end{aligned}\right\} \tag{8}$$

Az n darab ismeretlen normálerőfüggvény meghatározásához szükség van még (5) első egyenletére.

A differenciálegyenletrendszer megoldásával megkapjuk a lamellákban ébredő normálerőknek az x ívkoordináta mentén történő megoszlását. (A kerületi feltételek: $\tau_i(0) = 0$ és $N_i(L) = 0$, $i = 1, 2, \ldots, n - 1$. L — a körív hosszának fele.) Ezek és az elemi lamelladarabra felírható egyensúlyi egyenletek felhasználásával a többi keresett mennyiség (hajlítónyomaték, nyíróerő, görbületi sugár, elmozdulásfüggvények, ragasztási nyíró- és normálfeszültségek) már könnyen kifejezhető.

A differenciálegyenletrendszer akkor is használható, ha a körívhez egyenes tartószakaszok is csatlakoznak (kombinált alak). Ebben az esetben (8)-at az íves és az egyenes szakaszra is fel kell írni (az egyenes szakaszon a differenciálegyen-



3. ábra. A $2L$ hosszúságú, körív alakú és a $2L + l$ hosszúságú, kombinált alakú tartó belső erőinek és sajátfeszültségeinek változása az ívhossz mentén

let utolsó tagja $M_{0i} = 0$ miatt kiesik). Kombinált alakú tartó sajátfeszültségeinek meghatározásához tehát $2n$ egyenletből álló differenciálegyenletrendszert kell megoldani. (Ebben az esetben a kerületi feltételek: $\tau_{i,iv}(0) = 0$, $N_{i,egy}(\tau) = 0$, $N_{i,iv}(L) = N_{i,egy}(0)$, $\tau_{i,iv}(L) = \tau_{i,egy}(0)$, $i = 1, 2, \ldots, n - 1$. (l — a körívhez csatlakozó egyenes szakasz hossza.)

A differenciálegyenletrendszer partikuláris megoldását egyelőre csak közelítő módszerekkel sikerült meghatározni. A megoldás alapján a keresett mennyiségek a tartó hossztengelye mentén sinus- és cosinushiperbolikus függvények szerint változnak. A változás jellegét a 3. ábrán sematikusan ábrázoltuk.

A belső erőkről és a sajátfeszültségekről a következőket állapíthatjuk meg:

— a lamellákban ébredő normálerő és nyomaték az L hosszúságú körívés szakaszon gyakorlatilag állandó, csak a lamellák végein, ill. az átmeneti keresztmetszet (az íves és egyenes tartórészek csatlakozása) közvetlen környezetében csökkennek hirtelen nullára,

— a lamellákban ébredő nyíróerő, a ragasztórétegekben fellépő nyíró- és normálfeszültség a lamellavégek és az átmeneti keresztmetszetek környezetének kivételével elhanyagolhatók,

— az előbbiek miatt a tartó alakja a préselősablonhoz képest megváltozik; az íves szakasz gyakorlatilag egy ϱ sugarú körívvé ($\varrho > R$) alakul, az egyenes szakasz pedig továbbra is egyenes marad.

A közelítő megoldás a normálerők, a hajlítónyomatékok és az alakváltozás szempontjából a szemlélettel és a kísérleti eredményekkel igen jól megegyezik. A nyíróerő és a ragasztórétegekben ébredő feszültségek eloszlása jellegében megfelelő, a függvényekkel számítható maximális értékek azonban lényegesen nagyobbak a valóságosnál.

A meglehetősen bonyolult és hosszadalmas számításokat igénylő módszer hátrányai közé sorolható, hogy csak azonos geometriai és fizikai tulajdonságokkal bíró lamellákból felépített tartókra alkalmazható.

A fenti hátrányos tulajdonságok kiküszöbölésére egy új módszert ismertetünk.

A SAJÁTFESZÜLTSÉGEK ÉS AZ ALAKVÁLTOZÁS MEGHATÁROZÁSA (II. MÓDSZER)

Vizsgáljunk egy n lamellából álló rétegelt ragasztott, körív alakú tartót (4. ábra). A lamellák szilárdsági tulajdonságainak most nem kell megegyezniük, alakjukra pedig csak azt a kikötést tesszük, hogy keresztmetszetük az x_i, y_i tengelyekre szimmetrikus legyen.

Tegyük fel, hogy az s ívkoordinátával jellemzett keresztmetszetben, az i-edik lamellában — melynek görbületi sugara R_i — a préselősablonból való kivétel után N_i és M_i belső erők ébrednek. A belső erőknek ki kell elégíteniük a következő két egyensúlyi feltételt:

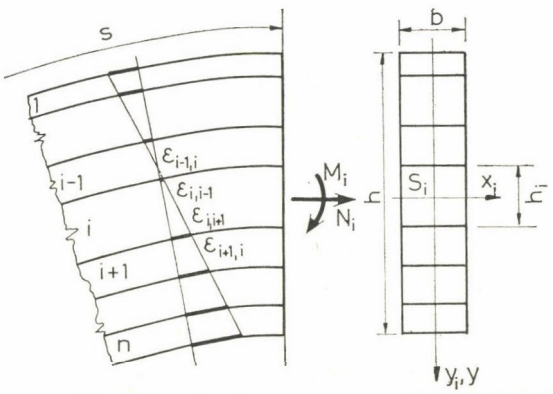
$$\left.\begin{aligned} \sum_{i=1}^{n} N_i &= 0, \\ \sum_{i=1}^{n} M_i - \sum_{i=1}^{n} a_i N_i &= 0, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

ahol

$$a_i = \frac{1}{2}\left(2\sum_{j=1}^{i} h_j - h_1 - h_i\right).$$

A belső erők az i-edik és az $i+1$-edik lamella szélső szálaiban az alábbi fajlagos hosszváltozásokat hozzák létre:

$$\left.\begin{aligned} E\varepsilon_{i,i-1} &= -\frac{M_{0i} - M_i}{J_i}\,\frac{h_i}{2} + \frac{N_i}{A_i}, \\ E\varepsilon_{i,i+1} &= \frac{M_{0i} - M_i}{J_i}\,\frac{h_i}{2} + \frac{N_i}{A_i}, \\ E\varepsilon_{i+1,i} &= -\frac{M_{0i+1} - M_{i+1}}{J_{i+1}}\,\frac{h_{i+1}}{2} + \frac{N_{i+1}}{A_{i+1}}, \\ E\varepsilon_{i+1,i+2} &= \frac{M_{0i+1} - M_{i+1}}{J_{i+1}}\,\frac{h_{i+1}}{2} + \frac{N_{i+1}}{A_{i+1}}, \end{aligned}\right\} \tag{10}$$



4. ábra. Változó geometriai és fizikai tulajdonságú lamellákból felépített körív alakú tartó lamelláiban ébredő belső erők és a fajlagos hosszváltozások.

ahol

E — egy tetszőlegesen választott rugalmassági modulusz,

$J_i = \frac{E_i}{E} I_i$ — az i-edik lamella keresztmetszetének módosított másodrendű nyomatéka,

I_i — az i-edik lamella keresztmetszetének másodrendű nyomatéka

$A_i = \frac{E_i}{E} F_i$ — az i-edik lamella módosított keresztmetszetterülte,

F_i — az i-edik lamella keresztmetszetének területe,

E_i — az i-edik lamella rugalmassági modulusza.

Alakváltozási feltételként két egyenletet írhatunk fel. A ragasztóréteg mentén érintkező lamellaszálak fajlagos hosszváltozása egyenlő:

$$\varepsilon_{i,i+1} = \varepsilon_{i+1,i}, \tag{11}$$

a második feltétel azt a Bernoulli—Navier feltételezést fogalmazza meg, hogy az összkeresztmetszet az alakváltozás után is sík marad:

$$h_{i+1}(\varepsilon_{i,i-1} - \varepsilon_{i,i+1}) = h_i(\varepsilon_{i+1,i} - \varepsilon_{i+1,i+2}). \tag{12}$$

Helyettesítsük be az alakváltozási feltételekbe a (10)-es kifejezéseket:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{M_i}{J_i} h_i + \frac{M_{i+1}}{J_{i+1}} h_{i+1} - 2\frac{N_i}{A_i} + 2\frac{N_{i+1}}{A_{i+1}} = \frac{M_{0i}}{J_i} h_i + \frac{M_{0i+1}}{J_{i+1}} h_{i+1}, \\ &\frac{M_i}{J_i} - \frac{M_{i+1}}{J_{i+1}} = \frac{M_{0i}}{J_i} - \frac{M_{0i+1}}{J_{i+1}}, \qquad i = 1, 2, \ldots, n-1. \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

(13) és (9) egy $2n$ egyenletből álló egyenletrendszert alkot, melyből az N_i, M_i ismeretlen belső erők az ún. rekurzív visszahelyettesítés alkalmazásával egyértelműen meghatározhatók:

$$M_i = M_{0i} - J_i \frac{M_0 A}{AJ - S^2}, \tag{14}$$

$$N_i = \frac{A_i M_0}{AJ - S^2}(Aa_i - S), \tag{15}$$

ahol

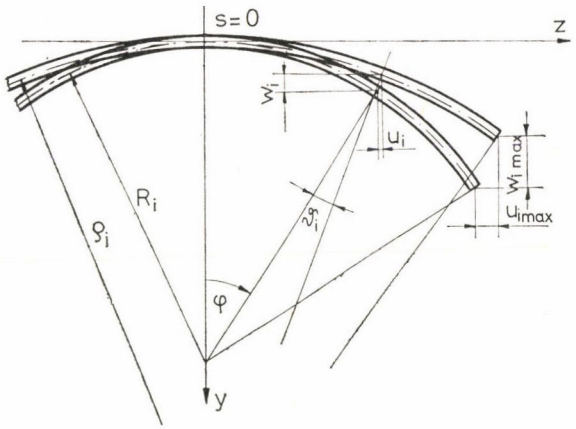
$$A = \sum_{i=1}^{n} A_i, \quad J = \sum_{i=1}^{n} J_i + \sum_{i=1}^{n} A_i a_i^2, \quad M_0 = \sum_{i=1}^{n} M_{0i}, \quad S = \sum_{i=1}^{n} A_i a_i. \tag{16}$$

A belső erők ismeretében a lamellákban ébredő normálfeszültségek:

$$\sigma_{si} = \frac{M_i}{I_i} y_i + \frac{N_i}{A_i}. \tag{17}$$

Az alakváltozási jellemzők (5. ábra):

$$\frac{1}{\varrho_i} = \frac{M_i}{E_i I_i} = \frac{M_{0i}}{E_i I_i} - \frac{M_0 A}{E(AJ - S^2)}, \tag{18}$$



5. ábra. Az i-edik lamella alakváltozási jellemzőinek értelmezése

a keresztmetszet szögelfordulása:
$\frac{d\vartheta_i}{ds} = -\frac{M_{0i} - M_i}{E_i I_i} = -\frac{M_0 A}{E(AJ - S^2)}$, innen a $\vartheta_i(0) = 0$ kerületi feltétel felhasználásával:

$$\vartheta_i = -\frac{M_0 A s}{E(AJ - S^2)}, \tag{19}$$

az elmozdulásfüggvények:

$$du_i = -\vartheta_i dy = -\vartheta_i R_i \sin\varphi\, d\varphi,\ dv_i = \vartheta_i dz = \vartheta_i R_i \cos\varphi\, d\varphi,$$

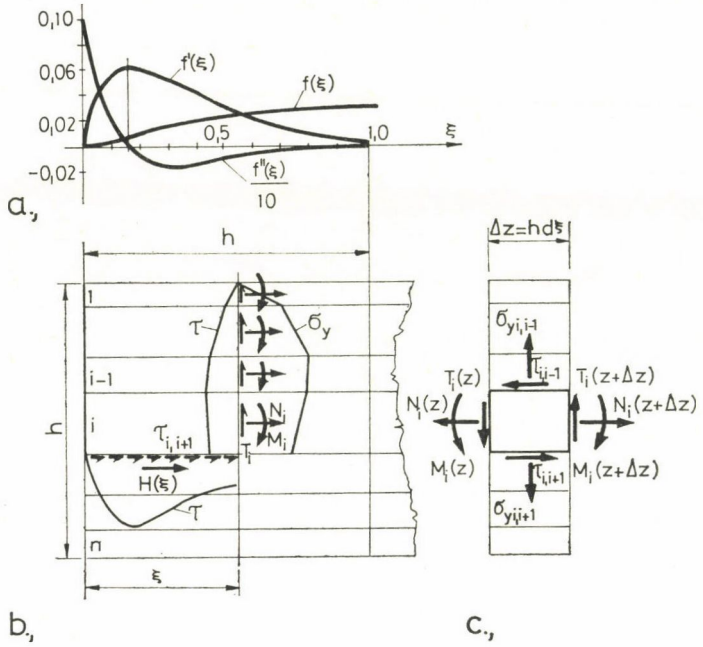
az $u_i(0) = 0$ és $v_i(0) = 0$ kerületi feltételek felhasználásával:

$$u_i = \frac{M_0 A R_i^2}{E(AJ - S^2)}(\sin\varphi - \varphi\cos\varphi), \tag{20}$$

$$w_i = -\frac{M_0 A R_i^2}{E(AJ - S^2)}(\cos\varphi + \varphi\sin\varphi - 1). \tag{21}$$

Az alakváltozások megadásához a koordinátarendszert úgy vettük fel, hogy az y tengely a körív alakra hajlított, $2L$ hosszúságú lamella szimmetriatengelye legyen, a z tengely pedig átmegy a lamella súlyponti tengelyén. Az s ívkoordináta kezdőpontja az y, z koordináterendszer középpontja.

A fenti összefüggések azt mutatják, hogy a belső erők és a belőlük származó sajátfeszültségek a tartó hossztengelye mentén állandók. A normálfeszültségek a lamellák végein is egyensúlyban vannak, de nem teljesül az a kerületi feltétel, hogy a terheletlen felületen feszültségek nem ébredhetnek. Guyon [1] homogén, izotrop rudakon végzett vizsgálatai alapján, melyek Henrici [2] szerint a rétegelt ragasztott faszerkezetek lamelláira is jól alkalmazhatók, a végkeresztmetszetek közelében fellépő feszültségtorzulás elméleti úton is számítható. Az elmélet szerint a feszültségek alakulásában csak a rúdvégek $h = \sum_{i=1}^{n} h_i$ távolságú



6. ábra. A lamellavégek közelében fellépő feszültségtorzulás számítása
a) A Guyon által definiált függvények
b) A lamellavégek közelében ébredő belső erők és feszültségek
c) A Δz hosszúságú i-edik lamellára ható belső erők és feszültségek

környezetében támad zavar. Mivel a σ_{si} feszültségeknek a (17) képlettel számított értékről a tartó végéig nullára kell csökkenniük, a h szakaszon az egyensúly fenntartása érdekében újabb feszültségösszetevők fognak ébredni. A feszültségeloszlások meghatározásánál a lamellák végeitől számított h hosszúságú darabot egyenesnek tekintjük, ami — figyelembe véve a rétegelt ragasztott faszerkezetek geometriai méreteit — gyakorlatilag elfogadható. A számításokhoz Guyon a 6a. ábrán látható függvényeket definiálta:

$$\left.\begin{aligned} f(\xi) &= \frac{a_1}{a_3^2}\left(1 - (1 + a_3\xi)\exp\left(-a_3\xi\right)\right), \\ f'(\xi) &= a_1\xi\exp\left(-a_3\xi\right), \\ f''(\xi) &= a_1\left(1 - (1 - a_3\xi)\exp\left(-a_3\xi\right)\right), \quad \xi = \frac{z}{h}, \end{aligned}\right\} \tag{22}$$

a függvények érvényességi tartománya $0 \leq \xi \leq 1$. Az a_i állandók értéke Henrici szerint: $a_1 = 16{,}3$, $a_3 = 6$.

A végkeresztmetszetek környezetének nyírófeszültségeloszlását a

$$\tau(\xi) = \tau_{\max}(y) f'(\xi) \tag{23}$$

függvénnyel közelíthetjük, ahol $\tau_{\max}(y)$ — az y koordinátájú szálban, a $\xi_m =$

$= 1/a_3$ helyen ébredő nyírófeszültségmaximum (4a., b. ábra). A nyírófeszültségek hatására fellépő eltolóerőt (23) z szerinti ($dz = hd\xi$) integrálásával nyerjük:

$$H(\xi) = \int_0^{\xi} \tau(\xi) b(y) dz = \tau_{\max}(y) b(y) h f(\xi). \tag{24}$$

Megjegyezzük, ha a tartó keresztmetszetén belül változik a lamellák szélessége és y éppen valamelyik ragasztóréteg helyét adja meg, $b(y)$ helyébe a ragasztóréteg mentén érintkező két lamella szélességi mérete közül a keskenyebbét kell behelyettesíteni. Mivel $\xi = 1$-nél a nyírófeszültségek gyakorlatilag eltűnnek, az $i, i+1$ jelű ragasztórétegben ébredő nyírófeszültségmaximum a $H(1) + \sum_{j=1}^{i} N_j = 0$ vízszintes vetületi egyensúlyi egyenletből meghatározható:

$$\tau_{\max}(y) = -\frac{a_3^2 \sum_{j=1}^{i} N_j}{a_1 h b(y)(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))} \tag{25}$$

Írjunk fel a 6c. ábrán látható lamellaelemre egy vízszintes vetületi egyensúlyi egyenletet:

$$\frac{dN_i(z)}{dz} = b_{ia}\tau_{i,i+1} - b_{if}\tau_{i,i-1} = \frac{a_3^2 N_i f'(\xi),}{a_1 h(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))},$$

innen:

$$N_i(\xi) = \frac{a_3^2 N_i f(\xi)}{a_1(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))}. \tag{26}$$

A nyomatéki függvény (26)-hoz hasonlóan alakul a végek közelében:

$$M_i(\xi) = \frac{a_3^2 M_i f(\xi)}{a_1(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))}. \tag{27}$$

A nyomatéki egyensúlyi egyenletből megkapjuk a lamellákban ébredő nyíróerőt:

$$T_i(x) = \frac{dM_i(x)}{dx} + \frac{h_i}{2}(b_{ia}\tau_{i,i+1} + b_{if}\tau_{i,i-1}),$$

s ezzel:

$$T_i(\xi) = \frac{a_3^2\left(M_i + \frac{h}{2}\left(2\sum_{j=1}^{i} N_j - N_i\right)\right) f'(\xi)}{a_1 h(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))}. \tag{28}$$

Írjunk fel egy függőleges vetületi egyensúlyi egyenletet a Δz hosszúságú tartódarab első i elemére:

$$\frac{dT_i(x)}{dx} - b_{ia}\sigma_{yi,i+1} = 0,$$

ebből:

$$\sigma_{yi,i+1} = \frac{a_3^2 \sum_{k=1}^{i}\left(M_k + \frac{h_k}{2}\left(2\sum_{j=1}^{k} N_j - N_k\right)\right) f''(\xi)}{a_1 b_{ia} h^2(1 - (1 + a_3)\exp(-a_3))}. \tag{29}$$

Ezzel meghatároztuk a belső erők és a sajátfeszültségek megoszlását a tartóvégek közelében is. A (14), (15), (23)—(29) kifejezések a tartó minden pontján eleget tesznek az egyensúlyi és a kerületi feltételeknek. Kombinált tartóalak esetén ugyanezek az összefüggések érvényesek, a feszültségtorzulás az átmeneti keresztmetszetnél felvett h hosszúságú szakaszon következik be és az egyenes tartórész gyakorlatilag feszültségmentes marad.

A sajátfeszültségek meghatározására szolgáló új módszer nagy előnye — a sokkal kisebb matematikai apparátust igénylő számítás mellet — az is, hogy kis kiegészítéssel tetszőleges alakú íves tartókra is alkalmazható. Legyen a préselősablonba zárt i-edik lamella semleges tengelyének egyenlete $y_i = y_i(z)$ tetszőleges függvény. A hajlításhoz szükséges nyomaték:

$$M_{0i}(z) = -E_i I_i y_i''(z). \tag{30}$$

A nyomaték z tengely menti változása miatt a lamellákban nyíróigénybevétel is ébred:

$$T_{0i}(z) = \frac{dM_{0i}(z)}{dz}.$$

Mivel a nyíróigénybevételnek a lamellák fajlagos hosszváltozására nincs hatása a körív alakú tartóra bemutatott levezetés most is érvényben marad, csak ki kell egészíteni a nyíróigénybevétellel kapcsolatos összefüggésekkel. Így pl. a (9)-es kifejezések egy harmadik egyensúlyi egyenlettel bővülnek:

$$\sum_{i=1}^{n} T_i(z) = \sum_{i=1}^{n} \frac{dM_i(z)}{dz} = 0, \tag{31}$$

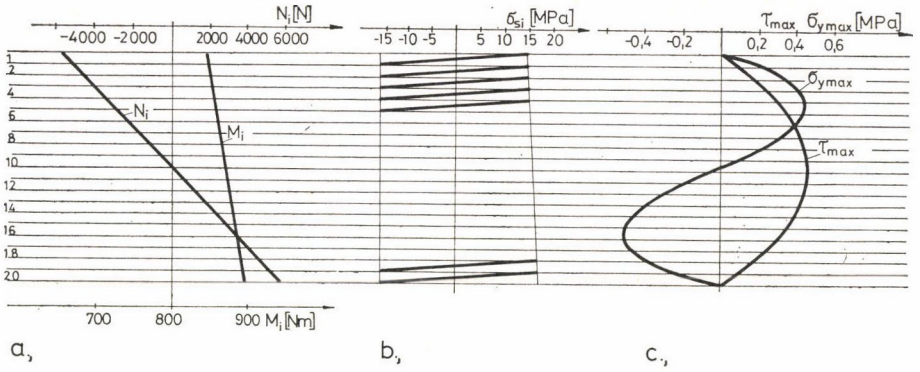
a (14), (15) egyenletekhez is egy harmadik kapcsolódik:

$$T_i(z) = T_{0i}(z) - J_i \frac{T_0(z)A}{AJ - S^2}, \quad \text{ahol} \quad T_0(z) = T_{0i}(z). \tag{32}$$

Ezzel elvileg tetszőleges alakú tartó minden pontjában meghatározhatjuk a sajátfeszültségek hatására kialakuló feszültségállapotot.

A SZÁMÍTÁSI MÓDSZEREK KIÉRTÉKELÉSE ÉS ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A rétegelt ragasztott íves fatartók sajátfeszültségeinek és alakváltozásának számítására — az előző részben leírtaknak megfelelően — két módszer áll rendelkezésünkre. Az elsőnél egy differenciálegyenletrendszert kell megoldani, a másodiknál egy algebrai egyenletrendszert. A belső erők és feszültségek ívkoordináta menti változására a második módszerrel is a 3. ábrán látható jelleggörbéket kapjuk. A normálerőkre, a hajlítónyomatékokra, s ezzel az alakváltozásokra gyakorlatilag ugyanazt az eredményt adja mindkét módszer. A vég-, ill. átmeneti keresztmetszetek közelében a feszültségtorzulás következtében fellépő feszültségkomponensek maximumára a második módszer szolgáltat a gyakorlat számára elfogadható és használható eredményt. A második módszer tetszőleges alakú tartók számítására is alkalmas. Természetesen felesleges minden pontban kiszámítani a belső erőket, elegendő, ha azok maximumait ismerjük. A normálerők és hajlítónyomatékok maximuma a legnagyobb görbületű helyen lesz. Meg kell határozni ezen kívül a vég-, ill. átmeneti keresztmetszetek-



7. ábra. A belső erők és feszültségek alakulása a tartókeresztmetszeten belül
a) A hajlítónyomaték és a normálerő változása a tartó $2(L-h)$ hosszúságú belső részén
b) A hajlítónyomatékokból és a normálerőkből ébredő normálfeszültségek változása a tartó $2(L-h)$ hosszúságú belső részén
c) A végkeresztmetszetek közelében ébredő τ és σ_y feszültségek maximumának alakulása

től h távolságra ébredő belső erőket, hogy a feszültségkomponensek maximumait kiszámíthassuk. A második módszerrel számított összefüggésekben a ragasztóréteg vastagsága nem szerepel. Ez összhangban van azzal, hogy az első módszerrel meghatározott feszültségi- és alakváltozási jellemzőkre a különböző ragasztórétegvastagságok hatása gyakorlatilag elhanyagolható.

A belső erők és feszültségek tartókeresztmetszeten belüli eloszlásának elemzéséhez oldjunk meg egy példát. Vegyünk egy azonos geometriai és fizikai tulajdonságokkal rendelkező lamellákból álló, körív alakú tartót, melynek adatai: $n = 20$, $h_i = 45$ mm, $b_i = 120$ mm, $R_{20} = 13501{,}9$ mm, $E_i = 10000$ MPa, $2L = 38223{,}7$ mm.

A második módszerrel számított mennyiségeket az 7. ábrán láthatjuk.

A lamellák hajlításához szükséges nyomatékok:

$$M_{01} = 846{,}3 \text{ Nm}, \quad M_{020} = 899{,}9 \text{ Nm}.$$

A belső erők:

$$M_1 = 844{,}1 \text{ Nm}, \quad M_{20} = 897{,}7 \text{ Nm}, \quad N_1 = -N_{20} = -5526{,}2\, N,$$

$$N_{10} = -N_{11} = -290{,}9\, N.$$

A normálerők és nyomatékok a szélső értékek között lineárisan változnak (7a. ábra).

A tartó súlyponti tengelyének görbületi sugara az alakváltozás előtt és után:

$$R_S = 13929{,}4 \text{ mm}, \quad \varrho_S = 13964{,}3 \text{ mm}.$$

A tartóvégek elmozdulása:

$$u_S = 24{,}7 \text{ mm}, \quad w_S = -18{,}9 \text{ mm}.$$

A lamellák felső szálai húzottak, alsó szálai nyomottak lesznek (7b. ábra), a feszültségek szélső értékei:

$$\sigma_{s1} = 14{,}86 \text{ MPa}, \quad \sigma_{s20} = 17{,}39 \text{ MPa}, \quad \sigma_{s1} = -16{,}40 \text{ MPa},$$

$$\sigma_{s20} = -15{,}86 \text{ MPa}.$$

A ragasztórétegekben ébredő feszültségek maximumai:

$$\tau_{max} = \tau_{10,\ 11max} = 0{,}45 \text{ MPa},$$

$$\sigma_{ymax} = \sigma_{y4,5max} = 1{,}22 \text{ MPa}, \quad \sigma_{ymin} = \sigma_{y16,17min} = -1{,}36 \text{ MPa}.$$

Az összefüggések természetesen nemcsak a ragasztórétegekre, hanem bármely y-ra alkalmazhatók. A 7c. ábrán láthatjuk, hogy a nyírófeszültségek cosinus, a hossztengelyre merőleges normálfeszültségek sinus függvényhez hasonlóan változnak.

A változások jellege hasonló marad akkor is, ha a tartókeresztmetszeten belül a lamellák jellemzői nem egyeznek meg.

A RÉTEGELT RAGASZTOTT ÍVES FATARTÓK MÉRETEZÉSÉNEK PROBLÉMÁI

A szabvány szerint rétegelt ragasztott íves tartóknál az előhajlításból származó sajátfeszültségeket csak akkor kell figyelembe venni, ha $R_i/h_i < 300$. Az előhajlításból származó feszültséget azonban kiszámíthatjuk a

$$\sigma_{smax} = \frac{M}{K_i} = \frac{E_i I_i}{R_i K_i} \tag{33}$$

kifejezéssel, ahol K_i — az i-edik lamella keresztmetszeti tényezője. Téglalap keresztmetszet és $E_i = 10000$ MPa, $R_i/h_i = 300$ esetén:

$\sigma_{smax} = \frac{1}{2} \frac{E_i}{\left(\frac{R_i}{h_i}\right)} = 16{,}7$ MPa, ami nem elhanyagolható érték, hiszen majdnem eléri a szabványban megadott határfeszültséget. Mivel a sajátfeszültségek és a külső terhelésből származó feszültségek szuperponálódnak, a rostokkal párhuzamos normálfeszültségek olyan nagyok lesznek, hogy az idáig tervezett szerkezeteknek tulajdonképpen már tönkre kellett volna menniük. Ez valószínűleg azért nem következett be, mert egyrészt, a rétegelt ragasztott szerkezetek határfeszültsége — a nagymértékű homogenizálás következtében — lényegesen nagyobb, mint a szabványban megadott érték, másrészt, az íves fatartók tönkremenetele szempontjából nem a rostokkal párhuzamos, hanem az azokra merőleges normálfeszültségek a kritikusak. σ_y feszültségek azonban a tartónak azon a részén, ahol a külső terhelésből származó rostra merőleges normálfeszültségek maximálisak, nem ébrednek, így ebből a szempontból a számítás hibátlan volt. Ezek után — feltételezve, hogy a rétegelt ragasztott fatartók határfeszültségeit pontosan ismerjük — a tartók tervezését és méretezését a következő pontok alapján végezhetjük:

1. Megadjuk a tartó elméleti középvonalát.
2. A görbe tengelyű tartókra vonatkozó méretezési elvek felhasználásával a mértékadó terhelésből kiszámítjuk a keresztmetszeti méreteket.
3. Megválasztva a lamellák számát, geometriai és fizikai jellemzőit (18) képlettel meghatározzuk a préselősablon, ill. a lamellák görbületi sugarát.
4. Kiszámítjuk a sajátfeszültségeket.
5. A sajátfeszültségeket és a külső terhelésből származó feszültségeket szuperponálva ellenőrizzük a tartó kritikus pontjait.

IRODALOM

[1] Guyon, Y.: Contraintes dans les pièces prismatiques soumises à des forces appliquées sur leur bases, au voisinage de ces bases. Int. Vereinigung für Brückenbau und Hochbau, Abhandl. 11 (1951), S. 165—226.

[2] Henrici, D.: Zur Mechanik des vielfach geschichteten Verbundstabes unter Temperatur- und Feuchtigkeitsbeanspruchung. Die Bautechnik, 5/1977, S. 156—163.

[3] Szalai J.: Rétegelt ragasztott íves fatartók előállítás során fellépő sajátfeszültségeinek és alakváltozásának meghatározása. Disszertáció, 1981. Erdészeti és Faipari Egyetem, Sopron.

[4] Szalai J.: Die Ermittlung der während der Herstellung auftretenden Eigenspannungen und Verformung von gekrümmter Brettschichtträger (I., II. Teil). Die Bautechnik. Megjelenés alatt.

VÁMOS FERENC

ADALÉKOK FESZL FRIGYES ÉLETÉHEZ ÉS MUNKÁSSÁGÁHOZ[1]
(II. rész)

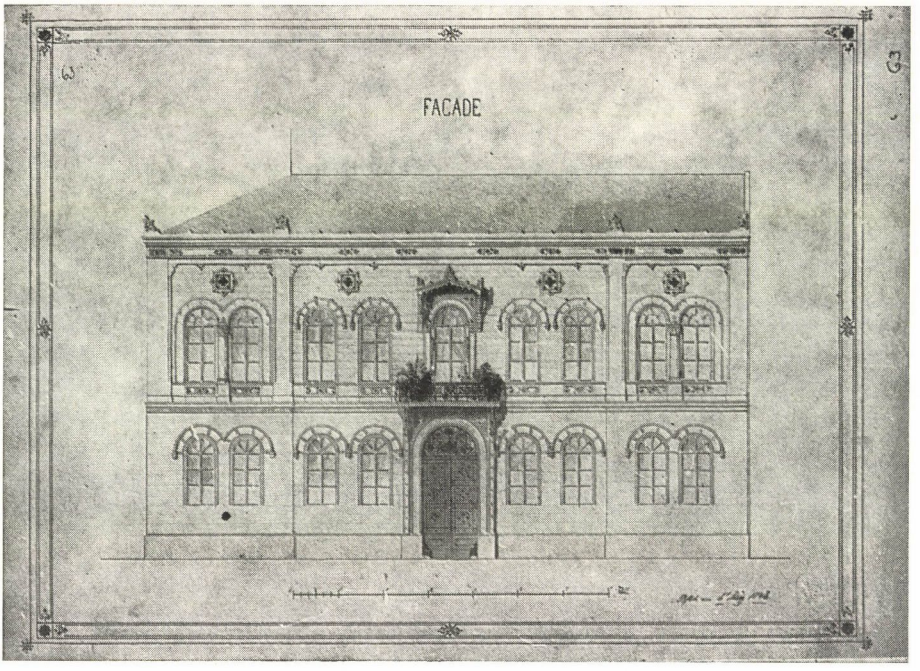
Feszl Frigyes műveiből (a Vigadó megkezdéséig)[2]

Művei ismertetéséhez jó kiindulás a *Pesth am 6. März 1848* felírású, igénytelen homlokzati terv, mely már Feszl későbbi fejlődésének számos vonását viseli. Nem tudjuk, kinek a számára készült, azt sem, hogy megépült-e egyáltalán. Hagyatékában találtam rá 1924-ben. Egyemeletes sarokházról van szó, amelyből csak az egyik homlokzat maradt fenn. Főhomlokzatán kilenc tengelye van, közülük kettő-kettő kapcsolt. Az emeleti középnyílást baldachinszerű szemöldökpárkány emeli ki. A két kapcsolt oldalablak tengelyében oszlop áll (mint az Oszwald-háznál). A kapcsolt ablakok ilyen megoldásához oldalrizalit kiemelés is csatlakozik. A terv a földszinti ablakokat is párosan fogja egybe kettesével érintkező szemöldökívekkel s érintkezésüknél egy-egy gyámkővel. Feszl az emeleten a földszinti ablakokat széthúzta, úgy hogy a szemöldökíveket mindkét végpontjukon egy-egy gyámkővel támasztotta alá, a főtengelybe helyezett nyílás boltívét pedig két oszlopra állította. A kaputengelyben, a földszinti nyílás felett, két öntöttvas korlátú erkély van. A kaput 6 négykaréjos mezőre osztotta. A földszintet az emelettől elválasztó párkányt gyémánt metszésű léc fogja egybe. Az emeleti ablakok mellvédjét fekvő, átlósan átfont szalag díszíti, amilyen az Oszwald-házon is látható. Ez a motívum az emelet feletti attikán is megjelenik. Az utóbbi falmezőt az emeleti ablaktengelyekben egyenként két négyzet 45°-os elfordításából álló „csillag" díszíti, gótikus négy karélyból mélyített mezőkkel. Az attikafalat tagolt pártázat ékíti, a homlokzaton kisebb és nagyobb pártaelemekkel. Az utóbbi típusnál megfigyelhető a sarkon álló kéttengelyű pártaelem. A következőkben látni fogjuk, hogyan érvényesülnek e homlokzat elvei.

A művek időrendi felsorolását a müncheni évek két alkotásával kezdjük. Az egyik *(a gelnhauseni oszlopfők rajzai)* valószínű az akadémiai vizsgamunka. Ehhez három címlapterve is maradt az Országos Levéltárban őrzött hagyatékban. Egyiken „Knäufe zu Kaiser Barbarossa Palast und Kirche zu Gelnhausen. Nach der Natur gezeichnet Fridrich Feszl Architekt", a másikon „Knäufe vom Kaiser Barbarossa Palast und Domen zu Gelnhausen. Gezeichnet Fridrik Feszl Architekt" felírás olvasható. A harmadik az előbbiekhez képest nem mond újat, a felírást itt is szalagkompozíció fogja körül. 1840—42 között készülhetett. A három fedőlap közül az egyiken hiányzik a szalagdísz, amely

[1] Az írás első részét az „Építés- Építészettudomány" XIII. (1981) 1—2. sz. 211—230. oldalán közöltük. *(Szerk.)*

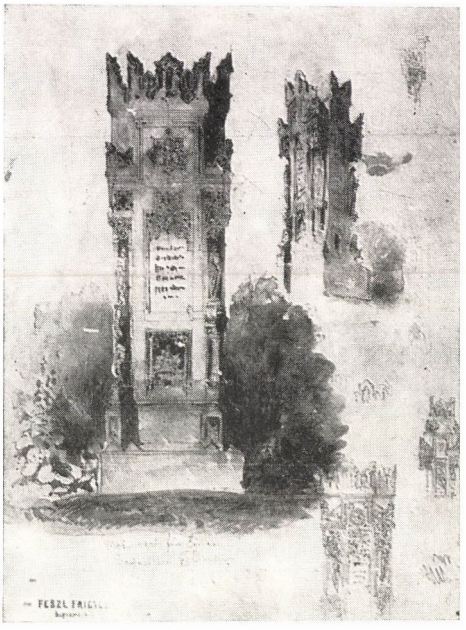
[2] Feszl munkássága az eredeti kéziratban sincs — távolról sem — teljesen feldolgozva. Ebből teszünk közzé részleteket az előző jegyzetben említett szerkesztői megjegyzésben foglalt szempontok szerint. *(Szerk.)*



1. kép. „Pesth am 6. März 1848" feliratú terv



2. kép. Címlapterv a gelnhauseni oszlopfők rajzaihoz, 1840—42 között



3. kép. Bajor hadvezér emlékművének terve, 1840—42 között

a másik kettőnek központi része. Egyébként a borítékfedeleken belül gazdag grafikák gelnhauseni oszlopfőket ábrázolnak bőséges változatban. Ezekben tűnt fel először Feszl csodálatos érzéke az oszlopfők egyénítéséhez. Müncheni tanulmányai, valamint a pártázatos építés szeretete ébresztették fel a szalagornamentika iránti vonzalmát.

Egy bajor hadvezér emlékműve. Feszlnek a Gelnhausen emlékeiről készített vizsgadolgozataival körülbelül egyidős. A müncheni akadémián készült vizsgafeladatnak tekinthetjük. Tervezésének ideje 1840—42 közé tehető. Nyomon követhetjük rajta egy gondolat születését, alakulását, ortogonális és perspektivikus vázlatos ábrázolásban s emellett egyes részletek rajzát is.

Az emlékmű toronyszerű test, gótikus kereszt. Központi magja az emlékmű betéttábláit π-formával[3] koronázza. A testhez a sarkokban egy-egy baldachint állított, alattuk szobrokkal. Az említett π-motívumot a terv megismétli, úgy hogy vízszintes szárai a baldachint zárják magukba. A baldachinnak a magba illesztését egy-egy rozettával vagy ágfonadékkal teszi közvetlenebbé. A baldachin-sarkok felett akrotériák, magát a toronytestet pedig pártázat koronázza. A felső π-téma homlokfelületeibe az ismert s Feszl által sokáig előszeretettel alkalmazott „csillag"motívumot állított (két, egymáshoz képest elfordított négyzetből), s a Pesth am 6. März 1848 feliratú homlokzati tervnél ismertetett motívumból variálta pártázatát, sarokra állított változattal kombinálva. Ybl Miklósnak az Unger-házra állított pártázata ezzel rokon (1852). Figyelemre

[3] Megőrizzük a szerző eredeti, bár furcsa forma-megjelölését. A képekről világosan megállapítható, hogy miről van szó. *(Szerk.)*

méltó még a felső koronázó π-motívumot körítő pártataggal kombinált sarokfonadék megoldása.

Az Országháza (pályaterv);[4] Valószínű, hogy Feszl igen korán figyelemmel kísérte a tervpályázat alakulását. Ma már megválaszolhatatlan, hogy mikor kapcsolódott bele. Az Országházát Hild József szakvéleményének megfelelően a mai Engels térre szándékozták elhelyezni. A Hild által ajánlott királyszobor is ott található Feszl helyszínrajzán és metszetrajzán, továbbá a szökőkutak is.

A pályaterv jeligéjének Feszl Kisfaludy Károly verssorait választotta: „Múltra, jövőre tekints, Ha magas bért nyerni törekszel". A jelige laponként a művészi módon keretezett tervek alsó jobb oldalán olvasható. Sajnos, Pest első Országházának építése 1848/49 eseményei miatt elmaradt. Pályatervei már az 1860-as évek elején eltűntek. A Magyar Képzőművészek Társulatának 1861. április 5-i gyűléséről szóló híradásokban — többek között a Magyarország c. lapban (1861. ápr. 10. sz.) — olvasható, hogy: „az Országházra 1845-ben beadott tervek hollétének nyomozása s a jelen országgyűlés alatti kiállítása" a Társulat ülésének tárgya.

A tervpályázatról tudjuk, hogy 32, egy másik verzió szerint 42 pályázó időben beadta. Ezek közül egyedül Feszlét ismerjük, de nem a beadott pályatervek anyagából, hanem Feszl hagyatékából került elő.

Feszl a földszinten s az I. emeleten zárt, fekvő négyszögű, *H* betűre emlékeztető beépítésmódot javasol, amely a II. emeleten az épületszárnyak elhagyásával fekvő *E* betű alakúra változott.

A belső kiképzésben már a 12 évvel későbbi Vigadó belső téralakítása jelent meg: a bejárati ajtókat kör alapú oszloppárokkal díszítette, amit csoportosan láthatunk az Országháza földszinti, I. és II. emeleti alaprajzán. Sajnos, az elrendezés pontosabb megítélése csak az egyetlen keresztmetszet alapján lehetséges. A kerek-terem a II. emeleten nyolcszögű teremmé alakult, s az így nyert falsíkokat Feszl hatalmas festményekkel akarta díszíteni. Megint a Vigadó 1860—62 közötti tervezésének jegyeire ismerünk — 1845—46-ban! A II. emeleti nyolcszögű alaprajz felett falazott kupolaszerkezet készült volna, a nyolcszöget 18 szögűvé változtató idom közbeiktatásával. Az épület központi magva a kupolával fedett hatalmas tömb, hozzá északi és déli irányban csatlakozik az alsóház és a felsőház. Utóbbiakat alaprajzi értelemben két szimmetrikusan elhelyezett, magasított oldalrizalit zárja le. A szárnyépületek kialakítása a müncheni Maximilian stílusra emlékeztet, de fejlődést mutat.

Érdekes s eddig észre nem vett sajátsága a feszli művészetnek, hogy a Vigadó komponensei sorban jelentkeztek korai műveiben. A Vigadó irányába mutató fejlődés először az Országháza terveiben tűnt fel.

Érdekesen bánt például az oldalrizalitok alakításával, példa erre az Oszwald-ház oldalrizalitja s a Vigadó alakítása is. Az Országházánál a földszinttől a II. emelet padlóvonaláig zárt erkélyszerű építményt tervezett, a padlóvonal felett visszaugratva az oldalrizalit eredeti falfelületéhez. Ezen kívül az emeleten konzolsorral támasztott erkélyek teszik elevenebbé a homlokzati megjelenést. Növeli ezt a hatást az oldalrizalitok magassági kiemelése is. Az oldalri-

[4] L.: *Vámos Ferenc:* Az első pesti Országháza tervezésének előkészületei (1835—1844). „Művészettörténeti Értesítő" XII. (1963) 38—48. A Feszl-tervek képét is közli. — Vö.: *Bibó István:* Pollack Mihály Országháza-terve. Művészettörténeti Értesítő, XXII. (1973) 22—36.; *Komárik Dénes:* Az 1844-es pesti Országháza-tervpályázat. „Tanulmányok Budapest Múltjából" XIX. (1972) 251—281. *(Szerk.)*

zalitok előugratása az I. emeleten hármas ívben oldódik. A középtömb a homlokzatot úgy osztja be, hogy mindegyik felett emelt félkörívek sora áll, felettük pedig nyolckarélyos rózsaablak. A két szélső nyílásba és az öt középnyílás másodikába és negyedikébe szoborcsoportot állított.

A homlokzatra, szembeötlő módon, egyrészt a müncheni maximilianizmus, másrészt — a hatalmas középrészen, a monumentális nyílt lépcsőzet alatt — a velencei gótika hatott.

Igen jellegzetes, hogy az Országházával szinte egyidős Oszwald-ház homlokzatán, továbbá az ugyancsak szinte egyidős Polytechnikum épületén egyaránt a velencei gótika részformái mutatkoznak. Az emelt félköríves boltívek s felettük a 9—10 levelű rozetta-bevilágító ablakok mutatják ezt a hatást.

Feszl művészi alakító módjának jellegzetes jelensége a ruskini „arab gótikával" való gazdagodása. Ez az épület dob nélküli, a környező fedélből kiemelkedő kupolájának a dobot pótló pártázattal csipkézett falgyűrűvel történő társításában is megnyilvánult. Ezt a pártázatot tagolják még az oldalrizalitok sarkaira állított fiálészerű, kiemelkedő kis tornyocskák. A két oldalrizalit homlokzati kialakításának alapelvei közeli rokonságot mutatnak az Oszwald-ház erkélyeihez kapcsolt rizalit megformálásával.

Az Országháza-terv időbeli „szomszédai": a Polytechnicum és az Oszwald-ház. A két előbbi csak terv maradt, míg az utóbbi megépült. A fiatal Feszl művészetének fejlődéséhez ez a hármas egységében szolgáltathat bizonyítékot.

A József Iparmű Tanoda (Polytechnicum) terve (1846).[5] A terveket 1895 táján Széchenyi irodalmi hagyatékában találták meg: 3 alaprajzot és 4 homlokzati tervet tartalmazott. Ezek szerint a szerviták templomához tartozó telektömb az épület elhelyezésénél mint adottság szerepelt. Széchenyi és Feszl kis teret kívántak létesíteni a Városháza és a mai Petőfi Sándor utca között, a Zsibárus utca határán. A Polytechnicum épülete ily módon szabadon álló épület lett volna.

Főhomlokzatának az tekinthető, amely a Feszl által tervezett térre nézett volna. Ez szimmetrikus volt, hasonlóan a mai Városház utcai és Petőfi Sándor utcára nézők homlokzatához. A szervita templom miatt aszimmetrikus lett a Szervita térre néző homlokzat. A homlokzatokat oldalrizalitok fogják közre, felemelt fedéltömegekkel. A Szervita téri homlokzaton kívül valamennyi magassága földszint + három emelet. A Szervita téri homlokzat magassága a Petőfi Sándor utcai saroktól egy emelettel csökkentve csatlakozik a templomhoz. Az oldalrizalitok minden homlokzaton háromtengelyesek. A homlokzatok igen hasonlítanak az Országházáéhoz. Az új térre néző szélső rizalitját a mai Városház utcai homlokzati részen a földszinten három tengelyben, az I—III. emeleteken öt tengelyre oldottan fordítja be. A templom miatt nincs beépítési hely, ezért csak földszinti köríves nyílásokba bontja a homlokzatot, amely mögött a még barokk kori templom oldalhomlokzata áll szabadon. Egyébként az I—III. emeletnek öt nyílását éppúgy sorolja egymás mellé, mint a Vigadónak a két oldalrizalitja között álló épületrészen. A köríves sorok intradosz vonalai érintőlegesen futnak össze, az extradosz vonalakat viszont körszegment-sorokkal oldja meg. A két szélső ív határvonalai függőlegesen futnak a mellvédekhez, két-két oldalon még szabad falfelületsávot hagyva a falsarokig. A Vigadó középrésze ugyanígy áll ma előttünk. A Polytechnicum homlokzatainak jellegze-

[5] Vö.: *Vámos Ferenc:* Széchenyi Budapestért. Új tér terve a Belvárosban 1842—46-ban. „Budapest" V. (1967) 8. sz. 36—37. *(Szerk.)*

tessége még, hogy a Petőfi Sándor utcai s a új tervezett térre néző homlokzatoknak a szélső rizalitok által közrefogott középrésze a II. emeleti homlokzat teljes rizalitokkal közrefogott hosszán galériasorba oldódik, amely emelt ívekből áll. Ebben a tekintetben a velencei Fondaco de' Turchi emelt ívű galériasorával rokon. Az említett új térre néző homlokzat I. emeletén ugyancsak galériasorban végződnek a nyílások, de úgy, hogy a II. emeleti galériasor íveinek átmérője az I. emeletieknek csak fele: minden I. emeleti nyílásra a II. emeleten két-két emelt ívű nyílás jutott. Figyelnünk kell még a szélső rizalitok III. emeleti három-három ablaknyílását egybefoglaló, szélesre húzott π-formára, Feszl korai időszakát jellemző motívumra. Az oldalrizalitok kiemelt fedelét erősen kiugró koszorúpárkány koronázza, míg a középrészek hosszú homlokzatain szinte nincs is párkány. A koszorúpárkányok sarokrészén akrotérionok állanak. Erre a bajor hadvezér emlékművénél s az Oszwald-ház erkélyeinél hívtam fel a figyelmet.

A terveken egyértelműen nyilvánul meg Feszl szeretete a ligetes település iránt. Erről tanúskodik ez Országháza metszetébe rajzolt saroképület, a mai Guszev utca sarkán, a volt Wimpffen-palota (az Október 6. és a József Attila utca sarkán) mellett, ahol a tetőre is fákat, bokrokat helyezett el. Az épület maga öttengelyes: ez is a velencei dózse-palotára emlékeztet. Felette koronázó galériasor fut a II. emeletig, pártázatos, saroktornyos lezárással. A Polytechnicum tervének homlokzatain általában Feszl megfogalmazásában „bizánti" hatás uralkodik, ahogy a Dohány utcai templom pályatervén (1854), a Vigadónál (1862) s a debreceni ref. templom pályázat tervén is.

A Steingassner kávéház (1847). Csak a művek teljes felsorolásának igénye kívánja említését. Talán fél évszázada nincs már meg. Lyka Károly említi ismételten, mint az egykori Pest látványosságát: „a kávéház vízmedencéjének szoboralakjait Marschalkó mintázta".[6] Feszl hagyatékában van egy akvarell terv, „Kiosck" felírással, alaprajzi vázlattal együtt. Talán ez az egykori Steingassner-kávéház?

Oszwald Antal és József háza (1846—1851) az V. Münnich Ferenc u. 22. sz. alatt. A saroképület mindkét homlokzata oldalrizalitok közé fogott. Mégis a Münnich Ferenc utcai homlokzat, bár a két homlokzat építészeti megoldása szinte ugyanaz, díszítettségében messze kiemelkedik. A homlokzatot jellegzetes, konzolsoros főpárkány zárja le, amelyen Feszlnek a gyémántléc iránt megnyilvánuló s a Vigadón kiteljesedett előszeretete is már megtalálható. A főpárkány tartozéka azonban, a III. emeleti ablakok tengelyében, az ablakok felett — a padlásfalban — alkalmazott nyolcszögű csillagok sora is. Itt jelent meg először Feszl pályáján a két négyzet 45°-os szögelfordulásával alakított „csillag"-motívum, áttörten, gótikus mérmű mentén.

Az Oszwald-háznak eredetileg két bejárata volt, egyik a mai Széchenyi utca, a másik a Münnich Ferenc utca felől. Az előzőt 1910 körül megszüntették. Erre mutat egy 1911-ből származó képeslap. Keletkezési évét abból állapíthatjuk meg, hogy amikor Jánszky Béla és Szivessy Tibor közös műve a Nádor utcában épült (1911-ben), még megvolt a Széchenyi utcai kapu.

Mielőtt továbbmennénk a homlokzati sajátosságok leírásában, az ablakok szokatlan méreteire kell felhívnunk a figyelmet. Feszl fejlődésének itt s a Fröhlich-házon először megnyilvánuló sajátsága volt ez, ami a Vigadónál érte el tetőpontját. Az egyes homlokzati elemek szokatlan magasságáról van szó.

[6] *Lyka Károly:* Magyar művészet 1800—1850. Bp. 1939. 490.



4. kép. Pest, Oszwald-ház (1846—51), főhomlokzati erkélyek



5. kép. Pest, Oszwald-ház (1846—51), a középerkély lemezének alsó felülete

Ezt Feszl a Vigadó oldalrizalitjainál például az oszlopok talpai és fejezetrészei egészen groteszk megnyújtásával érte el. Feltűnő ez a forma a II. emeleti ablakoknál, ahol a záradékoknál a nyolcszögű csillaggal kombinált ablakkeret magasságát kb. 25%-kal nyújtja meg úgy, hogy az ablakkeret magasságát kiemeli. Ugyanez a jelenség tűnik fel az I. emeleti ablakoknál is: ha magasságukat a félköríves ív magasságával mérjük, az ablakméretek aránya kb. 1 : 5.

Az erkélyek közül a középerkély az I. emeleten négyszer két darab öntöttvas konzolra támaszkodik. Oldalfelületeit palmettás kompozíció díszíti, homlokfal felületeit pedig gyémántléc. Az erkélylemez gyámolítására az erkélykonzolra támasztott, sajátságosan poligonális, alulról látható öntöttvas rács szolgál. A poligonális idom, amely Feszl későbbi művészetében olyan nagy szerepet játszik majd mint mérmű-rendszerváltozàtok alapja, itt 1846—1850 között jelent meg először, azután a Guszev u. 3. sz. Fröhlich-ház kapuján (1853), amely 1945 januárjában elpusztult. Fényképe őrzi egykori alakját. A Dohány utcai templom tervpályázatának kaputervén is feltűnik (1853—54). Megtalálható a templom szentélyének frigyszekrény kapuján is (1856—57).



6. kép. Pest, Oszwald-ház (1846—51), főhomlokzat részlete

Az I. emeleten az oldalrizalit erkélyén kettős kapcsolt-ablak között román fejezetes oszlop áll, tengelyében hermafővel. Először itt díszítette így Feszl a külső homlokzatot, előtanulmányként a Vigadóhoz, amelynek főhomlokzatára a magyar történet nagyjainak hermáit állította.

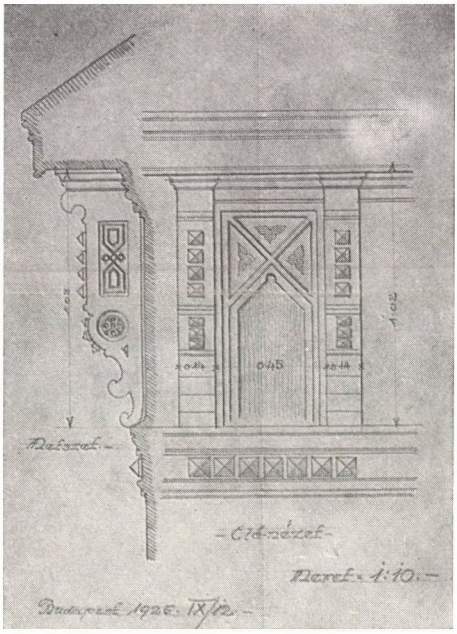
Érdekes részletmegoldás Feszlnél a II. emeleti oldalrizalit erkélyét lezáró említett π-forma két végén feltűnő s akroteriaként megoldott egy-egy nyolcszögletű csillagmotívumnak a fele. 1842—43-ban, egy bajor tábornok emlékművének tervén mint párta látható. Ugyanez a téma viszont a Vigadó-nagyterem hosszfeli bejárati ajtói felett s ezekkel szemben jelent újból meg, változott alakban.

A Fröhlich-ház (1853) az V. Guszev u. 3. sz. alatt. Az épület magán hordja Feszl egyéni alakító elveit, amelyek tulajdonképpen itt érlelődnek tovább az Oszwald-ház homlokzati egységének pontosan talán már nem megállapítható megfogalmazása után. Jól követhető Feszl homlokzatalakító fantáziája. Az I—III. emeleti ablakoknak ugyanis kétféle magasságuk van. Egyik magának az ablaktoknak a magassága, az ablaknyílások homlokzati magassága ettől lényegesen eltér, ugyanis a tok záródása fölé emelkedik a szemöldökpárkány. A szemöldökpárkánynak Feszl e korszakában olyan szerepe is volt, hogy a nyílások magasságát optikailag emelje.

Az ablakkonzolok jellegzetes magasságbeli megnyújtását az épület középerkélyének két öntöttvas konzolán is logikusan követte. Érdemes felfigyelnünk ezekre a konzolokra. Emlékeztetnek a szegedi Fekete-ház lombfűrészmunkával alakított fakerítés elemeire. Itt is megmutatkozik Feszlnek az a szándéka, hogy



7. kép. Pest, Fröhlich-ház (1853) homlokzata 1925-ben



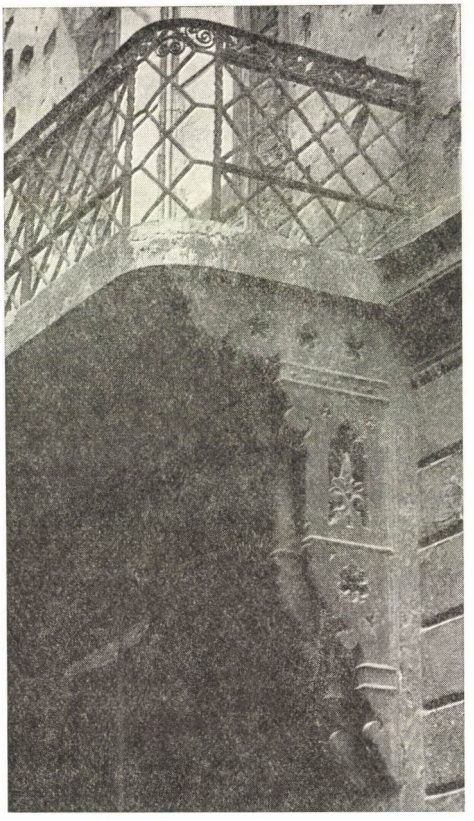
8. kép. Pest, Fröhlich-ház (1853) főpárkányának felmérése

az eredeti kapumagasságot „gótikus" értelemben megemelje. Ezért építette az említett erkélykonzolokat majdnem a nagy magasságú kétszárnyú kapuban elhelyezett gyalogos kapu záradékáig. A konzolok magassága kb. 1,80 m.

A főpárkány konzolsoros, megnyújtott — 102 cm magas — konzolokkal, homlokfelületein szintén gyémántkristályos díszítéssel. A konzolok közötti fülkékbe az általa előszeretettel alkalmazott „*X*"-formájú mérműveket ültette, álló helyzetben. Ugyanezt kombinálta a konzolsor konzolainak oldalfelületein is, továbbá fekvő alakban az oldalrizalitok II. emeleti rozettái alatt is. Egyébként az I. emeleti erkély konzoljainak s a főpárkány-konzoloknak lábrészén a lombfűrész technikához közel álló vonalvezetés a feltűnő. A leírás teljessé válásához hozzátartozik még az I—II. emeleti ablakok mellvédjeinek rombuszhálós díszítése, ami azután — nagy felületek díszítése alakjában — a Vigadón tér vissza.

Zichy grófnő síremléke (1853) a Kálvin téri ref. templomban. Feszl Frigyes egyik unokájának, Feszl Györgynek a tulajdonában levő vázlatkönyvben olvasható Feszlnek 1853. augusztus 31-én kelt nyugtája 1000 „osztrák valutában" fizetett forintról, melyet Feszl a grófnőnek a pesti ref. templomban építendő síremléke tervezési díjaként, Zsivora György „kezeiből" vett fel. Ugyanennek a vázlatkönyvnek másik oldalán látható egy felmérési vázlatrajz „Kalvinische Kirche" emlékeztetővel. Nyilván a Zsivora-féle rendelés teljesítéséhez mérte fel a templom portikusz-részét.

Maga a síremlék igen díszes öltözékben fekvő nő szobra. Elhelyezésére a templom keleti oldalához kis, kápolnaszerű toldaléképítmény épült. Feszl munkája tulajdonképpen e falnyílás keretezésének alakítása volt. A templom fal-



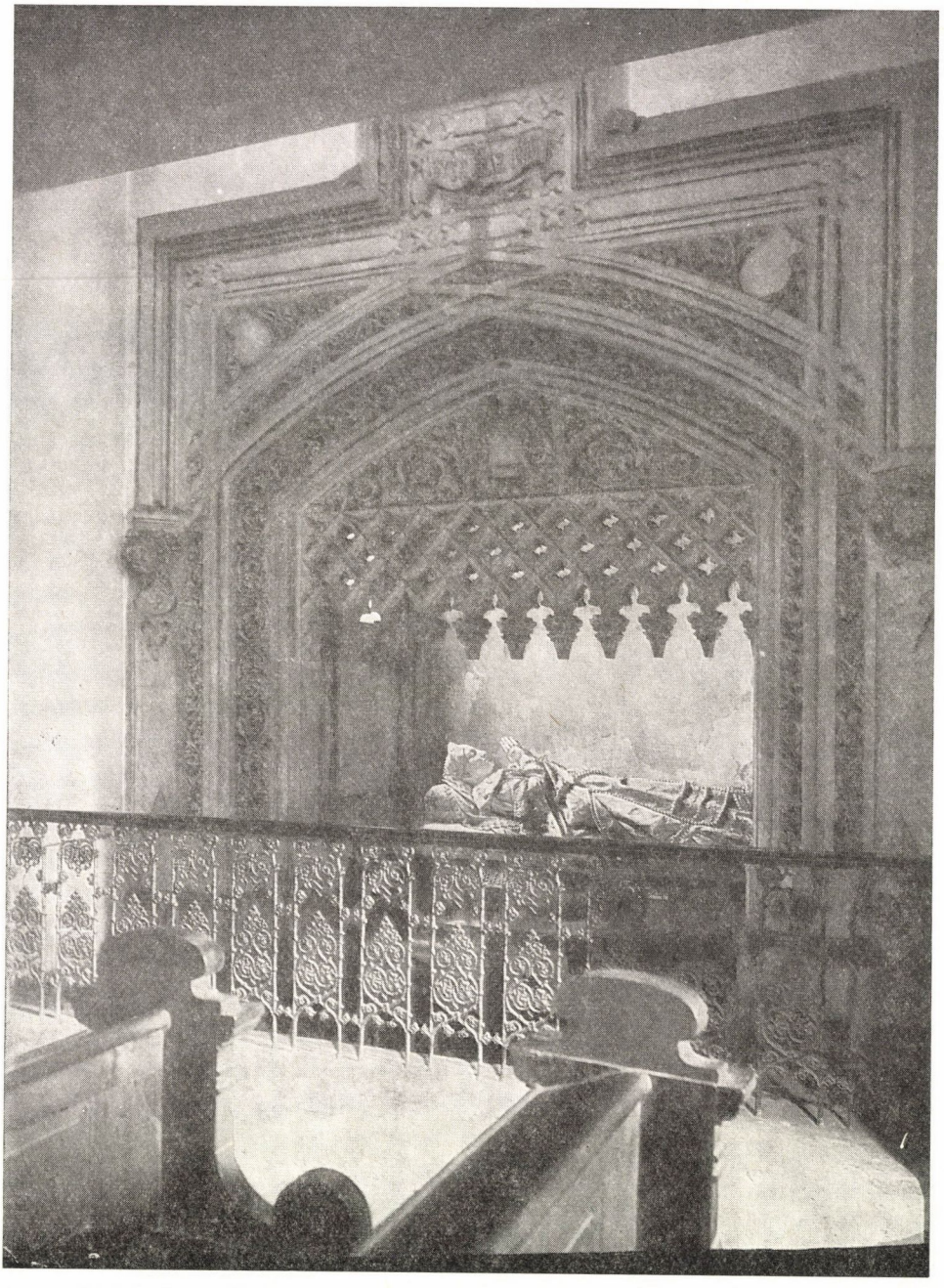
9. kép. Pest, Fröhlich-ház (1853) erkélyének öntöttvas konzolai

síkját lapos, széles gótikus ívvel zárta le. Ezt a gótikus ívet a kissé mélyített fülkében megismételte. A két ív között létesült konkáv felületen rendkívül gazdag indadíszt alkalmazott. A kaput utánzó nyílást hatalmas π-forma zárja le, gazdag gótikus profilozással. Két szára angyalfejes zárókőben végződik. A π-keret vízszintes része alatt „*X*"-motívummal kísért sajátságos domborítás, a fülkét keretező lapos gótikus nyílás alatt monumentális rombuszminta van, áttört négyleveles karélyokkal, alsó elhatárolásánál pedig csipkézett, velencei háromágú karélyokkal, lefelé álló levélornamentikával. Utóbbi a halál birodalmát érzékelteti.

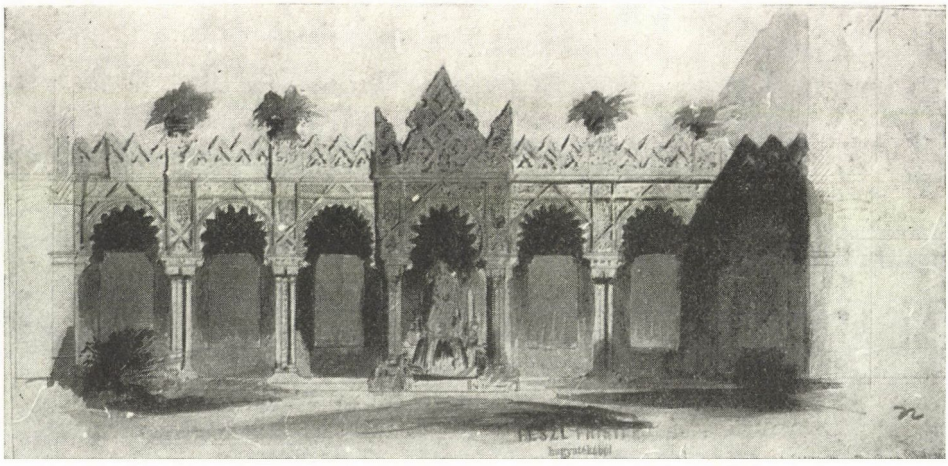
Az emlékmű belső kápolnafülkéjének falfelületét is gótikus oszlopok tagolják, a keleti falban nyitott kis ablak alatt. Az ezen az ablakon beáramló fény a fekvő szobrot világítja meg.

A síremléket a templom felől kovácsolt vasrács választja el, kézfogó léccel. Utóbbi szintén Feszl műve. A Glósz-háznak hasonló lépcsőrácsa volt.

A Vasárnapi Újság (1860. 186. old.) említi, hogy a síremlék 1854-ben épült. Helyes adat, ha tekintetbe vesszük, hogy a munkadíj egy részét (vagy egészét?) Feszl 1853. augusztus 31-én kapta meg.



10. kép. Pest, Zichy grófnő síremléke a Kálvin téri ref. templomban, 1853



11. kép. „Mór fürdő" vázlata, 1849.

A Dohány utcai zsidó templom pályaterve (1854). Valószínűnek tarthatjuk, hogy a templom tervpályázata 1853 végére vagy 1854 elejére esett. A pályázaton Feszl is részt vett, eredménytelenül.[7] A templom terveinek készítését a hitközség a bécsi Foersternél rendelte meg. Feszl, pályázatának sikertelensége ellenére, továbbra is kapcsolatban maradt a templom építésével. A templom szentélyének, frigyszekrény-kapujának tervezésével őt bízták meg 1856-ban.

A spanyolországi török művészet iránt való, a pályaterven látható vonzalma müncheni tanulmányaiig vezethető vissza. Ebből a korából maradt fenn az Országos Levéltárban őrzött tervhagyatékában egy akvarell-lapja: „Skitze zu einem maurischen Bad, 849" feliratú terv.[8] Rendkívül jelentős adat számunkra ez a lap. Figyelme tehát már Münchenben a mór építészet felé fordult. Korán megnyilvánuló érdeklődését bizonyítja egy akvarellje abban a jegyzetkönyvében, amely szintén müncheni eredetű. Benne található ez a feljegyzése: „Klostergang in Barcelona ff. Nach Prager".[9] Feszl lapja azt is bizonyítja, hogy a spanyol művészetet könyvekből is igyekezett megismerni. Maga a mór fürdő vázlata a következőket tartalmazza: árkádsor spanyol ikeroszlopokra állítva, emelt félkörív-sorral. A középső ív adja a kompozíció főtengelyét, felületi síkja

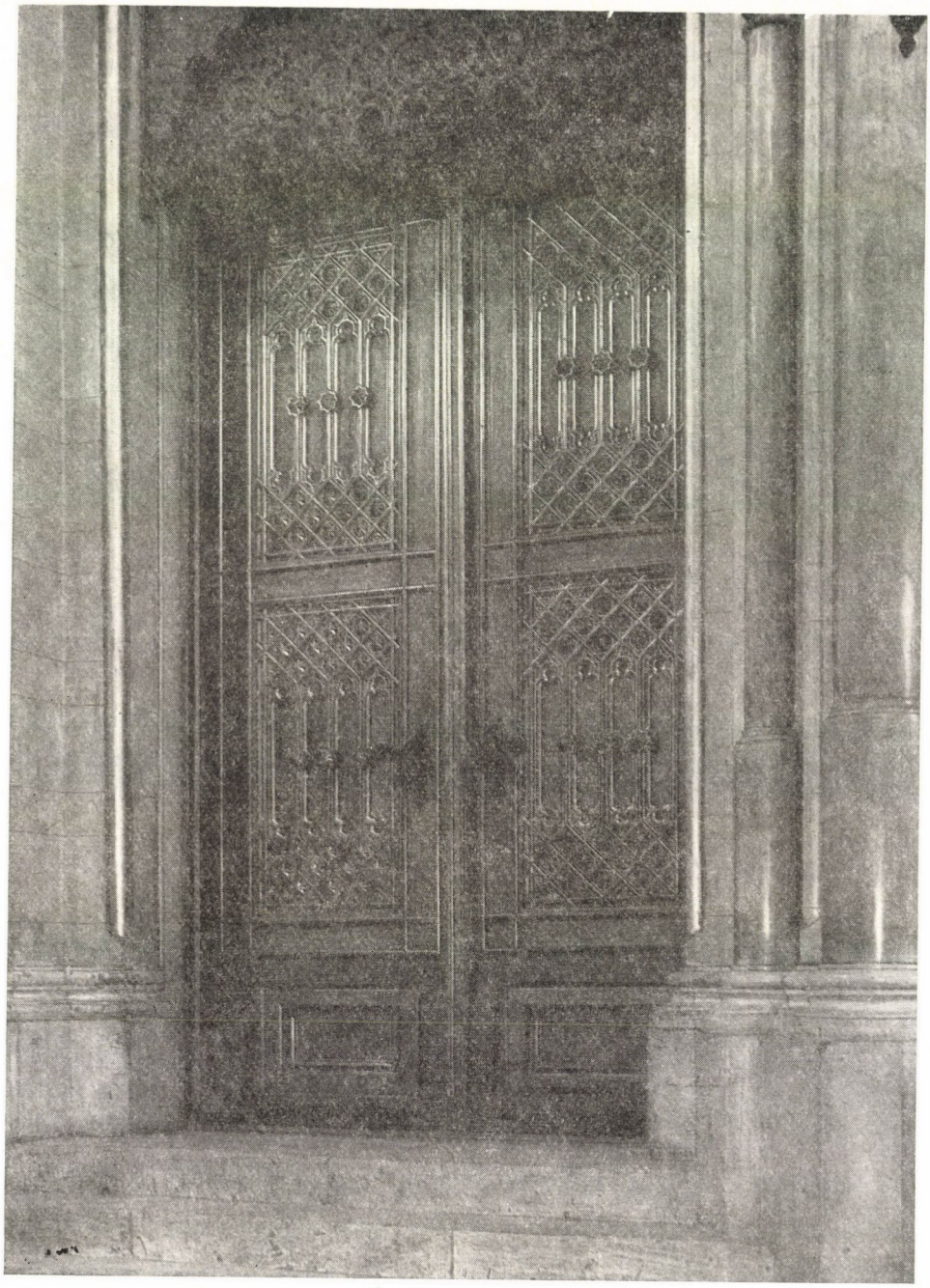
[7] Ezek a tervek nincsenek meg. Egy ortogonális homlokzati tervét a Magyar Művészetben (1925., 353.) közöltem. Ez a színezett lap akkor Feszl Károlynak, a mester unokaöccsének tulajdonában volt. Feszl Károly 1954-ben meghalt. Özvegye a lapot egy ismeretlennek elajándékozta. Az Építő Ipar 1900. évfolyama (165. o.) közölte ennek az ortogonális tervnek perspektivikus rajzát, mely nyilvánvalóan Feszltől származik. Meg kell jegyeznünk, hogy az Építő Ipar 1900. évf. 166. oldala így említi ezt a pályatervet: „A bemutatott homlokzatot tervezték Kauser, Fészl (!) és Gerster építészek" Ismét adat ez arról, hogy a három építész együttes munkája említésével Feszl tervéről van szó. A cikk meg is említi ezt a körülményt: „a tervezőkül bemutatott három mester közül — aligha csalódunk, állítván — mindenesetre Fészl fogalmazta. Föltétlenül ezen állításunk mellett bizonyít ui. a motívumoknak, sőt az egész részletes architekturai fölépítésnek rendkívüli hasonlósága, csaknem azonossága a később felépült Vigadó ugyancsak Fészltől származó épülete architekturájának részletezésével."

[8] Felhívjuk a figyelmet arra az ellentmondásra, ami az 1849-es év mint müncheni tanulmányi idő és a szerző által korábban mondottak közt van. Kivált ami Feszl eddig ismertetett pesti építészeti működését illeti. *(Szerk.)*

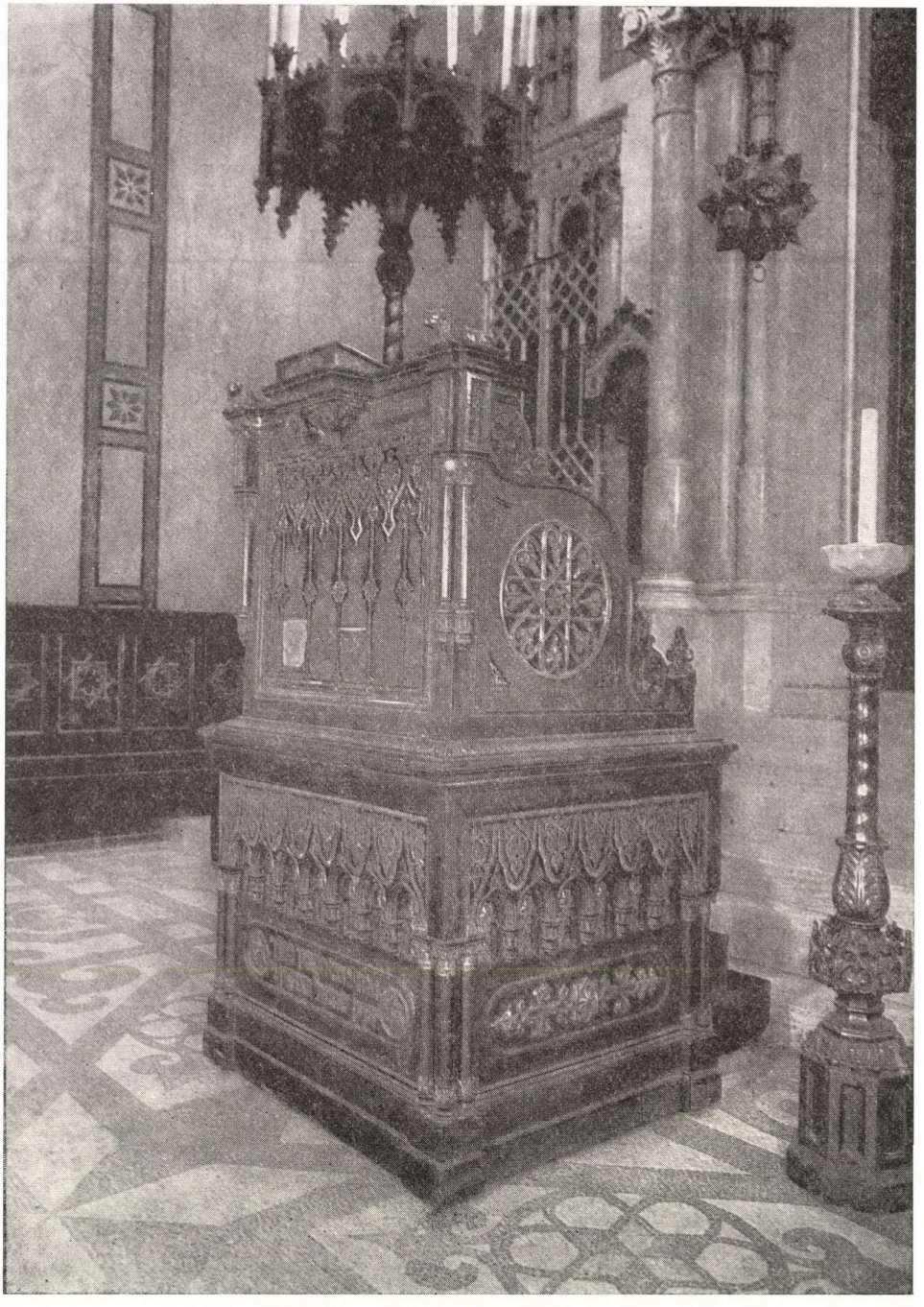
[9] Képét l. az előző közleményben, 221. old. *(Szerk.)*



12. kép. Pest, Dohány utcai zsinagóga szentélye, 1857—58



13. kép. Pest, Dohány utcai zsinagóga, a tóraszekrény kapuja, 1857—58



14. kép. Pest, Dohány utcai zsinagóga szószéke, 1857—58

a többi ív síkjához képest lizéneszerűen előreugrik. Az előugratott felület ívét patkóív jellege emeli ki úgy, hogy egy tulajdonképpen háromszögű oromfalba írt, fantasztikus, két sarkos elemtől közrefogott fonadékos rombuszhálónak egyik része. Az ívsort háromszögű, kicsiny elemekből alakított párta koronázza, amelyen az oszloppárok felett nagy cserepekbe rakott növények zöldellnek. Az említett ívek fogazottak. Az építmény felületét vízszintes és sajátságosan rendezett, 45°-os szögben hajló vonalas mérművek borítják, amelyek feltűnően azonosak Feszlnek a Dohány utcai templom pályázatára négy-öt évvel később beadott tervével. Itt a főhomlokzat díszítőapparátusán az a rombuszhálós mérműrendszer uralkodik, amelyet a mór fürdő homlokzati vázlatánál láthatunk.

A templom frigyláda tervének érdekessége, hogy Feszl továbbfejlesztette benne pályatervének elgondolásait. A szentélyt — mint interieur feladatot — pályatervének kupolájával koronázta, mégpedig éppúgy, mint a pályatervénél, jobbról-balról oldalkupola alkalmazásával. Ezzel a frigyládát építészetileg a templom belső terének architektonikus központjává avatta. A kupola kockatestből emelkedik ki. A kockatest homlokoldalán a törvénytáblákat hordozó oromfalas végződésű, emelt félkörív helyezkedik el. A frigyláda-fülkét nagy kapuján és az oldalszárnyakon a Vigadóéhoz hasonló poligonális mérművek borítják. A szószék s az egyforma mennyasszony- s vőlegényszékek Feszl sajátos stílusában (spanyol mudéjár-stílus) készültek.

Kochmeister Frigyes nyaraló épülete (II. Budakeszi út 71. sz.). A villa emeletes családi ház 9 kh-nyi parkban, nagypolgári család részére.

Ami érdekes, jellegzetes és jelentős ezen az épületen, az az épületdíszítő apparátus. Ez a Vigadó nagyterem főpárkányának megítéléséhez is segítséget nyújt.

A Kochmeister- nyaraló keletkezési ideje 1852—54, a Vigadó nagyterem említett különös főpárkányáé pedig az 1861—63 évek. Utóbbit eddig nem tudtuk beilleszteni Feszl fejlődésébe. A hiányzó láncszemet a Kochmeister-villa főhomlokzat portikusz felületeinek tömör díszítése adja kezünkbe. Ez 23—24 mm vastagságú deszkára lombfűrész technikával készített csipkés motívum (lambrequin) sorozatos egymás mellé fűzése. Feszl csipkés díszének az a jellegzetessége, hogy az eredeti csipkemotívum ismétlődése között, az egyes csipkeelemek fele távolságában, a motívum fordítottan ismétlődik azáltal, hogy alakja ehhez a rendezési elvhez szabottan formázódik.

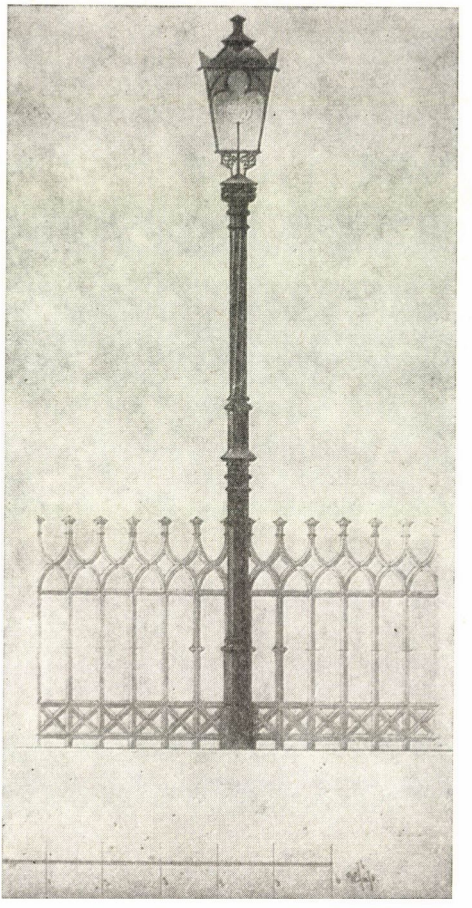
Ez a díszítőmotívum az ötvenes években Feszlnek szinte minden művét végigkíséri. A Kochmeister-villán tűnik fel először, a Zichy grófnő Kálvin téri síremlékén újból jelen van (1853—54), felbukkan a Dohány utcai zsidó templom tervpályázatára benyújtott pályatervén (1854), a régi Kerepesi temető megsemmisült öntöttvas kapuin. Feltűnt ez a motívum Ferenc József 1857-i országjáró utazása alkalmával Budapest és Szeged különböző pontjain felállított, faanyagú diadalkapukon, továbbá az 1857-ben épült szegedi Fekete-ház hátsó, a 20-as évek végén lebontott fakerítésen is. A Budakeszi úti nyaraló homlokzatán levő motívumot már csak lépések választották el a Vigadó nagytermének főpárkányán monumentálissá fejlődő díszítő formától. A nyaralón látható motívumhoz hasonlót csak kaukázusi szőnyegek vagy iszlám akvarellek szegélyeretein, szőnyeg-bordűrökön találhatunk.[10] A csipkemotívum felépítése saját-

[10] *Josef Strzygowski:* Le Lambrequin. „Revue des Arts asiatiques" 1926. 6. sz. 73, 78. közölte néhány példáját.



15. kép. Pest, Duna-parti raktárház kapuja

ságosan kettős jellegű. Egymás mellé sorozását féltengelynyi távolságban, de fordított értelemben ismétli meg. Ez az elv látható a Vigadó nagyterem pártázatos főpárkányánál is. Ennek jellegzetes vonása, hogy az iszlám vagy — általában — nyugat-ázsiai lambrequin-motívum két olyan sorával alakítja a pártázatos főpárkányt, hogy a felső sor pártaelemei felfelé néző csúccsal vannak

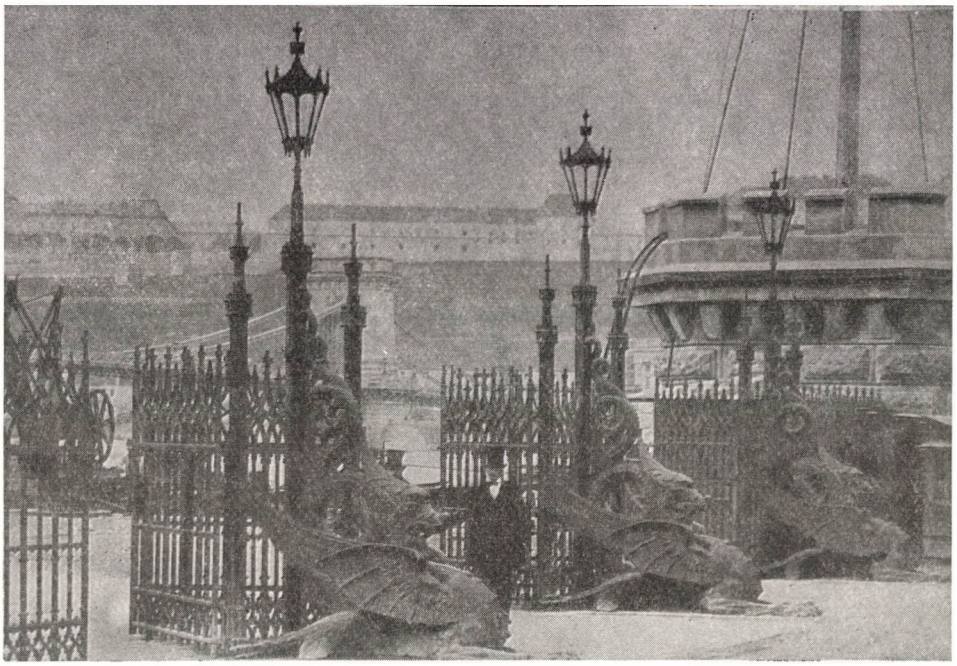


16. kép. Pest, Duna-rács terve, 1857.

egymás mellé sorolva, az alsó soré pedig pedig lefelé néznek. A felső és az alsó lambrequin-sorok közé gótikus profilú vízszintes párkányt von, amelyen az említett felső pártaelemek ülnek, ezeken viszont az alsó sorok függnek. Az utóbbiak közé ugyanazok a fiálészerű elemek vannak iktatva, mint amelyek az oldalszárnyak külső — Deák Ferenc utcai —, 1968-ban lebontott homlokzati főpárkányain jutottak hasonló szerephez.

A pesti dunai rakodópart. Raktárházak és iroda-épületek. A Lánchíd pesti oldalán épültek, a hídtól jobbra és balra, szimmetrikusan. „Az így elkészített s bekerített téren különféle épületek is lesznek, legnagyobb részt raktárak, mellyeknek lapos fedélzetük a város felőli falon fölül nem fog emelkedni."[11] A raktárépületek egytraktusosak voltak, hátsó falukkal nekiépültek a dunai rakpartnak, kb. 4 méterenként sorakozó négyzetes pillérekkel, melyek ké-

[11] „Vasárnapi Újság" 1855, 141.



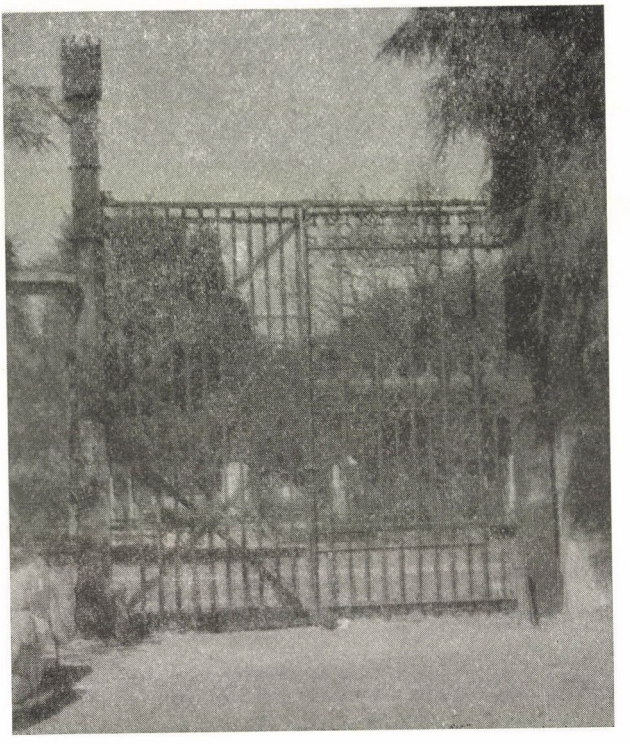
17. kép. Pest, Duna-rács a rakodópartnál, 1857

ményszerűen emelkedtek ki a falak magassági vonalából, fiálékként alakítva. Közöttük helyezkedtek el a szegmentívekkel záródó ajtónyílások. A raktárak padlója a rakpart alsó járdavonalával egy szintben volt. Hozzájuk tartozott a Lánchíd mindkét oldalán egy-egy irodaépület, vízszintes tetőfödémmel fedve, emeletes középrésszel. Földszinti padlójuk a mai Roosevelt tér magasságához igazodott. Innen vezetett lépcső a raktárakba. A raktárak homlokzata nyerstéglából épült, az irodaépületeké pedig vakolt felületű volt. A harmincas években, amikor a Lánchíd pesti oldalán az aluljáró villamosátvezetéseket építették, lebontották.

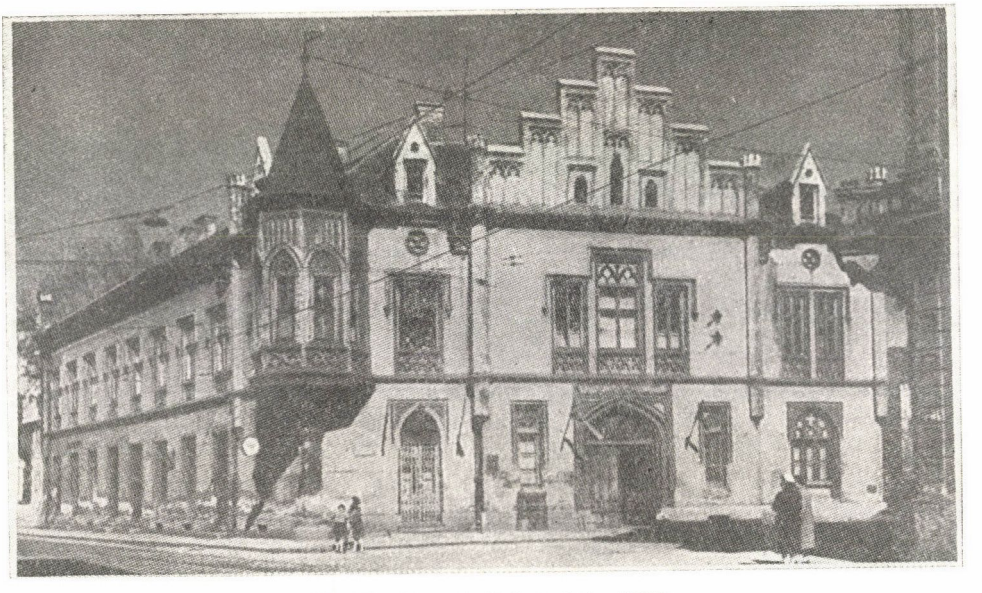
A Duna-rács (1857); Gótikus íveket sorakoztat egymás mellé oly módon, hogy egymásba is bújtatja pálcáikat. Így fent az egymás melletti ágszerű elemek érintkezéséből négykarélyos álló kereszt kerül ki, az ágak pedig fent pártaszerűen rendeződnek csipkézett sorokba. A rács alsó részén „*X*"-formájú áttört fríz fut végig vízszintesen. Az „*X*" idomok karéjszerűen vannak lesarkítva, legömbölyítve. Ez szinte azonos a Múzeum körút 3. sz. ház földszint—I. emelet között fektetett kőfrízzel. A Glósz-ház erkélyén is előtűnnek rokon motívumok.

A rácshoz lámpaoszlopok tartoztak, egyágú és (a Lánchídnál) ötágú lámpatesttel, gótikus oszloptörzzsel. Ezek ma is láthatók az Országház északi dunai terén s a Vigadó előtti tér kerítésén, lámpatest nélkül. Schlick Ignác vasöntődéje öntötte. Ide sorolandók a Dunagőzhajózási Társulat ismertetett raktárházaihoz készített, azonos elvek szerint kiképzett rácsai is.

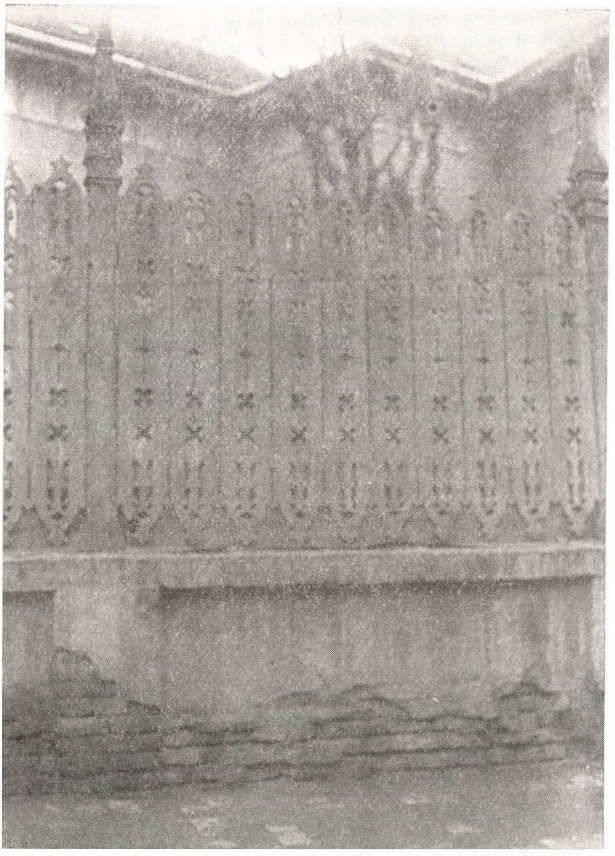
Ezeknek az öntöttvas rácsoknak rokonai fedezhetők fel a „kioszk" feliratú terv részletrajzán, valamint a szegedi Fekete-ház hátsó frontján épült, lombfűrész-munkával előállított fakerítésen.



18. kép. Pest, Kerepesi temető kapuja



19. kép. Szeged, Fekete-ház, 1857



20. kép. Szeged, Fekete-ház fakerítése, 1857

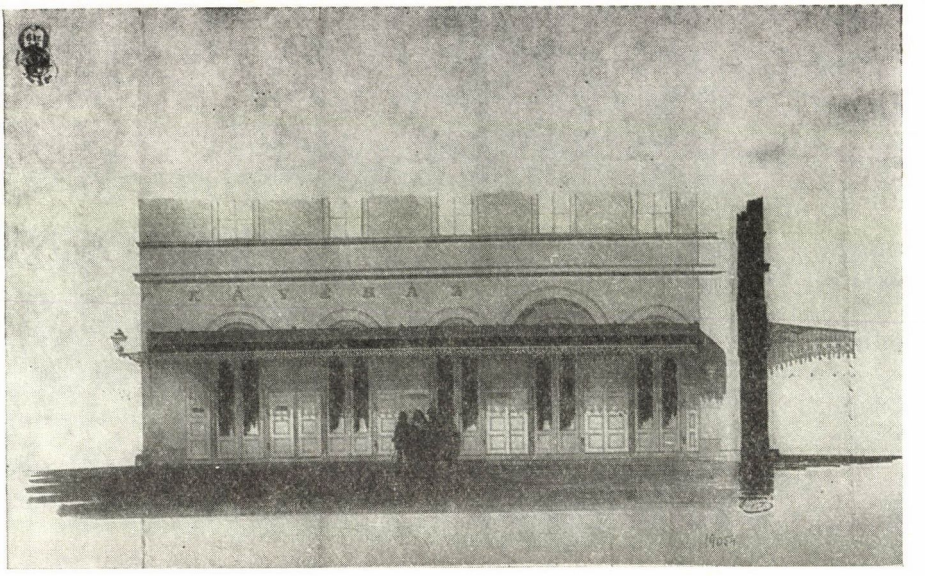
Mayer Ferdinánd háza: a szegedi „Fekete-ház" (1857). Amikor Feszl Frigyes és kora c. tanulmányomat írtam (1925), ez a mű kimaradt belőle. Lőw Immanuel hívta fel figyelmemet arra, hogy az épület Feszl műve.

Feszl Frigyes Szegeden is működött, ugyancsak 1857-ben, erre adat is maradt fenn. Amikor ez év nyarán Ferenc József Erzsébet királynéval járta az országot, Szegeden is megfordult. Erre az alkalomra Feszlnél a zsidó hitközség tribünöket, diadalkapukat rendelt.[12]

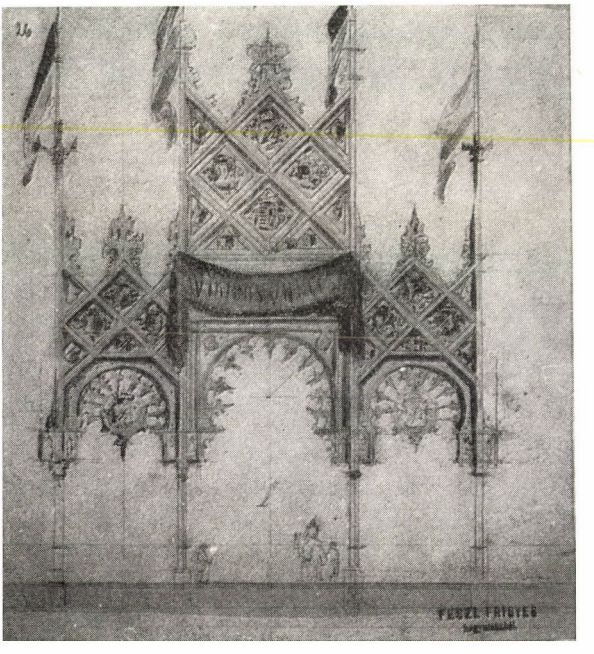
A Fekete-ház egyemeletes. A telek erősen tompaszögű, beépítése *L* alakú, bár tulajdonképpen három utcára néz. A hátsó utca a szerb templom felé az Oroszlán utcába vezet át. Ezen az oldalon a húszas évekig fakerítés volt, mely az eredeti épülethez tartozott.

A Somogyi utcában a homlokzat középrizalitos, amelyet háromlépcsős szimmetrikus oromfal zár le. A Kelemen utcai homlokzat kiemelés nélküli „sima"

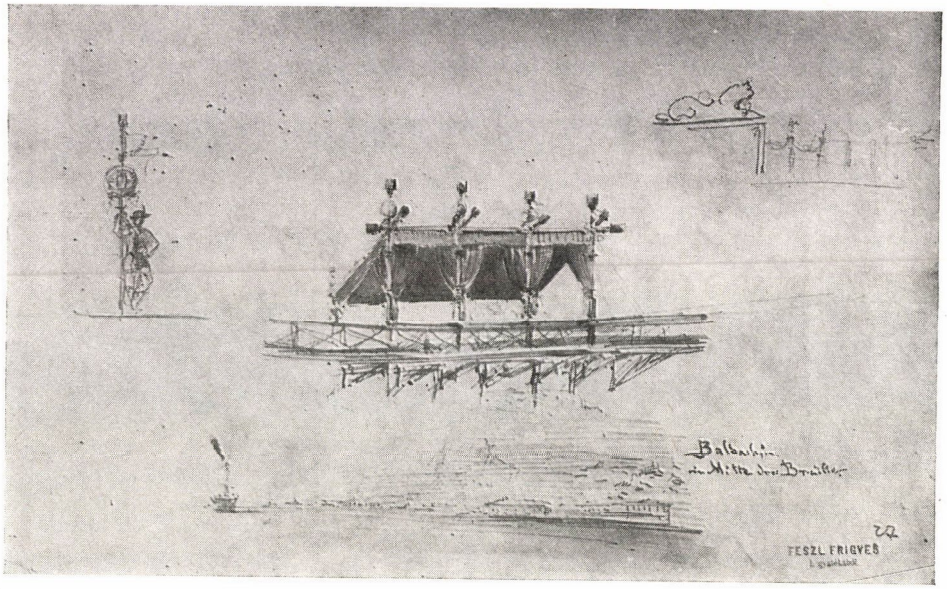
[12] Reizner megjegyzése szerint Feszl munkájáért 7500 forintot kapott (bizonyosan az építést magát is vállalta). Lőw Immánuel közlése szerint nyilvánvalóan még atyjától, az egykori szegedi főrabbitól kapott adatokat ismételte, aki az ötvenes években vezette a szegedi hitközséget.



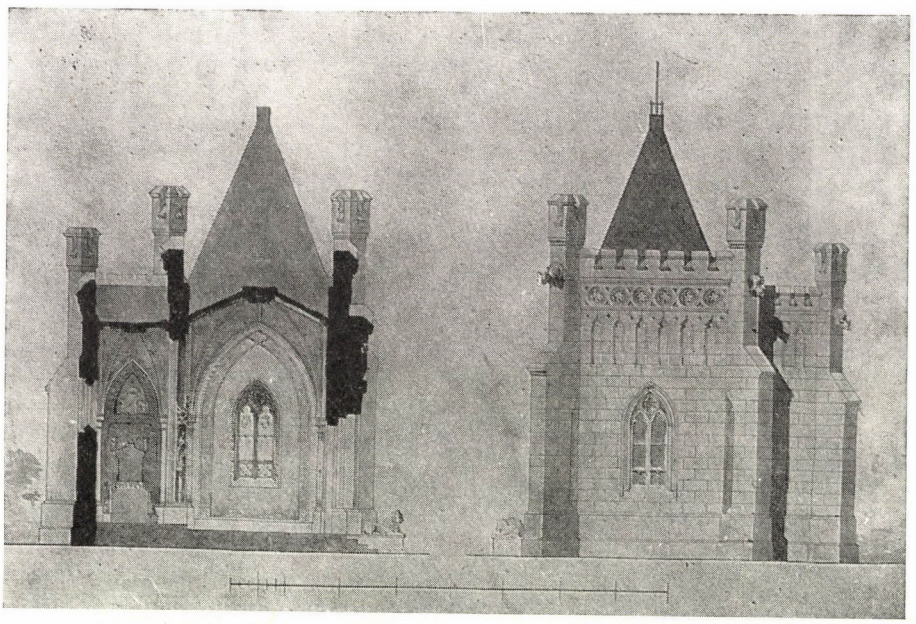
21. kép. Pest, Pétsch-kávéház napellenző-ernyő terve, 1858



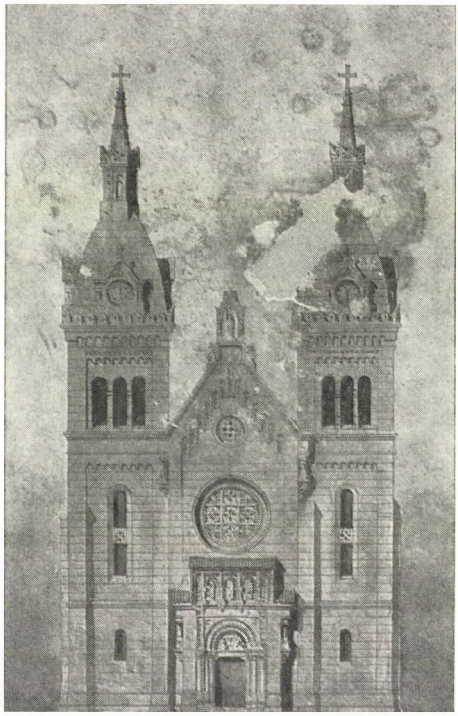
22. kép. Pest, Királylátogatási díszépítmény terve, 1857



23. kép. Pest, királylátogatási díszépítmény terve, 1857



24. kép. Sírkápolna terve ismeretlen főnemesi megrendelő részére, 1855—57 körül



25. kép. Templom-homlokzat terve (Fegyvernek?)

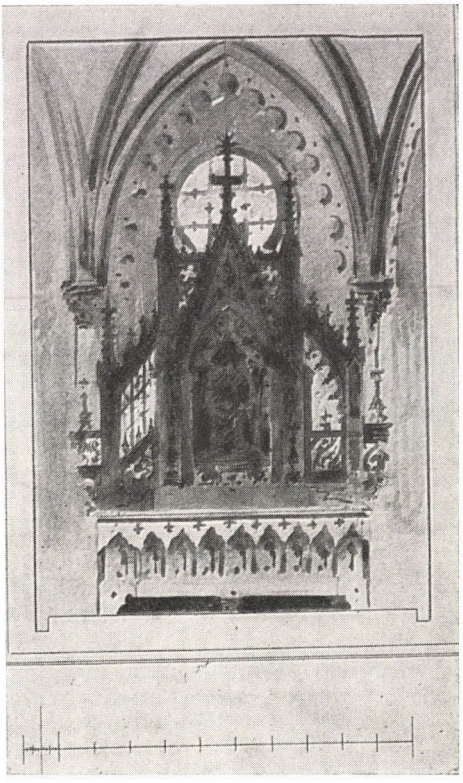
homlokzat. Érdekes rajta a magas padlásfalba mélyített arkatúrás főpárkány, ahogy a két egymástól lényegesen eltérő homlokzatot saroktorony tartja együtt, további homlokzati elemeket is alkalmazott ugyanilyen funkcióra. Pártás toronyszerű pilonok ezek, amelyek viszont mindkét homlokzaton megjelennek.

Figyelemre méltó még a gótikus mérműves felületű kapu, kivált a Fröhlich-ház s a Múzeum körút 3. sz. ház kapuival együtt szemlélve.

Az említett oldalkerítés a Fekete-ház hátsó telekhatárán alapjában véve gótikus volt. Ismétlődő elemek sorából állott, lombfűrész munkával állították elő. Tíz elemet követett egy-egy négyszög keresztmetszetű, felül ívesen elnyújtott csúcsú oszlop, gótikus lombfűrészelt elemekkel, gótikus fiáléként. A fakerítés kb. 1 méter magasságú téglalábazaton állt, amelyben a faoszlopoknak megfelelően pillérszerű kiemelés ismétlődött. A gótikus kerítés elemek a vízszintes és függőleges tengelyhez viszonyítva szimmetrikusak voltak, és alul-fölül gótikus végződésűek. Csúcsain csillagmotívumok találhatók, jellegzetes ferde keresztmotívumok, alul és felül két-két sorban. Ezek a motívumok jelentős szerepet játszanak Zichy grófnő síremlékén, a Duna-rácson, a Múzeum krt. 3. sz. ház földszint feletti párkányán. A Fröhlich-ház öntöttvas erkélykonzolán is feltűnik a hasított motívummal kapcsolatban, amely ugyancsak fában tervezett oszlop és párkány csatlakozására emlékeztet.

Pétsch József kávéházának kiegészítése. Az egykori Európa-szálló Zrínyi utcai oldalának helyiségeiben volt ez a kávéház.[13] 1858 márciusában tulajdonosa

[13] Budapest Főváros Levéltára: *Sz. B. 19054.*



26. kép. Oltárterv-vázlat

engedélyt kért arra, hogy a kávéház külső falára napellenző ernyőt szereljen. Az ernyő díszítő lambrequinjét Feszl tervezte. Hasonló formavilág látható a Vigadó nagyterem sajátságos főpárkányán, valamint a Dohány utcai templom szószékén. Ez a motívum megjelent az Oszwald-ház II. emeleti ablakkeretein és az emeleti erkély vízszintes síkjában megépített mérműrács kompozíciójában is.

Alkalmi építmények (1857). Budán és Pesten az abszolutizmus kormányszervei készítették elő Ferenc József és Erzsébet királyné látogatását. Erre az ünnepélyes alkalomra díszes emelvényeket készítettek. A tervezők közül Ybl Miklósról és Feszl Frigyesről tudunk. Ybl műve a hajóhídnál a „diadalépület" Feszlé pedig a Dunagőzhajózási Társulat kis épülete s a vízivárosi kapu. Feszl építményei részben szilárd építőanyagból készültek. Ezenkívül utcai díszítőkulisszákat, kapukulisszákat és tribünöket is tervezett. Feszl munkáinak vázlatos akvarelltervei maradtak fenn az Országos Levéltárban őrzött hagyatékában. Jellegzetességük ezeknek is tervezőjük egyéniségének már ekkor megnyilvánuló tulajdonságai. A Dunagőzhajózási Társulat építményénél s a vízivárosi kapunál gótikus művei leegyszerűsödnek a Masjon-billikomhoz és a Glósz-házhoz viszonyítva. Ybl viszont a hajóhídnál levő építményeknél — ahogyan az Unger-házon 1851—52-ben — szertelenségekben élte ki magát.

Feszl diadalkapuin is észlelhető, hogy egyéniségének megfelelő díszítőanyagot gyűjtött már ekkor egybe: patkóívek, rombuszhálós díszítések, fonadékos díszek, rozetták, fogazott ívek, megnyújtott konzolok stb. jelennek meg művein. Állandó egyéni fejlődése során a német s az olasz gótikához tartozó elemek forrtak egybe.

A diadalkapukon kívül az utcai díszítményekhez tartozott még a meglevő építmények díszítése: például a Lánchíd legmagasabb pontja fölé állított baldachinszerű sátor. Tribünt is épített: „Isten hozta", „Ferenz Iosef Erzsébet" feliratokkal.

Az Országos Levéltárban őrzött Feszl-hagyatékban van egy rajz, amely a mai Roosevelt tér déli végén állt Hild-mű (Lloyd-palota) homlokzatát is ilyen alkalmi módon „átdíszítette", részben színfalas módon, részben virág girlandokkal. Bár az is lehetséges, hogy ezt az épületet a koronázódomb építésekor „komponálta át" a maga romantikus módján. A koronázódomb ugyanis ez épület előtt állt, kb. a mai Deák szobor helyén.

A királyi pár 1857 májusában dunai gőzössel érkezett Pestre, a mai Vigadó térre. Itt állott Ybl Miklós „diadalkapuja", amelyet Pest város megbízásából készített. Ettől a diadalkaputól jobbra és balra „a Dunapart összes házai teljes díszben pompáztak" — írta az egykori újságíró. A mai Deák Ferenc utcán ment végig a király díszmenete; a mai Deák téren állott a pesti zsidó hitközség „emlékműve", mely formája után ítélve az ekkor a Dohány utcai templomot építő bécsi Foerster Ludwig tervezett. A menet innen a mai Engels tér felé fordult, majd a Duna felé vette útját. A mai Roosevelt téren, a Lánchíd feljárójával szemben a pesti kereskedelmi testület (Lloyd) által állított gótikus, nyolcszögletű, kápolnaszerű építmény belső terében Pannónia magas szobra állt, „a szögletoszlopokon a különböző kereskedelmi ágak allegóriai képeivel" (valószínű Feszl terve szerint). A budai oldalon, a mai Hunyadi János úton, a felső fordulóban állt a Dunagőzhajózási Társulat emlékműve, amely alatt a társaság munkásságának áttekintő képét nyújtotta, a hajózás minden eszközével s műszerével, evezővel, kormánylapáttal stb., a fedelén egy „művészileg készült gazdagon aranyozott hajóval". Bizonyosan Feszl készítette. Feszl műve volt a régi víziárosi kapu helyén erre az alkalomra épített gótikus várkapu épület is. Ez az építmény egyébként a Vár rendezéséig fennállott, s Ferenc József kapu volt a neve.[14]

A kisebb gótikus művek közül érdemes szólni még egy sírkápolnáról, mely csak tervekben maradt fenn, legalábbis mai tudásunk szerint. Ismeretlen főnemesi megrendelőnek készült. A terv színezett címere nyomán megállapítható majd a megrendelő neve, s megtudhatjuk hová szánták, továbbá az is kideríthető, hogy egyáltalán felépült-e. Maga a terv minden valószínűség szerint 1855—57 körül készült.

Alaprajza szerint a kápolna derékszögű négyszög, külső sarkai letompítottak. Főtengelyében a szentély szintén négyszög alaprajzú, benne a pompás gótikus szarkofág, öntöttvasból. Egy rózsaablakon át beszűrődő fénynyaláb világítja meg. A kis épület sarkaihoz — kívül — 45°-os szög alatt gyámpillérek csatlakoznak. A bejáratban fonadékos ajtó, profilozott kerettel: felette π-forma záradék, pártázattal, mint a Glósz-ház középnyílása felett, a II. emeleten. Az épület falait is párta zárja le. Még egy jellegzetessége, hogy az említett gyámpilléreknek a falazathoz való csatlakozásánál gótikus nyílás van virág, örökzöld elhe-

[14] „Magyarország" 1930. aug. 2.

lyezésére. Feszl minden alkalmat szívesen ragadott meg a homlokzati hatás növelésére növényzet alkalmazásával. Ebben az értelemben talán az építész és a festő találkozott benne.

Templomtervek

a) Kéttornyos román templom (2 db). Nem tudjuk, hová tervezte, mikor? Talán Fegyvernek részére?
b) Oltárterv vázlatok.
c) Szerzetes templom.
d) Toronysisak tervek.
e) A Vasárnapi Újság közzétette a hírt, hogy új templom épül Pesten. A Ferencvárosban új, 3000 embert befogadó katolikus templomot szándékoznak építeni, melyhez tervkészítésre Feszl Frigyes építészt szólították fel. Ennyi volt a hír. Mi lett ezzel az elgondolással? A Feszl-hagyatékban levő középkori templomtervek között kell-e keresnünk? Annyi bizonyos, hogy Feszl nem kapta meg a megbízatást. Anyagi fedezet csak kisebb templomra volt, s emiatt a tervezést pályázat nélkül adták ki, de nem Feszlnek, hanem Yblnek.

KOMÁRIK DÉNES,
a művészettörténeti tudományok kandidátusa

A „FÉLKÖRÍVES" ROMANTIKA ÉPÍTÉSZETE MAGYARORSZÁGON

Az európaihoz hasonlóan hazánk rövid életű romantikus építészetében is többféle áramlatot figyelhetünk meg, éspedig úgyszólván egyidejűleg, aszerint, hogy mikor melyik történeti stílusból merítette inspirációit és formáit, s mindvégig megosztotta az uralmát a klasszika különböző formáival. A romantika áramlatai közül legkorábban, legjellegzetesebben a *gótizálás*, a par excellence romantikus irányzat jelentkezett, melynek emlékeiről előző tanulmányunkban[1] kíséreltünk meg áttekintést adni. Ezt követte a romanizálás, illetve az a sajátos, Dél-Németországban kialakult irányzat, melyet *„félköríves" stílusnak* neveztek, s melynek emlékeivel e tanulmányunkban kívánunk foglalkozni. A „félköríves" romantika — vagy ahogyan a maga korában mondták, s ma a nemzetközi szakirodalomban is nevezik, „Rundbogenstil" — a románon kívül egyebet is magába foglalt, így pl. a korai keresztény, quattrocento, bizánci vagy az iszlám építészetet követő irányzatokat is, s nálunk meglehetős visszhangra talált. Ez utóbbinak elsősorban európai, azaz mór emlékek mintául vétele alapján kedvezett, egyéb mozzanatok mellett, a romantikának a távoli, az egzotikus iránti vonzódása. A romantika utolsó áramlata a „Rundbogenstil" változatának is bizonyos mértékig tekinthető barokkos-rokokós romantika volt. Jellemző sajátság, hogy ezek az irányzatok nemcsak egyidejűleg egzisztálnak vagy egymást váltva jelentkeznek egy-egy mester munkásságában, hanem gyakran keverednek és ötvöződnek egy-egy műben magában is. De ha csak az egyik formavilág nyelvén szól is az épület, szinte általánosnak tekinthetjük, hogy kölcsönöz — ha csak alárendelt díszítő elemeket is — valamelyik másikból.

A „Rundbogenstil" legfőbb jellemzője a köríves formák alkalmazása (félköríves nyílások, köríves díszítőelemek stb.) és az oszloprendes architektúra minden formájának kerülése. Ezt, valamint ennek az irányzatnak eredetét, kialakulását, jellemzését részletesen ismertettük említett előző tanulmányunkban. Ennek bevezetőjében — arról szólva, hogy romantikus építészetünk emlékeit a gótizáló és a (gyűjtőfogalommal) „Rundbogenstil"-nek nevezhető irányzat

[1] *Komárik D.:* A gótizáló romantika építészete Magyarországon. ÉÉT. XIV. (1982) 3—4. sz. — Mind ez, mind a jelen munka a szerzőnek a magyarországi romantika építészetével foglalkozó tanulmánysorozatához tartozik. A tanulmányok: A romantika korának építőgyakorlata és munkaszervezete Magyarországon. „Ars Hungarica" VI (1978) 1. sz. 29—56.; Az európai hatások útja a romantika korának építészetében. „Ars Hungarica" X (1982) 1. sz.; A gótizáló romantika építészete Magyarországon. ÉÉT, XIV. (1982) 3—4. sz.; A „félköríves" romantika építészete Magyarországon. (Jelen tanulmány); A nemzeti építőstílus keresése. Feszl és a pesti Vigadó. (Megjelenése később.) — Mivel a „félköríves" romantika legjelentősebb alkotásával, a pesti Vigadóval az utolsó tanulmány külön foglalkozik, jelen munkánkban csak megemlítjük.



1. kép. Fót. R. k. templom, iskola és plébánia

csoportjába sorolva fogjuk tárgyalni — foglalkoztunk a két főirányzat jellemzésével. Az ott mondottakat csupán kiegészítjük a romantikának a klasszikával való kapcsolatát illető néhány gondolattal, és a „kubusos stílus" kérdésének érintésével.

Miként a romantika maga, úgy a *klasszikának a romantikában* való jelenléte is sokrétű. Először is megtaláljuk magában a romantikában, midőn a romantika csak a díszítőelemek felfrissítésében, variálásában látja feladatát, s létrehozza azt a típust, amit klasszicizáló rendszerű romantikának nevezhetünk. Ez a változat különösen a városi lakóházépítésben gyakori. Sok tekintetben közel áll ehhez a barokkos-rokokós romantika, ami kézenfekvő, hiszen egy klasszikában gyökerező stílushoz nyúl vissza. Ugyanakkor önállóan is él tovább a klasszicizmus két ágra differenciálódva. Egyik ága megmerevedve, szárazzá válva megmarad klasszicizmusnak, míg meg nem szűnik, a másik ága lassan, szinte észrevétlenül átfejlődik korai eklektikába. Végül a klasszikával való szimbiózishoz tartozik neoreneszánsz vonások korai, szórványos jelentkezése, már az 1840 körüli évektől kezdve.

Mint máshol[2] kifejtettük, a romantika korának három nagy építészeti áramlatát, a forradalmi építészetet, a gótizálást és a klasszicizmust egyaránt jellemzi bizonyos *kubusos-sztereometrikus jelleg*. Nem csodálkozhatunk tehát, hogy a középkoriasság gótizálást folytató, s morfológiailag a félkörívességgel jellemez-

[2] *Komárik D.*: A korai gótizálás Magyarországon. In: *Zádor A.—Szabolcsi H.* (szerk.): Művészet és felvilágosodás. Bp. 1978. 209—300.



2. kép. Pest. Ferences templom toronysisakja

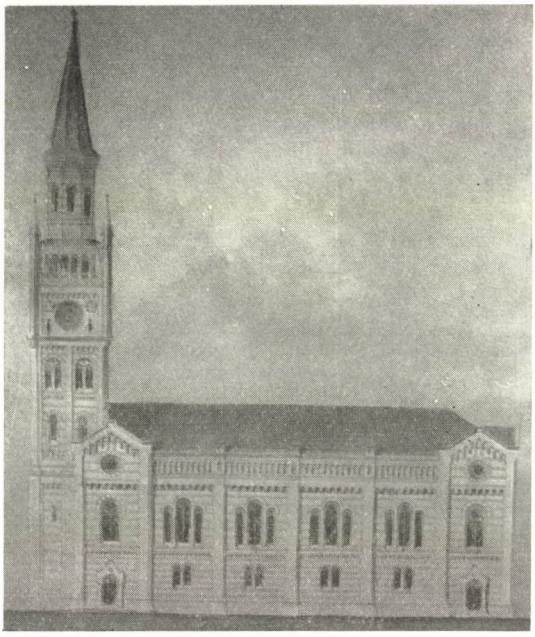


3. kép. Fegyvernek. R. k. templom

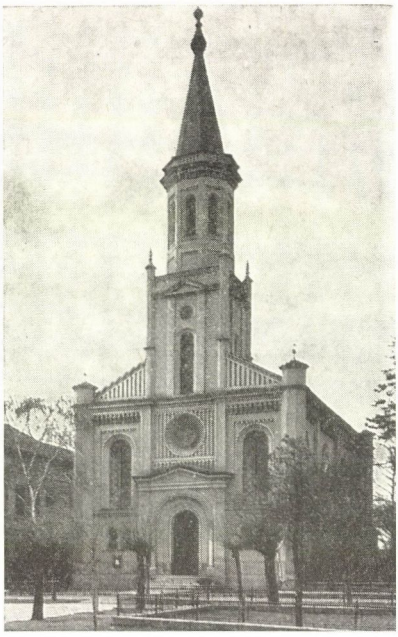
hető változataiban is ugyanezzel találkozunk. Ez a már Schinkelnél megjelenő, de lényegében Dél-Németországban kialakult irányzat — ahogyan erről említett tanulmányunkban már beszéltünk — a karlsruhei Heinrich Hübschtől kapta (1820-as évek) nevét és elméleti megalapozását. Szélsőségesen funkcionalista és puritán szemlélete mind érvelésében, mind saját s követőinek műveiben gyakran megmutatkozik, s a forradalmi építészet Durand által közvetített, folyamatosan hatékony áramlatához kapcsolja. Innen műveiknek gyakran kubusos jellege, ami miatt Renate Wagner-Rieger a „Rundbogenstil" elnevezés helyett a „kubusos stílus" megjelölést ajánlja.[3] Mivel azonban az általánosan használt „Rundbogenstil" elnevezés többet ölel fel, mint ezt az indulásnál domináló, s később is gyakran jelentkező sajátosságot, nem tartjuk indokoltnak az új terminus bevezetését. A korszakunkban folyamatosan hatékony kubusos jelleg — a „Rundbogenstil" kibontakozása során, illetve azzal egyidejűleg megjelenő — sajátos formájának felismerése és számbavétele azonban az építészeti fejlődésnek, alakulásnak árnyaltabb megközelítését jelenti. Lehetővé teszi a korszak építészeti arculatának szabatosabb, differenciáltabb megrajzolását, bizonyos vonások jobb felismerését, s emlékeknek olyan összefüggésbe, formai egységbe való besorolását, melyben eddig nem szerepeltek.[4] Tanulmá-

[3] *Wagner-Rieger, R.:* Wiens Architektur im 19. Jahrhundert. Wien, 1970. 77—93.

[4] Részletesebben kifejti és egyes hazai emlékeit ismerteti, ill. ebből a szempontból elemezi *Komárik*, 1981.



4. kép. Debrecen. Ref. Kistemplom terve



5. kép. Nyíregyháza. Ref. templom

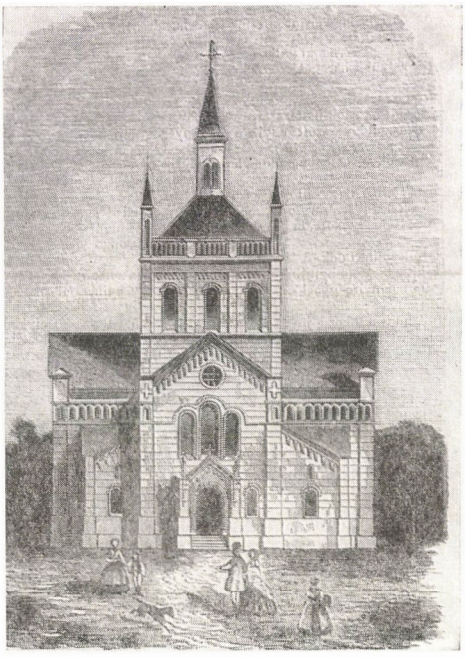
nyunkban kizárólag e célt szolgálva, ebben a szerényebb, korlátozottabb értelemben használjuk a ,,kubusos stílus'' megjelölést.

A ,,Rundbogenstil'' említett, s az emlékek részletes áttekintése során majd többször megmutatkozó általános kedveltsége három tényezővel magyarázható. Ez a stílus Európa-szerte akkor volt a legerősebb, mikor a romantikus építészet hulláma hazánkat komolyabb formában elérte. Domináló formája volt a ránk legközvetlenebbül ható közép-európai, különösen a délnémet romantikának. Végül, de nem utolsósorban, valószínűleg közelebb állt a hazai ízléshez a romantikus építészetnek ez a harmonikusabb, derűsebb változata, amit a klasszicizmus korábbi kedvelése, ill. jellegzetes magyarországi arculata is valószínűsít.

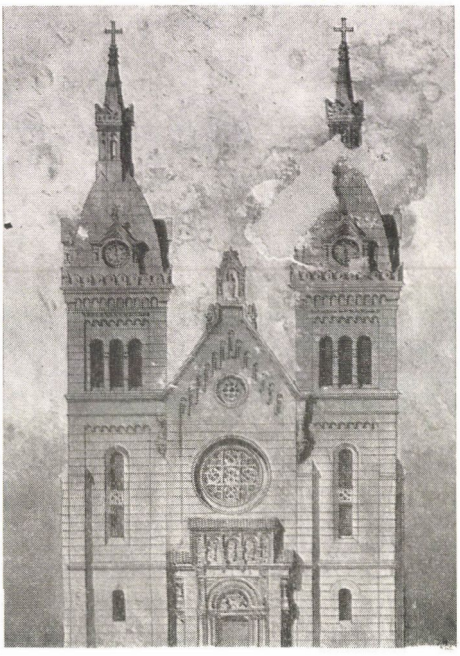
1. EGYHÁZI ÉPÜLETEK

Ennek az irányzatnak legjelentősebb egyházi épülete, egyben a pesti Vigadó mellett a magyarországi romantika legjelentősebb alkotása a Károlyi grófok *fóti r. k. temploma*, Ybl Miklós műve (1845—55). Tulajdonképpen plébániát és iskolát is magába foglaló együttesről van szó, de fontossága miatt nem később, az együttesek közt, hanem elsőként, itt említjük. A mesterséges feltöltésre helyezett együttes kéttornyos, háromhajós, bazilikális elrendezésű templomának építéstörténetét és értékelő analízisét Ybl Ervin monográfiája nyújtja, ezért elég csak utalnunk rá.[5] A nagyszabású kriptával ellátott, gazdag kiképp-

[5] *Ybl*, 1956. 19—24.; *Zádor*, 1981. 124—125. kép.



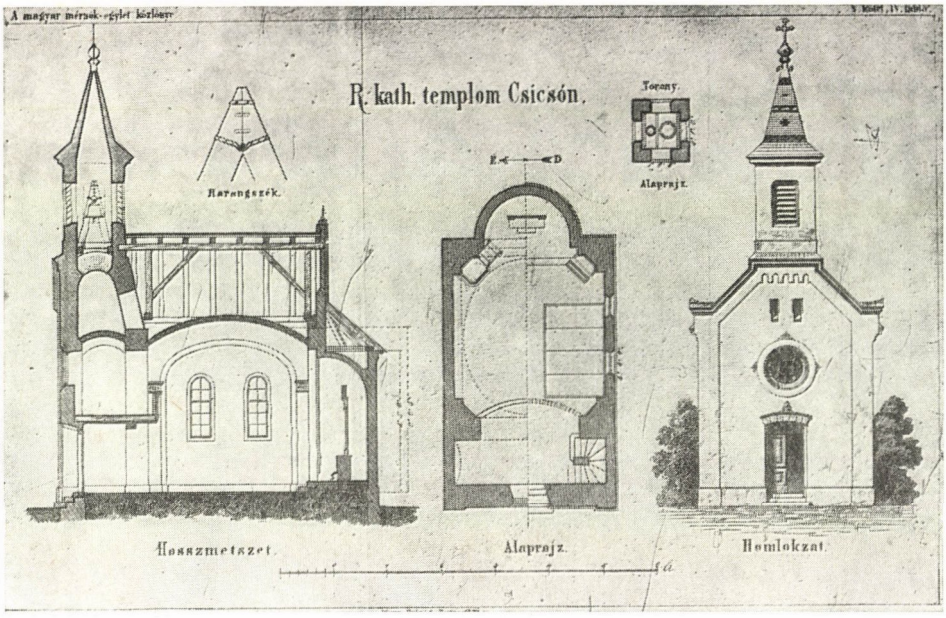
6. kép. Kecskemét. Ev. templom



7. kép. Pest. Kőbányai templom terve

zésű, keleties elemeket is felhasználó románós architektúrájú templomot szokás a bécsi Altlerchenfelder Kirche-vel párhuzamba állítani. Ez a párhuzam azonban viszonylag külsőséges, a bécsi templom hatásáról pedig egyáltalán nem lehet szó, mert csak 1848-ban kezdték építeni Paul Sprenger 1847-es terve alapján, melyet 1848-ban tervpályázat útján módosítottak a megvalósult formára (Johann Georg Müller).[6] Ybl munkásságából meg kell említenünk a szerényebb, de korábbi *kaplonyi* r. k. templomot (1842—47)[7] és az egyszerűbb, de mozgalmasabb tömegtagolású, bazilikális elrendezésű, kettős keresztházas, egytornyú *nagycenki* r. k. templomot (1860—64), melynek első alternatíváját még a megrendelő kegyúr, gr. Széchenyi István is látta.[8] A romantikától még nem szakadt el teljesen, de már a historizmusra utal az 1866-ban általa tervezett, kőtagozatos nyerstéglahomlokzatú *Pest-ferencvárosi* r. k. templom (1867—79).[9] Itt említjük meg a *pesti ferences templom* tornyának 1860/63-ban készült gazdag kialakítású kősisakját, Wieser Ferenc művét.[10] A barokk templomhoz

[6] *Wagner-Rieger* 3. jegyzetben i. m. 106—110.
[7] *Ybl*, 1956. 16.
[8] *Csatkai*, Sopron, 1956. 559.; *Ybl*, 1956. 28—29.
[9] *Ybl*, 1956. 52—55, 159—161.
[10] *Szabó E.:* A pesti ferences templom. Bp. 1959. 14.; *Zakariás*, 1961. 99. *A. Czétényi P.—Szalkai S.:* A ferencesek pesti templomának helyreállítása. MV. 1969. 138—142.; *Zádor*, 1981. 115. kép. — A tervek már 1859-ben megvoltak: *K-pf.:* (Szemle némely keresztény-művészeti munkálatok fölött a fővárosban) „Budapesti Hírlap" 1859. dec. 4. Benyújtásuk és jóváhagyásuk azonban csak 1860 derekán történt meg. FL.: *EB. 722/1861.* (sic !), vö.: *SzB. 19640.* (1860-ból).



8. kép. Somogycsicsó. R. k. templom

igazodni akaró, de nyilván nem magyar előképekre támaszkodó, eredeti formálású sisakon a londoni St. Martin-in-the-Fields templom tornyának hatását véljük felfedezni. Az Angliát többször megjárt s onnan nősülő Wieser esetében ez könnyen elképzelhető. — A nagyobb „Rundbogenstil" templomok egyik viszonylag korai, átmeneti példája a *felsőbányai* (Szatmár vm.) r. k. templom (1847—58), a gótizáló romantika tárgyalásánál már többször említett Tischler Albin amatőr „építész", Szatmár-egyházmegyei pap műve.[11] Oszlopos portikuszával, belső megoldásával még klasszicista, de ablakai, különösen a müncheni Ludwigkirche-re emlékeztető tornyai, már ide sorolják. Gerster Károlytól származik az egytornyú, kereszthajós, fegyelmezett formálású románo s *fegyverneki* (Szolnok m.) r. k. templom (1862—64).[12] A XVIII. sz. végén építeni kezdett s 1866-ban befejezett *székesfehérvári* felsővárosi r. k. plébániatemplom csak homlokzata révén tartozik ide.[13] Színvonalas késői példa *Modor* (Pozsony vm.) 1873-ban befejezett háromhajós, csarnokrendszerű r. k. plébániatemploma. Egyetlen kubusos tömege, melyből csak a barokk sisakos (talán korábbi) torony emelkedik ki, jól érzékelteti a „Rundbogenstil" puritán hajlandóságát.[14]

Ennek az irányzatnak nagyobb szabású protestáns vállalkozásai a debreceni ref. Kistemplom és a dobsinai ev. templom újjáépítésére készült megvalósulat-

[11] Schematismus, Szatmár, 1907. 46.; *Borovszky*, Szatmár, 1908. 226, 248. (szerinte 1855-ben fejeződött be).; *Zádor—Rados:* A klasszicizmus építészete Magyarországon. Bp. 1943. 216.

[12] A kivitelt Gerster Károly alkalmazottjaként Benkó Károly vezette. *Komárik*, 1971. 391.; *Genthon*, 1961. 93. adata, mely szerint Feszl, Gerster és Kauser tervezte, pontatlan. Az építés időpontjára: Schematismus, Eger, 1902. 77.

[13] *Fitz—Császár—Papp:* Székesfehérvár. Bp. 1966. 128—129.

[14] *Borovszky*, Pozsony, 1904. 205.

lan tervek valamint a kivitelre került kecskeméti ev. és nyíregyházi ref. templom. A rossz állapotban levő *debreceni Kistemplom* helyreállítására, ill. átépítésére már 1843-ban készíttettek két tervet az akkor együtt dolgozó Pollack Ágostonnal és Ybl Miklóssal. Az egyik terv megtartotta a tornyot és a boltozatokat, a másik bazilikális rendszerű, románo̊s új épületet tervezett, a nagy költség miatt azonban egyik sem valósult meg. Az egyház felkérésére 1862 januárjában hárman nyújtottak be tervet: Bartsay Miklós és Vecsey Imre debreceni építőmesterek, valamint a laikus Komlóssy Imre presbiter, az egész ügy lelkes szervezője. Pályázati hirdetés alapján az év végéig összesen hat terv érkezett be, köztük Vassel Alajos, az ifj. Koch Henrikkel társult Szkalnitzky Antal, Siebreich Károly, s bizonytalan értesülésünk van Feszl Frigyes részvételéről. Szkalnitzky és Koch nagyszabású, középen kiszélesedő tornyú tervét fogadták el, de anyagi nehézségek miatt ezt sem építették meg, pedig a kiváló építész oeuvre-jének és a magyarországi romantikának értékes alkotása lett volna. 1866-ban Varga Ferenc debreceni építőmester is készített egy igényes, de megvalósulatlan tervet. Végre 1876-ban valósult meg a máig látható szerény átalakítás, egyik verzió szerint Varga Ferenc, a másik szerint Gaal József terve alapján, Szikszay Lajos és Bartsay Miklós vállalkozásában. Komlóssy és Siebreich gótizáló tervét kivéve valamennyi fennmaradt vagy ismert terv félköríves stílusú volt, tanulságos képet nyújtva e három évtizedes törekvésről.[15] — A XV. századi gótikus *dobsinai* ev. templom 1855-ben tűzvész áldozata lett. Egy ideig helyreállítása helyett új templom építésére gondoltak, s az 1860-as években Benkó Károllyal egy 5000 főt befogadó templomot terveztettek. Az egytornyú, valószínűleg háromhajós, csarnokrendszerű épületnek csak markáns külső képét ismerjük.[16] — Ismét Ybl Miklós nevével találkozunk az 1862/63-ban épült *kecskeméti* ev. templomnál.[17] A kissé szárazabb románo̊s architektúrával megoldott görög kereszt alaprajzú épület középső része erőteljes hasáb formájában kiemelkedik, a kereszt szárai közti részt alacsonyabb tömegek töltik ki. A keskeny empórákat öntöttvas oszlopok tartják, szentélyrácsát mohamedán ívek törik át. Bár a protestáns templomépítészet Európa-szerte szívesen alkalmazott centrális elrendezést, mégis fölötlik Theofil Hansen két épületének esetleges alaprajzi hatása, a lembergi rokkantak háza kápolnájáé (1855-től)[18] és a bécsi evangélikus temetőkápolnáé (1857—58).[19] Bár külső arányai mindkettőnek mások, magasba törőbbek, formálásuk keleties és kupolával koronázottak

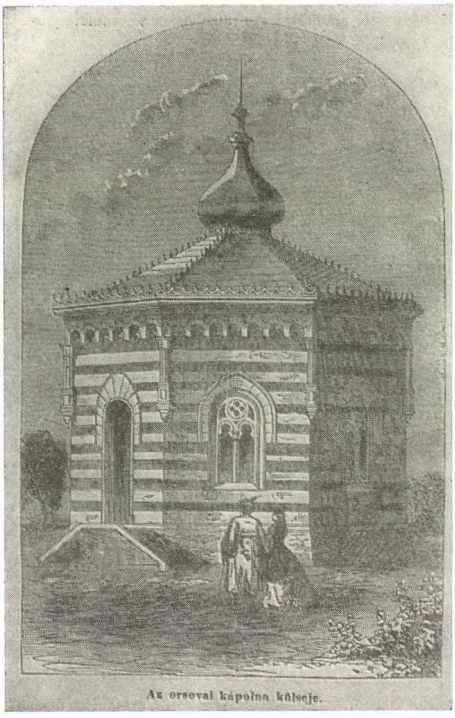
[15] Alább felsorolandó forrásaink sajnos egymásnak több helyen ellentmondanak, illetve hiányosak, így monografikus kutatás és feldolgozás nélkül — amire a téma igen érdemes lenne — csak vázlatosan s bizonyára pontatlanul tudjuk az anyagot áttekinteni. — Forrásaink: „Sürgöny" 1863. jan. 18. [2]. (Feszl tervének aprólékos leírása!); VU. 1863. 35, 46, 82.; *Dr. Zoltai L.:* A debreceni Kistemplom története. „Debreceni Képes Kalendárium" 1929. 65—76.; Sápi Lajos levélbeli közlései a debreceni Ref. Kollégium levéltári anyaga alapján, mely az összes említett tervet őrzi.; Katalógus, 1981. 209—210. — *Ybl*, 1956. nem tud Ybl Miklósnak erről a munkájáról, csak a Nagytemplom ezzel egyidejű átépítési terveiről (13. old.)

[16] Dobsina. VU. 1868. 65, 66.; *Kemény-Gyimesy:* Evangélikus templomok. Bp. 1944. 162—163, 164.

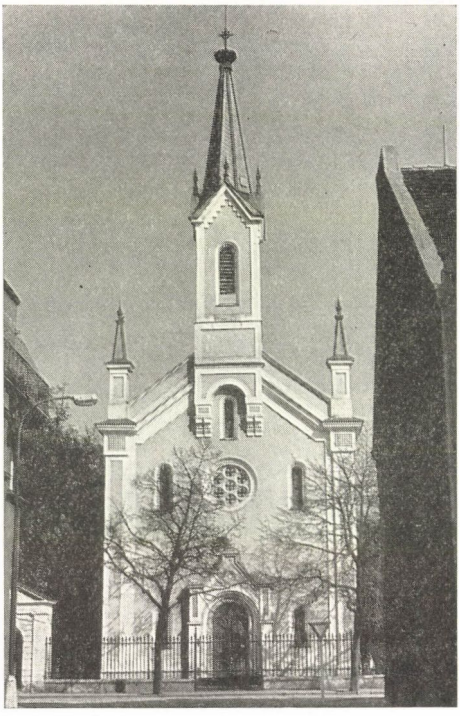
[17] *Gömöry F.:* A kecskeméti ev. templom. VU. 1862. 388.; *Ybl*, 1956. 30.; *Entz—Genthon—Szappanos:* Kecskemét. Bp. 1961. 130, 132.; *Zádor*, 1981. 116. kép.

[18] *Klasen, L.:* Grundriss-Vorbilder von Gebäuden für kirchliche Zwecke. Leipzig, 1889. 1336, 1337, 1338. és 149. tábla.

[19] *Joseph, D.:* Geschichte der Baukunst... III. Leipzig, 1912. 315—316.; *Wagner-Rieger, R.* 3. jegyzetben i. m. 112—113.



9. kép. Orsova. Emlékkápolna



10. kép. Pozsony. Temetőkápolna

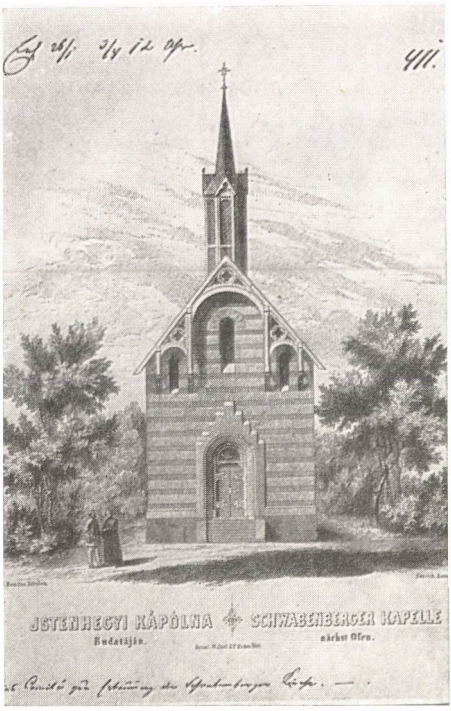
— a görög kereszt alaprajz, a szárak közti alacsonyabb tömeggel, azonos. Görög kereszt alaprajzú protestáns templom szerényebb példája a *gyantai* (Bihar vm.) ref. templom (1857—59), Pribék Béla műve.[20] A formai rokonság miatt itt említjük meg *Türkös*nek (Brassó vm.) ugyancsak görögkereszt alaprajzú, kupolás görögkeleti templomát, mely 1869-ben épült Bartesch Péter brassói építész terve szerint.[21] — A *nyíregyházi* ref. templom építése hosszan elhúzódott, de terve még korszakunkban készült.[22] Az építést már 1858-ban elhatározták, 1859-ben Vecsey Imre, 1865-ben Gönczy István mérnök[23] készít tervet. 1868-ban pályázat kiírását határozzák el. A beérkezett pályatervek közül 1870-

[20] Pribék Béla (1809—1887), Hild József veje, ekkor az Országos Építési Igazgatóság mérnöke, majd rövid ideig Pest város főmérnöke volt. 1833-ban szerzett oklevelet az Institutum Geometricumban, s 1857-ben Nagyvárad díszpolgárává választották a királylátogatási díszépítmények és a kivilágítás tervezéséért. *Rácz I.:* A gyantai új ref. templom. VU. 1863. 59—60.; *Lakos L.:* Nagy-Várad múltja és jelenéből. Uo. 1904. 100, 345.; *Fodor*, 1955. 171.; *Rados*, 1958. 267.

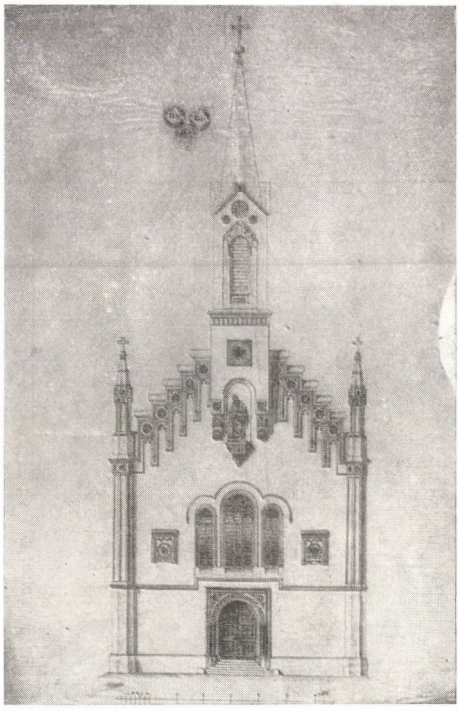
[21] *Orbán B.:* A Székelyföld leírása... VI., Pest, 1873. 158, 159. Említi a türkösi görögkeleti felső templomot, melyet az 1855-ben összeomlott régi helyén emeltek bizánci ízlésű, kupolatornyos és kéttornyos formában. — Magyar faluk a Barczaságban. VU. 1874. 420—422.

[22] *Lukács Ö.:* Nyíregyháza szabad, kiváltságolt város története, II. Uo. 1887. 414—430.

[23] Gönczy az 1850-ig működő Institutum Geometricumban végzett, de oklevelét csak 1853-ban váltotta ki. *Fodor*, 1955. 164.



11. kép. Buda. Diana úti kápolna terve



12. kép. Buda. Kapucinus templom

ben az ismeretlen Melhouse János tervét fogadják el, de a templom csak 1873/74-ben épül meg annyira, hogy használni lehet. Tornya ekkor még nincs, homlokzata vakolatlan. E munkák csak 1882-re készülnek el. A templomtest tömegének zártságát a mértéktartóan alkalmazott díszítés nem bontja meg, s bár tornyának nyolcszögű alaprajzú felső része kissé szervetlenül csatlakozik a négyzetes alsó részhez, formálása jó arányérzékről tanúskodik.

Vidéki városaink, falvaink templomai közt igen hosszú a „Rundbogenstil" modorában épült vagy átépült, bővített templomok sora, csupán ízelítőül tudunk néhány példát felsorolni. Katolikus templomok közül: *Felsőpaty* (Vas m.), torony, 1852;[23/a] *Dunapentele*, bővítési tervek, 1855, egyik Hans Petschnigtől;[24] *Ölbő* (Vas m.), teljes újjáépítés, 1857;[25] *Nagyvárad*, gör. kat. plébániatemplom (ún. Szeminárium templom), 1858;[26] ugyanitt a várad-velencei r.k. templom, 1858/62;[27] *Egyházashetye* (Vas m.) átépítés, 1860;[28] *Tát* (Komárom m.)

[23/a] Schematismus, Szombathely, 1972. 75

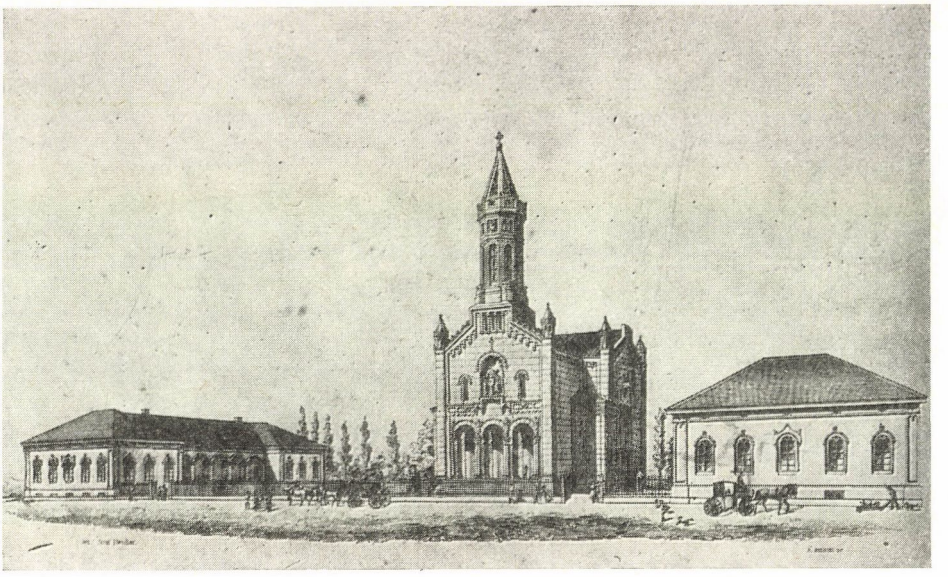
[24] OL.: *T. 73. 237/1—4.* — A bővítés helyett végül új templom építésére került sor 1862/64-ben, valószínűleg Zalay Alajos országos építési igazgatósági mérnök terve alapján. Az alapkőletétel 1862. máj. 18-án volt. „Religio" 1862. I. félév, 317.; Schematismus, Székesfehérvár, 1977. 199—200.

[25] Schematismus, Szombathely, 1972. 76—77.

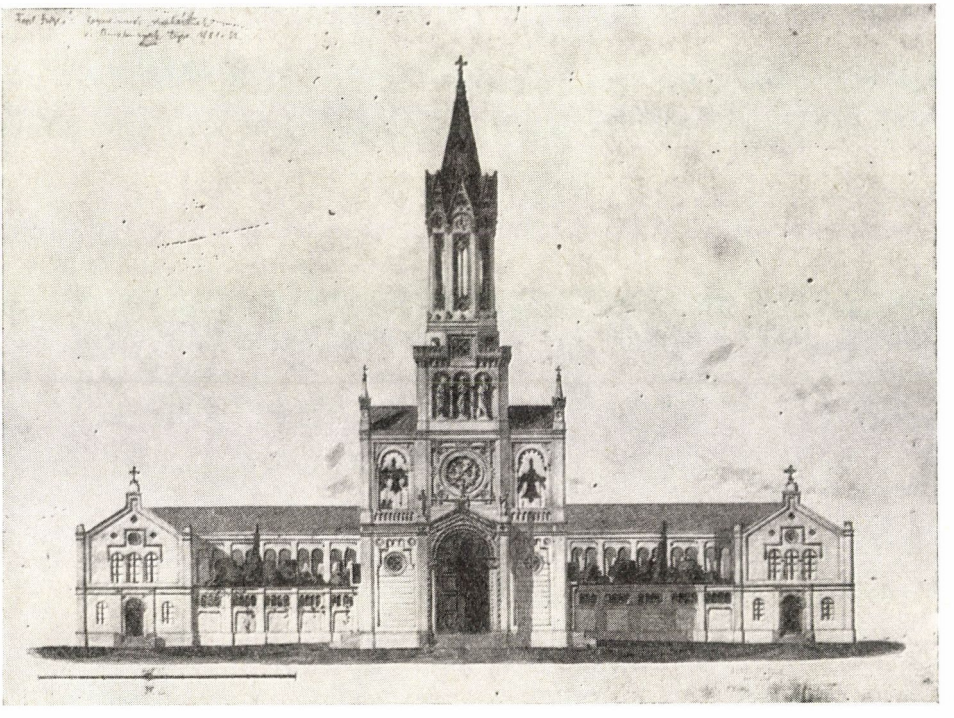
[26] *Borovszky*, Bihar, 1901. 406.; *Papp L.* (szerk.): Nagyvárad. Uo. 1943. 84.

[27] *Papp L.* előző jegyzetben i. m. 78.

[28] *Genthon*, 1959. 78.; Schematismus, Szombathely, 1972. 102.



13. kép. Pest. Szlovák ev. templom, iskola és paplak



14. kép. Pest. Szervita (?) templom és kolostor terve

teljes átépítés befejezése, 1860;[29] *Gyöngyösoroszi* (Heves m.), átépítés, 1860;[30] *Zombor*, karmeliták temploma, 1860—1905;[31] *Felménes* (Arad vm.) gör. kat. templom terve 1861-ből, Pribék Bélától;[32] *Vép* (Vas m.) bővítés, átalakítás, 1862;[33] *Écska* (Torontál vm.), új, állítólag Ybl műve, 1862/64.[34] Miként a gótizálásnak, a félköríves stílusnak is hosszú utóélete volt, amit tanúsít az *újszászi* (Szolnok m.) románo templom Weber Antaltól 1885-ből,[35] a *Pozsony-virágvölgyi* templom 1885/88-ból a bécsi Emil Bresslerrel társult Fritz Rumpelmayertől,[36] vagy Feszl Frigyes megvalósulatlan *pesti kőbányai* templom terve valószínűleg 1884-ből.[37] — A protestáns templomok közül: *Magyarboly* ev. (Baranya m.), 1854/58;[38] *Bazin* ev., torony, 1857/63;[39] *Vértes* ref. (Hajdú—Bihar m.) átépítés, bővítés, 1862;[40] *Sopron*, ev. templom tornya Ludwig Förstertől, 1862/63;[41] *Cégénydányád* ref. (Szabolcs-Szatmár m.), átépítés, 1863;[42] *Iregszemcse* ref. (Tolna m.) átalakítás, 1863;[43] *Biharkeresztes* ref. (Hajdú-Bihar m.), átalakítás, 1867/68;[44] *Sellye* ref. (Baranya m.), új, 1870/73.[45]

A gótizáló épületek közt felsorolt kápolnák minden fajtájával találkozunk itt is. Gyakori egy igen egyszerű, nyeregtetős, kis középtornyos, homlokzatán középen vízszintesen megtört oromzattal képzett típus, nem ritkán átépítés eredményeképp: *Szelevény* (Szolnok m.), 1854/55;[46] *Makó*, 1855/56;[47] *Süttő* (Komárom m.) Szent Ilona kápolna, 1856;[48] *Kölesd (Tolna* m.) Ybl Miklóstól,

[29] „Religio" 1860. II. félév, 287—288.; *Borovszky*, Esztergom, 1908. 39. — Homlokzatán emléktábla is őrzi az 1860-as évszámot.

[30] *Genthon*, 1961. 116.

[31] *Borovszky*, Bács-Bodrog, 1909. I. 212, 215., II. 326.; *Muki J.:* Zombor története. Uo. 1944. 241—242. — Pénzhiány miatt 1875-ben elakadt, s csak a századforduló után fejezték be.

[32] OL.: *T. 73. 588/1—3.*

[33] Schematismus, Szombathely, 1872. 54.

[34] Az écskai r. kath. új templom. VU. 1865. 261.; Schematismus, Csanád, 1868. 115.; *Ybl*, 1956. oeuvre-jegyzéke Ybl Miklósnak tulajdonítja.

[35] Schematismus, Vác, 1913. 91., *Dr. Fábián G.:* Egy elfelejtett nagy magyar építőművész. Weber Antal 1823—1889. „A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye" 1937. 263.

[36] *Thieme-Becker:* Allgemeines Lexikon der Bildenden Künstler, IV. Leipzig, 1910. 587.; *Lukáčova*, 1972—74. 129.; *Lyka*, 1942. 65. tévesen az 1867 előtti időszakra datálja.

[37] OL.: *T. 11. No. 3/a: 67, 132. No. 3/b: 75, 230, 231, 236, 238, 265. verso.* Belső részletet ábrázoló egyik lapon *(No. 3/b: 236.)* az üvegablak tervén 1884-es évszámot láthatunk. — *Nemes M.:* A kőbányai templom története. „Ars Hungarica" VIII (1980) 135—147. tanulmányában idéz Feszl fiának 1889-ben írt leveléből, mellyel elhunyt apja templom terveit megvételre fölajánlja a fővárosnak (136. old.) Ugyanitt olvashatjuk, hogy a kőbányai polgárok 1883. nov. 17-én bizottságot alakítottak a templomépítés megszervezésére (135. old.). — A *T. 11.* jelzetű anyagban két további templomterv Feszltől: egy kéttornyú, háttérben a Gellért-heggyel *(No. 3/b: 37.)* és egy egytornyú, „Építette Mayer János, 1859" felirattal (No. 3/b: 248).

[38] *Genthon*, 1959. 189.; Az OMF ún. távlati terve.

[39] *Borovszky*, Pozsony, 1904. 216.

[40] *Kováts*, 1942. 584.; *Genthon*, 1961. 327.

[41] *Csatkai*, Sopron, 1956. 289.

[42] *Kováts*, 1942. 634.; *Genthon*, 1961. 49.

[43] *Kováts*, 1942. 82, 388.

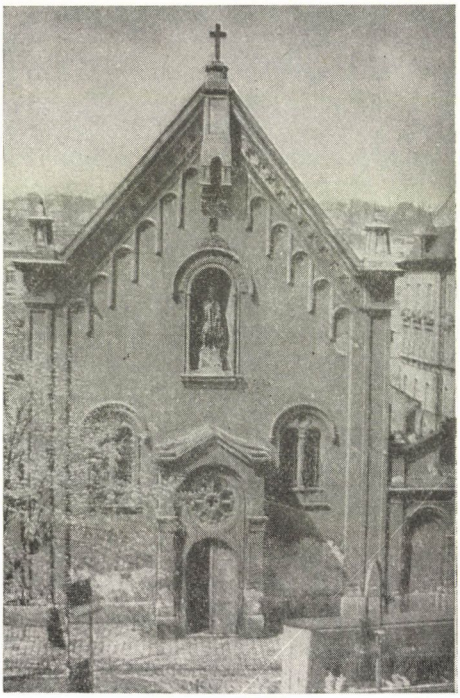
[44] *Nadányi Z.* (szerk.): Bihar-vármegye. Bp. 1938. 475.; *Kováts*, 1942. 571, 572.

[45] *Kováts*, 1942. 87—88, 376.

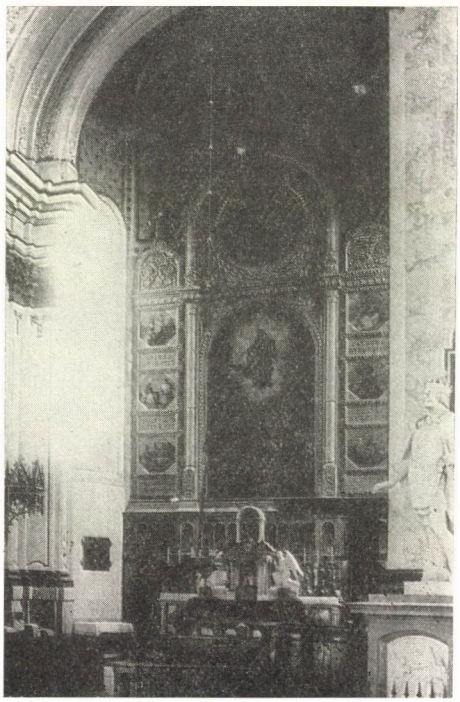
[46] *Zombory G.:* A szelevényi templom. VU. 1862. 555, 556.

[47] Schematismus, Csanád, 1868. 95.; *Dr. Barna J.* (szerk.): Makó és Csanád-Torontál vármegyei községek. Bp. 1929. 240, 248.

[48] Évszám a bejárat feletti emléktáblán.



15. kép. Pozsony. Kapucinus templom



16. kép. Kalocsa. Székesegyház régi főoltára

1858;[49] *Derecske* (Hajdú-Bihar m.) 1865;[50] *Somogycsicsó* (Somogy m.), Hencz és Bergh kis fiókegyházaknak mintatemplomul szánt műve 1869-ből;[50/a]; Az emlékkápolnák közt jelentős az *orsovai* (Krassó-Szörény vm.), melyet a császár építtetett 1856-ban azon a helyen, ahol az elásott koronát 1853-ban megtalálták. A zománcozott színes téglaburkolatú, nyolcszög alaprajzú, keleties építmény feltehetően bécsi építész alkotása.[51] Ugyancsak a nyerstégla modor ritka példája az *albertirsai* temetőben levő Szapáry-sírkápolna, melyet Ybl Miklós tervezett 1860 előtt.[52] Egyik legjelentősebb kápolna a jó arányú és tagolású *pozsonyi* Szent András temetőkápolna, ifj Feigler Ignác műve 1860-ból.[53] Említésre méltó a *pannonhalmi* bencések temetkező helyéül szolgáló barokk Boldogasszony-kápolna külsejének finoman megoldott romantikus átalakítása

[49] *MV.:* Kölesd (Tolnamegyében). VU. 1864. 228, 229.; Schematismus, Pécs, 1871. 98.; *Ybl.* 1956. 129.; A Historia domus szerint melegházból alakították át (Halmai György plébános szíves közlése).

[50] *Genthon,* 1961. 65.

[50/a] A csicsói templom. „A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye" 1871. 68—69, IV. tábla.

[51] *Reményi K.:* Kirándulás az Al-Dunán, I. „Hazánk s a Külföld" II (1866) 632, 635.; Az orsovai kápolna. VU. 1867. 285, 286—287.

[52] *Ybl,* 1956. 24.; *Genthon,* 1961. 12.

[53] „Religio" 1860. II. félév, 182. Ez év szept. 14-én szentelték fel.; *Ortvay,* 1905. 442.

1865-ből[54] és a *nagyszombati* trinitárius templom bővítése kápolnával.[55] *Budapesten* Romano von Ringenek a „svájci ház" modorhoz alkalmazkodó Diana úti kápolna tervét (1854),[56] Knabe Ignác Szépvölgyi úti kápolnáját (1854)[57] és az országos tébolyda nagyszabású saját kápolnáját (Ludwig Zettl, 1860—68)[58] említjük.

A templom-iskola-paplak együttesek közül a már említett *fótin* kívül a *pesti szlovák evangélikusok* Kerepesi úti együttesét emeljük ki (VIII. Rákóczi út 57/a—b). A Diescher József tervezte jó arányú, harmonikus épületcsoportból először a telek keleti oldalán az iskola (1852-től), majd nyugati oldalán a plébánialak (1855-től), végül a kettő között az egytornyú templom épült meg, 1857—1867-ig.[59]

A gótizáló szerzetesi együtteseknél nagyobb számú félköríves stílusúak közül legkorábbi a *pécsi Notre-Dame* apácáké. Az építkezés még 1847-ben kezdődött id. Feigler Ignác pozsonyi építőmester késő klasszicista terve szerint. A templomra csak 1852/54-ben került sor, s ha belseje nem is, homlokzata romantikus formát öltött.[60] Az 1849-i ostrom során súlyosan megsérült *budai kapucinus* templom és kolostor újjáépítése és átalakítása 1854/56-ban történt, tervezését és kivitelezésének ellenőrzését az Országos Építési Igazgatóság végezte. Romos állapotának felmérése már 1851-ben, első tervváltozata 1852-ben, második 1854-ben készült. Tervezője Reitter Ferenc, munkatársa Szumrák Pál, kivitelezője — versenytárgyalás alapján — Gerster Károly volt. Az Országos Levéltárban meglevő teljes iratanyag és gazdag tervanyag alapján megállapítható, hogy a romantikus átépítés adatai a szakirodalomban helytelenül szerepelnek. A terv nem Feszl Frigyes, Gerster Károly és Reitter Ferenc közös műve, hanem kezdettől fogva az Országos Építési Igazgatóság budai osztályán készült.[61] Feszl Frigyesnek hagyatékában megmaradt, felirat nélküli, szimmetrikus elrendezésű templom-kolostor terve épületünkkel semmi közösséget nem mutat, véleményünk szerint a *pesti szervita templom és kolostorra* készült

[54] *Dr. Mihályi E.:* A magyar falu egyházművészete. Pannonhalma, 1934. 41. — A kivitelt Frisch György építőmester végezte. Eredetileg volt egy egyszerűbb, torony nélküli terv is, de a konvent a tornyos változatot fogadta el, melyen a kivitel során még további változtatásokat eszközöltek. Pannonhalmi levéltár: *Protocollum Actorum Conventus S. Martini, Liber II^us*, p. 369. (1865. máj. 4-i ülés) No. 585.; *Főapáti irattár, Rimély Mihály főapát iratai. Székházak, plébániák, 1850—60.* (sic!) (régi jelzet: *VII. e. b.*).

[55] Építési adat híján az 1860-as évekre tehető.

[56] Romano tervét egy 1854-ben készült litográfia őrizte meg. Hogy az Ybl nevéhez fűződő 1860. évi befejezés e tervet valósította-e meg, nem tudjuk. Mai állapota az 1886. évi átalakítás eredménye. *Dr. Siklóssy L.:* Svábhegy. Bp. 1929. 102, 103, 106.; *Ybl*, 1956. 127.; *Zakariás*, 1961. 179.

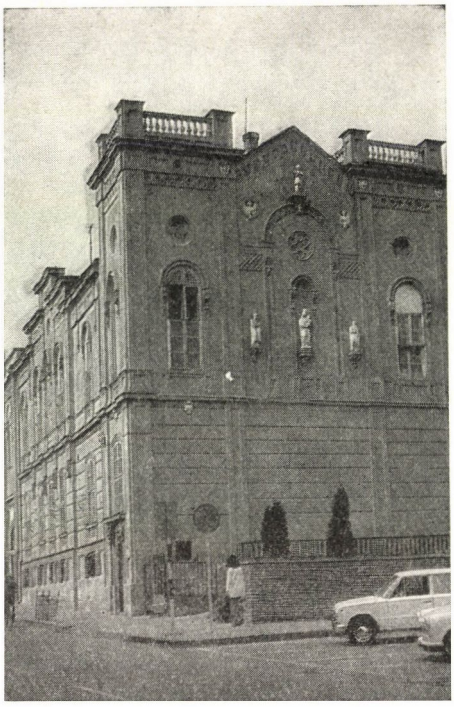
[57] *Horler*, Budapest, 1962. 261—263.

[58] Uo., 269—272.

[59] *Dr. Schoen A.:* Fővárosunk 1800—1873 között. Bp. 1948. 48—49.; *Zakariás*, 1961. 166. — Említést érdemel a sokat foglalkoztatott váci építőmesternek, Caccarinak 1856-ban készített, kivitelre nem került *váci evangelikus templom—iskola—paplak* terve, melynek 8 tervlapját a Magyar Építészeti Múzeum őrzi. *Pusztai L.:* Az OMF Építészeti Múzeumának négyéves működése. In: Magyar műemlékvédelem 1971—1972. Bp. 1974. 374.

[60] *Szentkirályi I.:* A pécsi Notre-Dame nőzárda és iskolái. Uo. 1908. Közli Feigler Ignác kupolás, két szélén két kisebb toronnyal megoldott, meg nem valósult klasszicista tervének rajzát (69. old.).

[61] *Komárik D.:* Az I. Fő utca 30—32. sz. ... MV. 1973. 247—248. a források megjelölésével.; Katalógus, 1981. 206—207.; *Zádor*, 1981. 117. kép.



17. kép. Kaposvár. Irgalmas nővérek kolostora

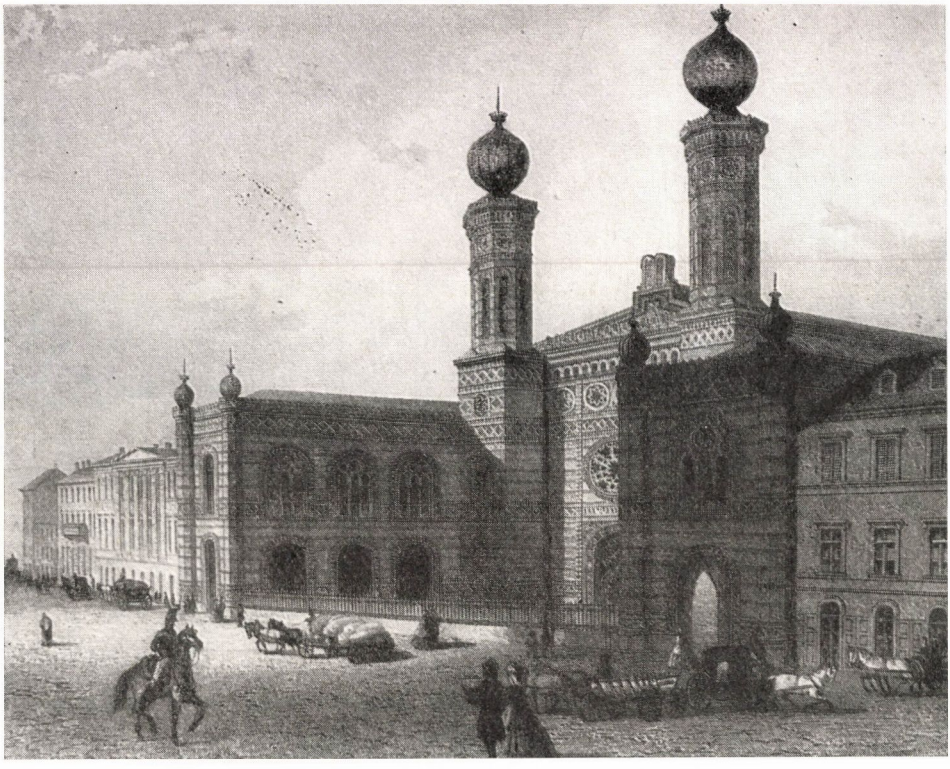
1862 körül vagy már esetleg 1847-ben.[62] A budaihoz hasonlóan a *pozsonyi kapucinus* templom és kolostor barokk épülete is romantikus köntést kapott 1857/61-ben, ifj. Feigler Ignác terve szerint.[63] A *nyitrai vincés apácák* 1854/61-ben épült együttesének egyemeletes szárnyakkal közrefogott temploma homlokzatán óriás méretű mérműves ablakával, gazdag kiképzésű tornyával tűnt fel. A századunkban kétemeletesre magasított épületek rendházat, óvodát, elemi leányiskolát és női kórházat foglaltak magukban. Tervezőjeként Császka Ferenc nyitrai és Johann Smatousch bécsi építész neve egyaránt felmerül.[64] A *Miasszonyunk nővéreinek kalocsai* temploma és egyik oldalon csatlakozó, szélső rizalitok közt tizenegy tengelyes, egyemeletes zárdája és leánynevelő intézete 1858/60-ban épült a bécsi Carl Roesner terve szerint, viszonylag szerény eszközökkel.[65] Itt említjük meg Roesner 1857-ben készült másik kalocsai művét, a századunk elején eltávolított és teljesen elfeledett *székesegyházi*

[62] OL.: *T. 11. No. 3/b: 43.; Vámos F.:* Feszl Frigyes és kora. „Magyar Művészet" 1925. 354. közli először a terv képét mint a budai kapucinus kolostor és templomét. — A szervita templom és kolostor elkészült tervét említi: Debreceni új református templom... „Sürgöny" 1863. jan. 18. [2]; Emlék-lapok a budapesti szervita-konvent ... Bp. 1889. 29.

[63] *Ortvay*, 1905., 563.; Bratislava. Stavebny vyvim a pamiatky mesta. Uo. 1961. 202.

[64] „Religio" 1854. II. félév, 111, 207.; 1861. II. félév, 213—214.; *Dualszky J.:* Nyitra vár- és város történelmi vázlata. Uo. 1875. 44.; *Borovszky*, Nyitra, 1899. 234, 377, 664.; „Nyitravármegye" 1931. szept. 11.; *Lyka*, 1942. 48.

[65] „Religio" 1860. II. félév, 93, 101.; A kalocsai új nő-növelde. VU. 1861. 77—78.; *Borovszky*, Bács-Bodrog, 1909. II. 532, 539.



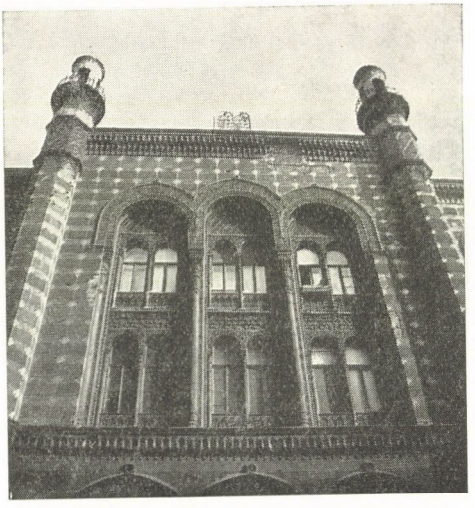
18. kép. Pest. Dohány utcai zsinagóga

főoltárt, mely mind jellegével, mind színvonalával jobban vall mesteréről.[66] Különösen az oltár menzája és tabernákuluma mögött a templom főpárkánya fölé emelkedő, emelt félkörívekkel lezárt, bizáncias hangvételű, síkban tartott, nyolc képet magába foglaló, ikonosztáz szerű, gazdagon aranyozott felépítmény volt jellegzetes. A szerzetesi együttesek szerény, de ízléses példája a vincés apácák egyemeletes, *U*-alaprajzú *győrszigeti* kórháza és zárdája, középen kápolnával, Örömi József műve 1862-ből.[67] Nem szerzetesi, de hasonlósága miatt ide sorolható az *esztergomi érseki papnevelde* már évtizedekkel előbb megkezdett hatalmas épülete, mely Hild József terve alapján 1861/65-ben kapta meg végső formáját. A romantikus alakítás különösen a Duna felőli homlokzaton érződik, legjobban a mozgalmas tömegformálású, románo s architektúrájú kápolnában.[68] Bizonyára egyazon építész műve az a három, egymásra nagyon hasonlító kolostor, melyet 1870 körül Ranolder püspök egyházmegyéje terüle-

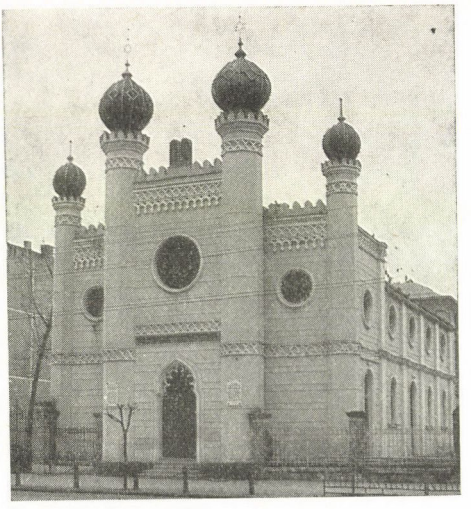
[66] *Winkler P.:* A kalocsai érseki főszékesegyház 1010-től napjainkig. Uo. 1929. 69, 76, 103—104, 110—115.

[67] „Religio" 1862. II. félév, 268.; *Bergh K.:* A győr-szigeti kórház és kisdedóvó-intézet. VU. 1862. 231—232. — Az épület oldalához közvetlenül csatlakozott egy 200 személyes óvoda.

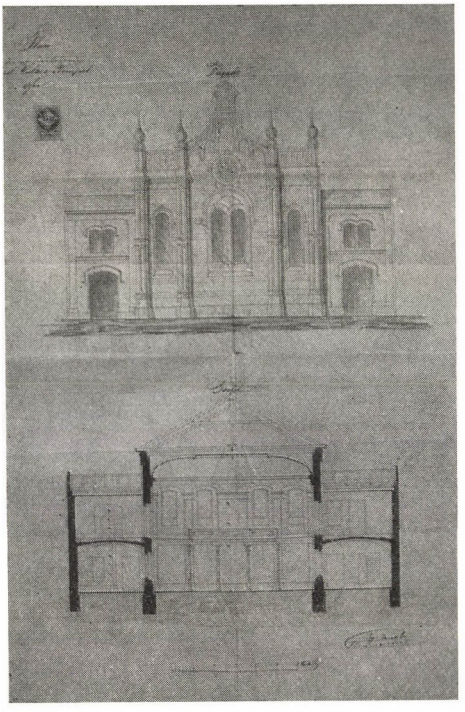
[68] *Rados*, 1958. 41, 106, 109—112.



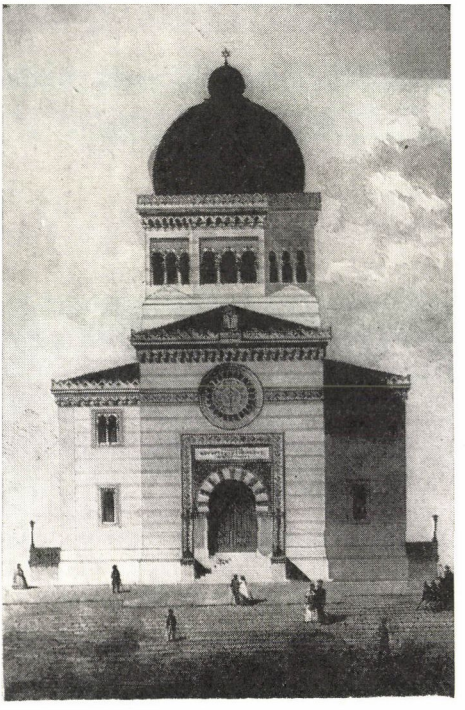
19. kép. Pest. Rumbach utcai zsinagóga



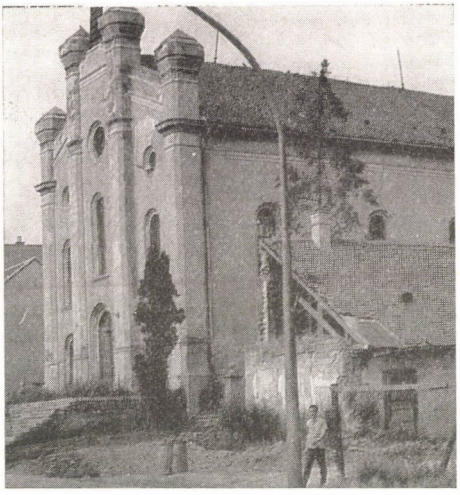
20. kép. Kolozsvár. Zsinagóga



21. kép. Buda. Öntőház utcai zsinagóga



22. kép. Pécs. Zsinagóga tervváltozata



23. kép. Kaposvár. Zsinagóga



24. kép. Győr. Zsinagóga

tén a leányneveléssel megbízott irgalmas nővéreknek építtetett: *Veszprém*ben, *Tapolcán* és *Kaposvár*ott.[69] Ez utóbbi 1872/73-ban épült.[70]

A zsinagóga-építés éppen korszakunkban vesz nagyobb lendületet, ölt nagyobb méreteket. Magyarázata a zsidók számának rohamos növekedése és a liberális korszellem fokozatosan érvényesülő toleranciája, melynek első nagy alkotmányos lépése a zsidók városba telepedését engedélyező 1840. évi XXIX. tc. volt. A történeti Magyarország 700-ra becsült zsinagógájának nem kis része ekkor épült. Építéstörténeti feldolgozásuk talán valamennyi épületfajta között a legelhanyagoltabb, pedig szerepük az összképet illetően nem érdektelen, s nem egy figyelemre méltó alkotás akad közöttük. Súlyosbítja a helyzetet a második világháború pusztítása, különösen pedig az, hogy a zsidók elhurcolása következtében elnéptelenedett hitközségek templomai — kissé a kastélyokhoz hasonlóan — gazdátlanná válva vagy elegendő számú fenntartó nélkül maradva átalakítás, sokszor bontócsákány áldozataivá lesznek.

A korszak zsinagóga-építésében a hosszházas és a centrális elrendezéssel egyaránt találkozunk. Bár az ortodox és neológ templomépítés közt nincs éles elválasztó vonal, az előbbiek — a bima központi elhelyezése nyomán — jobban hajlanak a centrálishoz, a keresztény kultuszra emlékeztető orgonát, tornyot és kupolát pedig lehetőleg kerülik.[71] Főhomlokzatuk csaknem mindig

[69] *Dr. Kiss J. és Sziklay J.* (szerk.): A katholikus Magyarország. Bp. 1902. 750. (Kaposvár), 1113. (Tapolca), 1193. (Veszprém). — Ennek előzményeként Ranolder püspök a Pápán, Keszthelyen, Kaposvárott és Veszprémben alapítandó apácakolostorok részére alapítványt tett, melyet a király 1857. szept. 23-án hagyott jóvá. „Religio" 1860. I. félév, 437.

[70] *Zádor M.:* Kaposvár. Bp. 1964. 173, 175, 176, 177.

[71] *Pollák M.:* Zsidó templomépítés Magyarországon a XIX. századtól napjainkig. In: Évkönyv. Kiadja az Izr. Magyar Irodalmi Társaság. 1934. Bp. 1934. 191—196.; *Heller-Vajda*, 1968. 33—35, 49—54. A könyv rövid történeti áttekintés után kb. 450 zsinagógáról mutat be képet a történeti Magyarország területéről, építési évszám és tervező megjelölése nélkül.

három részre tagozódik, a középső rendszerint magasabbra emelkedik, s nem ritka e rész rizalitszerű előreugrása, a szegélyeknek markáns pillérekkel való hangsúlyozása. Stiláris jellegüket a „Rundbogenstil"-nak többé vagy kevésbé erős keleties változata határozza meg, mely aztán később is évtizedekig használatos maradt, mint a keresztény templomépítésben a gótizáló és a román formálás.

A „Rundbogenstil" „kubusos" felfogását mutatja az 1846-ban felavatott téglalap alaprajzú *pápai* zsinagóga, kváderes, Vendramin-ablakos homlokzatokkal. Ívezetes női karzatának a földszinten pilléres árkádsor felel meg.[72] Jelentős építkezés esetében nemegyszer külföldi építészekhez fordultak, így a pesti Dohány utcai, Rumbach utcai, a temesvári és a kisebb miskolci zsinagógánál. A korszak legjelentősebb magyarországi romantikus zsinagógája a *pesti Dohány utcai neológ* zsinagóga volt (1854—59), a bécsi Ludwig Förster műve, a polikróm nyerstéglamodor egyik ritka s viszonylag korai hazai példája. Építését már 1845-ben elhatározták, de csak az 1850-es évek elején bízták meg Hild Józsefet és a Feszl-Gerster-Kauser társulást egy-egy terv készítésével. Mivel sem Hild klasszicista, sem a Feszl-triász romantikus terve nem nyerte meg a hitközség tetszését, Förstert szólították fel újabb terv készítésére, amit aztán el is fogadtak, s a Helytartóság 1853-as jóváhagyása után 1854-ben megindult az építkezés. Belső díszítését Feszl Frigyesre bízták.[73] Későbbi, de centrális elrendezése, csipkefinomságú öntöttvas belső szerkezete, mázas téglaburkolata következtében igen fontos a bécsi Otto Wagnernek 1868-ban készült, (meghívásos?) pályázaton nyertes terve alapján 1870/72-ben felépült *Rumbach utcai ortodox* zsinagóga.[74] A fővárosban említésre méltó még a budai *Öntőház utcai* zsinagóga (1865—66), Knabe Ignác műve.[75] A kéttornyú *temesvári* zsinagógát Ignatz Schumann bécsi építész tervezte (1863—65).[76] A viszonylag ritka kéttornyú templomok közé tartozott a *székesfehérvári neológ* zsinagóga is, a helybeli Cometter Bernardin alkotása 1862-ből.[77] Nagyobb vidéki zsinagógáink közül finoman mérlegelt arányaival, színvonalával tűnik ki az egytornyú *kecskeméti*. Tervét Zitterbarth János, a pesti megyeházát építő Zitterbarth Mátyás fia készítette 1863-ban, de a kivitel 1864—71-ig tartott.[78] A galántai kastélyra

[72] *Dr. Kapossy L.* (szerk.): Pápa város egyetemes leírása. Uo. 1905. 120, 198—199.; *Heller-Vajda*, 1968.; *Komárik*, 1981. 28.

[73] *Kempf, F. X.:* Geschichte und Bau des neuen Israelitischen Kultus-Tempels in Pest. Uo. 1859.; *Katona J.:* A 90 éves Dohány-utcai templom. Bp. 1949.; *Zakariás*, 1961. 150.; *Zádor*, 1981. 127. kép. — Förster pesti képviselője és az építkezés helyszíni irányítója (nem pallérja!) a később itt le is telepedő és mesterjogot szerző Wechselmann Ignác volt. A kivitelt Hild József végezte, az általa szignált beadványi terv a FL.-ban ma is megvan *(SzB. 17330)*.

[74] *Katona J.* előző jegyzetben i. m. 12.; *Zakariás*, 1961. 155.; *Geretsegger, H.—Peintner, M.;* Otto Wagner 1841—1918. Salzburg, 1964. 12, 211, 212.; *Dr. Sisa J.:* Budapest, VII. Rumbach Sebestyén u. 11—13. Bp. 1981. Kézirat a BMF. gyűjteményében.; *Ő.:* A Rumbach utcai zsinagóga Budapesten, Otto Wagner ifjúkori műve. „Ars Hungarica" 1982. 1. sz. — Az építkezés helyszíni irányítója, a részletrajzok készítője a morvaországi származású Kallina Mór, Wagner irodájának alkalmazottja volt, ki azután ugyanúgy letelepedett Pesten, mint a Dohány utcai templomnál működő Wechselmann Ignác. A kivitelt Buzzi Bódog pesti építőmester végezte.

[75] *Lyka*, 1942. 65.; *Heller-Vajda*, 1968. 54, 154.; Katalógus, 1981. 200—201. — Terve: FL.: *BT. 141.*

[76] *Pesthy F.:* A temesvári izraelita templom. VU. 1864. 76, 77.; *Barát*, 1902. 122.; *Dr. Berkeszi I.:* Temesvári művészek. Uo. 1910. 117.

[77] *Lyka*, 1942. 223.; *Heller-Vajda*, 1968. 130.

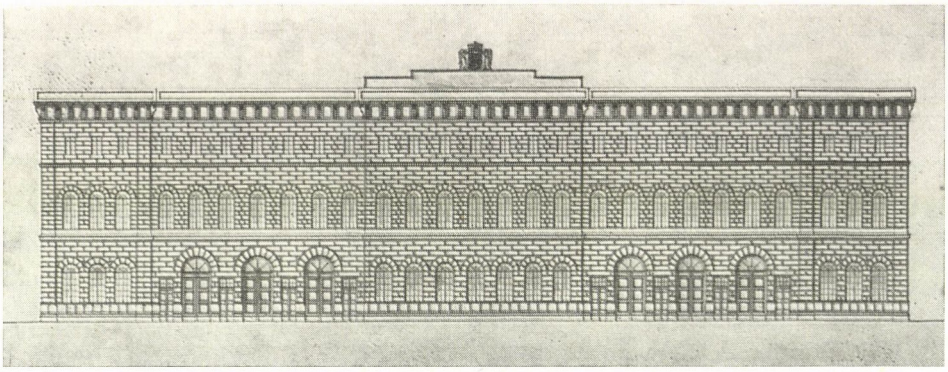
[78] *Juhász I.:* Kecskeméti séták. A zsidótemplom. „Petőfi Népe" Kecskemét, 1957. febr. 24.; *Genthon*, 1961. 154.; *Zádor*, 1981. 145. kép.

emlékeztető markáns formálás jellemezte az egy négyzetes tornyú *pozsonyi ortodox* zsinagógát, ifj. Feigler Ignác figyelemre méltó művét (1863)[79] Torony nélküliek és hosszházasok a főhomlokzat hármas tagolásának különböző változatait mutatva: a monumentális hatású, kitűnő arányú *kolozsvári* (1850),[80] a szerényebb formában ezt követő *marosludasi* (Torda-Aranyos vm.),[81] az 1980-ban lebontott *kaposvári* (1861—64),[82] a bazilikálisnak ható szép kassai (1866),[83] a bécsi Förster által tervezett *miskolci ortodox* (1861—63),[84] az erre kicsit emlékeztető *nagykárolyi*,[85] az előcsarnokkal talán utólag ellátott *szentesi neológ* zsinagóga (1868—70)[86] és utoljára, de nem utolsósorban az igen finom arányú egykori *veszprémi zsinagóga* (1862—65), állítólag Zitterbarth Mátyás műve.[87] A centrális épületek közt említhetjük a *pécsi* zsinagóga 1864-ben készült első változatát,[88] mely magasan kiemelkedő nyolcszögű kupolájával, elegáns formálásával talán előnyösebb volt, mint az 1866/69-ben megvalósult, kupola nélküli változat. Mindkettőnek tervét Gerster és Frey készítette.[89] A pályanyertes Benkó Károly iskolával egybeépített *győri neológ* zsinagóga terve is nagyszabásúbb volt, mint az 1868/69-ben megvalósult változat.[90] Végül ide kell sorolnunk a sajátosan puritán formálású, négy alacsonyabb félkörrel bővített kör alaprajzú, két alacsony, lőréses toronnyal ellátott *kőszegi neológ* zsinagógát (1860).[91]

2. KÖZÉPÜLETEK

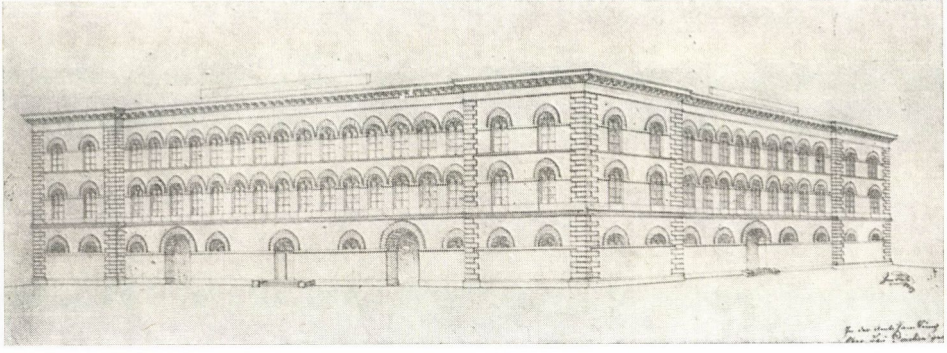
A legrangosabb középülettípus, melyre „Rundbogenstil" terv készült, az országháza volt, nevezetesen Pollack Mihálynak 1840 tavaszán a *pesti Országháza épületére*[92] és Feszl Frigyesé[93] ugyanannak 1844-ben kiírt pályázatára —

[79] *Ortvay*, 1905. 579.; *Heller-Vajda*, 1968. 126.
[80] *Kubinyi—Vahot*, I, 1853. 79.
[81] *Heller—Vajda*, 1968. 155.
[82] *Zádor M.* 70. jegyzetben i. m. 185—186.
[83] *Borovszky*, Abaúj-Torna, 1896. 153.
[84] *Dr. Halmai B.* és *Leszik A.* (szerk.): Miskolc. Bp. 1929. 202.; *Genthon*, 1961. 190.; *Zádor*, 1981. 144. kép.; *Sisa J.:* A Kazinczy utcai zsinagóga Miskolcon ... MV. 1982. 4. sz. Ez utóbbi a bécsi „Allgemeine Bauzeitung" 1876-ban közölt ismertetése alapján először tárgyalja Förster műveként, míg a korábbi irodalom egyöntetűen Vecsey alkotásának tekinti. A debreceni Vecsey Imre és Gaal József azonban csupán kivitelezője volt az épületnek.
[85] *Heller—Vajda*, 1968. 153.
[86] *Nagy I.* (szerk.): Szentes. Bp. 1928. 187—188.
[87] *Dr. Sziklai J.:* Veszprém város az irodalomban és művészetben. Uo. 1931. 321.; *Lyka*, 1942. 228.; *Korompay Gy.:* Veszprém. Bp. 1957. 247. *Genthon*, 1959. 416. *Heller—Vajda*, 1968. 146. — Veszprém, Bakonyi Múzeum, Műemléki Adattár: képe egy 1900 körüli levelezőlapon (ltsz.: 2683.) (dr. Horváth Alice szíves közlése).
[88] OL.: *T. 8. Gerster hagyaték. 15. tétel, 1—15.*
[89] *Weisz G.:* A pécsi izr. hitközség monográfiája. Uo. 1929. 18—23. — Feszl és Kauser neve tévesen fordul elő az irodalomban!
[90] Benkó Károly pályaterve: OL.: *T. 14. 2. téka, 89—94.* — *Borovszky*, Győr, 1908. 89.; *Genthon*, 1959. 116. — A Borovszkynál kivitelezőként szereplő bécsi Wilhelm Fränkelt tervezőként említi *Jeney—Koppány:* Győr. Bp. 1964. 145. Kétségtelen, hogy a Benkó féle pályatervek és a megvalósult épület közt a nagy hasonlóság ellenére komoly különbségek is vannak.
[91] *Lelkes I.:* Kőszeg. Bp. 1960. 62.
[92] *Bibó I.:* Pollack Mihály Országháza-terve. MÉ. 1973. 22—36. *Komárik*, 1981. 26.; Katalógus, 1981. 205.
[93] *Komárik D.:* Az 1844-es pesti Országháza-tervpályázat. TBM. XIX. 1972. 251—281.



25. kép. Pest. Pollack Mihály Országháza terve

egyik sem valósult meg. Az utóbbival Feszl Frigyes tárgyalásakor fogunk foglalkozni, az előbbinek hatalmas, kétemeletes, kváderezett tömbjét a „kubusos stílus" legjelentősebb hazai megnyilatkozásaként értékelhetjük. Formálására Schinkel berlini, Klenze müncheni alkotásai, kisebb mértékben Paul Sprenger tömbszerű, puritán bécsi épületei lehettek hatással. Ehhez az irányzathoz sorolható a *pesti harmincadhivatal*nak 1836-ban Hild József által készített, eddig ismeretlen első tervváltozata. Az Országházánál valamivel egyszerűbb, de még



26 kép. Pest. Hild József harmincadhivatal terve

mindig igen nagy méretű, a Duna partján szabadonállóra tervezett kétemeletes, Vendramin-ablakos épület ugyanúgy nem valósult meg, mint Hild 1840-ből származó, eddig szintén ismeretlen, klasszicizáló második változata.[94] Ennek az irányzatnak legkorábbi megvalósult emléke a Kagerbauer Antal által tervezett *kolozsvári városháza* (1842—1845), melynek homlokzata Klenze műveinek hatásáról tanúskodik.[95] A „kubusos stílus" legnagyobb és legjelentősebb megvalósult alkotása a *temesvári „dicasterialis palota"* (1856—60), mely az 1860. dec. 27-én kelt királyi döntéssel megszüntetett szerb vajdaság és temesi

[94] OL.: *T. 15. Tervtári vegyes sorozat. 38. tétel, 5—17.; Komárik*, 1981. 27.; Katalógus, 1981. 195—197.

[95] *B. Nagy M.*, 1977. 75—78. és 106. kép.; *Komárik*, 1981. 27—28.



27. kép. Kolozsvár. Városháza

bánság kormányépületének készült.[96] Az óriási méretű, háromemeletes, kváderezett homlokzatú épülettömb tervét teljes bizonyossággal Bécsben készültnek tekinthetjük. — A helyi közigazgatás székhelyeinek, a városházáknak sora az olyan egészen egyszerű, földszintes épületektől, mint a *kalocsai*,[97] olyan nagyszabásúakig terjedt, mint a megvalósulatlan, háromemeletes, középtornyos *pesti*. Ennek tervét Vassel Alajos, városi segédmérnök készítette 1861/62-ben, midőn a Belvárosban álló kétemeletes városháza már kicsinek bizonyult, s a városi tanács a leégett német színház helyén újnak építését határozta el. Mire azonban a terv elkészült, úgy döntöttek, hogy a meglevőre építenek inkább III. emeletet, ami meg is történt. Vassel tervén világosan látszik a már épülő Vigadóhoz való igazodás szándéka, de az a különbség is, ami a két építész kvalitása között volt.[98] Átalakítással is találkozunk, mint a kétemeletes *temesvári* és a ráépítéssel bővített, már lebontott egyemeletes *zalaegerszegi* barokk városháza esetében, amelyek közül az első 1858—60 körül, a másik az 1860-as években kap új köntöst.[99] Az *esztergomi* városháza II. emelettel való

[96] *Barát*, 1902. 45, 259.; *Bellai J.*: Temesvár szabad kir. város közművelődési intézményei. Uo. 1904. 113.; *Berkeszi I.* 76. jegyzetben i. m. 117.; *Komárik*, 1981. 29.

[97] *Borovszky*, Bács-Bodrog, 1910. II. 538.; *Tóth M.* (szerk.): A kalocsai kollégium ötven éve. Uo. 1910. 19.

[98] Kiscelli Múzeum tervgyűjteménye: a teljes tervanyag költségbecsléssel. Az ehhez tartozó irat: FL.: *Pesti tan. ir.* V. *9/1861.* 219—223. — Katalógus, 1981. 211—212.

[99] *Barát*, 1902. 29.; *Borovszky*, Temesvár, 1911. 120, 240. — Fennmaradt egy megvalósulatlan változat terve „RESTAURATUM MDCCCLVIII" felirattal és az eredeti állapot felvétele: OL.: *T. 14. 2. téka, 151—152.* — Zala megye története. Kiállítás... Uo. 1980. 60. (a katalógusra és az épületre dr. Vargha László hívta fel a figyelmemet). — A romantikus átalakítási tervek a Zalaegerszegi Megyei Levéltárban megtalálhatók (Németh József múzeum igazgató szíves közlése).



28. kép. Temesvár. „Dicasteriális palota"

bővítésének és romantikus homlokzat-átalakításának Prokopp Jánostól származó két terve (1863, 1866) nem valósult meg[99/a]. Figyelemre méltó az 1859-ben befejezett egyemeletes *makói* városháza, melynek középrészét ritkább axisállású nyílásokkal tagolt, sarokpillérekkel szegélyezett, lépcsőzetes attikájú rizalit hangsúlyozza.[100] A klasszicizmushoz közelebb áll az 1861-ben befejezett *gyulai* városháza, Nuszbeck József műve.[101] A helybeli Heindlhoffer Antal által tervezett, már lebontott *kaposvári* régi városháza (1867-től) jellegzetességét orom-

[99/a] *Prokopp Gy.:* Prokopp János. ÉÉT. 1981. 143, 144, 155—156.

[100] *Kovács Gy.:* Makó város építészete... Uo. 1929. 35. — Az 1890-es években ablakainak asztalosmunkáját, így a díszterem mérműves ablakait is kicserélték.

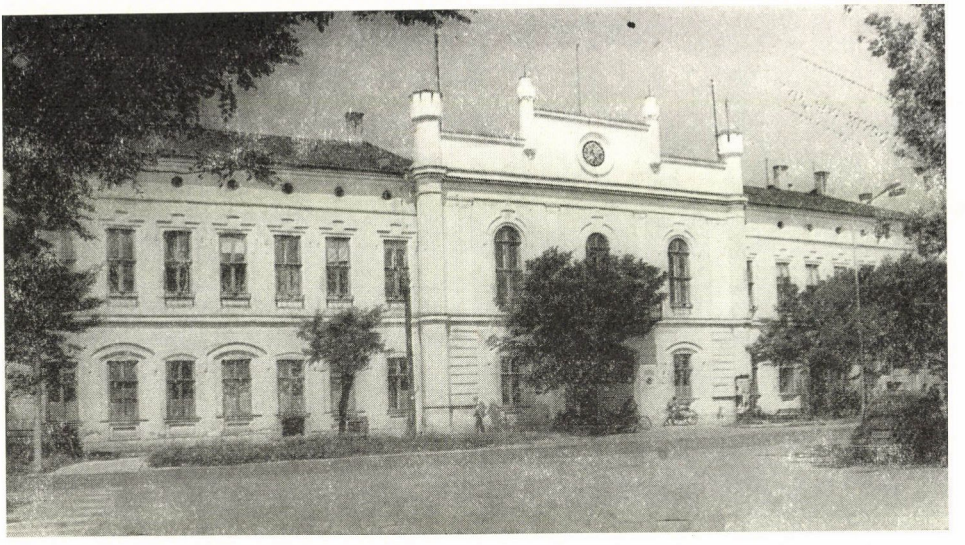
[101] *Genthon,* 1961. 122.; *Zádor,* 1981. 81. kép.



29. kép. Pest. Városháza terve

zatosan kiemelkedő, háromtengelyes középrésze adja meg, melyben a nagyablakos tanácsterem helyezkedett el.[102] Figyelemre méltó, hogy későbarokk és klasszicista városházáink sok példájával ellentétben romantikus városházáink ritkán tornyosak, így a Vassel-féle pesti terv és a két szerény saroktornyos pécsváradi gótizáló épület. A katonai jellegű épületek közül kiemeljük a temesvári tüzérségi szertárt és kaszárnyát, a komáromi és a gyulafehérvári tiszti épületet, valamennyi feltehetően bécsi terv szerint készült. A *temesvári* épület az 1849-ben súlyosan megsérült Hunyadi várkastély alapjainak felhasználásával 1851/56-ban kapta romantikus alakját, erőteljes, tömzsi toronnyal.[103] Művé-

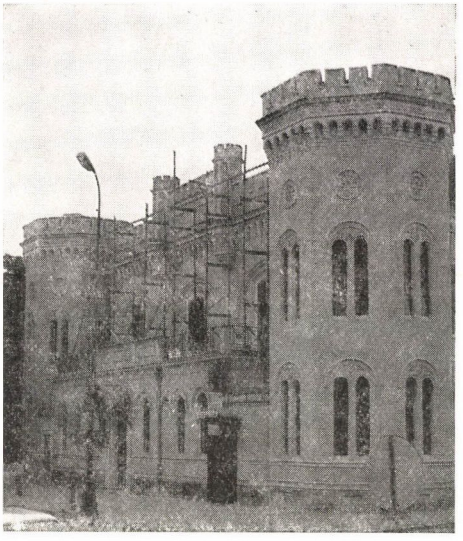
[102] *Zádor M.* 70. jegyzetben i. m. 163, 164, 165, 215—216.
[103] *Barát*, 1902. 101.



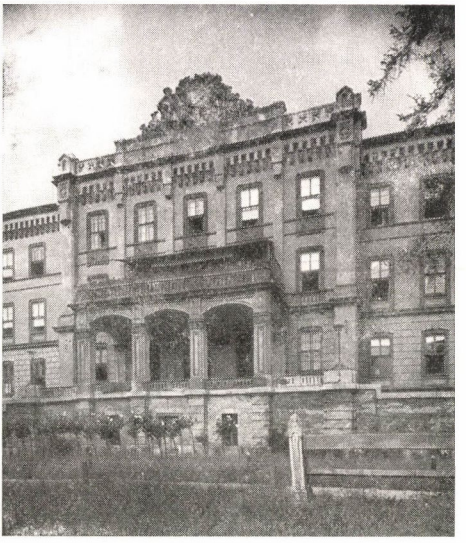
30. kép. Makó. Városháza



31. kép. Gyula. Városháza



32. kép. Komárom. „Tiszti pavilon"

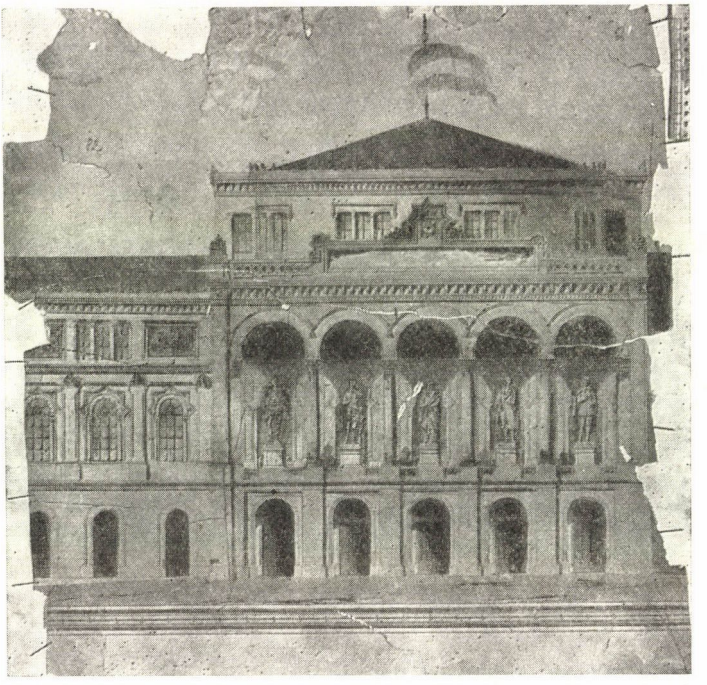


33. kép. Buda. Lipótmezei orsz. tébolyda



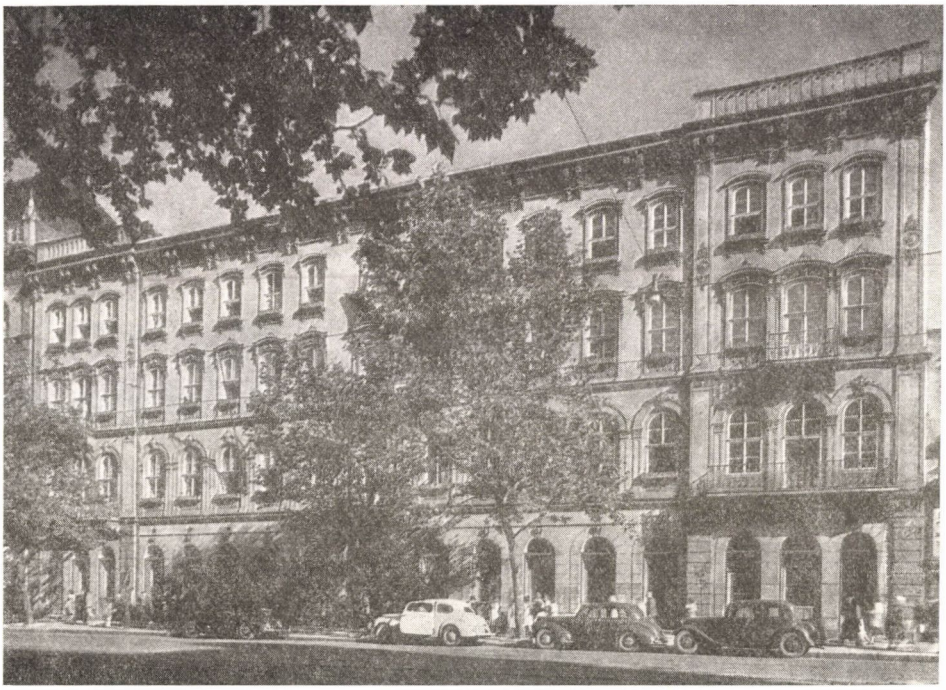
34. kép. Sopron. Halász utcai árvaház

35. kép. Pest. Feszl pályaterve a német színház újjáépítésére



36. kép. Debrecen. Csokonai színház



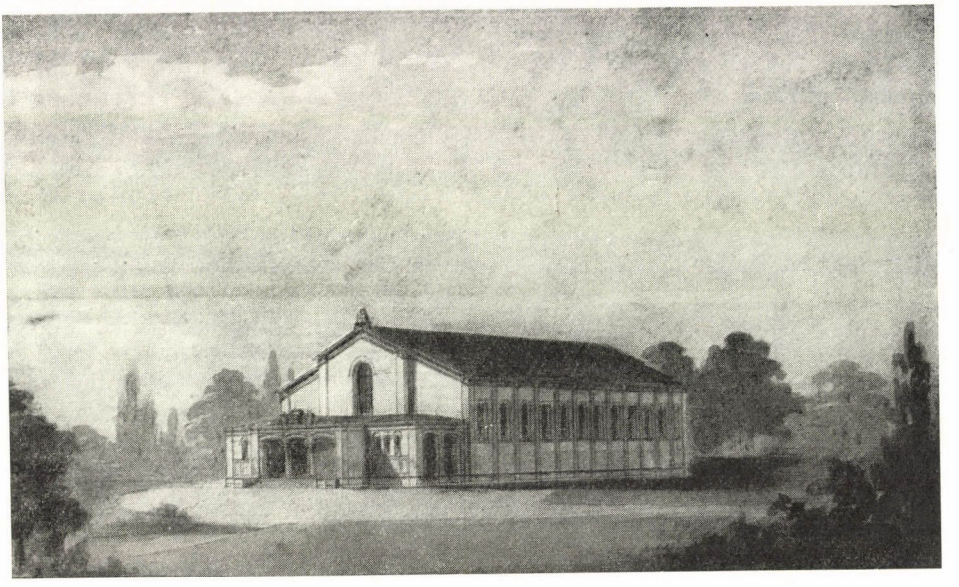


37. kép. Pest. „Griff"-, később „Pannónia"-szálló

szibb és derűsebb az egykori *komáromi „tiszti pavilon"* (1858—63), négy markáns nyolcszögű toronnyal.[104] Tornyok nélküli a városiasabb megjelenésű *gyulafehérvári „tiszti lak"* (1866 körül).[105]

Szép számmal épültek egészségügyi és jóléti épületek: kórházak, fürdők, árvaházak stb. A kórházak közt jelentős volt a „kubusos stílus"-t képviselő *pozsonyi állami kórház* terjedelmes kétemeletes épülete, mely 1857/60-ban épült, de csak 1864-ben nyitották meg.[106] Szerényebb és barátságosabb volt az 1862-ben befejezett, de csak 1865-ben megnyitott *makói megyei kórház.*[107] A kor legnagyobb kórházépítkezése a *budai „országos tébolyda"* volt, melynek megvalósítása már a reformkort is foglalkoztatta. A ma álló épületet illetően 1852-ben kezdődtek a tárgyalások, terveit pályanyertesként az állami szolgálatban működő Ludwig Zettl bécsi építész készítette, kivitele — megszakításokkal — 1859—1868-ig tartott. Mind részletképzésében, mind tömegcsoportosításában a barokkos romantika válfajának is képviselője.[108] Hamarabb elkészült, így Magyarország első ilyen önálló intézete volt az ugyancsak jelentős méretű, 240 ágyas *nagyszebeni „erdélyi országos tébolyda"* (1859—63), valószínűleg szintén

[104] *Borovszky*, Komárom, 1907. 147—156.: *Lukáčova*, 1972/74. 116, 121.
[105] *P. Szathmáry K.*: Gyula-Fehérvár. VU. 1868. 201.
[106] *Borovszky*, Pozsony, 1904. 388.; *Lukáčova*, 1973/74. 103, 108.
[107] *Barna J.* 47. jegyzetben i. m. 232.; *Genthon*, 1961. 177.
[108] *Horler*, Budapest, 1962. 269—271.



38. kép. Keszthely. Festetics lovarda



39. kép. Esztergom. Takarékpénztár

bécsi építész műve.[109] Fürdőépületeink közt korunkban gyakori a bővítés, átépítés, toldás. A kisebbek közt említhetjük az újjáalakított *budai Császár fürdő* fedett női uszodáját, mely „bizarr bizánci stylben, pazar fénnyel van kiállítva kívülről, belülről, a bejáratnál két rejtélyes sphynx őrködik".[110] Az ötvenes évek közepén kapta keleties elemeket is felhasználó formáját *Scheibel József terézvárosi gőzfürdője* a mai Kazinczy utcában.[111] Egyik legjelentősebb a budai Rác-fürdő új építkezésnek is beillő nagyszabású kiépítése 1864/65-ben, Ybl terve szerint. A nagy kupolacsarnok, a hozzá csatlakozó öltözőkkel, kádfürdőkkel, zuhanyozóval, gőzkamrákkal, lehűtő csarnokkal, stb. az iszlám elemeket felhasználó irányzat egyik legfontosabb hazai emléke volt.[112] Az árvaházak közül tervének korai keletkezése (1840), igényessége és a „kubusos stílus" viszonylag kevés példája közé való tartozása miatt a *pesti Josephinum* (Pollack Mihály műve) a legfontosabb. Feltűnő a csak részlegesen megvalósult tervnek Pollack Mihály ugyanakkor készült Országháza tervével való rokonsága.[113] *Pest leányárvaházá*nak egyemeletes épülete jóval később, 1870/72-ben épült meg a mai Rottenbiller utcában, Vassel Alajos terve szerint.[114] Kisebb méretű és tartózkodóbb, de finom arányaival és díszítésével ez utóbbit felülmúlja az egyemeletes, kváderezett homlokzatú *soproni árvaház* a Halász utcában Handler Ferdinándtól (1858).[115]

A színházépítés területén az 1847-ben leégett *pesti német színház* újjáépítésére készült tervek és a megépült debreceni színház érdemel figyelmet. A négy hónapos határidővel kiírt tervpályázat története sajnos nincs még feldolgozva, ezért érdemének megfelelően nem foglalkozhatunk vele. Az első díjat Carl Roesner, a másodikat Hüppmann Ferenc, a harmadikat G. Louis hamburgi építész nyerte.[116] Mivel a bírálók egyik tervet sem tartották hibátlannak, Hild Józsefet bízták meg, hogy a nyertes tervek figyelembevételével új tervet készítsen,[117] amivel 1847 októberéig el is készült. A Kiscelli Múzeumban az újjáépítésnek három tervsorozata maradt fenn, közülük egyik ez a Hild terv, már a neoreneszánsz felé hajló, érdekes homlokzattal, a másik egy jeligés, a harmadik Carl Roesner sajátos módon szignált és 1848-ból (!) datált tervsorozata, finom „Rundbogenstil" architektúrával. Bizonyára e pályázatra készültnek kell tekintenünk azt a csonkán megmaradt Feszl homlokzattervet, melyet hagyatéka őriz, s melynek öt nagy árkádnyílásába Shakespeare, Kisfaludy, Sophokles, Schiller, Molière szobrainak elhelyezését tervezte.[118] A *debreceni színház*ra[119]

[109] Az erdélyi országos tábolyda. VU. 1866. 479—480. OL.: *T. 15. Tervtári vegyes sorozat, 26. tétel* (18 db terv, részben a bécsi elmegyógyintézeté, részben — hiányosan — a nagyszebeni intézeté, 1856-ból).

[110] *Vahot I.*: Budapesti kalauz. Pest, 1864. 15.

[111] *Kubinyi—Vahot*, II. 1853. 44.; *Zakariás*, 1961. 152.

[112] *Horler*, Budapest, 1955. 734—738.; *Ybl*, 1956. 44—45, 134—135.

[113] *Zádor A.*: Pollack Mihály, 1773—1855. Bp. 1960. 296—300.; *Bibó I.* 92. jegyzetben i. m. 29—30.: *Komárik*, 1981. 26—27. (itt a Pollack Mihálynak való tulajdonítás indoklása); Katalógus, 1981. 204—205.

[114] Erzsébet árvaleányház. VU. 1872. 196—198.; *Schoen A.*: Budapest székesfőváros kórházainak és emberbaráti intézményeinek kápolnái. TBM. VII. 1939. 36—37.

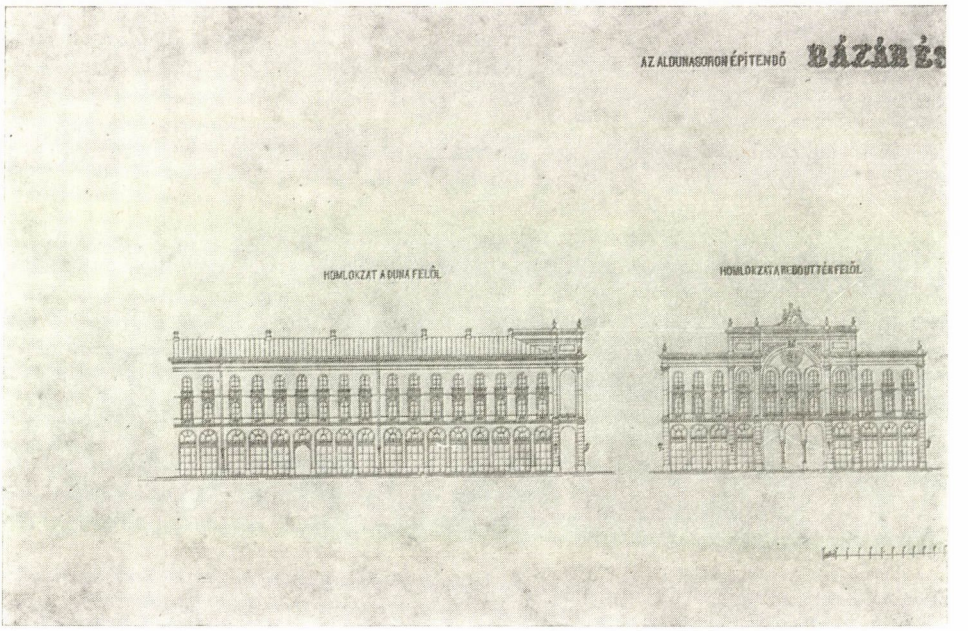
[115] *Genthon*, 1959. 305.; *Zádor*, 1981. 129. kép.

[116] „Der Spiegel" 1847. jún. 23. 799. — *Rados*, 1958. 114—116. szereplő megállapítással ellentétben tehát Hild nem szerepelt a pályanyertesek közt!

[117] FL.: *Pesti tan. ir. V. 182/1856.* pag. 447—449.: Jovanovich főmérnöknek az eseményeket összefoglaló jelentése 1857-ből.

[118] OL.: *T. II. No. 3/b: 82—83.*

[119] *Ybl*, 1956. 27, 125—126.; *Sápi L.*: A debreceni Csokonai Színház 100 éves története. A Debreceni Déri Múzeum Évkönyve 1965. Uo. 1966. 161—197.; *Zádor*, 1981. 133. kép.



40—41. kép. Pest. Az Aldunasoron építeni

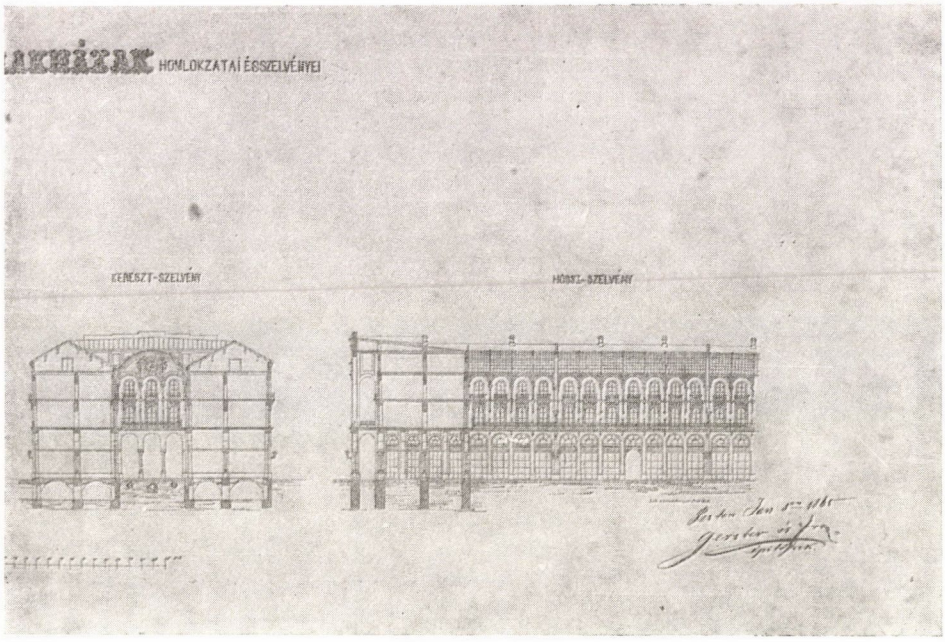
Ybl Miklós három tervet készített, egyet 1858-ban, kettőt 1860-ban, csupán az utóbbiak egyike maradt fenn. 1861-ben párhuzamosan Szkalnitzkyt is megbízták, ekkor Ybl visszalépett. A színház 1861/65-ben Szkalnitzky terve szerint épült meg, kivitelezője Vecsey Imre volt. Az épület romantikus színházépítészetünk egyetlen nagyszabású megvalósult alkotása. A külföldet járt, tehetséges és ambiciózus fiatal építész művén felfedezhető a pesti Vigadó hatása,[120] valamint a klasszika és a nyugodt proporciók iránti, Yblhöz hasonló hajlandósága, mely rövidesen a neoreneszánszhoz vezette, s mely itt a tömegalakításban, a félköríves nyílások formálásában, barokk szellemű kocsialáhajtó alkalmazásában is megnyilvánult.

A fogadók, szállodák, vendéglők hosszú sorában akadnak kincstári építkezések, amit a *szolnoki* pályaudvar mellett az átutazók céljait szolgáló „Einkehr—Wirtshaus" 1851—53-ból származó tervei tanúsítanak, melyeket az Országos Építési Igazgatóságon Glaser Rudolf és Szumrák Pál készítettek Reitter Ferenc irányításával.[121] Túlnyomó részük természetesen egyéni vállalkozásból született. Ilyen volt *Pesten* a régi Nyugati pályaudvarral szemben az 1936-ban lebontott kétemeletes *London szálló*, mely 1862/63-ban épült Wieser Ferenc terve szerint Emmerling Károly részére.[122] A félköríves stílus barokkos irányát követte az 1867/68-ban Pan József által épített *Griff, később Pannónia szálló*

[120] Többek közt feltűnő a főpárkány alatti mezők geometrikus díszítése. — Noha a Vigadó építése csak 1860-ban indult meg, terveit, melynek első változata 1859 májusában már megvolt, Szkalnitzky nyilván ismerhette.

[121] OL.: *T. 62. Kamarai tervek. 1563/1—17.*

[122] *Komárik D.:* Az egykori „London"-szálló épülete Pesten. MV. 1981. 187—191. — Az irodalomban tévesen hol Pan József, hol Feszl Frigyes terveként szerepel.



szándékozott bazár és lakházak terve

háromemeletes épülete a Rákóczi úton.[123] Említésre méltó a bővítés, amit Feszl tervezett 1865-ben a *Tüköry-féle sörcsarnokhoz.*[124] Táncmulatságok rendezésére alkalmas, nagy ablaksoros emeleti nagyteremmel rendelkezik a *zalaegerszegi* egykori vendéglő és szálloda épület, melyben a helyi kaszinó is működött (Marx tér 11).[125] Ízléses táncterem terve maradt fenn 1852-ből *Szeméte-fürdő* részére, melynek szegmensíves középső árkád-nyílásai Heinrich Hübsch modorának, különösen baden-badeni ivócsarnokának hatását sejtetik.[126] — Itt említjük a lovardákat, melyek nemcsak a lótenyésztés ügyét szolgálták, hanem társas összejövetelek látványosságának színhelyei is voltak, sőt a *pesti Nemzeti Lovarda* a Nemzeti Múzeum mögött még lövölde, vívó-, testgyakorló-, és táncterem céljául is szolgált. A második világháborúban megsérült, majd lebontott, viszonylag egyszerű hangvételű épület 1857/58-ban épült Ybl terve szerint, 1872/73-ban kissé modernizálták és átalakították, ekkor került csúcsára Fernkorn jellegzetes lószobra.[127] Ybl 1860-ban a *keszthelyi Festetics lovarda* részére is készít a pestihez hasonló, de annál valamivel gazdagabb, s érettebb formálást mutató tervet. Említésre méltó, hogy egy nyerstégla burkolatot alkalmazó alternatívát is bemutat.[128] Kevésbé elegáns, de figyelemre méltó a

[123] *Zakariás*, 1961. 165.; FL.: *EB. 33/1867.* (csak irat).
[124] FL.: *EB. 516/1865.* (beadványi terv); OL.: *T. 11. No. 3/b: 247.* (kidolgozott változat).
[125] *Németh J.:* Zala megye műemlékei. Zalaegerszeg, 1976. 26.
[126] OL.: *T. 73. 134.*
[127] *Ybl*, 1956. 27, 125.
[128] E terveket (az alternatívákról nem szólva) *Ybl*, 1956. 125. említi, forrás megjelölése nélkül, mint olyanokat, melyekről nem lehet tudni, hova készültek. Mivel a terveket, költségvetést stb. a keszthelyi Festetics család levéltárában találtuk meg, joggal tételezzük

kisbéri méntelepi istálló szegmensíves nyílásokkal megoldott, nyeregtetős nagy épülete, egyik oldalon nyolcszögű oszlopokkal tagolt, pártázatos-oromzatos, hangsúlyos bejárattal. Az ötvenes évek második felében épülhetett.[129]

Az elemi és *középfokú iskolákról, kollégiumokról* hasonlóakat mondhatunk, mint a gótizálóakról, azzal a megjegyzéssel, hogy a félköríves stílus modorában talán ebből az épülettípusból is több épült. Az egyszerűbb földszintes elemi iskolák közül említsük meg a *darányi* (Somogy m.) ref. népiskolát (1860—61) és a *devecseri* (Veszprém m.) ma „Gárdonyi Géza Általános Iskola" harmonikus épületét.[130] Egyemeletes volt például az *edelényi* (Borsod-Abaúj-Zemplén m.) iskola terve (1856) Jánoska Ferdinándtól (Orsz. Ép. Ig.), a *csongrádi* iskola (1859—60) Ybl Miklóstól (?), a *túrkevei* ref. iskola (1860), a *pucinci* (Vas vm.) (1860—61) és a *soproni* (1866) evangélikus népiskola, valamint a *körmendi* r. k. népiskola terve.[131] A középfokú vagy a mai fogalmaink szerint annak tekinthető iskolák, kollégiumok épülete többnyire nagyobb, építészetileg igényesebb. Ezek különböző, olykor vegyes rendeltetésű típusaiból az alábbiakban említünk néhány példát. 1853-ban készült el a kissé száraz formálású *esztergomi* (Deák Ferenc u. 2.) iskola, melyben elemi iskola, később még tanítóképző, majd 1857-től a reáliskola is működött.[132] Sokkal nagyobb méretű és gazdagabb kiállítású a szintén száraz architektúrájú kétemeletes *soproni reáliskola* (1858).[133] A szerényebb, ugyancsak soproni ev. tanítóképző 1857/58-ban, az impozáns *hajdúböszörményi ref. gimnázium*, Vecsey Imre műve, 1864/65-ben készült.[134] Az utóbbi épületébe még elemi iskola, földszintjére üzletek s a helyi takarékpénztár került. A mezőgazdasági oktatás ügyét szolgálták a *debreceni országos gazdasági tanintézet* belső és külső épületei, melyeket Pribék Béla terve szerint a helybeli Bartsay Miklós épített meg 1866-ban, és a keszthelyi földműves iskola (1866 körül).[135] Mind mérete, mind formálásának igényessége és gazdagsága következtében említést érdemel a *nagyváradi Szent Vince-* vagy Nogáll-intézet (befejezés 1860) és a *Szent József-intézet* (1867—68).[136] Az előbbinek

föl, hogy számukra készült. OL.: *T. 3. 6. tétel, 515/1—4, 516—523.* — Itt említjük meg Pollack Ágoston két korai, kivitelre nem került lovarda tervét, mindkettőt 1848-ból. Az első az Újépület mellé került volna (FL.: *SzB. 12401*). A másik („Nationalgarden Reitschule") elrendezésében — funkcionális okokból — Ybl terveire emlékeztető főhomlokzattal készült (FL.: *SzB. 12439*).

[129] *Borovszky*, Komárom, 1907. 75, 77. — Az említett építési időpontot valószínűsíti, hogy a birtokot az állam 1853-ban vásárolta meg ménesintézet céljára.

[130] *Molnár I.:* Darányi új népiskola. VU. 1861. 536. — Devecserre nézve lásd az OMF ún. távlati tervét.

[131] Edelény: OL.: *T. 73. 227/1.* Jánoska F. 1844-ben kapott oklevelet az Institutum Geometricumban. *Fodor*, 1955. 166. — *z. y.:* A csongrádi új iskolaépület. VU. 1862. 80.; Ybl Miklós szerepét csak *Ybl*, 1956. 221. említi, az oeuvre-katalógusban, tárgyalás nélkül: „elemi iskola terve (1858)" formában. Túrkeve: *Genthon*, 1961. 310. — *N. N.:* A puczinczi népiskola. VU. 1862. 128. — Sopron, Templom u. 10.: *Genthon*, 1959. 323.; *Winkler*, 1972. 358. — Körmend: OL.: *T. 4. A Batthyány csal. lvt. tervrajzai. 3. téka, 270.*

[132] *Komlóssy F.:* Esztergomi főegyházmegyei r. k. iskolák története. Esztergom, 1896. 3.

[133] Liszt Ferenc u. 2.: *Genthon*, 1959. 310.

[134] Az új tanítóképezde Sopronban. VU. 1858. 376—378. — A hajdú-böszörményiek áldozatkészsége a nevelés és tudomány ügyében. VU. 1866. 201.

[135] *K.:* A debreczeni orsz. gazdasági tanintézet. VU. 1867. 113—114. — *Koppány—Péczely—Sági:* Keszthely. Bp. 1962. 66, 132.

[136] „Religio" 1860. II. félév, 207.; *Borovszky*, Bihar, 1901. 173, 177.; *Papp L.* 26. jegyzetben i. m. 102—103. — *Lopussny Gy. Á.:* A Szent József-intézet múltja és jelene. Nagyvárad, 1895. 178.; *Borovszky*, Bihar, 1901. 172, 418.



42. kép. Püspökladány. Vasútállomás

részben földszintes, részben egyemeletes épülete eredetileg fiú- és lányinternátusnak készült, de idővel bölcsőde, elemi és polgári iskola, valamint aggmenhely kapott benne helyet. Az utóbbira, melynek egyemeletes épülete eredetileg árvaház és fiúnevelőintézet volt, az építtető Szaniszló püspök 1866-ban pályázatot hirdetett, s a nyertes helybeli Guttmann Józseffel valósíttatta meg. — A középiskolákhoz kell számítanunk azokat a *cs. kir. katonai felsőnevelőintézeteket*, melyek később katonai alreáliskola néven működtek, s a katonanövendékképzés 1852-ben készült átfogó tervének részeként valósultak meg. Ilyen volt pl. a *kőszegi* (1853—56), a vele egyidős *kismartoni* és a valamivel későbbi *kassai* (1863 előtt).[137] Ezek a városon kívül, nagy parkba telepített, nagyméretű épületek a „kubusos stílus" példáiként értékelhetők, terveik a bécsi hadügyminisztériumból származtak. Főhomlokzatukat általában oromzatos közép- és szélsőrizalitok tagolták, belsőben kápolnájuk kapta a művészileg legigényesebb kiképzést.

A műszaki felsőoktatás otthona lett volna a pesti *József-Ipartanoda*, melyre 1846-ban készíttetett tervet Széchenyi.[138] Az intézet a szervitáknak a mai

[137] *Wittinger A.:* Kőszeg városa és környéke. Uo. 1890. 16.; *Hidvéghy S.:* A kőszegi cs. és kir. katonai alreáliskola ... története 1856—1918. Uo. 1937. 5—10. — *Hunfalvy*, II, 1863. 256, 382. és képtáblák (Kismarton és Kassa).

[138] A szignálatlan tervek Széchenyi István hagyatékában maradtak fenn, 1895-ben történt első publikálásuk után többen közölték, és sokáig Hild József tervének vélték. — *Sarkady I.* (szerk.): Hajnal ... naptár 1864 szökő évre. Pest, 1863. 81.; *Szterényi J.:* Az iparoktatás Magyarországon. Bp. 1897. 64—67.; *Bártfai Szabó L.:* Gróf Széchenyi István és a főváros, II. „Pestbudai Emléklapok" 1931. 100.; *Vámos F.:* Széchenyi Budapestért. Új tér terve a Belvárosban 1842—46-ban. „Budapest" V (1967) 8. sz. 36—37.



43. kép. Borsodnádasd. Vashengergyár

Martinelli tértől a Párizsi utcáig terjedő telkén épült volna a régi templom megtartásával, úgy hogy a mai városháza előtti részt (a főposta helyét) nem építették volna be, hanem köztér lett volna belőle. A terv Feszl Frigyestől származik és leginkább az akkor épülő Nádor utcai Oszvald-házzal mutat formai rokonságot.

Könyvtár épületnek a klasszicizmus világához közel álló példája az *esztergomi főegyházmegyei könyvtár* (1852—53), Hild József műve.[139]

A művelődés célját szolgáló legjelentősebb középületnek, a Magyar Tudományos Akadémia palotájának gótizáló romantikus terveit már említettük, a félköríves stílushoz sorolható egyetlen tervről, Feszl Frigyeséről a Vigadóval és mesterével kapcsolatban fogunk szólni.

A kereskedelmi élet legjelentősebb s leggyakrabban jelentkező épületei a növekvő hiteléletet szolgáló takarékpénztárak. Az egyik legkorábbiról, Feszl—Gerster—Kauser *budai takarékpénztár* épületéről (1847), sajnos közelebbit nem tudunk, pedig a korabeli sajtó éppen újszerűségét dicséri, kiemelve, hogy az Oszvald-házhoz hasonlóan nem „ónémet" stílusban épült.[140] Legnagyobb volt

[139] *Ocs F.:* Az esztergomi főszékesegyház könyvtára. „Religio" 1856. I. félév, 17—18, 27—29.; *Majer I.:* Esztergom. VU. 1856. 294, 296.; *Rados*, 1958. 108—109. tévesen azt állítja, hogy 1840—47 között épült, Hild szerepét pedig csak valószínűsíti. Ez utóbbit okmányokkal bizonyítja *Prokopp Gy.:* Újabb adatok Hild József esztergomi alkotásaihoz. MÉ. 1973. 68—69, 71. — Itt említjük meg Hotter Ferdinánd kolozsvári építőmester kivitelre nem került új homlokzattervét a *kolozsvári Erdélyi Múzeum*hoz 1868-ból. *B. Nagy M.*, 1977. 91, 157. (képpel).

[140] —**—: Pester Baustyl. „Pester Zeitung" 1848. júl. 8. 3673. [hibás lapszám 3773 helyett].

a három utcára néző, három emeletes *temesvári*, a sarkok erőteljes hangsúlyozásával, a II. és III. emeletet összefogó architektúrával (1855 körül).[141] Szerényebbek a *veszprémi* (1857), a Hild által tervezett *esztergomi* (1860—62) és a *szigetvári*[142] takarékpénztárak. Valamennyit jellemzi, hogy vegyesen üzletházak és jövedelmező tőkebefektetést jelentő bérházak. — A kor jellegzetes kereskedelmi épülettípusának, a vas-üvegszerkezettel fedett passage-nak nagystílű példája lett volna a Gerster és Frey által 1865-ben tervezett *„bazár és lakház" a pesti Aldunasor* Vigadó előtti hosszú szakaszán, de nem valósult meg.[143] 1869-ben a *leégett német színház helyére is bazár és városi bérház* építésére írnak ki tervpályázatot. Az első díjat Kauser és Frey, a másodikat Hermann Hude és Julius Hennicke nyeri, de ez sem valósul meg.[144]

A hazai *vasútépítés* kialakulásáról korábbi tanulmányunkban[145] általánosságban már szóltunk. E helyen elsősorban a felvételi épületek érdekelnek minket, melyek korszakunkban kivétel nélkül romantikus modorban épültek, s gyakorlatilag a „Rundbogenstil" különböző változatait képviselik. Az összképhez tartozna a kisebb melléképületek, szerelőcsarnokok, fűtőházak ismerete is, ezek azonban szinte nyomtalanul eltűntek, s egyéb forrásból való feldolgozásuk[146] még annyira sem indult meg, mint a felvételi épületeké, mely utóbbi téren is csak kezdő lépésekről beszélhetünk.[147] Így kellő ismeretanyag híján csak a tendenciákat jelző rövid áttekintésről lehet szó. — A Magyar Középponti Vasút indóházai közül legjelentősebb és legnagyobb a *pesti* (1845—46) volt, a mai Nyugati pu. helyén. Oldalhomlokzatát pillérek tagolták, kétszintes architektúrája a földszinten szélesebb, az emeleten keskenyebb, sűrűbb félköríves nyílásokkal rendelkezett, fedélszéke faszerkezetű, enyhe hajlásszögű volt, ami a főhomlokzati oromfal képén is megmutatkozott. Terve, a vácival és a szolnokival együtt, a bécsi Sprengertől származott. Zitterbarth, aki az utóbbi évtizedek irodalmában tervezőjeként szerepel, csak kivitelezője volt.[148] Az 1855-ben megnyíló Bécs—Győr vasútvonal legjelentősebb, nagyméretű, emeletes állomásépülete a *győri* volt, melynek tervezőjeként Ybl neve is felmerül.[149] A rohamosan fejlődő igények gyors kielégítésére kényszerülő, technika-közelben viruló vasútépítésben érthetően hamar felmerül a tipizálás, amit különösen

[141] *Dr. Kakujay Gy.:* A temesvári pénzintézetek statisztikája. Uo. 1873. 46.

[142] *Korompay Gy.:* Veszprém. Bp. 1957. 113, 246. — *Reusz J.:* Az esztergomi Takarékpénztár ötven éves története. (Bp. 1895) 68—69, 75, 76.; *Rados*, 1958. 109, 110. (építési időt nem ad).; *Zádor*, 1981. 143. kép. — *Genthon*, 1959. 362.

[143] OL.: *T. 14. 2. téka, 38—40.*

[144] FL.: *Pesti tan. ir. VI. 161/1869.* — Helyén rövidesen a Haas-palota épült meg.

[145] *Komárik D.:* A romantika korának építőgyakorlata és munkaszervezete Magyarországon. „Ars Hungarica" VI (1978) 41—42.

[146] Több ilyen tervet találunk a pesti Szépítő Bizottmány anyagában és a budai tervek közt. Kivitelezőik többnyire Zitterbarth Mátyás és Pollack Ágoston.

[147] *Kubinszky M.:* Vasutak építészete Európában. Bp. 1965.; *Uő:* Romantikus magyar vasúti épületek. MV. 1959. 149—158.; *Lukáčova*, 1972/74. több hasznos adalékkal szolgál a felvidéki vasutak épületeit illetően.

[148] „Honderű" 1846. I. félév, 435.; *Hunfalvy*, I, 1859. 132.; *Wurzbach, C.:* Biographisches Lexikon des Kaiserthums Oesterreich, 36. Wien, 1878. 265.; *Schoen A.* 59. jegyzetben i. m. 25. — Vámos Ferenc az 1960-as években több írásában tévesen Feszl Frigyesnek tulajdonította a tervezést, azon az alapon, hogy egy 1846-os metszeten „Feszel raj." szignó szerepel. E szignó mögött esetleg Feszl József, Feszl Frigyes ugyancsak építész testvére rejlik, aki 1845—50-ig állt a Magyar Középponti Vasút szolgálatában, és — mint ő maga írja — „a Pest Szolnoki vasúti épületek közvetlen befolyása mellett felemeltettek" (*Komárik*, 1971. 398.) Elképzelhető, hogy vele rajzoltatták meg a közlésre szánt képet.

[149] *Kubinszky M.* 147. jegyzetben i. m. (1959) 152.

a Tiszavidéki Vasút és a Déli Vasút építkezéseinél figyelhetünk meg. Az előzőnek 1857—60 közt épült felvételi épületeinél hat különféle típust alkalmaztak a forgalom, illetve a település nagyságának megfelelően, melyekből néhány még ma is megvan.[150] Az említett pestivel és győrivel szemben ezek, különösen a nagyobbak, mozgalmasabb formálásúak voltak, festőibb tömegcsoportosítással készültek. A legnagyobb épületek *Debrecen*, *Miskolc*, *Kassa*, *Nagyvárad*, később *Arad* állomásokon voltak, alacsonyabb középrészük főtengelyében tornyokkal, pártázatokkal feltornyosuló bejárati kialakítással. A következő nagyságrendet képviselik szélső és középső rizalitokkal a *püspökladányi*, *tokaji*, *szolnoki* és *nyíregyházi* állomások. Közepes méretű volt pl. *Karcag*on, *Sáp*on, *Biharkeresztes*en. Magas középoromzattal készült a *törökszentmiklós*i, *hajdúszoboszló*i és a *kaba*i. Egyszerűbb emeletes típus volt pl. *Gyomán* és *Berettyóújfalu*n, összetett típus *Békéscsabán*, *Szerencs*en, *Mezőtúr*on. Földszintes volt *Fegyverneke*n, *Szikszón*. Némileg hasonlítottak ezekhez az 1866-ban létesített Erdélyi vasút állomásai, így *Piski* vagy *Alvinc*. — A Déli Vasút 1860-as években épült típusépületeit puritán nyerstégla architektúra jellemzi, melyről fogalmat alkothatunk a Déli Pályaudvar szivattyúházaként épült, ma is álló I. Fő utca 5. sz. ház (1861—62) Fő utcai homlokzata alapján.[151] Valamennyi felvételi és melléképület típust megtalálhatjuk a társaság többkötetes kiadványában, mely a nagyobbakat (*Buda*, *Székesfehérvár*, *Nagykanizsa*, *Csáktornya* stb.) meg is nevezi. Az építészeti tervek Wilhelm v. Flattichtól származnak, aki 1858-tól a Carl Etzel vezette társaság építészeti osztályát irányította.[152]

Városi épületeknél az ipari és lakás funkció nemegyszer keveredik, s a homlokzat lakóház architektúrát visel. Ilyen volt a már említett *Fő utca 5.* szivattyúteleppel és szolgálati lakásokkal, a *Fő utca 3. sz.* „budai vízhajtó gép- és bérház" (Máltás, 1861—66)[153] és az egykori Egyetem utcában állott (V. Károlyi M. u. 14) *Heckenast könyvkiadó és nyomdaüzem* (Diescher J., 1861—62).[154]

A mezőgazdaság épületei között egyik legjelentősebb az Ybl tervezte *gerlai* (Békés m.) *magtár* a dobozi Wenckheim uradalom mellett (1863). A funkcionális egyszerűséggel megoldott hatalmas épületen csak egész szerényen érvényesülnek a romantikus formakincs elemei.[155]

Az ipari- és gyárépületek ma még teljesen feldolgozatlan, gyakran szinte műforma nélküli, sokszor azonban szerkezetileg nem érdektelen anonim seregéből utalásul hármat említünk meg, „*a pestvárosi gázvilágítás épülete* a kerepesi kapun túl" (VIII. Köztársaság tér 20.), Pollack Ágoston műve 1855-ből,[156] a

[150] *Kubinszky M.* uo. szereplő részletes feldolgozásában feltételezi, hogy a tervek Bécsben készültek.

[151] *Komárik D.:* A Budapest I., Fő utca 5. sz. ... MV. 1970. 121.

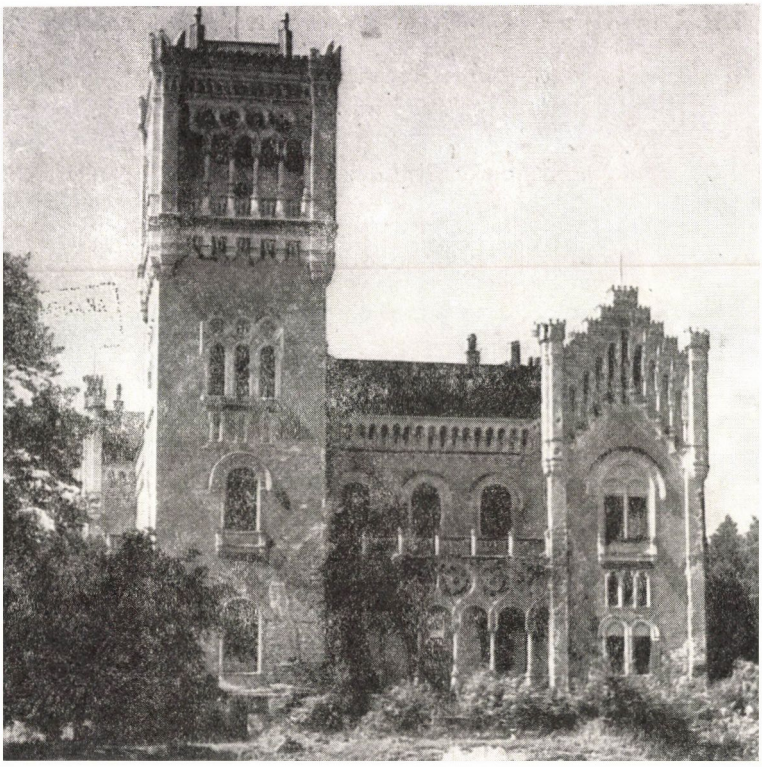
[152] Oesterreichische Eisenbahnen, entworfen und ausgeführt 1857—1867, unter der Leitung von Carl von Etzel. Hn. én. Szövegkötet: *Wilhelm v. Flattich:* Beschreibung von auf der Südbahn angef. Hochbauten. Wien, 1870. Ezekben minden magasépítési tervet Flattich, mélyépítési tervet Etzel szignált. (Guido Friedlnek, Flattich monografikus feldolgozójának levélbeli közlése.)

[153] *Komárik*, 1970. 156—160.; *Zádor*, 1981. 140—141. kép.

[154] FL.: *EB. 193/1861.* Két emelet építése meglevő egyemeletes barokk lakóházra, melynek atlaszos középerkélyét megtartották. A „homlokzat tetején Pannonia szobra, a nyomdászat jelvényeivel s a második emelet párkányzatán 5 magyar irodalmi hős: Zrínyi a költő, Széchenyi, Kazinczy, Teleky és Vörösmarty kőbe faragott mellszobrai" voltak láthatók. *P. A.:* Hol és mikép terem a Vasárnapi Újság. VU. 1863. 6.

[155] *Ybl*, 1956. 31.

[156] VU. 1859. 29.; *Zakariás*, 1961. 160.



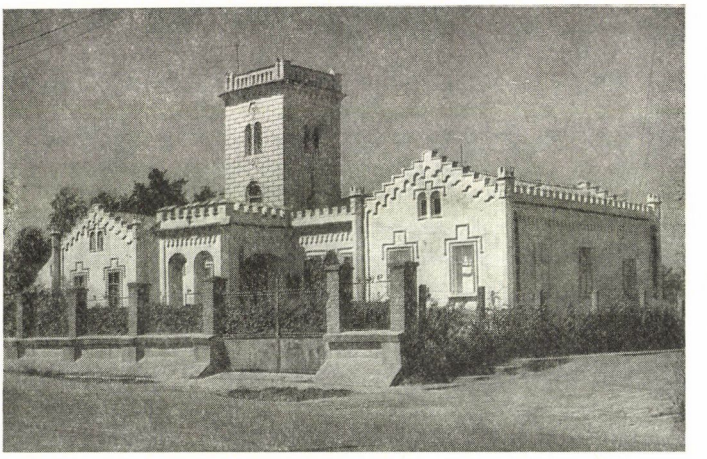
44. kép. Vörösvár. Erdődy-kastély

borsodnádasdi vashengergyár, állítólag Volny József műve 1862/63-ból,[157] és Benkó Károly *pesti közvágóhíd*-terve 1868-ból, mely a pályázaton rendkívüli jutalmat kapott, de nem ezt kivitelezték.[158]

3. MAGÁNÉPÜLETEK

Feltűnő és jellemző, hogy a félköríves stílus változatainak a kastélyépítészetben sokkal kisebb a szerepe, mint az egyéb épülettípusoknál. A középkoriasságot, a várkastélyszerűséget jobban elérhetőnek ítélték a gótizáló romantika formáival, és erre nagyobb súlyt is helyeztek, mint más épületfajtáknál. A korai időszakban — a szabadságharc előtt — tudomásunk szerint „Rundbogenstil" kastély nem is épül, ugyanakkor megállapítható, hogy a patriarkálisabb életmód keretéül szolgáló, kúriának tekinthető szerényebb épületeknél mily gyakori.[159]

[157] *Sz.:* Borsodmegyei vasgyárak. II. A nádasdi vashengergyár. VU. 1864. 381.
[158] OL.: *T. 14. 2. téka, 63—76.; Komárik*, 1971. 408.
[159] Munkánk kéziratának lezárása után jelent meg hat nyugatmagyarországi megye romantikus kastélyépítészetét tárgyaló tanulmány (*Sisa*, 1980), gazdag részletkutatással, új adatokkal. A továbbiakban több helyen támaszkodunk ezekre.



45. kép. Zsáka.
Rhédey-kastély



46. kép. Kiszombor.
Rónay-kastély



47. kép. Árokalja.
Bethlen-kastély

Ennek az irányzatnak legjelentősebb kastélya az 1862-ben befejezett *vörösvári* (Vas vm.) Erdődy-kastély, Weber Antal műve.[160] Mint már említettük, sok rokonságot mutat a gótizáló részletképzésű galántai kastéllyal, formálásában mintegy párdarabja annak, s mindkettőn a bécsi Arsenal hatása érezhető. A másokkal szemben saját kastélyt nem építtető Ferenc József az Arsenal építését különösen támogatta, s a kortársak ennek stílusát a császár korára jellemzőnek tartották, s hivatalos építkezéseknél követték. Az ország nyugati részén történő két hatalmas kastélyépítéssel kapcsolatban e tényre érdemes fölfigyelnünk. A vörösvári esetében az újabb osztrák irodalom az Arsenal építészeti nyelvének fokozását állapítja meg.[161] Feltűnő az épületnek erőteljesen keleties hatása, mind az alkalmazott részletképzés, mind a festői kontraszt következtében, melyet a pirosra festett, fuga-kváderes alapsík és a fehér díszítmények együttes alkalmazása idéz elő. Jellegzetes a középrész kőrácsos árkáddal való fellazítása, ugyanakkor a zárómotívumok súlyossága, különösen az oromzatoknál és a tornyon. Az aszimmetrikusan elhelyezett, sisak nélküli torony nemcsak itt, hanem csaknem minden „Rundbogenstil" kastélynál elengedhetetlen kellék — érdekes módon a gótizáló architektúrájúaknál gyakoribb a kivétel. A vörösvárinak és a galántainak volt állítólag kisebb, egyemeletes mása a századunkban teljesen átalakított *sárosdi* (Fejér m.) Esterházy-kastély,[162] építését az újabb kutatások alapján azonban a század végére kell tennünk.[163] Fejér megyében említésre méltó még a Batthyány László által építtetett, hosszan elhúzódó, földszintes *tordasi* kastély, mozgalmas, tagolt homlokzattal.[164] A félköríves stílusnak a vörösvári után legjelentősebb dunántúli emléke az L alaprajzú, festői tömegcsoportosítású *bakócai* Majláth-kastély kiépítése, feltehetően az 1860-as évekből. Sisak nélküli tornya a főtömegtől távol helyezkedik el, rizalitjain stilizált gótizáló motívumok is láthatók.[165] Különös formájú, sehova sem sorolható a *mogyorósbányai* (Komárom m.) kastély, melyet Brzorad Rezső építtetett át 1864-ben.[166] — Szimmetrikus elrendezés és földszintes magasság jellemzi a Tiszántúlon a *zsáka*i (Hajdú-Bihar m.) gr. Rhédey-, a *kiszombori* (Csongrád m.) Rónay- és az Ybl által tervezett, többször alakított, a háborúban súlyosan megsérült *gerlai* (Békés m.) Wenckheim-kastélyt. Az előbbiek tengelyben elhelyezett, sisak nélküli toronnyal 1858-ban épültek, az utóbbi aszimmetrikus fekvésű toronnyal 1854-ben.[167] — Az ország északi részén leggazdagabb a sajátos formálású *bodrogolaszi* kastély, melyet állítólag Lónyai Ödön építtetett a múlt század 60-as éveiben. A *felsővadászi* Rákóczi-kastély 1872-ben átalakítás során nyerte kissé igénytelen, szárazabb architektúráját.

[160] *Augustich I.:* Két kép Vasmegyéből. VU. 1876. 37, 38.; *Borovszky*, Vas, 1898. 112—113. közt színes tábla, 113—116.; *Ybl E.;* Weber Antal. „Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények" 1957. 418, 419.; Österreichische Kunsttopographie, XL. Wien, 1974. 421—424. szerint 1862/64-ben épült. Valószínű, hogy a belső munkák (falfestés, berendezés stb.) tartottak 1864-ig.; *Sisa*, 1980. 105—106.; *Zádor*, 1981. 146—147. kép.

[161] *Wagner—Rieger, R.* und *Krause, W.* (hrsg.): Historismus und Schlossbau. München, 1975. 17.

[162] *Ybl* 160. jegyzetben i. m. 418—419.; *Genthon*, 1959. 286.

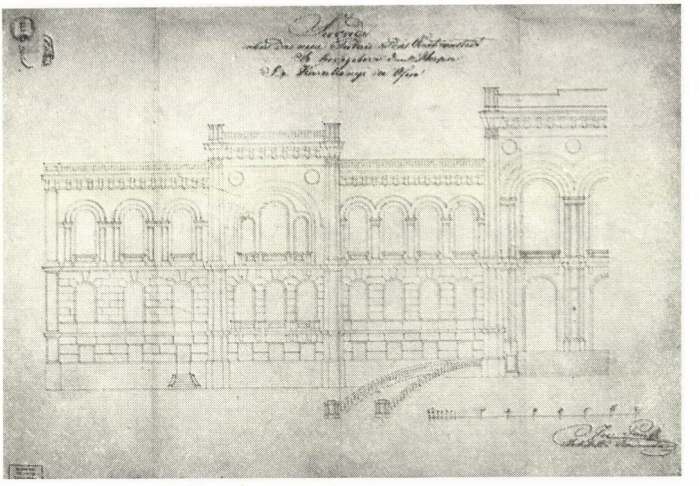
[163] *Sisa*, 1980. 106, 116.

[164] *Károly J.:* Fejér vármegye története, V. Székesfehérvár. 1904. 403, 405.; *Genthon*, 1959. 396.

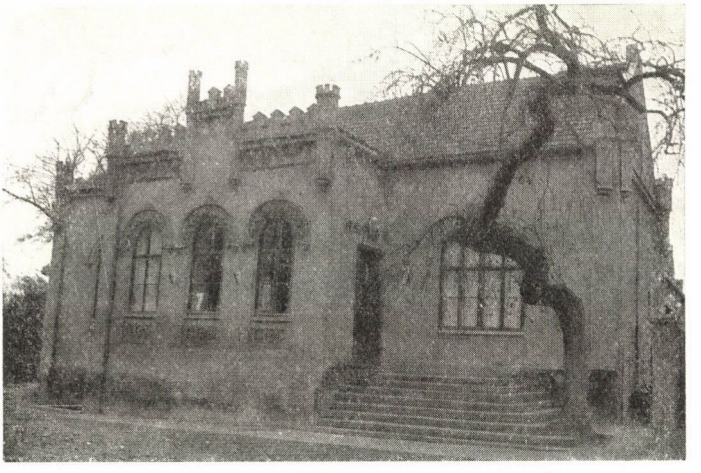
[165] A Mailáth-család kastélya Bakóczán. VU. 1883. 336, 341.

[166] *Borovszky*, Esztergom, 1908. 30.; *Genthon*, 1959. 199.; *Sisa*, 1980. 117.

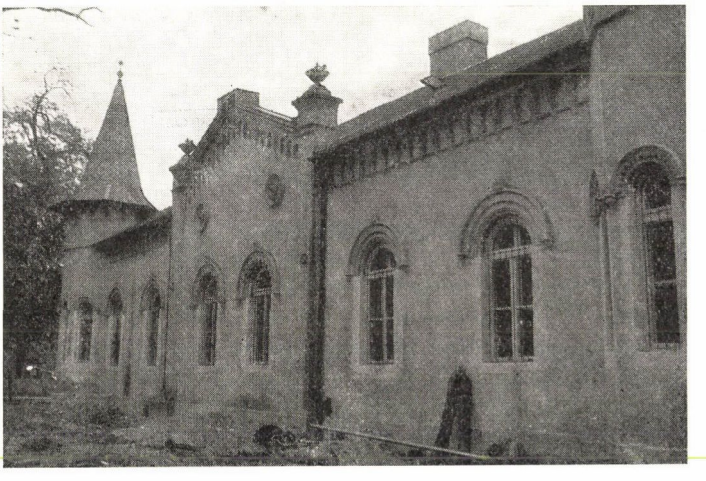
[167] Zsáka: *Borovszky*, Bihar, 1901. 165. — Kiszombor: *Borovszky*, Torontál, 1911. 54, 67.; Lohmann Ferenc plébános közlése a plébánia „historia domus"-a alapján. Gerla: *Ybl*, 1956. 128, 129.; *Genthon*, 1961. 67.



48. kép. Buda.
Karácsonyi-palota



49. kép.
Bakonyszentlászló.
Eszterházy-nyaraló



50. kép. Gic.
Jankovich-kúria

Ehhez hasonlóan nyugodt, de ízesebb homlokzatképzés jellemzi a *füssi* (Bars vm.) Barlanghy-kastélyt (1862). Romantikusabb hangvételű, mozgalmasabb tömegű a *cserencsényi* (Gömör és Kishont vm.) kastély (1860 körül), melynek széleit átlósan elhelyezett, lőréses tornyocskában végződő sarokpillérek hangsúlyozzák.[168] Az erdélyi kastélyok közül kiemeljük a *bonyhai* (Kisküküllő vm.) Bethlen-kastély 1866 előtti átépítését és a keleties formálásban egyedülálló *árokaljai* (Szolnok-Doboka vm.) Bethlen kastélyt[168/a]. — A „Rundbogenstil" kastélyépítészet legnagyobb szabású városi példája az 1938-ban lebontott *budai Karácsonyi-palota*. Gróf Karácsonyi Guidó már 1848 tavaszán foglalkozott az építés gondolatával, de a munka csak 1853-ban indult meg.[169] Az építkezés, melynek tervét az építtető meg nem állapítható mértékű részvétele mellett Pan József készítette, hosszan elhúzódott, s még 1859-ben sem volt kész. Ekkor nyújtotta be, a szokástól eltérően nem a tulajdonos, hanem Pan József, az építési engedély kérelmet, melyet az iratok is következetesen „utólagos"-nak neveznek. Az egyetlen elnyúló tömböt alkotó egyemeletes épület huszonhárom tengelyes főhomlokzatát három rizalit tagolja öt szakaszra. Finoman mérlegelt architektúrájának nyugodtsága és síkban tartott jellege a „kubusos stílus"-sal hozza kapcsolatba, amit a fedélszék testességének tört vonalú megoldással való kerülése, látványának attikával való csökkentése is támogat. A kialakításnak és különösen a részletképzésnek egyes elemei által a barokkos-rokokós romantikához is kapcsolódik.

A kúriáknál mesterneveket, megbízható datálást éppúgy alig ismerünk, mint a gótizáló formájúaknál, s az összkép érzékeltetése céljából megelégedhetünk néhány példa bemutatásával. Általában sok szállal kapcsolódnak a klasszicizmus világához, mindig uralkodik a hagyományos magastető, a „castellated" formálásra alig találunk példát. Ez utóbbinak a fedélszék testességét magas attikával is rejtő emléke a *nagyszeredi* (Temes vm.) Lazarovics-kúria, melynek lőréses, sarokoszlopocskás főpárkánya rokon az 1859 előtti években épült *bakonyszentlászlói* (Veszprém m.) Eszterházy-nyaralóéval. Nagyon gyakori a középrizalitos-portikuszos megoldás, nagyobb épületeknél szélső rizalitokkal gazdagítva. Ritkábban találkozunk az árkádos-tornácos megoldással, mint a *jobbágyi* (Nógrád m.) Sréter-, a *kartali* (Pest m.) Podmaniczky- vagy a *biharugrai* (Békés m.) Bölöni-kúria esetében. Az első kettőnek árkádsora szegmensívezetes. A jobbágyi kúriát az irodalom 1821-ben épültnek tartja, a kartalit 1860 körülinek. Az 1821-es évet (legalábbis az épület végső formáját illetően) az utóbbival való összevetés nélkül is kétségesnek tartjuk. Középrizalitos megol-

[168] Bodrogolaszi: *Borovszky*, Zemplén, 1905. 28.; *Genthon*, 1961. 41. szerint valószínűleg Ybl műve, amit fenntartással fogadunk. *Ybl*, 1956. nem említi. — Felsővadász: *Borovszky*, Abaúj-Torna, 1896. 299. — Füss: *Borovszky*, Bars, 1903. 29—30. — Cserencsény: *Borovszky*, Gömör-Kishont, 1903. 35, 39.

[168/a] *B. Nagy M.*, 1977. 82, 86.; *Dr. Lukinich I.*: A bethleni gróf Bethlen család története. Bp. én. 500. — Itt említjük meg a *csákigorbói* (Szolnok-Doboka vm.) Jósika kastély átalakítására Hottner Ferdinánd által 1867-ben készült szárazabb és egyhangúbb tervet. *B. Nagy M.*, 1977. 82, 155.

[169] Gr. Keglevich János 1848. márc. 7-én Pozsonyban kelt levelében kérdezi budai ügyvivőjétől: „Végtére kérem megtudni: vallyon Karátsonyi Úr, ki Budán a' hegyvonalon egy nagyszerű lakot építend, már alkalmas Építésszel el van-e látva? vagy sem?" A levél impuruma: OL.: *P. 421. A Keglevich csal. lvt. V/12, No. 36. füzet*, 249. tétel. — Eddig ismeretlen terve: FL.: *Budai tan. ir. 3417/1859.*; Közölve: *Komárik D.*: Az I. Krisztina krt. 55 ... MV. 1970. 251.; Katalógus, 1981. 202. — Az építtető szerepére nézve l.: *Komárik D.* 145. jegyzetben i. m. 46. Az épületre vonatkozólag: *Horler*, Budapest, 1955. 777—780.



51. kép. Pilismarót. Heckenast-kúria

dásúak például az *inándi* (Bihar vm.) Markovits-kúria (1854), a *törökszentmiklósi* (Torontál vm.) Tallián-kúria (1856), a *szöllősgyöröki* (Somogy m.) Jankovich-, a *bodrogi* (Somogy m.) Pongrácz-, a *tassi* (Bács-Kiskun) Darányi-, saroktornyokkal szegélyezett középrizalitos a *gici* (Veszprém m.) Jankovich-, szélső rizalitos a *szőkedencsi* (Somogy m.) Véssey-kúria (1865). Teljesen feltáratlan az egytornyos „itáliai villa"-típus Európa-szerte kedvelt típusának elterjedése, melynek hatását a kisebb kastélyoknál is megállapíthatjuk, s kiragadott példája a *nemcsényi* Kosztolányi-kúria lehet.[170] Külön említjük az előzőkkel ellentétben nem földszintes, hanem egyemeletes *pilismaróti* Heckenast-kúriát, mely mint nyaraló inkább a XIX. sz. nagyváros-környéki villa-típusához tartozik, s valamit a kedvelt „svájci ház"-modorból is tartalmaz. A tornácos-teraszos középrésszel és háromszögű oromzattal hangsúlyozott épületet Heckenast Gusztáv könyvkiadó építtette valószínűleg az 1850-es évek elején. Tervezőjéről az irodalom nem beszél, de stíluskritikai alapon nem lehet kétséges,

[170] *Nagyszered:* Borovszky, Temes, 1911. 73, 78. — Bakonyszentlászló: *Sisa*, 1980. 116—117. — Jobbágyi: *Genthon*, Nógrád, 1954. 234—235. — Kartal: *Dercsényi*, Pest, 1958. I. 438, 439. — Biharugra: *Borovszky*, Bihar, 1901. 158, 159.; *Ybl*, 1956. 156. felveti a gondolatot, hogy talán Ybl műve. — Inánd: *Borovszky*, Bihar, 1901. 94, 95. — Törökszentmiklós: *Borovszky*, Torontál, 1911. 118, 131. — Szöllősgyörök: *Csánki*, Somogy, 1914. 161, 173.; *Genthon*, 1959. 373. — Bodrog: *Genthon*, 1959. 41. — Tass: OMF fotóarchívuma. — Gic: *Genthon*, 1959. 105., *Sisa*, 1981. 117. — Szőkedencs: *Csánki*, Somogy, 1914. 160, 173. — Nemcsény: *Borovszky*, Bars, 1903. 62, 63.

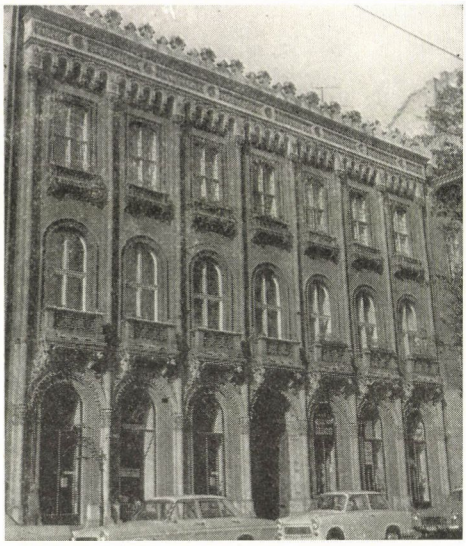
hogy Feszl Frigyes műve, e nemben alighanem egyetlen fennmaradt alkotása,[171] melynek részben megmaradt romantikus belső falfestése is egyedülálló.

*A polgári lakóházak*ról szólva utalunk a gótizáló romantika polgári lakóházaival kapcsolatban mondottakra, az ott említett általános sajátságokra és problémákra, s ennek értelmében tárgyaljuk az épülettípusnak „Rundbogenstil" megvalósítását.

A városi lakóházak, gyakorlatilag zártsorban épült bérházak, főbb jellemvonásainak áttekintésénél előre kell bocsájtanunk, hogy nem kevés helyi adottságokhoz alkalmazkodó vagy egyéni változat van, hogy számos épületen a klasszicizmus egyik vagy másik sajátsága tovább él és — különösen stiláris vonatkozásban — nem ritka a vegyes típusok jelentkezése. — Elsőként a homlokzat tagolásának a klasszicizmussal szembeni változása tűnik fel, az antik oszloprendes tagolás már említett megszűnése. Az uralkodó középrizalit helyett divergenciát kifejező, keskeny, kis kiülésű szélső rizalitokat találunk. Ezeknek I. emeletén nyitott erkély vagy az I. és II. emeletet összefogó zárterkély jelenik meg, s gyakori a háromtengelyes I. emeleti nyitott erkély a középen nyíló kapu felett. A klasszicizmusnál gyakori fuga-kváderezés eltűnik s gyakorivá válik a három-három vízszintes vonallal képzett ritmikus fugázás, ami talán a vegyes falazat szélesebb kősorának és két sorból álló, keskenyebb téglarétegének kivetítése. Ugyanígy kedvelt a falsíknak vakolatfugákkal váltakozva szélesebb és keskenyebb sávokra való osztása. A klasszikus tagolású főpárkány helyébe állókonzol-soros főpárkány kerül, néha — ritkább konzolállás mellett — padlásablakocskákkal, egyébként rozettákkal, egyéb díszítményekkel. A homlokzaton olykor sűrűn elhelyezett, az emeleteket összefogó függőleges elemeket látunk, s gazdagabb lesz a díszítmények alkalmazása is. Bár a klasszicista ablak sok helyen tovább él, jellemzővé a kétszer kétszárnyú, nyolcosztású, külső kifelé, belső befelé nyíló ablak válik, mely két, egymás fölé helyezett, négy részre osztott négyzetnek hat (talán az angol *sash-window* formájának hatása?). Ritkábban találkozunk (pl. Yblnél, Máltásnál) a felső rész középkörös osztásával, olykor középkorias mérműves tagolással. A kapualjak a keresztboltozat alkalmazásának különböző kombinációit mutatják, a hozzájuk csatlakozó lépcsőházak háromkarú lebegőlépcsők. Mellvédként az öntöttvas elemekből összeállított rács terjed el, az utcai erkélyeken is, függőfolyosóknál azonban elenyészően ritka. Az öntöttvas gyakran tartószerkezetként is megjelenik.

A „Rundbogenstil" lakóházakat az egész ország területén megtaláljuk, de e téren is kimagaslóan Pest vezet. Rendkívül jelentős Sopron, figyelemre méltó Székesfehérvár, Pécs, Veszprém, de nincs olyan nagyobb város, ahol említésre méltó példa ne akadna. Ezek tüzetes ismertetése messze túlnőne ennek az áttekintő tanulmánynak keretén, így csak a főbb példákra és típusokra utalhatunk. — A „kubusos stílus" változatának ritka és ismeretlen példája a háromtengelyes, háromemeletes Király utcai *Pietsch-ház*, melyet 1850-ben tervezett Wieser Ferenc, az I. emelet középtengelyében leegyszerűsített Vendramin-ablakkal. Ennek az irányzatnak képviselőjeként *Sopron*ból a *Széchenyi tér 20. sz.*

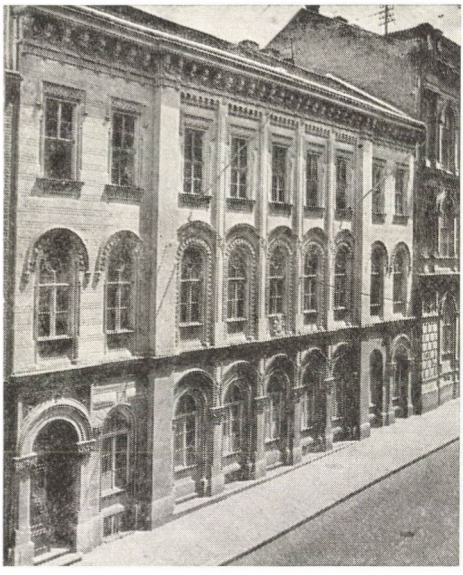
[171] *Genthon*, 1959. 269.; *Nagy M.* (szerk.): Magyarország képekben. Pest, 1870. I. 150. említi a nyaralót és azt, hogy milyen kitűnő, művészekből, írókból álló társaság járt oda. — Az épületnek mind a Vigadó, mind más Feszl-épületek részletformáival való azonossága kézenfekvő. Különösen feltűnő egyezések láthatók egy fennmaradt földszintes villa terven, mely ennek esetleg alternatívája (OL.: *T. 11. No. 3/b: 68.*) és tudjuk, hogy Pilismaróton festegetett, a közeli Szobon pedig kápolnát épített.



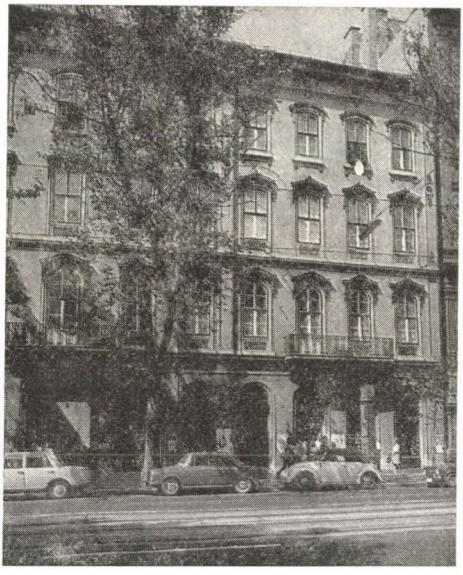
52. kép. Pest. Unger-ház



53. kép. Pest. Oszvald-ház



54. kép. Buda. „Vízhajtó gép- és bérház"



55. kép. Pest. Múzeum krt. 21.

épületet (Handler József, 1855) emelhetjük ki.[172] A magyar romantika két legnagyobb mestere, Feszl Frigyes és Ybl Miklós is jelentős emlékekkel gazdagította a pesti lakóházak sorát. A félköríves stílus románo változatának legje-

[172] FL.: *SzB. 12732.*; *Komárik*, 1981. 28—29.; Katalógus, 1981. 213. — *Winkler G.*: Új gondolatok Sopron építészetében a 19. század derekán. MV. 1973. 168.

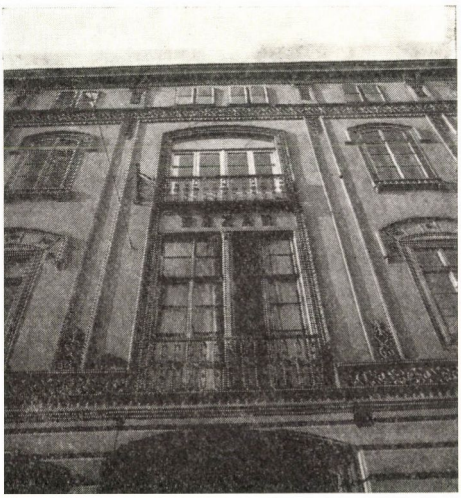
lentősebb pesti alkotása a Múzeum krt. és a Magyar utca közt átmenő, keleties elemekkel is átszőtt *Unger-ház* (1852—53) Ybl Miklóstól.[173] Főhomlokzatának rendkívül gondosan mérlegelt arányai finom egyensúlyt teremtenek a függőleges és a vízszintes elemek között, s az erőteljes plasztikusság mellett is megőrzik az architektúra szigorú egységét. Az emeleteket összefogó, ablak közti vékony félpillérek erőteljes, törpeívezetes koronázópárkányt hordanak, melynek súlyosságát az I. emeleti erkélyek kőmellvédjeinek gazdag kialakítású tömbjei és a II. emeleti ablakok könyöklőinek konzolos hasábjai ellensúlyozzák. A hátsó homlokzat a fegyelmezett formálású, gazdag díszítésű főhomlokzatnak művészi ökonómiával lecsendesített változata. Figyelemre méltó és a homlokzatokkal egyenrangú az épület téralakítása, kapualjának térbővülettel megoldott gazdag kialakítása, finoman kapcsolódó nagyvonalú lépcsőháza és különösen a kétoldalán árkádosan megoldott, ünnepélyes, teremszerűen intim hatású belső udvara. Az egykori Váci úton (VI. Bajcsy-Zsilinszky út 17.) álló, háromemeletes *Balassa-ház*at (1862—63) Ybl az Unger-házzal rokon motívumokkal oldotta meg, de lényegesen szerényebb, tartózkodóbb formában, hajszálvékony kváderezéssel. Itt a fegyelmezettség mellett az architektúra finomságát kell dicsérnünk.[174] Noha formálisan a Feszl—Gerster—Kauser társulás tevékenységéhez fűződnek, architektúra vonatkozásában Feszl Frigyesnek tulajdonítjuk a Nádor utcai Oszvald-házat (V. Münnich Ferenc u. 22.), a Sas utcai Fröhlich-házat (V. Guszev u. 3.) és feltételesen a Balassovits-házat (V. Váci u. 57.).[175] Az 1846/48-ban épült, 1864-ben szállodává átalakított *Oszvald-ház*on Feszl, kinek ez az épület eddig ismert legkorábbi megvalósult műve, a félköríves stílust egyesíti az iszlám formavilágával, mesterien, egyéni módon, s az ornamentikában megjelenteti a magyarosnak tekintett „vitézkötéses" motívumot is, melyet a fóti templomon Ybl is alkalmazott. Feltűnő ugyanakkor, hogy — különösen a rizalit architektúrájában — mennyire anticipálódik a Vigadó formavilágának egy része, mind egyes díszítményekben, mind a formák vaskos, kubusos kezelésében. A *Fröhlich-ház* (1853—54) háromemeletes, szélső rizalitokkal szegélyezett homlokzata az elsőnél kevésbé jelentős, az ornamentika azonban, kivált a rizalitokon, Feszl világát idézi. A szerényebb, kétemeletes *Balassovits-ház* (1848—49) Feszlre utaló vonásaira Vámos Ferenc hívta fel a figyelmet. Attribuálása elképzelhető, de nem olyan egyértelmű, hogy — egyéb bizonyíték híján — végérvényesnek tekinthetnénk. Csaknem kizárólag román és barokkos elemekkel, gyakran ezek kombinálásával dolgozott Máltás Hugó.[176] Legérettebb román műve a rá jellemző gazdag növényi díszítéssel ellátott, már említett *„budai vízhajtó gép- és bérház"*, középrizalitján emeleteket összefogó falisávokkal. Középkoriasabb hangvételű az oromzatos, középrizalittal megoldott kis *Reitter-ház* (I. Hunyadi János út 18.) 1855/56-ból. A barokkos romantika irányába tolódik el *a budai jótékony nőegylet házá*nak (I. Úri u. 38.) átépítése (1855—56), a két házat egyetlen homlokzat mögé rejtő *Masjon-ház* (I. Jégverem u. 2.) 1860/61-ből, kevésbé *Kovács-Sebestény Endre* finom arányú József nádor téri háza (1860/61). Legmarkánsabban barokkos a Bajcsy-Zsilinszky út 22. sz. alatti *Zitterbarth-ház* (1856—57), melyet eredetileg két utca közt átmenő

[173] *Ybl*, 1956. 26—27.; *Zakariás*, 1961. 114.; *Zádor*, 1981. 110—112. kép.
[174] *Ybl*, 1956. 28.; *Zakariás*, 1961. 135.
[175] *Komárik D.:* Az V. Münnich Ferenc utca 22. sz. ... MV. 1972. 55. — *Uő*: Bp. V. Guszev u. 3. Bp. 1973. Kézirat a BMF. gyűjteményében. Adatainak kivonatos ismertetése: MV. 1976. 255. — *Uő:* Az V. Váci utca 57. sz. ... MV. 1973. 248.
[176] Az alább tárgyalandó műveire vonatkozólag l.: *Komárik*, 1970.

56. kép. Székesfehérvár. Vörösmarty tér 5.



fedetlen bazáros átjáróháznak szántak, erre utal a most befalazott három hatalmas íves bejárati csarnoka, udvari architektúrája is. Ez azonban nem valósult meg, még hátsó udvari szárnyai is csak 1869—70-ben épültek meg. A barokkos romantikának a hatvanas években igen elterjedt egy klasszicizáló rendszerűnek nevezhető változata, mely — miként az elszáradó klasszicizmus — végül fokozatosan belesimult az eklektikába. E változatnak sok példáját, köztük a legjelentősebbeket Pan József építette. Az ilyen épületet, valamint rizalitjait, emeleteket összefogó, tükrös falisávok szegélyezték, ha háromemeletes volt külön az I. emeletet s külön a II—III. emeletet. A földszint és az első emelet



57. kép. Pécs. Kossuth Lajos u. 1.

ablakai félkörívesek, a többiek szegmensíves záródásúak. Ornamentikájukból főleg a szemöldökpárkányok barokkos jellege volt szembeötlő. Pan Józseftől a már korábban szereplő Griff-szállón kívül említhetjük az *V. Múzeum krt. 21. sz.* háromemeletes házat, (1863—64) vagy az *V. Kecskeméti u. 1. sz.* annyiban különleges épületet, hogy a tagozatok díszítményéhez nyerstégla alapsík párosult (1867).[177] Pesten és Budán kivált Lohr János kedvelte még ezt az irányzatot, pl. *I. Szalag u. 26.*, de vidéken is mindenhol találkozunk vele, pl. *Debrecen, Vöröshadsereg útja 9.* Vecsey Imrétől (1865).[178] A barokkos romantika sajátos, az előzőnek oldott kedélyességét nélkülöző, teljesen eredeti változatát képviseli több munkájában Wieser Ferenc. Nevével a velencei gótikát idéző Pichler-ház, a „kubusos" Pietsch-ház, a barokkos ferences-torony esetében már találkoztunk, de egyéni hangját ez a változat jelenti. Sajátos tört párkányok, éles metszésű, kissé szálkás hatású díszítmények, amelyek nem szőnyegszerű egyenletességgel vonják be a felületeket, hanem egyes helyekre koncentrálódnak — ezek jellemzik architektúráját, amelynek a Kossuth Lajos utcai *Horváth-ház* átalakítása (1851—53) a legkifejezettebb példája.[179] *Székesfehérváron* több épületet kapcsolatba hoznak Ybl Miklóssal, úgy is mint aki tervezője volt egyes épületeknek, úgy is mint akinek hatása alatt készültek, s ez utóbbira Feszlvel kapcsolatban is van példa. Elsősorban a Vörösmarty térről kell megemlékeznünk, mert a tér az értékes és gazdag romantikus épületek jelentős együttese, s a jelzett épületek nagy része köztük van. Jelentősebbek a *Vörösmarty tér 3., 5., 6.* és *10. sz.* épületek, mindegyik kétemeletes, oromzatos középrizalittal, 1860—62 körül. Ybl szerzősége egyiknél sem bizonyított, de a formálás bizonyos sajátságai és Ybl székesfehérvári származása érthetővé teszik ezeket az attribúciókat. Feszl-hatást az irodalom a *Kossuth u. 7. sz.* háznál említ, amit nem látunk indokoltnak, viszont feltűnő, hogy a Vörösmarty tér 5. II. emeleti ablakainak szemöldökmezőiben a Vigadó záró frízéhez mennyire hasonló geometrikus ornamentika látható. Ugyanakkor a *Dózsa György tér 4.* falisávokkal tagolt homlokzata még leginkább rokon a pesti Unger-ház Magyar utcai homlokzatával.[180] — Pécsett, Sopronban, különösen pedig Győrött találkozunk elegáns arányú I. emeleti zárterkélyekkel, melyekre máshol, kivált a Dunántúlon kívül alig van példa. *Pécsett* az ottani romantikus lakóházépítészet legfinomabb emléke, a *Sallai u. 14. sz.* öttengelyes, kétemeletes ház ilyen. Architektúrájára az első, harmadik és ötödik tengely kettős ablakainak egy-egy két emeletet összefogó önálló elemmé való dekoratív összefogása jellemző. Ugyanitt említést érdemel még a *Jókai Mór u. 1.*, a *Jókai tér 4.*, a *Kossuth Lajos u. 1.*, mely egyben a vas-üveg fedésű bazár ritka példája is, és a *Kossuth Lajos u. 39. sz.* épület artisztikus homlokzata.[181] *Győrött* a helyi hagyományokkal magyarázható sarokerkélyek is előfordulnak, mint az *Arany János u. 21.*, a *Fürst Sándor u. 11.* esetében. Középerkély található a *Jedlik Ányos u. 17.*, a *Kazinczy u. 6.* és *8.* sz. házakon. Utóbbi kettő Fruhmann Antal nevéhez fűző-

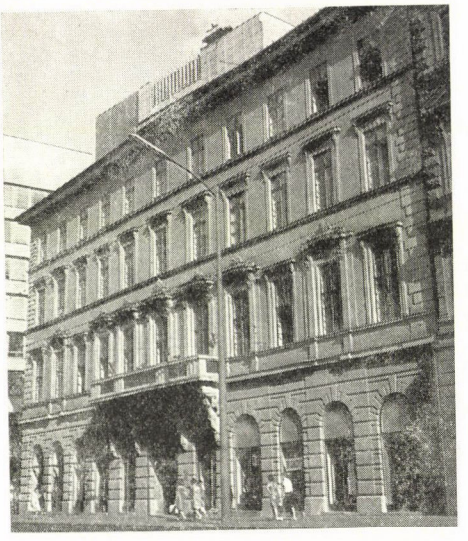
[177] *Zakariás*, 1961. 115. (Múzeum krt. 21.) — *Bibó I.:* A Bp. V., Kecskeméti u. 1. sz. ... MV. 1971. 100.

[178] *Horler*, Budapest, 1955. 684, 685. — *Balogh I.:* Debrecen. Bp. 1958. 67.

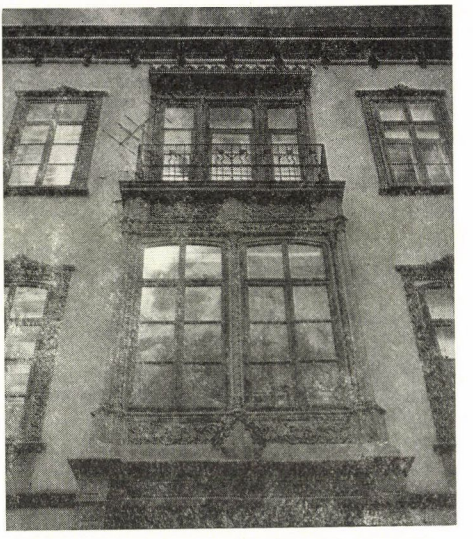
[179] *Zakariás*, 1961. 109.; *Dr. Sisa J.:* Budapest, V. Kossuth Lajos u. 3. Bp. 1981. Kézirat a BMF. gyűjteményében.

[180] *Ybl*, 1956. 129—130.; *Genthon*, 1959. 353, 354, 359.; *Fitz* stb. 13. jegyzetben i. m. 103, 104, 115, 116, 147—149, 150.; *Zádor*, 1981. 142. kép.

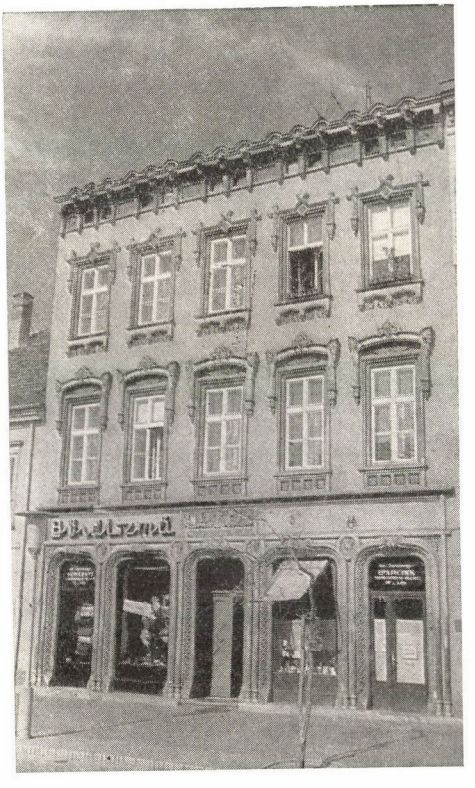
[181] *Genthon*, 1959. 263, 251, 257, 259.; *Dercsényi—Pogány—Szentkirályi:* Pécs. Bp. 1966. 174, 146—147, 152—153, 157.



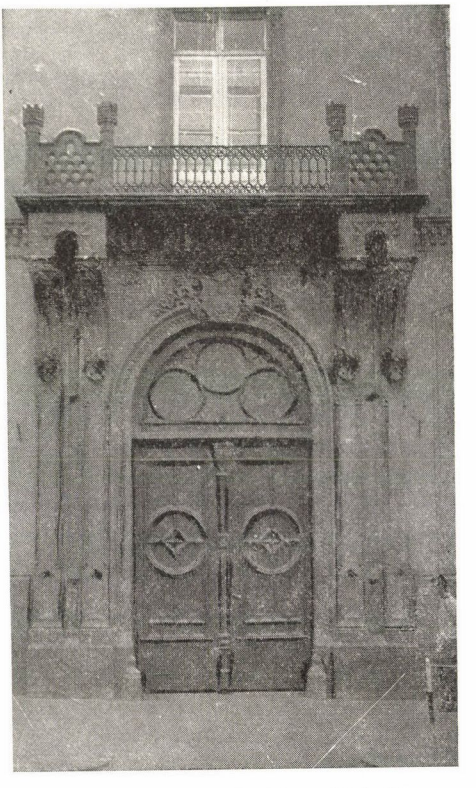
58. kép. Pest. Horváth-ház



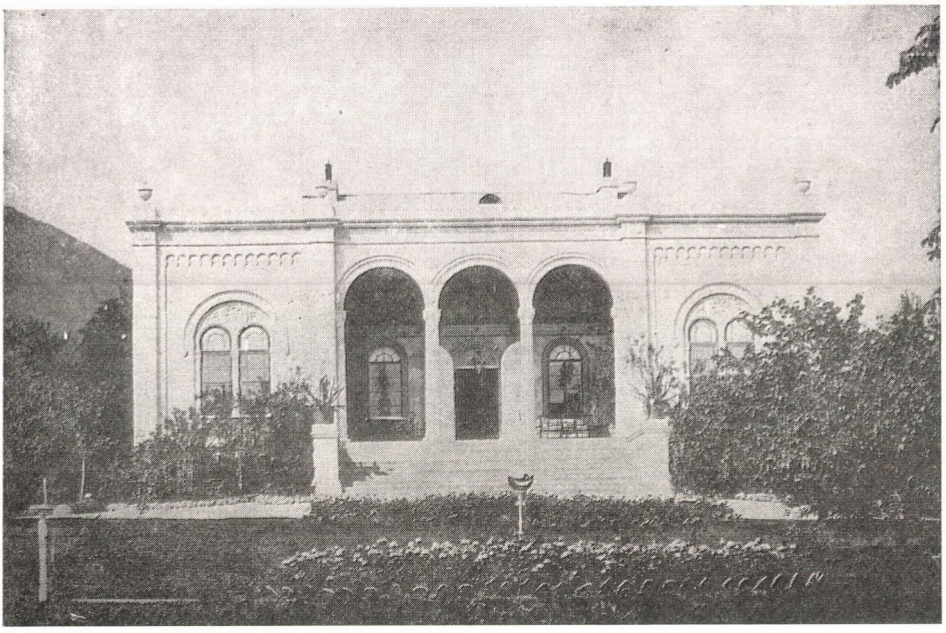
59. kép. Pécs. Sallai u. 14.



60. kép. Sopron. Lenin krt. 74.



61. kép. Sopron. Széchenyi tér 21.



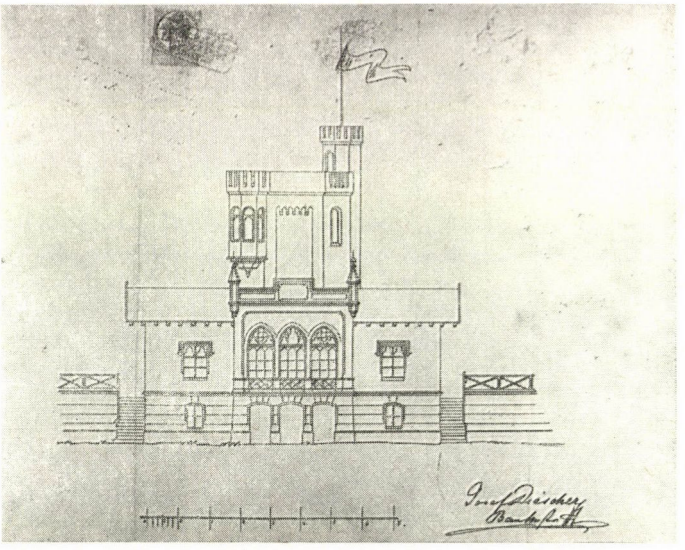
62. kép. Buda. Rósa-villa

dik.[182] – Míg vidéki városaink lakóházai, mint láttuk, a kutatás jelenlegi stádiumában csak kivételesen kapcsolhatók hiteles évszámhoz vagy mesternévhez, *Sopron*ban e tekintetben lényegesen kedvezőbb a helyzet. Középerkélyes példa a „kubusos stílus"-hoz közelálló, kétemeletes *Színház u. 8.* (1852), az ugyancsak kétemeletes *Színház u. 22.* (Handler Ferdinánd, 1852) és a hatalmas *Széchenyi tér 21.* (1857), a város egyik legjelentősebb romantikus lakóháza. A teljesség és a részletes analizis igénye nélkül kiemelendő a *Széchenyi tér 14.* (1849), *Lenin krt. 56.* (1861), *72.* (1862), *74.* (1859) és a *Színház u. 11.* (Handler József, 1854). Ez utóbbi csak a múlt század végén módosult kő tagozatokkal és keramit burkolattal, így a nyerstégla modor korai példájaként nem értékelhető.[183] Bécs közelsége, a nagy hagyománnyal rendelkező helyi építőkultúra és tehetős építtető réteg jelenléte Sopron romantikus építészetét színvonalassá és differenciálttá tette. A differenciáltság ellenére is domináló helyi jellemvonásként figyelhetjük azonban meg a (többnyire kőből faragott) tagozatok súlyosságát, Feszlre emlékeztető kubusosságát, geometrikus és éles metszésű formálását.

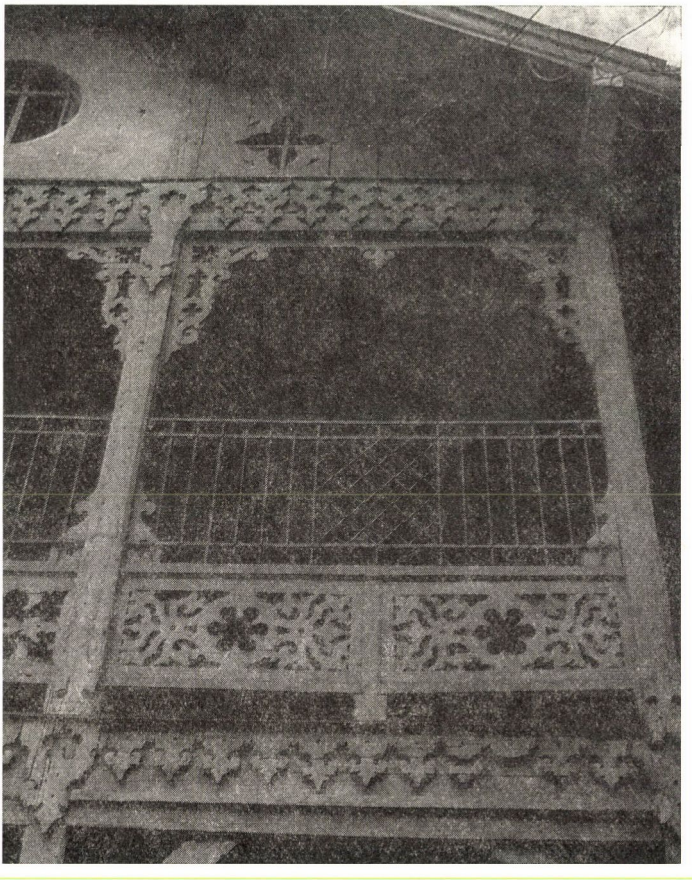
Néhány szóval említenünk kell a nagyobb városok környékét benépesítő zöldterületi villáknak, nyaralóknak az 1840-es években terjedni kezdő típusát. E típus létrejötte és milyensége sokkal jellemzőbb a korra, mint ahogy jelensé-

[182] *Genthon*, 1959. 110, 112, 113, 115.

[183] *Csatkai*, Sopron, 1956. 317, 318, 314, 315.; *Genthon*, 1959. 319, 320, 321, 314, 308, 309.; *Winkler*, 1972. 358, 357.; *Tompos E.:* Sopron romantikus épületei. MÉ. 1958. 178, 179—180.; *Zádor*, 1981. 128. kép.



63. kép. Buda.
„Repos"-villa



64. kép. Buda.
Kochmeister-villa

gének átfogó hazai feldolgozatlansága sejteni engedi.[184] Igazi jelentőségét nálunk a század utolsó harmadában éri el, ami érthető, hiszen a megerősödő polgárság életformájával függ össze. Ennek megfelelően számottevőbb polgársággal rendelkező városaink alkalmas külső területein jut nagyobb szerephez, így pl. a budai hegyvidéken, a soproni Lőverekben és nagyobb fürdőhelyeken, pl. Balatonfüreden. Igen jellemző, hogy az európai, elsősorban az angol és német párhuzamokkal ellentétben csak a műfaj honosodik meg, megvalósításának ottani módjai: kötetlen festői elrendezésű „domestic revival", aszimmetrikus tornyos „itáliai villa" (vö. Schinkel!), cottage-modor stb. szinte egyáltalán nem vernek gyökeret villa-építészetünkben. A Palladio szellemében emelt klasszicista villák emléke a romantika korában is kísért, az alaprajz gyakran alig különbözik egy klasszicista villáétól. A szimmetria gyakorlatilag soha nem hiányzik, nyilván azért is oly ritka a gótizáló villa (pl. a gótizáló, kastélyszerű *Frivaldszky-villa* Budán), és válik olykor még az ilyen is szimmetrikus elrendezésűvé, mint a középkorias hatású, marcona toronnyal uralt *svábhegyi Repos-villa* (Diescher József, 1871).[185] Szimmetriát látunk a „kubusos stílus"-hoz sorolható, Vendramin-ablakos ritka példánál, a Budakeszi út 36/b alatti *Rósa-villánál* is (valószínűleg Hild József, 1847 körül).[186] Ugyanakkor feltűnő, hogy az európai villa-építészetben kedvelt említett megoldásokkal nemegyszer találkozunk a nemesség vidéki kastélyépítészetében, ahogyan ott erre már utaltunk. Ezt érthetővé teszi, hogy a polgárosodás folyamatának kezdetben éppen ez a réteg volt bizonyos mértékig hordozója. Végül említésre méltó, hogy a faszerkezetű „svájci ház"-modort, melynek Ybl nevéhez fűződő, korai példája a *Perger-villa* (1847),[187] a Feszl-társulás nevéhez fűződő példája a *Kochmeister-villa* (1852),[188] hamar alkalmazni kezdték és sokáig kedvelt maradt.

4. EMLÉKMŰVEK STB.

Az emlékekkel, emlékművekkel kapcsolatban figyelmet érdemel az a körülmény, hogy míg általában a „Rundbogenstil" felé hajlik a közízlés, addig ezen a téren — kicsit hasonlóan a kastélyépítészethez — az ellenkező a helyzet.

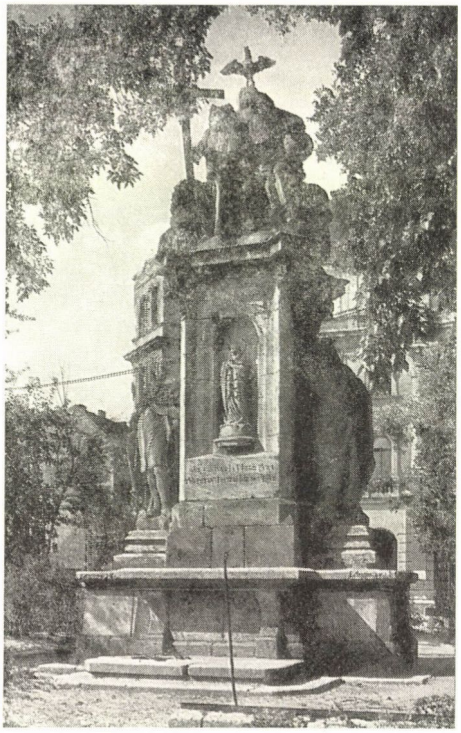
[184] A „Vorstadtvilla" általános jelentőségéről lásd pl. *Hauser, A.:* Ferdinand Stadler (1813—1870). Ein Beitrag zur Geschichte des Historismus in der Schweiz. Zürich, 1976. 238—278. — A hazai emlékek egy-egy részterületéről összefoglalóan lásd *Dr. Gárdonyi A.:* A budai hegyvidék első nyaralótelepei. TBM. II. 1933. 162—180.; *L. Gál É.:* Építészeti emlékek a budai hegyekben. MV. 1971. 28—34.; *Gál É.:* A budai hegyvidék újkori beépülésének kezdetei. „Történelmi Szemle" 1971. 515—538.; *Kubinszky M.:* A soproni Lőverekkel kapcsolatos műemlékvédelmi feladatok. In: Magyar műemlékvédelem 1973—1974. Bp. 1977. 207—214.

[185] A XII. Adonis u. 4. sz. alatti Repos-villát nem Ürményi József alnádor építette 1845 körül, ahogyan *Horler*, Budapest, 1962. 529, 530. források híján feltételezi, hanem Wagner Géza építteti 1871-ben. FL.: *BMT 1175.* (4 tervlap).

[186] *Komárik D.:* A XII. Budakeszi út 36/b. sz. ... MV. 1970. 252.; *Komárik*, 1981. 28.; Katalógus, 1981. 197. — Kivétel nélkül szimmetrikus elrendezést látunk az Országos Építési Igazgatóság alkalmazottainak felvételi vizsgarajz sorozatán is 1859-ben. OL.: *T. 73. 320/1—2, 321/1—2, 325/1—2, 326/1—2, 327/1—2, 328/1—2.*

[187] A XII. Béla király út 30. sz. alatt állott. *Ybl*, 1956. 119—120.

[188] II. Budakeszi út 71. *Horler*, Budapest, 1962. 178—179, 180.; *Komárik D.:* Bp. II. Budakeszi út 71. Bp. 1981. Kézirat a BMF. gyűjteményében. A beadványi terven azért Kauser Lipót neve szerepel, mert csak ő rendelkezett (átmenetileg, külön engedély alapján) aláírási joggal. Vö.: *Komárik*, 1971. 404.



65. kép. Buda. Zsigmond téri Szentháromság-emlék

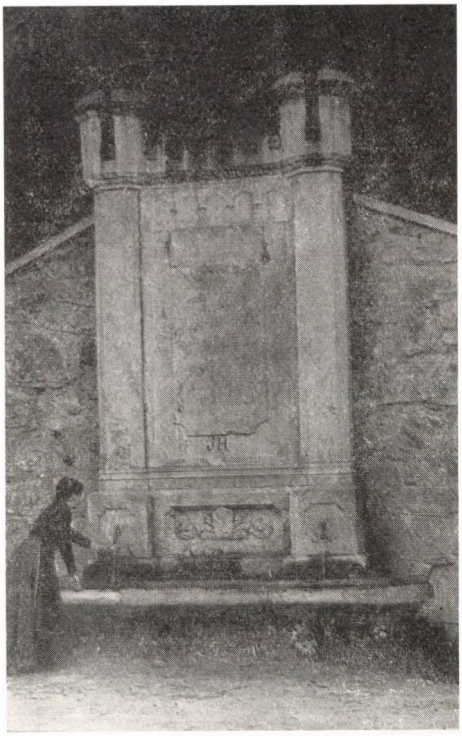


66. kép. Tahitótfalu. Pollack Mihály síremléke

Úgy látszik a gótizálást tartották kevésbé köznapinak, az emlékszerűség alkalmasabb hordozójának.

Ami az egyházi emlékek sorában az útmenti, köztéri kereszteket, szentek szobrait, temetők síremlékeit stb. illeti, hivatkozunk arra, amit a gótizáló emlékeknél mondtunk. Példaként megemlíthetjük a népies ízű *jászberényi Szent Vendel* szobor talpazatát (1866) és a *szolnoki „Szomorú Krisztus"* (vir dolorum) romantikus építményét.[189] Félköríves stílusú Szentháromság-emléket csak egyet tartunk számon, a *Bp. Zsigmond tér*it, helyesebben annak 1856-ban készült, Máltás Hugó által tervezett építészeti részét, mert szobordíszének nagy része az 1700-as évek körül készült, a budavári Szentháromság téren állott együttesből származik.[190] A síremlékek gazdag anyagából említést érdemel *Pollack Mihályé Tahitótfalu*ban öntöttvas kereszttel, Ybl Miklós műve 1857-ből és a *szarvasi Bolza-mauzóleum* centrális, kupolás építménye, Weber Antal alkotása 1870 körül. Érdekes Yblnek az a mauzóleum-terve, mely az *ösküi középkori rotunda átalakítás*át célozta az 1850-es években.[191] Erdélyből Ybl Miklós *kolozs-*

[189] *Genthon*, 1961. 139, 281.
[190] *Komárik*, 1970. 138, 139.
[191] *Ybl*, 1956. 27.; *Dercsényi*, Pest, 1958. II. 168, 169.; *Genthon*, 1959. 375. — *Zsilinszky M.*: Szarvas város történelme... Pest, 1872.; *Genthon*, 1961. 262.; — *Ybl*, 1956. 28.



67. kép. Vöröstorony. „Császárkút"

vári Bánffy-kriptáját, Bőhm János mauzóleum-terveit (1861) és Hottner Ferdinánd *Jósika-kripta* tervét (1861) említjük.[192]

Két szép világi emlék terve maradt fenn Feszl Frigyes hagyatékában, egy centrális-kupolás épület, talán a *Deák-mauzóleum*nak (1883?) szánta, és egy tömbszerű, de gazdagon tagolt, dúsan díszített emlékmű egy ismeretlen *bajor hadvezér tiszteletére*. Ismerjük Feszlnek három szép köztéri *kúttervét*, melyeket a fővárosba szánt, nem tudjuk megbízásból-e vagy kedvtelésből készítette ezeket.[193] Nem díszítő célra, hanem használatra szánták azt a kutat, melynek nyolcszögű, romantikus *kútfoglaló épülete a cserépváraljai* (Borsod-Abaúj-Zemplén m.) kastéllyal szemben áll és a *vöröstornyi* (Szeben vm.) szorosban elhelyezett „*Császárkút*"-at.[194]

Az ideiglenes jellegű alkalmi díszépítmények közül ide sorolhatjuk az *1857-es királylátogatási* emlékek közül azt a két barokkos talpazaton álló obeliszket, mely a Lánchíd budai hídfőjénél állott (Máltás), az óbudai hajógyár területén emelt egyik diadalívet (Prokopp János)[195] és az *1867-es koronázási domb* építészeti részét Feszl Frigyestől.[196]

[192] *B. Nagy M.*, 1977. 88.
[193] OL.: *T. 11. No. 3/b: 48, 15, 13.*
[194] *Genthon*, 1961. 51. — Az OMF fotóarchivumában levő kép alapján („Császárkút").
[195] *Prokopp Gy.* 99/a. jegyzetben i. m. 139, 145.
[196] *Komárik*, 1971. 138, 139—140. — VU. 1867. 205.

Befejezésül itt említjük meg a sehova sem sorolható, romantikus műformát nem mutató, de sajátos, csillagszerű alaprajzával, egész mivoltával a romantikához tartozó, igen korai *balatonszentgyörgyi „Csillagvár"*-at, mely vadászháznak épült, s eredetileg középtornyos volt (Kehrn Vilmos, 1820–23).[197]

Rövidítések:

Barát, 1902. = Barát, Á.: Die königliche Freistadt Temesvár. Uo. 1902.
BMF. = Budapesti Műemléki Felügyelőség.
Borovszky, [vármegye, évszám] = Magyarország vármegyéi és városai c. sorozat kötetei.
Csánki, Somogy, 1914. = L.: Borovszkynál. A Somogy megyei kötet.
Csatkai, Sopron, 1956. = Csatkai E. és mások: Sopron és környéke műemlékei. II. kiadás. Bp. 1956.
Dercsényi, Pest, 1958. = Dercsényi D. (szerk.): Pest megye műemlékei. Bp. 1958.
ÉÉT. = „Építés- Építészettudomány"
FL. = Budapest Főváros Levéltára.
Fodor, 1955. = Fodor F.: Az Institutum Geometricum ... Bp. 1955.
Genthon, 1959. = Genthon I.: Magyarország művészeti emlékei, 1. Bp, 1959.
Genthon, 1961. = Genthon I.: Magyarország művészeti emlékei, 2. Bp. 1961.
Genthon, Nógrád, 1954. = Genthon I. és mások: Nógrád megye műemlékei. Bp. 1954.
Heller–Vajda, 1968. = Heller J.–Vajda Zs.: A magyarországi zsinagógák albuma. New York, 1968.
Horler, Budapest, 1955. = Horler M. és mások: Budapest műemlékei, I. Bp. 1955.
Horler, Budapest, 1962. = Horler M. és mások: Budapest műemlékei, II. Bp. 1962.
Hunfalvy, I–III, 1859, 60, 63. = Hunfalvy J.: Magyarország és Erdély eredeti képekben. Rajzolta Rohbock L. I–III. Darmstadt, 1859, 60, 63.
Katalógus, 1981. = Művészet Magyarországon, 1830–1870. Bp. 1981. Kiállítási katalógus.
Komárik, 1970. = Komárik D.: Máltás Hugó, 1829–1922. ÉÉT. 1970. 111–171.
Komárik, 1971. = Komárik D.: Építészképzés és mesterfelvétel a XIX. században. Pesti mesterek és mesterjelöltek. ÉÉT. 1971. 379–418.
Komárik, 1981. = Komárik D.: Egy sajátos tendencia a romantika korának építészetében. (Az ún. kubusos stílus kérdése). In: Katalógus, 1981. 24–30.
Kováts, 1942. = Dr. Kováts J. I. (szerk.): Magyar református templomok. Bp. 1942.
Kubinyi–Vahot, I–IV, 1853–54. = Kubinyi F.–Vahot I. (szerk.): Magyarország és Erdély képekben, I–IV. Pest, 1853–54.
Lukáčova, 1972/74. = Lukáčova, E.: Vývin architekturý na Slovensku v rokoch 1848–1890. „Ars" 1972–74. 97–143.
Lyka, 1942. = Lyka K.: Nemzeti romantika. Bp. 1942.
MÉ. = „Művészettörténeti Értesítő"
MV. = „Műemlékvédelem"
B. Nagy M., 1977. = B. Nagy M.: Stílusok, művek, mesterek. Bukarest, 1977.
OL. = Magyar Országos Levéltár.
OMF. = Országos Műemléki Felügyelőség.
Ortvay, 1905. = Dr. Ortvay T.: Pozsony város utcái és terei. Uo. 1905.
Rados, 1958. = Rados J.: Hild József. Bp. 1958.
Schematismus, [egyházmegye, évszám] = Egyházmegyei schematismusok.
Sisa, 1980. = Sisa J.: Adalékok a magyarországi romantikus kastélyépítészethez. „Ars Hungarica" 1980. 103–125.
TBM. [kötet, évszám] = Tanulmányok Budapest múltjából c. sorozat.
VU. = „Vasárnapi Újság"
Winkler, 1972. = Winkler G.: Soproni műemlékek építési idejére vonatkozó adatok. „Soproni Szemle" 1972. 357–358.
Ybl, 1956. = Ybl E.: Ybl Miklós. Bp. 1956.

[197] *Móricz B.*: A balatonszentgyörgyi „Csillagvár" építéstörténete. MV. 1960. 82–89.

Zádor, 1981. = Zádor A.: A klasszicizmus és a romantika építészete Magyarországon. Bp. 1981.
Zakariás, 1961. = Zakariás G. S.: Budapest. Bp. 1961.

Az Országos Levéltár fondjelzeteinek feloldása:
T.11. = Feszl hagyaték.
T.14. = Tervek a Kereskedelmi Minisztérium anyagából.
T.73. = Abszolutizmuskori levéltárból kiemelt tervek.

A képek közül a 20, 45, 46, 58, 59, 64. sz. Bibó István, a 39, sz. Komárik György, a 27. sz. Sebestyén József, a 32, 49, 50, 60, 61. sz. Sisa József, a 2, 19, 55, 56. sz. Szilágyi Edit, a 17, 23, 66. a szerző felvétele.

Dr. BIBÓ ISTVÁN

AZ EGYKORI KÁROLYI-PALOTA (BP. V. KÁROLYI MIHÁLY U. 16.) ÉPÍTÉSÉNEK TÖRTÉNETE

1. BEVEZETÉS

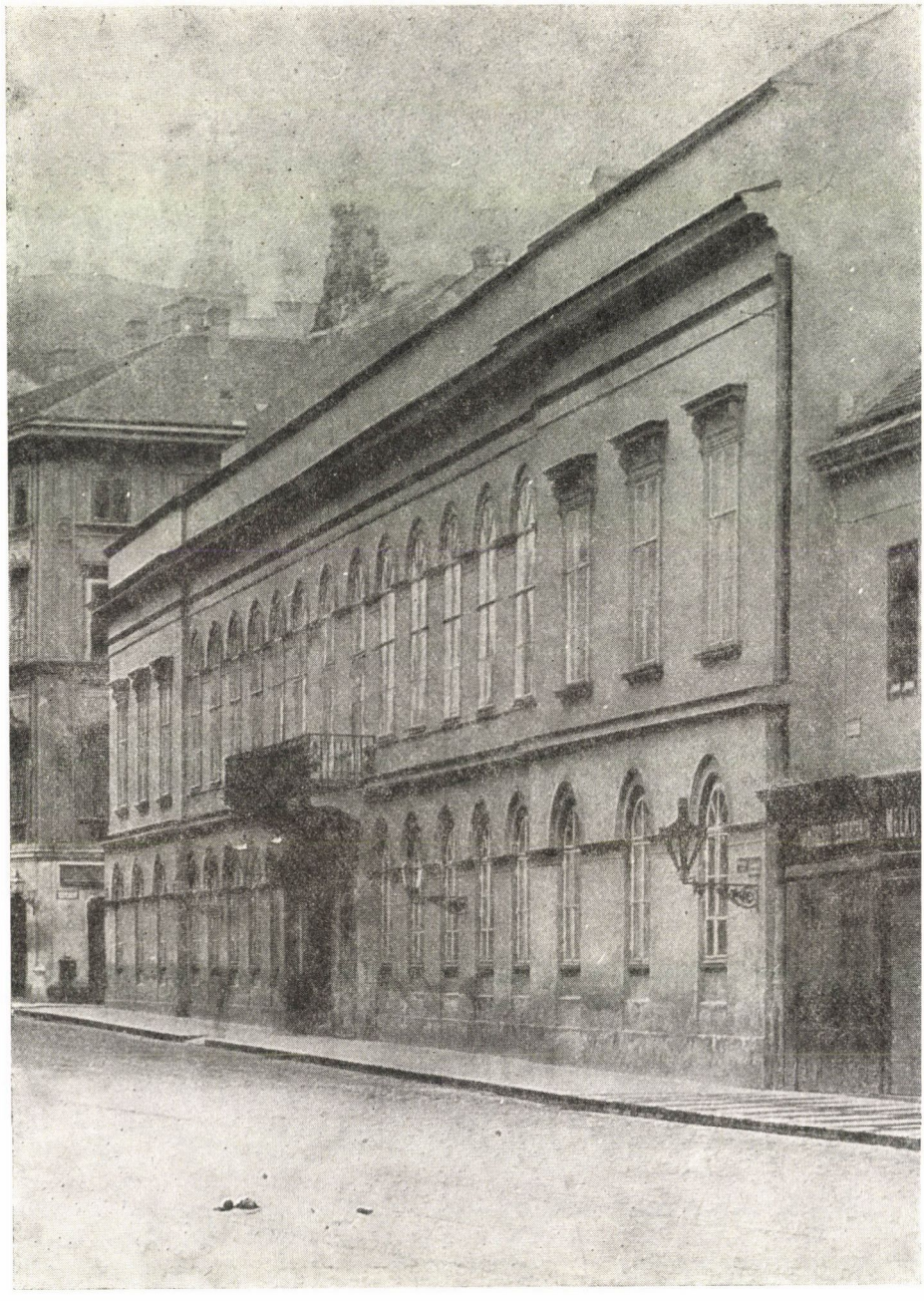
Az egykori Károlyi-palota — ma Petőfi Irodalmi Múzeum — régi épületének művészi értéke különösen mai, megváltozott környezetében tűnik szembe: a kissé talán egyhangú, de nemes architektúrájú és jó arányú épület a szomszédságában levő századvégi és modern bérházak és egyéb épületek között jóleső, szemet pihentető benyomást tesz. Városképi jelentősége elsősorban központi elhelyezkedéséből adódik: nyugodt hatású architektúrája több utca, illetve tér felől is meghatározza vagy befolyásolja az utcaképet. Közel 300 év városfejlődésének tanúja és ittmaradt emléke; másfél évszázad óta lényegében változatlanul, akkor kialakított klasszicista formáját őrizve áll fenn. Kastélyszerű megjelenésével a XVIII. század óta egyedül áll Pesten, pontosabban Pest belvárosában, a hozzá tartozó kert, illetve közpark pedig — műemléki és környezetvédelmi szempontból egyaránt — nagyobb jelentőségű az egyre romló levegőjű Budapest számára, mint az elmúlt két évszázadban bármikor. Maga a palota nemegyszer volt országos jelentőségű történeti és művelődéstörténeti események színtere, s így a XIX. század végétől kezdve nem is kerülte el a történészek érdeklődését. 1897-ben Éble Gábor, 1933-ban Révhelyi Elemér publikált monografikus igényű tanulmányt az épületről: az előbbi inkább történeti-művelődéstörténeti szempontból, az utóbbi elsősorban építéstörténeti érdeklődéssel tárgyalta a palotát.[1] Révhelyi alapos monográfiája a legrészletesebben az épület XVIII. századi történetével foglalkozott, ezért kutatásunkat először főleg a palota XIX—XX. századi sorsára terjesztettük ki, hogy ezzel a Révhelyi által vázlatosabban megrajzolt későbbi időszak képét kiegé-

A jegyzetekben használt rövidítések

OL	Országos Levéltár
BFL	Budapesti Főváros Levéltára
Tervtár	Budapest Főváros Tanácsa VB. Városrendezési és Építészeti Főosztály tervtára
Rómer	Rómer Flóris: A régi Pest. Bp. 1873.
Éble	Éble Gábor: A Károlyi grófok nagykárolyi várkastélya és pesti palotája. Bp. 1897.
Révhelyi	Révhelyi Elemér: Az Egyetem-utcai volt Károlyi-palota építésének története. Tanulmányok Budapest Múltjából, II. 11. 1933. — p. 87—103.

Az itt fel nem sorolt egyéb betű- és számjelzések az idézett forrásanyag gyűjteményi jelzetét jelentik.

[1] *Éble Gábor:* A Károlyi grófok nagykárolyi várkastélya és pesti palotája. Bp. 1897. (a továbbiakban: Éble) — *Révhelyi (Réh) Elemér:* Az Egyetem-utcai volt Károlyi-palota építésének története. Tanulmányok Budapest Múltjából, II—1933, 87—103. (a továbbiakban: Révhelyi).



1. kép. A palota főhomlokzata a XIX. század végén

szíthessük. Munkánk során azonban az építéstörténet XVIII. századi részeihez is találtunk új adatokat, s ezeket — mivel Révhelyi megállapításait néhol módosítják, kiegészítik vagy cáfolják — szintén feldolgoztuk. A palota építéstörténetét tehát az okleveles adatokkal elérhető legkorábbi időponttól kezdve napjainkig tekintjük át.

2. AZ ÉPÜLET LEÍRÁSA

Külső

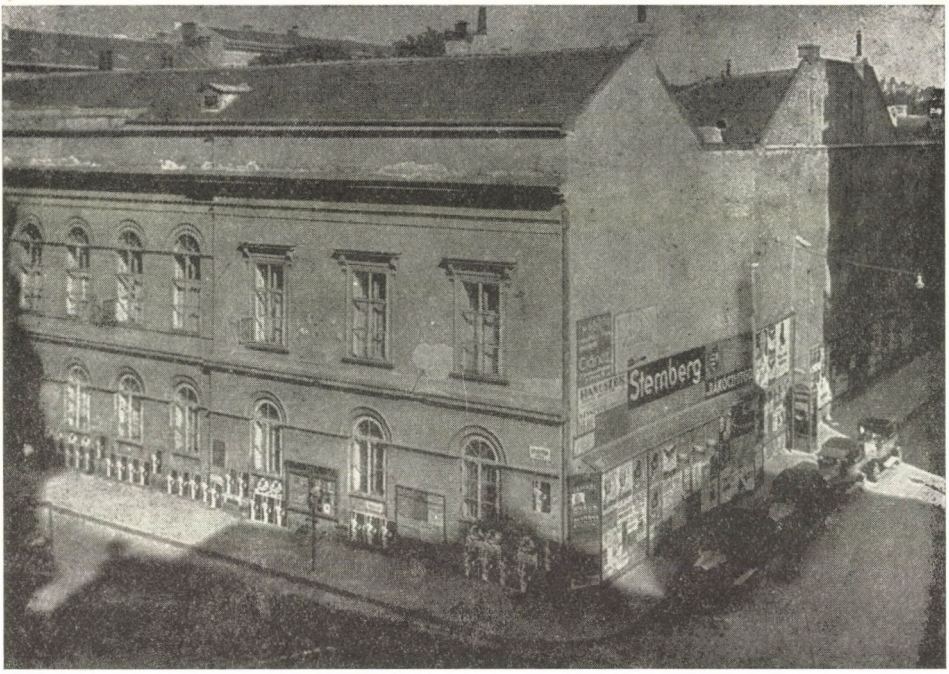
Szabadonálló, U-alaprajzú, klasszicista stílusban átépített és kibővített egyemeletes barokk palota. Három utcára néző főhomlokzata a Károlyi Mihály utcára, két oldalhomlokzata a Ferenczy István, illetve a Henszlmann Imre utcára néz; két oldalszárnya tágas udvart fog közre. A mögötte elterülő park, az egykori Károlyi-kert, mely eredetileg szintén az épülethez tartozott, 1928 óta közterület.

A Károlyi Mihály utcai főhomlokzat 19 tengelyes; 3 + 5 + 3 + 5 + 3 beosztásban középrizalit és két oldalrizalit tagolja. A középrészen elhelyezkedő háromtengelyes kapuzat egy kocsibehajtó főkapuból és két oldalbejáratból áll, felette az emeleten kőkonzolos erkély helyezkedik el. Mind a földszinten, mind az emeleten vállpárkányos-ívezetes architektúra húzódik, kivéve a középrizalit földszintjén a kapunyílásokat és az oldalrizalitok emeleti ablakait: ezek egyenes záródásúak, konzolos szemöldökpárkánnyal. A földszint felett egyszerű osztópárkány, az I. emelet felett három tagú koronázópárkány húzódik sima függőlemezzel; efölött összefüggően végigfutó attika következik, a középső kilenc tengely fölött lépcsősen kiemelkedő résszel, melynek közepén 1950-ig a Károlyi-címer zárta a homlokzatot (1—6. kép).

Az északi, Ferenczy István utcai oldalhomlokzat 23 tengelyes. A saroktól számított 11 tengelyes, 3 + 5 + 3 beosztású szakaszon a főhomlokzatéval azonos elemekből képzett, azzal azonos jellegű architektúra húzódik: a földszint vállpárkányos-ívezetes kiképzésű, az emeleten egyenes szemöldökpárkányú (a rizalitokban konzolos) ablakok sorakoznak; az attikás zárópárkány a főhomlokzatéval azonos. A hátsó 12 tengelyes, alacsonyabb párkánymagasságú és egyszerűbb kiképzésű rész földszintjén szintén félköríves (de ívezetes szemöldökpárkány nélküli) ablakok, az I. emeleten egyenes szemöldökpárkányúak húzódnak, felettük egytagú zárópárkány. Balról, a hátsó zárófaltól számított 7. tengelyben két toszkán pilasztertől közrefogva egyenes zárású kocsibehajtó-kapu nyílik.

A déli, Henszlmann Imre utcai oldalhomlokzat 18 tengelyes, a saroktól számítva 1 + 6 + 1 + 9 + 1 beosztással, az egy tengelyes rizalitok emeleti részén hármas ikerablakokkal. A földszinti nyílások ívezetes-vállpárkányos kiképzésűek, az emeleten összefüggő könyöklőpárkányon egyenes szemöldökpárkányú ablakok sora húzódik. Egytagú zárópárkány s a rizalitokban attika koronázza az architektúrát, mely 1935—38-ban készült Wälder Gyula terve szerint, a másik két homlokzat elemeiből, azokhoz illeszkedő stílusban[2] (3. kép).

[2] Tervtár, az épület helyrajzi száma szerint (24166) őrzött tervcsomóban az átalakítás tervei és használati engedélye (318538/1935—III. és 28498/1938—IV. ker.)



2. *kép.* A főhomlokzat részlete és a déli oldalhomlokzat 1930 körül

Az oldalszárnyak zárófalán s udvari homlokzatukon az utcai homlokzatokénál egyszerűbb, de azzal azonos elemekből képzett architektúra húzódik: a földszinten fékörívcs zárású, vállpárkánnyal összekapcsolt nyílások, az osztó- és könyöklőpárkánnyal elválasztott emeleten pedig tagolt keretű, egyenes szemöldökpárkányú ablakok, legfelül egytagú zárópárkány (8. kép).

A főszárny 11 tengelyes udvari homlokzata gazdagabb kialakítású, 1 + 3 + + 3 + 3 + 1 beosztással. Háromtengelyes középrészét erkélyes, timpanonos rizalit emeli ki, földszintjén a kapucsarnok egyenes zárású nyílásaival, emeletén ívezetes-vállpárkányos erkélyajtókkal. 3—3 tengelyes két oldalrészét a földszinten ívezetes-vállpárkányos architektúra, az emeleten pedig klasszicista hármasablakok gazdagítják; háromtagú zárópárkánya fölött a timpanontól jobbra és balra alacsony attika húzódik (7. kép).

Az udvar és a vele összefüggő egykori Károlyi-kert mai, ideiglenes állapotában részben játszótór (a Magyar utca felőli oldalon), részben a Metró-építkezés felvonulási területe (középső rész, a szárnyak által közrefogott udvaron is), legbelül pedig a palotában folyó belső munkálatok (zárófödémcsere) felvonulási területe. Fái megvannak, rendezett park-jellege azonban megszűnt.

Belső

A palota Károlyi Mihály utcai főszárnya három menetes: az utcai és az udvari helyiségsor között két lépcsőház, valamint a földszinten folyosó, az emeleten a főlépcsőházhoz csatlakozó előterek húzódnak, részben felülvilágítós, részben

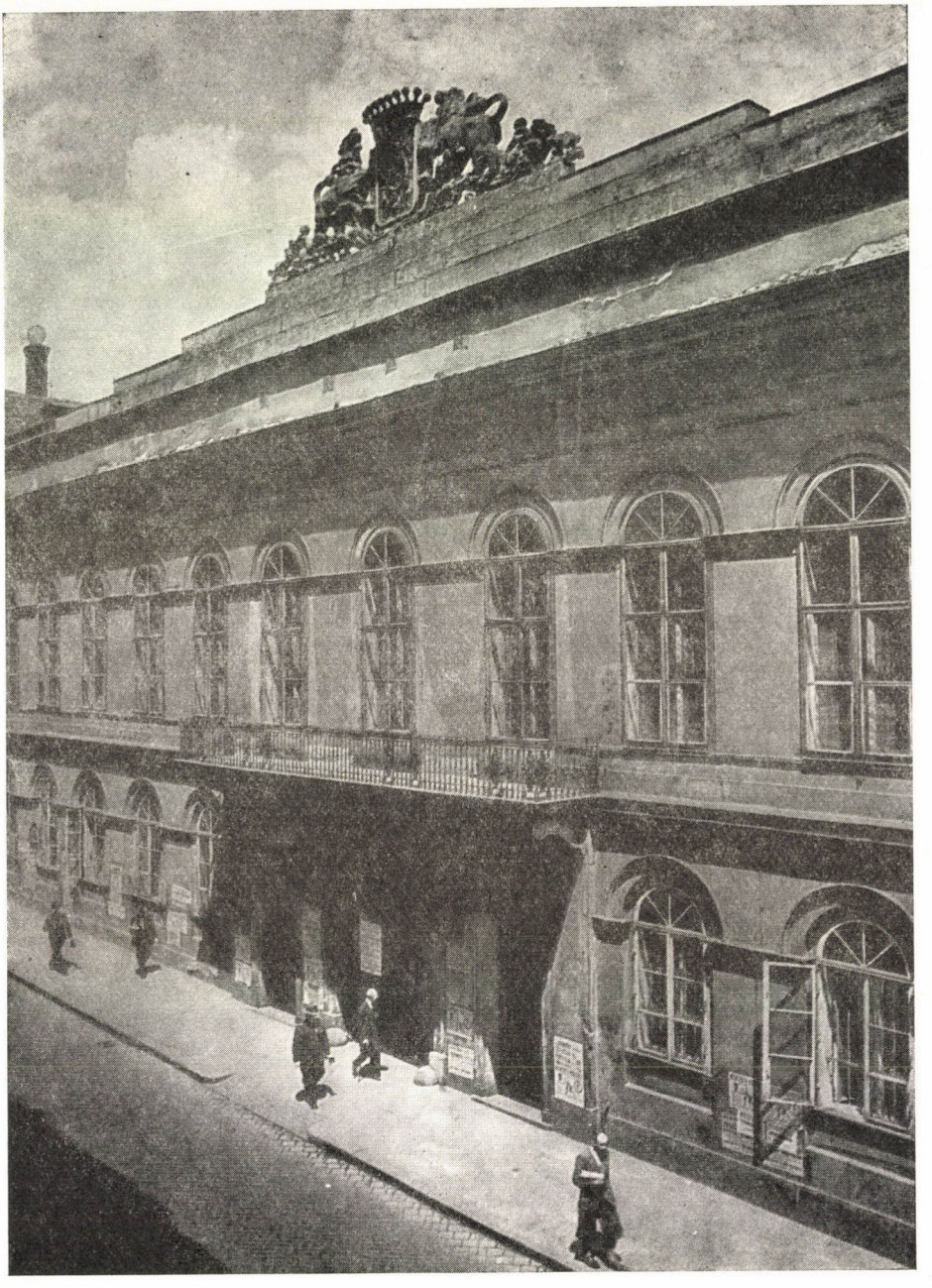


3. kép. A palota képe 1940 körül

légudvari megvilágítással. A két oldalszárnynak a főszárnyhoz csatlakozó keskenyebb részén utcára néző helyiségek és udvari folyosó, kiszélesedő hátsó részén utcai és udvari helyiségsor húzódik, hosszabb-rövidebb szakaszon utólag kialakított középfolyosóval.

A főbejáraton át tágas, háromhajós elrendezésű kapucsarnokba jutunk (9. kép). Innen jobbra nyílik a főlépcsőház (10—12. kép), előtte pedig jobbra és balra a főszárny utcai és udvari traktusa között vezető folyosó. A kapualjat lapos szegmensíves donga, illetve csehsüvegboltozat, az utcai főszárnybeli helyiségeket kolostorboltozat fedi; a többi helyiséget későbarokk és klasszicista csehsüvegboltozatok, szegmensíves donga vagy későbbi síkmennyezet.

A főlépcsőház mellett a főszárny középső traktusában egykarú félköríves klasszicista melléklépcsőház helyezkedik el (13. kép), s hasonló lépcsőház tartozik az északi szárnyban nyíló mellékbejárat kapualjához is. Ezenkívül az épületben még két — utólag kialakított — lépcső található: egy a főszárny északi udvari részén, s egy a déli szárny közepén. Az emeleti helyiségek közül csak a főszárnyban levők őrzik — több-kevesebb változtatással — eredeti belső architektúrájukat; az oldalszárnyakban levőket a többszörös átalakítások teljesen megváltoztatták. A Károlyi Mihály utcára néző I. emeleti teremsort gazdag klasszicista kiképzés díszíti (14—15. kép), kivéve az északi sarokszobát s a hozzá csatlakozó Ferenczy István utcai termet, melyekben utóbb átalakított későbarokk fal- és mennyezetdíszítést találunk. A főlépcsőházhoz csatlakozó előterek korai (1840 körüli) szárazabb neoreneszánsz ízű kiképzést mutatnak, míg az udvari helyiségek legdíszesebbje, a könyvtárterem ismét gazdag klasz-



4. kép. A főhomlokzat 1940 körül



5. kép. A főhomlokzat 1975-ben

szicista kialakítású. Említésre érdemes még a főszárnyból az északi szárnyba vezető folyosó induló szakasza, melyet egykor házikápolnának használtak; ennek ablakait, ajtóit és mennyezetét gazdag eklektikus-neoreneszánsz faburkolat díszíti. Az oldalszárnyak többszörösen átalakított helyiségei jellegtelenek.

* * *

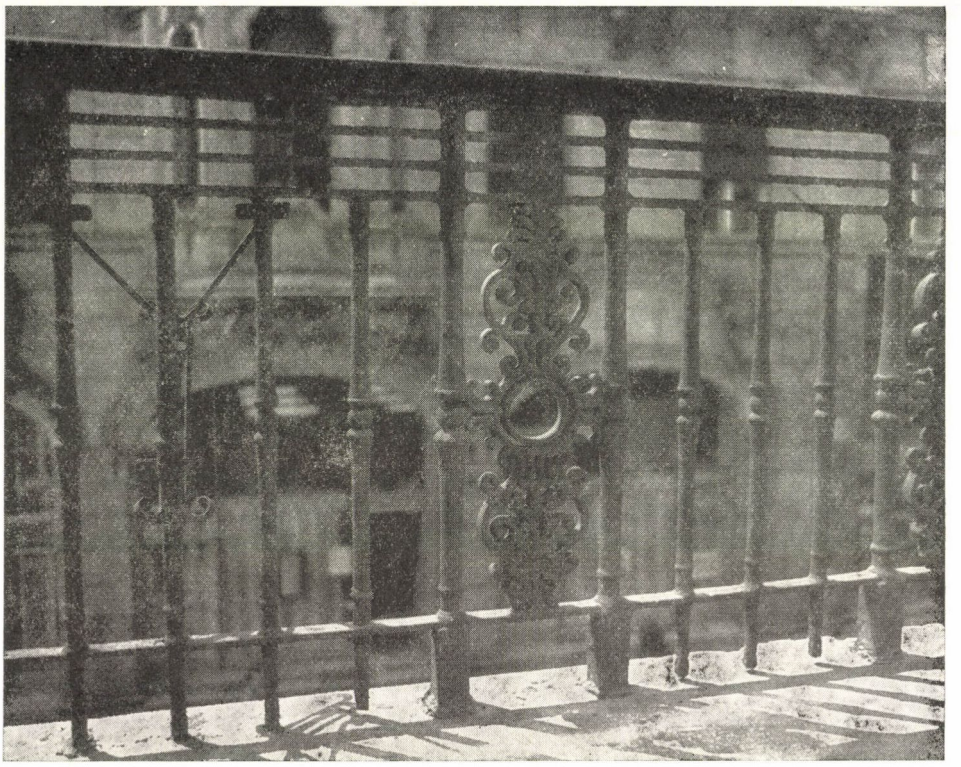
A palota nagyobb részét ma a Petőfi Irodalmi Múzeum helyiségei foglalják el: a földszinten raktárak, irodák, konyha és ebédlő, az emeleten kiállítóhelyiségek, könyvtár és irodák találhatók. A földszinten néhány helyiség a Budapesti Történeti Múzeumé és a Nemzeti Múzeumé; ezenkívül egy műterem, egy bérelt műhely és néhány lakás is található az épületben.

3. AZ ÉPÜLET TÖRTÉNETE

A) *A telek kialakulása és tulajdonosai napjainkig*

A palota telkének történetét Pestnek a török alól való felszabadulásáig tudjuk okleveles adatok alapján visszakövetni. Az 1688-ban felvett első pesti telekösszeírásban, az ún. „Zaiger"-ben 23—26. telekszámmal jelölve, négy telekként szerepel.[3] Első tulajdonosa Stephan von Werlein báró, Pest és Buda

[3] BFL, Pesti belvárosi telekkönyvek, I. kötet (Zaiger), No. 23—26, és *Nagy Lajos:* Pest város XVII. század végi topográfiájának forrásai. Tanulmányok Budapest Múltjából, XIV. Bp. 1961. 161—212.



6. kép. A főbejárat feletti erkély rácsa, 1975

kamarai adminisztrátora volt, s valószínűleg ő egyesítette a négy telket egyetlen ingatlanná. Tőle fia, Edmund Werlein örökölte, s ő adta el 1694-ben Nikolaus Wilfersheim (akkori írásmód szerint Wilfershaimb) cs. kir. élelmezési biztosnak 150 forintért.[4] Wilfersheim örököseitől 1744-ben Patachich Gábor kalocsai érsek vette meg.[5] Az új tulajdonos azonban a vétel után egy évvel meghalt, s két fivére, akik az akkor már városi palotává kiépített ingatlant örökölték, 1747-ben eladták Barkóczy Ferenc egri püspöknek, a későbbi esztergomi érseknek.[6] Barkóczy 1765-ben meghalt, s végrendeletében a palotát öccsére, Barkóczy János Szabolcs megyei főispánra hagyta, aki nővérének, Szirmay Tamásnénak bocsátotta rendelkezésére; utóbbi pedig 1768-ban egy évre Beleznay Miklós tábornoknak adta bérbe.[7]

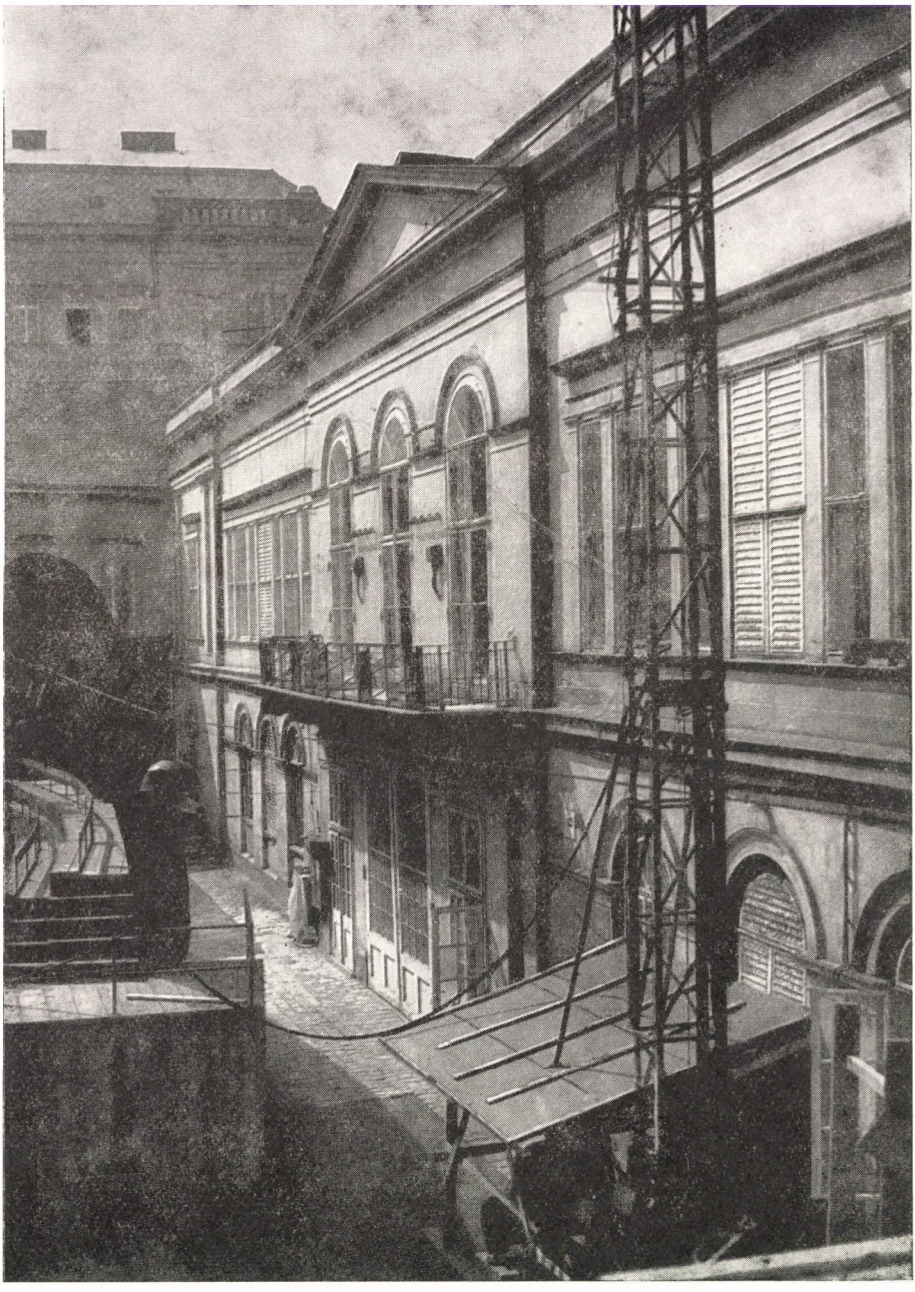
Barkóczy János azonban még a bérlet ideje alatt, 1768. november 5-én adásvételi szerződést kötött Károlyi Antal Szatmár megyei főispánnal, melynek

[4] BFL, Pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1694—1718, fol. 1/c. — *Rómer*, 118. — *Révhelyi*, 88.

[5] BFL, pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1718—1750, fol. 342. (tévesen 242-nek számozva). — *Rómer*, 119. — *Révhelyi*, 88.

[6] BFL, Pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1718—1750, fol. 413.

[7] *Révhelyi*, 90.



7. *kép.* A Károlyi Mihály utcai szárny udvari homlokzata



8. kép. Az udvar képe a déli oldalszárnnyal 1937-ben

értelmében Károlyi megvette az ingatlant 33 000 forintért.[8] A hivatalos átírás és a teleklevél kiadása a pesti tanács részéről 1769. január 17-i kelettel történt meg, a Beleznay-féle bérlet lejárta után.[9] Ekkor került a palota ténylegesen is a Károlyi-család tulajdonába.

Károlyi Antal 1791-ben bekövetkezett halála után fia, József örökölte a palotát, majd az ő halála (1803) után kiskorú gyermekei, István, Lajos és György, akiknek nagykorúságáig a Károlyi-birtokok igazgatását gyámjuk, Keglevich Ágoston (özv. Károlyi Józsefné második férje) intézte.[10]

1827-ben a három Károlyi-fiú az addig osztatlan birtokot egymás között felosztotta.[11] A pesti palota Károlyi Lajosnak jutott, akitől 1831-ben testvére, Károlyi György vette meg.[12] Ő haláláig, 1877-ig birtokolta a palotát, mely ezután a „gróf Károlyi György féle hitbizomány" részeként lett az örökösöké,[13] s így volt tulajdonosa Károlyi Mihály is első emigrációjáig, amikor vagyonával együtt a palotát is zár alá vették. 1928-ban Budapest Székesfőváros vette meg képtár és kiállítás céljára, s itt nyílt meg 1932-ben a Fővárosi Képtár kiállítása.

[8] OL, P. 392. (Károlyi nemzetség levéltára, törzsanyag), Lad. 42, No. 128.
[9] *Révhelyi*, 90. — OL, P. 392. Lad. 42, No. 131. — BFL, Pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1750—1779, fol. 183.
[10] *Bakács István:* A Károlyi-család nemzetségi és fóti levéltára. (Repertórium). Levéltári leltárak, 33. LOK, Bp. 1965. (Kézirat, sokszorosítás), 5—6.
[11] Uo.
[12] BFL, Pesti telekátírási jegyzőkönyvek, 1831—1834, p. 181—182. — OL, P. 414. (Károlyi György iratai), Lad. 5, No. 114, 116.
[13] *Révhelyi*, 102.

1946-ban Károlyi Mihály visszakapott palotáját közművelődési célra az államnak adományozta,[14] s így a Fővárosi Képtár továbbra is folyamatosan használta. 1957-től a Petőfi Irodalmi Múzeum épülete.

B) *Az építkezések története*

1688-ban az épület helyén akkor volt négy telek közül a Zaiger tanúsága szerint kettőn régi falak, egyen kifejezetten jó állapotú régi falak álltak, egy pedig teljesen üres telek volt.[15] Werleint, aki mindkét városban maga intézte a telkek kiosztását, illetve eladását, nyilván nemcsak a négy telek központi fekvése, hanem az új építkezéshez — ha másképp nem, helyben levő építőanyagként — felhasználható régi falak is befolyásolták abban, hogy ezeket a maga számára tartotta fenn. A telkek egyesítése mellett valamilyen mértékű építkezést biztosan végeztetett is, mert 1694-ben, amikor fia eladta az ingatlant Wilfersheimnek, a teleklevélben „tetővel ellátott régi falak"-ból álló bekerített házról van szó, mely az ugyanekkor felfektetett második pesti telekkönyvben már egyetlen, lényegében a maival azonos méretű ingatlanként szerepel.[16] Valószínűnek tarthatjuk tehát, hogy Werlein a használható részeket tetővel látta el, az egész területet bekeríttette, s a nagyobb építkezést csak gyors halála akadályozta meg. Az új tulajdonos, Wilfersheim viszont hamarosan építkezésbe fogott: a régi épületet lebontatta, s Kalcher Márton építőmesterrel tágas és elegáns, 18 helyiségből álló emeletes házat építtetett, mely 1696-ban szinte teljesen készen állott.[17]

Erről az épületről közelebbi adataink nincsenek. Révhelyi szerint valószínűleg „még a XVII. század ízlésének megfelelően, de már elég díszesen és kényelmes elosztással épülhetett"; sajnos, az egykorú városleírások nem említik.[18]

Wilfersheim örökösei, akik már nem tartózkodtak Pesten, megbízottjuk útján 1744-ben 11 000 forintért adták el a házat Patachich Gábornak; kár, hogy a teleklevél magáról az épületről semmi közelebbit nem mond.[19] Révhelyi szerint „változtatás a palotán alig történhetett, mert Patachich érsek már a következő évben, 1745. december 5-én meghalt, s nem sokkal később, 1747. augusztus 25-én fivérei el is adták azt gróf Barkóczy Ferenc, akkor még egri püspöknek. Az eladási ár ugyan jóval drágább volt, mert Barkóczy 18 000 forintot fizetett érte, de ezt a rohamosan megindult városfejlődés következtében beállott ingatlanértékek emelkedésével magyarázhatjuk".[20] Barkóczy „bi-

[14] Emléktábla a kapualjban — *Lestyán Sándor:* Az Egyetem utcai Károlyi-palota történelmi emlékei. Budapest, II. évf. 1946. 212—215.

[15] BFL, Pesti belvárosi telekkönyvek, I. (Zaiger), 23—26. telekszám.

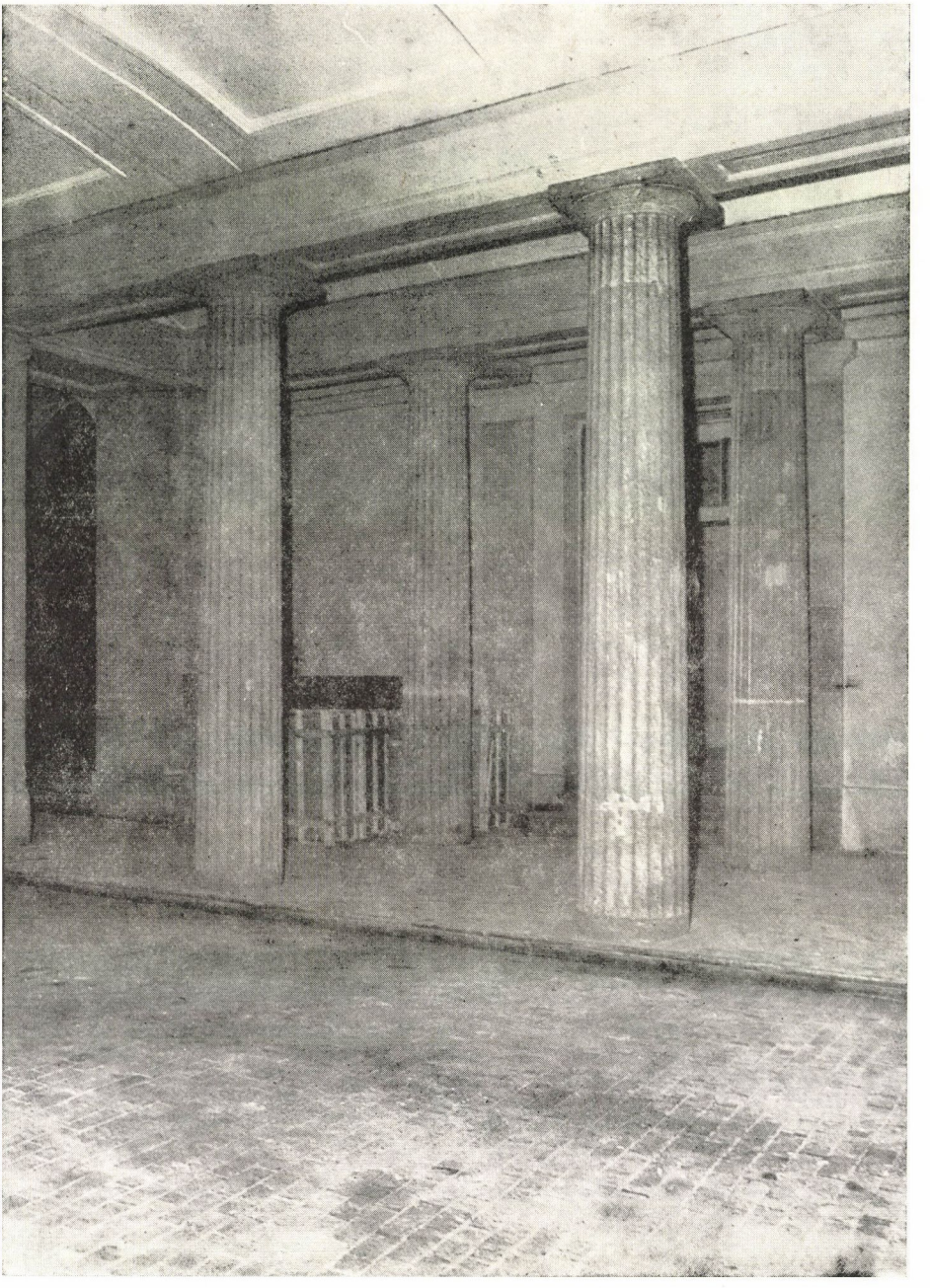
[16] BFL, Pesti belvárosi telekkönyvek, II, No. 24. — Pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1694—1718, fol. 1/c.

[17] Kalcher Márton stájerországi származású építőmester, Pest városának második bejegyzett polgára, tanácsosa és a budai kőműves-kőfaragó céh alapító tagja volt. Wilfersheim palotájának építőjeként Révhelyi nevezi meg (88.) a BFL pesti tanácsülési jegyzőkönyvének 1696. május 4-i bejegyzése alapján. A házat az 1696. évi pesti adóösszeírás „Domus ampla et elegans . . . structura constituta duarum contignationum cum cubiculis 18 nedum perfecta"-ként tünteti fel (idézi *Nagy Lajos* i. m. 175.)

[18] *Révhelyi*, 88.

[19] BFL, Pesti belvárosi teleklevelek jegyzőkönyve, 1718—1750, fol. 342—343. (tévesen 242—243-nak írva).

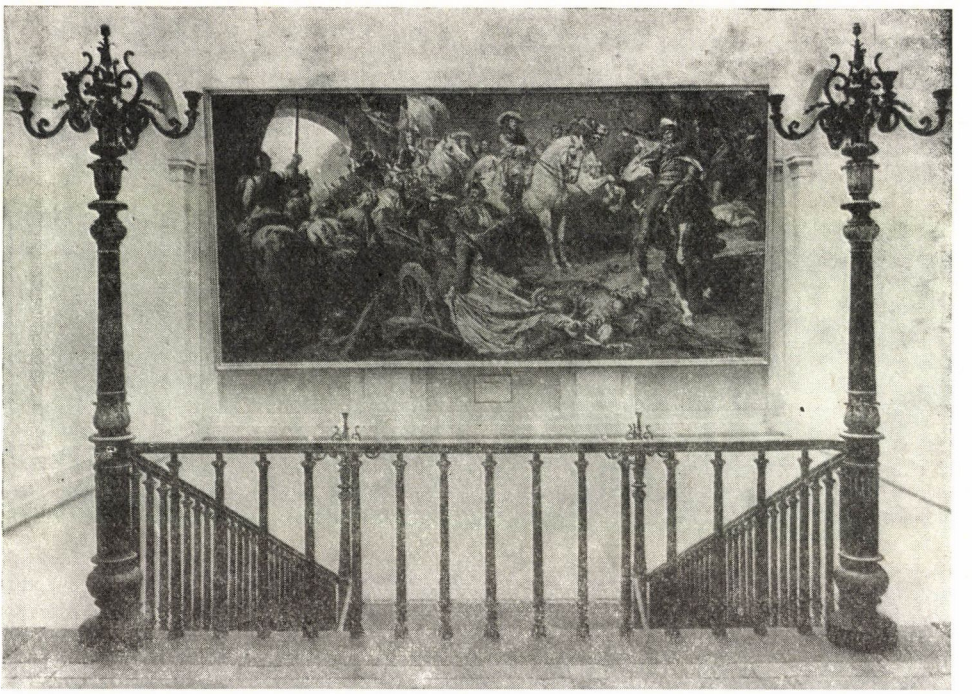
[20] *Révhelyi*, 88.



9. kép. A kapualj részlete



10. kép. A főlépcsőház 1900 körül



11. kép. A főlépcsőház 1938 körül

zonyára nagy pompával rendezkedett be, s így lett e palota a város legelőkelőbb épülete, mely a Pestet látogató királyné tetszését is megnyerte". 1751-ben, amikor Mária Terézia férjével, Lotharingiai Ferenccel együtt hajón érkezett Pestre, s Barkóczy palotájában szállt meg.[21]

A püspök 1759 tavaszán Mayerhoffer Andrást bízta meg a palota átalakításával.[22] Az erre vonatkozó adaton túl azonban magáról az építkezésről semmit sem tudunk, s az átalakított épület új formájára is csak a későbbi felmérésekből és tervekből következtethetünk. 1768-ban, amikor az érsek örököse Károlyi Antalnak eladta a palotát, készült egy vázlatos telekfelmérési rajz, a legkorábbi a palotát ábrázoló ránk maradt rajzok közül[23] (16. kép). Eszerint a telek 37 öl 1 láb hosszúságú frontjának közepén U-alaprajzú épület állt, melynek utcai homlokzata kb. 19 ölnyi volt, oldalhomlokzatai pedig 13 ölnyiek. A mai Ferenczy István utcai szárny helyén különálló hosszú melléképület húzódott, melyben kocsiszínek és istállók helyezkedtek el. A felmérést készítő ismeretlen személy — feltehetően építőmester — rájegyzése szerint a ház alapzata igen erős és „jól épített", teteje teljesen jó, nagyrészt nemrég újonnan készítve, s kb. 50 évig biztosan eltart. A hatalmas telek hátsó, nagyobbik felén rendezett kertet tüntet fel a rajz.

[21] *Révhelyi*, 89.
[22] *Réh Elemér:* A régi Pest építőmesterei Mária Terézia korában. Bp. 1932. 57.
[23] OL, T. 20. (Károlyi-levéltár tervei), 74.



12. kép. A főlépcsőház 1975-ben

A Barkóczy-féle palota belsejére a Károlyi Antal által 1769-ben készíttetett átalakítási tervből és egy későbbi, 1778-ban készült felmérésből következtethetünk, természetesen kellő óvatossággal, hiszen ezek a rajzok az 1769-ben tervbe vett, illetve 1778-ig elkészült átalakításokat is feltüntetik[24] (17—18, 20. kép). Annyit azonban biztosan megállapíthatunk, hogy a Barkóczy-palota oldalszárnyai által körülzárt udvaron árkádos folyosó futott körül mindkét szinten, s innen voltak megközelíthetők a külső homlokzati oldalon egy sorban húzódó helyiségek. A 11 tengelyes főhomlokzati szárny I. emeletén feltűnő az ötablakos nagyterem: innen nézte 1751-ben a királynő és férje a pesti katonaság és polgárság tisztelgő felvonulását.[25]

Révhelyi szerint „az alaprajzi típust vizsgálva az a gondolatunk támad, mintha egy kisebb kastély- és háztípus forrott volna egymásba".[26] Ehhez azt tehetjük hozzá, hogy az árkádos folyosóval kapcsolt egytraktusos elrendezés teljesen szokásos barokk megoldás, mely a Barkóczy-palotánál — legalábbis alaprajzi vonatkozásban — jó arányokkal s nyugodt szimmetriával párosult. Ezt az előnyös benyomást egyedül a lépcső elhelyezése zavarja: az 1769-es átalakítási terv nem is tünteti fel a régi lépcsőt, hanem helyette az udvari szárnyak közötti térben jelez új, reprezentatív lépcsőházat. Ez a terv azonban — mint alább részletesebben is tárgyalni fogjuk — csak részben valósult meg, s így az

[24] OL, T. 20/66. és 77.
[25] *Révhelyi*, 89.
[26] *Révhelyi*, 89.



13. kép. A melléklépcső 1975-ben

1778-as felmérés is még a régi lépcsőházat mutatja. Ennek igénytelen volta s rossz elhelyezése miatt alig hisszük, hogy építtetője Barkóczy s építője Mayerhoffer lett volna; valószínűbb, hogy a még korábbi, Wilfersheim-féle építkezésből megmaradt örökség, melynek igényesebbé való átalakításához nagyobb területre lett volna szükség, s aránytalan munka- és költségtöbbletet jelentett volna még a nagy építtető Barkóczynak is.

Ebben a formában állt tehát a palota, amikor Károlyi Antal 1768/69-ben megvásárolta, s azonnal hozzáfogott az épület kibővítéséhez és átalakításához. A ránk maradt, mesternevet fel nem tüntető tervsorozat — melynek keletkezési idejét Révhelyi az utólag ráírt 1779/80-as évszám ellenére meggyőzően teszi 1769-re — az U-alaprajzú épület nagyszabású szimmetrikus kibővítésének s új, reprezentatív lépcsőház kialakításának koncepcióját mutatja[27] (17—19. kép). A főépületet kétoldalt L-alakban csatlakozó emeletes szárnyakkal toldották volna meg, s a régi lépcsőházat elbontva a loggiás udvari szárnyak által közrefogott térbe terveztek új lépcsőházat. A terv a melléképületeket is lebontásra ítélte, s a telek két oldalán különálló új melléképületek építését irányozta elő: az északi telekhatár mentén istállókat, kocsiszíneket és személyzeti lakásokat, a déli oldalon lovaglóiskolát istállókkal. Az új, 19 tengelyessé bővítendő homlokzat architektúrájára két tervváltozat készült: az egyik az épület díszesebb, reprezentatív kialakítására („auf Ris in Verherlichung des Baues"), a másik a kevésbé költséges, egyszerűbb megoldásra („auf Ris auf geringe unkosten"). A tervet készítő építőmester nevét nem ismerjük s erre vonatkozólag Révhelyi sem talált adatot. Az az egy biztos, hogy ennél az építkezésnél a később sokat foglalkoztatott pesti céhmester, Jung József neve még nem vehető számításba; ő ugyanis csak 1776-tól dolgozott Károlyi Antal számára.[28]

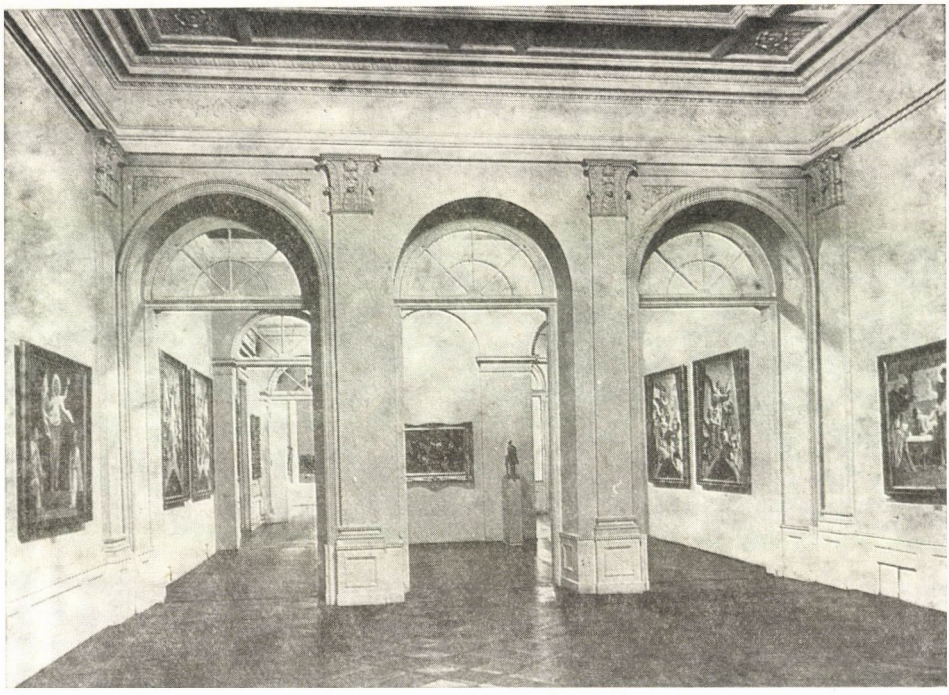
Már az 1769-es terv — egyelőre ismeretlen — mestere is ugyanazokra a problémákra kereste a megoldást, amelyek — részben elintézetlenül maradva — ezután még közel két évtizedig foglalkoztatták a grófi család építtető tagjait: az új díszes, reprezentatív lépcsőház, továbbá az új melléképületek által körülzárt udvar kialakítása. Révhelyi Elemér megfigyelését továbbgondolva úgy érezzük, hogy Károlyi Antal a meglevő szerényebb palotából, amely kisebb kastély- és háztípus egybeforrásának benyomását nyújtotta, nagyszabású kastély és reprezentatív városi palota vonásait egyesítő épületet kívánt létrehozni. A telek és a meglevő épületek adottságai kívánták is és lehetővé is tették ezt a megoldást: a főhomlokzati fronton való legkisebb bővítés is a szomszédos házhoz való zártsorú csatlakozást jelentette, ugyanakkor a mélyen hátranyúló telek az udvar, a kert és az oldalszárnyak kastélyszerű cour-d'honneur-ös kialakítását szuggerálta.

A nagyszabású koncepcióból végül is csak a főépület dél felé való meghosszabbítása valósult meg ekkor; Révhelyi szerint valószínűleg valami váratlan akadály — talán az 1775-ös árvíz — következtében állt le az építkezés.[29] A már

[27] OL, T. 20 /77. és *Révhelyi*, 92.

[28] Jung József (1734—1808) 1773-ban lett pesti polgár. 1792-ben a pesti Károlyi-palotához és néhány uradalmi épülethez készített felmérési és tervrajzaiért visszamenőleg tiszteletdíjat, illetve költségtérítést kért a grófi családtól, s erre vonatkozó kérelméhez részletes jegyzéket csatolt, melyben időrendben felsorolja a palotához készített rajzait. A legkorábbit 1776-ban készítette (OL, P. 406. — Károlyi-család központi kancelláriájának iratai — 1792/18/1/32.).

[29] *Révhelyi*, 91.

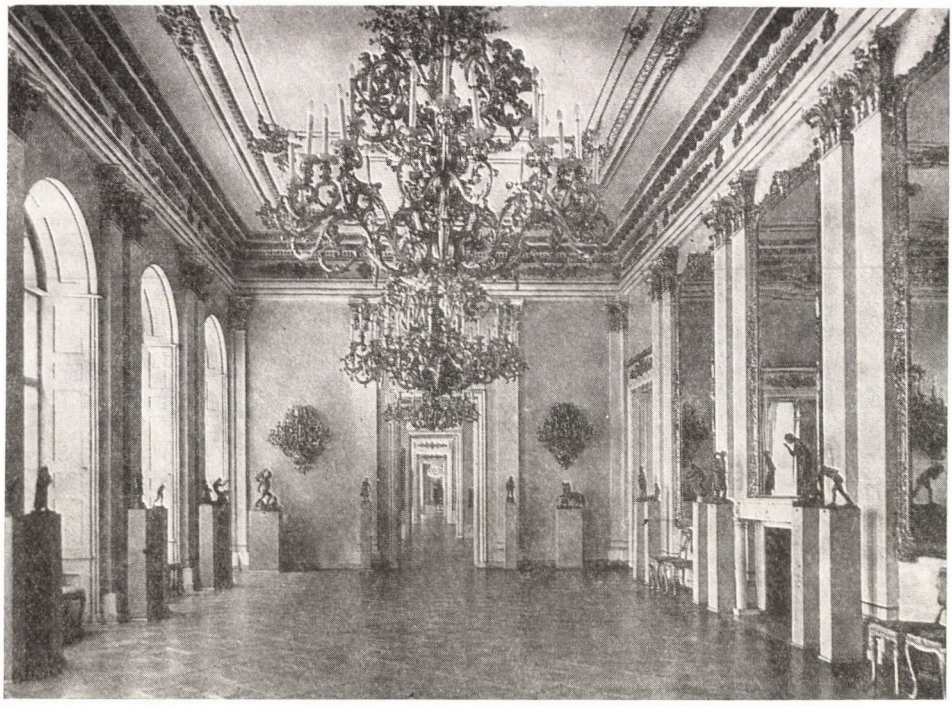


14. kép. Az emeleti előcsarnok 1938 körül

említett 1778-as felmérési rajz — melyet Jung József készített — azt is világosan mutatja, hogy a régi melléképületek még megvannak, és sem a lovaglóiskola, sem a főépület új lépcsőháza nem került kivitelre[30] (20. kép). A homlokzati változatok közül valószínűleg a szerényebbik valósult meg (természetesen csak részben), mert semmi jel sem mutat arra, hogy a díszesebb változatban szereplő megemelt párkánymagasságú, baldachinos-manzárdtetős középrizalit elkészült volna. E kérdésben nem értünk egyet Révhelyivel, aki szerint a szerényebb terven levő áthúzások „sejtetik, hogy a gróf ezt teljesen elejtette".[31]

Az építkezés csak a 70-es évek végén vett új lendületet, ekkor azonban már új terv szerint. A Károlyi-levéltár anyagában négy tervváltozat maradt fenn 1779-ből az akkor már kettős U-alaprajzú épület továbbépítéséhez, mindegyik változat tervező építőmester névaláírása nélkül. Károlyi a megvalósítás előtt nyilván több alternatívát akart konkrétan fontolóra venni, s — mint alább látni fogjuk — Jung Józseffel és más pesti (vagy bécsi?) mesterrel öt vagy hat tervváltozatot is készíttetett, amelyek közül — részben hiányosan — az említett négy variáns maradt meg a Károlyi-család levéltárában. A többiről Jung József folyamodványából tudunk, melyet 1792-ben nyújtott be a grófi család központi kancelláriájához, tiszteletdíjat, illetve költségtérítést kérve a pesti palotához 16 év alatt készített tervrajzaiért.[32]

[30] OL, T. 20/66.
[31] *Révhelyi*, 93.
[32] L. a 28. sz. jegyzetet.

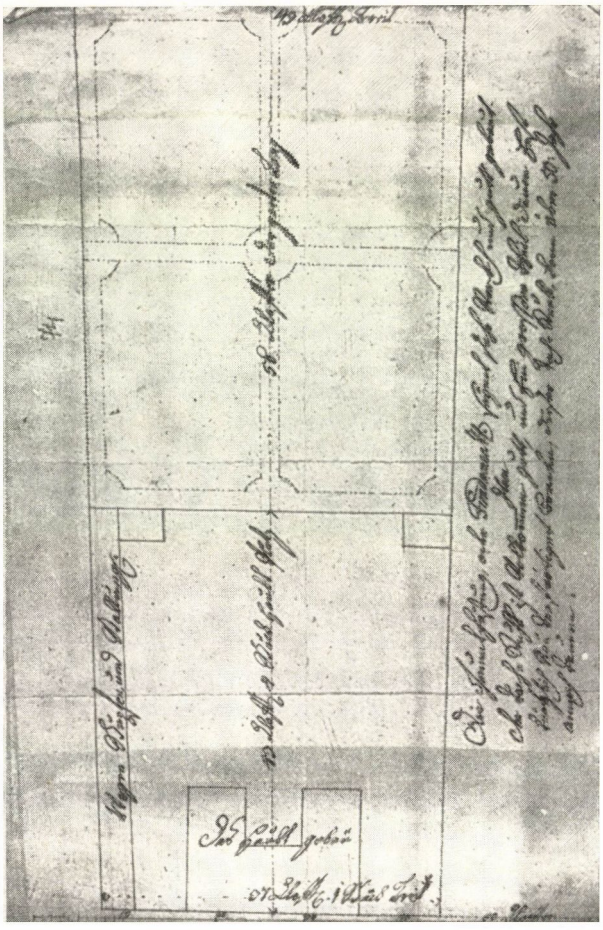


15. kép. A díszterem 1938 körül

Homlokzatrajz egyik változatról sem maradt ránk, s az alaprajzok és Jung folyamodványa alapján szinte biztosra vehetjük, hogy a főhomlokzathoz nem is készült: Károlyi az 1769-ben tervezett (és a déli oldalon részben el is készült) homlokzati kiképzést akarta az észak felől hiányzó résszel kiegészíteni, s a négy terv csak a melléképületek, illetve oldal- és hátsó szárnyak, valamint az új főlépcsőház kialakításában mutat alternatívákat.

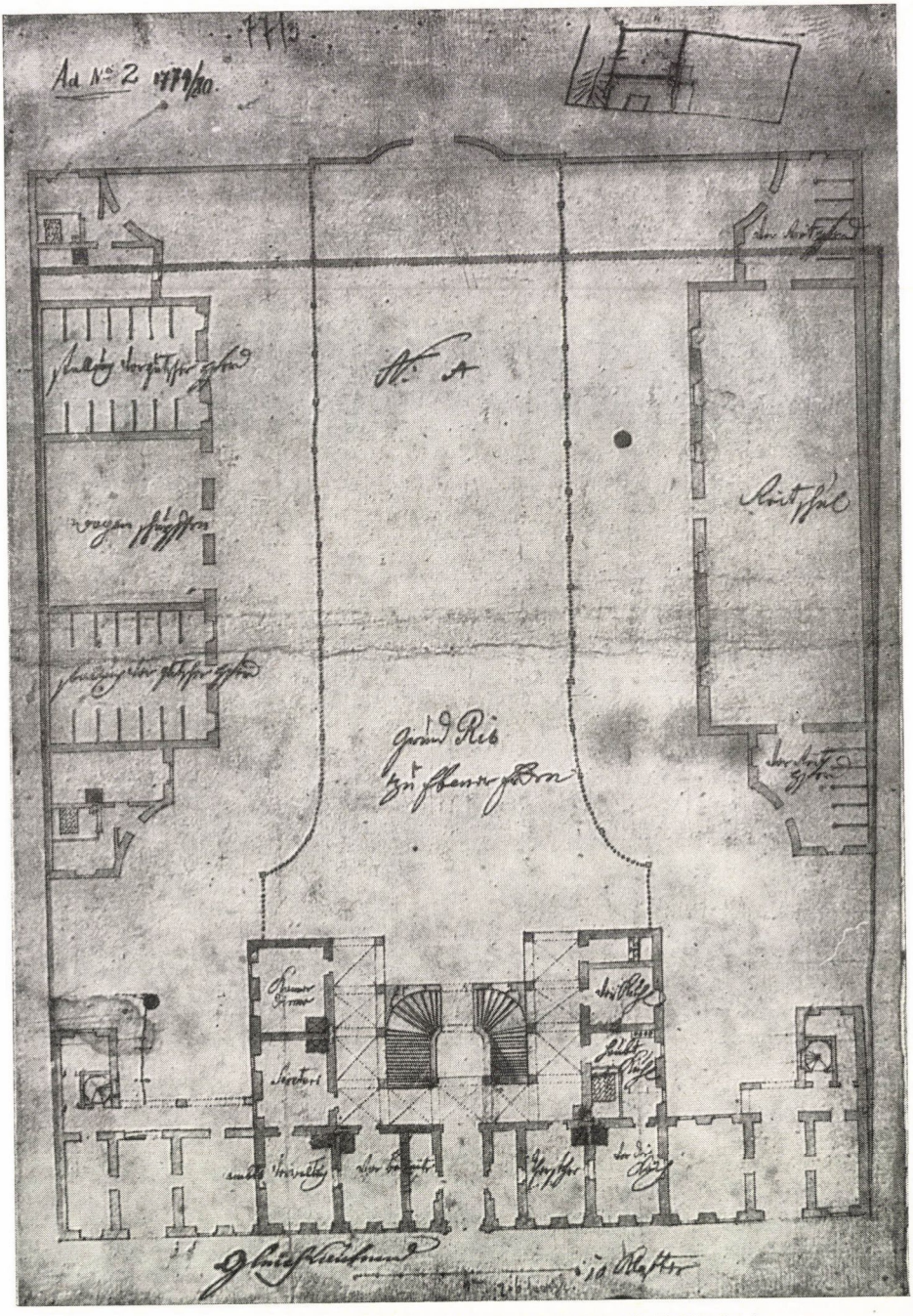
Mind a négy tervváltozat az Országos Levéltárban őrzött Károlyi-levéltár tervtárában maradt ránk. A könnyebb áttekintés kedvéért részletesebb tárgyalásuk előtt sorban ismertetjük őket (zárójelben levéltári jelzetükkel).

1. *változat* (T. 20/70/2—3.) Földszinti és I. emeleti alaprajz két külön lapon (a földszinti rajzhoz utólag hozzáragasztva a telek hátsó részén levő kert vázlatos alaprajza is, amely azonban nem ehhez a tervváltozathoz, hanem — alább részletesebben tárgyalandó módon — a 4. tervváltozathoz kapcsolódik). Az 1. változat körülépített udvaros elrendezést mutat, s a lovaglóiskolát a hátsó szárnyban helyezi el. A meglevő épületet csak kontúrjaiban jelzi, változtatás nélkül (21—22. kép).
2. *változat* (T. 20/70/1.) Földszinti alaprajz. Elrendezése teljesen azonos az 1. változatéval. Eltérés, hogy az oldalszárnyak valamivel rövidebbek, tehát a hátsó szárny mögötti kert számára nagyobb terület marad szabadon. A terv vázlatosan a meglevő régi épület helyiségeit is jelöli, s az udvarba benyúló két régi épületszárny között — az 1769-es tervhez hasonlóan — új reprezentatív lépcsőházat mutat. Az északi oldalszárny közepén — az 1. változattól eltérően — kocsiáthajtós kapubejárat látható (23. kép).

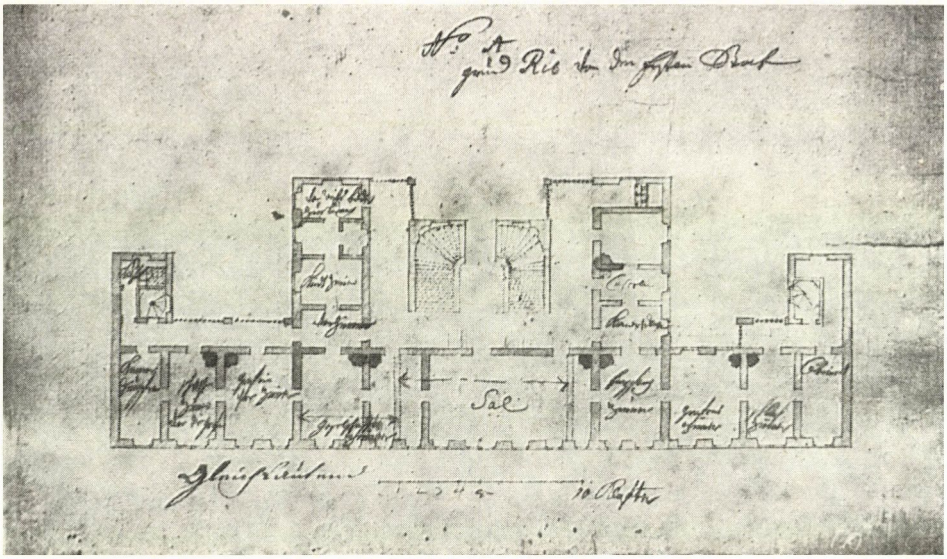


16. kép. A palota és a kert helyszínrajza 1768-ban

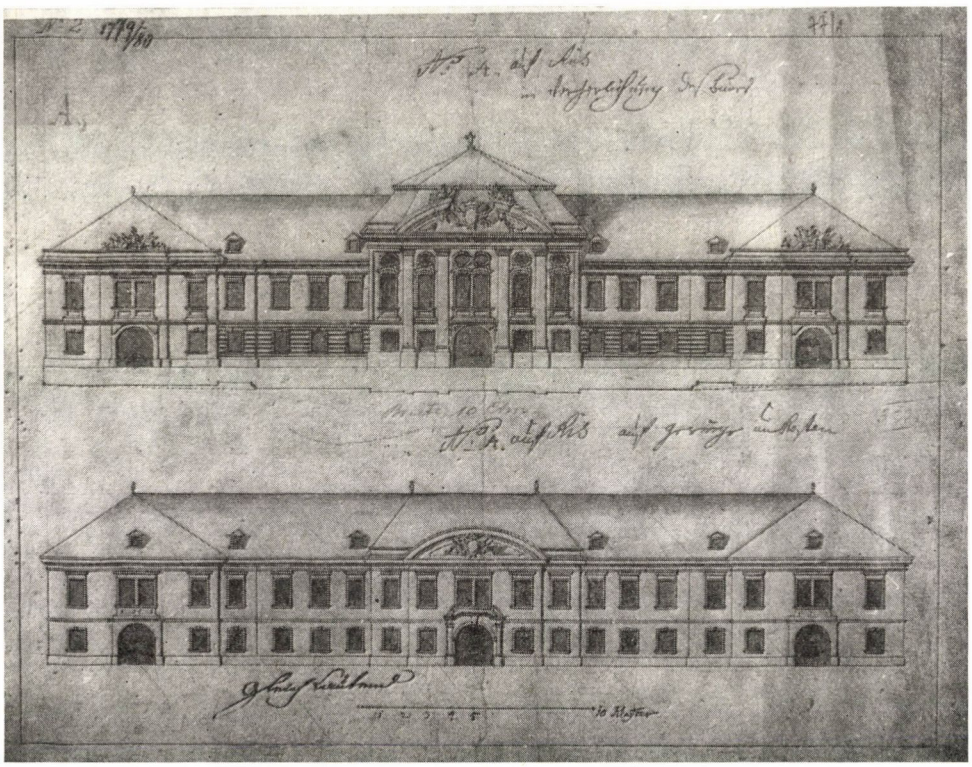
3. *változat* (T. 20/67.) A főépület vonatkozásában emeleti, a melléképületeknél földszinti alaprajz és a kert alaprajza egy lapon. Új, az előző változatéénál gazdagabb főlépcsőház ugyanazon a helyen. A főépületet zömök L-alakú toldalékkal észak felé szimmetrikusan kibővíti, majd az északi oldalon kapuval, a délin pedig ezzel szimmetrikus elrendezésű, fatárolásra alkalmas térrel megszakítva különálló oldalszárnyakat, illetve melléképületeket irányoz elő, melyek kétszeres alaprajzi íveléssel a kert felé szűkítik az udvart, de nem zárják teljesen körül. A lovaglóiskola a déli, az istállók és kocsiszínek az északi oldalon vannak. A mellékszárnyak zárófalának meghosszabbításában a kertet az udvartól kerítés választja el, középen kapuval. E kapunak és a főépületnek közös tengelyében a kert hátsó határánál ovális alaprajzú kerti pavilont láthatunk (24—25. kép).
4. *változat* (T. 20/69.) Földszinti alaprajz. Révhelyi „jelentéktelen kísérlet"-nek nevezi, de a megvalósult állapothoz ez áll a legközelebb, s viszonylag nyűtt,



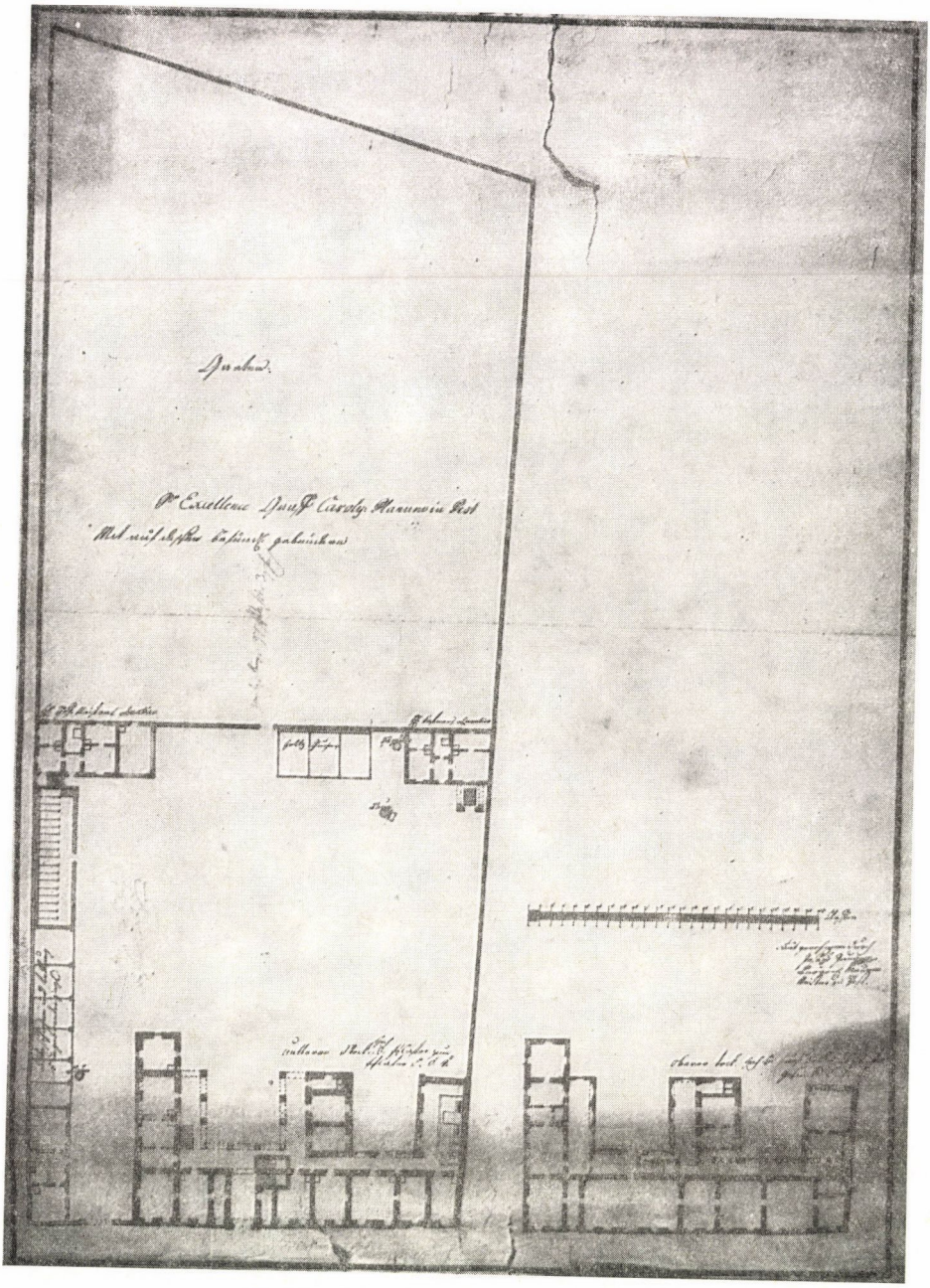
17. kép. A palota kiépítésének terve 1769-ből (földszint)



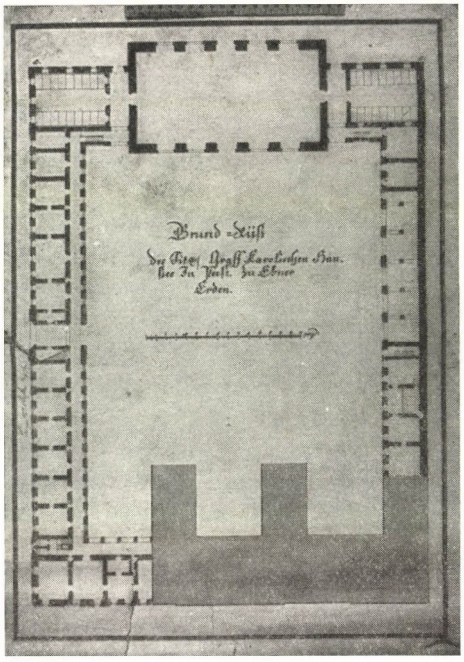
18. kép. A palota kiépítésének terve 1769-ből (I. emelet)



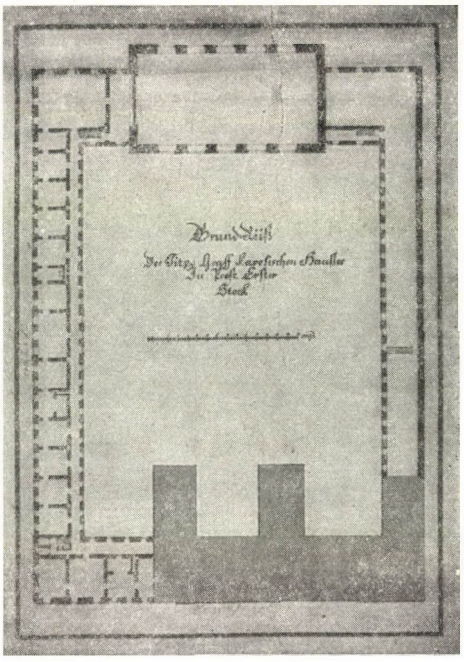
19. kép. A palota kiépítésének terve 1769-ből (homlokzat)



20. kép. Jung József felmérése 1778-ból



21. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (1. változat, földszint)

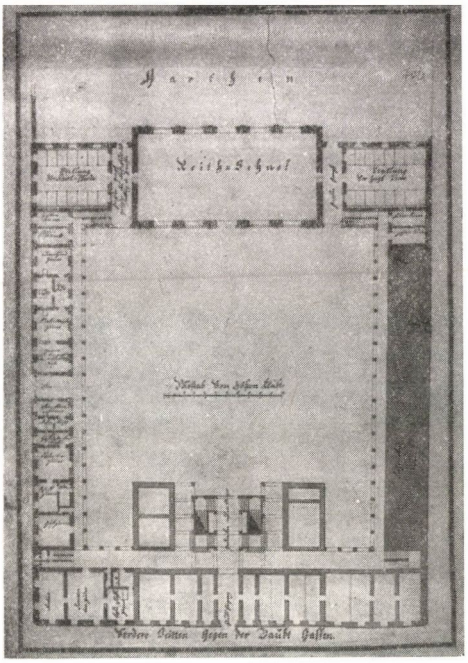


22. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (1. változat, emelet)

kopott állapota is arra mutat, hogy a többi változattal ellentétben ezt használták a legtöbbet — nyilván a kivitel során. A benyúló udvari szárnyak között ez is új, de az előzőknél szerényebb lépcsőházat irányoz elő; a főépületet észak felé L-alakban bővíti s mindkét oldalon összefüggően hátrafutó oldalszárnyakat tervez, délen a lovaglóiskolával, északon az istállókkal és kocsiszínekkel, a kert felé nyitott udvart egyszeresen szűkítő alaprajzi ívelésssel. 1779/80-ban lényegében e terv került kivitelre az új lépcsőház nélkül, s azzal a módosítással, amelyet az 1. változat földszinti rajzához ragasztott kert-alaprajz mutat: a lovaglóiskolát nem a főépülethez csatlakozó déli oldalszárnyban, hanem hátrébb, a kertben építették fel. Erre alább részletesebben is kitérünk (26. kép).

A négy tervváltozat tehát lényegében ismét a már említett két fő kérdés 1769-ben elmaradt megoldására készült. Az egyik az új lépcsőház, melynek helye — ha megvalósul — nem kétséges, s csupán részletei kérdésesek, illetve éppen az, hogy legyen-e, vagy nem. A másik probléma a melléképületek, illetve az udvar elrendezése és a lovaglóiskola elhelyezése. A legreprezentatívabb s egyben a legbarokkosabb kétségtelenül a 3. változat, mely az 1769-es terv módosított formája, s melynél a kétszeresen ívelt alaprajzú melléképületek között cour d'honneur-szerű, mozgalmas térhatású udvar jött volna létre. A két körülépített udvaros megoldás ezzel szemben sivárabb, bár valószínűleg méltóságteljes összképet eredményezett volna, melynek egyhangúságát a 2. változatban az oldalszárnyak nyitott árkádsora enyhítette volna.

Az építkezéshez végül is az igénytelenebb 4. változat szerint fogtak hozzá, mely láthatóan a másik három terv egyes előnyeinek kompromisszumos egye-

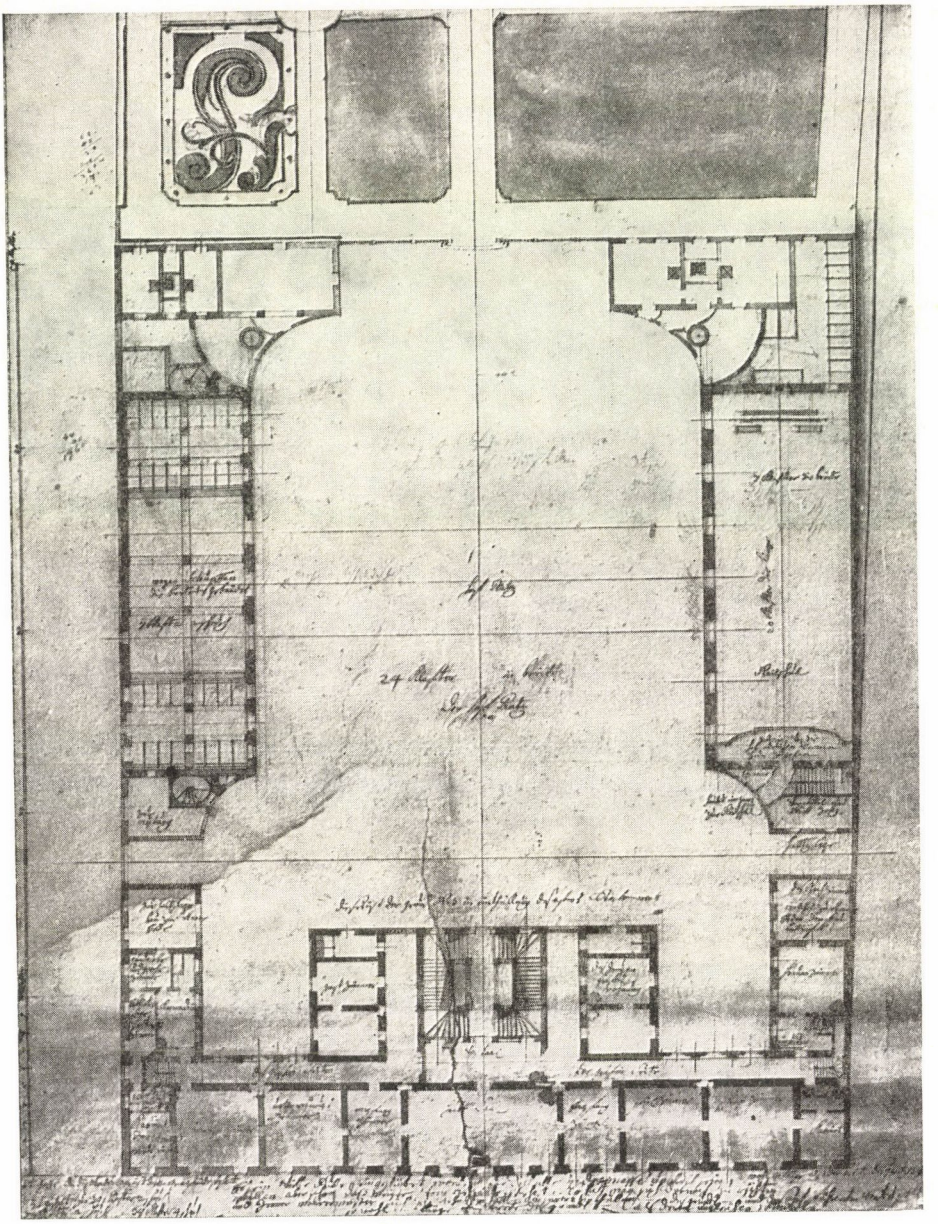


23. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (2. változat)

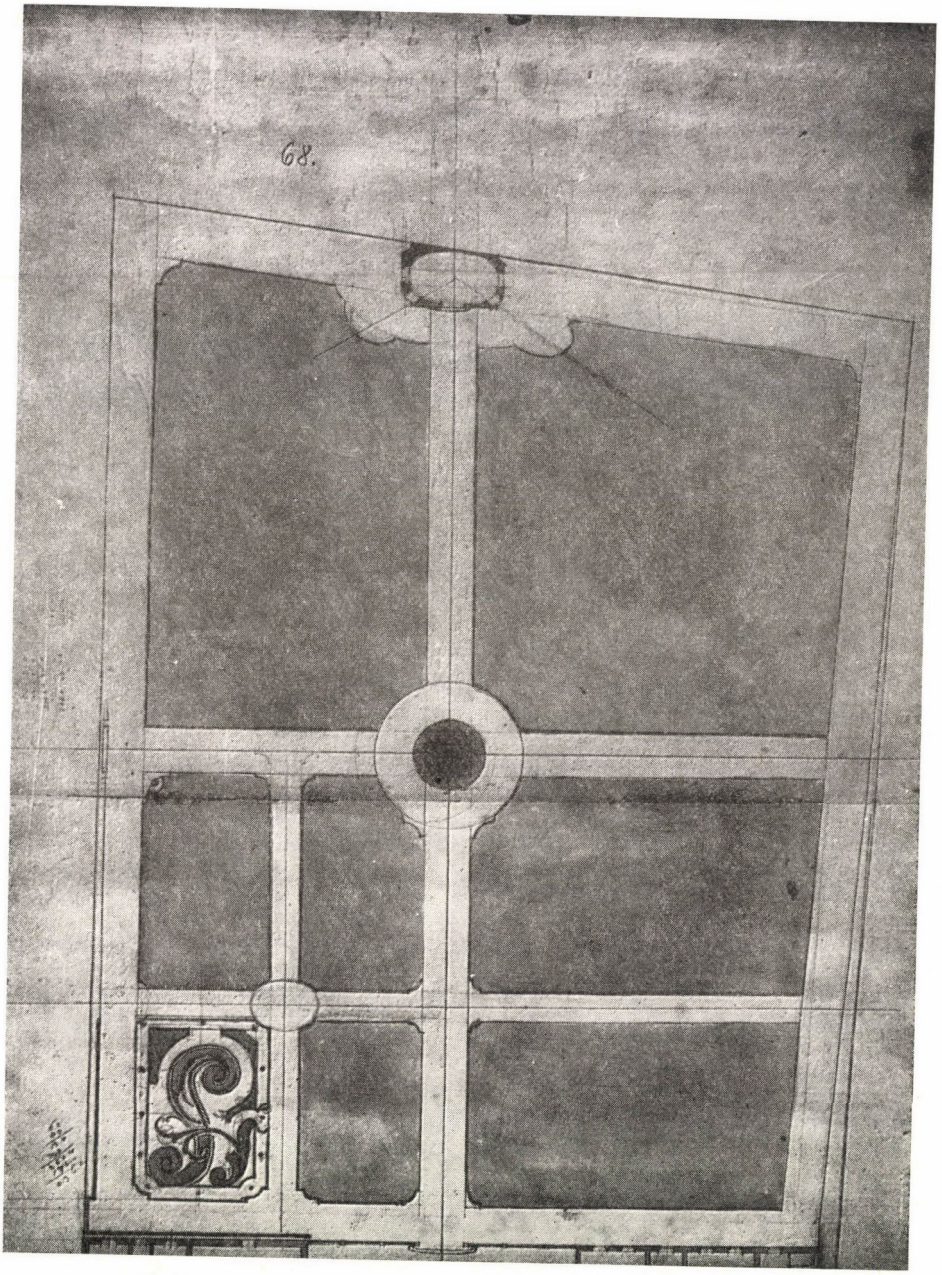
sítésére törekedett; színtelen, kevésbé karakteres volta is innen adódik. A Révhelyi által közölt adatok szerint a munkát 1779. március 26-án kezdték meg s 1780. november 23-án fejezték be.[33] A megvalósult épület két ponton tér el a tervtől: nem készült el az új lépcsőház, s a lovaglóiskola az 1. változathoz ragasztott terv szerint a kertbe került, a déli szárny pedig a lovaglóiskola eredetileg tervezett helyén megszakadva befejezetlenül maradt. Nem tudjuk, mi késztethette az építtetőt a lovaglóiskola áthelyezésére; az mindenesetre valószínű, hogy ideiglenes megoldásról lehetett szó, mert az eredeti helyet üresen hagyták, később pedig (1808-ban) a kertbeli épületet lebontva mégiscsak felépítették az eredetileg tervezett helyen (ennek részletes tárgyalását l. alább). Valójában tehát nem is annyira a tervtől való eltéréssel, mint inkább annak csak részleges megvalósításával, teljes megvalósításának elnapolásával állunk szemben, amelynek legvalószínűbb magyarázataként anyagi okokra kell gondolnunk.

Az 1785-ben készült Balla-féle térkép[34] (28. kép) pontosan mutatja az épület ekkori állapotát, s igazolja egyrészt azt, hogy a munka valóban a fent leírt formában folyt le, másrészt azt, hogy téved Révhelyi, amikor azt írja, hogy a lovaglóiskola nem készült el. Elkészült, csak nem az eredetileg tervezett helyen, s éppen Révhelyi idézi a számadásoknak azt a tételét, mely szerint az összesen 21 373 forintnyi költségből az „Új Épületre tett költségnek egész summája 18 317 frt 28 krt tett ki", míg a maradék összeg „az Ló Iskola, az Övegház, a Szerszám és Szinn új kamara" építésére esett.[35]

[33] *Révhelyi*, 95.
[34] BFL, XV. 16. b. (Térképtár, Pest város térképei), P. átt. I. 1.
[35] *Révhelyi*, 95–96.



24. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (3. változat)



25. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (3. változat)

Az építkezéssel kapcsolatos tisztázatlan kérdések legfontosabbika a tervező építőmester személye, akinek nevét sem a tervek, sem a számadások nem tüntetik föl.[36] Révhelyi az 1. és 2. tervváltozatban „a technikai kidolgozás, az írásmód s a higgadtabb felfogás" alapján Jung József keze vonását véli felismerni, s a másik két változatot is helybeli mesternek tulajdonítja.[37] Feltűnő azonban, hogy az 1. változatban a meglevő épület csak vázlatosan, s az éppen Jung által készített 1778-as felméréstől teljesen eltérő méretekkel van feltüntetve (ugyanez áll a 3. változatra is), míg a 2. és 4. változatban a régi épület méretei pontosan egyeznek Jung felmérésével. Ennek alapján Jung szerzőségét az 1. és 3. alternatívánál kizártnak tartjuk. A 2. és 4. változatnál viszont — már említett 1792-es költségtérítést kérő folyamodványa alapján — bizonyítani tudjuk, hogy Jung volt a tervező mester; legalábbis abban az értelemben, hogy az építtető különböző elképzeléseit, melyek csupán a tervezett épületrészek helyére, elhelyezkedésére és esetleg globális méreteire vonatkoztak, ő dolgozta ki részletesen, s ő készítette el — ahol erre szükség volt — az új homlokzati terveket is.

A Jung folyamodványát kísérő tervrajz-jegyzék először egy 1776-ban készült részletes felmérésről, és egy alaprajzból, metszetből és homlokzatból álló lovaglóiskola-tervről tudósít. Ezeket nem ismerjük; illetve a felmérést — ha feltételezzük, hogy Jung emlékezetből írta a jegyzék néhány tételét, s tévedett az évszámban — esetleg azonosíthatjuk a ránk maradt, de 1778-ból keltezett felméréssel[38] (20. kép). Számunkra azonban az ezután következő kiépítési tervváltozatok az érdekesek, 1778/79-ből.

Ezek közül az első az udvar körülépítésére készült, egyemeletes, egytraktusos épületszárnyakkal; két alaprajzból és metszetből állt. Ha a szöveg a hátsó lezáró szárnyba tervezett lovaglóiskolát is említené, akkor az egyik említett alaprajz egyértelműen azonosítható volna a fentebb leírt 2. változattal; azonban enélkül is igen valószínűnek tartjuk azonosságukat[39] (23. kép). A második Jung-terv egészen más beosztással készült, kétmenetes szárnyakkal; ehhez

[36] *Révhelyi*, 95.

[37] *Révhelyi*, 94.

[38] Az említett 1778-as felmérés: OL, T. 20/66. — Jung József tervjegyzékének (vö. 28. sz. jegyzet) címe: „Entworfene Zeichnungen verfassungen Gräfl. Karolischen Pester Haus betröfend. Wellche von 1776 bis gegenwärtig 790 nembl. durch 14 Jahren in Verdientes sind Gebracht worden." (A jegyzék első — nagyobbik — része 1790-ben készült, s pótlólag van hozzáírva 1792-es kelettel az 1791-ben készült, s alább még tárgyalandó lovaglóiskola-terv.) — A jegyzék ide vonatkozó része:
„776. Ist auf anschaffung Herrn Hoffmeister Sübert der ganze Plann aufgenohmen samt auch dem befunden Gebaudern abgemössen, und Rein entworfen, betraget vollgent: beu aufmössung

Maurer Meister	3 Täg, a 1 f	3.—
2 Maurer Gesellen,	6 Täg, a 30 x	3.—
Mehr beu auftragung selben Meister		
Gearbeitet 6 Täge a 1 f		6.—
dan Für die sammtliche zugehen zusammen		3.—
	zusammen	15.—"

[39] Uo. „778 et 779 sind wollgende Zeichnungen Gemacht und entworfen worden Erstlich neuste der Altstehende Theil abgefasset und wurde auf dem lehren Raum Rings (:in soweit sich der Hoff erstrecket:) ein mit einfacher Zimern, auf einen erhobene Stock entworfen betraget vollgent: Neü entwörfung dene 2^{en} Gründen und durschschnitt ist gearbeithet worden, 12 Tag a 1 12.—
die samtl. zugehen 4.—
zusammen 16.—"

azonban az oldalhomlokzat rajza is csatlakozott.[40] E sorozatból egyetlen lapot sem ismerünk.

Jung feljegyzésének harmadik 1778/79-es tétele egyértelműen a megvalósult építkezés tervét írja le, s így hitelesen azonosítható a fentebbi 4. változattal. A rajzokhoz itt oldalhomlokzat, valamint egy sorozat a pallér számára is készült.[41] Ezután Jung a Károlyi-tulajdonban levő budai „SZŐLŐFÜRT" fogadóhoz készült 1778-as terveit sorolja fel, majd — újabb dátum-megjelölés nélkül, a következő, 1786-os tétel előtt — visszatér a „régi épület"-hez, ahol a grófné számára földszinti átalakításokhoz készített még egy tervet.[42]

Károlyi Antal tehát összesen öt — vagy ha a Jung által említett első terv és a ránk maradt 2. változat azonosságát nem fogadjuk el, hat — tervvariánst készíttetett, s ehhez hetedikként csatlakozott a grófné által kívánt átalakítások Jung-féle terve. Ezek közül a ránk maradt 1. és 3. változat készítőjeként helyi és idegen — pl. bécsi — mesterek egyformán számításba jöhetnek, az azonban biztosra vehető, hogy a lépcsőház és a lovaglóiskola elhelyezésének kérdését nem ők, hanem a programot adó építtető döntötte el, illetve írta elő az egyes tervvariánsok számára. Végül, mint láttuk, kompromisszumos döntés született, amelynek értelmében a tervet Jung József készítette el, s nyilván ő volt a munkálatok építési vállalkozója is. Magáról az építkezésről, illetve annak lefolyásáról a Révhelyi által említett adatokon kívül Radovics István pesti tiszttartó Károlyihoz írt levelét idézhetjük 1779. május 3-ról: „Isten Eő Szent Fölsége Segítségével az el kezdett új épületnek már felére jutottunk úgy hogy az fölső tractusnak nap nyugott felül való végén dolgoznak az Kőmivesek, mindeneknek tsudálkozására."[43]

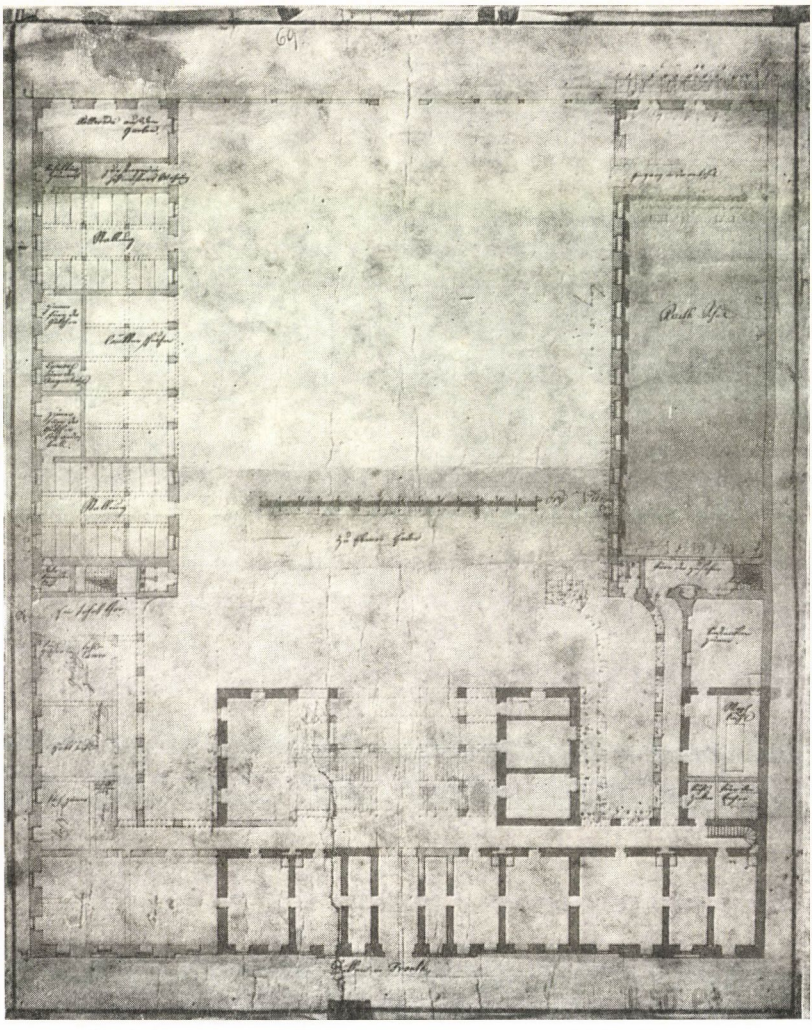
Nem sikerült tisztázni kutatásunk során azt a kérdést, hogy a két udvari oldalszárny miért nem pontos tükörképe egymásnak. Miért van az, hogy a főhomlokzati szárnyhoz csatlakozó keskenyebb, egymenetes + folyosós részen az oldalszárnyak azonos traktusmélységűek, míg az íves alaprajzzal kiszélesedő hátsó részen eltérőek: az északi szárny egy öllel keskenyebb. A befejezetlen déli szárny építése 1780-ban az íves alaprajzi rész u t á n szakadt meg, az aszimmetrikus állapot tehát 1780-ra létrejött. De nemcsak az elkészült épület, hanem már a terv (4. változat) is így mutatja a szárnyakat, sőt, lépték szerint lemérve a teljesen szimmetrikusnak tűnő 3. változatnál is kiderül az egy ölnyi eltérés a lovaglóiskolát tartalmazó déli szárny javára, mégpedig a 4. változatéval pontosan azonos méretekkel. Mindez azért feltűnő, mert mindkét terv egyértelműen teljesen új épületrészeket jelöl a szóban forgó helyeken, s így a szimmetriát lényeges költség-, fáradság- és munkatöbblet nélkül meg lehetett volna valósítani. — A kérdésre talán választ kaphatnánk, ha a 3. tervváltozat alján levő

[40] Uo. „Mehr ist ein Gantz anterer entwurf Gemacht, mit anderer eintheilung, dann auf dopellte zimern, mit eben auch dem durchschnitt und aufriss von der Seiten betraget gleich dem obere 16.—"

[41] Uo. „Mehr wurde ein antrag gemacht, nur auf die Stallungen, samt der Wohnung auf der Garten Seiten welcher auch im Werke ist aufgeführet wie zu sehen erbauet worden An Zeichnungen samt auch ganzen Faciada in der Kolbacher Gassen gearbeitet 18 Täge a 1 18.—
Alle zugehen 4.—
Mehr es auch für dem Pallier entworfen samt allen 6.—
zusammen 28.—"

[42] Uo. „Mehr auf anschaffung seiner Excelle. der Gräfin ! Wurden des alten Gebäudes der untere stock aufgetragen abgeendert, zwischen die Mauern 5 maligen abenderung, ein verborgenen Cabinetel angebracht, betraget zusammen 12.—"

[43] OL, P. 398. (Károlyi levéltár levelei), 61504.

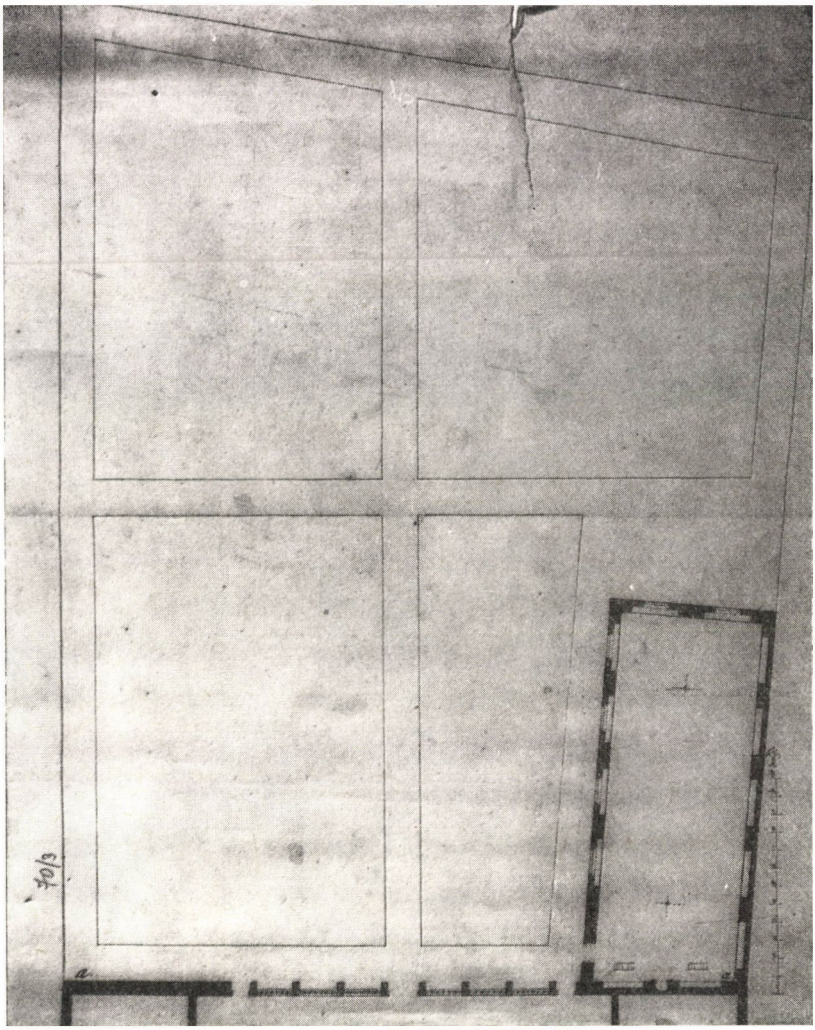


26. kép. A palota kiépítésének terve 1779-ből (4. változat)

— igen nehezen olvasható s nem teljesen világos szövegű — feljegyzést további kutatással személyhez és időhöz lehetne kötni. Ilyen lehetőség híján azonban a problémát egyelőre nyitva kell hagynunk.[44]

Az építkezés tehát 1780 után — feltevésünk szerint anyagi okokból — abbamaradt, s a terv teljes megvalósítását elhalasztották. Noha Károlyi Antal

[44] A 3. változat (OL, T. 20/67.) alján levő szöveg a következő (pontozással a kihagyott olvashatatlan részeket, kérdőjellel a bizonytalan olvasatot, zárójelben a lehetséges más olvasatot adjuk): „Es sein (seie) vielle Risse eingeführet (?) worden, die doch alle in der masse ungleich sein, weillen aber schon das meiste von gebäude stehet, so hat man sich dernach zu richten, und Innere (?) Maurermeister sich zu verhalten hat. in jnnere eintheilung — des grunds — und des aufführenten wendes (?) selber sowohl ein (in) länge und (?) Breite des grunds — als deren ungleichen ... theile."



27. kép. A kertben építendő lovaglóiskola terve 1779-ből

1785-től kezdve inkább Bécsben tartózkodott,[45] mégis 1786-ban az építkezés folytatását rendelte el. A munkálatok részleteiről Janits György pesti prefektus Károlyihoz írt leveleiből és Jung József már többször említett tervrajz-jegyzékéből tudunk, s lehetséges, hogy ehhez a munka-fázishoz készült az a földszinti alaprajz is, melyet eddig — az utólag rájegyzett dátum alapján — 1790-ben keletkezettnek gondoltunk[46] (29. kép). Ezt a rajzot a korábbi tervvel (26. kép)

[45] *Révhelyi*, 96.: Károlyi Antal előbb a bécsi testőrsereg kapitánya, majd táborszernagy lett.

[46] OL, T. 20/68. A rájegyzett dátum a lap hátulján nem a terv keletkezésének időpontja, hanem a Károlyiak központi kancelláriájának iktatószáma (726/1790); ekkor került a kancelláriához a pesti ház 15 rajza összegyűjtve, köztük a szóban forgó alaprajz is.

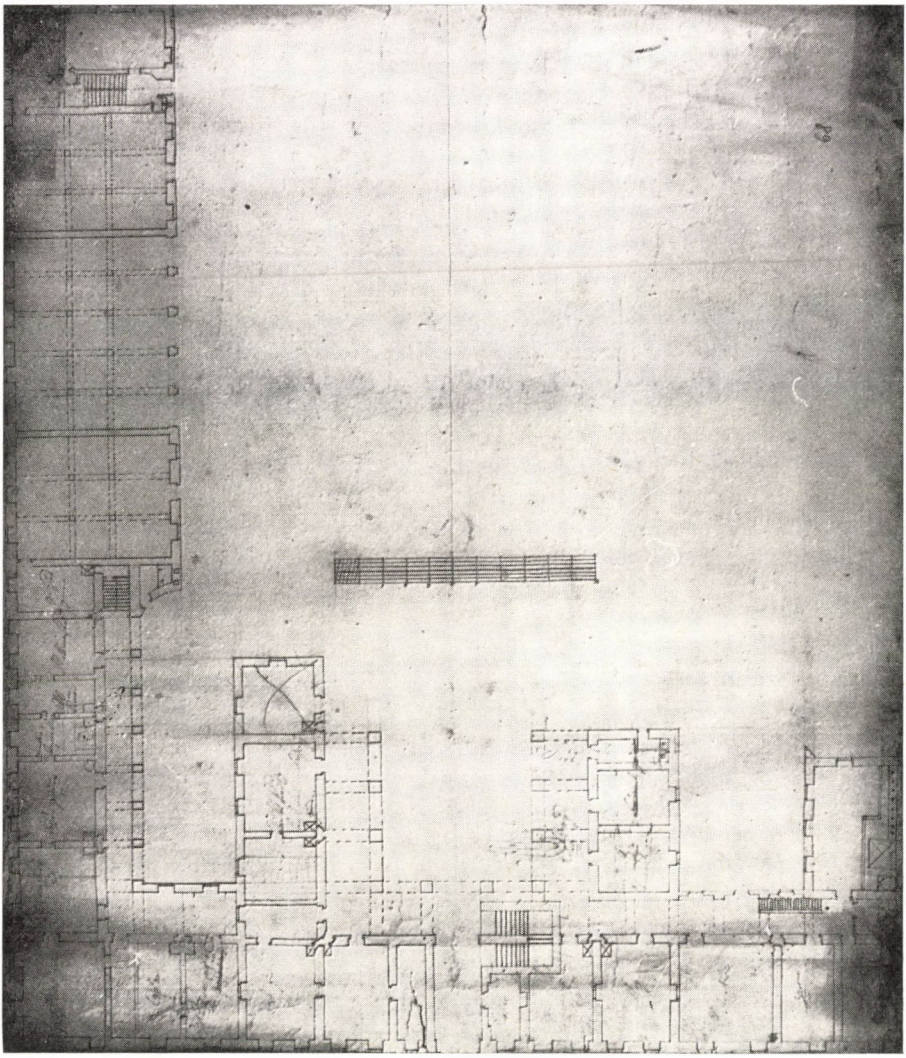


28. kép. A Balla-féle térkép részlete, 1785-ből

és a későbbi Rigel-féle átalakítási tervvel (39. kép) összehasonlítva, s az említett írásos forrásokkal összevetve elég pontosan rekonstruálhatjuk a munkálatokat. Mivel erről az építkezésről Révhelyi nem tudott, részletesebben ismertetjük.

Jung József 1786-ban nemcsak új felmérést és átalakítási tervet készített — talán ezek közül egy az említett alaprajz is —, hanem új homlokzatrajzokat, továbbá a többi mesterember számára részletrajzokat is. Sajnos, ezeket — 1776—1779-es munkáitól eltérően — már nem részletezve sorolja fel; viszont az értük felszámított 108 forint — szemben az 1776—79 között készült rajzok összesen 99 forintos árával — meglehetősen nagy építkezést sejtet.[47] Janits

[47] OL, P. 406, 1792/18/1/32.: „786. Ist abermal das ganze Graffl. Hauss samt Stallung und dem Schon stehenden Neuen Gebau aufgenohmen, und sehr Offst ganz abgeendert wie es Ohnehin wiessenet, besonders sind nicht nur die Faciaden, Rein ausgearbeitet, sondern auch alle überschläge abgefasset worden, welches sehr viele Arbeith nach sich gezohen hatt, besonders ist es wissent dass durch dem Bau Meister auch die übriege Handwercker nicht nur Dirigiret, sondern selben auch alles angegeben, und vorgezeichnet, und



29. kép. Felmérés 1786—1790 között (vázlatos terv 1786-ból?)

György leveleiből világosan kiderül, hogy új lépcsőház építéséről és a régi épületrész teljes belső átalakításáról van szó, s ezalatt a bútorokat részben a dél felől szomszédos Harruckern-házban (Károlyi apósának, ill. felesége családjá-

weilen es zuerklären weitleifig scheünet, so wür überhaupt angetragen macht zusammen 108.—"

Az építkezés nagyságát másfelől bizonyítja Hupf József kőfaragó (Jung József sógora) számadáskönyve, melyben 1781—1787 között összesen 2621 forinttal szerepel a Károlyi-palotán végzett kőfaragó munka, s ebből az 1785—86-os évekre 2249 forintnyi munka jut. Ez egyébként Hupf főúri megbízók számára végzett munkái között is a legnagyobb tétel. (*Moess Alfréd:* Egy XVIII. századi pesti kőfaragómester munkássága. Adalék a XVIII. századi magyar építéstörténethez. Művészettörténeti Értesítő, XVII—1968, 3—4. sz. 245—250.)

nak házában) és a pesti „prímás házában" őrizték.[48] A később tárgyalandó 1832-es Rigel-féle tervrajzzal való összevetés (39. kép) alátámasztja Janits levelének az új lépcsőházra vonatkozó kitételét: a lépcsőház valóban megépült ekkor, mégpedig lényegében az 1779-es 4. tervváltozat szerint (26. kép), azzal a valószínűnek látszó módosítással, hogy a kapualjból jobbra és balra tervezett két lépcső közül csak a jobb oldali épült meg, a mai főlépcső helyén. (E következtetésünk azonban teljesen biztosra nem vehető, mivel Rigel terve az elbontandó falakat nem jelöli, csak az újakat, valamint a megtartandó régieket; s következtetéseinknek csupán ez utóbbiak állnak rendelkezésére.)

Az 1779-es átalakítási és kiépítési terv tehát több periódusban valósult meg: 1779/80-ban az északi oldalszárny és az ideiglenes lovaglóiskola; 1786-ban pedig a régebbi épületrész teljes belső átalakítása; s továbbra is elmaradt a déli oldalszárny végére tervezett végleges lovaglóiskola megépítése. Ez volt az a munka, amely még két évtizedig foglalkoztatta a Károlyi-családfőket: 1791-ben bekövetkezett haláláig Károlyi Antalt, utána fiát, Józsefet, majd 1803-tól József özvegyét. A mindennapi élethez akkor elengedhetetlenül szükséges lovak tenyésztését jó néhány arisztokrata különös kedvtelésként is űzte, s pl. Károlyi Antal és Janits György említett levelezésében az építkezésről szóló részek többszörösét teszik ki a különböző szürkék, deresek és fakók vásárlásáról, eladásáról, betanításáról, kipróbálásáról, Bécsbe vagy Nagykárolyba való küldéséről stb. szóló utasítások és beszámolók;[49] s mindez az építkezéseknél úgy csapódott

[48] OL, P. 398. (Károlyi-levéltár levelei), 29869.: Janits György levele Károlyi Antalhoz, Pest, 1786. febr. 28. „...4^a $\overline{v}$ 6^a Martii ex benigno Exlltiae Vestrae mandato Muros per fringere aedificium novum cum antiquo conjungere antiquos gradus disjicere et novos ponere Illmi Dñi Ctis Josephi cubicula reformare = uno verbo secundum Delineationem aedificare inchoabo, ut usque Augustum adparari possit.

In Pestiensi hac Exlltiae Vestrae domi propter aedificationem nec superior nec inferior Tractus absolute nulla ratione hac aestate inhabitari potest. Primatis domus jam est plenissima Budensibus Exlltiae Vestrae Mobilibus, vicina autem Domus Harrukkeriana replebitur Mobilibus domus hujus, maximam Copiam habet Exlltia Vestra Mobilium utinam sufficientem locum pro his habere possim, ut sine damno conservari possint." Uo. 29870.: Janits György levele Károlyi Antalhoz, Pest, 1786 márc. 5. „Harrukker háznál mostanaban az felső Tractusban vagyon még üres 3 szoba, és az alsó Tractusban egy Szoba, ezekben tsupan magának Excellentiádnak in compendio talán volna helye és elférhetne, de Mlgs Grofné eő Ecllja (:ha épített Excellentiád:) hogy lakhatna itten modot nem látok.

Mével Excellentiád kegyessen meg parantsolta, hogy az Épület continuáltassik, én azoñal hogy Excellentiád után mennil előbb fel mehessek hozzá fogatattam ad praeliminaria, és effective az felső Tractusban minden Szobákat ki üresítettem, és az Mlgs Grofné volt Quardropjanak lerontatásához hozza fogattam, már fele le is rontatott.

Mostanaban az Excellentiád parantsolatja szerént további kegyes parantsolatjaig az belső épületnek rontásához és épétéséhez hozzá nem fogatok, eddig is hogy ezeket a melyeket megírtam, hogy effectuáltam, sajnálom, én siettem mennil előbb minden dispositiokat meg tenni és excellentziád után menni. Ha ezen Excellentziad Pesti háza fel tett és approbalt Delineation szerént épétetik itten ezen házban sem az also, sem felső Tractusban lakni nem lehet, mint hogy már az épétést Excellentziád kegyesen suppendálni méltóztatott, talán mindeneket defineálni és determinálni elig idője leszen, az én Excellentziádhoz való fel érkezésemel, én akkor Delineatiokat és mindeneket magamal fel hoszni el nem mulatom, külömben is minden környöl álló Circumstantias szándékját nékem meg mondana, úgy valami bizonyosat determinalhatna Excellentziad, én szandékozom 12^a vagy 13^a Martii Pestrül meg indulni.

Primás házánál lévő Budárúl által hozatott sok szép Mobiliák ottan veszedelemben vañak mivel azon Tanczoló palota a hol Mobiliák vañak, mindenkor düllő félben vagyon, eleget a sok fákkal támasztátom, azon Mobiliák is ottan sokáig nem maradhatnak..."

[49] OL, P. 398/29790—29800.

le, hogy a Károlyi palota két hosszú oldalszárnyát gyakorlatilag teljes egészében e cél szolgálatára szánták. Károlyi József 1789-ben költözött a pesti palotába, s noha apja halála (1791) után ő is többnyire Bécsben lakott,[50] folytatta az ilyen irányú építkezéseket. A ránk maradt tervek és költségvetések — jelentéktelen kisebb átalakítások mellett[51] — mind az oldalszárnyakkal foglalkoznak. 1791-ben Jung József — már „a fiatal gróf megbízásából" — tervet készített a végleges lovaglóiskolához, az 1780-ban félbehagyott terv elgondolása szerint, a befejezetlen déli szárny kiépítésére[52] (30—31. kép). Ez a terv — noha ekkor nem került kivitelre — azért fontos számunkra, mert homlokzatrajzot is tartalmaz, s ennek alapján közelítő képet kaphatunk az épület külső megjelenéséről is, legalábbis ami az udvari homlokzatokat illeti. Hasonló stílusú lehetett — persze gazdagabb kiképzéssel — a régi épületrész 1786-ban készült új utcai homlokzata is; részleteire azonban már nem tudunk következtetni.

1793-ból több lapból álló tervsorozat és a hozzá tartozó, Jung József által készített költségvetés maradt ránk: az északi oldalszárnyban a kocsiszíneket megszüntetve egyetlen hatalmas istállót alakítottak ki.[53] Hogy a metszetek tanúsága szerint két változatban készült tervből melyik valósult meg, nem tudjuk (32—35. kép).

Károlyi József 1803-ban kiskorú árvákat hagyva fiatalon meghalt; mégis nem sokkal ezután sor került a lovaglóiskola régóta húzódó megépítésére. A kertbeli épület ugyanis 1805-ben már javításra szorult; s noha a nyár elején még tatarozásra gondoltak,[54] ősszel azonban már új építkezésre, mégpedig az eredeti elgondolás szerint, a befejezetlen déli szárny kiépítésével.

A munkához két költségvetés maradt ránk Pollack Mihálytól (mindkettő 1805. szeptember 28-án kelt), és két terv, dátum és aláírás nélkül[55] (36—37. kép). A tervek valószínű szerzőjeként Pollack Mihály és Bitthauser József nagykárolyi uradalmi építész jöhet számításba, utóbbiról azt tudjuk, hogy a lovaglóiskolához készített tervét 1805. júl. 15-én a pesti „régensi hivatal" felküldte Bécsbe az özvegy grófnéhoz.[56] Azt azonban, hogy e tervet ez alkalomból, vagy még korábban készítette-e, s hogy e terv a ránk maradt tervek egyikével azonos-e, vagy nem, nem tudjuk. A két terv közül az egyik keskenyebb (közel nyolc ölnyi traktusmélységű) épületet mutat, egyterű pincével, amely a hozzátartozó költségvetés szerint „Schütt-Boden"-nel 24 140 forintba, anélkül 23.536 forint 55 krajcárba kerülne; a másik szélesebb (10 öl) lenne, háromhajós

[50] *Révhelyi*, 96.

[51] OL, T. 20/119/2—3.: lépcsőépítés és konyha-átalakítás a palota délnyugati sarkában.

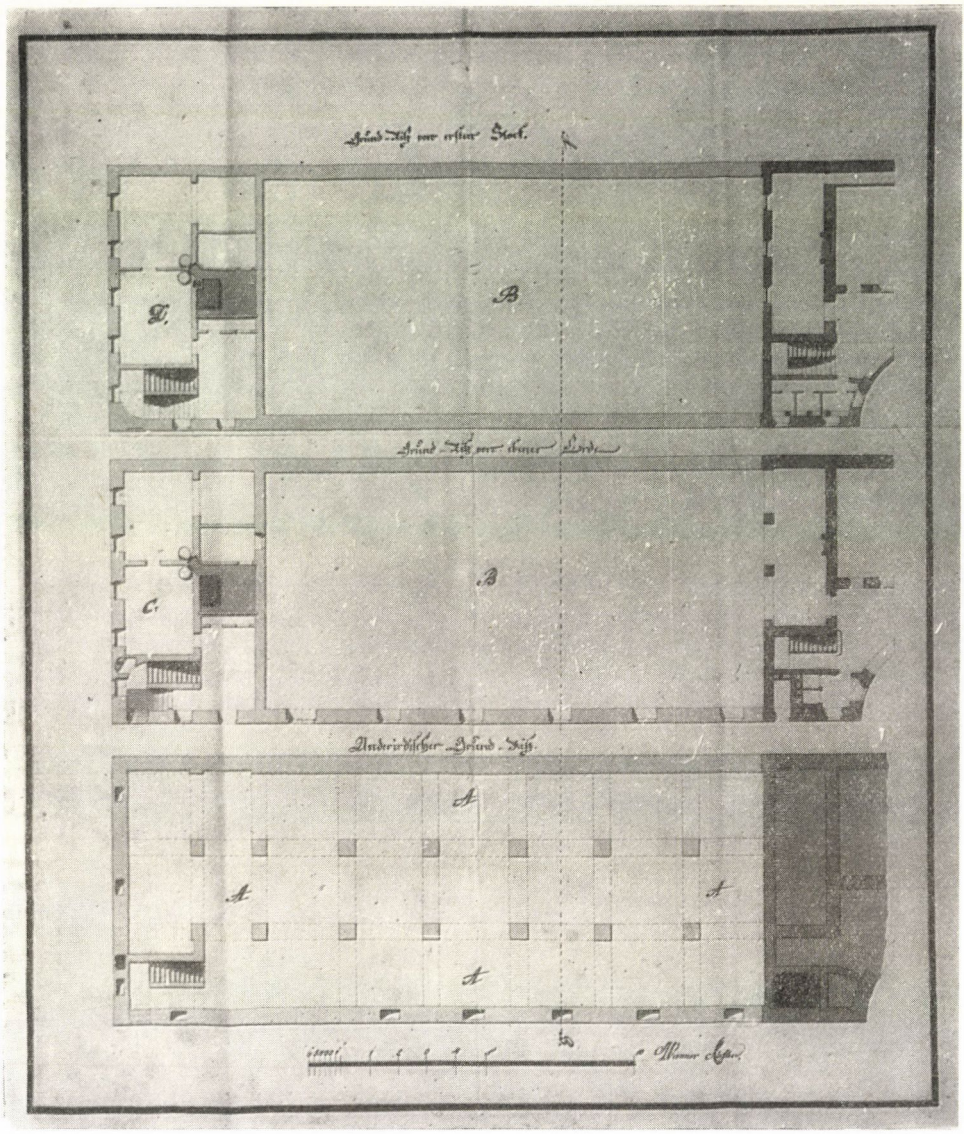
[52] OL, P. 406, 1792/18/1/32, Jung József többször említett tervjegyzéke (vö. 28. sz. jegyzet):
„Zum Nachtrag. An Verfertigten Zeichnungen 791 Ist auf anschaffung des Jungen Herrn Grafen ... für beygelegten Plan, für den antrag einer Reitschule, unter dessen ein Holtz Depositorium, für selbe auch der Durchschnitt, Aufriss und Beköstigungs Uiberschlag wie zu ersehen betraget zusammen 12.—"
Az idézett szövegben említett terv és költségvetés, valamint az üggyel kapcsolatos levelezés: OL, P. 406, 1792/13/1/3.

[53] OL, T. 20/76.

[54] OL, P. 1509. (A Károlyi-házingatlanok iratai), 7. csomó (a pesti ház iratai). Benne: Wieser Ferdinánd ács- és Kasselik Fidél kőműves-költségvetése a lovaglóiskola esedékes javítási munkáiról (1805. VI. 10, 1770 forint, illetve 1805. VI. 20, 927 forint).

[55] Uo.

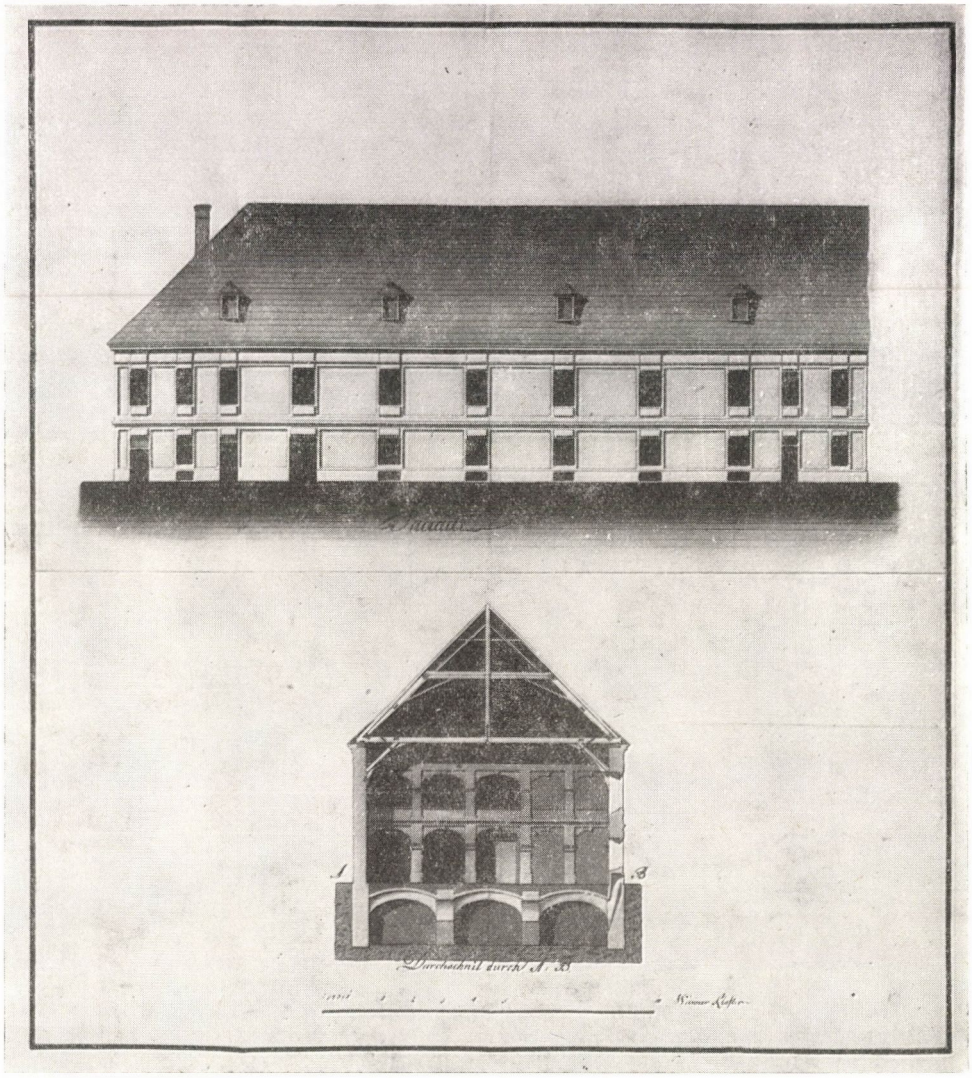
[56] OL, P. 406, 1805/6/1/10.: a pesti kancellária levele a grófnéhoz, 1805. VII. 15. „... alázatossan fel küldetik a Pesti építendő Ló-Iskolának Bittheuzer úr által készült és tsak ugyan az eő szobájában találtatott Delineatiója."



30. kép. Jung József terve a lovaglóiskolához 1791-ből

pincével, összesen 50 612 forint (pince nélkül 28 827 forint).[43] Valójában tehát négy variációról van szó, s ezekhez csatlakozik még egy ismeretlen mestertől való, terv nélküli harmadik költségvetés is (pincével 36 322 forint, anélkül 25.622 forint).[57] 1806-ban a palotában kisebb belső átalakítások történtek, s

[57] OL, P. 1509, 7. csomó.

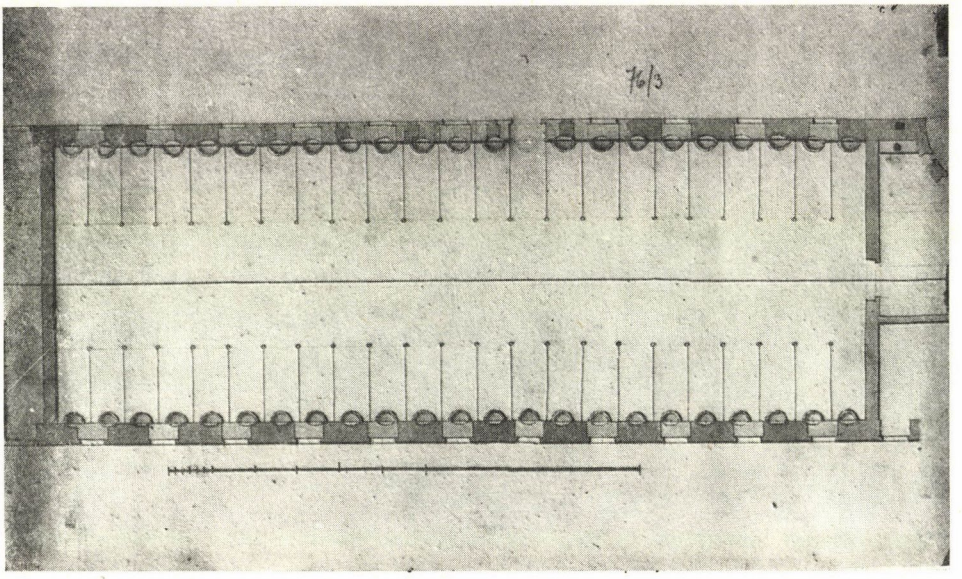


31. kép. Jung József terve a lovaglóiskolához 1791-ből

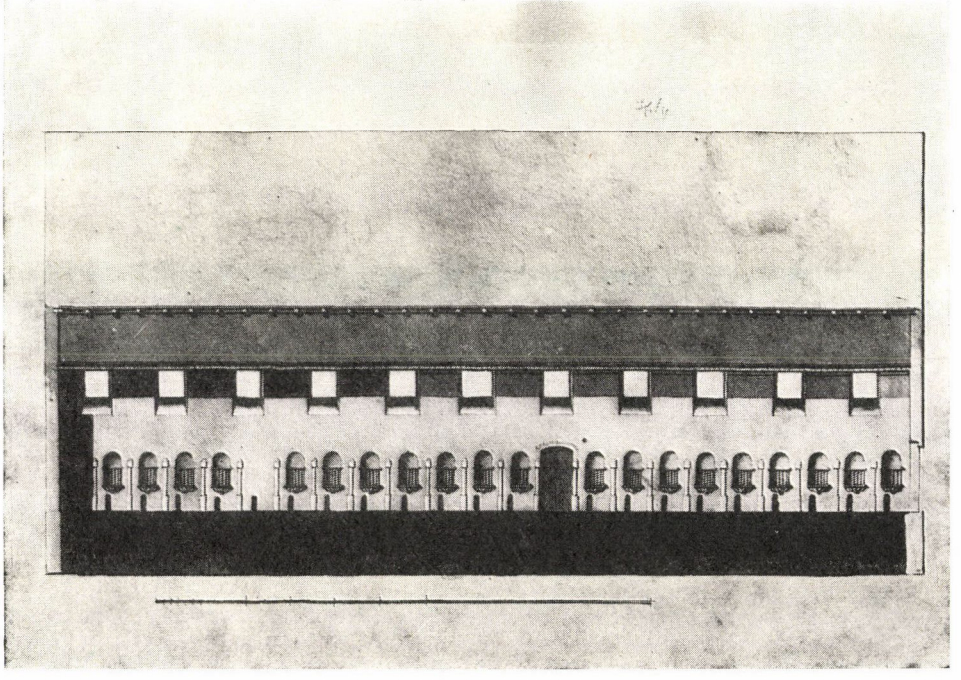
ezzel párhuzamosan elkezdték a lovaglóiskola helyének planírozását is.[58] Magára az építkezésre azonban csak 1808-ban került sor; ekkor kérte április 25-i kelettel Keglevitsné, korábban Károlyi Józsefné a lovaglóiskola terveinek jóváhagyását a pesti városi tanácstól.[59] Hogy ekkor, 1808-ban készült-e új terv a lovaglóiskolához, nem tudjuk; az biztos, hogy pincével épült meg, feltehetően

[58] OL, P. 406, 1806/100. Jelentés a grófnénak Pestről, az építési munkák állásáról (alig olvasható piszkozat, 1806. VI. 29.): „Im Hause gehen die Maurer Arbeiten zum ???? (olvashatatlan), im Raum (?) Cabinet neue Plafons schon so fertig, dass der Schwarz (?) alla ???? anfangen kann... Der Platz der Reitschule wird fleissig planiret."

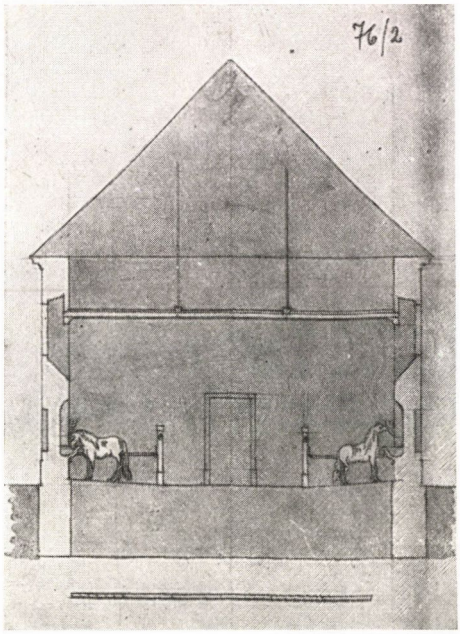
[59] BFL, Pesti telekkönyvi iratok, No. 1316.



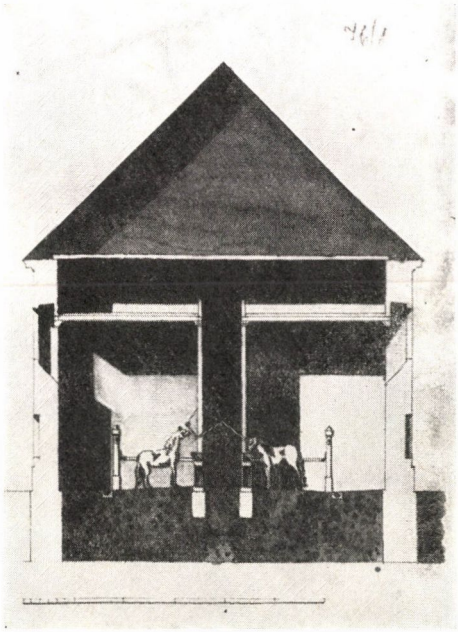
32. kép. Jung József terve az istálló átalakításához 1793-ból



33. kép. Jung József terve az istálló átalakításához 1793-ból



34. kép. Jung József terve az istálló átalakításához 1793-ból



35. kép. Jung József terve az istálló átalakításához 1793-ból

a kertbeli lovaglóiskola lebontásából származó anyagnak a felhasználásával, s traktusmélysége az 1779-es terven szereplő mérettel lényegében azonos. Mindez az egykorú, illetve pár évvel későbbi térképekből és egy 1830-as évekbeli felmérési rajzból egyértelműen megállapítható[60] (38. kép). Ugyanebből az időből, 1808-ból ismerünk négy tervet és két költségvetést kerti pavilon (Lusthaus) építéséhez, magára az építkezésre azonban nincsenek adataink.[61]

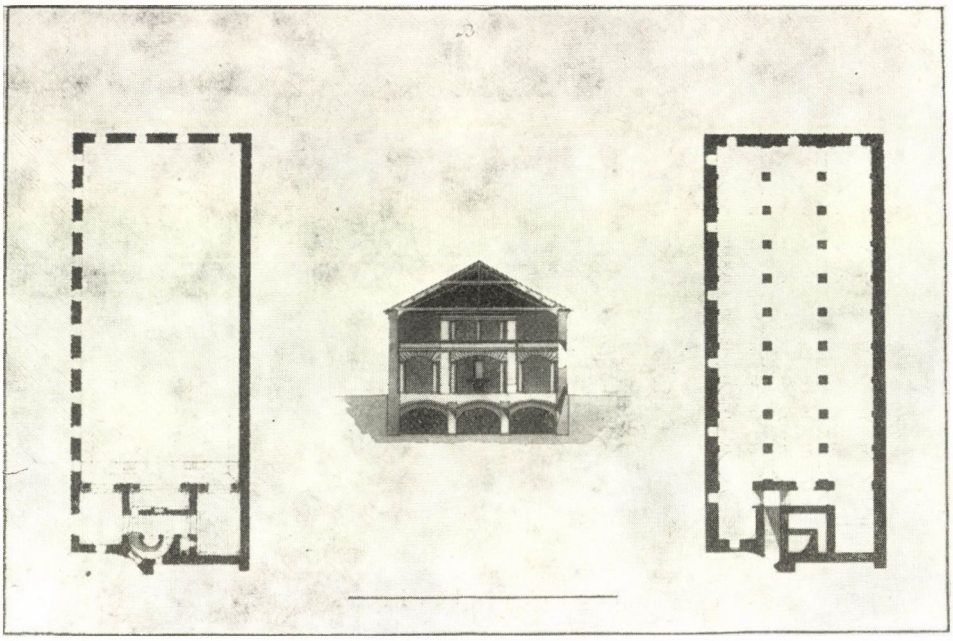
1808 után írott forrásaink 23 évig nem tudnak jelentősebb építkezésről a Károlyi-palotán. 1831-ben Zitterbarth Mátyás végzett kisebb javításokat,[62] 1832-ben pedig nagyszabású átépítés kezdődött, mely több mint egy évtizedig tartott, s lényegében ez adta meg a palota ma is meglevő arculatát. A munka építtetője Károlyi György volt, aki 1831-ben vette meg a palotát bátyjától, Károlyi Lajostól, akinek az 1827. évi birtokosztás alkalmával jutott.[63] Károlyi

[60] BFL, IV. 1202. h. Rel. a. n. 3525. Károlyi György és Wenckheim Teréz vitás ügye a közös telekhatáron húzódó tűzfallal kapcsolatban 1832-ből; benne felmérési rajz a palota déli szárnyáról, s ebből tudjuk, hogy a lovaglóiskola 1808-ban valóban felépült. — A térképek közül Lipszky 1810-ben megjelent térképe még az építkezés előtti állapotot mutatja, egy 1821-ben készült katonai térkép (39. kép) viszont már a befejezett formát: a déli szárny teljesen kiépítve, a kertbeli lovaglóiskola lebontva. (Hadtörténelmi Intézet térképtára, G. I. h. 998. és G. I. h. 74.)

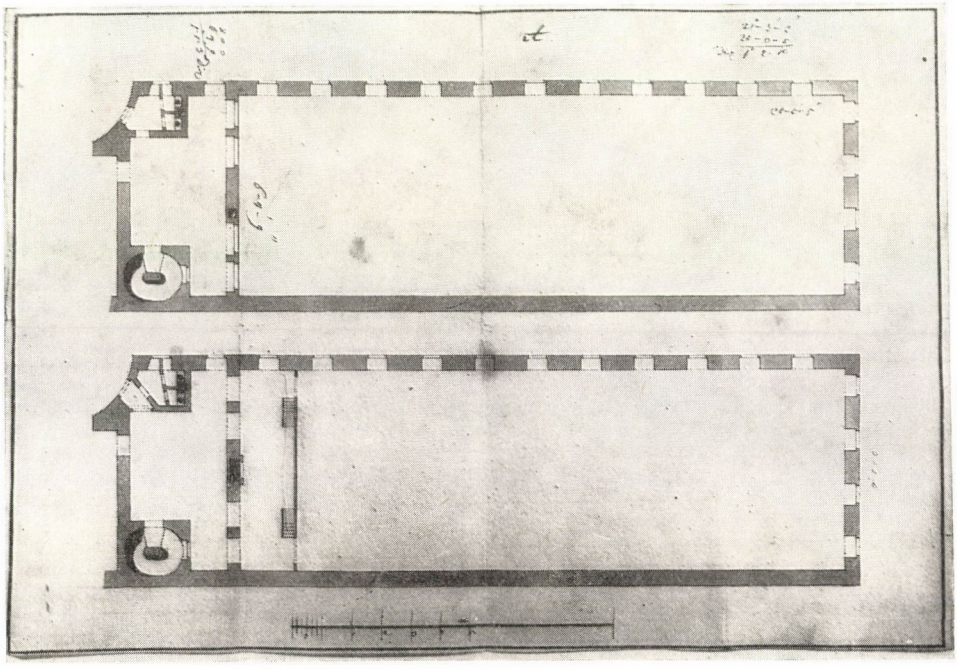
[61] OL, P. 1509, 7. csomó.

[62] *Révhelyi*, 96.

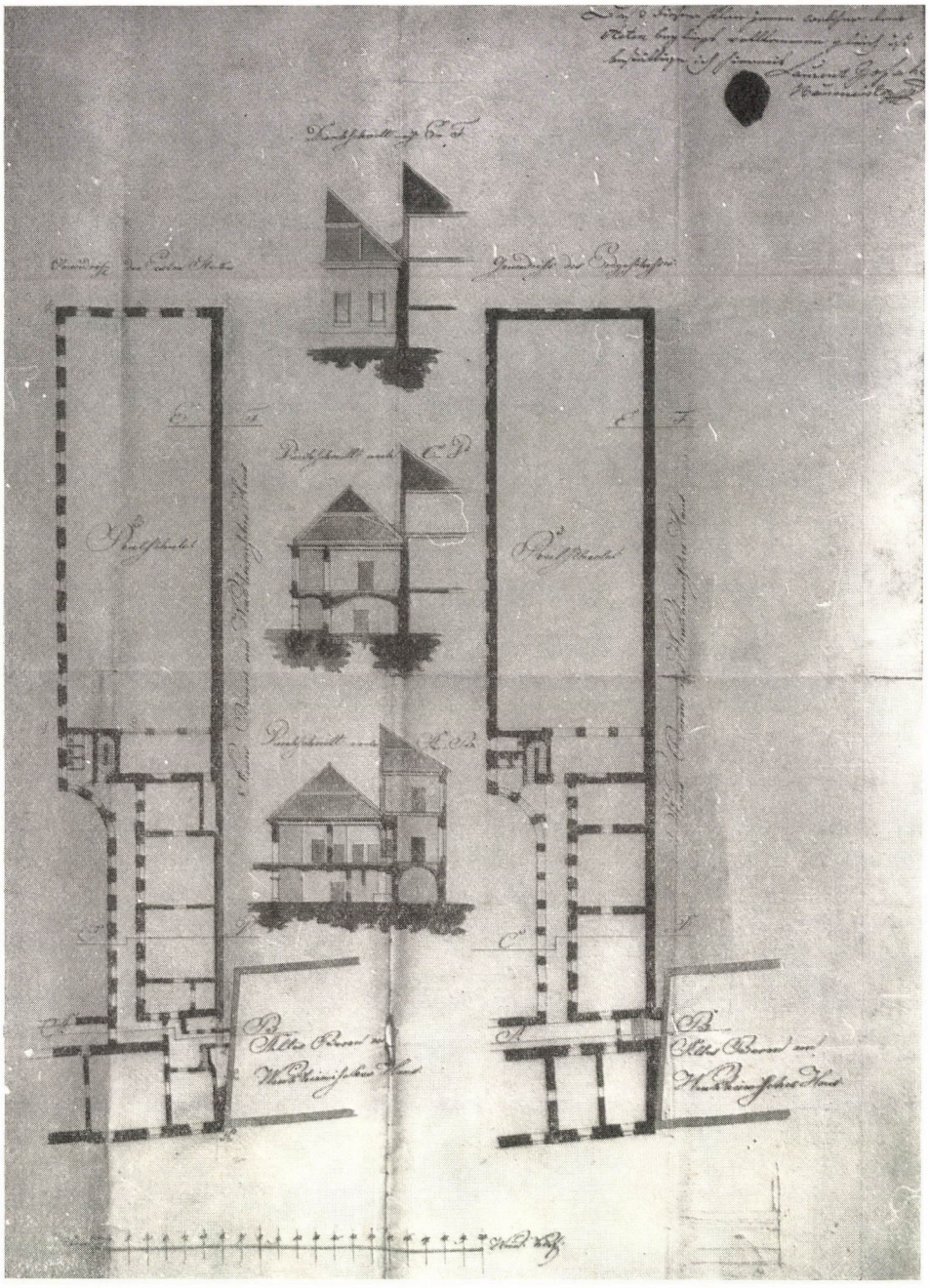
[63] Károlyi György (1802—1877) hazafias érzelmű főúr, Széchenyi barátja és küzdelmeinek társa (az Akadémia alapításához ő is komoly összeggel járult hozzá), Batthyány Lajos sógora. 1848/49-es szereplése miatt Haynau le is tartóztatta. Bártfay László ügyvéd, akinek nevezetes irodalmi szalonjába Vörösmarty és Deák Ferenc társasága is járt, Károlyi György alkalmazottja volt, s az irodalmi szalon összejöveteleit 1838-tól Bártfaynak a Károlyi-palotában levő lakásában tartották.



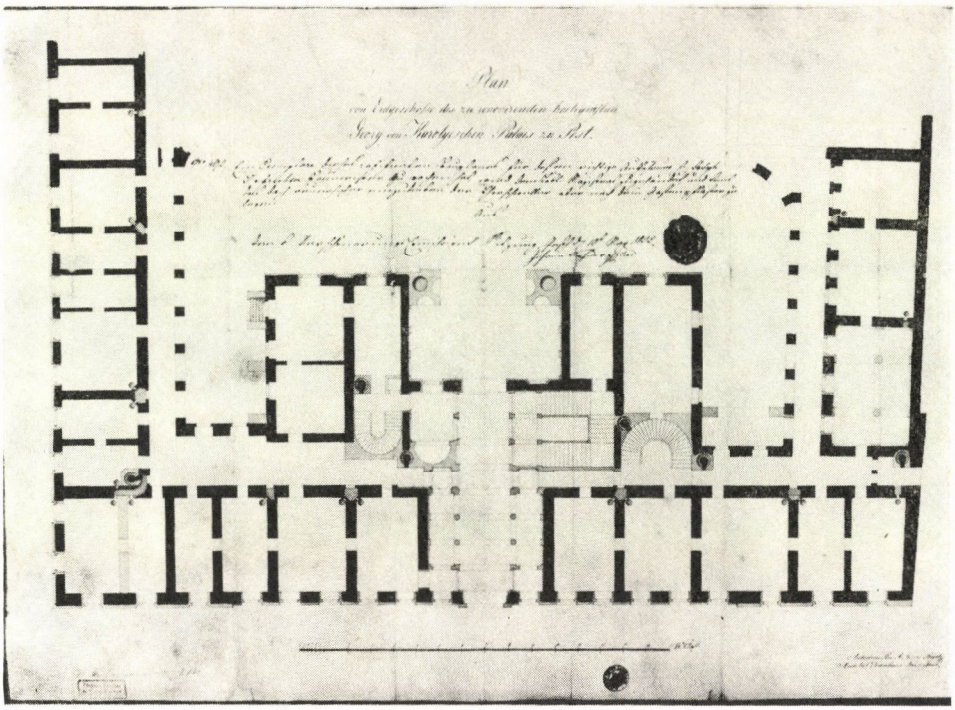
36. kép. Terv a lovaglóiskolához 1805-ből



37. kép. Terv a lovaglóiskolához 1805-ből



38. kép. A palota déli szárnyának felmérése 1832 körül

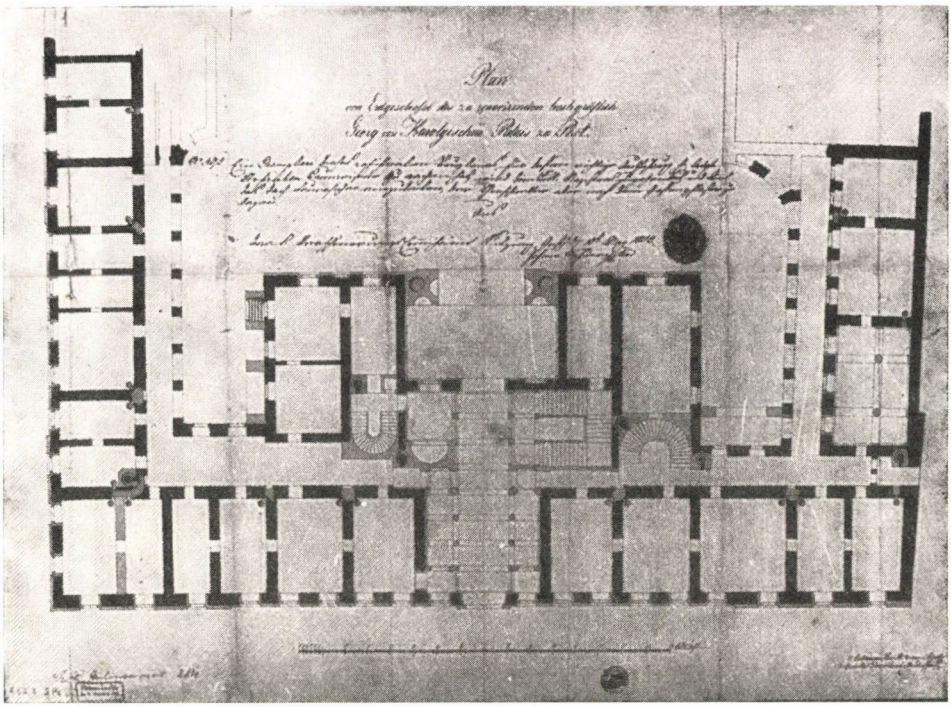


39. kép. Anton Pius Rigel terve a palota átalakításához 1832-ből

György a vétel után rögtön hozzáfogott a nagyszabású munkához, melynek fő célja a bővítés és az új ízlés szellemében történő „modernizálás" mellett a több mint fél évszázada tervbe vett — és igazán igényes formában soha meg nem valósított — főlépcsőház felépítése volt. A tervet Anton Pius Rigel bécsi építésszel készíttette el Károlyi, a kivitelre pedig Hofrichter József pesti építőmesterrel kötött szerződést. Hofrichter nyújtotta be a pesti Szépítő Bizottmányhoz jóváhagyásra Rigel tervét, amely meglehetősen száraz, iskolás jellegű klasszicista homlokzatot mutat 3 + 6 + 1 + 6 + 3 beosztással, a középrész emeletén a tengelyközökben pilasterekkel, a két oldalrizalitban aediculás keretezésű ablakokkal[64] (39—41. kép). Az alaprajz új, oszlopokkal és pillérekkel háromhajósra osztott kapualj kialakítását és három új lépcsőház építését irányozza elő, ezen kívül kisebb belső átalakításokat, elsősorban az emeleti helyiségeknek a földszintről való fűtéséval kapcsolatban. A terv az oldalszárnyak hátsó részét nem tünteti fel, ekkor tehát — úgy látszik — ezek átalakítására még nem gondoltak.

A tervet a Szépítő Bizottmány jóváhagyta, azzal a falkiugrással együtt, mely azáltal volt keletkezendő, hogy a terv a főhomlokzat déli végén a frontvonal alig észrevehető megtörésének kiegyenesítését irányozta elő. A dél felől szomszédos ház tulajdonosa, Wenckheim Teréz tiltakozott a kilátást elfogó előreugró tűzfal engedélyezése ellen, a munkálatok azonban a terv jóváhagyása

[64] BFL, IV. 1207. (Pest város Szépítési Bizottmányának iratai), Sz. B. 5471, és Sz. B. külön sorozat 214.

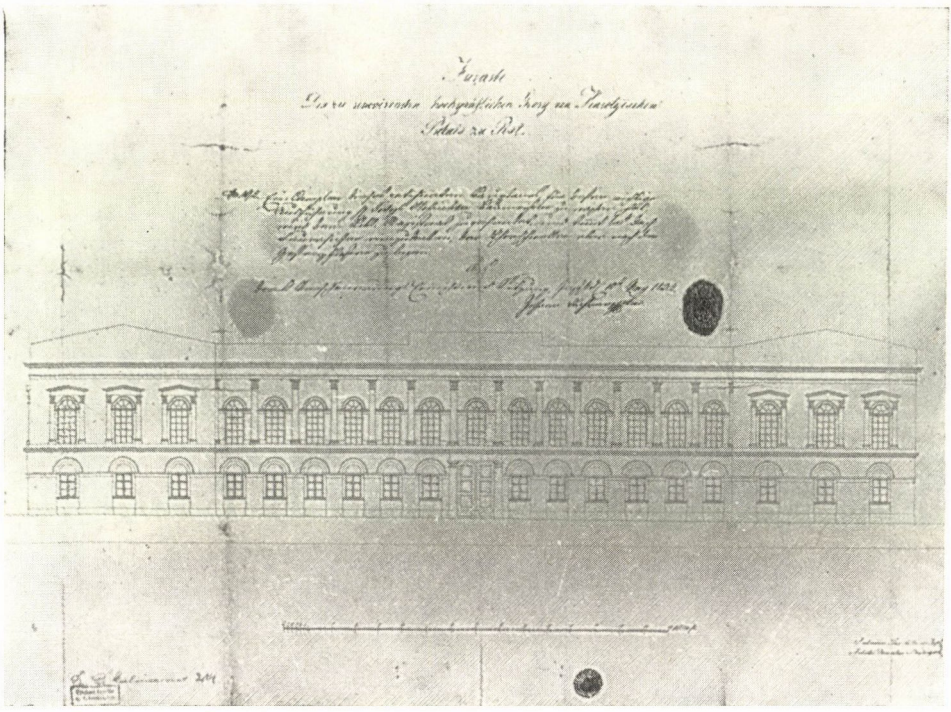


40. kép. Anton Pius Rigel terve a palota átalakításához 1832-ből

után rögtön elkezdődtek.[65] A számadáskönyvekből folyamatos, jól haladó építkezés képe bontakozik ki, melynek menetét — részben Révhelyit követve — a számadáskönyvek adatai, valamint a Rigel-féle tervnek és az elkészült állapotnak összevetése alapján rajzolhatjuk meg.

A munka folyamán a tervhez képest lényeges változások történtek. A homlokzat leegyszerűsödött; ezt Révhelyi — Bierbauer nyomán — nagy valószínű-

[65] BFL, IV. 1207, Sz. D. 5471. — Wenckheim Teréz tiltakozásának más oka is volt: ekkor zajlott ugyanis közte és Károlyi György között egy még hosszabban húzódó per a közös telekhatáron levő tűzfal ügyében (vö. 60. sz. jegyzet), s ezért sem szalasztotta el az alkalmat, hogy Károlyi építkezésének őt károsító hatását szóvátegye. 1808-ban ugyanis, amikor Károlyiék a déli szárnyban levő lovaglóiskolát építették, megegyeztek Wenckheim Teréz szüleivel, hogy a lovaglóiskolát határoló tűzfalat közösnek tekintik, s azt Wenckheimék később, ha a mellette levő sufnik és kocsiszínek helyére új épületrészt szándékoznának építeni, használhatják; abba födémet, választalakat rakhatnak stb. Wenckheim Teréz azonban 1829-ben kezdődő építkezésekor a lovaglóiskola mellett kétemeletes új udvari épületszárnyat húzott föl, a közös tűzfalra magasítást tétetett és azt saját oldaláról minden óvatosság nélkül alápincéztette; ezen kívül pedig nemcsak a lovaglóiskola melletti tűzfalszakaszt, hanem az utcáig terjedő egész tűzfalat közösnek tekintve abba födémeket rakatott, egy gerenda-elhelyezéskor át is törte, s a Károlyi-palotához szolgáló kis világítóudvar egy részét el is foglalta. Mindezt Károlyi Lajos, akinek a pesti palota inkább csak teher volt, nem tette szóvá; amikor azonban tőle öccse, Károlyi György vette meg az épületet, s maga is építkezéshez fogott, per lett a dologból, amely — közös megegyezés híján — 1836-ig tartott. Az ügyre és a per lefolyására: OL, P. 404. (Károlyi-levéltár, periratok), No. 23. — OL, P. 1509. (Károlyi-házingatlanok), 7. csomó. — BFL, IV. 1202. h. (Pesti tanácsi iratok), Rel. a. n. 3525.



41. kép. Anton Pius Rigel terve a palota átalakításához 1832-ből

séggel Hofrichternek tulajdonítja.[66] Az udvarba benyúló szárnyak közeinek beépítésével a főszárny új, egy síkban húzódó udvari homlokzatot kapott, s kialakult középfolyosós, illetve hárommenetes elrendezése. Komoly változtatások történtek az oldalszárnyak hátsó részén is: a magas, egy terű istállót, illetve lovaglóiskolát boltozott födémmel két szintre osztva új helyiségeket alakítottak ki (lakószobákat az emeleten a grófi család, a földszinten a cselédség számára, a déli szárny hátsó részén pedig két nagyméretű földszinti helyiséget istálló és kocsiszín céljára). A tervhez képest más formát kapott az emeleti reprezentatív teremsor is, amelynek leggazdagabb kialakítású helyisége, a díszterem végül is nem a főszárny közepére, hanem a középen levő erkélyes terem déli oldalára került. Mindezekre az eltérésekre és új munkálatokra új tervet már nem adtak be jóváhagyásra a Szépítő Bizottmányhoz; csupán 1834-ből ismerjük a kert hátsó, északkeleti sarkába tervezett különálló kertészlak és üvegház tervét.[67]

A munkálatok során teljesen felforgatott palota, melynek belső berendezését is szinte teljesen kicserélték, 1841-re került abba az állapotba, hogy megtarthatták az ünnepélyes házavatást,[68] de a különböző hátralévő — főleg belső dekorációs — munkák még 1847-ig folytak,[69] s az egész építkezés összesen 1 240 000 forintba került.[70]

[66] *Révhelyi*, 100.
[67] BFL, IV. 1207. (Pesti Szépítő Bizottmány), Sz. B. 5914, és Sz. B. külön sorozat 352.
[68] *Révhelyi*, 102.
[69] A számadáskönyvek tanúsága szerint (OL, P. 1509, 8. csomó).
[70] *Éble*, 68. és *Révhelyi*, 101.

Lényegében ez az építkezés alakította ki a palota ma is meglevő képét, s a tervező építész (vagy építészek) személye, szerepük aránya a palota végleges formájának kialakításában talán még fontosabb építéstörténeti kérdés, mint az 1779/80-as építkezésnél.

A munka, mint említettük, Rigel terve alapján Hofrichter vezetésével indult meg. Rigel utoljára 1834-ben szerepel a számadáskönyvben 1833-ból elmaradt honoráriuma kifizetésével,[71] s szerepét 1834-től Heinrich Koch bécsi építész vette át.[72] Nem tudjuk, mi késztette Károlyit arra, hogy Kochhoz forduljon (Rigel életét, személyes körülményeit, halála dátumát nem ismerjük), de aligha tévedünk, ha e változásban jelentőséget tulajdonítunk a Rigel-féle terv hibáinak is, melyek különösen az alaprajzokon szembetűnőek. A főlépcsőházzal szemközti térbővület előnytelen megoldása, az emeleten a főszárny és az északi szárny közlekedésének komplikáltsága egyaránt magyarázza a kivitel során tett változtatásokat és Koch alkalmazását Rigel helyett. Koch egyébként valószínűleg nem sokat járt Pesten: a számadásokban az „Architektus és segédje" rovatban mindig csak a segéd, Kozlik Emánuel szerepel évi 600 konvenciós (1500 bécsi) forintnyi fizetéssel, s Koch neve csak egyszer tűnik fel az „Egyveleges kiadások" rovatban.[73] Hofrichter halála (1835. február 25) után a kivitelezés munkáját Pollack Mihály vette át, aki 1835-ben és 1836-ban 50—50 000, 1837-ben 25 000, 1838-ban 10 000, 1839-ben 20 000 forintot vett fel.[74] Hofrichter, majd Pollack a számadásokban mindig a „Kőmíves mester" c. rovatban szerepel, míg Rigel és Koch „Architectus".

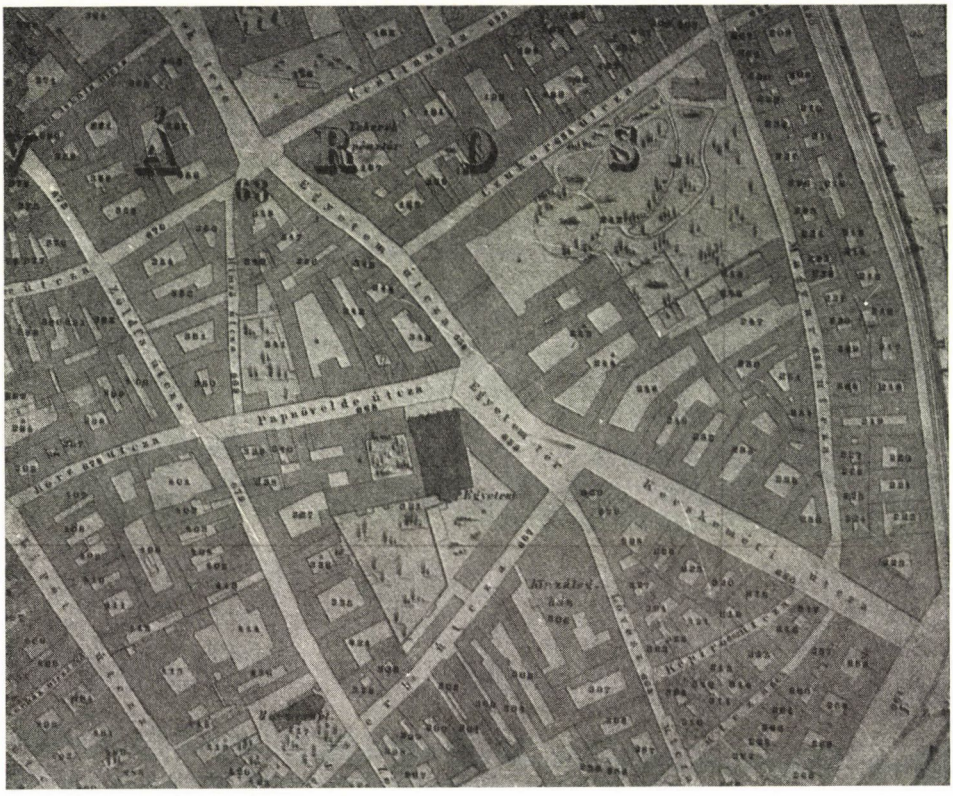
Ez a megkülönböztetés azonban — bár itt már következetesen alkalmazzák — semmiképpen sem jelent művészi, hanem legfeljebb árnyalatnyi társadalmi rangkülönbséget. Tudjuk, hogy ekkor, a tervező építész és a kivitelező kőművesmester szerepének, munkakörének és társadalmi rangjának éppen csak kezdődő szétválása idején a másik mester tervének kivitelezése nem jelentette a kivitelezést vállaló mester polgári és művészi öntudatának sérelmét. Pollack művészi képességeit Kochéval és Rigelével legalábbis egyenrangúnak tekinthetjük, s téralkotó készségének Hofrichter is tanújelét adta pesti polgárházain, noha négyük közül kétségtelenül ő a legszerényebb tehetség. Felmerül tehát a kérdés, nem indokolt-e a homlokzat átformálását és néhány belső változtatást inkább Pollacknak vagy Kochnak, mint Hofrichternek tulajdonítani, tekintetbe véve Hofrichter korai halálát is. Természetesen tisztában kell lennünk azzal, hogy az építkezés folyamán szinte minden tervváltoztatás ugyanúgy történhetett az építtető egyenes kívánságára, mint az építőmester kezdeményezésére; azonban a változtatások jellegéből bizonyos következtetéseket levonhatunk erre vonat-

[71] OL, P. 1509, 8. csomó. — Érdekes, hogy Rigel 1832. évi tiszteletdíját az építkezésre fordított összeg arányában, 4%-ban megállapítva kapta; 1833-ra megállapított díja viszont 2000 forint volt.

[72] *Révhelyi*, 100—101.

[73] Kozlik „építési segéd" és „építési felügyelő"-ként szerepel. Évi fizetésén kívül gyakran vett fel kisebb összegeket postaköltségre, pl. 1835. augusztus 13-án: „Kozlik építési felügyelőnek Koch Architectus Urtól érkezett levelek portojában ... 16 Ft 29 krajcár" (OL, P. 1509, 8. csomó, az 1835. évi számadáskönyv „Egyveleges kiadások" rovatában).

[74] OL, P. 1509, 8. csomó, számadáskönyvek. — Pollack nevét a palotával kapcsolatban már Éble említette (66). Ez azonban a Rigel—Koch—Hofrichter hármasra vonatkozó kétségtelen adatok fényében a későbbi kutatók (Bierbauer, Révhelyi) számára tévedésnek tűnt, s ezt az álláspontot Hofrichter-tanulmányában e sorok írója is elfogadta (*Bibó István:* Hofrichter József. Építés- Építészettudomány, VII—1975, 3—4. sz. 369—429.)

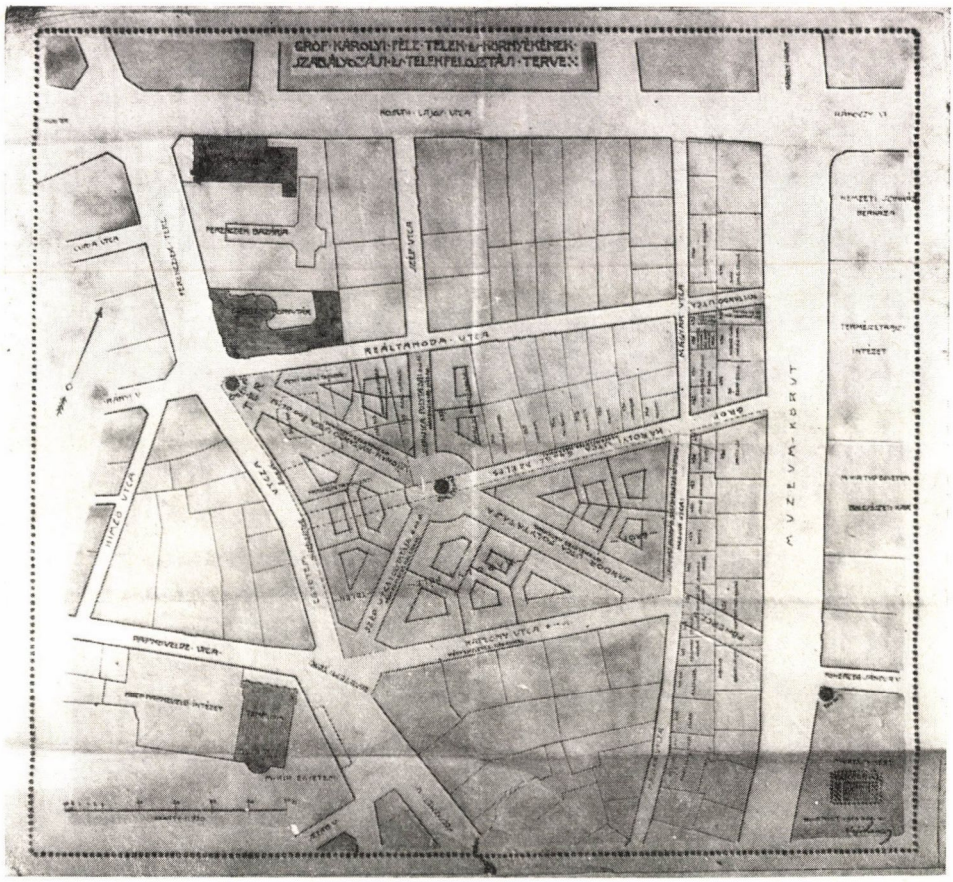


42. kép. A Halácsy-féle térkép részlete 1871-ből

kozólag. Így pl. biztosra vehető, hogy a munkálatoknak a hátsó szárnyakra való kiterjesztése az építtető kívánsága volt. Az építészeti és statikai jellegű módosítások viszont (homlokzategyszerűsítés, a lépcsőházak helyének kismértékű eltolása Rigel tervéhez képest stb.) inkább az építészeknek tulajdoníthatók, de Koch és Pollack szerepének szétválasztása — egészen konkrét levéltári adatok híján — egyelőre nem lehetséges. Mindenesetre Pollack bizonyos mértékű önálló építészi szerepének feltételezése mellett szól az, hogy az építkezés idején folyamatosan jelen volt, s éppen azokban az években vezette a munkát, amikor az a legnagyobb lendülettel folyt.[75]

Az említett építészek mellett Pest legjobb kézművesmesterei dolgoztak a palotán: Spiegel (később Tüköry) József ács, Feszl József, Kauser József és Zitterbarth kőfaragók, Alter József asztalos, Bauer Mihály és Uhrl Ferenc „képfaragók". Munkájuk azonban — amennyire a szűkszavú számadásokból kivehető — legnagyobbrészt kivitelezői jellegű volt, kivéve talán Bauer Mihályt

[75] Hofrichter munkavezetése idején (1832—33—34) az évi összkiadás 46 586, 73 798 és 33 231 forint volt; Pollack éveiben kétszer—háromszor annyi: 1835—1839 között 120 067, 138 101, 131 425, 51 117 és 83 520 forint. (OL, P. 1509, 8. csomó, 1832—1839. évi számadások).



43. kép. A palota helyének parcellázási terve 1910-ből

és Uhrl Ferencet, akik egyetlen alkalommal „szobrász"-ként vannak megnevezve. A kifejezetten művészi igényű munkákkal azonban — mint az építészeti tervezésnél is — bécsi mestereket bízott meg Károlyi. Így a főhomlokzat oromzatára kerülő Károlyi-címert Klieber József bécsi akadémiai „Director" készítette 1832—33-ban, s még javában folytak a homlokzat munkálatai, amikor 1833-ban a címert elhelyezték.[76] 1839-ben „Weiner Ferencz bécsi egyetem festőjének munkái fejében" 3750 forintot fizettek.[77] Az összeg nagyságából komoly munkára gondolhatunk; lehet, hogy több helyiség is festett díszt kapott, de hogy melyek, nem tudjuk. Elsősorban a főlépcsőház kifestésére kell gondolnunk: ennek tágas, világos tere, nagy falfelületei szinte kívánják a díszítést (a ma Lotz-teremnek nevezett I. emeleti helyiség mennyezetképét az 1940-

[76] Uo. 1832—33. évi számadások. — *Révhelyi*, 100.
[77] OL, P. 1509, 8. csomó, 1839. évi számadás.

es évek elején helyezték át ide a Liszt Ferenc tér 3. sz. alatt lebontott eklektikus Wodianer-palotából).[78]

Az 1838-as árvíz által egy időre megszakított építkezés,[79] amint említettük, a belső munkákkal még évekig tovább folytatódott (az utolsó építési számadáskönyv 1847-ből maradt ránk). 1841-ben azonban megtartották az ünnepélyes házavatást,[80] mivel lényegében elkészült a palota, melynek belsejéről egy 1843-as báli tudósítás alapján alkothatunk fogalmat:[81]

„Múlt hétfőn tartaték gr. Károlyi Györgynek a legtúlzóbb várakozást is felülmúlt pompás tánczünnepe. Ki tudná néhány szóval találva festeni a pompafényt? Avvagy bármi szópazar is nem maradna-e messze hátra a nagyszerű valóságtól? ... Annak festését tehát meg sem kisértjük, hanem a helyett beváltjuk inkább e kedvező alkalommal adott szavunkat, kevéssé részletesben leírni e tündérpalota' belsejét.

Egy drága persa szőnyeggel bevont nagyszerű márványlépcsőzet (kétfelé elágazó s mindig fütött) vezet egy roppant előcsarnokba, mellyből számos ajtók vezetnek a palota'különböző szárnyaiba. Onnan egy csinos halványsárga márványzott terembe lépsz, mellyből két ajtó nyílik. Jobbra egy gazdagon ellátott théasztal tündöklik egy ezervirág-függönyökkel díszített tágas fehér teremben, mellyből egy virágcabinet, ezúttal a hölgyek' öltözködésére szánt, nyilik be, néhány duczat atlacz czipő-, báli keztyük és minden egyéb női öltözékhez tartozókkal gazdagon ellátott. A neveztem sárga szoba' balfelőli ajtaja pedig vezet a tulajdonképeni appartamentba, melly hét egymásba nyiló roppant terem' lánczolatából áll, mellyek közől három 2 ablaku, három 3 ablaku, a nagy tánczterem pedig 5 roppant ablakkal nyilik a kecskeméti utczára. A czukorutczai végső szoba az urné' boudoirja. Ez fehér földön szinesen csikozott drága kelmejü ablak- és ajtófüggönyök-, hasonló bútorok- s egy fehér márványkandallóval diszlik. A legszebb bibortükrü bool (csont, ércz és fábóli összerakás) iróasztal tökéletes renaissance modorban, néhány hasonló drágaságú szekrény, és minden neme a tündenői szeszélynek találhatók e kis hölgytanyában. E sarkszobából két roppant terem nyilik egymás' mentében, mindkettő egyforma nehéz fehér virágu vörös selyem damaszt falak- és roppant függönyökkel, mellyeket a leggazdagabb aranypárkányzatok körzenek; plafond (padlatfő), boiserie (faizás), butorok, kandalló, szóval minden legkisebb részlet, valamint az egész, XVI. Lajos' korára vonatkozik. Márványasztalokat nehéz aranyczafrangos franczia bársony takarókkal, mozaik, bool, vieuxlac, chinai porczellán, arany és ezüst edények, vázák, szekrények és asztalkák' minden nemeit talál itt a nézdelő szem, és roppant nagyságu tükröket miket eddigelő csak az orosz gyáripar mutathata. E vörös salonok' meg a leirt kis boudoir' padlóját egyetlen óriás szőnyeg födi. A szárnyazat' negyedik szobáját a kis tánczterem teszi. Ez egy hófehér márványzatu (en stuque) arany rámák- és párkányzatokkal diszitett egyszerű terem, három ablakkal és két roppant tükörrel. Kékfehér függönyök és a terem körül futó vörös padok teszik minden ékét. Innen lépsz be a nagy tánczterembe. Falai fehér márványnyal bélleltek,

[78] A képet Ybl Ervin 1938-ban megjelent Lotz-monográfiája még mint a Wodianer-palota díszét tárgyalja. (*Ybl Ervin:* Lotz Károly művészete. Bp, 1938, 305—309.)

[79] Magát az épületet a víz alig károsította, de Károlyi György, aki a mentésben Wesselényi ösztökélésére vett részt, 200 hajléktalant helyezett el termeiben (*Révhelyi,* 101.). Éble az épületet ért kisebb károkról is beszámol (68.).

[80] *Révhelyi,* 102.

[81] Károlyi-estünnep. Honderű, 1843, I. félév, p. 210—212.

gyönyörüen faragott corinthi oszlopzattal diszitve. Roppant ablakain fehér béllésü vörös selyem damaszt leplek függenek keleties redőzetben, az oszlopokat pedig és padlatfőt — melly művészileg domborodó czikornyák- (ciselé), rózsák- és arabeszkekkel kaczérkodik, a legdúsabb aranyozás tünteti ki. Három roppant csillár függ le a padlatfőrül, s négy husz-husz águ külön girandolok' fényvilága — visszasugározva amaz óriási nagyságu tükröktül — özönli el e tünde csarnokot. A terem' egyik szögletében egy tágas nyilás (niche) mögött, melly egy fehér és rózsaszinnel diszitett kis sátort képez, (de mellynek csak tornáczzata (balustrade) rug ki a tánczterembe) zeng a válogatott hangászkar."

Itt említjük meg, hogy a belső munkákban a Kochnál gyakornokoskodó Ybl Miklós is részt vett, Ybl Ervin tévesen a későbbi nagy mester fiatalkori munkájának tulajdonítja az északi szárny emeleti folyosójának lezárt szakaszából kialakított házikápolnának, s benne az ajtók, ablakok és mennyezet faburkolatának tervezését. A kápolnát azonban — Éble Gábor feltétlenül hiteles kortársi közleménye szerint — az 1890-ben elhunyt Károlyi Gyula gróf készíttette, aki az 1840-es évek elején 4—5 éves kisgyermek volt. A kápolnává való átalakítást tehát az 1880 körüli időre tehetjük; mestere egyelőre ismeretlen.[82]

1849-ben Károlyi György palotájában fogták el Batthyány Lajost, az első magyar kormány miniszterelnökét. Ezután rövid időre Jellasics, majd Haynau foglalta le a palotát. Utóbbi teljes egy évig, 1850 júliusában történt menesztéséig lakott itt, s a könyvtárból északra nyíló első emeleti udvari dolgozószobában írta alá halálos ítéleteit.[83] E dolgozószoba Haynau távozása után sokáig megmaradt változatlan berendezéssel, íróasztalát pedig emléktáblával jelölték meg. Később, talán a Fővárosi Képtár helyiségeinek kialakításakor e szobát — északi válaszfalát megszüntetve — egyesítették a szomszédos helyiséggel, s ma tévesen a könyvtárból dél felé nyíló, az eredetivel szimmetrikus elhelyezésű és azonos méretű szobát emlegetik „Haynau-szoba"-ként.

1850 júliusától Károlyi György — akit 1848/49-es szerepléséért 1849. augusztus 11-től öt hétig az Újépületben fogva tartottak s utána még sokáig házi őrizetben volt csurgói kastélyában — ismét teljes jogú ura volt a palotának, melyen ezután — az említett házikápolnát kivéve — lényeges átalakítás évtizedekig nem történt. Az 1832—41-es építkezéskor kialakított „fél-központi" fűtés — melynek lényege az volt, hogy a földszinten külön helyiségként kialakított fűtőhelyek mindegyike 3—4 földszinti és 3—4 emeleti szobát fűtött légjáratokkal — még a XX. század elején is üzemben volt, amint azt egy belső átalakításokhoz 1917-ben készült terv mutatja. E terv szerint létesült a főszárny északi udvari részén levő melléklépcső; a déli szárny földszintjén az egykori istállót helyiségekre szabdalták fel, s az északi szárny emeletén, ahol addig egymásba nyíló helyiségek sora húzódott, középfolyosót létesítettek.[84] Ezt megelőzőleg, a XIX. század utolsó éveiben a palota arculatára is kiható változást okozott az, hogy a dél felől szomszédos egykori Harruckern-, majd Wenckheim-házat lebontották, s helyén utcát nyitottak,[85] melyre a Károlyi-palota attól kezdve majdnem négy évtizedig tűzfallal nézett (2. kép). 1910 körül a Károlyi-palotát

[82] *Ybl Ervin:* Ybl Miklós. Bp, 1956, 15. — *Éble Gábor:* A Károlyi-grófok Egyetem-utczai palotája. Vasárnapi Újság, 1890, 802. — Károlyi Gyula 1837. július 5-én született (*Éble*, 67.).

[83] *Éble*, 94—114. — *Révhelyi*, 102. — *Markó Miklós:* A Károlyi-palota utolsó napjai. Vasárnapi Újság, 1912, 229—231.

[84] Tervtár, 39070/1917—III.

[85] Vasárnapi Újság, 1903, 83.

is a lebontás veszedelme fenyegette: a Károlyi György féle hitbizomány akkori tulajdonosa, Károlyi Mihály az illetékes törvényszéki hatóság engedélyével le akarta bontani a palotát, hogy helyét felparcellázva bérházakat emeltessen[86] (43. kép). A terv szerencsére nem valósult meg, s így került sor a már említett 1917-es átalakításokra. Később — több kisebb átalakítás után — 1935—38-ban nagyszabású munkálatokra került sor: az addig tűzfalként álló déli homlokzaton ablakokat nyitottak, s új, az épület jellegéhez illeszkedő klasszicizáló architektúrával látták el Wälder Gyula terve szerint (3. kép). Ez a munka komoly belső átalakításokkal járt együtt: a déli szárnyban a Wenckheim-ház lebontása előtti időből megmaradt világítóudvarokat megszüntették és helyiségekké alakították; ezeket síkfödémes mennyezetük ma is elkülöníti a régi boltozott helyiségektől. Ugyanitt, a déli szárnyban megszüntették a régi U-alaprajzú melléklépcsőt, s helyette a középfolyosó terébe épített, ma is meglevő lépcsőt alakították ki. A képtár igényei szerint a többi szárnyon is történtek ekkor átalakítások.[87]

1939—40-ben épült a kazánház.[88] 1941-ben szüntették meg az északi szárny középső részén a félköríves alaprajzú klasszicista melléklépcsőt.[89] 1952-ben helyreállítási-átalakítási munkákat végeztek a BUVÁTI tervei alapján, s ekkortájt szedték le — feldarabolva — az öntöttvas Károlyi-címert a főhomlokzatról.[90]

A későbbi idők munkálatai közül említést érdemel az, hogy 1963—66 között az északi szárny végén, az emeleten Károlyi Mihály özvegye számára lakást alakítottak ki.[91] 1971 óta tervezési, majd kivitelezési szinten folynak az I. emeleti Károlyi Mihály utcai termek felújításának, valamint az I. emelet feletti záródödém cseréjének munkálatai.[92]

1970-ig a palota udvarán nyári szabadtéri hangversenyeket tartottak; az ehhez készült tribünök és különösen a hangvisszaverő fallal ellátott zenekari dobogó az udvar és az épület műemléki összképét súlyosan károsította. 1970 óta az udvar a Metró Felszabadulás téri állomásépítkezésének, valamint a palotában folyó belső helyreállítási munkáknak felvonulási területe volt.

* * *

A palota történetének részletes áttekintése után röviden összefoglaljuk az építéstörténet főbb eseményeit:

1688 négy telek; három telken törökkori falak

1694 egy ingatlanná egyesítve; a használható falak ideiglenes kiépítéssel, tetővel ellátva

[86] *Markó Miklós*, a 83. jegyzetben i. m. — A parcellázás terve (45. kép): OL, P. 416. (Károlyi Gyula iratai), 1. csomó, No. 90.

[87] Tervtár, 318538/1935—III. (20 db terv az átalakításhoz) — 28498/1938—IV. ker. (használati engedély az átalakított épülethez) — 5428/1939—IV. ker. (jelentés a munka befejezéséről és a tervek benyújtása).

[88] Tervtár, 301771/1939—III. és 5717/1940—IV. ker.

[89] Tervtár, 323723/1941—III.

[90] Tervtár, építési engedélyezési szám nélküli tervek és *Szántó Piroska:* A Károlyi-címer. (*Szántó Piroska:* Bálám szamara, Bp. 1982, 74—88).

[91] Tervtár, 13427/1/1963. — 10329/1/1964. — 10501/1966. (Károlyi Mihályné lakása kialakításának építési és használatbavételi engedélyei).

[92] A több ütemben folyó munka terveit a Budapesti Városépítési Tervező Vállalat és a Győr-Sopron Megyei Tervező Vállalat készítette, valamint a FIMŰV Műemléki Osztálya (Budapesti Műemlékfelügyelőség tervtára).

1696 Wilfersheim 18 helyiségből álló kényelmes emeletes házat építtet Kalcher Mártonnal
1759 Barkóczy Ferenc átépítteti a házat U-alaprajzú szabadon álló egyemeletes barokk palotává Mayerhoffer Andrással
1769—70-es évek eleje Károlyi Antal bővítteti az épületet déli irányban
1779—80 Károlyi Antal további bővítéseket végeztet Jung Józseffel (északi oldalszárny, lovaglóiskola a kertben)
1786 Teljes belső átalakítás; új főlépcsőház és új homlokzatok (Jung József)
1793 Istállóátalakítás az északi szárnyban, Jung József terve szerint
1805—1808 Lovaglóiskola tervezése, illetve építése a déli szárny befejezéseként. A kertbeli lovaglóiskola elbontása. Kivitelező: Pollack Mihály.
1832—1847 Teljes klasszicista átalakítás, új homlokzat és új belső kiképzés. Építtető: Károlyi György.
Építész és építőmester:
1832—33: A. P. Rigel—Hofrichter József
1834 : Heinrich Koch—Hofrichter József
1835-től: Heinrich Koch—Pollack Mihály
1880 körül Faburkolatú házikápolna az I. emeleten
1935—1938 Belső átalakítások és új homlokzat a déli oldalon, Wälder Gyula terve szerint

IRODALOM

Magyar Hírmondó (Béts), 1795. II. — p. 410.
VÁLYI ANDRÁS: Magyar Országnak leirása, III. kötet. Buda, 1799. 74.
„Május 4-ikén . . . Estére Gr. Károlyi József Ő Nagysága igen fényes bált és vatsorát adott . . .” Magyar Kurír (Béts), 1800. II. 592.
RÖSLER: Kalender von Ofen und Pest für 1809. Pest, 1809. 66.
Adressbuch der Königlichen Frey-Stadt Pesth. Pest, 1815. 126.
SCHAMS, FRANZ: Vollständige Beschreibung der königlichen Freystadt Pest in Ungern. Pest, 1821. 92.
Adressbuch der königlichen Freystadt Pesth 1827. Pest, 1827. 205.
DORFFINGER, J(OSEPH) A(NDREAS): Wegweiser für Fremde und Einheimische durch die königliche ungarische Freystadt Pesth . . . Pest, 1827. 84, 314.
A' Pesti Jóltévő Asszonyi Egyesületnek . . . Pest, 1831. p. 48.
PATACSICH JÓZSEF: Szabad királyi Pest városának leírása. Pest, 1831. 15.
PATACSICH-PATISZ: Beschreibung der königlichen Freystadt Pest. Pest, 1833. 18—19.
(TEKUSCH, AUGUST): Der Fremde in Pesth. Pest, 1833. 74.
Szabad királyi Pest Városa rövid leírása. Közhasznú Honni Vezér, III. (1834). Pest, 1834. 118.
Károlyi-estünnep. Honderű, 1843, I. félév. 210—212.
FELDMANN, G. L.: Pest und Ofen . . . Pest—Leipzig, 1844. 41—42.
Buda-Pest, a magyarok fővárosa. Pest, 1845. 23, 25—26.
Pest szabad királyi város házjegyzéke. — Häuserschema der kön. fr. Stadt Pesth, 1848. Pest, 1848. 24.
Pesther Häuser-Schema. — Uebersicht der neuesten Gassen und Hausnummer-Ordnungen der k. Freystadt Pesth. Pest, 1852. 15.
Hartleben' historisch-romantischer Polyglotten-Führer durch die Städte Pest und Ofen. Pest—Wien—Leipzig, 1852. 14.
HAEUFFLER, J. V.: Buda-Pest, historisch-topografische Skizzen von Ofen und Pest. Pest, 1854. 242, 300.
Feldmann's Wegweiser durch Pest und Ofen. 2. Auflage, Pest, 1855. 41—42.
HUNFALVY, JOHANN: Pesth. Pest, 1859. 170.
Feldmann's Wegweiser durch Pest und Ofen. 3. Auflage. Pest, 1859. 22.
Pester Lloyd-Kalender für das Jahr 1860. (valamint a sorozat további köteteiben 1868-ig), a Häuserschema c. fejezetben.

Gettinger, Theodor: Ungarns Hauptstädte . . . Pest und Ofen. Pest, 1866. 5.
Adress-Kalender von Pest, Ofen und Alt-Ofen für das Jahr 1867. (valamint a sorozat további köteteiben 1878-ig), a Haäuserschema c. fejezetben.
Rómer Flóris: A régi Pest. Bp., 1873. 118—119.
Hevesi Lajos: Budapest és környéke. Bp., 1873. 113.
Budapest főváros dunabalparti (volt pesti) részén megállapított új és régi helyrajzi és házszámok mutatókönyve. Szerk. a Fővárosi Mérnöki Hivatal Földmérési Szakosztálya. Bp, 1879. 20.
Vajda Viktor: A Károlyi-kert. Magyarország és a Nagyvilág, 1880. 292—293.
Budapesti czím- és lakjegyzék a bejelentési hivatal hiteles adatai alapján. 2—29. kötet, Bp, 1882—1928. A Ház- és telekjegyzék c. fejezetben.
Kopál József, 1843—1886. (Nekrológ a Károlyi-palota főkertészéről). Kertészeti Lapok, 1886. 139.
Éble Gábor: A Károlyi grófok Egyetem-utcai palotája. Vasárnapi Újség, 1890. 796, 800—802.
Budapest főváros bel- és külterületén megállapított házszámok mutatókönyve a megfelelő helyrajzi számokkal. Bp, 1890. 30, 43, 86.
Éble Gábor: A Károlyi grófok nagykárolyi várkastélya és pesti palotája. Bp, 1897. 51—116.
A Károlyi grófok nagykárolyi várkastélya és pesti palotája. Vasárnapi Újság, 1897. 667—669.
A Károlyi-palota szomorú napjaiból. Vasárnapi Újság, 1897. 750—751.
Max Rothauser: Alt-ungarische Adels-Residenzen. Pester Lloyd, 1897, No. 245, 2—3.
Éble Gábor: Jellemvonások gr. Károlyi Antalról. Kézirat, XIX. század vége, a Károlyi-levéltárban: P. 417/13.
Éble Gábor: József nádor és Károly főherceg Pesten, 1803—1804-ben. Bp, 1911. 11, 13—15, 42, 47—69.
gr. Károlyi László: A nagy-károlyi gróf Károlyi-család összes jószágainak birtoklási története, I—II. Bp, 1911. 166—169.
A Károlyi-palota történetéből. Új Idők, 1911. I. kötet, 500.
Markó Miklós: A Károlyi-palota utolsó napjai. Vasárnapi Újság, 1912. 229—231.
The Passing of an Historic Mansion. Hungary, 1912. 138—144.
„A gróf Károlyi-palota egyetem-utcai telektömbjének szabályozási tervét a tanács már kidolgozta . . .". Vállalkozók Lapja, 1912. jún. 5. 13.
Dr. Kismarty-Lechner Jenő: Budapest építőművészeti topográfiája. Bp, 1917. (Kézirat a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében).
Magyar Elek: A Károlyiak pesti palotája. Magyarország, 1919. nov. 30.
Lyka Károly: A táblabíró világ művészete. Bp, 1922. IV. kötet, 74.
Lechner Jenő: Budapest székesfőváros műemlékeinek és műemlékszerű épületeinek lajstroma. Bp, 1924. 22.
Lechner Jenő: Budapest műemlékei. Bp, 1924. 191
Bierbauer Virgil: A magyar klasszicizmus korának kastélyai. Magyar Művészet III-1927, 464—475. 472.
Bierbauer Virgil: Kasselik Fidelio és Hofrichter József pesti építőmesterek művészete. Magyar Mérnök- és Építész Egylet Közleményei, LXI-1927, p. 63—71. — p. 64, 70.
Bierbauer Virgil recenziója Benedek Marcellné Győri Lujza: Az empire építészet Pesten c. művéről. Magyar Művészet, III-1927, 595.
Pápaszem: Eladó a Károlyi-palota. Magyar Hírlap, 1928. ápr. 14.
(ns): Betört, piszkos ablakok — hulló vakolat. Pesti Futár, 1928. No. 12. 6—9.
Surányi Miklós: A Károlyi-palota. Nemzeti Újság, 1928. jún. 21.
Bizottsági és tanácsi előterjesztés a IV. ker. Belvárosban fekvő gróf Károlyi-féle palota megvásárlása ügyében. Fővárosi Közlöny, 1928. jún. 22. 1739—1741.
A Károlyi-grófok pesti palotájának története. Független Budapest, 1928. szept. 19. — 2.
(K.): A Károlyi grófok pesti palotája. História, 1928, No. 3. (Pest-Budai emléklapok, 15—16.)
Kormányhatósági jóváhagyások. A Károlyi-palota megvásárlása. Fővárosi Közlöny, 1928. dec. 7. 3039.
Urmánczy Nándor: Palota vagy park? Pesti Hírlap, 1932. nov. 29.
Bierbauer Virgil: Pesti építőmesterek munkássága 1809—1847. Tanulmányok Budapest Múltjából, I-1932, 76—98. 78, 81, 90.
Réh Elemér: A régi Buda és Pest építőmesterei Mária Terézia korában. Bp, 1932. 57—58.
Hekler Anton: Budapest als Kunststadt. Küssnacht am Rigi, 1933. 86.
B. U.: Budapest művészeti vezetője (recenzió). Tér és Forma, IV/1933, 264—266.

Révhelyi (Réh) Elemér dr.: Az Egyetem-utcai volt Károlyi-palota építésének története. Tanulmányok Budapest Múltjából, II-1933. 87—103.
Pirovits Aladár: A budapesti Károlyi-palota, mint elsőrendű műemlék. Városkultúra, 1933. 103—104.
Zádor Anna: Tanulmányok Budapest Múltjából II. (recenzió). Magyar Művészet, X-1934. 372—373.
Lieber Endre: Budapesti parkok és sétahelyek. Városi Szemle, 1934. II, p. 643—671. 657.
Paczelt János műkertész nekrológja. Kertészeti Szemle, 1937. 2. sz. 47.
Wesselényi Miklós báró, az árvízi hajós naplója. Sajtó alá rendezte és kiadja Rubinyi Mózes irányításával a székesfővárosi VI. kerületi ... fiú felső kereskedelmi iskola ifjúsága. (Bp, 1938.) 25—26, 31—32.
Horváth Henrik: Budapest művészeti emlékei. Bp, 1938. 57, 91.
Rácz Kálmán: Egy palota regénye. Híd, 1942. febr. 10. 18—19.
Zádor Anna—Rados Jenő: A klasszicizmus építészete Magyarországon. Bp, 1943. 91, 129—130, 180, 187, 211.
Lyka Károly: Magyar művészet 1800—1850. III. kiadás, Bp, é. n. (1944). 461, 462, 545.
Lestyán Sándor: Az Egyetem utcai Károlyi-palota történelmi emlékei. Budapest, II-1946. 212—215.
Előterjesztés a Károlyi-palota ügyében. Fővárosi Közlöny, 1949. febr. 19. II. melléklet, 9.
Genthon István—Zakariás G. Sándor: Budapest műemlékjellegű építményeinek jegyzéke. Bp, 1949. (sokszorosítás) 36.
Schoen Arnold—Kardos György—Zakariás G. Sándor: Budapest műemléki kárai 1944/45-ben. Bp, 1950. (Kézirat a Fővárosi Szabó Ervin Könyvtár Budapest Gyűjteményében) 120.
Genthon István: Magyarország műemlékei. Bp, 1951. 48.
Budapest műemléképületeinek jegyzéke. BVTI, Bp, 1952. (sokszorosítás) — V/2.
Műemlékjegyzék az 1953 júniusi állapot szerint. Összeállította a Műemléki Csoport. Kiadja a Népművelési Minisztérium Múzeum Főosztálya. Bp, 1953. 25.
Budapest műemléképületeinek jegyzéke. Második, javított kiadás. BVTV, Bp, 1955. (sokszorosítás). 58.
Vargha Balázs (szerk.): A magyar irodalom helyi hagyományai. Bp, 1955. 16.
Ybl Ervin: Ybl Miklós. Bp, 1956. 9, 15, 120.
Borsos Béla—Sódor Alajos—Zádor Mihály: Budapest építészettörténete, városképei és műemlékei. Bp., 1959. 94, 233, 323.
Műemlékjegyzék. Összeállította az Országos Műemléki Felügyelőség. Bp, 1960. 37
Genthon István—Zakariás G. Sándor: Magyarország művészeti emlékei III. (Budapest). Bp, 1961. 100—101.
Nagy Lajos: Pest város XVII. század végi topográfiájának forrásai. Tanulmányok Budapest Múltjából, XIV-1961, 161—212. 174—175.
Mojzer, Miklós: Werke deutscher Künstler in Ungarn, Teil I.: Architektur. Baden-Baden—Strassbourg, 1962. 53, 59.
Zoltán József: A barokk Pest-Buda élete. Bp, 1963. 123.
A Károlyi-család nemzetségi és fóti levéltára. Repertórium, közrebocsátotta Bakács István. Levéltári leltárak, 33. Bp, 1965. (Kézirat) 13.
Genthon István—Zádor Anna (szerk.): Művészeti Lexikon, II. Bp, 1966. 107, 936, 658.
Budapest műemlékjegyzéke. Összeállította a Fővárosi Műemlékfelügyelőség. Bp, 1967. p. 42.
Moess Alfréd: Egy XVIII. századi pesti kőfaragómester munkássága. Adalék a XVIII. századi magyar építéstörténethez. Művészettörténeti Értesítő, XVII-1968, 3—4. sz., 245—250.
Genthon István—Zádor Anna (szerk.): Művészeti Lexikon, IV. Bp, 1968. 71.
Dercsényi Dezső—Zádor Anna (szerk.): A magyarországi művészet története. Bp, 1970. 344.
Gerőné Krámer Márta: Jung József pesti építőmester. Magyar Műemlékvédelem, 1967—68. Bp, 1970. 196—212. 202.
Budapest enciklopédia. Szerkesztette Tóth Endréné. Bp, 1970. 126—127, 189, 276.
Belvárosunk tegnap és ma. Összeállította az V. kerületi Tancs helytörténeti csoportja. Bp, 1970. 27, 78.
Gerő László: Az építészeti stílusok. IV. kiadás. Bp, 1972. 120.
Budapest lexikon. Főszerkesztő Berza László. Bp, 1973. 323, 445, 523—524, 955.
Gombos Zoltán: Régi kertek Pesten és Budán. Bp, 1974. 105—119, 255—256.

Bibó István: Hofrichter József. Építés- Építészettudomány, VII-1975, 3—4. sz. 369—429.
Nagy Lajos: Budapest története a török kiűzésétől a márciusi forradalomig. (Budapest története, III.) Bp, 1975. 232—233.
Budapest műemlékjegyzéke. Összeállította a Budapesti Műemlékfelügyelőség. Bp., 1976. (oldalszámozás nélkül).
Szántó Piroska: Bálám szamara. Bp. 1982. 74—88.

A képek forrásai

Szilágyi Edit felvételei: 5—7, 9, 12, 13, 29, 39, 41—44.
Országos Levéltár felvételei: 17—28, 30—38, 40, 45.
Reprodukciók a Budapesti Történeti Múzeum Várostörténeti Osztályának fényképtárából:

Balogh Rudolf felvételei:	11, 15, 16.
Belvárosi Fotoműhely:	2.
Koblinger és Sorger:	10, 14.
Ismeretlen:	1, 3, 4, 8.

KESZTHELY MEZŐVÁROS ÉS VÉGVÁR. ADALÉKOK A TELEPÜLÉS TÖRTÉNETÉHEZ*

BEVEZETÉS

A Népköztársaság Elnöki Tanácsa 1954. február 1-el emelte Keszthelyt városi rangra. A hely lakói azonban már századok óta városnak nevezték településüket. Ennek a városnak, *mezővárosnak* kialakulását, fejlődését kísérlem meg felvázolni a következőkben.

A magyar mezővárosok kialakulására, fejlődésükre és életükre Molnár Erik[1] és Mályusz Elemér[2] tanulmányai szolgáltatják a modern történelemszemlélet szempontjai szerint az adatokat.

Molnár Erik szerint a mezővárosok legfőbb jellemzője, hogy piachelyek voltak, az árucsere központjai. A fejlődés folyamán ezeket a piachelyeket a kereskedők is meglátogatták. Később a kereskedők a piachelyeken meg is telepedtek.

A fontosabb piachelyeken a hetivásárokon a király hivatalnoka is megjelent és a piaci ügyeletek után vásárvámot szedett. Később a király a vásárvám szedésének jogát, privilégiumát, átengedte a piachely földesurának, vagy esetleg a mezőváros tanácsának. Ez a körülmény és egyéb jogok, pl. vámmentesség vagy árumegállítási jog a piachely fejlődését elősegítette.

A piachelyből kialakult mezővárosokban szívesen telepedtek meg a tanult iparosok. A piachely — mezőváros — lakossága zömében továbbra is földmívelő paraszt volt, de a kézműipart mellékesen űző földmívesek lassanként háziiparos parasztokból kézműves iparosokká váltak. Molnár Erik fel is sorolja ezeket: „a mezővárosokban elsősorban pékek, mészárosok, vargák, tímárok, szűcsök, kovácsok és takácsok működtek, akik főleg a helyi piac mindennapi szükségletét elégítették ki."[3]

A mezővárosoknak általában nagy, jól művelt határa is volt, ahol nagyobb mértékben termeltek piacra mezőgazdasági cikkeket mint a falukban.

Mályusz Elemér szerint a mezővárosok „ott alakultak meg, ahová a környék parasztságát a földrajzi viszonyok, az utak is irányították, amidőn termelvényeit értékesíteni próbálta s ahol nemcsak vásárlót remélhetett találni, hanem olyan kézműveseket is, akiktől iparcikkeket szerezhet."[4]

Különbséget tesz a „kereskedővárosok" és a mezővárosok alaprajza között is. Amíg a kereskedővárosokban a piactér hatalmas négyszög, amelyet a gazdag kereskedők házai fognak körül, addig a mezővárosokban a piac színtere rendesen egy-egy utca. Azonosság a város és a mezőváros között a kiváltságok tekintetében van.

A mezővárosban a régi falusi élet kereteiből megmaradt mindaz, ami az életfeltételekhez szükséges volt, így a földközösségben művelt föld, a falu legelője, erdeje, a halászóhelyek. Ezek városi közbirtokká alakultak át.

Megmaradtak továbbra is a mezővárosok feudális terhei. A mezővárosok egy részében ezek a terhek a lakosokra házankint vagy fejenkint nehezedtek, máshol az adó egyetemlegesen volt kivetve a mezővárosra.

Fontos Mályusznak azon megállapítása, hogy a „mezőváros" elnevezés túlságosan tág,

* A Veszprémi Akadémiai Bizottság 1978 évi pályázatán díjat nyert tanulmányt, Eszes László munkáját településtörténeti dokumentumként közöljük. *Szerk.*

[1] *Molnár Erik:* A magyar társadalom története az őskortól az Árpádkorig. Szikra kiadás, 240—247.

[2] *Mályusz Elemér:* A mezővárosi fejlődés. Tanulmányok a parasztság történetéhez a 14. században. Akadémiai Kiadó, Budapest 1953. 128—191.

[3] *Molnár Erik*, i. m 245.

[4] *Mályusz Elemér*, i. m 130.

sőt bizonytalan is, latin szinonimái pedig, mivel a magyar mezővárost civitas, oppidum, villa libera, possesio szavakkal következetlenül jelölik, határozatlanok.[5]

Mályusz Elemér kutatásai alapján a következő megfogalmazásra jutott: „A valóságot, azt hisszük, leginkább úgy közelíthetjük meg, ha lemondva a pontos meghatározás megformulázásáról s beérve a hozzávetőleges megjegyzéssel, hogy oly települést kell rajta értenünk, amelynek piaca és több-kevesebb kézműves lakosa volt, a mezőváros lényegét inkább történeti szerepén keresztül próbáljuk megállapítani. Ez pedig így foglalható össze: a mezővárosok százai a falvak ezreiből a parasztság nagy tömegeit emelték ki és vitték a városi élet felé."[6]

KESZTHELY MEZŐVÁROS KIALAKULÁSA ÉS FEJLŐDÉSE 1526-IG

A magyarok történelmében Keszthely neve először 1247-ben szerepel abban az oklevélben, amelyben a veszprémi káptalan a keszthelyi Szent Márton és Szent Lőrinc egyházakat a szegénység miatt bizonyos adózástól felmentett.[7]

Sági Károly szerint a Szent István kori Keszthely két kis falucskából alakult ki. Az egyik a Sz. Márton templom körül, a mai kastélytól keletre eső térségen terült el. A másik telep a mai gótikus plébániatemplom környékén kereshető. „A két kis telepet az elpusztult fenékpusztai római erődvárosból északnak kifutó út kötötte össze. A mai Keszthely területén a Kossuth Lajos utca, a város főutcája jelöli ennek irányát. A két kisebb település lakói ennek a régi római útnak vonalán építették fel új házaikat s a két telep hamarosan össze is olvadt."[8]

De egy másik fontos út, „magna via = nagyút" is vezetett ebben az időben Keszthelyen keresztül éspedig a tengerpartra vezető Fejérvár—Zágráb út azon szakasza, amely Nagyvázsonynál ágazott ki az Olaszországba vezető nagyútból és Tapolcán, a győröki vámon és Keszthelyen keresztül, Zalaváron áthaladva Kolon városnál egyesült egy másik nagyúttal. Ezt az utat már 1211-ben említik az oklevelek.[9]

1248-ban egy oklevél említ egy utat, amely Somlóvásárhelyről Sümegen, Szántón és a tomaji vámon át vezetett Keszthelyre.[10]

Amint látjuk, Keszthely fejlődésének alapját az utak biztosították. Kétségkívül a legfontosabb a Tapolca—Keszthely—Kanizsa—Zágráb-tengerparti út volt, amelyen az Olaszországba irányuló forgalom egy része bonyolódott le.

A falu a 13. században a Pécs-nembeli Marcali család birtokaihoz tartozott, 1295-ben Apor mester a földesura.[11]

Ebben az időben Keszthely már jelentős piachely lehetett, mert amikor Rezi és Tátika várát a veszprémi püspök visszakapta, Keszthely királyi birtok lett. Addig a Rezi vár tartozéka volt.

1332—1337 években Jakab keszthelyi plébános majdnem a legnagyobb tizedadót, évenkint 100 lat dénárt fizetett a pápának.[12]

1346-ban Nagy Lajos király kedvelt emberének, Lackfi Istvánnak adományozta több birtokkal együtt Keszthelyt is. Keszthely ekkor már kiváltságos hely lehetett. Kiderül ez abból az 1359. szeptember 1-én kelt királyi okiratból, amellyel Nagy Lajos a keszthelyieket (:populi, cives, jobbagiones et hospites:) visszahelyezte a vállusi erdő használatának jogaiba, amelyektől őket Bándy István hegyesdi várnagy eltiltotta.[13]

A 14. században kezdenek megtelepedni hazánkban a kolduló rendek, főleg a jelentős gócpontokban, városokban. Keszthelyen 1367—68-ban a ferencesek telepedtek le.[14] 1368-ban András keszthelyi plébános panaszt emelt V. Orbán pápánál a ferencesek ellen,

[5] *Mályusz Elemér*, i. m 186.
[6] *Mályusz Elemér*, i. m 186.
[7] *Bontz József:* Keszthely város monográfiája. Keszthely 1896. 198.
[8] *Dr. Iványi Béla—Péczely Piroska—Dr. Sági Károly:* Keszthely és környéke. Panoráma 1962. 35.
[9] *Glaser Lajos:* Dunántúl középkori úthálózata. Századok 1929.
[10] *Glaser*, i. m. 78. sz. út.
[11] *Koppány Tibor—Péczely Piroska—Sági Károly:* Keszthely. Magyar műemlékek. Budapest 1962. 22. o.
[12] *Bontz*, i. m. 77.
[13] *Székely György:* Az egyházi nagybirtok újjászervezése. Tanulmányok a parasztság történetéhez Magyarországon a 14. században. Budapest 1953. 346.
[14] *Dr. Dornyay Béla:* A Balaton és környéke részletes kalauza. Budapest 1934. 240.

„akik a kápolnát (Sz. Lőrinc kápolna) a hozzátartozó házakkal, kertekkel és területtel elfoglalták és itt a szentségeket kiszolgáltatják a helybeli plébános jogsérelmére".[15]

Úgy látszik a panasz nem került meghallgatásra. 1367-ben ugyanis Lackfi István, aki ekkor az ország nádora volt, megkezdte a ferencesek templomának és hozzá csatlakozóan a kolostornak az építését. 1386-ig elkészült a szentély, a hajó építése áthúzódott a századfordulón túlra.[16]

Zsigmond király alatt Lackfi István kegyvesztett lett. 1397-ben Kőrös—Udvarhelyen lefejezték. Földi maradványait Keszthelyre hozták és az általa épített templom szentélyében, a főoltár előtt temették el. Birtokait elkobozták.

A Lackfi-birtokok és így Keszthely is visszakerültek a király kezére. Az örökös pénzzavarban lévő Zsigmond Keszthelyt több ízben elzálogosította. Évenkint változtak a birtokosok, amiből arra következtethetünk, hogy Keszthely már jó jövedelmet biztosított földesurának.

A 14. század végéről már több okiratból is fény derül Keszthely mezővárosi státusára.

1398-ban Literatus Péter, Kámbor János és Kozma Mátyás keszthelyi kereskedők (:institores:) panaszt emeltek Zsigmond király előtt a hegyesdi várnagyok ellen azért, mert ezek a keszthelyi lakosokat a vállusi ősrégi erdőjogokban, amelyeket Nagy Lajos királytól kaptak, háborgatták. Zsigmond a hatalmaskodóknak meghagyta, hogy a keszthelyi *polgárokat és beköltözötteket* háborgatni ne merészeljék, sőt azokat a törvénytelen támadások ellen védjék meg.[17]

Ugyancsak 1398-ban adott Zsigmond király négy keszthelyi kereskedőnek, éspedig az előbb említett Literatus Péternek, Kámbor Jánosnak, Kozma Mátyásnak, valamint Kubulus Pálnak szabad közlekedést biztosító védlevelet.[18]

Zsigmond király 1398—1400. években kiadott oklevelei a keszthelyiek erdőhasználatát és makkoltatását biztosították, arrestálásukat tiltották, a jogtalan collectaszedéstől és vámszedéstől mentesítették őket, kiváltságaikat pedig megerősítette.[19]

Az említett kereskedők képviselték a mezőváros érdekeit. Literatus Péter írástudó volt és a panaszokat a király felé közvetítette. Fentiek közbenjárására Zsigmond király a városnak *kiváltságlevelet* adott, amelynek értelmében a földesuraknak, főpapoknak, zászlós uraknak, várnagyoknak, nemeseknek és szabadfalvaknak megtiltotta Keszthely polgárai felett a bíráskodást úgy személyi mint vagyoni ügyben. Elrendelte, hogy mindenki, legyen az főpap vagy zászlós úr, ha *valami keresete vagy pörös ügye van a keszthelyi polgárok és beköltözöttek ellen, azt a város bírája és esküdtjei elé terjessze.*[20]

1399-ben Zsigmond király meghagyta Rezi és Tátika királyi várak várnagyainak, hogy a keszthelyieket ne zavarják újrendszerű borkilenced szedésével, hanem *a keszthelyi tanács szedje be vödör szám mérve* a bort. A beszedett borkilencedet csak Tátika várába tartoztak beszállítani és nem más távol fekvő várakba. Azt is meghagyta a király Rezi és Tátika várnagyainak, hogy ne háborgassák a keszthelyieket a rezi erdő használatában.[21]

1400-ban Mircea havasalföldi vajda felesége a tomaji vámon a keszthelyi vendégektől és városiaktól vámot szedett *kiváltságaik és a király írásbeli tilalma ellenére* (:contra eorum libertates privilegiatas et consuetudines antiquas...:). Sőt több embert foglyul ejtett, 24 ökröt, 2 lovat és különféle tárgyakat vett el. A király a foglyok kiszabadítását elrendelte, az okozott kárt megtéríttette és a városnak adott szabadságokat tudomásulvétel végett a havasalföldi vajdával, a rezi várnagyokkal közölte és *a zalai ispánt bízta meg, hogy őrködjék a keszthelyiek kiváltságainak épségben tartásán.*[22]

1401-ben Keszthely és a hozzátartozó birtokok Eberhard zágrábi püspök tulajdonába kerültek és kb. 1415-ig Eberhardé voltak. A püspök halálával a birtok visszakerült a király kezére.

Eberhard püspök 1409. szeptember 14-én azokból az adókból, amelyeket neki a város évenkint fizetni tartozott, 50 tiszta arany forintot elengedett, hogy *a polgárok, beköltözöttek és jobbágyok* sorsán könnyítsen.[23]

[15] *Dr. Dornyay Béla:* Keszthely-végvár a török világban. 7.
[16] *Dercsényi Dezső:* Nagy Lajos kora. Királyi Magyar Egyetemi Nyomda, é. n. 89—90.
[17] *Bontz*, i. m. 78.
[18] *Mályusz*, i. m. 134.
[19] *Mályusz*, i. m. 135. 195. sz. jegyzet
[20] *Bontz*, i. m. 79.
[21] *Dr. Iványi Béla—Dr. Sági Károly—Takács Kálmán:* Hegyesd—Tátika—Rezi. 1961. 46.
[22] *Bontz*, i. m. 80.; *Dr. Holub József:* Zala vármegye vámhelyei és úthálózata a középkorban. Századok 1917. 48.
[23] *Bontz*, i. m. 82.

1421-ben Zsigmond a keszthelyi birtokokat, amelyek a Rezi vár tartozékai voltak, 10 000 arany forintért Medvei János zágrábi püspöknek és Medvei Rudolfnak zálogosította el. A zalai konvent 1421. július 15-én a Medvei testvéreket be is iktatta a rezi zálogbirtokba. Ebben az évben a Rezi vár tartozékai: Rezi, Zsid, Tomaj, Falud falvak és *Keszthely mezőváros.*[24]

Zsigmond király 1427. június 2-án Brassóban kelt levelével Rezi várát és tartozékait elvette a Medvei családtól és Gersei Pethő Péternek és Lászlónak adományozta. A Medveiek eleinte vonakodtak átadni a birtokot, végül is Medvei Rudolf 1433. december 20-án Bázelben kelt oklevelében lemondott Rezi várára vonatkozó minden jogáról.[25] A Pethők 1435-ben foglalták el a keszthelyi birtokot.

Egy 1429-ben kelt oklevélből arról értesülünk, hogy a vállusi Szent Miklósról elnevezett pálos kolostornak Keszthelyen öt jobbágytelke volt, amelyeket a Pethők erőszakkal elfoglaltak.[26]

A Pethők birtokba jutása idején Keszthely már jómódú mezőváros lehetett, mert szemet vetettek rá más birtokosok is. Sági Károly említi, hogy 1445-ben a Marcali család emberei betörtek Keszthelyre, kifosztották a templomokat, a ferences kolostort, a Pethők kúriáját, sok berendezési tárgyat, sót, pénzt, ruhaneműeket vettek el a hospitesektől, 64 ökröt és lovat, 26 hordó bort vittek el, a Pethőknek és jobbágyainak mintegy 2000 arany értékű kárt okoztak.[27] 1448. aug. 23-án a Marcaliak jobbágyaikkal újból Keszthelyre rontottak, Pethő János és Péter kúriáját kifosztották, majd a Pethők és jobbágyaik minden barmát, amit megfoghattak Keszthely, Tomaj és Rezi területén, éspedig 400 ökröt, 170 lovat, 300 tehenet elraboltak és azokat Csurgó várába hajtották.[28]

1464-ben Fenéki Miklós és Gergely kifosztották a Pethők egyik keszthelyi halász jobbágyát, halait elvették és hálóját összetépték.[29]

1470-ben a Pethők jobbágyai verekedtek össze. Ez alkalommal *Benedek kovács* lándzsaszúrástól megsebesült. *István keszthelyi ács* bele is halt a verekedés közben szerzett sebeibe. Verekedés közben halt meg György keszthelyi bíró is.[30]

1474-ben Zala vármegyében összeírták az 1 forintos hadiadóval hátralékos portákat. Az összeírás szerint 79 adózó jobbágyporta volt Keszthelyen.[31]

1483-ban a Pethők keszthelyi jobbágyai között hajósok (: nautae:) is voltak, akik a Balatonon a Szent földre zarándoklókat át szokták vinni.[32]

Ugyancsak 1483-ból tudósít egy oklevél arról, hogy Bátori István egy szentgyörgyi jobbágya a keszthelyi *Lőrinc napi vásárról* jövet a tomaji vámot álúton meg akarta kerülni. Az álutak őrzői megölték.[33]

1502-ből egy oklevélből arról értesülünk, hogy a Pethők egyik tomaji jobbágya, mielőtt a türjei prépostság birtokára költözött, a keszthelyi Szűz Mária egyház (a ferencesek) *malmát a Dobogóhegy alatt* elpusztította s követ elhordta.[34]

Az 1503—1508. években Keszthelyen volt az egyik papi tizedszedő kerületnek (:cultellus:) a székhelye, amelyet Keszthelykésnek neveztek.[35]

Közel 300 év történetéből — a tatárjárástól a mohácsi vészig — csupán mintegy két tucat okleveles adat ismeretes jelenleg. De ezekből is kétség kívül megállapítható, hogy az Anjou-házbeli királyok uralkodása alatt bekövetkezett gazdasági fellendülés hozta meg Keszthelynek is azt a fejlődést, ami lehetővé tette, hogy a szerény királyi faluból módos mezővárossá váljék, amelynek megszerzése kívánatos lett a kor hatalmasságai szemében.

Nagy Lajos udvarában a Lackfi család tagjai voltak talán a legtöbb vezető állásban. A hűség jutalmául a király értékes birtokokkal jutalmazta kedvelt embereit s nem lehet véletlen, hogy uralkodásának első éveiben, már 1346-ban jutottak a Lackfiak Keszthely birtokába. Talán az is szempont lehetett ennél az adománynál, hogy Keszthely az ebben a korban oly fontos Buda—olaszországi út egyik exponált helyén feküdt.

[24] *Iványi—Sági—Takács:* Hegyesd, Tátika, Rezi, 85.
[25] Uo.
[26] *Bontz*, i. m. 378.
[27] *Sági—Koppány—Péczely:* Keszthely, 1962. 25.
[28] *Bontz*, i. m. 86.
[29] *Sági—Koppány—Péczely:* Keszthely, 1962. 26.
[30] Uo. 26.
[31] Uo. 24.
[32] Uo. 26.
[33] *Dr. Holub*, i. m. 48.
[34] *Dr. Holub József:* Zala megye története a középkorban. Pécs 1929. 272.
[35] *Dr. Holub:* Zalamegye története, 353.

Keszthely fontosságát bizonyítja az a tény is, hogy a Lackfiak, akiknek 10 erős vár és 250 helység volt a birtokukban, Keszthelyen építettek templomot, amelyet talán családi temetkezőhelynek is szántak. A nagyhírű család tragédiája, hogy a templomalapítónak csupán a koponyája nyugszik a templom főoltára alatt lévő kriptában.

A Lackfi-birtokokat Zsigmond király ismételten elzálogosította, de Keszthelyt megtartotta magának. Zsigmond király uralkodása idejéből maradt fenn a legtöbb okirat, amelyekben Keszthely mezővárosi státusára adatot találunk.

KESZTHELY NYÍLT VÁROS
1526—1567

A 16. században a Pethő család irányította Keszthely sorsát. Ebben az időben már *Keszthely mezőváros tartozéka* (:pertinentia:) volt Falud, Fenék és Keztel-Tomaj és ez az együvétartozás fenn is maradt egészen 1848-ig.

A Pethő család megalapítója gersei Pethő (I) János. A Pethő család 1403-ban lett zalamegyei birtokos.

A kor szokása szerint hatalmaskodással is igyekeztek vagyonukat gyarapítani. 1429-ben erőszakos módon lefoglalták a vállusi pálosok Szent Miklós kolostorának öt keszthelyi jobbágytelkét.[36]

Pethő János fiai, (I) László és (II) Péter 1432-ben Zsigmond királytól megkapták Rezi várát tartozékaival: *Keszthely mezővárost*, Zsid, Rezi, Falud és Keztel-Tomaj falukkal együtt.

1438-ban a két testvér megosztozkodott. Lászlónak a horvátországi, Péternek a magyarországi birtokok jutottak. Ekkor szakadt a család két ágra, a horvátországira és a magyarországira. De a horvátországi ág tagjainak is mindvégig, míg a család ki nem halt voltak Keszthelyen és tartozékain birtokai.[37]

(I) László Zala megyei főispánnak fiai közül (I) Miklós szintén Zala megyei főispán volt. Neki is volt birtokrésze Keszthelyen. 1474-ben (I) Miklós és (II) János arra kötelezték magukat, hogy Keszthely, Szántó, Tomaj, Falud, Wathka, Kovachy, Hidegkút birtokaik után 1 forintos hadiadót fizetnek. Az összeírás szerint 79 adózó porta volt Keszthelyen, éspedig Pethő Miklósnak (horvátországi ág) 30, Pethő Jánosnak (magyarországi ág) 43, a plébánosnak 6 adófizető portája volt. A történetírók mai álláspontja szerint a 15. század végén a jobbágygazdaságok átlagos nagysága a fél telek, azaz minden egész telken, amely ekkor még azonos a portával, két jobbágycsalád élt.[38] Ezek szerint ebben az évben Keszthelyen kb. 160 ház lehetett.

A Pethők Tátika várában laktak. 1513-ban olvasunk először arról, hogy Pethő Ferenc Keszthelyen, a Szent Miklós kápolna közelében egy kőház építését kezdi meg. 1520-ban arról történik említés, hogy (II) Péter Vas megyei főispán kisebbik fiának (II) Györgynek is volt Keszthelyen háza.

A 16. század első két évtizedében Keszthely nyugodtan fejlődhetett. A mohácsi csatavesztés híre talán hamarosan eljutott Keszthelyre is, de még jó sokáig nem látnak törököt a város lakói.

A szultán elhatározta, hogy hatalma alá helyezi Bécset. 1532 nyarán indult meg a török haderő. Ezúttal a legrövidebb úton, a Dráva északi partján, Délnyugat-Dunántúlon vonult az osztrák hegyek felé.

Ennek a hadjáratnak a szele érintette már Keszthelyt is. A szultán hadainak felvonulása hírére a keszthelyi ferencesek a tátikai várba mentették drága egyházi felszerelésüket, féltették ezeket a „*nyílt városban*" hagyni. Példájukat követték a környékbeli nemesek is. Ezek a kincsek még 1538-ban is Tátika várában voltak.[39]

Kecheti Márton püspöksége idejében történt, hogy Pethő Péter a veszprémi káptalan Kapornak nevű birtokát, Pethő János pedig a káptalan Keszthelykés nevű birtokrészét elfoglalta.[40] 1538. január 22-én Kecheti Márton megtorolta a Pethők túlkapásait. Sümegből kiindulva éjjel rajtaütött Tátika várán, elfogta Pethő Antalt is, kifosztotta a várat és

[36] *Bontz*, i. m. 378.
[37] *Bontz*, i. m. 379.
[38] *T. Mérey Klára:* Somogy megye pusztulása Szigetvár eleste után. Szigetvári emlékkönyv 1966. 172.
[39] *Iványi—Sági—Takács:* Hegyesd, Tátika, Rezi, 53.
[40] *Erdélyi Gyula:* Veszprém város története a török idők alatt. Veszprém 1913. 54.

az itt felhalmozott kincseket a sümegi várba vitte. A Pethő család az 1538. évi országgyűlésen emelt vádat Kecheti püspök ellen.[41]

A rajtaütésből és a 100 000 forintot érő kincsek elrablásából per lett. Kecheti Márton még 1550-ben is elfoglalva tartotta a várat.

A számunkra legérdekesebb Pethő-birtokról, Keszthelyről eddig nem sok szó esett. Nem is lehetett a város sorsát figyelemmel kísérni, mert alig szólnak róla a források.

A következőkben egy olyan forrás alapján kísérjük figyelemmel Keszthely sorsát, amelyik 1531-től 1648-ig sűrű időközökben felmérte a város adófizető polgárait. Ez a forrás a Dicalis Conscriptio, a hadiadó összeírás.

1531. április 27-én Ferdinánd király Pozsonyban az országgyűlésen a rendekkel hadiadót szavaztatott meg az ország védelmére.[42]

A hadiadót, vagy ahogy akkor nevezték, a rovásadót az országgyűlés szavazta meg a király rendelkezésére, de az ország védelmére. A 16. század első felében az adómegszavazás egy-egy évre történt, később a megajánlás több évre szólt. Az adó alapja kezdetben a *porta*. Egy egész telken több jobbágycsalád is élt. Az adózás a cenzushoz volt kötve. A cenzus alapja kezdetben 3 forint. Csak az a jobbágy fizetett adót, akinek a vagyona a 3 forintot elérte, vagy meghaladta. A vagyon meghatározásánál a munkaeszközök: kapa, eke, fejsze stb. értéke nem számított.

A rovásadót (dica) a rovó (dicator) szedte össze. Rovó csak annak a megyének vagy a szomszéd megyének birtokosa lehetett, ahol működött, és a király nevezte ki.

A rovó az illető járás szolgabírájával és az esküdt nemessel együtt faluról falura járva, a falusi bíró eskü alatt tett vallomása alapján, írta össze a porták számát. Az adót a jobbágyoktól a bíró szedte be és adta át a rovónak, a nemfizetők jegyzékével együtt. Az adóhátralékot az alispán szedte be.

Az adót két részletben fizették: prima dica és secunda dica, a kettő együtt utrisque dica. Az első és második beszedés között volt az adózó porták számának módosítása, a rectificatio. A rectificatiot a szolgabírák a helyszínen végezték.

Az Országos Levéltár kincstári osztályán megmaradtak a Dicalis Conscriptio lajstromai. A keszthelyi rovásadó összeírások adatait Dr. Pákay Zsolt gyűjtötte ki a Dicalis Conscriptio Zala megyei kötetéből.[43]

A legelső megállapítás talán az lehet ezekkel az összeírásokkal kapcsolatban, hogy a rovók — néhány esettől eltekintve — Keszthely mezővárost és tartozékait (Keztel cum pertinentia) vagyis Falud, Fenék és Keztel-Tomaj falukat együtt írták össze. Azt kell gondolnunk, hogy Falud, Fenék és Keztel-Tomaj faluknak nem volt bírájuk. A fennmaradt okmányokban sehol sem esik említés róluk. Így a keszthelyi bíró feladata volt, hogy ezekben a helységekben is összeírja az adófizetőket.

Egy másik megjegyzés is helyénvalónak látszik. A rovásadó összeírások nem ölelik fel a lakosság egészét, mert csak az adófizető jobbágyporták voltak fontosak a hadiadó begyűjtése végett. Ezek az összeírások mégis fontos dokumentumai annak, hogy Keszthely és tartozékai erősen lakott települések voltak az egész végvári idő alatt. Igaz ugyan, hogy Falud, Fenék és Keztel-Tomaj faluk a 17. században elpusztultak, vagy megszűntek mint önálló települések. Viszont ebben a században Faludon és Keztel-Tomajon alakultak ki a keszthelyiek szőlőhegyei és így még jobban megerősödött kötődésük Keszthelyhez. Fenék pedig végleg eltűnt a települések sorából.

Az első rovásadó összeírás 1531-ben történt. Az adót az 1530 májusában Pozsonyban összeült országgyűlés szavazta meg. Egy forint volt az adó, minden olyan jobbágytelek fizette, amelynek 3 forint vagy azt meghaladó vagyona volt. Adót fizettek az egytelkes és egyházi nemesek, valamint a szabadosok is. A rovók a szegény szeren lévő és a török vagy a német által felégetett portákat is összeírták. A lelkészek fejenkint 1 forint adót, a többi egyházi javadalmasok a főpapjuk által megállapított összeget fizették.

Ebben az összeírásban külön írták össze Keszthelyen, Faludon és Keztel-Tomajon a portákat. Fenék nem szerepel az összeírásban. Fenék először 1542-ben szerepel az összeírásokban, mint látni fogjuk, birtokosa akkor Sulyok Balázs volt. Így valószínűnek látszik, hogy 1531-ben Fenék még nem tartozott a Pethők birtokaihoz.

[41] *Iványi—Sági—Takáts:* Hegyesd, Tátika, Rezi. 53.

[42] *Juhász Lajos:* A porta története 1526—1648. Századok 1936, pótfüzet. „A porta az a földterület, mely a belső telekhez künn a határban tartozik, illetőleg az a hozadék, amit ezen a területen ki lehet termelni. A porta meghatározásában megkívánják a kaputól, hogy beférhessen rajta egy szénás, vagy gabonával rakott szekér, vagyis, hogy a telken élőket a föld bizonyos mennyiségű terménnyel lássa el."

[43] Országos Levéltár, Dicalis Conscriptio, Tomus LII. Com. Zaladiensis.

Birtokos	Adófiz.	Szegény	Puszta	Szabados	Együtt
Kezthel cum pertinentia					
Pethő Péter	5	15	—	—	20
Pethő Balázs	4	2	5	3	14
Pethő János	4	5	—	4	13
Magyaro. ág	13	22	5	7	47
Pethő Tamás	6	5	4	—	15
Pethő Ferenc	8	4	—	1	13
Horváto. ág	14	9	4	1	28
Plébános	6	2	2	—	10
Kezthely cum pertinentia	33	33	11	8	85
Thomay					
Gyulaffy István	8	6	4	—	18
Pethő Tamás Mo.	2 1/2	4	5	—	11 1/2
Összesen:	10 1/2	10	—	—	29 1/2
Falwd cum pertinentia					
Pethő Antal Mo.	3 1/2	5	4	2	14 1/2
Pethő László Ho.	3	4	—	1	8
Összesen:	6 1/2	9	4	3	22 1/2
Pethők Mo. ág	16 1/2	27	9	9	61 1/2
Pethők Ho. ág	19 1/2	17	9	2	47 1/2
Mások	14	8	6	—	28
Kezthel, Thomay, Falwd	50	52	24	11	137

A következő oldalon levő táblázat rovatainak értelmezéséhez szolgáljanak a következő meghatározások:

Adófizetők voltak azok a jobbágyporták, amelyeknek vagyona elérte a 3 forintot.

A „szegények" a portás jobbágyok és a zsellérek között elhelyezkedő jobbágyok voltak.[44] Ezek földjük megműveléséhez nem vettek igénybe idegen munkaerőt.[45]

„Puszta" a telek, ha a belső funduson levő ház elpusztult, de a hozzá tartozó szántó és rét, valamint az ezekhez kapcsolódó fáézási, legeltetési, halászási és makkoltatási jog még fennáll. Lehetséges, hogy valamelyik tehetősebb „adófizető" bérli ezeket, vagy közösségben művelik.[46]

A „szabadosok" mentesek voltak a jobbágyi szolgáltatásoktól.

Keszthely lakottságának dokumentálására szolgáljon néhány összehasonlító adat: 1531-ben Pápán 194, Veszprémben 28, Nagyvázsonyban 12 adófizető portát írtak össze.[47]

A plébános nevét nem ismerjük. Bontz József szerint a gersei Pethő család volt a plébánia kegyura. Ők adták a plébániának a régi Szent Márton templomtól keleti irányban húzódó utcát, a Pap utcát, itt laktak a plébános jobbágyai.

Ha figyelembe vesszük, hogy egy telekre átlagban négy családot, — családonkint öt fővel — lehet számítani, akkor 1531-ben a 113 lakott telken (24 puszta volt) kb. 2260 fő lakott, nem számítva azokat (familiárisok, kereskedők, iparosok, szolgák) akiket nem írtak

[44] *T. Mérey Klára*, i. m. 158. 2. jegyzet.
[45] *Juhász Lajos*, i. m.
[46] Uo.
[47] *Dr. Pákay Zsolt:* Veszprém megye története a török hódoltság korában a rovásadó összeírás alapján (1531—1696) Veszprém 1943.

Birtokos	Adófiz.	Szegény	Puszta	Szolga	Együtt
Kezthel cum pertinentia					
Pethő Péter	2	4	6	2	14
Pethő Balázs	2	9	12	—	23
Pethő János	3	5	6	2	16
Pethő Antal	2	6	—	5	13
Magyaro. ág	9	24	24	9	66
Pethő Ferenc	13	10	15	7	45
Pethő László	6 1/2	—	10	4	20 1/2
Horváto. ág	19 1/2	10	25	11	56 1/2
Kezthel cum pertinentia	28 1/2	34	49	20	131 1/2
Thomay					
P. Antal, János, Péter, Mo. ág	3	7	—	—	10
Gyulaffy István	7 1/2	6	—	—	13 1/2
Thomay:	10 1/2	13	—	—	23 1/2
Pethők Mo. ág	12	31	24	9	76
Pethők Ho. ág	19 1/2	10	25	11	65 1/2
Mások	7 1/2	6	—	—	13 1/2
Kezthel és Thomay	39	47	49	20	155

össze. Magában a városban 74 lakott telek volt, kb. 1500 fő élhetett. Népes volt Falud, 18 1/2 lakott telken kb. 370 fővel és Keztel-Tomaj 20 1/2 lakott telken kb. 410 fővel.

1531-ben és 1532-ben a török Veszprém megye egész területét feldúlta már. Csóron András volt Devecser és Sümeg kapitánya. 1532-ben írta Bécsbe, hogy a törökök ez időben hétszer támadták meg Sümeg és Devecser vidékét.

1534-ből maradt fenn a második rovásadó összeírás. Ez évben is külön szerepel Keszthely és Tomaj de Faludról nincs adat.

Ebben az évben a szomszédos Somogyban néhány helységben a következő adatokat írták össze: Kéthely: 16 adófizető, 14 szegény, 14 puszta. Komár: 22 adófizető, 5 szegény, 12 puszta. Marcali: 44 adófizető, 15 szegény és 7 puszta telket.[48]

Az ez évi összeírásból hiányzik a plébános, nem tudjuk mi okból. A pusztatelkek száma kétszeresére nőtt, szabadosok helyett szolgák szerepelnek. A lakosság száma Keszthelyen 82 1/2 lakott telken kb. 1650 fő, Tomajon 23 1/2 lakott telken kb. 470 fő, együtt 106 lakott telken kb. 2120 fő élhetett. Ha számításba vesszük, hogy hiányzik a plébános birtoka és Falud teljesen, akkor növekvő lélekszámmal, de jelentékeny elszegényedéssel kell számolnunk.

Az 1535. évi pozsonyi országgyűlésen a rendek jobbágytelkenként egy forint adót szavaztak meg, az adó fizetése alól senki sem volt felmentve. A beszedést, illetve összeírást végző rovónak és szolgabírónak a bíró adott szállást és ellátást, ezért 5 adózó porta után egy fél, 10 után egy egész porta adója őt illette. Az adó beszedése 1536-ban történt, két részletben fizették.

A következő két táblázat szemléletesen mutatja, hogy a Pethők igyekeztek távoltartani a rovót birtokaiktól, mert az első beszedéskor sikeresen letagadtak 19 lakott portát.

Az 1536. évi első összeírásban nem szerepel Falud és Tomaj, ez magyarázza meg az összeírott porták több mint 50%-os visszaesését az 1534. évi összeírással szemben. Viszont emelkedett a keszthelyi adófizető porták száma.

Keszthelyen a 81 1/2 lakott portán kb. 1630 személy, Tomajon a 7 portán kb. 140 személy lakhatott. Falud ismét hiányzik az összeírásból.

[48] *T. Mérey Klára*, i. m.

1536. évi I. dica:

Birtokos	Adófizető	Szegény	Puszta	Szolga	Bíróé	Együtt
Kezthel cum pertinentia						
Pethő Péter	3	3	—	1	—	7
Pethő Balázs	1	—	—	—	—	1
Pethő János	3	3	—	—	—	6
Pethő Antal	3	5	—	1	—	9
Pethő Zsófia	1	3	—	—	—	4
Magyaro. ág	11	14	—	2	—	27
Pethő Tamás	6	5	2	—	—	13
Pethő Ferenc	12	2	—	—	1	15
Pethő László	7	3	—	—	1/2	10 1/2
Horváto. ág	25	10	2	—	1 1/2	38 1/2
Plébános	3	3	—	—	—	6
Kezthel cum pertinentia	39	27	2	2	1 1/2	71 1/2
1536. évi II. dica:						
Kezthel cum pertinentia						
Pethő Péter	3	4	—	1	—	8
Pethő Balázs	2	3	—	—	—	5
Pethő János	3	3	—	1	—	7
Pethő Antal	3	5	—	1	—	9
Pethő Zsófia	1	3	—	—	—	4
Magyaro. ág	12	18	—	3	—	33
Pethő Tamás	6	5	2	—	—	13
Pethő Ferenc	12	7	2	—	1	22
Pethő László	7	4	—	—	1/2	11 1/2
Horváto. ág	25	16	4	—	1 1/2	46 1/2
Plébános	3	3	—	—	—	6
Kezthel cum pertinentia	40	37	4	3	1 1/2	85 1/2
Keztel-Thomay:						
Gyulaffy István	4	3	2	—	—	9
Keztel és Thomay	44	40	6	3	1 1/2	94 1/2

Somogyban ugyanakkor a már említett helységekben az összeírás a következő képet mutatja: Kéthely 34 adófizető, Komár 34 adófizető, Marcali 25 1/2 adófizető porta volt.[49]

Az 1542. évi rovásadó megszavazása a pozsonyi országgyűlésen történt. Jobbágytelkenkint 2 forint volt az adó, ebből 1 forint a királyi kapitányok, tisztviselők és bírák fizetésére, 1 forintot a következő évi török elleni hadjárat költségeire fordítottak. Az adó fizetése alól fel volt mentve az a jobbágy, akinek a vagyona 3 forintnál kevesebbet ért. A nemesek és más birtokosok vagyonuk hatvanad részét (sexagesima) ajánlották fel a sajátjukból.

Az 1542. évi összeírásban mind a négy helység szerepel. Ennek megfelelően magas a lakott telkek száma, a puszta telkeket nem írták össze. A tomaji birtokosok (+) hátralék-

[49] Uo.

1542. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Szegény	Együtt
Kezthel et Falwd			
Pethő Péter	4	3	7
Pethő János	2	—	2
Pethő Mihály	3	7	10
Magyarországi ág	9	10	19
Pethő Ferenc özvegye	17	16	33
Pethő Ferenc özvegye	2	4	6
Pethő András	6	14	20
Pethő Benedek	5 1/2	12	17 1/2
Horvátországi ág	30 1/2	46	76 1/2
Plébános	6	5	11
Kezthel et Falwd összesen	45 1/2	61	106 1/2
Fenek			
Sulyok Balázs	2	—	2
Thomay			
Pethő Ferenc özvegye +	4	—	4
Plébános +	4	—	4
Thomay összesen	5	1	6
Magyarországi ág	9	10	19
Horvátországi ág	34 1/2	46	80 1/2
Mások	9	6	15
Kezthely, Falwd, Fenek, Thomay	52 1/2	62	114 1/2

ban voltak az adóval. Keszthelyen Faluddal együtt 106 1/2 lakott telek volt, kb. 2130 személy élhetett.

1543. évben a besztercebányai országgyűlés szavazott meg hadiadót. Ebben az évben a kisnemesek és egyháziak birtokait írták össze. Az adót csak annak a jobbágynak kellett fizetnie, akinek a vagyona 6 forintnál többet ért, a zsellérek nem fizettek. A hódoltság alatti porták a fele adót fizették. A plébánosok évi jövedelmük 10%-át, az egytelkes nemesek és nem nemesek, akik nemesi birtokot szereztek, minden kúria után 1 forint adót fizettek.

1543-ban Keszthelyen csak a hátralékosokat írták össze, 17 porta volt hátralékban az adófizetéssel.

1545-ben a nagyszombati országgyűlésen történt a hadiadó megszavazása, éspedig portánkint 1 forintot a végvárak erődítésére és őrségének fizetésére, a királynak pedig 20 dénár kamaranyereséget (lucrum camerae) ajánlottak meg.

Az 1545. évben két ízben volt összeírás, az első alkalommal valószínűleg csak a falukat (Falud és Fenék), a második alkalommal az egész területen az adófizetőket írták össze. Ebben az évben készült hátralékjegyzék is. A plébános birtoka és a tomaji birtokok hiányoznak az összeírásból.

1548-ban a pozsonyi országgyűlésen szavaztak meg hadiadót. Két részletben 2 forint volt az adó, amit hadak fogadására és a végvárak eltartására fordítottak. A hódolt területek jobbágyai az adó felét fizették. A zsellérek és akiknek házuk elpusztult, vagy akik új házat építettek nem fizettek adót. Az egytelkes nemesek kúriánkint 50 dénárral adóztak.

Birtokos	Adófizető	Szegény	Puszta	Együtt
Falwd Kezthelffenek et Falwd				
Pethő Péter	—	3	—	3
Pethő János	—	3	—	3
Pethő Gáspár	—	13	7	20
Pethő Antal	—	10	—	10
Pethő Mihály	—	5	—	5
Magyarországi ág	—	34	7	41
Pethő András	—	13	—	13
Pethő Benedek	—	6	—	6
Horvátországi ág	—	19	—	19
Falwd Keztelffenek et Fallwd	—	53	7	60
Keztel cum pertinentia				
Pethő Péter	2 1/2	—	—	2 1/2
Pethő János	3	—	—	3
Pethő Gáspár	12	—	—	12
Pethő Antal	4	—	—	4
Pethő Mihály	2 1/2	—	—	2 1/2
Magyarországi ág	24	—	—	24
Pethő András	6	—	—	6
Pethő Benedek	2	—	—	2
Horvátországi ág	8	—	—	8
Keztel, Falwd, Fenek	32	53	7	92

1545. évi IIa dica:

Birtokos	Adófizető	Hátralék
Keztel cum pertinentia		
Pethő Péter	2 1/2	3
Pethő János	3	—
Pethő Gáspár	11 1/2	—
Pethő Antal	4	2
Pethő Mihály	2 1/2	1
Magyarországi ág	23 1/2	6
Pethő András	4	—
Pethő Benedek	2	2
Horvátországi ág	6	2
Bornemissza Pál	2	—
Keztel cum pertinentia	31 1/2	8

1548. évi Ia dica:

Birtokos	Adófizető	Szegény	Újra telep.	Együtt
Keztel cum pertinentia				
Pethő Gáspár	14	—	—	14
Pethő Antal	4	—	—	4
Pethő Péter	2	—	—	2
Pethő Mihály	1 1/2	—	—	1 1/2
Magyaro. ág	21 1/2	—	—	21 1/2
Pethő András Ho.	5	—	—	5
Keztel cum pertinentia	26 1/2	—	—	26 1/2
Feneek				
Pethő Mihály	—	1	—	1
Thomay				
Pethő Gáspár	2	2	3	7
Keztel, Feneek, Thomay	28 1/2	3	3	34 1/2

1548. évi IIa dica:

Birtokos	Adófizető	Szegény	Szolga	Új tel.	Keresk.	Kuria	Együtt
Kezthely et Falwd, felégetve							
Pethő Gáspár	6	19	1	6	—	—	32
Pethő Mihály	1	5	—	—	—	—	6
Pethő Péter	3	4	—	—	—	—	7
Pethő János	1	4	—	1	—	—	6
Pethő Antal	2	7	—	2	—	1	12
Magyaro. ág	13	39	1	9	—	1	63
Pethő Benedek	2	7	—	2	2	—	13
Pethő András	3 1/2	14	—	1	—	—	18 1/2
Horváto. ág	5 1/2	21	—	3	2	—	31 1/2
Plébános	—	1	—	—	—	—	1
Kezthely et Falwd	18 1/2	61	1	12	2	1	95 1/2

Ugyanezen évben a közeli somogyi helységekben így nézett ki az összeírás: Kéthelyen 9 adófizető, 12 szegény, 2 puszta telek. Komárban 8 adófizető, 3 szegény. Marcaliban 12 adófizető és 4 szegény telek.[50]

1548-ban is volt még egy összeírás. Ez a második összeírás több újdonsággal szolgál. Pethő Antal birtokán feljegyeztek egy nemesi kúriát. Ma már nehéz Keszthely térképén helyet találni ennek a kúriának. Pethő Benedek birtokán élt két *kereskedő* és 12 portát újra telepítettek.

[50] Uo.

1549. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Zsellér	Szolga	Újra tel.	Együtt
Keztelffalwd					
Pethő Péter	3	—	—	—	3
Pethő János	1 1/2	9	—	1	11 1/2
Pethő Mihály	1	6	—	—	7
Pethő Gáspár	16	5	6	7	34
Pethő Antal	5	19	—	—	24
Magyaro. ág	26 1/2	39	6	8	79 1/2
Pethő András	5	16	—	—	21
Pethő Benedek	4 1/2	5	2	—	11 1/2
Horváto. ág	9 1/2	21	2	—	32 1/2
Keztel et Falwd	36	60	8	8	112
Thomay					
Pethő Gáspár	2	—	—	6	8
Pethő András +	1	—	—	—	1
Magyaro. ág	28 1/2	39	6	14	87 1/2
Horváto. ág	10 1/2	21	2	—	33 1/2
Keztel, Fenek Thomay	39	60	8	14	121

Ha az I. összeíráskor felvett fenéki és tomaji 8 portát is számításba vesszük, akkor eb ben az évben 103 1/2 lakott portán kb. 2200 személy élhetett Keszthelyen. Az összeírás azon megjegyzése „felégetve" eddig még rejtélyes, talán valamelyik szomszéd várúr rándult ki Keszthelyre vagy Faludra. Az ilyen rajtaütések akkor szokásban voltak. A török ekkor még nagyon távol volt Keszthelytől, egyébként is béke volt. V. Károly császár ugyanis 1547 júniusában öt évre békét kötött a szultánnal és az első években a békét még mindkét fél betartotta. Talán ennek a békének tulajdonítható a Pethők újratelepítő tevékenysége is.

1549-ben is összeírták az adófizetőket. Ez az összeírás a békés viszonyokat mutatja, növekszik az adózó, a zsellér és az újratelepített porták száma. Az összeírásban nem szerepel a plébános birtoka és Fenék, mégis 121 lakott porta van, ami kb. 2400 főnyi lakosságot tételez fel. Ebben az évben Veszprém megyét már teljesen feldúlta a török, Pápa van már csak a magyarok kezén 88 adófizető portával. Nagyvázsony és Veszprém nem is szerepel az összeírásban.[51]

Az ez évi összeírásban szerepel a dobogói malom (+), Pethő András birtokaként. Az ez évi hátralékösszeírás szerint a Pethők 35 porta adójával hátralékban voltak. A szomszédos somogyi helységek összeírási adatai: Kéthely 8 1/2 adófizető, 13 szegény; Marcali 15 1/2 adófizető, 5 szegény; Komár 11 1/2 adófizető, 20 szegény.[52]

1550-ben csak az adófizető portákat írták össze és azt, ki mennyit fizetett.

Ebben az évben a somogyi helységek adatai a következő képet mutatják: Kéthely 8 1/2 adófizető, 28 szegény; Komár 11 1/2 adófizető, 20 szegény; Marcali 16 adófizető, 25 szegény.[53]

1550. szeptember 4-én írta Nádasdy Tamásné a férjének: „... az törökök ismég rablának ide mifelénk, Bérnél (Zalabérnél), Simeg és Tadik (Tátika) között ment el a had, Szent Gerótba hat házat égettek, azon innét egy falut is elégettek, Szent Geróttul fogva

[51] *Dr. Pákay Zsolt*, i. m.
[52] *T. Mérey Klára*, i. m.
[53] Uo.

1550. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Fizetett
Keztelffalwdffenek		
Pethő Péter	3	—
Pethő János	1 1/2	1 1/2
Pethő Gáspár	16	11
Pethő Antal	5	3
Magyarországi ág	25 1/2	15 1/2
Pethő Benedek	4 1/2	2 1/2
Pethő Miklós	4	4
Horvátországi ág	8 1/2	6 1/2
Keztelffalwdffenek	34	22
Thomay		
Pethő Gáspár	2	—
Magyarországi ág	27 1/2	15 1/2
Horvátországi ág	8 1/2	6 1/2
Keztel, Falwd, Fenek, Thomay	36	22

Csányig és Szent György várig mondják, hogy rablottak... Az Balaton mellett mentek alá..."[54]

De még a fegyverszünet alatt sem volt fegyvernyugvás. A török portyázásokkal akarta megzavarni a lassan kialakulóban levő végvári rendszert. A főurak kezén levő magánvárakba királyi katonaság is jött. 1548-ban Tinódi Lantos Sebestyén is megénekelte a végvárakat:

„Sziget, Babolcsa, Kaposújvár,
Korokna, Lak, Somogyvár, Tihany,
Palota, Pápa, Győr és Gesztős,
Sőt Komárom, Sempte és Nyitra,
Léva, Surány, Ság, Drégöly,
Gyarmat, Szécsény, Salgó,
Buják, Oroszlánkő, Sirok, Egör
Tesznek ezök Budára nagy vigyázást..."

Mint látjuk Keszthely hiányzik ebből a pontos felsorolásból. A Balaton nyugati sarkában még béke volt, a mocsárvilág jól megvédte Keszthely mezővárost.

1552-ben a török rövid ostrom után elfoglalta Veszprém várát, török kézre került Nagyvázsony és Devecser is.

A soproni országgyűlés 1553-ban ismét hadiadót szavazott meg. Minden jobbágytelek 2 forint adót fizetett, ennek felét fizették a hódolt porták, az új épületek. A felégetett porták nem fizettek adót.

Az 1553. évi keszthelyi rovásadó összeírásban, noha majdnem felére csökkent a lakott porták száma, de még mindig találunk újratelepítést. Ezt úgy tekinthetjük, hogy Keszthely még mindig biztonságos hely volt.

1553. augusztus 30-án Kőrösi Mihály és Radócz Mátyás a Zala megyére rótt subsidium és a hátralékok késedelmes behajtásáról tettek jelentést Zrínyi Miklós horvát bánnak és írják, hogy a szántói és tapolcai kerületek jóformán semmit sem fizettek még, mivel török hódoltság alá kerültek.[55]

[54] *Szántó Imre:* Egy dunántúli falu, Alsópáhok története. Budapest 1960. 63.
[55] *Szántó Imre*, i. m. 65.

1553. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Zsellér	Puszta	Szolga	Újra tel.	Együtt
Keszthelfalwd						
Pethő Péter	2	1	—	2	—	5
id. Pethő János	1	—	1/2	1/2	—	2
Pethő Gáspár	1	—	1/2	—	—	1 1/2
Pethő Antal	2 1/2	2	1	1/2	1	7
ifj. P. János	6	4	2	3	—	15
Magyaro. ág	12 1/2	7	4	6	1	30 1/2
Pethő András	3	4	—	2	—	9
Pethő Benedek	2	1	1	1	—	5
Horváto. ág	5	5	1	3	—	14
Plébános	2	—	1	—	1	4
Kezthelfalwd	19 1/2	12	6	9	2	48 1/2
Thomay						
Pethő Péter	—	1	—	—	2	3
id. P. János	2	—	—	—	—	2
Pethő Gáspár	1	—	1	—	—	2
Pethő Antal	1	—	—	—	—	1
ifj. P. János	1 1/2	4	3	2	—	10 1/2
Magyaro. ág	5 1/2	5	4	2	2	18 1/2
Pethő András	2	1	1	2	—	6
P. Benedek	1 1/2	1 1/2	1	—	—	4
Horváto. ág	3 1/2	2 1/2	2	2	—	10
Kezthel, Falwd, Thomay	28 1/2	19 1/2	12	13	4	77

1554-ben két összeírás is volt, de csak az adófizetőket és a hátralékosokat írták össze. Figyelemre méltó a hátralékjegyzéknek a megjegyzése: „török birtok". Veszprém elfoglalása után a veszprémi törökök nagyobb portyára indultak a Balaton északi partján, ostrom alá vették Tihany várát és Csobáncot is. Valószínűnek látszik, hogy a lakosság ijedtségében behódolt a töröknek. Ilyen behódolást a török parancsnokok meg is kívántak, amire példa a pécsi szancsák dervisbégjének erélyes levele a kanizsai parancsnokokhoz 1555 decemberében.[55a]

Valószínűleg ilyen felszólítást kaphattak a Pethők is, de nem lehetett foganatja, mert 1557. január 18-án Zolagh Aly Keztel-Tomay izpaja Veszprémből fenyegető levelet írt Pethő Jánosnak Rezibe.[55b]

A behódolással valami nem lehetett rendben. A Pethő urak valószínűleg hintapolitikát folytattak, hogy ne kelljen hadiadót fizetni, de a török adóját sem engedték megfizetni a jobbágyoknak. Legalábbis ezt lehet feltételezni annak a levélnek alapján, amelyet Zele Jakab 1555 augusztusában Csány Ákos zalai főispánnak írt. Hivatkozik az adóletagadók közül többek között Pethő Péterre is. De baj volt a hátralék behajtásával is.[55c]

[55a] *Szalay Ágoston:* Négyszáz magyar levél a XVI. századból (1514—1560) Pesten MDCCCLXI. CXCI. 1.

[55b] *Szalay Ágoston*, i. m.: CCXXI. levél

[55c] *Szalay Ágoston*, i. m.: CLXXIV. levél

Nem lehet csodálkozni azon, hogy a januárban átadott hátralék behajtása még augusztusban sem történt meg. A zalai alispán idős Pethő János volt, Keszthely egyik birtokosa, neki Zolagh Aly izpaya is küldött felszólító levelet.

1553-ban pestisjárvány pusztított a Balaton környékén és Zalában. A baj nem jár egyedül: a török veszedelem egész közel jött Keszthelyhez, a pestis is pusztít a vidéken. A Pethő urak nem számolnak a veszéllyel, vagy nincs pénzük, vagy nem akarnak a várakra költeni. Ez tűnik ki abból a levélből, amelyet 1554. december 7-én Nádasdy Tamás nádor írt a Pethő uraknak. A királynak jelentették, hogy a tátikai vár rendetlen és gondozatlan. Megfenyegeti őket, hogy a vár karbantartásáról, felszereléséről és őriztetéséről büntetés terhe alatt gondoskodjanak.

Ezen helyzetjellemzés után nézzük meg mit mutatnak az 1554. évi rovásadó összeírás adatai:

1554. évi Ia dica:

Birtokos	Adófizető	Hátralék
Kezthelthomay, Kezthelfalwd		
Pethő Péter	5	—
id. Pethő János	2	—
Pethő Gáspár	3	1
Pethő Antal	7	4
ifj. Pethő János	14	—
Magyarországi ág	31	5
Pethő Benedek	8	2 1/2
Pethő András	—	4
Horvátországi ág	8	6 1/2
Kezthelythomay, Kezthelfalwd	39	11 1/2

A hátralékos 11 1/2 portára jegyezte meg a rovó, hogy „török birtok".

1554. évi IIa dica:

Birtokos	Adófizető	Hátralék
Keszthelthomay, Kezthelffalwd		
Pethő Péter	15	—
id. Pethő János	2	—
Pethő Gáspár	3	—
Pethő Antal	12	—
ifj. Pethő János	14	—
Magyarországi ág	46	—
Pethő Benedek Horváto. ág	8	—
Tomay		
ifj. Pethő János Magyaro. ág	9	8
Magyarországi ág	55	8
Horvátországi ág	8	—
Kezthel, Falwd, Thomay	63	8

Az ez évi összeírásban nem szerepel a plébános. Elgondolkoztató, hogy ugyanabban az évben, az első és második összeírás között, 24 portával nőtt az adófizetők száma!

1555-ben Kanizsán 28, Egerszegen 33 adózó portát írtak össze, tehát Keszthely Zala megye legnépesebb helysége volt.[56]

1555. évi Ia dica:

Birtokos	Adófizető	Hátralék
Pethő Gáspár	1	1
Pethő Péter	3	—
ifj. Pethő János	13	—
Pethő Antal	6	—
id. Pethő János	1	1
Magyarországi ág	24	2
Pethő Benedek	6	—
Pethő András	8	—
Horváth országi ág	14	—
Plébános	2	—
id. Pethő János Thomay	—	4
Kezthely, Thomay, Falwd	40	6

1555. évi IIa dica és a kiegészítés:

Birtokos	Adófizető	Kiegészítés	Hátralék
Kezthelfalwdfenek			
Pethő Gáspár	16	—	—
Pethő Antal	5	6	—
Pethő Mihály	1	—	—
Pethő Péter	3	3	—
Pethő János	1 1/2	—	—
Magyarországi ág	26 1/2	9	—
Pethő Benedek	4 1/2	6	—
Pethő András	4	7	—
Horvátországi ág	8 1/2	13	—
Thomay			
ifj. Pethő János	—	13	—
Pethő Gáspár	—	—	2
Magyarországi ág	—	13	2
Pethő András Horváto. ág	—	—	1
Plébános	—	2	—
Magyarországi ág	26 1/2	22	2
Horvátországi ág	8 1/2	13	1
Plébános	—	2	—
Kezthely, Falwd, Thomay	35	37	3

[56] *Degré Alajos:* A keszthelyi polgárság urbér-ellenes mozgalmai. Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei 2/1964. 259—267.

1557. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Szegény	Bíróé	Puszta	Együtt
Pethő Gáspár	2	3	—	2	7
ifj. Pethő János	15 1/2	16	1/2	8	40
Pethő Ambrus	7 1/2	6	1/2	—	14
Pethő Péter	4	4	—	—	8
id. Pethő János	1 1/2	2	—	—	3 1/2
Magyaro. ág	30 1/2	31	1	10	72 1/2
Pethő Benedek	7	3	1/2	—	10 1/2
Pethő András	4	12	—	—	16
Horváto. ág	11	15	1/2	—	26 1/2
Plébános	4	4	—	—	8
Keztel cum pertinentia	45 1/2	50	1 1/2	10	107

Wolfgang Lazius 1556-ból származó térképén — amelyet a török elleni hadjárat céljára készített — a Balaton nyugati és északi részén a következő várak láthatók: Csobáncz, Czegliget, Hegest, Rezy, Tadiak, Zentgrot, Peleske és S. Hedwig. Keszthely nincs feltüntetve.[57]

Ugyanebben az évben a szomszédos, már említett, somogyi helységekben így nézett ki az összeírás; Kéthely 9 adófizető, 20 szegény, 8 puszta; Komárban 23 adófizető, 18 szegény; Marcaliban 21 adófizető, 17 szegény porta.[58]

1556-ban alakították meg Bécsben a haditanácsot. Az országgyűlés a hatalmas kiterjedésű Dunántúli Főkapitányságot két részre osztotta: a Balaton, Dráva és Mura közötti területen Kanizsa székhellyel, a Balaton és a Duna közötti területen Győr székhellyel létesítettek főkapitányságot. Nádasdy Tamás lett a kanizsai főkapitány.

A veszprémi törökök a Balaton északi partvidékén garázdálkodtak. A somogyi törökök pedig Keszthely határában portyáztak. 1560. december 31-én írta Devecseri Csóron János Nádasdy Tamás nádornak:

„Hiszem, hogy ez hírül vagyon Nagyságodnak, hogy Hosszúpáhot, Németpáhot, Sármelléket, Egregyet és az több környül való falvakat az törökök elrablották és az Balaton jegén mentek vissza az rabokkal."[59]

1561. április 17-én a veszprémi törökök csellel elfoglalták Hegyesd várát s majd egy évig tartották megszállva. Ezen idő alatt sokszor indítottak fosztogató portyákat a környéken. Zalaszentgrót várát is megpróbálták ostromolni. Rezi és Zalaszántó vidékét 1561. októberében rablották végig, Rezi községből többeket el is vittek. Hegyesd várában reziek és zsidiek voltak fogságban.

Az 1561. évi Keszthely környéki állapotokra jellemző az alábbi két levélrészlet:

1561. május 21-én írta Sümegből Ormányi Józsa Nádasdy Tamás nádornak: „... az tereket közenséggel Magyarországban az hódolt népek tartják és éltetik mindennel, mert valamit tud gondolni és kérni az terek, mindent beviszen az holdolt nép neki, annak fölette az holdolt nép annyira az terekhez atta magát, hogy az önmaga vérét az keresztyént az tereknek beárullya és minden kémséggel tartja az tereket."[60]

Gyulaffy László csobánci várkapitány írta 1561. március 22-én: „... az fejérvári Hamza bég levelét és az bassa levelét eressen hordozzak, kikben eressen parancsolnak mindenfele, hogy erejek szerint bemenjenek Fehérvárra az jewe keddre szekerekkel, fejszékkel és ásókkal, kapákkal és tehenekkel és mind fejenkint azt parancsolja nekik, hogy be menje-

[57] *Dr. Bendefy László—Dr. V. Nagy Imre:* A Balaton évszázados partvonalváltozásai. Budapest 1969. 68.

[58] *T. Mérey Klára*, i. m.

[59] *Szántó Imre*, i. m. 67.

[60] *Komáromy András:* Ormányi Józsa levelei Csányi Ákoshoz és Nádasdy Tamáshoz. Történelmi Tár 1907.

1564. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Zsellér	Puszta	Együtt
Kezthel				
Pethő Ambrus	2	2	—	4
Kezthelthomayfalwd				
Pethő Péter	3	5	—	8
ifj. Pethő János	14	17	—	31
Pethő Pál	6	7	—	13
Magyaro. ág	25	31	—	56
Pethő Benedek	2	5	—	7
Pethő László	2	5	—	7
Horváto. ág	4	10	—	14
Fenektomay Kezthel				
id. Pethő János	5	5	—	10
Pethő Mihály	2	5	—	7
Magyaro. ág	7	10	—	17
Pethő András	10	15	—	25
Pethő András malma	1	—	—	1
Horváto. ág	11	15	—	26
Plébános	2	2	1	5
Magyaro. ág	32	41	—	73
Horváto. ág	15	25	—	40
Keztel, Falwd, Feneek, Thomay	49	68	1	118

nek, egyebb ember otthon ne maradjon, hanem ki volna tizenhat esztendes. Azért még soha nem volt illen nagy parancsolat az szeginsigen, mint most vagyon."[61]

1561. márciusában a nádor Gyulaffy Lászlót küldte ki Tátika és Rezi várak megszemlélésére. 1561. július 20-án Pethő János jelenti a nádornak, hogy saját költségükön 12 darabontból álló őrséget tartanak Rezi várában, 16 főt pedig Tátikában.

1562 február 10-én családi tanácskozás volt Rezi várban. Megállapodtak, hogy Rezi várban hat kapu alatt két virrasztót és egy jámbor porkolábot tartanak. Arról is döntöttek, hogy „... ennek (Rezinek) gondját hadtuk Pethő János Eötsénkre, király Pohárnokjára, mivel hogy ő csináltatta azt meg..."[62]

A Pethők fentiekben tárgyalt intézkedései a két vár: Tátika és Rezi védelméről szólnak, Keszthely *mint vár* nem került említésre.

1562 áprilisában Salm Eck győri főkapitány nagyobb sereggel vonult fel Hegyesd alá, április 12-én a törökök feltétel nélkül megadták magukat. Pár évi nyugalom volt ismét Keszthely környékén.

1563-ban Ferdinánd fiát, Miksát magyar királlyá koronázták. Ugyanebben az évben a pozsonyi országgyűlésen új adóösszeírást rendeltek el. Ezt 1564-ben végezték el. Keszthelyen az a figyelemre méltó ebben az összeírásban, hogy a város összes tartozéka, Falud, Fenék és Tomaj fel van sorolva. Csupán a plébánosnak van 1 puszta telke, az utolsó — 1557. évi — összeírás óta nőtt az adófizető telkek száma, a szegényeké még ennél is nagyobb mértékben. A 117 lakott telken kb. 2340 fő élhetett.

Az eddigi összeírásokban adófizető és szegény portákat említettek. Az 1564. évi össze-

[61] *Szántó Imre*, i. m. 68.
[62] *Iványi—Sági—Takács*, i. m. 95.

írásban szerepelnek először *zsellérek*. A szegény szeren levő portákhoz még tartozott külső telek (szántóföld, kaszáló, legelő stb.), csak a vagyon értéke nem érte el az adóalap mértékét. A zselléreknek az úrbéri földből semmi vagy csak igen kevés jutott.

1566-ban két összeírás is volt. Az első alkalommal csak az adófizetőket írták össze, ezek száma 43 1/4-re csökkent, Pethő András malma hátralékban volt. A második összeírásnál ugyanennyi az adófizető porták száma, de mindössze 9 zsellér telket írtak fel. Viszont Pethő Péternél szerepel 2 kereskedő és 1 allodium. 1548-ban már szerepelt 2 kereskedő, de akkor Pethő Benedek birtokán. Figyelemre méltó, hogy a legrégibb birtokos, Pethő Péter, majorsági gazdálkodásba kezdett.

Az 1566. év fordulópontot jelentett Keszthely mezőváros életében. Ebben az évben határozta el a Pethő család, mindenesetre királyi parancsra, a keszthelyi ferences kolostor és a templom megerősítését, végházzá való átalakítását. Az építkezést ifjú Pethő János királyi pohárnokmester, soproni főkapitány végeztette el.

Ifjú Pethő János döntését több körülmény kényszerítette ki.

A Balatontól délre két erősség, Kanizsa és Szigetvár állta el a török útját, hogy a legrövidebb úton Bécs alá jusson. A török már 1555-ben és 1556-ban kísérletezett Szigetvár ostromával. Az 1556. évi ostrom hős visszaverője Horváth Stáncic Márk 1561-ben meghalt. Utóda Zrínyi Miklós gróf lett.

1566-ban maga Szulejmán szultán vezetett nagy sereget Magyarország ellen. Szigetvár ellenállása 1566. szeptember 7-én Zrínyi Miklós kirohanásával és hősi halálával véget ért.

Szigetvár eleste után a győztes török haderő két irányban nyomult előre: a Dráva mentén és a Balaton irányában. A Dráva mentén török kézre került Babócs, Vízvár, Bélavár, Berzence, Csurgó és Zákány. A Balaton irányában Segesd, Szenyér, Csákány, Marcali, Marót és Szőcsény. Kanizsát már nem támadták meg. Három hétig tartott ez a hadjárat, október közepén a törökök visszatértek szigetvári táborukba.

A Szigetvár felmentésére összetoborzott királyi hadsereg feloszlott. A haditanács Pápára, Kanizsára és a Balaton környékére erősítéseket küldött.

A keszthelyi ferences kolostor és templom erőddé való átalakítását Szigetvár eleste tette szükségessé. A Pethő család most már nem halogathatta tovább ennek a fontos helynek védelem nélkül hagyását és a legnagyobb birtokos, ifjú Pethő János, akinek politikai ambíciói is megkövetelték, hogy az új uralkodó tetszését továbbra is megtartsa, „nagy költséggel" megépíttette a keszthelyi végvárat.

Ila Bálint a Műemlékvédelem 1973. évi 4. számában közzé tette azt a memoriálist, amelyet Pethő János királyi pohárnokmester egy ismeretlen, valószínűleg előkelő familiárisa írt, tehát jól ismerhette az eseményeket.

A továbbiakban a memoriálisban foglaltak alapján kísérlem meg az építés időpontját a lehetőségekhez képest pontosan meghatározni. A memoriális írója nem mondja meg, hogy melyik évben történt meg mindaz, amiről megemlékezik.

Maga a memoriális így adja elő az eseményeket:

„Keztelt, barátok clastromát, pusztán alvan, szegin boldog jo emlekeztő Petheő János vram epetete meg, kit akkor iffiabbik Petheő Jánosnak hittak."

A ferencesek már régebben, Bontz József szerint 1552-ben elhagyták a templomot és a kolostort. A memorális így tudja:

„... az baratok kih jöttenek volt belole régen Sopronban es mind az clastromnak keretese, mind az Szentegjhasz öres volt."

Miksa császárt és királyt Keszthely helyzetéről így informálták:

„... félő, hogj az török bele ne szalljon az Keztellj clastromban es megh ne erősicze mind Segesd és Fonod varat, *semmj ellene allo nem leuen bet*, lako helt épétenek belőle, kiből az egez föld jobban el veszne mind Sopronigh, minth hogj *ihmár Szigetis török kezénél volt*."

Miksa megparancsolta a Pethő családnak, hogy *a keszthelyi ferences kolostort vagy építsék meg várrá, vagy rombolják le.*

„hogj Segedből és Fonodból bele ne szalljon az török és megh ne epetcze kiből az egész föld inkáb el ne ueszne."

Ifjú Pethő János közölte a királyi parancsot a család tagjaival. A Pethő urak nem vállalták a megépítést.

Az építés előzményeit így írja le a memoriális:

„Az Szigetet hogj az török chaszar megh veve, Canisat az fejedelem hoza ueve, Borzmonostort ada chaszar az bódog jo emlekezető Nadasdy Ferencz vramnak erette, mindgiarant az első giülesben legh előszöris az canisaj kapitansagot es az fő generalissagot vltra Danubium nagj Tahy Ferencznek ada ezer louagra es eszer gialogra fizetest."

Tahy Ferenc „Canisara ment onnat mind az vegh varakat jőt kih megh jarnj es latogatny es mindenutt, a hol kollott gialoggal louassal megh epetete."

Tahy Ferenc Sümegre is elment Feyerköi István veszprémi püspökhöz. Sümegre ment Pethő János is.

„Somegből Resziben hozta szegin vram mind nagy Tahy Ferencz vramat mind az pispököt, sok fő emberek es capitanok uoltanak uele. Az ejel mind Resziben háltak, *masnap Keztelre mentenek ala, oth megh lattak allapotiat az helnek, el inteztek mind epeteset.*"

„Szegin vram ott ebedlettek Keztelt, onad ebed vtan Tahy Ferencz generalis Szent Grotban ment halnj, ötuen gialogot hagiot Keztelj clastromban, mig eo Folsege mast deliberal felole."

A tudósításból az tűnik ki, hogy Szigetvár eleste után sürgősen, talán már 1566 októberében intézkedett a haditanács. A szemle novemberben vagy december elején lehetett. Pethő János a szemle után a püspökkel vissza ment Rezibe, ott aludtak, a püspök másnap hazament Sümegre, Pethő János pedig lement Keszthelyre. A szemlén valószínűleg olyan döntés született, hogy az építést azonnal meg kell kezdeni. Pethő János azonnal, tehát 1566 telén intézkedett is. A memoriália így tudósít tovább:

„Az *Balaton megh be volt fagjua*, ugj tatarosztak Keztelt: faval ablakokat be rotatuk köuel megh töltetünk es roussal egj bastiat epitettünk kapuközig. Az clastrom aitaiat be ravata szegin vram, allasokat söueinekbol, kapukbol chinaltatott, köveket hordatot föl allasokra, ot az clastrom szentegjhazban föstölgettünk majd egj hetig az baratok orgonaia ahol uolt."

Tehát egy hétig tartott, amíg a ferences barátok klastromát olyan állapotba helyezték, hogy az egy esetleges támadásnak ellent tudjon állni. A klastromban nyilván a Tahy Ferenc által itt hagyott ötven gyalogos kapott szállást, mert az építtetők a templomban szállásolták el magukat.

Pethő János az építés megindítása után visszatért Rezibe, majd Sopronba és onnan Bécsbe a királyhoz ment.

„Ott Keztelben *Mikolitt Farkas deákot* hagia *Bene Migal deakal* és az vrajm szolgajual az en szolgaimatis."

Egész télen folyt az építés: „Ot az mint lehetet mint telj idön epetetet köuel es hant töltessel."

Állandóan várták a török támadását: „uigiaztak hogj az török altal ne jöjön" „ejelre az loueshez halgattak mindenfele".

Az eddig békés városban nagy lehetett a riadalom: „Az varasbeliekis be mentenek eielre halny, felesegeket es giermekekett szeginek beh vittek."

Pethő János már az építkezés megindulásakor fegyverrel is ellátta a várat: „Kett tarachkotis költe szegin bele porral es golobissal, szakalasokatis."

1567 tavaszán történt meg a tervszerű átépítés. Eddig csak a szükségszerű tatarozás folyt.

„Immar *kikeletre* megent oda ment szegin vr Keztelre, *mindenfele mieseket uitt nagj költczeggel.*"

1567 nyarán elkészült a végvár.

„Az njaron osztan ugj epöltünk megh, jobbadan rakatta az hol szükség uot kövel reghi baratok ablakait aitajt, az hol megh romladozott uolt; *felljebb rakatott hazakat, torniot megh epetet, hazakat benne többeket és pinczéket.* Palankat maga jobbagiaual minden Petheo vrak segitsége nélkül. Igi kezdete szegin vr epetenj Kesztelen chaszar akaratiabul es parantczolatjabul Keztelt..."

Pethő János nem tartózkodott a keszthelyi végvárban, őt az országos ügyek és a saját karrierje a király udvarába szólították. Sok címe közt nem is szerepel (legalábbis Nagy Ivánnál nem) a keszthelyi kapitányság. De azért a Pethő család egyik tagja volt az új végvárban az úr:

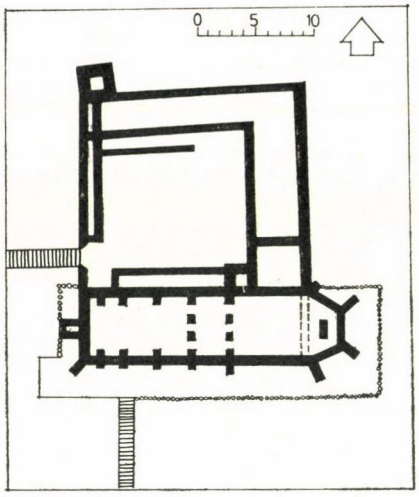
„Annakutanna hogj megh epetete szegin vram Keztelt Reziből megint ala hozta Keztelre (ti. öreg Pethő Pált) ott adott hazat neki ezoajrt főkepen mjert hogj olljan fő vitéz uolt, szolgakat tartott hogj megis Keztelben többen lakjanak; az hireis el mennjen az török szomszedsagok keözt, annal inkabb tartanak az török es az rablast nem olljan bjzuast probllják..."

A szövegben megnevezett idős Pethő Pál a keszthelyi rovásadó összeírásokban 1564. és 1574. évek között szerepelt földesurként, Keszthelyen 6—7 adófizető portája volt.

Az 1567. évi törvény kimondta, hogy a keszthelyi vár is kapjon lovas katonaságot.

1569-ben a bécsi haditanács az olasz származású Giulio Turco hadmérnököt bízta meg dunántúli végvárak felmérésével. Turco a keszthelyi végvárról is készített felvételt és ez szerencsére megmaradt a haditanács levéltárában. Giulio Turco alaprajza azt az állapotot tünteti fel, ahogyan 1567-ben Pethő János a kolostort és a templomot várrá alakította át.

Szerencsére 1567-ben is volt adóösszeírás és így vannak adataink a lakosság összetételére is. Az ez évi összeírás kiterjed mind a négy helységre (Keztel, Falwd, Fenek, Thomay)



1. kép. A keszthelyi végház alaprajza 1569-ben Giolio Turco felvételi rajza szerint

sőt érdekessége, hogy ez évben külön jelölik *Keztelt* és *Oppidium Keztelt.* Talán ez évben történt meg Keszthely-Polgárváros és Keszthely mezőváros különválása. Tudjuk, hogy Pethő János 1555-ben, Kaposvár eleste után, befogadta az onnan elfutott hajdúkat. Nem tudjuk ugyan, hogy mennyien lehettek. Tahy Ferenc 50 gyalog darabontot hagyott 1566-

1567. évi dica:

Birtokos	Adófizető	Zsellér	Puszta	Szolga	Allodium	Együtt
Kezteltlhomayfalwd et oppidum Kezthel						
Pethő Péter	2	4	—	—	—	6
Pethő János	11	30	—	2	—	43
Magyaro. ág	13	34	—	2	—	49
Pethő Benedek	2	6	3	—	—	11
Pethő László	2	6	—	—	—	8
Pethő András	4	14	—	—	1	19
Horváto. ág	8	26	3	—	1	38
Összesen:	21	60	3	2	1	87
Ibidem Fenek						
id. Pethő Pál	5	5	—	1	—	11
ifj. P. Pál	3 1/2	3	—	1	—	7 1/2
Magyaro. ág	8 1/2	8	—	2	—	18 1/2
Kezthel						
Plébános	2	5	—	—	—	7
Magyaro. ág	21 1/2	42	—	4	—	67 1/2
Horváto. ág	8	26	3	—	1	38
Együtt:	31 1/2	73	3	4	1	112 1/2

ban Keszthely védelmére. A memoriálisból ismeretes, hogy Pethő János szolgákat hozott a várhoz. Így aztán elképzelhető, hogy a zsellérek, szolgák, a katonaság és a hajdúk a volt ferences kolostor és templom körüli városrészben laktak, míg a Szent Márton templom körül a telkes adófizető jobbágyok. Ezt a feltevést látszik igazolni az összeírás is: A plébános jobbágyai nem Keztel oppidumnál, hanem Keztelnél külön szerepelnek. A később Polgárvárosnak nevezett városrész, ahol az örökös jobbágyok laktak, a Szent Márton templomtól északra terült el. — Ez évben Fenéken jelentős telep volt még, 18 1/2 portát tüntet fel az összeírás!

Zsámboki János (Joannes Sambucus) 1566. évi térképén a Balaton nyugati sarkában csak Kestel, Zegligeth, Tobanth várak szerepelnek, Rezi és Tátika nincs feltüntetve. Ez azt is jelentheti, hogy az ekkor épülőben levő keszthelyi végvár vette át Rezi és Tátika szerepét.[63]

KAPITÁNYOK, VITÉZLŐ KATONÁK, SZABAD LEGÉNYEK

1567-ben tehát Keszthely mezőváros is véghellyé vált. Végvárnak nem is nevezték akkor az ilyen megerősített épületeket. Palánkkal, sűrűn egymás mellé a földbe levert gerendákból álló védőfallal vették körül a kolostort és a templomot, ezért aztán az egész végháznak is palánk lett a neve. Kastélynak is nevezték az ilyen megerősített kőépületeket. A memoriálisban elmondottakból tudjuk, hogy egy vastagfalú erős sarokbástyát is építtetett Pethő János, így lett vár jellege a keszthelyi végháznak. Ebben az átalakulásban a leglényegesebb azonban az, hogy az új végház továbbra is a Pethő család tulajdonában maradt. A Pethők saját embereikkel, saját költségükön küzdöttek a török ellen.

A nagyobb létszámú katonasággal ellátott tényleges végvárak, mint Szigetvár, — amíg a török el nem foglalta — Nagykanizsa, Pápa, Győr között helyezkedtek el a kisebb palánkok, kastélyok, — Tinódi Lantos Sebestyén pontosan fel is sorolta ezeket. Salamon Ferenc azt írja ezekről: „Nem tudni a töröktől tanulta-e a magyar, vagy megfordítva, — annyi bizonyos, hogy a palánkok nagy számmal voltak hazánkban, mind a mi részünkön, mind török részen, s rendesen a határváraknak mintegy előőrseiül szolgáltak."[64]

A keszthelyi végház első ismert kapitánya Pethő Kristóf volt, akit először 1576-ban említenek.

1566-ban július 3-án Salm generális visszafoglalta Veszprémet, a várat meg is erősítették, Gyulaffy László lett benne a főkapitány. A vár 1589-ig magyar kézen volt, a Balatonfelvidék nyugodtabb éveket látott.

Hivatalosan ugyan 1547 óta „béke" volt, de ez nem akadályozta egyik felet sem, hogy időnként rajta ne üssenek a másik végházán. 1581 óta a Balaton északi partján is elkezdődtek a török beütések.

Az egyik keszthelyi földesúr, Pethő Gergely, krónikájában olvashatjuk: „A törökök a Balatoni jégen által jövének és a Kemenesallyát Vasvár megyében rablók, kiket Kestelnél, vissza tértekben, Majtini László a Pápai kapitány és Petthő Kristof a keszthelyi Kapitány igen megverének."[65] Ez 1582-ben történt, a koppányi törökök fizettek rá a portyára.

Ebben az évben már Keszthely közelébe ért a háború. Ez az összecsapás győzelemmel végződött, de a következő években a város már érezte a törökök bosszúját.

1586-ban Ali koppányi bég rajtaütött a városon. A végváriak sikeresen visszaverték a törökök támadását.

1587 telén Nádasdy Ferenc, Batthyány Boldizsár, Huszár Péter, Dersfy Ferenc mintegy 1700 főnyi csapattal meglepetésszerűen rajtaütöttek a koppányi török végházon, felgyújtották a várat és a várost, és Ali koppányi béget is foglyul ejtették.

A törökök természetesen nem hagyták ezt a rajtaütést sem megtorlatlanul. A keszthelyi végház volt a szenvedő fél. Huszár Péter, pápai főkapitány jelentette 1589. március elején Gregoróczy győri kapitánynak: „Tátika várát kifosztották a törökök. Ugyanők meglepték a keszthelyi vásárt s a többi között nyolc pápai kereskedőt is elvittek."[66]

Ez a rajtaütés komoly károkat okozhatott a végházban is. Az 1723-ban visszatért ferencesek egyik levelükben, — amelyet a kolostor visszabocsájtása érdekében az Eszterházy-árvák gondviselőjének írtak — így emlékeztek vissza arra, milyen volt ez a rajtaütés;

Kolostorukat valószínűleg 1590 körül a kanizsai törökök megtámadták, már korábban a városlakók védelmére a templomot és a rendházat mély árokkal és sánccal vették körül,

[63] *Bendefy—Nagy*, i. m. 75.
[64] *Salamon Ferenc:* Magyarország a török hódítás korában. Budapest 1885. 155.
[65] *Pethő Gergely:* Magyar Krónika Díszessen és röviden előadván... Kassa, 1738. 127.
[66] Idézi *Takáts Sándor:* Régi magyar kapitányok és generálisok c. művében. 318.

ebben a lovasok és gyalogosok tisztjei lakóhelyet vettek maguknak és a ferencesekkel együtt laktak. A török katonaság váratlanul meglepte a várost, azt felgyújtotta, a kolostor is teljesen leégett, csak a templom cseréppel fedett teteje maradt épen. Ekkor hagyták el a ferencesek a kolostort és biztonságosabb helyre mentek. A felégetett kolostort pedig a földesurak tisztjei egymás között felosztották és végház gyanánt helyreállították.[67]

Ennél a visszaemlékezésnél figyelembe kell vennünk azt, hogy mintegy 130 évvel az események után készült, pontos dátumot a történtekre nem is mond, de bizonyosnak vehető, hogy a kortárs Huszár Péter által pontos dátumhoz kötött váratlan török rajtaütés, 1589-ben, nagy kárt okozott a végházban is.

A többször meghosszabított béke 1591-ben lejárt, ezúttal nem hosszabbították meg. Hivatalosan is háború volt, amit a történetírók 15 éves háború néven tartanak nyilván.

Ez a háború Keszthely környékére is kiterjedt. 1592-ben a szigeti pasa elfoglalta és teljesen feldúlta Kiskomárt, a zalahidvégi átkelőt védő fontos végházat. Ezzel elvágta a Devecser—Keszthely—Kanizsa között húzódó fontos útvonalat. 1595-ben elpusztult Zalavár, a török befészkelte magát Dél-Zalába.

A Kanizsa környékén portyázó törökökkel vívott harcban megsebesült Pethő Kristóf is. Sebeiből felgyógyulva, hamarosan újabb vállalkozásba kezdett. A kortárs Istvánffy Miklós tudósít erről:

„Ez év (1599) őszén és telén a törökök semmiféle nagyobb vállalkozást nem kezdeményeztek, a székesfehérvári, koppányi és pécsi tartományban telelő tatárok azonban egész Keszthely környékéig portyáztak és pusztították a környéket. Nádasdy Ferenc és Pethő Kristóf nehezen tűrték ezeket a portyázásokat és ezért felszólították Pálffy Miklóst és Schwarzenberg herceget, hogy csapataikkal hozzájuk csatlakozva együtt törjenek be a török területre." — A vállalkozás hírére több kisebb török végház — Lak, Bolondvár, Koppány, Dombó és Ozora — őrsége megfutott. A magyar csapatok erre Kaposvárhoz vonultak és ostrommal be akarták venni. Igen kemény tél volt, az ostromágyúk nem bírtak a palánkfalakkal, így aztán visszavonultak. — „A bajokat még csak tetézte — tudósít tovább Istvánffy — hogy — miközben az ágyúk körül a sáncokban forgolódott — homlokán golyó által találva, Schwarzenberg és Pálffy nagy bánatára egy bizonyos Oberenpruck nevű brabanti származású vitéz kapitány is elesett, akit aztán — megfelelő végtisztességgel — a keszthelyi templomban helyeztek örök nyugovóra."[68]

1600-ban a törökkel vívott harc közben esett el Pethő Kristóf, a keszthelyi végház vitéz kapitánya. 1600-ban elveszett Kanizsa is. Ezzel a török kezére került a Stájerország és a Rábaköz felé vezető utak kulcsa.

Nagy nyomorúság szakadt Zalaságra. A vidék falvai sorra behódoltak a töröknek. A rovásadó összeírások szerint 1598-ban az egész szántói járás a töröknek hódolt. (Keszthely is a szántói járáshoz tartozott.) A hódolt falvak nem fizették a hadiadót. Az 1598. évi Zala megyei rovó, Perneszi János szerint ennek oka: török, tatár, német, pestis, éhség és ezek következménye: szegénység, pusztaság.

1601-ben Rikóti Mátyás visszafoglalta Kiskomáromot, nagyobb őrséget kapott a végház. Szigetvár és Kanizsa eleste után Kiskomárom lett a legfontosabb végvár a Balaton nyugati sarkában.

Pethő Kristóf halála után osztopáni Perneszi György lett a keszthelyi vár kapitánya. Perneszi szeretett barátkozni a törökkel, a vár melletti Barátrét „Mosóhelyén" meg is vendégelte őket. A végvár német pattantyúsa tarackjával a Mosóhelyen lakomázók közé lőtt.[69]

1605 tavaszán Rhédey Ferenc, Bocskai fővezére, Németi Gergelyt kétezer hajdúval, török és tatár segédcsapatokkal a Dunántúlra küldte. Németi Gergely Sümeg környékén táborozott, Sümeg várát is elfoglalta. A környékbeli végházak, így Keszthely is, Bocskai pártjára álltak. Augusztusban Komár környékén táborozott Németi serege, de sorozatosan vereséget szenvedett és ez év őszén vissza is vonult a Dunántúlról. Perneszi Györgyöt ez év október 5-én Mátyás főherceg parancsára letartóztatták. A keszthelyi végház azonban továbbra is Bocskai hűségén maradt, amiből később bonyodalom is támadt. Még az 1606.

[67] Adalékok a keszthelyi plébánia s templom történetéhez. Kéziratos kivonat a keszthelyi premontreiek könyvtárában lévő régi kéziratból (1880 körül). Ez a régi kézirat a keszthelyi ferencesek Historia Domusa volt. Az 1880 körül készült kivonat a Balatoni Múzeum Adattárában van. Az idézett szakasz eredeti latin szövege a 8. oldalon található.

[68] Nicolaus Istvánffy: Historia regni Hungariae post obitus... Mathias Corvini regis. Viennae, Pragae 1763... 458. l. Idézi *Szakály Ferenc:* Kaposvár a török időkben. Várostörténeti tanulmányok. Kaposvár 1975. 112.

[69] *Iványi—Péczely—Sági*, i. m. 47.

évi bécsi béke után is Bocskai pártján voltak a keszthelyi végház vitézei. Ki volt a vár parancsnoka ez idő alatt, nem ismeretes.

1608. október 8-án II. Mátyás Szentgyörgyvölgyi Bakacs Sándort nevezte ki keszthelyi kapitánnyá. A vár őrsége vonakodott átadni a végházat, Bakacs Sándorra és kíséretére rá is lőttek a várból. Csak szabályos ostrommal, a győri, veszprémi és pápai seregek segítségével tudta Bakacs Sándor birtokba venni a végházat.

Bakacs Sándor főkapitány idejében nagy átalakításokat végeztek a keszthelyi végházon. A Pethő János által megépített „kastély" — eddigi tudomásunk szerint — két ostromot is elszenvedett. Az egyik a törökök 1589. évi rajtaütése alkalmával történt. Ha erről emlékezik meg a ferencesek „Historia Domus"-a, akkor a kolostor tetőzete teljesen le is égett. Valószínűsíti ezt, hogy az országgyűlés 1602-ben elrendelte a keszthelyi végvár megerősítését. A másik ostrom, az 1608. évi, is sok kárt tehetett az épületben, mert az egykorú feljegyzés szerint az átadást kikényszerítő királyi csapatok „lövéssel, ostrommal lapdákat behányván, azok végházban elégvén, hitre ugy adták meg magukat".[70]

Az átépítés 1616. és 1618. között történhetett. Pethő Kristóf két lánya, Kata és Sára, 1616-ban megosztoztak atyjuk örökségén. Az osztozkodó levélben szó van a várbéli részekről is. Ezek leírásában a kolostorból átalakított végház még egyemeletes. A leírás teljesen megfelel annak az állapotnak, ahogy Pethő János megépítette a végházat.[71]

1687-ben összeírták néhai Pethő László keszthelyi javait. Ebben az összeírásban is szerepel a végház. Ekkor azonban már kétemeletes volt az egykori rendház.[72]

A végháznak az említett okmányokban foglalt leírását részletesen később tárgyalom.

Bakacs Sándor kapitánysága idejéből maradt meg egy okmány a Keszthely Városi Levéltárban. Ebből megismerjük a végvár vitézlő katonáit is. Ez az okmány egy vizsgálati jegyzőkönyv, amelyet a keszthelyi sereg kérésére vettek fel a keszthelyi sereg tagjaival.[73]

Ez az okmány azért is figyelemre méltó, mert megőrizte az akkori keszthelyi sereg 96 tagjának a nevét. 68 aláírás a keszthelyieké. Az aláírók kettő kivételével mind magyar nevűek.

A mezővárosi élet rendjét két okmányban szabályozták a földesurak. Ezekben a sereg tagjairól is történik említés.

Az 1653. évben szerzett diási és vonyarci hegyközségi törvények[74] bevezető szakaszában olvashatjuk, hogy a törvény szerzésekor jelen voltak „Hollady Ferenc, Salia Gergely, Keve János, Lovász István *Keszthelen fizető renden valók*". (Hollady Ferenc az 1625. évi jegyzőkönyvben „Őfölsége zászlótartója", Salia Gergely és Lovász István is szerepelnek ebben a jegyzőkönyvben.)

A keszthelyi földesurak és a végház kapitánya 1661. május 1-én „rendtartást" írtak elő a keszthelyieknek.[75] Ebben az okmányban „*az császár iratos szolgáinak*" nevezik a zsoldos katonaságot.

A hajdúkat az 1661. évi rendtartás „*szabad legények*"-nek nevezi. Ezek a szabad legények „semmi jobbágyi szolgálattal nem tartoztak földes uruknak csak fegyverbeli szolgálattal s legfeljebb levélhordással. Földjüket, házukat szabad tulajdonként bírhatják, adhatják, vehetik, végrendeletileg hagyományozhatják, családjuk azt örökölheti" írja róluk tanulmányában Zimányi Vera.[76]

A keszthelyi végházban a kisegítő csapatok szerepét szánták nekik, a vár környékén kaptak telket házépítésre. Emléküket mintegy két évszázadon át megőrizte a városban a Hajdú utca, ahol laktak. A Hajdú utcát először az Eszterházy-javaknak 1715. évi össze-

[70] Uo., 46.

[71] Az osztálylevélből a végházra vonatkozó részt közli *H. Takács Marianna:* Magyarországi udvarházak és kastélyok, Akadémiai Kiadó Budapest 1970., c. művében a 205. oldalon. H. Takács Marianna helytelenül, úgy véli, hogy az osztálylevélben említett helyiségek a mai Festetics kastély helyén állt egykori Pethő kastélyban voltak. Ezek a kolostorból átalakított végház lakóhelyiségei.

[72] Consignatio Bonorum Spectabilis ac Magnifici Dni condam Ladislai Peteő de Gerse ad Keszthely Castellum pertinentium aliarumque Appertinentiarum Anno 1687, die 6. Novembris. Országos Levéltár, E. 185. Archivum Familiae Nádasdy, Vegyes iratok 65. cs.

[73] Az invesztigációs jegyzőkönyvet részletesen ismerteti *Bontz József*, i. m. 92—94.

[74] „Egy XVII. századi magyar hegyközség törvényei" Közli *Pettkó Béla* a Gazdaságtörténeti Szemle 1894. évfolyamában, 30—34.

[75] „Keszthelyi Rendtartás 1661-ből" Közli Kőszeghy Sándor a Gazdaságtörténeti Szemle 1895. évfolyamában, 63—64.

[76] *Zimányi Vera:* Adatok a dunántúli hajdúk történetéhez. Századok 1960. 286—302.

írásában említik. Keszthelyen tehát a hajdúk (szabad legények) állandó lakóhellyel bírtak. Az 1661. évi rendtartásból következtethetjük, hogy a kapitányok és földesurak nem is tűrték a kóborló hajdúkat: „Magunk kívül senki más idegen urak szolgáit lakóul Keszthelyen ne szenvedjük egyikünk is az maga földén, hanem mennél előbb kiadjunk rajtuk."

Már az 1625. évi jegyzőkönyvben szerepel a sereg egyik tisztségviselője, *a vajda*, akit akkor Ősy Istvánnak hívtak. Az 1661. évi rendtartás megnevez egy másik tisztségviselőt és meghatározza a hatáskörét is: „Az sereg és szolgáink között megmaradjon az jó egyesség és ha melyik vét akárkinek is, megbizonyítván, satisfactiot tartozzék az ura tétetni és a kárrul az *seregbírónak*, az magunk akaratjából, tudósétván bennünket, *hatalma legyen az executión*."

1679-ben alakították meg a mészárosok céhüket. A rendtartást a pápai mészárosok céhétől vették át. A keszthelyi főkapitányok megerősítették ezt a kiváltságlevelet. A megerősítő záradékon a főkapitányok aláírásán kívül szerepel még: Martony István keszthelyi *vajda*, Fejér János keszthelyi *vajda*, Kereszturi Mihály keszthelyi *vajda*, Harhagy Sándor *szabad vajda*, Kun Péter *szabad vajda*, Nagy János *sereg bírája*, Franchics János a *keszthelyi végvár bírája és nótáriusa* aláírása is.

A tisztségek felsorolásából rekonstruálható a végház igazgatásának szervezete. A sereg vajdái a különböző fegyvernemek parancsnokai voltak, a szabad vajdák a hajdúk parancsnokai. Az egész seregnek ezenkívül volt egy főbírája, a végvárhoz tartozó mezőváros lakosainak külön volt bírája, aki írástudó lehetett, ezért egyúttal a nótáriusi (jegyzői) tisztet is ellátta. Egy 1649. évi okmányból tudjuk, hogy a városi főbíró mellett esküdtek is működtek. Természetesen mindezen tisztségviselők a főkapitány alá voltak rendelve, aki a lovas katonasággal közvetlenül is rendelkezett.[77]

Takáts Sándor tanulmányából[78] ismerjük a keszthelyi végház 1672. előtti hivatalos hadszervezetét. A tanulmányban közölt kimutatás szerint Keszthelyen 100 huszár, 100 hajdú, 1 tüzér és 1 extra volt a hivatalos létszám, ezeknek egy havi zsoldja összesen 844 frt 20 dénárt tett ki. I. Lipót tanácsosai ezt a létszámot csökkenteni kívánták.

A redukcióra Keszthely esetében nem került sor. Láttuk ugyanis, hogy az 1679. évi céhlevélen öt vajda aláírása szerepel a seregbíróén kívül. De Takáts Sándor fent idézett tanulmányában is egy más helyen írja: „Az 1695. évi kimutatás szerint ... a balatoni öt kis végházban 190 huszár és 274 hajdú volt."[79] Ez a létszám pedig csak úgy jön össze, ha az 1672. előtti létszám nem változik. (Akkor is ugyanennyit tett ki az öt balatoni végház seregeinek létszáma.)

A keszthelyi végvár a hódoltság határán a törökökkel való kereskedésnek is egyik fontos gócpontja volt.

Egy 1632-ben kelt jelentésben olvashatjuk a következő sorokat: „... azokon a végeken, nevezetesen Kiskomárban, *Kestelen*, Suentth Grotthon és egyebütt igen sokan vannak olyanok, akik török árucikkekkel, valamint ökör- és egyéb állathajcsárkodással kereskednek." A jelentés szerzője Rams Dániel, akit a pozsonyi kamara küldött ki, hogy felderítse a hidvégi híd állapotát. A híd már nem volt meg, „már hajón bonyolódik le az átkelés". Rams Dániel javasolta a híd helyreállítását, továbbá azt, hogy *Keszthelyen létesítsenek harmincad vámszedő helyet.*[80]

A gazdasági fellendülés következmény volt az is, hogy a 17. század harmincas éveiben alakultak meg a legfontosabb keszthelyi céhek. A végvári élet sok mesterembert foglalkoztatott. Legfontosabbak voltak a bőr- és vasipar űzői: a kovácsok, lakatosok, szíjgyártók, nyergesek, csizmadiák, szűcsök, vargák, meg a szabók. Ezek a mesteremberek természetesen katonák is voltak és mesterségüket szükségszerűen folytatták. A céhek megalakulása annak a bizonyítéka, hogy az iparűzők száma elszaporodhatott és a végvári katonaként is szolgáló mesterek érdekeiket látták veszélyben. A céhek ugyanis érdekvédelmi testületek voltak, ezek tagjaik részére monopóliumot biztosítottak a helyi piacon.

Ákosházy Sárkány Miklós főkapitány tette lehetővé és segítette elő a keszthelyi céhek megalakulását. Az ő ajánló levelével mentek el a keszthelyi mesterek a dunántúli városokba, hogy céhüknek rendtartást szerezzenek.

Ákosházy Sárkány Miklós kapitánysága alatt (1632—1641) szerveződtek meg a következő céhek:

1635-ben a szabók,
1636-ban a kovácsok, lakatosok, szíjgyártók,

[77] Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230. 6
[78] *Takáts Sándor:* Kísérletek a magyar haderő feloszlatására. Századok 1904. 115.
[79] Uo., 324.
[80] *Bendefy-Nagy*, i. m. 92—93.

1636-ban a csizmadiák,
1637-ben a vargák,
1638-ban a szűcsök céhe.[81]

1641—1645 között Thury Farkas volt a keszthelyi kapitány. Tisztségét szerződéses alapon a kiskorú és „testileg csenevész és világtalan" Bakacs III. Sándor képviseletében viselte. Aláírása szerepel (dátum nélkül) a szabócéh privilégiumának záradékán, valamint a kovácsok—lakatosok—szíjgyártók rendtartásának megerősítéseként 1645. január 15-i dátummal.

1645. és 1652. között az említett Bakacs III. Sándor önállóan vezethette a keszthelyi kapitányságot.

Utóda Ákosházy Sárkány János, Sárkány Miklós fia volt. 1652—1661 között szerepel keszthelyi kapitányként a fennmaradt okmányokban. 1654. június 24-én főkapitányi tisztségében erősítette meg a kovács céh privilégiumát. 1661-ben a „Keszthelyi Rendtartást" már mint egyik keszthelyi földesúr írta alá.

Ebben a Rendtartásban már Babocsay Ferenc szerepel mint keszthelyi kapitány „az Bakacz árvái részekről is". Ő ugyanis Bakacs III. Sándor özvegyét, Rumi Kata asszonyt vette el feleségül. Ez 1654 körül történhetett, mert az 1653. évi diási hegyközségi rendtartásban Rumi Kata asszony még Bakacs Sándorné néven szerepel. Babocsay Ferenc 1654-ben mint Keszthely egyik földesura erősítette meg a kovács céh privilégiumát, 1664-ben a csizmadiák céhlevelét már mint keszthelyi főkapitány látta el megerősítő záradékkal. 1671-től azonban már mint veszprémi főkapitány szerepel. Erdélyi Gyula így jellemzi: „jó katona volt, de rendkívüli erőszakos természettel birt".[83]

Babocsay Ferenc után ismét egy Bakacs, ezúttal a IV. Sándor parancsnokolt a keszthelyi végvárban. Valószínűleg 1671-től 1687-ig volt a végház főkapitánya. A Pethő László javait összeíró, 1687. november 9-én kelt, konskripcióban már úgy szerepel mint „Istenben el nyugott Bakacs Sándor uram". 1673. október 26-án a kovács—lakatos—szíjgyártó céh rendtartását erősítette meg aláírásával.

1687. november 2-án a szűcs céh privilégiumát Tóthi Lengyel János főkapitány látta el megerősítő záradékkal.

A Tóthi Lengyel családnak Somogy megyében, Lengyeltóti környékén és Zalában, Szigligeten voltak birtokai. Feltehetően házasság révén jutott a család Keszthelyen is birtokhoz.

Tóthi Lengyel János főkapitányi működését még a következő okmányok tanúsítják: 1692. június 22-én a takácsok, 1695-ben a mészárosok, 1701. július 17-én a gombkötők, 1711. július 7-én a molnárok rendtartását erősítette meg aláírásával. 1715-ben egy okmány már boldogultnak nevezi.[84]

I. Lipót 1701. november 9-én megszüntette a végvári szervezetet. Elrendelték a végházak lerombolását. „A lerontandó várakat 1702. február 7-én hat csoportba osztották; minden csoporthoz egy mérnököt és egy német várparancsnokot rendeltek a robbantások és a lerontás vezetésére. A robbantásokat azért alkalmazták, hogy a várárkokat az omladékkal betömjék. Az 1702. év tavaszán a következő csoportokat vették munkába: Kanizsa, Zalavár, Körmend és a balatoni öt kisebb végház."[85]

A keszthelyi végházban ekkor már részbirtokos volt herceg Eszterházy Pál, az ország nádora. A végvár épületei így megmenekültek a lerombolástól, csupán a külső védőműveket szüntették meg.

Még egy keszthelyi főkapitányról emlékeznek meg a régi írások. Bakacs Lukács, Bakacs IV. Sándor kisebbik fia, 1704 tavaszán a végházból elbocsátott hajdúkat és katonákat összegyűjtötte és csatlakozott Rákóczi Ferenc dunántúli fővezéréhez, Károlyi Sándorhoz. A kuruc seregben ezredes kapitányi rangot kapott. Károlyi Sándor Emlékiratában olvasható, hogy Bakacs Lukács a muraközi portyázásokban vett részt. A muraszerdahelyi híd elvesztésekor csak úgy tudta életét megmenteni, hogy a Murát átúszva menekült. Valószínűleg amnesztiában részesült ő is, amikor 1704. március végén Károlyi Sándor menekülésszerűen elhagyta a Dunántúlt és a császári hadsereg lett az úr ezen az országrészen.[86]

[81] *Eszes László:* Keszthely mezőváros céhes ipara 1635—1872. Kézirat a VEAB irattárában. 112.
[83] *Erdélyi Gyula*, i. m. 161.
[84] Prohibita D. Terrestribus 1715 XI. 29. Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230. 2
[85] *Takáts Sándor:* Kísérletek a magyar haderő feloszlatására. Századok 1904. 339.
[86] Rákóczi hadserege 1703—1711. Budapest 1976. 306.

Bakacs Lukács még 1709-ben is keszthelyi főkapitánynak nevezte magát. Ilyen minőségben szerepel az aláírása a mészárosok céhlevelén (1709. II. 24.) és a kovács céh rendtartásán (1709. V. 30.), sőt még 1711-ben is a keszthelyi főkapitány címét viselte, a szabók privilégiumát erősítette meg ilyen minőségben.

1720—23 között halhatott meg, mert öccse, Benedek, 1723. március 4-én kelt levelében már „Istenben üdvözült Bátyám, Bakacs Lukács Uram"-ról emlékezik meg.[87]

Az 1704. évi kuruc hadjárat eseményei elkerülték Keszthelyt. 1705 novemberében Bottyán János felszabadította a Dunántúlt. Ebben a hadjáratban már Keszthely is szerepet kapott: Bercsényi Miklós 1706. január 24-re Keszthelyre tűzte ki a Zala és Somogy megyék által kiállítandó katonaság seregszemléjét. 1706. március 13-án oltalomlevelet adott Keszthely-Polgárváros részére, amelyet Keszthelyen keltezett, tehát járt a városban, valószínűleg többször is.[88]

Keszthely mintegy három évig volt a kuruc seregek egyik támaszpontja. Valószínűleg ekkor volt Bakacs Lukács az egykori végház épen maradt részeinek a kapitánya. 1707 novemberében Bottyán János főhadiszállása volt ugyanitt.

1709. közepére a Dunántúl ismét a császári hadsereg kezére került. Heister császári tábornok július 19-én elfoglalta Sümeg várát. Dierling János generális, Sümeg várának császári parancsnoka, 1709. augusztus 5-én védlevelet adott a keszthelyieknek a császári katonák fosztogatásai ellen. Az akkori állapotokat jellemzi a keszthelyi plébánia anyakönyvébe szeptember 22-én történt bejegyzés: „Nam ista mense ad fidelitatem Suae Majestatis regressi sumus et incolere Oppidum, alias in silvis et insulis Lacus Ballaton latitantes."[89]

Ez évben már nem álltak a keszthelyi végház palánkjai és védőművei. Szerencsére a templomot és a kolostort megkímélték a nagyobb rombolástól.

Így ért véget a keszthelyi végház élete. Sok pusztítás viharzott el falai körül, de török kézre sohasem került.

Ákosházy Sárkány Miklós és Thury Farkas szerződés alapján adminisztrálta a kapitányságot Szentgyörgyvölgyi Bakacs III. Sándor kiskorúsága idején. Ákosházy Sárkány János ugyancsak szerződés alapján volt adminisztrátor Bakacs III. Sándor árváinak kiskorúsága idején. Bakacs III. Sándor özvegye, Rumy Kata, férjhezment Babocsay Ferenchez, e házasság révén lett mint adminisztrátor keszthelyi kapitány. Tóthi Lengyel János Bakacs IV. Sándor árváinak kiskorúsága idején adminisztrálta a keszthelyi kapitányságot. Bakacs Lukács még akkor is viselte a keszthelyi főkapitány címet, amikor a végvár már megszűnt. III. Ferdinánd 1641. november 28-án a Szentgyörgyvölgyi Bakacs családnak örökös jelleggel adományozta a keszthelyi kapitányságot, amit a kapitányok fenti sorrendje is illusztrál.

VÉGVÁRI KAPITÁNYOK KESZTHELYEN

Idős Pethő Pál	1567—1574
Pethő Kristóf	1574—1600
Osztopáni Perneszi György	1600—1605
Nem ismert	1605—1608
Szentgyörgyvölgyi Bakacs II. Sándor	1608—1626
Szentgyörgyvölgyi Bakacs Farkas	1626—1631
Ákosházy Sárkány Miklós	1632—1641
Thury Farkas	1641—1645
Szentgyörgyvölgyi Bakacs III. Sándor	1645—1652
Ákosházy Sárkány János	1652—1661
Babocsay Ferenc	1661—1671
Szentgyörgyvölgyi Bakacs IV. Sándor	1671—1687
Tóthi Lengyel János	1687—1702
Szentgyörgyvölgyi Bakacs Lukács	1702—1712

[87] A keszthelyi ferencesek Historia Domusa, 4.

[88] Gróf Bercsényi Miklós szabadságlevele a Polgárváros részére. Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230.

[89] „Mert ebben a hónapban tértünk vissza Őfelsége hűségére és kezdtük lakni a várost, egyébként az erdőkben és a Balaton tavának szigetein lappangtunk". Idézi *Szántó Imre*, i. m. 93.

KOLOSTORBÓL VÉGHÁZ, VÉGHÁZBÓL KOLOSTOR

A keszthelyi végházat, mint már volt róla szó, a ferencesek kolostorából és a mellette lévő nagyméretű gótikus templomból alakították ki 1566—67-ben.

A ránk maradt írásbeli dokumentumok alapján megvizsgáljuk, miként történt az átépítés, milyen részekből állt a végház és környéke, és milyen állapotban volt, miután megszűnt végvári szerepe.

A ferencesek kolostoráról, abból a 180 évből, ami a megépítéstől a végházzá való átépítésig eltelt, tulajdonképpen nem tudunk semmit.

A Pethő-familiáris leírásából az tűnik ki, hogy az átépítés három szakaszban történt. Miután Tahy Ferenc kanizsai főkapitány és a kíséretében levő bizottság megvizsgálta az elhagyott és már romos kolostort és úgy döntöttek, hogy azt végházzá kell átépíteni, sürgősen hozzáláttak az ideiglenes kijavításhoz.

Egy hét alatt a legfontosabb javításokkal végeztek is. A „magyar módra készült" vár építésének dolga a jobbágyoké volt, értettek is hozzá. A sürgősséget az indokolta, hogy attól féltek, a török megszállja a kolostort és akkor azok építik ki gyorsan palánkká. Takáts Sándor írja, hogy egy ilyen „magyar módra épült" várat 2—3 nap alatt el tudtak készíteni.[90] A törökök is a magyar jobbágyokkal készíttették, csak gerenda, föld és sövény kellett hozzá.

Nézzük meg, miből állt a sürgős kijavítás?

A templom erős épület volt, bizonyára épen állt. A kolostor földszintes épületének csak a nyugati szárnya állt. Először is ablakait szüntették meg: „faual ablakokat be rotatuk, kövel megh töltetünk".

„... és rouassal egj bastiat épitetünk kapuközig." A kapuköz alatt a szentegyház kapuját értették. Ez elé *rovással* bástyát építettek. Giulio Turco 1569. évi rajzán ez a bástya jól látható.

„Az clastrom aitaiat be rauata szegin vram."

Ezekből a leírásokból azt láthatjuk, hogy a kolostor és templom legsebezhetőbb pontjait, az ablakokat és kapukat a lehető legegyszerűbb, de legbiztosabb módon megerősítették egy esetleges támadás ellen. Egy ilyen támadást vártak is.

„... allasokat söueinekbül, kapukbul chináltatot, köveket hordatott föl allasokra."

A memoriális írója az „állasok"-on valószínűleg a kolostor udvarának kerítését értette. Giulio Turco alaprajzán az északi és a keleti szárny lehetett a kolostor kerítése: két párhuzamos sövényfal, amelyeket talán tetővel is befedtek. Mindenesetre a kolostor északi szárnya ekkor még nem állott, azt gróf Festetics György építtette meg 1796 körül, amikor a ferences kolostor épületét megkapta a Helytartótanácstól.[91] A később ismertetésre kerülő okmányokban mindig csak a nyugati szárnyról lesz szó.

Az egy hétig tartó felújítás után, a tél folyamán is folyt a végház megerősítése. Valószínűleg ekkor készült el az árokrendszer a végház körül. Giulio Turco 1569. évi alaprajzán megadott méretek szerint a *belső vár* körül keleten kb. 20 méter, északon kb. 13 méter széles, nyugaton és délen pedig kb. 16 méter széles árok volt. Az árok mélységéről nincs adat. Ez az árok egy, észak-déli irányban kb. 86 m hosszú, kelet-nyugati irányban kb. 80 m széles területet zárt be. Az árokból kitermelt földből készült a külső sánc. A leírásból kitűnően kőből, amelyet hanttal, földdel borítottak be. Elképzelhető, hogy ennél az építésnél követ használtak fel, hiszen Rezi környékén több bányában is fejtették a kitűnő homokkövet. A sánccal védett terület volt a *középső vár*.

Tavasszal kapta meg végleges alakját a végház. Ekkor már „mindenfele mieseket vitt nagj költczeggel". Jó volna tudni, kik lehettek ezek a mívesek!? Kőművesek, kőfaragók, ácsok, kovácsok, lakatosok rejtőzhetnek a „mies" megnevezés alatt, vagyis szakemberek. A kolostor meglévő épületét alaposabban felújították. A földszintes főépületre még egy emeletet húztak.

„... torniot megh epetet, házakat benne többeket és pinczéket." Ez a torony a belső vár északnyugati sarkán épült fel, a régi épülethez csatlakozóan, pincéje is volt.

A templom keleti, déli és nyugati falait palánk védte, még az árkon belül. Giulio Turco 1569. évi rajzán pontozott vonallal tüntette fel. A templom falától kb. 5 méterre húzódott. Ez is rótt (faragott) gerendákból készült. A templom fala és a palánk közti térséget földdel töltötték meg.

A memoriális nem beszél arról, hol volt a vár kapuja. Turco rajzából láthatjuk azonban, hogy a kolostor nyugati frontján, közel a templomhoz volt a főkapu. Délen is volt egy bejárat. Ezekhez gerendahidak vezettek az árkon keresztül.

[90] *Takáts Sándor:* A magyar vár. Századok 1907. 817.
[91] *Bontz*, i. m. 254.

Takáts Sándor leírásából tudjuk, hogy az ilyen „magyar módra" épített végház három részből állott: a vár magvát képező kőépületek, — Keszthelyen a kibővített kolostor és a templom — volt a *belső vár*. Az ezt körülvevő védőművek, az árok és a sánc, volt a *középső vár*. Ezt pedig körülvette a *„huszárvár" vagy külső vár*, ami 1567-ben még nem épült meg. Kiépítésére később került sor. Későbbi okmányok sűrűn alkalmazzák a belső vár és a külső vár vagy város megnevezést.

A Pethő János királyi pohárnokmester által kialakított vár alaprajzát rögzítette 1569-ben Giulio Turco. Így a leíráson kívül, felvételi rajz is dokumentálja a keszthelyi végháznak azt az állapotát, amilyen megépítésekor volt.[92]

A vár belső helyiségeiről is van leírás ! Pethő Kristóf leányai, Kata és Sára, 1616-ban a vasvári káptalan előtt megosztoztak atyjuk hagyatékán. Az osztályos levélben szerepel a belső vár is. Ennek helyiségeit felosztották egymás között az örökösök.[93]

Az osztályos levélben foglaltak alapján rekonstruálhatjuk milyen helyiségek voltak a kolostorból átalakított végházban: A kapubejárat alatt pince volt. A földszinten volt az istálló. E felett az első emeleten volt egy nagy fűthető lakószoba. Vele közös födém alatt egy hálószoba. E két helyiség egy kályhával volt fűthető. A nyugati szárny északi sarkában volt a tetővel ellátott „fehér bástya" (propugnaculum album). Ebben, az emeleten volt egy fűthető szoba (ezt használta Pethő Kristóf), alatta volt egy bolthajtásos szoba, amit börtönnek használtak. A kapubejárattól folyosó vezetett a fehér bástyához. Ezen a folyosón volt az árnyékszék is. A fehér bástya keleti oldalán volt a szabó háza (szobája). A sütőház a templom északi fala mellett levő valamelyik helyiség, valószínűleg az egykori sekrestye lehetett.[94]

Az osztozkodáskor a fehér bástya bolthajtásos szobájának börtön jellegét megszüntették és a sütőházat jelölték ki börtönnek. A részletes felsorolásból is kiderül, hogy csak a kolostor nyugati szárnya volt lakóépület.

Pethő Kata férje, Bakacs II. Sándor kapitánysága idejében, 1618. körül, lényegesen megerősítették a várat. A kolostor épülete még egy emeletet kapott. A középső vár új sáncokat kapott és a külső várat, a mezőváros egy részét palánkkal vették körül.

Az 1618. évi átalakítások után a vár helyiségeiről néhány birtokösszeírásból tájékozódhatunk. Ezekből a dokumentumokból azt is megtudjuk, hogy a 17. században hogyan jutott a vár és a hozzá tartozó birtok egyik földesúr kezéből a másikba.

A tulajdonosváltozások alkalmával természetesen leltárakat készítettek a jószágról. Ezekben az összeírásokban sűrűn szerepel a vár is. Ezen okmányok alapján szeretném bemutatni a várat, úgy ahogy az az 1686—1705 években kinézett.

1686. május 9-én készítettek összeírást a Nádasdy-javakról.[95] Szerepel benne a végvár is.

Az okiratból megtudjuk, hogy a kolostor nyugati szárnya *kétemeletes* volt. A földszinten 8 lóra való istálló, mellette egy kis szoba volt. Ezt az istállót valamikor pincének használták. A szárnyépület alatt levő pincét bor tárolására használták. Ugyancsak a földszinten volt a konyha és a sütőház.

Az első emeleten 4 kis szoba volt, egy folyosóról nyíltak.

A második emeleten volt egy romos nagy szoba (palatium magnum), mellette egy kis hálószoba és még két szoba. A lépcsőtől jobbra, a templom felőli részben is volt egy kis hálószoba, az asszonyok használták (Gynaeceum).[96]

Egy évvel később, 1687. november 6-án is összeírták ezeket a javakat, néhai Gersei Pethő László birtokát. Ebben az összeírásban is szerepel a várbéli helyiségek leírása.[97]

Magyarul fogalmazták és csak sommásan írja le a helyiségeket és azok állapotát:

„Elsőben a keszthelyi belső Várnak, az mint bé mennek bal kéz felől való szegletében vagyon épüllet, az melyben alsó és felső Contignatioiban Szobák, kamurák, Bótok, sütőház, konyha, azok alat pediglen három Bóthaitásos pincékis vannak, melly épülletnek egészlen Uy födél és padlatokis kivántatnak."

Azonosítható a „fehér bástyá"-val, mert ez volt az épület szegletében, ha a bejárattól balra (északra) megyünk.

[92] A bécsi Kriegsarchiv 1572. május. No. 77. tétel alatt a 0056 sorszámon található Turco felvétele a keszthelyi várról. *Pataki Vidor:* A XVI. századi várépítés Magyarországon. Budapest, é. n. 19.

[93] *H. Takács Marianna*, i. m. 205.

[94] Uo.

[95] Országos Levéltár, E. 185. Archivum Familiae Nádasdy, 31. tétel, 64. csomó.

[96] Uo.

[97] Lásd: 72. jegyzet

Ebből a nagyon közeli időpontban készült két leírásból képet alkothatunk a várnak arról a részéről, amelyben a kapitányok, illetve a földesurak laktak. A fehér bástyának már nem volt födéme és padlása, ilyen állapotban lehetett a kolostorépület csatlakozó második emelete is.

1692. január 21-én herceg Eszterházy Pál nádor valamelyik tiszttartója „Keszthely jószágról való informatio" cím alatt részletesen tájékoztatta gazdáját a megvett keszthelyi birtokról.[98] Ebből egész érdekes részleteket tudunk meg a várról:

Az Vár előtt való ház éppen puszta, az falai is ell dőltek, ha eő Herczeghségének úgy tetszenik, mivel az Várban elégh alkalmatosságh volna s azt a kit azon ell romlot háznak épületire köllenék költeni, ha az Várbéli szobák reparatioiara forditatnék szintén elégh volna. Azért azt a házat csak abban köllenék hadni...

Az Várban való rész mind födél alatt vagyon, hanem az Górét („fehér bástyát") köl megh födni circiter 5000 sindöl kévántatik hozzá, azt pedigh szükségh képpen köl megh födni mert alatta szép jó szoba vagyon kinekis bótozattya ell romlanék ha bé nem lesz födve. Az várban lévő Górében egy harangh circiter 50 fontos, item sindöl circiter 1500.

Az kőmivessel kémények s két darab falnak föl álitására megh alkutt volt Groff Ur eő Ngha (Gróf Batthyány Ádám), nagyobb részét véghez vitte ugyan az kőmíves maga munkaianak, de az többit is kész ell készéteni, ha nem a Conventio szerint való restantiaiat, ugymint 10 köböl gabonát és fl 6 praetendál, mellyel ugyan Groff Ur eő Ngah tartoznék.

Az Várban lévő szobákat alkalmasint fl 300 megh lehetne készéteni, nagyobb héia nem lévén, ha nem Padlás, aitó és Padimentumok megh csináltatása s Pléhek s más Lakatos szükséges munkák."

Még egy összeírásban kapunk képet a várról.

1705. február 12-én összeírták a nádor keszthelyi jószágát.[99] Ebben olvashatjuk a következőket:

„Várbély Portioja eő Herczeghségének *jó épülettel* vagyon. Mellyben vagyon az Fölső Contignatioban Palota No 1. Szobák vadnak azon Fölső részben No 4.

Az középső részen Bolt, Szobák vadhak No 3. Kamora no 1, konyhák no 2.

Az alsó részin vagyon Bolt No 2, Pincze Bótozásra No 2, Istálló Bolt Haitásra 12 lóra való No 1, Kályhás szoba egy kicsin az Porkoláb birgya No 1."

A végvár, illetve a kolostor annak köszönhette megmaradását, hogy I. Lipót kedvelt hívének, az ország nádorának, herceg Eszterházy Pálnak a birtokában volt. 1702 körül csak a védőárkokat és palánkokat szüntették meg. Ez a rombolás magát a kolostort megkímélte. Ha romos volt is, még 1723-ban is volt lakható része, amikor a ferencesek visszatértek egykori rendházukba.

1723 után a ferencesek a templomot és kolostorukat sok évi munkával újjáépítették. A fehér bástyát azonban nem rombolták le. Ennek fényképét közölte Dr. Dornyay Béla a „Keszthely és egykori vára múltjából" című tanulmánya mellékleteként, a Balaton Múzeum Keszthely Értesítője 1941. évi 2. számában.

A jelenleg is fennálló keszthelyi gimnázium épületét 1891-ben építették. A Keszthelyi Hírlap akkori számai tudósítanak az építkezés lefolyásáról. „Az építkezés a kerítésfal és a régi gimnáziumi épülethez ragasztott, múzeumot és a praelatura egy részét tartalmazó épület lebontásával kezdetett meg." Az az épületrész, amelyben a 19. században a prémontreiek múzeuma és praelaturája kapott szállást, a Pethő János által építtetett „fehér bástya" volt! Meg is jegyezte a cikk írója: „a régi falak bontásának számos nézői vannak, kik a régi építkezés szolidságát is csudálhatják a lebontott falaknál."

1891. augusztus 9-én arról tudósított a Keszthelyi Hírlap, hogy „a főgimnázium épületének alapozásánál előre nem látott akadályok merültek fel, melyeknél fogva csak 5—6 méter mélységben akadtak a munkások eleven földre." „Az alapozásnál ugyanis temérdek hányt földre akadtak, mely valószínűleg onnan ered, hogy a prémontrei társházat vízárkok vették körül hajdanában, mely árkok később betöltettek." „Nagy mélységben találtattak megszenesedett és fekete tölgyfacölöpök, magasabban pedig minden féle régi alapfalak voltak."

Ugyancsak Dr. Dornyay Béla tudósít arról, hogy 1935-ben a Jókai utcában, amely a kolostor udvarát keletről szegélyezi, a 3. számú, Jászay Ignác ny. plébános házának építésekor, 3 méter széles alapfal maradványokra bukantak, amelyekből állítólag annyi

[98] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. D. No. 60: Keszthely jószágról való informatio.

[99] Conscriptio Bonorum Keszthely pro Principo Paulo Eszterházy. Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. D. No. 101.

jó kőanyag került felszínre, hogy nemcsak a házat tudták abból felépíteni, hanem még eladásra is jutott.

1954-ben a Balatoni Múzeum ásatásokat végzett a templom déli fala előtti egykori prémontrei kertben.[100] Megállapították, hogy az egész várat kettős falrendszer vette körül. Külső fala kőből épült, a belső palánk volt és a kettő közét földdel tömték ki.

Az imént ismertetett okmányokban nem történt említés a templomról. A Pethő-familiáris emlékeztetőjében is csak mellékesen történik a templomról említés: „ot az clastrom szentegjházban föstölgettünk, majd egy hétig az barátok orgonaia ahol volt." Abból a tényből, hogy a rendelkezésre álló későbbi okmányok (1686., 1687., 1692. és 1705. évi összeírások) meg sem említik a templomot, arra kell következtetnünk, hogy a templom megtartotta eredeti rendeltetését, ha nem is az egész épület, de a szentély feltétlenül egyházi célokra szolgált.

Ezt a feltételezést Giulio Turco 1569. évi alaprajza is megerősíteni látszik. A szentélyben megjelölte az oltár helyét és két párhuzamos vonallal a szentély kisebbik részét leválasztotta a templom többi részétől. Ez az elválasztó vonal ott van az alaprajzon berajzolva, ahol jelenleg is áll a szentélyt két részre osztó rács. Ezen a helyen lehetett a „lectorium" vagy pulpitus, amely a szerzetesek templomát, a chorust, elválasztotta a hívek templomától.

Elképzelhető, hogy a kolostor végházzá történt átalakításakor egy vagy több ferences barát itt maradt vagy visszatért az egykori kolostorba a végváriak lelki gondozására, misék mondására, temetés elvégzésére, de erre írásos dokumentum nem maradt fenn, főleg a 16. századból nem. Dr. Dornyay Béla említi meg, hogy 1659-ben Komáromi Akkurzius ferences páter Sümegről járt ki Keszthelyre, ahol a várban igét hirdetett. Itt is halt meg 1659-ben.[101]

A 17. századból még más adat is bizonyítja, hogy a templom — legalábbis a szentély — megmaradt egyházi célra.

Bontz József Monográfiájában azt olvashatjuk, hogy 1647 táján készült a Szent Osvald tiszteletére szentelt főoltár, 1678-ban pedig Sennyei Antal veszprémi püspök készíttetett egy oltárt Szent Antal tiszteletére.[102] Azt is írja Bontz, hogy ez a két oltár volt a templomban, nyilván a szentélyben, mikor a ferencesek újból birtokba vették egykori kolostorukat és a templomot.

A ferencesek „Historia Domus"-ában olvashatjuk, hogy 1734-ben „convent" rangot kapott a keszthelyi kolostor és a „chorust" ezen év január 1-én ünnepélyesen felszentelték.[103]

A templom masszív épülete közel 600 éve áll a helyén. Különösebb rongálódás a török korban sem érte. A ferencesek Historia Domusában is csak arról olvashatunk, hogy az ablakokat kellett javítani, a külső támpilléreket kővel fedni és a tetőszerkezet elkorhadt gerendáit kellett újakkal kicserélni.

A keszthelyi végház belső magvát képező kolostor és templom fentiekben ismertetett leírásain kívül, az idézett dokumentumok csak kevés adattal szolgálnak a „külső vár" néhány létesítményére.

Ezt a „külső várat" „kerítés" vette körül. A „kerítés" latin megfelelője a „saepes". Takáts Sándor írja: „A régi írások a sövényépítés minden alakját a latin saepes és a magyar palánk vagy kert (kerítés) szóval szokták nevezni."[104] Nos, mindkét alakjában olvashatjuk a már idézett okmányokban.

A Nádasdy István javait összeíró okmányban említenek egy kőből épített házat, amelynek kertje a „saepes" mellett volt.[105] Pethő László javainak összeírásában is szerepel ez a kert a következő szöveggel: „Vagyon az megh nevezet háznak háta meget Szőlő és veteményes kert fábul épült *magas Góréjával* együtt."

A „góré" fogalmára is Takáts Sándortól kapunk felvilágosítást: „A góré..., magas faoszlopokon álló faházacska volt, melyekbe lajtorján ment fel az őrség. Messze, harmad határ ellen is elláthatott az ember. Ha ellenség közeledett, az őrség a hírlövő mozsaracskával vagy szakálossal jelt adott a szomszéd őrháznak, vagy magának a végháznak."[106]

[100] Keszthely. Magyar műemlékek, 1962. 82.
[101] *Dr. Dornyay Béla:* Keszthely végvár. 1935. 15.
[102] *Bontz*, i. m. 216.
[103] A ferencesek Historia Domusa 25.
[104] *Takáts Sándor:* Rajzok a török világból. Budapest 1915. II. k. 15.
[105] Országos Levéltár, E. 185. Archivum F. Nádasdy.
[106] *Takáts Sándor:* Rajzok... II. k. 67.

A két okmányból bizonyossá válik, hogy a külső várnak is volt „kerítése", vagyis a belső várhoz tartozó területeket védő „latorkert"-je.[107]

Nem sokkal a végvári időszak után, 1715-ben, keletkezett az az okmány,[108] amelyben a földesurak a városbíró útján meg akarták tiltani a török idők alatt élvezett szabad haszonvételeket. Ennek az admonitionak 3. pontjában ezt olvashatjuk: „A Haidu utczán és *kerittésben* levő lakos Uraimék mi okból és szabadság mellett nem akarják azon fundusokat az Uraknak agnoscálni?" A „keríttésben lévő lakos" kifejezés valószínűleg a városnak arra a részére vonatkozott, ami a „külső várat" jelentette. Ez a helymegjelölés annyira megszokottá vált, hogy jóval a végház megszüntetése után, — még 1715-ben is — használatban volt.

Ezek után az volna a feladat, hogy meghatározzuk ennek a „külső vár"-nak a kiterjedését, illetve a „kerítés" vonalát. A pontos meghatározás csak részben lehetséges, mert az idézett okmányok elég szűkszavúak ahhoz, hogy a teljes területet pontosan rögzítsük.

Az 1686. és 1687. évi összeírásokból, valamint az 1858. évi kataszteri térképből igen nagy valószínűséggel rögzíthető, hol volt a „kőből épített ház" és kertje „a fából épült magas Góréval együtt".

Mikor 1678-ban néhai Pethő László javainak összeírását elrendelték, valószínűleg e javak gondviselője összeállította a jószág listáját és értékelte azt.[109] Ebben az összeírásban szerepel: „Vár előtt valo Uy házot hozzá tartozandó pertinentiákkal edgyütt fl 1.000." Ezt a házat — amelyet a később tárgyalandó okmányok részletesebben is leírnak — ezek szerint Pethő László építtette.

Pethő László javainak összeírásában megmondják, hol volt ez a ház: „... az külső Városban az Vár kapujához nem messze vagyon egy küház, mellyen két szoba jó öregh és a két szoba között egy konyha vagyon, mely Szobákk és konyhának az allya Pinczék de Padlások chak ez beis dült." Az 1686. évi Nádasdy-féle összeírás azt is megmondja, hogy az egyik szobának két ablaka volt és az utcára nyílott.[110] Ezt a kőházat említi az Esterházy-javak 1705. évi összeírása is.[111]

Ez a kőház azonosítható azzal a házzal, amelyet a város 1769. évi térképén 23. számmal jelölt meg a térkép rajzolója és „Hr Horváth-Haus" névvel nevezett meg a számok magyarázatában. Ez a megjelölés azért fontos, mert azt bizonyítja, hogy régtől fogva földesúri kézben lévő fundus és ház volt. Ezt a házat, a hozzátartozó birtokkal együtt, 1775. május 17-én vette meg gróf Festetics Pál Zalabéri Horváth Judittól.[112]

Az 1858. évi kataszteri térkép rögzítette a „mezőváros" utcarendjét, településformáját abban az állapotban, ahogyan az évszázadok folyamán kialakult. Figyelemre méltó ezen a térképen, hogy a ferences templom és kolostor körül girbegörbe utcák, rövid zsákutcák alakultak ki. Nyilvánvaló, hogy az utcák vonalvezetése az egykori „saepes", a kerítés vonalát követte.

A ma Kossuth Lajos köznek nevezett zsákutca őrizte meg a kerítés vonalának egy darabját. Ebben a kis utcában futhatott kelet-nyugati irányban a „kerítés". Az északi oldalon mellette levő telken épült a „kőház", amelyhez a kert tartozott, ahol a „magas góré" állott.

A török időkben a város déli „vége" ott volt, ahol ma a Makarenko és Helikon utcák kelet-nyugati irányban futnak, tehát a végvár közvetlen közelében. A templom déli falához, a szentély és a hajó csatlakozásánál épített őrtoronyból kelet és dél felé messze el lehetett látni. Ezek a területek abban az időben rétek, legelők, kertek voltak, a kilátást fák nem akadályozták. Nyugat felé azonban korlátozott volt a kilátás, mert a jelenlegi Deák Ferenc utca vonala legalább 4 méterrel magasabban fekszik mint a templom bejárata. Ezért építették a „magas górét", hogy ettől a magasabban fekvő dombháttól nyugatra húzódó területeket is meg lehessen figyelni. Az idézett okmányból az is kitűnik, hogy a kert felhúzódott egészen az útig. A kert legnyugatibb — legmagasabb — részén állt az őrtorony, amit akkor górének neveztek.

Ha a „kerítés" további vonalát keressük, az 1858. évi kataszteri térkép adja a legfontosabb útmutatást. Ezt a térképet pontos felmérés alapján készítették, ezért adatai megbízhatók. Ezen a térképen a Kossuth Lajos köz keleti bejáratával szemben indul egy rövid kis utca, ami pár méter után éles szögben megtörik déli irányban és a mai Helikon

[107] Uo. 31.
[108] Lásd 84. jegyzet
[109] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. E. No. 41.
[110] „... unum Cubiculum magnum ad plateam rendens cum duabus fenestris"
[111] Lásd 99. jegyzetet
[112] *Szabó Dezső:* A herceg Festetics család története. Budapest 1928. 192.



2. kép. A keszthelyi végház és a belső város helyrajza az 1858. évi kataszteri térképen

utcába torkollik. Az utácska által körülzárt háztömböt pár évvel ezelőtt lerombolták, területét a mai Március 8. térhez csatolták. Ettől az utcatorkolattól a kelet-nyugati irányú Helikon utca lehetett a „kerítés" egykori vonala egészen a mai Kacsóh Pongrác utca torkolatáig.

A Kacsóh Pongrác utca is, pár méter északi irány után, éles szögben megtörik keleti irányban, hogy ismét pár méter után elérje a Jókai utca déli torkolatát. A Jókai utca északi irányban halad, de enyhe ívben nyugatra hajlik, majd éles töréssel nyugati irányba fordul, hogy pár méter után ismét északi irányt vegyen és a gimnázium keleti kerítéséhez simulva érjen a Főtérhez.

Az 1858. évi kataszteri térképen ezen utcák zegzugos vonala feltétlenül a régi „kerítés" vezetésének irányát követte, mert hasonló utcakialakítás a mezővárosban ezen a térképen nem található. Ezekben az utcákban tehát a házak egy régtől fogva meglevő adottság figyelembevételével épültek vagy épültek újjá. A telekkialakítás lehetőségét megszabta ez a mesterséges akadály, a „kerítés".

Az előbbiekben nagyjából rekonstruálni lehetett a végvár „kerítés"-ének déli és keleti vonalát. Mivel ez a legkülsőbb kerítés sűrűn egymás mellé levert hegyes karókból állott, reménytelennek látszik, hogy régészeti ásatással ennek nyomait meg lehessen találni. Így csak az utcák vonalvezetése őrizte meg annak emlékét. De már nem sokáig őrzi, mert a városrendezés sorra eltünteti ezeket a nyomokat, mint azt a Március 8. téren felépített önkiszolgáló étterem esete is bizonyítja.

A Főtér területe biztosan a kerítésen belül volt. Ez volt a piactér és a végvári időben itt tartották a vásárokat is.

A „kerítés" északi részének rekonstruálása már sokkal több problémát vet fel.

A felkutatott okmányok a 17. század második feléből származnak, a topográfiára vonatkozólag kevés támpontot adnak.

Az 1686. évi Nádasdy-féle összeírásban nem találunk topográfiai megjelölést.

Pethő László javainak 1687. évi összeírásában két területmegjelölés van. Az egyik a „Diási út mellett levő Földek végiben való kertekrül" való robotszolgáltatást, a másik a „Saika Utban való kertekrül" való adózást veszi számba. Ez utóbbi érdekes a végvár védelmi rendszerével kapcsolatban.

Az Eszterházy-javak 1705. évi összeírásában nincs helyrajzi adat a vár környékével kapcsolatban.

Az 1715. évi Eszterházy-féle összeírásban szerepel a Hajdú utca (ma Bem József utca) 5 telekkel és a Sajka utca (ma Vörös Csillag utca) 2 telekkel.

Az 1715. évi Prohibita D. Terrestribus is megnevezi a Hajdu utcát. Ebben az okmányban szétválasztják a Hajdú utcában és a kerítésben lakókat, ezért arra kell gondolnunk, hogy a Hajdú utca már kívül esett a „kerítés"-en. Ebben az esetben a „kerítés" a Főtér északi határán húzódott volna és a mai Széchenyi utca vonalában folytatódott a Deák Ferenc utca helyén futott útig, majd innen déli irányban a magas góréig.

A „kerítés"-sel így bezárt terület délen és északon kb. 320 méter széles, nyugaton kb. 160 méter, keleten kb. 190 méter hosszú volt.

Problémát okoz a Hajdú utca és a Sajka utca.

A Hajdú utca azért, mert a hajdúk is a végvár védelmét szolgálták, ha hivatalosan nem is tartoztak a vár őrségéhez. Az a körülmény, hogy az 1858. évi térképen két zsákutca is szerepel (a mai Bem-köz és az Unterberger utca fele), felveti azt a gondolatot, hogy ezek is az egykori „kerítés" maradványai, tehát a hajdúk utcái is a „kerítés"-en belül voltak.

Ha ez így volt, akkor a „kerítés" feltételezett vonala a Főtér keleti határán és a Bem József utca ÉK-i oldalán futott, a Bem közben keletre fordulva, az Unterberger közön északi irányban, az Unterberger utcában nyugati irányban haladva elérte a Bem József utcát (az egykori Hajdú utcát). Bontz József azt írja, hogy a Fejér György utcát valamikor Új utcának hívták, azért, mert a török idők után hasították ki.[113] Feltételezhető, hogy azért itt nyitották az új utcát, mert erre futhatott a kerítés vonala, tehát nem volt beépítve. Ez az utca jelöli tehát a „kerítés" északi vonalának egy részét, egészen az Öregh utcáig, a mai Kossuth Lajos utcáig.

Az 1858. évi térképen a Fejér György utca északi házsorának vonalával folytatólagosan a Kossuth Lajos és Deák Ferenc utcák között, a telekhatárok déli vonala egy nyílegyenes kelet-nyugati határvonalat alkot. Ezen a helyen a város 1769. évi térképe egy utcát jelez. Talán ez volt egykor az északi „kerítés" egy darabja. Ezután a Deák Ferenc utca helyén futott déli irányban a „kerítés" a magas góréig.

[113] *Bontz*, i. m. 20.

Ez utóbbi esetben a külső vár — amit az okmányokban „belső város"-nak is neveznek — nyugati hosszúsága kb. 350 méter, keleti hosszúsága kb. 360 méter, északon 360 méter, délen 320 méter széles volt.

A Főtér délkeleti sarkából indul a mai Vörös Csillag utca. Ez volt valamikor a Sajka utca. A már többször említett 1687. évi összeírásban még csak „Saika Utban való kertekrül" történik adózás, tehát házak ezen a részen még nem lehettek.

Az Eszterházy-javak 1715. évi összeírásában már 2 belső telek után teljesítenek napszámot a „Saika uczában". A „Saika ucza" szerepel 1822-ben is, az úrbéri perben. A városnak „Humillimum Proiectum"-ában[114] olvashatunk róla két pontban is. A 24. pontban ezt írják: „A városnak az előbbi Compossessorokkal együtt a Balaton nem tsak szabad és közös halászattya volt, hanem *saika utczán alul lévő rész saikával szabad hajókázása* és halászattya volt." A 25. pontban pedig ezt olvashatjuk: „Megelégszik tehát a város, ha *a régi saika járástul fogva, mely* mosó folyónak neveztetik, az itatóig termett nád város épületeinek födésére és más haszonvételekre által engettetik..."

De ennél korábbi említés is fennmaradt a város ezen részéről. Sági Károly írja[115], hogy az 1600. körüli időben Perneszi György várkapitány a „vár melletti Barát rét Mosóhelyén" a törököket vendégül látta, „velük evett, ivott, amíg le nem részegedtek". Az említett Humillimum Proiectumban is van szó a Barátok rétjéről. A 30. pontban ezt olvassuk: „... a Barátok rétin tul való gyöpség egész az itatóig nemrégiben is a városiaknak szabad legelőjük és különösen ló pascumjok volt..."

Az elmondottak alapján a következő topográfiai rekonstrukció látszik valószínűnek: A vár keleti kerítése alatt terült el a „Barátok rétje". Ezt a területet ma a Jókai utca és a Vörös Csillag utca fogja közre. 1600-ban itt még nem volt ház, út vagy utca. Ellenben volt egy „Mosóhely", ami azt feltételezi, hogy a Balaton vize ennek közelében volt. Az 1687. évi összeírásban már „Saika út"-ról van szó, amelynek vonalát megőrizte a mai Vörös Csillag utca a Vörös Csillag térig. A Balaton partját — ha nem is a nyílt vizet, hanem a náddal, sással borított területet — itt a térnél kell keresnünk. Hogy a Vörös Csillag tértől keletre eső rész, a park egész területe, a Tanácsköztársaság útja és a Rákóczi út a közbeeső utcákkal, a Balatonhoz tartozott azt bizonyítja az 1822. évi adat is, amely szerint ezen a területen, egészen az itatóig (Keszthely és Gyenes között ma is meglevő nyíltvizes partszakasz) nád termett.

A Sajka utca csak a török idők után épült be házakkal, amit 1715. évi első említése bizonyít. De még az 1858. évi kataszteri térképen is csak a felső részén, a kanyarig volt zártan beépítve. A kanyar után fokozatosan elkeskenyedett és megszűnt mint utca.

Most még meg kell határozni, hogy hol volt a „saika járás"?

Dr. Kovacsics József 1955. május 21-én „Keszthely városfejlesztési kérdéseiről" tartott előadást és bemutatott egy 1821-ben rajzolt térképet.[116] Ezen a térképen a rajzoló feltüntette azt a csatornát („sajka járás"), amely a Sajka út déli végződésétől délkeleti irányban húzódik és beletorkollik egy kelet-nyugati csatornába, ez viszont a ma „Büdösárok"-nak nevezett patakba.

Még azt is el kell mondanom, hogy a mai Kacsóh Pongrác és Móricz Zsigmond utcák egykor az „Árok utca" nevet viselték. Ez az Árok utca vezette le azt a csapadékvizet, ami a Főutca területéről utat keresett a mintegy 10 méterrel alacsonyabban fekvő „saika járás" körüli területre. Ennek az Árok utcának a folytatása az a kelet-nyugati irányú csatorna, amelyről az előző bekezdésben volt szó.

A „Büdös árok", amelybe ezek a csatornák beletorkolltak, a Polgárvárosban, a Füsti korcsma előtt levő, kútba foglalt forrás lefolyása. Forrásától délkeleti irányban lefut a mai Rákóczi térre, majd innen déli irányban egyenesen a Balatonba. Torkolata még a 20. század elején is ott lehetett, ahol ma a vasútvonal fut, valahol a Tanácsköztársaság útját lezáró vasúti sorompónál. Ennek a pataknak alsó járását nevezték „saika járás"-nak. Ezen tudtak a török korban a sajkások közvetlen a vár mellől a Balaton nyílt vizére kijutni.

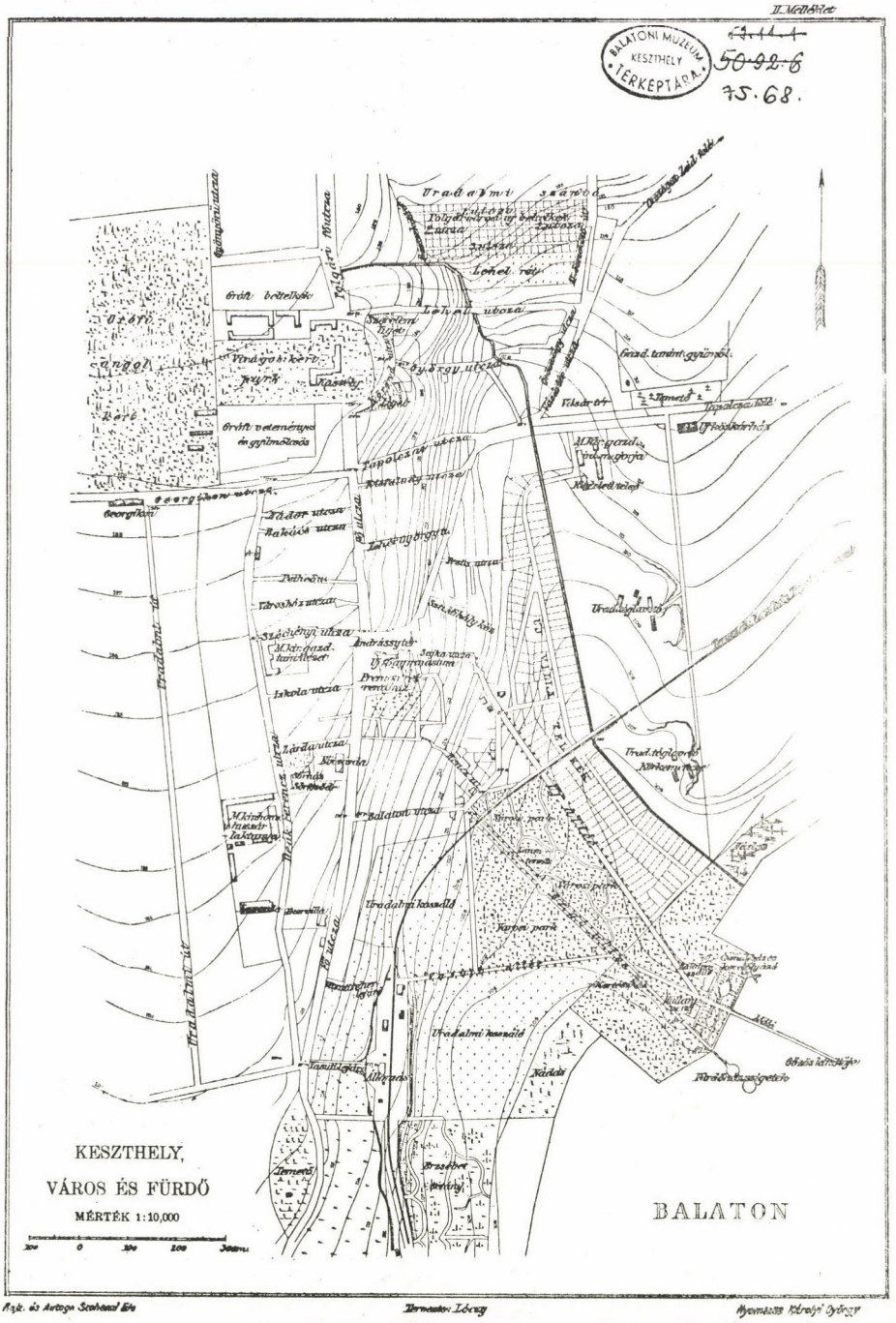
A Büdösárok mai torkolatát akkor alakították ki, amikor 1906-ban az ún. Apátdomb területéről a földet elhordták a vasútvonaltól keletre eső terület, a mai Újpark feltöltésére. Ezt a területet ugyanis akkor a Balatontól hódították el. A Helikon szálló is ezen a Balatontól elrablott területen áll.

[114] Humillimum Proiectum Oppidanorum Keszthelyiensium. Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230. 5

[115] *Iványi—Péczely—Sági*, i. m. 47.

[116] Mappa fundorum intervillanorum Oppidi Keszthely ad illustrissimum Dominum Comitem Ladislaum Festetics de Tolna, etc. Anno 1821 May.

BALATONI MÚZEUM
KESZTHELY
TÉRKÉPTÁRA
50.92.6
75.68.



3. kép. Keszthely Lóczy-féle térképe

Itt kínálkozik alkalom annak elmondására, hogy hol lehetett a Balaton partja a török időkben. A témával foglalkozók[117] legfrissebb álláspontja szerint a Balaton vízszintje a török korban nem haladta meg a 108 m. A. f. magasságot. Ezt az álláspontot elfogadva, Keszthelynél a Balaton sekély, nádasos vize a mai Park utca—Petőfi utca vonaláig húzódott fel. A mai Helikon park és a vasútvonaltól keletre levő park területe a 19. és a 20. század folyamán feltöltés útján lett elhódítva a tótól. A vasútvonalat ugyanis a 106 m. A. f. magasságon építették meg 1903—1904 években.

A Balatoni Múzeum Térképtárában őriznek egy térképet az 1900. körüli évekből, amelyet Lóczy Lajos tervezett és Stohanzl Ede rajzolt meg. A térkép mérete 1 : 10 000 és legfőbb érdekessége, hogy a méterenkinti szintvonalakat is feltüntette rajta a térkép rajzolója.

Erről a térképről a következőket olvashatjuk le:

A térkép készítése idején a Balaton partja a Szigetfürdő bejárati hídjánál, 105,41 m A. f. magasságban volt. A 105 méteres szintvonal ott van berajzolva, ahol ma a vasútvonal Tapolca felé vezet. Azon a területen, ahol ma a Rákóczi út déli részének házai vannak, a szintvonalak szerint a Balatonnak egy kb. 600 méter hosszúságú öble húzódott északi irányban. Ebben az öbölben, illetve völgymélyedésben talált utat magának a Büdös árok a Balaton felé.

Ha most ennek az 1900 körül készített szintvonalas térképnek az adatait a 17. századi állapotra vezetjük vissza, akkor a Balaton vízállása 107,5—108 m A. f. lehetett, a Balaton vize tehát ebben az öbölben felhúzódott arra a területre, ahol ma a Csány utca húzódik kelet-nyugati irányban. A 107 méteres szintvonal az utca keleti torkolatától pár méterre van a térképen megrajzolva s innen hirtelen kanyarral déli irányban a Tanácsköztársaság útjának vonalán húzódik egy darabig. A Sajka utca déli végződésénél 111,36 m A. f. magassági pont van a térképen megjelölve. Innen indult a „saika járás", amely a Tanácsköztársaság útjának vonalát követte a Petőfi utcáig, ami teljesen megegyezik az 1821. évi Mappa Fundorum Intervillanorum adataival. Egyébként érdekessége ennek a térképnek, hogy a Keszthely—Tapolca vasútvonalat nem a jelenlegi helyén, hanem az ún. Felső Hancók réten keresztül, a mai Hancók utca—Petőfi utca vonalán tervezték vezetni, mintegy 400 méterre északra a Balaton akkori partjától.

A „kerítés"-sel védett és így a várhoz tartozó „belső város"-ban néhány épületnek a helyét a rendelkezésre álló okiratokból meg tudjuk határozni.

Ezekben az okiratokban szó van egy kőből épített házról, amelyet már említettünk is. Nézzük meg, mit mondanak erről a házról a már idézett összeírások?

A Nádasdy-féle elkobzott javakon a kincstár és a nádor osztozkodtak. 3/4 részt kapott a kincstár, 1/4 részt a nádor. Ebből az összeírásból tudjuk, hogy a kőháznak két ablaka volt és az utcára nézett. Ezt a szobát kapta a kincstár, a másik szobát közös használatra hagyták, valamint a konyhát is. Az épület alatt levő pincének 3/4 része jutott a kincstárnak. Az épület udvarában két istálló is volt. Az egyiket teljesen és a másiknak a felét a kincstár, a maradék felet pedig a nádor kapta. Tartozott ehhez a házhoz kert is, amelyben kertészház is volt. Ugyanúgy megosztották mint az előbbi ingatlanokat.[118]

Gersei Pethő László javainak 1687. évi összeírásában már részletesebben és magyarul írták le ezt az ingatlant:

„Másodszor az külső Városban az Vár kapujához nem messze vagyon egy kő ház mellyen két szoba jó öregh (nagy) és a két szoba között egy konyha van, mely Szobák és konyhának az allya Pinczék de padlasok chak ez beis dült.

Ugyanazon Vdvaron boronabul épült két tágas Istállóis vagyon, kiknek az kő házzal együtt födelek gyarló Nagyon.

Vagyon ott az kő ház alatt egy öregh Présis.

Vagyon ez megh nevezet háznak háta megett Szőlős és veteményes kert fábul épült magos Góréval együtt."

Erről a házról is megemlékezik herceg Eszterházy Pál nádor megbízottja a birtok 1692. évi értékelésénél: „Az vár előtt való ház éppen puszta, az falai is ell dőltek..." „Azért azt az házat csak abban köllenék hadni s az eleit kertész szobának csinálni s úgy az ház piarczát a kerthez applicálni s annyival az kertet augeálni."

[117] *Lóczy Lajos:* A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei. Budapest 1913., 541.; *Dr. Sági Károly:* A Balaton vízállástendenciái 1863-ig a történeti és kartográfiai adatok tükrében. Veszprém Megyei Múzeumok Közleményei, 7/1968. 445.; *Dr. Láng Sándor:* A történeti idők vízszintváltozásainak hatása a parti képződményekre és a partalakulásra. Balaton Monográfia. Panoráma 1974. 21.

[118] Lásd 72. jegyzetet.

Ugyanezt a házat az Eszterházy-javak 1705. évi összeírása is tárgyalja:

„Az vár előtt vagyon egy kü Ház kiben vagyon kályhás szoba No 1, konyhais No 1, komora No 1. Szőlős kert és veteményes vagyon no 1, kiben circiter 20 vagy 22 Akó Bor megtérül. Azon kertben vagyon kertész Ház No 1. Item az kert közepén vagyon egy Nyári ház."

Ezek a leírások kétségkívül egy és ugyanazon létesítményre vonatkoznak. Korábban már meghatároztuk ennek a háznak és kertnek a helyét.

Megemlékeznek ezek az összeírások majorokról is.

A Pethő László kötelezvényének érvényesítéséért indított per anyagából,[119] a javak 1678. február 11-én kelt összeírásából megtudjuk, hogy két major volt Keszthelyen: „Száma így következik Keszthelyi határban lévő Szántóföldekk: Fölső major végiben hód föld No 13, alsó major végiben hód no 6..."

A felső major helyét egyéb okmányokból nem lehet biztonsággal megállapítani. Csak azt lehet gyanítani, hogy ezen majorság épületeinek felhasználásával épült 1745-ben Festetics Kristóf első kastélya.

Az alsó major helyét már pontosan meg lehet határozni.

Az 1686. évi összeírás csak azt mondja meg, hogy egy szoba, kamra, sütőház volt a majorban, továbbá aklok és csűr is tartozott hozzá.[120]

Az 1687. évi összeírás részletesebben tájékoztat: „Az Város alsó véghin vagyon egy Majorház, mellyben kályhás szoba, konyha, Tejes ház egy kis pinczivel, marhákk való aklok és pajtás kert öregh Pajtás kert fiával Vadnak az Major ház mellett."

Az 1687. évi leírásból már megtudjuk azt is, hol volt ez a major. A város vége a török korban — mint már említettük — délen a végvár közelében volt. Az alábbi meggondolások alapján az említett majorság fundusát a mai Kossuth Lajos utca és a Makarenko utca sarkától a Makarenko utca déli oldalához símuló és a Deák Ferenc utcáig húzódó telekkel tudjuk azonosítani. Ezen a telken ma a Szendrey Júlia általános iskola és a sörházkert néven ismert ingatlan osztozkodnak. Mikor a Festetics család Keszthely urává lett, ezt a fundust is megkapta és továbbra is megtartotta földesúri kezelésben. Az egykori majorságból kocsmát csináltak, ez volt az „Alszegi kocsma". Ilyen néven említik a Festetics uradalom 1776. évi kocsmaszámadásában[121] és még az 1842—1846 években is[122]. 1846-ban aztán átkeresztelték „Gőzös" kocsmára, ebben az évben kötött ki ugyanis első ízben a Kisfaludy gőzhajó Keszthelyen. Ez az esemény olyan szenzáció volt akkor, hogy egy utca és egy korcsma kapott „Gőzös" nevet.

A kocsma a teleknek az alsó, keleti részét foglalta el. A felső, nyugati részén épült fel a sörház, illetve ennek nagy kertje foglalta el a korcsma telkének folytatását. 1780. körül épült meg a sörház, akkor nyitották meg az „Új utcát", amely később a Sörház utca nevet kapta. Ma ez a Makarenko utca.

Ez a majorsági telek egyébként az Eszterházy-javak 1705. évi összeírásában is szerepel.

A török kor Keszthelyének „középületei" szerények voltak: két korcsma és két mészárszék. Legalábbis ezekről tesznek említést az összeírások.

A korcsmák közül csak az egyiknek, az „alsó kocsmá"-nak a helyét lehet topográfiailag meghatározni.

De előbb lássuk, mit mond az 1687. évi összeírás a korcsmákról:

„Az korcsmálásnak Rendj.

Az korcsoma ketteő lévén Keszthelyt, alsó és felső korcsomák.

Az Felső Korcsomát bírják az Földes Vrak Sz. György naptul fogvást Sz. Mihály napigh, ki ki bizonyos ideigh, ugy mint az én részemrül esik hat hétj idő az Educillatioja és ezen kívül mégh más három hét mellyet Istenben el nyugott Bakacs Sándor Uramtul vött megh Groff Nádasdi István Ur és Zálogh keppen birta, S énis azon jussal birtam harmat fél száz forintban.

Azon felső korcsma peniglen kezdődvén Sz. Mihály naptul fogvást Sz. György napigh, közönségesen az Földes Vraké és az Bortis közönségessen árultattyák az hasznával osztozkodván."

Herceg Eszterházy Pál nádor megbízottjának 1692. évi feljegyzése a korcsmáltatásról így szól:

„Vagyon Keszthelyen folyó korcsma kettő, egyik az földes Uraké, másik az kapitányé és Vitézlő rendé. Uj Esztendő naptul fogva Szent György napigh az földes Urak korcsmája

[119] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. B. No. 40.

[120] Lásd 72. jegyzetet

[121] Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230. 4.

[122] Keszthelyi taxalista nemesség könyve. Balatoni Múzeum Adattára. Leltározatlan anyag.

foly, ugy mint Méltósághos Herczegh, Pető Urak, Falusi Ur és Bakacs Sándor árvái részére s azon korcsmára pénzen viszen az korcsmáros bort s csak a haszonnal proportionaliter osztoznak az Urak. Szentgyörgynap után mingyárt hat egész hétigh magaé az Méltósághos Herczeghé az korcsma s maga Borát árultattya, azután Pető Uraké s Consequenter az töb földes Uraké, hanem ujabban in Julio vagyon három hétigh való korcsmája az Herczeghnek.

Az alsó korcsoma kediglen melly közönségessen Kapitány Uré és az Seregé Esztendőt által."

A korcsmákra vonatkozóan érdekes adatokat olvashatunk az Eszterházy levéltár egyik feljegyzésében,[123] amelyen ugyan nincsen dátum, de az okmányok irattárba helyezésekor adott sorszám alapján az 1693. évre keltezhető:

„Eleitől foghvást bé vett Szokás lévén, hogy Sz: Györgytől fogvást Sz: Mihály napig az korcsmákat az földes Urak, ugy az kapitány folytatták, Sz: Mihály naptul fogvást Sz: György napig az Seregh és az Polgár Város. Oly szándékkal vagyon az Vitézlő Rend, hogy valamint annak előtte az korcsmát usualták Szabadon, ugy hogy öttven korcsmájakis megh vala, mostis az Szerénth usuállyák."

A „felső kocsma" helyét csak találgatni lehet. Talán a mai Amazon vendéglő helyén, vagy a polgárvárosi Füsti korcsma helyén állott? nem tudjuk, az okmányokban nincs rá adat.

Az „alsó kocsma" helyét több okmányból már ki lehet hámozni. Maga az előbb idézett leírás is azt engedi feltételezni, hogy a vár közelében kellett lennie („közönségesen kapitány Uré és az Seregé").

Az „alsó kocsma" a vár kapujával szemben, nyugaton, a mai Lévai Oszkár utca és a Kossuth Lajos utca sarkán állhatott. A török idők utáni évekből vannak hírek erről a korcsmáról. „Ebben a helyiségben t. i. az istentiszteletek alatt többször is botránkoztató jelenetek és hangoskodások zavarták a templomban lévők ájtatoskodását"[124] 1726-ban a templomból kijövő híveket annyira felbosszantotta a sok botrány, hogy az épületnek neki mentek és földig lerombolták.[125] A korcsma nemesi funduson, a Bakacs család telkén állott, ezért aztán az ügyből per lett. A Bakacs család a ferenceseket vádolta, ők lettek volna az okozói a korcsma lerombolásának. Végül is olyan kompromisszum született, hogy a bíróság nem engedte újból felépíteni a kocsmát, helyette a rendnek kálváriát kellett építenie és a Bakacs család tagjainak lelki üdvéért bizonyos számú szentmisét voltak kötelesek mondani.

A telket 1728. március 17-én engedte át Bakacs Benedek özvegye a ferenceseknek „az ő szándékára mondandó 2000 sz. miséért."[126]

A kálvária csak 1760-ban épült meg, Festetics Kristóf udvarmesterének adományából. A ferencesek Historia Domusának feljegyzése szerint Krisztus teste be volt aranyozva[127]. A kálvária a később rajzolt várostérképek szerint[128] a rendház épülete előtt, a ma autóparkírozónak használt terület déli részén állott.

Sokkal nehezebb a mészárszékek helyének meghatározása.

Azt tudjuk, hogy 1648. június 29-én Gersei Pethő László „mészárosságot engedett firól-fira" Giber Vida jobbágyának.[129] 1649-ben pedig Pap Mátyás Kovács városi főbíró és az esküdtek engedték meg a „mészárosságot Giber Istvánnak és Giber Jánosnak és mégh Maradékyoknak".[130] A mészárosság akkor jog volt, amelyet birtokosa a saját házában gyakorolhatott. Giber Vida Gersei Pethő Lászlónak volt a jobbágya. A jobbágyok pedig a Polgárvárosban laktak, így ez a jog a „felső mészárszék"-re vonatkozhatott. A Giber család a 17. és 18. században az egyik legnépesebb család volt Keszthelyen. A család tagjai közül többen jobbágyként a Polgárvárosban, ismét mások zsellérként a mezővárosban laktak. Csak találgatni lehet, hol lehetett a Giberek mészárszéke a Polgárvárosban. Itt

[123] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. B. No. 63.

[124] *P. Takács Imre O. F. M.:* Szent Ferenc fiai Veszprém egyházmegye területén, különös tekintettel a XVII. és XVIII. századra. Veszprém, 1940. Kézirat a Veszprém Egyházmegyei Könyvtárban. 97.

[125] *Bontz*, i. m. 310.

[126] A ferencesek Historia Domusa, 1728. évi feljegyzés.

[127] Uo.

[128] Situation der Herrschaft Keszthel in Szaladienser Comitat 1769. Balatoni Múzeum Térképtára 75. 70.

[129] Balatoni Múzeum Adattára F. 69. 230. 6.

[130] Uo.

csak egy utca volt abban az időben, a mai Soproni utca. Ennek déli részén lehetett a „felső mészárszék".

Az „alsó mészárszék" a vár környékén lehetett. Ennek az alsó mészárszéknek a helyére vonatkozóan Fülöp Viktor „Emlékek" című feljegyzésében[131] találunk adatot: „Gimnázium északi falán volt egy mészárszék régen". A „gimnázium" alatt az 1892. előtti iskola, vagyis a régi ferences kolostor épületét kell érteni, illetve a telek északi kerítését. Az 1821. évi „Mappa Fundorum Intervillanorum" című térkép, valamint az 1858. évi kataszteri térkép, a kolostor épületétől északra, a mai Főtér és a Jókai utca sarkán, a jelenlegi kerítés helyén feltüntet egy kelet-nyugati irányban húzódó épületet. Ez lehetett az „alsó mészárszék". Ennek a mészárszéknek a helyét az is valószínűsíti, hogy a Piactérre nyílott. A mai Főtér volt a végvári időkben a piac- és vásártér. Még az 1821. évi térképen is „Piacz" megnevezéssel szerepel.

A Kossuth Lajos utca 22. számú, még ma is „Pethő-ház"-nak nevezett, nagytömegű épületről nem esik szó a tárgyalt okmányokban. A török idők után épült meg mai formájában. A 18. században „zsidóház"-nak nevezték. A 19. században egy Pető nevű kereskedőnek volt üzlete ebben a házban.

A tárgyalt okmányokban utalás történik a Szent Miklós templomra. Az 1678. február 11-i végrehajtási jegyzőkönyvben a szántóföldek számbavételénél olvashatjuk: „una cum certis tribus terrae Jugeribus ante Templum Divi Nicolai Eppi et Confessoris situatae." A magyar nyelven szövegezett összeírásokban is sűrűn használják a helymeghatározást: Sz. Miklós előtt, Sz. Miklósnál Nap kelet felől, Sz. Miklósnál Nap nyugot felől stb.

A Szent Miklós templom helyét Sági Károly[132] a város déli részén, a Kossuth Lajos utca és a Deák Ferenc utca találkozásánál tételezi fel, itt egy kis dombon épült a 15. században a Szent Miklós kápolna. Ez a kápolna azonban nem pusztult el a török idők alatt. 1647-ben miséket mondanak benne, említik az 1678., 1686., 1687. és 1715. évi összeírásokban mint tájékozódásra alkalmas pontot.

Bontz József[133] úgy tudja, hogy a Szent Miklós körül a temetőt 1690 táján hasították ki. Sági Károly szerint[134] 1713-ban létesült a temető és ekkor épült a régi templom helyén a temetőkápolna. A fent idézett okmányok nem igazolják ezeket a feltételezéseket. Valószínűbbnek látszik, hogy a város temetője ezen a helyen 1775 körül létesült, amikor gróf Festetics Pál Hofstädter Kristóf kőműves mesterrel renováltatta a régi Szent Miklós templomot.

Hofstädter Kristófnak a Szent Miklós kápolna renoválására készített tervrajza (Dl 58. a Festetics levéltár tervrajztárában) 1775. január 1-i kelettel készült a következő címmel: „Grund risz und auf risz der altstehenden Kirchen in dem Kirchhof zu Kesthel."

A temető létesítésének 1775. évi időpontját még az alábbi adatok is bizonyítják. A nemesi decimalitás elszámolásokban olvashatjuk:

1774. decemberében „Sz. Miklós Temploma fáit Sávolyi erdőrül elhozó szekeresekk fizetődött 49 fl 21 1/2 d."

1776. március 29.: „Sz. Miklós körül ültetett hársfákk Somogybul föl hozásáért fizetődött 50 d."

1777. decemberében: „Lakatos Mihálynak a Sz. Miklósi Temető hely kapujára tett munkáért 7 fl 15 d."

1778. augusztusában: „Sz. Miklósi Temető hely kapujára Tislérnek 3.5 fl."

Valószínűleg az 1775—1777 körüli években készült és ma is eredeti helyén áll a temető első kőből faragott síremléke, a Fájdalmas Krisztus, a város négy kőfaragómesterének sírja fölött.

A 17. század végén keletkezett birtokösszeírási okmányokban említés történt malmokról is. Bár ezek földesúri tulajdonban voltak s nem a vár tartozékai, a vitézlő rend és a város lakosainak ellátását is szolgálták, ezért helyénvalónak látszik, hogy ismertessük azokat az adatokat, amelyek a dokumentumokból rendelkezésre állnak.

Három malomról van szó: a Dobogói, Diási és az ún. „Pethő alsó malom"-ról. Ez utóbbi a Gyöngyös patak, illetve a Hévizi berek lefolyását biztosító csatorna mellett áll ma is Keszthely és Fenék határában.

A legrégibb malom a „Dobogói malom" volt. Ez valamikor a keszthelyi ferenceseké volt. Első említéséről Holub József munkájában olvashatunk:[135] „1502-ben a megye

[131] Balatoni Múzeum Adattárá E. 70. 104. 1—15.
[132] *Sági:* Keszthely 88.
[133] *Bontz*, i. m. 196.
[134] *Sági:* Keszthely, 88.
[135] *Dr. Holub József:* Zala megye története a középkorban. I. kötet, II. fejezet, 272.

hatósága vizsgálatot tartott a Gersei Pethők azon panasza tárgyában, hogy egyik tomaji jobbágyuk, mielőtt a türjei prépostság birtokára költözött, több rendbeli hatalmaskodást követett el, így a keszthelyi Szűz Mária egyház malmát a Dobogó hegy alatt elpusztította s követ elhordta." A ferencesek temploma volt Szűz Mária tiszteletére szentelve, tehát a dobogói malmot a ferencesek birtokolták. Amikor a ferencesek elhagyták kolostorukat a Pethők vették birtokba ezt a malmot.

Az 1549. évi rovásadó összeírásban Pethő András Thomayon egy malom birtokosa volt. (Dobogó Tomajhoz tartozik). Pethő András az 1542—1582 években szerepel keszthelyi birtokosként. A malom még 1599-ben is szerepel a rovásadó összeírásokban. Később azután már nincs róla hír. De biztos, hogy megvolt, mert mikor a Festeticsek keszthelyi birtokosok lettek, ismét kezd szerepelni az okmányokban. Védett helyen feküdt, északról, nyugatról és délről a Hosszúsár védte. Egyetlen megközelítése csak Tomaj felől, a dobogói dombokon keresztül volt lehetséges, ezért elkerülhette a török dúlást.

A Diási Malom-ról az első híradást 1678-ban kapjuk. A végrehajtást előkészítő összeírásban a „Diási Malmot Vadkertel együtt" 75 forintban értékelték.

Jóllehet ez a malom elég távol — 5 km-re esett — a várostól, Diást Keszthely tartozékának tekintették az akkori földesurak. A töröktől nehezen megközelíthető hely volt, főleg szőlők települtek itt. A keszthelyi hegység dolomittömbjének déli lábainál számos forrás fakad. Az egyik legbővebben vizet adó forrást ma Szent János forrás néven ismerjük. Ennek a Balaton közelében levő forrásnak a lefolyása mellett állott a „Diási Malom". Egyébként a malom épülete ma is megvan, de már lakásokká alakították át. Azt ma már nehezen lehet megállapítani, hogy 1678-ban hol volt a „Vadkert".

A Pethő László jószágairól szóló 1687. évi összeírás is megemlékezik erről a malomról: „Item az keszthelyi határban Diáson egy Puszta Malom hely vagyon forrásos halas Tójával együtt."

A Szent János forrás vizét kétszeresen hasznosították a keszthelyi földesurak. A forrás vizét elvezető csermely medrét kiszélesítették, így a víz nem folyt el kihasználatlanul, hanem tóvá duzzadt. Ezt halastónak használták fel. Mivel ez a tó a forrásból állandóan kapott friss vízpótlást, a felesleges vizet elvezették. A malom jóval alacsonyabb helyen épült a lefolyás mellett, valószínűleg alulcsapó volt, mert a malomárok vizének állandóan volt elég ereje a kerék meghajtásához. A diási malomról a későbbi összeírásokban nem tesznek említést.

1617-ben épülhetett a „Pethő alsó malom"[136]. Építtetője Pethő Gáspár lehetett. Az ő fia volt ugyanis Pethő László, akinek birtokait a későbbi évek összeírásai részletesen tárgyalják. Erről a malomról a dokumentumok a következő felvilágosításokat adják:

Az 1678. évi végrehajtásról készült értékelésben: „Molendinum Also Pethő Malma praeter eidem inhaerentem alterius ordinis summam florenos 604." — azaz ezt a malmot másutt feltüntetett tartozékaival együtt 604 forintra értékelték.

Az 1686. évi összeírásban: „Molae ibidem existentis rata 3/4" és „Ex *Molae unius Rotae* quarta pars proventu concernit suam Excellentiam Palatinalem."

A későbbi okmányokból kiderül, hogy az ún. Alsó Malomról van szó, amelynek 3/4 része a kincstárt, 1/4 része a nádort illette.

Az 1687. évi összeírásból megtudjuk: „Vagyon az Heuvizen egy Malom két kerékkel mellyben három részt Jankovics Uram bir 4 Jobbággyal együtt hat száz forintban, negyed részt kediglen ugy mint Palatinus részét, én birom."

A nádor részére készített tájékoztatás írója erről a malomról így nyilatkozott: „Vagyon praeterea Alsó nevü Malom, kinek két részét Camara engedelmébül Keszthelyen két jobbággyal és Sánton hasonlóképpen kettővel birja Jankovics Péternő hat száz forintban, harmadik részi az malomnak az méltóságos Herczeghé. Azon malom keres ordinarie 200 köböl gabonát annuatim."

Takáts Sándor, „A magyar malom" című műveltségtörténeti tanulmányában[137] azt írja, hogy a „gátas vagy magyar malmok igen jól jövedelmeztek. Akárhány olyan közepes nagyságú malom volt, melynek 200—300 köbölre rúgott az évi bevétele." Ezek szerint a „Pethő alsó malom" igen jól jövedelmezett.

Ugyancsak Takáts Sándor tudósít arról is ebben a tanulmányban, hogy „a malmok gondviselő mesterei harmadosok, vagy negyedesek voltak a jövedelemben. Holub József szerint Zala megyében harmadrész illette a molnárt, 2/3 a földesurat.[138]

[136] *Szántó:* Alsópáhok, 15.
[137] *Takáts Sándor:* A magyar malom. Századok 1907. 157.
[138] *Dr. Holub József:* Zala megye középkori vízrajza. Zalaegerszeg 1963. 43.

A nádor részére készült értékelésben olvashatjuk még: „Jankovics Péternő asszonytul az Jobbágyokat ell foglalták, Szántóiakat Babocsai Ferencz Ur in fl 335, Keszthelieket proparte Judria Parraghi Imre Ur Szala Vármegyének Szolga biráia in fl 60 és igy az Malom defalcata praevia Summa az asszonynál csak in fl 205 volna."

Az imént elmondottakból az tűnik ki, hogy ehhez a malomhoz 4 jobbágytelek is tartozott, kettő Keszthelyen, kettő Szántón. Továbbá az is, hogy a malmot a Nádasdy-javak elkobzása után a király Jankovics Péternek juttatta, — nem tudni milyen érdemekért. 1692-ben Jankovics Péter már nem élt, özvegye pénzt csinált a jogokból. A szántói jobbágytelkeket elzálogosította a nagyvázsonyi Morocza Ferencnek. Tőle Babocsay Ferenc egykor keszthelyi, majd veszprémi kapitány vette meg 300 forintért és két ökörért, melyeket 50 forintban értékeltek. 1693. július 9-én kelt levelében Babocsay Ferenc ezt a két jobbágytelket 350 forint lefizetése ellenében visszabocsátotta herceg Eszterházy Pál kezeihez.[139]

A keszthelyi két jobbágytelek Giber Jakop és Márton György birtokában volt, akik ezeket a házhelyeket Parragy Imrétől, Zala vármegye egyik főszolgabírájától „inskribálták" 87 forintért. 1693. május 21-én ezen összeg lefizetése ellenében visszabocsájtották a nádor keszthelyi gondviselőjének, Kéri Jánosnak a kezeihez.[140]

Az Eszterházy-javak 1705. évi összeírásában erről a malomról ezt írják: „Malom egykerekre vagyon No 1, Aki Importál Esztendeigh Cub. No 120 az Molnár részin kivül ides Száz husz köblöt."

Az 1715. évi összeírásban már másképp értékelték ezt a malmot: „Ezen határban vagyon az Urasághnak egy kereké malma kinekis ritka Esztendőben vagyon elégséges Proventussa."

A „Pethő alsó malom" a török idők után is működött. 1739 után a Festeticsek birtokában. Épülete ma is áll azon a helyen, ahol 1617-ben felépítették.

A város életét alakító események felelevenítése után érdekes volna megrajzolni a végház védelme alá húzódott mezőváros térképét is.

Nehéz feladat, mert Giulio Turco 1569. évi váralaprajzán kívül nem ismeretes egyetlen várostérkép sem a török korból. Így aztán csak jóval későbbi terepfelvételek és a török korból fennmaradt okmányok alapján lehet rekonstruálni mekkora területet foglalt el a mezőváros és hol voltak a határai.

A tényleges mérés alapján készült várostérképek közül az 1821. évben rajzol „Mappa Fundorum Intervillanorum", az 1858. évi kataszteri térkép és a Lóczy Lajos által tervezett, 1903 körül készült térkép rögzítette azokat a terepadottságokat, amelyek a törökkori város kiterjedését is meghatározták. A részleteket az okmányokból kell kiszedni és ezekre a térképekre rárajzolni. De még így is csak feltételezésekre vagyunk rászorulva.

A város kialakulását és a 19. század végéig történt lassú fejlődését a földrajzi tényezők határozták meg. A legkorábbi települések azon a halomgerincen keletkeztek, amely a Keszthelyi Hegység délnyugati lejtőitől déli irányban húzódik a Balaton egykori nagy öbléig, a mai Kisbalatonig. Ennek a halomgerincnek a legmagasabb pontja kb. 123 m A. f. magasságú. A gimnázium kapuja, a templom bejárata ebben a magasságban van. A Kossuth Lajos utca észak-déli vonala jelzi a körülbelüli gerincvonalat. A Főutcától keletre viszonylagosan meredek lejtése van a halomnak. Ezt legmarkánsabban a Vöröshadsereg útján lehet érzékelni, amelynél kb. 11 m szintkülönbség van a Kossuth Lajos utcai torkolat és a Rákóczi tér szintje között. A Főtér nyugati szintje és a Vörös Csillag tér között is kb. ennyi a szintkülönbség.

Mint korábban már szóltam róla, a mai Rákóczi út és környéke helyén még a 19. század végén is egy mocsaras, bozótos öböl húzódott fel a Rákóczi tér déli széléig. Ez a terület mindaddig településre alkalmatlan volt, míg a Sió szabályozásával a Balaton tükre beljebb nem húzódott.

A fent vázolt terepadottságból az következett, hogy a halomgerinc vonalán keletkezett források vize és a csapadékvíz a nyugat-keleti irányban kialakult utcák vonalában keresett lefolyást a mélyebben fekvő Balatonba. Az elmondottakat még ma is dokumentálja a Büdös árok. A Soproni utcában, tehát a gerincvonalon, a Füsti korcsma előtt van ennek a forrása. Innen az egykori Pap utca, ma Katona József utca, vonalában fut le a Vásártérig, itt déli irányba fordulva átszeli a Rákóczi teret és a már említett mocsaras egykori öbölben ömlik a Balatonba.

A korábbi századokban volt azonban még több ehhez hasonló vízelvezető árok is a város területén. Északról dél felé haladva, a Vöröshadsereg útja környékén húzódott egy ilyen

[139] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. B. No 62.
[140] Országos Levéltár, P. 108. Rep. 37. Fasc. B. No 61.

árok. Az 1821. évi „Mappa Fundorum Intervillanorum" jelzi is ezt a vizesárkot,' amelyen akkor már műszaki létesítmények is voltak. A Kossuth Lajos útjánál a „Johannis-Brücke", a Hajdú utca északi torkolatánál pedig a „Hajdú utcai kühid". Az árok nem a Vöröshadsereg útja mai vonalán húzódott, hanem attól kevéssel délre, ma házakkal beépített területen. A Hajdú utcai kühídtól keleti irányban a Rákóczi tér mai déli házsorának vonala előtt futott tovább és a Büdös árok hídja mellett, annak déli oldalán torkollott be a Büdös árokba.

A hidakra vonatkozólag a városbírói számadásokban találunk adatokat.

A nemesi decimalitás elszámolásából tudjuk, hogy a „Johannis-Brücke" 1764-ben, a Hajdú utcai kühíd 1772-ben, a Rákóczi téri ún. „Hármas híd" 1778-ban készült. Feltehetően ezeken a helyeken korábban is voltak áthidalások. A fenti években kőhidak épültek.

A Főtér környékéről lehúzódó csapadékvizet valószínűleg a Sajka út vezette le a Sajka járásba. Ezeknek vonala ma a Vörös Csillag utca, Vörös Csillag tér és a Tanácsköztársaság útja.

Az 1821. évi Mappa rajzolója feltüntetett egy vízfolyást a Kossuth Lajos utca középső szakaszán is, az egykori vártól nem messze délre. A törökkori alsó major, — ma Szendrey Júlia iskola — telkével szemben, a mai Helikon utcával párhuzamosan fut ez az árok, majd egyesül egy másik, a mai Jókai utcából kifutó árokkal. Innen a vonala megegyezik a mai Helikon utca alsó részének vonalvezetésével. A török korban ennek a mai utcának a végén torkollott be a Balaton mocsaras, nádas vizébe. Az 1821. évi térképen ez az árok gátak közé szorítva, nyugat-keleti irányban futva a mai Petőfi utca vonalában, beletorkollott a Büdös árokba. A 19. század végén ezt az utcát Árok utcának nevezték.

Az 1821. évi Mappa tanúsága szerint a mai Balaton utcának is vízlevezető szerepe volt, de ez az utca a török korban még nem létezett.

A bírói számadásokban megemlítenek a város területén még egy hidat. 1766-ban épült kőhíd a „kápolna előtt". A kápolna természetesen a törökkori Szent Miklós templom volt. A híd pontos helyét talán sikerül meghatározni az alábbiak alapján.

A Balatonvidék című hetilap 1912. november 17-i számában olvashatunk erről a hídról: „Szépül a Kossuth Lajos utca. Ennek az utcának alsó végét, mint ismeretes már régebben kiszélesítették és vízszintessé tették, de a *régi hídnak oldalfalai megmaradtak*. Most a keleti oldalfalat, igen helyesen, elbontották s így a Kossuth Lajos utca ezen részének sokkal szebb formát adtak. Az utca, illetőleg az útrendezést folytatják az új villasor előtt is. Sajnálatos dolog, hogy az útnak egyik felén lévő *vadgesztenye fasor az új rendezésnek áldozatul fog esni.*"

A fentiek szerint ez a *régi híd* ott állhatott, ahol ma a Kossuth Lajos utca keleti oldalán a vadgesztenye fasor kezdődik, vagyis a Balatoni Múzeum telkének északnyugati sarkán. A török korban a Kossuth Lajos utcának a vártól délre eső része volt a Szent Miklós útja, majd ennek folytatása a Malom útja. Ezeket az utakat igyekeztek jó karban tartani, mert fontosak voltak a malomba járás miatt. Feltehetően a kőhíd 1766. évi létesítése előtt is volt egy híd a kápolna előtt.

A fent vázolt földrajzi adottságok ismerete alapján megkíséreljük rekonstruálni a mezőváros (oppidum) és a Polgárváros (possessio) török kori kiterjedését.

A mezőváros a végvár környékén terült el. Mint korábban már volt róla szó, az alsó major már a kerítésen kívül helyezkedett el, tehát a déli határ közvetlen a templom déli környékén húzódott, a mai Helikon utca vonalában. A Jókai utca keleti házsora volt a keleti határ, ami a Hajdú utca keleti házsorában folytatódott. Az északi határ a Fejér György utca és annak nyugati folytatásában egészen a mai Deák Ferenc utcáig húzódott. A török korban a Deák Ferenc utca még nem volt kiépülve. Ez a település egy kb. 400 × × 400 méteres területet foglalt el, ez volt a *belső város*.

A belső város utcáiról kevés említés történik. Az Öregh utca már biztosan régtől fogva megvolt, ez a mai Kossuth Lajos utca. A vártól déli irányban vezető folytatása volt a Szent Miklós útja. A Főtér is megvolt, ez volt a török kori piac és vásártér. Említés történik a Hajdú utcáról, ez valószínűleg csak az Unterberger utcáig volt kiépülve. A Sajka út helyén kertek voltak. A Kerítés utcában a vár falához simulva már voltak házak, ez a mai Jókai utca.

A *külső város* a fenti, kerítéssel védett településhez északon csatlakozott és a Szent Márton templom környékéig terjedt. Az Öregh utca folytatódott északi irányban. Megvolt az Öregh utcát kelet-nyugati irányban keresztező út is, amelyet a török korban Fürdőhely, majd Szallajtó utcának, nyugati részét később Tanárok utcának nevezték. A külső városhoz tartozott a Pap utca, a mai Katona József utca. Ebben laktak a plébános jobbágyai. A Szent Márton templomtól húzódott keleti irányban, vonalvezetése ma is változatlan.

A *Polgárváros* vagyis a *Possessio Kesthel* egyetlen utcából, a mai Soproni utcából állott, mintegy 18—20 házból.

A külső város és a Polgárváros központi magja volt a *Palotadomb*. Ezen volt a török kori felső major, vele szemben állt a Szent Márton templom, a plébános háza és az iskola. A Palota dombon az Öregh utca kiszélesedett, teret alkotott, ennek a térnek a közepén állott a Szent Márton templom.

Most még azt kell elmondanom, hogyan lett a végvárból ismét kolostor, mikor és hogyan vették újból birtokba a ferencesek egykori rendházukat?

A ferencesek Historia Domusa elég részletesen tájékoztat a kolostor újra történt benépesítéséről.

A török idők alatt a kolostor épületén a földesurak osztozkodtak. A ferencesek 1718. körül indítottak akciót az egykori tulajdonjog újra érvényesítése érdekében. Két rendtársukat, Jankovics Mihályt és Bellosits Jánost bízták meg, hogy régi kódexekben és iratokban kutassanak bizonyítékok után arra vonatkozóan, hogy a keszthelyi templom és kolostor az ő tulajdonuk volt. A két buzgó rendtagnak sikerült is több hiteles okmánnyal bizonyítani, hogy 1386-tól 1533-ig a ferencesek keszthelyi konventje fennállott.

Bontz József írja,[141] hogy a ferencesek ezen bizonyítékok alapján kérték III. Károly királyt, hogy a rendet helyezze vissza keszthelyi rendházába. Az uralkodó a jogos kérelemnek helyet adva azt rendelte, hogy a ferencesek a keszthelyi rendházat a templommal együtt a földesurak beleegyezésével, akik azokat lefoglalták, visszavehetik és elfoglalhatják.

A királyi állásfoglalás alapján a rend magyarországi provinciális kormányzója, P. Pordányi András kérte a földesurakat, hogy bocsássák vissza a rend rendelkezésére a kolostort. Gróf Pethő János várbéli részét 1719. július 3-án Iváncon kelt levelében, Bakacs Benedek és sógornője, Csoknyai Éva, az elhunyt Bakacs Lukács nevében 1723. március 4-én, Erdődy György gróf, az Eszterházy árvák gyámja és gondviselője, 1723. március 5-én adták meg az engedményező levelet.

Gróf Ebergényi László tábornok azonban nem volt hajlandó várbéli részét visszabocsátani, sőt a rendház új főnökét, Dominkovics Albertet, néhány nappal az ünnepélyes bevonulás után, fenyegetések mellett arra utasította, hogy a rendházat egy éven belül ürítsék ki és bocsássák vissza az ő rendelkezésére. Erre azonban nem került sor, mert Ebergényi László hamarosan ezután meghalt.[142]

A ferencesek 1723. március 21-én, virágvasárnapon vonultak be ünnepélyesen a kolostorba és vették birtokba a templomot.[143]

Eszes László

[141] *Bontz*, i. m. 208.
[142] A ferencesek Historia Domusa 6.
[143] Uo.: 2.

R. Szilard: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik. Band 1. Stabwerke. (A szerkezeti mechanika véges számítási módszerei. 1. kötet. Rúdszerkezetek.) Wilhelm Ernst und Sohn. Berlin, München 1982.

A nagyszabású monográfia közelmúltban megjelent első kötete a rúdszerkezetekkel foglalkozik, az előkészületben levő második kötet pedig a felületszerkezeteket fogja tárgyalni. Szerzőnek az volt a célja, hogy az építő- és gépiparban, valamint a repülőgépgyártásban felmerülő különböző szerkezeti mechanikai problémák szemléletes, számítógép-orientált megfogalmazását és numerikus úton történő megoldását ismertesse. A rúdszerkezetekkel foglalkozó első kötet tanulmányozása csak elemi matematikai és műszaki mechanikai ismereteket igényel. Szerző egészen egyszerű feladatokból kiindulva olvasóját fokozottan bonyolultabb, geometriailag és fizikailag nemlineáris statikai és dinamikai problémák megoldási módszereivel ismerteti meg és bemutatja a módszerek kis számítógépek segítségével való alkalmazását.

A 704 oldalas kötet 7 fejezetet tartalmaz, melyhez a függelékben további 3 fejezet csatlakozik. Az 1. fejezet a nagy teljesítményű zseb- és asztali számítógépek egyre fokozódó jelentőségéről és a lineáris egyenletrendszerek kis számítógépekre alkalmas megoldási módszereiről ad áttekintést. A 2. fejezet a differenciamódszer rúdszerkezeti alkalmazását, a 3. fejezet pedig a differenciamódszer javított, kisebb számítógépkapacitást igénylő változatát tárgyalja. A kötet gerincét a mátrix-elmozdulásmódszerrel foglalkozó 4. és 5. fejezet képezi. A 4. fejezetben szerző az elmozdulásmódszer alapelvét és egyszerű alkalmazásait ismerteti, az 5. fejezetben pedig a dinamikai és stabilitási problémákkal, valamint a geometriailag és fizikailag nemlineáris feladatokkal foglalkozik. A 6. fejezetben az erőmódszer, a 7. fejezetben pedig a redukciós eljárás matematikai alapjai és alkalmazásai találhatók meg. Végül a mintegy 150 oldalas függelék a mátrix- és az operátorszámítás alapjait, valamint a szerkezeti mechanika fontosabb algoritmusait és FORTRAN-IV nyelven írt programjait tartalmazza.

A könyvnek talán legnagyobb értéke, hogy elméleti és matematikai igényessége mellett a gyakorlati alkalmazás problémáit is részletesen tárgyalja. A módszerek alkalmazását nagyszámú részletesen kidolgozott és könnyen követhető számpéldán szemlélteti, foglalkozik a módszerek pontosságával, az alkalmazott numerikus megoldások hatékonyságával és gépigényével. Bár maga a kötet is jelentős számú algoritmust és programot tartalmaz, a közeljövőben kiegészítésként egy 260 oldalas példatár is megjelenik, amelyben 50 rúdszerkezeti feladat numerikus megoldása és TI-59 zsebszámítógépre alkalmas programja található meg.

Külön ki kell emelni a könyv egységes felépítését és igen világos tárgyalásmódját, ami szerző nagy oktatói tapasztalatát, publikációs készségét és kiváló didaktikai érzékét dicséri. A könyv tartalmát és metodikáját tekintve sok tekintetben különbözik a hasonló témakörben megjelent művektől, különösen a német nyelvű publikációktól, azoknál lényegesen több információt nyújt, elsősorban a gyakorlatban tevékenykedő tervezőmérnökök számára. Értékesen és újszerűen gazdagítja a tartószerkezetek mechanikájának irodalmát, ezért minden bizonnyal sikerre tarthat számot.

A szakemberek érdeklődéssel várják a felületszerkezetekkel foglalkozó második kötet megjelenését.

Dr. Kaliszky Sándor

Zádor Anna: A klasszicizmus és romantika építészete Magyarországon Corvina, Kiadó, Budapest. 1981

„A klasszicizmus és romantika építészete Magyarországon" anyaga alig kaphatott volna hivatottabban interpretáló szerzőt Zádor Annánál, aki építészettörténetünk e korszakával évtizedek óta elmélyedten, alapos kutatásokra támaszkodva foglalkozik. E körben összegyűjtött ismeretei és adatai egész bibliográfiára rúgó publikáció volumenévé gyűltek össze, mely a rövidre fogott értekezésektől a tekintélyes kézikönyvekig a XIX. század hazai építészetét legkülönbözőbb aspektusokból világítja meg. A feldolgozott kor e sokrétű anyagát józan mérséklettel áttekinthető méretekbe foglalva tárja az olvasó elé, megfelelve a mai — olvasásra kevéssé ráérő — idők, arányos, de élvezetet és tanulságot nyújtó korszerű igényeinek. Zádor Anna e célkitűzésnek komoly tárgyilagosságú, világosan olvasmányos, árnyaltan tagolt előadással tesz eleget. Erre — minthogy a könyv egyik lektorkénti akkori elismerő véleményemet változatlanul fenntartom — részletesebben e helyt nem kívánok kitérni. Szükségesnek érzem azonban, hogy a mű tartalmi értékeinek kiemelése mellett, szerkesztésével kapcsolatosan néhány észrevételt tegyek.

A könyv belső címlapján a mű szerzőjének nevén túl nyomatékkal csak egy név szerepel, a fényképészé. („A fényképeket Kónya Kálmán készítette.") Ez — tekintve, hogy nem fényképbemutatás, hanem egy kor építészetének illusztrálásáról van szó — a gyenge fotóanyag illetéktelen előtérbe állítását jelenti az architektonikus lényeg szellemi értékeivel szemben. Nem szólva arról, hogy az utolsó oldal egyébként hibás képkimutatása szerint a képek mintegy 50 százaléka nem Kónya felvétele, hanem mások, többször megjelent fotója, éppen az átvett képek minősége jelenti az átlag elfogadhatóbb szintű reprodukciókat, mert az újabb felvételek kevésbé gondos munkáról árulkodnak. Képkivágás, nézőpontok helyes megválasztása, kedvezőbb megvilágítások kivárása, az architektúrát érvényesítő fotószemlélet egyébként jórészt nem — vagy csak kevéssé kielégítően érvényesül a Kónya készítette fényképanyagon, s ez bizony távolról sem emeli a bemutatott anyag hatását és erősen elszürkíti az értékes építészeti művek vizuális élvezetét és megbecsülését.

A kötet szerkesztői munkájával szemben építészeti szempontból tűnik indokoltnak néhány észrevétel. Vonalas ábrái — túlnyomórészt alaprajzok — nem elég szervesen épülnek bele a szöveg közé. Léptékük, mely nincs feltüntetve, nem egységes. (A kőbányai szerény csősztorony alaprajza pl. nagyobb területet foglal el, mint romanticizmusunk legjelentősebb alkotása, a Vigadó.)

E mellett az áttekinthetőség érdekében szívesen láttuk volna az ábrák sorszámán túl azok tárgymegjelölését, az alkotó építész nevének feltüntetését, léptékközlését, évszámmegadását, esetleg az Észak bejelöléseivel a mű orientáltságának közlését is.

Az itt igényelt adatkiegészítéseket talán sokan megkérdőjelezik, de ha festők, szobrászok alkotásait általában nem csak ábraszámmal szokták közölni, úgy véleményem szerint az építészeti művek is számot tarthatnak a szabatosabb megjelölésre.

Nem hiszem, hogy az alkotó építészek nevének mutatója ne lett volna a könyv keretei közé beilleszthető, hogy fényképészekkel szemben hátrányos helyzetbe ne jussanak. Az olvasó könnyebb tájékoztatását a javaslatok minden bizonnyal kedvezőbben szolgálnák.

Dr. Rados Jenő

INHALT

Dr. Halász, Ottó: Dr. Kézdi, Árpád 3
Dr. Jándy, Géza: Bewertungsmöglichkeiten in der Vorbereitung gesellschaftlich-technischer Eingriffe und in systemtechnischen Problemlösungen 5
Dr. Kaliszky, Sándor—Duong Van Thu: Näherungsrechnung mit stoßartiger Last belasteter Stabwerke aus elastisch-plastischem Material 25
Dr. Kollár, Lajos: Abstützwirkung der Plane auf die Seitenstabilität der Bögen auf eine Bogenreihe gespannter Zelte 39
Dr. Kollár, Lajos: Kontinuumgleichungen von Lattengerüstschalen 55
Dr. Kollár, Lajos—Dr. Bódi, István: Seitenstabilität gegen seitliche Verschiebung und Verdrehung elastisch abgestützter Bögen 63
Dr. Roller, Béla: Arbeitssätze und Variationssätze viskoelastischer Stabwerke .. 73
Dr. Szabó-Vásárhelyi, Anna: Optimale Projektierung von Großplattenkonstruktionen im Falle stochastischer Lasten 81
Dr. Szabó-Vásárhelyi, Anna: Optimale Projektierung von Großplattenkonstruktionen im Falle von Materialkonstanten mit Zufallsgrößen 87
Dr. Szalai, József: Bestimmung bei der Herstellung geklebter Sperrholz-Bogenträger auftretender Eigenspannungen und Formänderungen und Bemessungsprobleme der Träger 93
Vámos, Ferenc: Beiträge zu dem Leben und der Tätigkeit Frigyes Feszls (II. Teil) 109
Komarik, Dénes: Die Architektur der „Rundbogenromantik" in Ungarn 139
Dr. Bibó, István: Baugeschichte des ehemaligen Károlyi-Palastes (Budapest, V. Károlyi Mihály-Gasse 16) 195

Rundschau

Keszthely, Marktflecken und Grenzfestung. Daten zu der Geschichte der Siedlung *(Eszes, László)* 249

Bücherschau

R. Szilárd: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik *(Dr. Kaliszky, Sándor)* 295
Anna Zádor: Die Architektur des Klassizismus und der Romantik in Ungarn *(Dr. Rados, Jenő)* 296

СОДЕРЖАНИЕ

Д-р Отто Халас: Д-р Арпад Кезди 3
Д-р Геза Янди: Возможности оценки в подготовке общественно-технических мероприятий и решениях проблем системной техники 5
Д-р Шандор Калиски—Дуонг Ван Тху: Приближенный расчет стержневых систем из упруго-пластического материала, нагруженных ударной нагрузкой..... 25
Д-р Лайош Коллар: Подкрепляющее действие брезента на боковую устойчивость арок натяженных на арочный ряд палаток 39
Д-р Лайош Коллар: Уравнения континуума ребристо-сетчатых оболочек..... 55
Д-р Лайош Коллар—Д-р Иштван Боди: Боковая устойчивость арок, упруго подкрепленных против боковых сдвигов и поворотов 63
Д-р Бела Роллер: Рабочие и вариационные теоремы вязкоупругих стержневых систем 73
Д-р Анна Вашархейи-Сабо: Оптимальное проектирование панельных конструкций при случайных нагрузках..... 81
Д-р Анна Вашархейи-Сабо: Оптимальное проектирование панельных конструкций при константах материала со случайными величинами..... 87
Д-р Йожеф Салаи: Определение собственных напряжений и деформации клееных арочных деревянных балок при их производстве; проблемы расчета балок..... 93
Ференц Вамоши: Данные к жизни и творчестве Фридеша Фесл (часть II)..... 109
Денеш Комарик: Архитектура «полуциркульного» романтического стиля в Венгрии 139
Д-р Иштван Бибо: История строительства бывшего дворца Каройи (Будапешт, р-н 5, ул. Каройи Михай 16) 195

Обзор

Кастхей — сельский городок и пограничная крепость. Данные к истории поселения *(Ласло Эсеш)* 249

Обзор книг

R. Szilard: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik *(Д-р Шандор Калиски)* 295
Анна Задор: Архитектура классицизма и романтики в Венгрии *(Д-р Йенё Радош)* 296

SOMMAIRE

Dr. Halász, Ottó: Dr. Kézdi, Árpád 3
Dr. Jándy, Géza: Possibilités d'évaluation dans la préparation d'une intervention sociale-économique et dans la solution des problèmes de technique du système .. 5
Dr. Kaliszky, Sándor—Duong Van Thu: Calcul approché des constructions en barres en matériaux élastoplastiques, soumises à des contraintes par chocs 25
Dr. Kollár, Lajos: L'effet d'étaiement de la bâche sur la stabilité latérale des arcs des tentes, tendues sur des arcs continus 39
Dr. Kollár, Lajos: Équations du continu des coques en lattis 55
Dr. Kollár, Lajos—Dr. Bódi, István: Stabilité latérale des arcs élastiquement étayés contre déplacement et torsion latéraux 63
Dr. Roller, Béla: Théorèmes de travail et de variation des constructions en barres viscoélastiques 73
Dr. Szabó-Vásárhelyi, Anna: Conception optimale des constructions en grands panneaux préfabriqués, soumises à des charges stochastiques 81
Dr. Szabó-Vásárhelyi, Anna: Conception optimale des construction en grands panneaux préfabriqués, en cas de constantes de matériau à variables aléatoires 87
Dr. Szalai, József: Détermination des tensions internes et des déformations, se présentant au cours de la fabrication des poutres en arc en contre-plaqué collé, et les problèmes de dimensionnement des poutres 93
Vámos, Ferenc: Données de la vie et de l'activité de Frigyes Feszl (2e partie) ... 109
Komárik, Dénes: L'architecture du romantisme „plein cintre" en Hongrie 139
Dr. Bibó, István: Histoire de la construction de l'ancien palais Károlyi (Budapest Ve, 16 rue Károlyi Mihály) 195

Revue

Keszthely, bourgade et place forte des confins. Données de l'histoire du site *(Eszes, László)* 249

Revue des livres

R. Szilárd: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik *(Dr. Kaliszky, Sándor)* 295
Anna Zádor: L'architecture du classicisme et du romantisme en Hongrie *(Dr. Rados, Jenő)* 296

CONTENTS

Dr. Ottó Halász: Dr. Árpád Kézdi 3
Dr. Géza Jándy: Possibilities of Evaluating Preparations to Socio-Technical Interventions and of Systems-Approach Problem Solutions 5
Dr. Sándor Kaliszky—Duong Van Thu: Approximate Analysis of Elasto-Plastic Frames Subjected to Pulse Loading 25
Dr. Lajos Kollár: Bracing Effect of the Tent Canvas Stretched on a Set of Arches on the Sidesway of Arches 39
Dr. Lajos Kollár: Continuum Equations of Lattice Shells 55
Dr. Lajos Kollár—Dr. István Bódi: Lateral Stability of Arches Elastically Supported against Sidesway and Rotation 63
Dr. Béla Roller: Work Theorems and Variational Theorems of Visco-Elastic Bar Systems 73
Dr. Anna Vásárhelyi-Szabó: Optimum Design of Panel Structures for Stochastic Loads 81
Dr. Anna Vásárhelyi-Szabó: Optimum Design of Panel Structures with Random-Variable Material Constants 87
Dr. József Szalai: Determination of Inherent Stresses and Strains Arising during Manufacture in, and Design Problems of, Laminated Timber Arched Beams ... 93
Ferenc Vámos: Glosses on the Life and Activity of Frigyes Feszl (Part II) 109
Dénes Komárik: Architecture of "Romanesque" Romanticism in Hungary 139
Dr. István Bibó: Construction History of the former Károlyi Palace (16, Károlyi Mihály street, Budapest V) 195

Review

Keszthely Borough and Border Fortress. Data on the Settlement History *(László Eszes)* 249

Book Review

R. Szilárd: Finite Berechnungsmethoden der Strukturmechanik *(Dr. Sándor Kaliszky)* 295
Anna Zádor: Classicist and Romanticist Architecture in Hungary *(Dr. Jenő Rados)* 296

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója Műszaki szerkesztő: Sándor István
A kézirat nyomdába érkezett: 1983. V. 4. – Terjedelem: 26.25 (A/5) ív

84.12059 Akadémiai Kiadó és Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Hazai György

Ára: 70 Ft
Évi előfizetés: 140 Ft

ISSN 0013—9661

INDEX: 26.213

ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

XVI. KÖTET
3–4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1984

ÉPÍTÉS-
ÉPÍTÉSZETTUDOMÁNY

SZERKESZTŐ BIZOTTSÁG:

DR. KALISZKY SÁNDOR, DR. KÉZDY ÁRPÁD, DR. MAJOR MÁTÉ,
DR. PERÉNYI IMRE

TECHNIKAI SZERKESZTŐK:

HORVÁTH TIBORNÉ ÉS DR. VÁMOSSY FERENC

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

A kiadvány előfizethető vagy példányonként megvásárolható:

az AKADÉMIAI KIADÓnál, 1363 Budapest, Alkotmány utca 21.
Telefon: 111-010. Pénzforgalmi jelzőszámunk: 215—11 488.

az AKADÉMIAI KÖNYVESBOLTban
1368 Budapest, Váci u. 22. Telefon: 185-680.

Előfizetési díj egy évre: 140 Ft.

Külföldön terjeszti a
KULTÚRA KÜLKERESKEDELMI VÁLLALAT
1389 Budapest, Fő utca 32. Telefon: 429-760
Pénzforgalmi jelzőszám: 218—10 990.

ÉPÍTÉS- ÉPÍTÉSZET- TUDOMÁNY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI: MAJOR MÁTÉ

XVI. KÖTET
3—4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ, BUDAPEST 1984

TARTALOM

Dr. Kaliszky Sándor: Dinamikusan terhelt szerkezetek viselkedése képlékeny állapotban 305
Dr. Csonka Pál: Szabadon felfekvő, szabályos háromszög alakú lemez háromszorosan szimmetrikus teherrel 343
Dr. Dulácska Endre: A héjak stabilitásvizsgálatához alkalmazandó biztonsági tényező 351
Dr. Gáspár Zsolt: Tökéletlenségérzékenység közelfekvő kritikus pontok esetén 367
Dr. Györgyi József—Lovas Antal: Falszerkezetek önrezgésszámának számítása tárcsa- és panelelemmel kitöltött keretmodell alapján 385
Kurutzné dr. Kovács Márta: A szubdifferenciális anyagtörvény elemzése egytengelyű feszültség- és alakváltozásállapotban 409
Dr. Tarnai Tibor: A szerkezeti stabilitáselmélet Dunkerley-típusú tételei és formulái 427
Vladimir Šlapeta: A modern építészet Brnóban 469

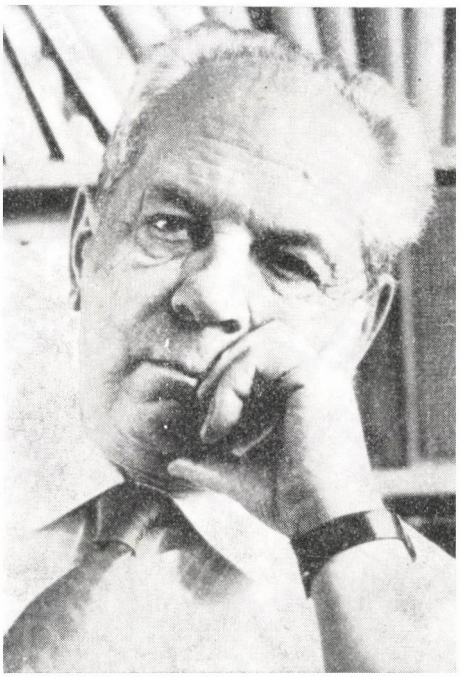
Preisich Gábor köszöntése

Preisich Gábor 75 éves *(Major Máté)* 513
Preisich Gábor életrajza és munkássága *(dr. Preisich Katalin)* 514

Könyvszemle

Dr. Zádor Mihály: Műemlékek konzerválásának új módszerei *(Dr. Horler Miklós)* ... 529

MAJOR MÁTÉ KÖSZÖNTÉSE



Major Máté akadémikus, aki 1957 óta irányítja az Építés-Építészettudomány, illetve jogelődje, az Építés- és Közlekedéstudományi Közlemények szerkesztését, ez év augusztus 3-án töltötte be életének nyolcadik évtizedét.

Nyolcvanadik születésnapja alkalmából tisztelettel köszöntik mindazok, akik e folyóirat megjelentetésének munkájában részt vesznek.

Szerkesztő Bizottság
és
Szerkesztőség

Akadémiai Kiadó
és
Nyomda

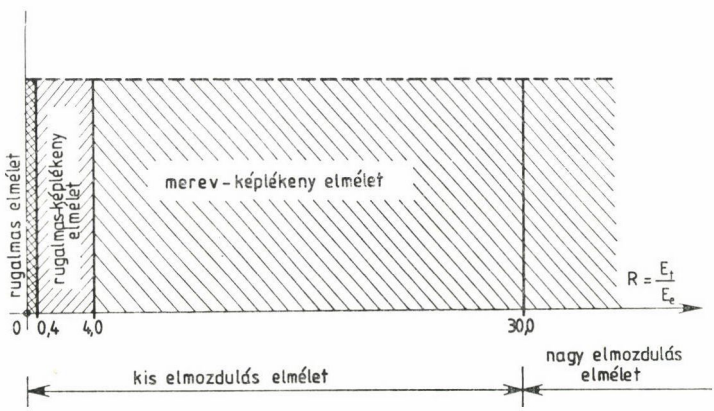
DR. KALISZKY SÁNDOR, a műszaki tudomány doktora

DINAMIKUSAN TERHELT SZERKEZETEK VISELKEDÉSE KÉPLÉKENY ÁLLAPOTBAN

1. BEVEZETÉS

A rövid ideig működő, nagy intenzitású dinamikus teher a szerkezetekben képlékeny hullámokat okoz és egyidejűleg a teljes szerkezet mozgását is előidézi. A mérnöki gyakorlatban ezt a két különböző jelenséget egymástól függetlenül szokás tárgyalni, mivel időtartamuk általában több nagyságrendben különbözik egymástól.

A teljes szerkezet nemlineáris viselkedésére az alábbi jelenségek gyakorolnak fontos hatást: képlékeny alakváltozások, rugalmas alakváltozások, viszkózus tulajdonságok, keményedés és a nagy alakváltozások. A tanulmányok egy igen jelentős részében merev-képlékeny anyaggal számolnak és az alakváltozásoknak az erőjátékra gyakorolt hatását figyelmen kívül hagyják. Ez az idealizálás jelentős egyszerűsítésekre vezet és mégis általában jó tájékoztatást nyújt a képlékeny szerkezetek dinamikus viselkedéséről. Ennek az egyszerű merev-képlékeny elméletnek a feltevései azonban bizonyos mértékig ellentmondásban állnak egymással. A rugalmas alakváltozások ugyanis csak akkor hanyagolhatók el, ha a külső teher által képviselt energia lényegesen nagyobb, mint a szerkezet rugalmas alakváltozási energia-felvevő képessége. Ekkor azonban az elmozdulások már jelentős mértékűek lehetnek és ezért az erőjátékra gyakorolt hatásuk elhanyagolása nem minden esetben indokolt. Ezért az egyszerű merev-képlékeny elmélet alkalmazási területe korlátozott. Az 1. ábra példaképpen lökésszerű teherrel terhelt kéttámaszú gerendák esetére mutatja be a különböző elméletek, ill. feltevések alkalmazhatóságának területét [26]. Az



1. ábra

ábrán $R = E_t/E_e$, ahol E_t a dinamikus teher által reprezentált teljes energia, E_e pedig a gerenda rugalmas energia-felvevő képessége.

A szerkezeti anyagok jelentős részének szilárdsági viselkedése az időtől nem független. Nagyobb alakváltozás-sebességeknél ez a hatás jelentős lehet, ezért ilyenkor az egyszerű merev-képlékeny elmélet eredményei korrigálásra szorulnak.

Az anyagok keményedésének a tartószerkezetek dinamikai viselkedésére viszonylag kisebb hatása van, ezért legtöbb esetben — a biztonság javára — figyelmen kívül hagyható.

Ennek a dolgozatnak az a célja, hogy áttekintést nyújtson a rövid ideig tartó, nagy intenzitású dinamikus teherrel terhelt szerkezetek képlékeny viselkedésének vizsgálatára vonatkozó fontosabb tételekről és módszerekről. A korlátozott terjedelem miatt a dolgozat a vonatkozó irodalom rendszeres ismertetésével, a periodikus terhelés esetével, a számítógépes eljárásokkal és az ismertetett tételek és módszerek bizonyításával nem foglalkozik.

A dolgozat első része az egyszerű merev-képlékeny elméletre alapuló tételeket és módszereket tárgyalja, a második rész pedig a rugalmas alakváltozások, a viszkozitás és a nagy alakváltozások hatásának figyelembevételével foglalkozik. Az elmélettel párhuzamosan az alkalmazást egy kéttömegű diszkrét rendszer vizsgálata szemlélteti. Ez az egyszerű modell igen jól rávilágít a különböző tételek és módszerek fizikai alapjaira, és lehetővé teszi a különböző úton nyert eredmények összehasonlítását.

2. ÁLTALÁNOS ÖSSZEFÜGGÉSEK

2.1. *A feladat leírása*

A továbbiakban egy- és kétdimenziós szerkezeteket (rúd-, lemez- és héjszerkezeteket) fogunk vizsgálni és az alábbi jelöléseket fogjuk alkalmazni:

x_i; t:	hely- és időváltozó ($i = 1, 2, 3$),
$m(x_i)$:	az egységnyi hosszra, ill. felületre jutó tömeg,
$u_i(x_j,t)$:	eltolódásmező,
$q_j(x_i,t)$; $Q_j(x_i,t)$:	általánosított alakváltozás- és feszültségmező ($j = 1, 2, \ldots, n$),
$T_i(x_j,t)$:	dinamikus teher,
$p(t)$; $T_i^0(x_j)$:	teherparaméter és terheloszlás-függvény,
$v_i^0(x_j)$:	kezdeti sebességmező;
$f(Q_j,x_i)$:	folyási függvény,
p_k; p_c:	kinematikailag lehetséges teherintenzitás és törőteher intenzitás,
p_0; t_0:	a lökésszerű teher csúcsértéke és időtartama,
t_f:	a szerkezet mozgásának időtartama,
$(\dot{})$:	idő szerinti deriválás jele.

A feladat az alábbiak szerint fogalmazható meg: A szerkezet teljes S felületének S_T-vel jelölt részén a $T_i(x_j, t)$ dinamikus teher van megadva vagy a $v_i^0(x_j)$ kezdeti sebességek vannak előírva, a megmaradó $S_u = S - S_T$ szakaszon pedig feltételezzük, hogy az $\dot{u}_i(x_j, t)$ sebességek a teljes $0 < t < t_f$ inter-

vallumban zérussal egyenlőek. Végül az $u_i(x_j, 0)$ kezdeti elmozdulásokat a teljes S tartományon zérusnak tekintjük és a tartó súlyát, mint terhelést figyelmen kívül hagyjuk. A vizsgálatnak az az elsődleges célja, hogy meghatározzuk a szerkezet mozgásának t_f időtartamát és az $u_i^f(x_j) = u_i(x_j, t_f)$ végső maradó elmozdulásokat. Ezen kívül bizonyos esetekben az $u_i(x_j, t)$, $\dot{u}_i(x_j, t)$, $q_j(x_i, t)$, $\dot{q}_j(x_i, t)$ és $Q_j(x_i, t)$ függvények pontos vagy közelítő meghatározására is lehetőség nyílik. A dinamikus teher általában kétféleképpen vehető számításba.

Lökésszerű terhelés esetében a teherfüggvényt egyparaméteres formában,

$$T_i(x_j, t) = p(t)\, T_i^0(x_j) \tag{1}$$

alakban szokás megadni. A $p(t)$ függvény a legegyszerűbb módon

$$\begin{aligned} &p = p_0, \text{ ha } 0 \leq t \leq t_0 \\ &p \equiv 0, \text{ ha } t > t_0 \end{aligned} \tag{2}$$

formában definiálható („négyzetes" terhelés).

Impulzív terhelés akkor alkalmazható, ha a lökés t_0 időtartama sokkal kisebb a t_f mozgási időnél. Ekkor a $t_0 \to 0$ határátmenetet elvégezve és bevezetve a lökésszerű teher

$$I_0 = \int_0^{t_0} p(t)\, dt \tag{3}$$

impulzusát, az (1) alatti teherfüggvény egy deltafüggvénnyel helyettesíthető:

$$T_i(x_j, t) = T_i^0(x_j)\, I_0\ \delta(t),$$

ahol $\delta(t)$ a Dirac delta egységfüggvény. Ilyen módon a feladat megoldása egy olyan *terheletlen* szerkezet vizsgálatára vezethető vissza, amelyre az alábbi kezdeti feltételek vannak előírva:

$$\begin{aligned} &T_i(x_j,\ t) = 0 && S_T\text{-n} \\ &u_i(x_j,\ t) = 0 && S\text{-en} \\ &\dot{u}_i(x_j,\ 0) = v_i^0(x_j) = \frac{T_i^0(x_j)}{m(x_i)} I_0 && S_T\text{-n}. \end{aligned} \tag{5}$$

Ez a széles körben alkalmazott közelítés a biztonság javára szolgál, mivel nagyobb elmozdulásokat eredményez, mint az ugyanolyan impulzussal rendelkező lökésszerű terhelés.

2.2. *Néhány fontosabb tétel*

Bármelyik *kinematikailag lehetséges* $\dot{u}_i^k$ sebesség- és $\dot{q}_j^k$ alakváltozás-sebességmező, valamint *dinamikailag lehetséges* Q_j^d feszültség- és $\ddot{u}_i^d$ gyorsulásmező esetére a *virtuális sebességek tétele* az alábbi alakban fejezhető ki:

$$\int_{S_T} T_i\, \dot{u}_i^k\, dS - \int_S m \ddot{u}_i^d\, \dot{u}_i^k\, dS = \int_S Q_j^d\, \dot{q}_j^k\, dS \tag{6}$$

Az *egyszerű merev-képlékeny elméletben* feltételezzük, hogy a szerkezet anyaga merev-tökéletesen képlékeny, tulajdonságai az alakváltozásoktól, az alakváltozások sebességétől és a hőmérséklettől függetlenek és az alakváltozásoknak a szerkezet erőjátékára való visszahatása is elhanyagolható. Ekkor az $f(Q_j, x_i)$ konvex folyási függvény alkalmazása esetén az anyagegyenlet

$$\dot{q}_j = \dot{\lambda} \frac{\partial f}{\partial Q_j} \tag{7}$$

alakú, melyben $\dot{\lambda}(x_i, t) \geq 0$ a képlékeny alakváltozások paramétere. Az $f(Q_j, x_i)$ függvény konvexitása következtében a fajlagos energiadisszipálási függvény egyértelműen kifejezhető az alakváltozás-sebességek függvényében:

$$D = Q_j \dot{q}_j = D(\dot{q}_j). \tag{8}$$

Ugyanakkor fennáll a

$$Q_j = \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_j} \tag{9}$$

összefüggés.

Végül az (1) képlettel definiált egyparaméteres terhelés esetén — ha a teher kvázistatikus feltételek mellett működik — a kinematikailag lehetséges teherparaméter az alábbi módon határozható meg:

$$p_k = \frac{\int\limits_S Q_j^k \dot{q}_j^k \, dS}{\int\limits_{S_T} T_i^0 \dot{u}_i^k \, dS}. \tag{10}$$

3. ÁLLAPOTVÁLTOZÁS-VIZSGÁLAT

3.1. *Általános megjegyzések*

A dinamikusan terhelt szerkezetek állapotváltozásvizsgálatának az az alapvető problémája, hogy egy adott t pillanatban az ismert $\dot{u}_i(x_j, t)$ sebességmezőből meg kell határozni a kérdéses időpillanathoz tartozó $\ddot{u}_i(x_j, t)$ gyorsulásmezőt. Ha ugyanis ezt a problémát meg tudjuk oldani, akkor egymást követő időpillanatokat szemlélve a hozzájuk tartozó sebességmezők a megelőző időpillanatokhoz tartozó sebesség- és gyorsulásmezőkből kiszámíthatók és így lépésről lépésre haladva a dinamikai feladat teljes megoldása meghatározható.

Merev-képlékeny anyagú szerkezetek állapotváltozásvizsgálatánál az okoz problémát, hogy az $\ddot{u}_i(x_j, t)$ gyorsulásmezőben az idő függvényében diszkontinuitás léphet fel. Ezen kívül a merev szakaszokon, ahol $q_j = 0$, de a vizsgált t időpillanatban képlékeny alakváltozások kezdődnek, a feszültségek a (9) összefüggésből nem határozhatók meg. Az alábbiakban két olyan tételt ismertetünk, amelyek segítségével ezek a problémák megoldhatók, és így az állapotváltozás-vizsgálat elvégezhető.

3.2. *Kinematikai tétel*

Tételezzük fel, hogy egy merev-tökéletesen képlékeny szerkezet u_i, $\dot{u}_i$ és $\dot{q}_j$ állapotjellemzői a t időpillanatban ismertek és vegyünk szemügyre olyan, a $t_1 \geq t$ időtartamra érvényes, kinematikailag lehetséges $\dot{u}_i^k(x_j, t)$ sebességmezőket, amelyek kielégítik az $\dot{u}_i^k = \dot{u}_i$ feltételt a t időpillanatban. Az $\dot{u}_i^k$ függvényekből a $\dot{q}_j^k$, $\ddot{q}_j^k$ és $\ddot{u}_i^k$ sebesség- és gyorsulásfüggvények is meghatározhatók. Ekkor *Tamuzs tétele*, amely a *Gauss*tól származó legkisebb ellenállás tételének a merev-képlékeny testekre való kiterjesztése, kimondja, hogy az

$$J(\ddot{u}_i^k) = \frac{1}{2}\int_S m\ddot{u}_i^k\,\ddot{u}_i^k\,dS - \int_{S_T} T_i\,\ddot{u}_i^k\,dS + \int_{S_1} Q_j^k\,\ddot{q}_j^k\,dS + \int_{S_2} Q_j^*\,\ddot{q}_j\,dS \qquad (11)$$

funkcionál minimális értéket vesz fel, ha abban $\ddot{u}_i^k$ azonos a t időpillanathoz tartozó $\ddot{u}_i$ *tényleges* gyorsulásmezővel [24]. A (11) funkcionálban S_1 azt a tartományt jelöli, ahol a vizsgált t időpillanatban $\dot{q}_j = q_j^k \neq 0$ és a $D(\dot{q}_j^k)$ függvénynek folytonos deriváltja van, S_2 pedig az a tartomány, ahol a t időpillanatban $\dot{q}_j = \dot{q}_j^k = 0$ vagy $\dot{q}_j = q_j^k \neq 0$, de a $D(\dot{q}_j^k)$ függvény deriváltja nem folytonos. Az S_1 tartományban Q_j^k-t a (9) képlet szabja meg, míg az S_2 tartományban Q_j^* ugyancsak a (9) képletből nyerhető, mintha $\ddot{q}_j^k$ alakváltozás-sebesség lenne.

Capurso bemutatta, hogy lineáris ill. linearizált folyási függvények alkalmazása esetén *Tamuzs* tételeinek alkalmazása kvadratikus programozási feladatra vezethető vissza [1].

3.3. *Dinamikai tétel*

Vizsgáljuk ismét az előzőekben tárgyalt feladatot és vegyük szemügyre az $\ddot{u}_j^d(x_i, t)$, $Q_j^d(x_i, t)$ dinamikailag lehetséges gyorsulás- és feszültségmezőt, amelyek a $t_1 \geq t$ időtartamra érvényesek és mindenütt kielégítik a képlékenységi feltételt. Ekkor a *Martin* által bizonyított tétel szerint az

$$J(\ddot{u}_i^d) = \int m\ddot{u}_i^d\,\dot{u}_i\,dS \qquad (12)$$

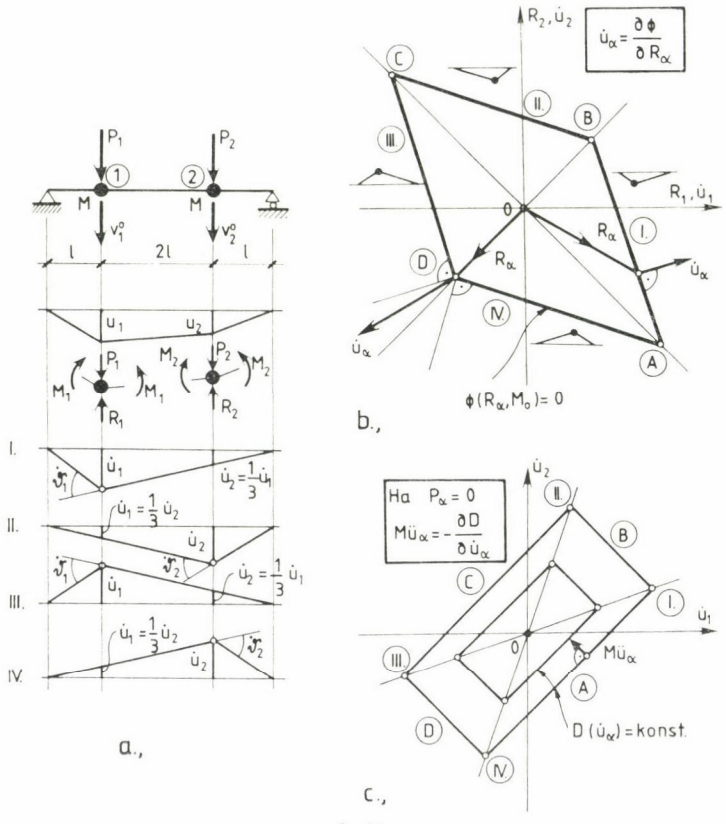
funkcionál minimális értéket vesz fel, ha $\ddot{u}_i^d$ azonos a szerkezet $\ddot{u}_i$ *tényleges* gyorsulásmezőjével.

3.4. *Egyszerű dinamikai modell*

A továbbiakban az egyszerű merev-képlékeny elmélet alapelveit és módszereit egy egyszerű kétszabadságfokú modell segítségével fogjuk szemléltetni [6—10]. A modell egy kéttámaszú, merev-tökéletesen képlékeny, tömeg nélküli gerenda, melynek M_0 képlékeny nyomatéka állandó (2. ábra). Az $\alpha = 1, 2$ pontokban a gerendára két egyenlő nagy M tömeg van ráerősítve. A modell mechanikai állapotát az u_α elmozdulás, $\dot{u}_\alpha$ sebesség, $\ddot{u}_\alpha$ gyorsulás, v_α^0 kezdeti sebesség, P_α külső teher, a tömegek helyén ébredő M_α nyomaték, az itt kialakuló képlékeny csuklók $\dot{\theta}_\alpha$ elfordulása és a gerendáról a tömegekre működő nyíróerők R_α eredője jellemzi ($\alpha = 1, 2$).

Vizsgáljuk először a kvázistatikus feladatot. Ekkor $\ddot{u}_\alpha = 0$ és így $R_\alpha = P_\alpha$. Felírva a virtuális sebességek tételét, a 2. ábra I—IV. folyási mechanizmusára az alábbi egyensúlyi egyenleteket kapjuk:

$$\mathbf{\Phi} = \mathbf{N}R_\alpha - \mathbf{k} = \mathbf{0}, \quad (\alpha = 1, 2) \qquad (13)$$



2. ábra

ahol

$$\mathbf{N} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & 1 \\ -1 & -\frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} & -1 \end{bmatrix}, \qquad \mathbf{k} = \frac{4M_0}{3l} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{14}$$

Ezek az egyenletek annak a feltételét fejezik ki, amelynek teljesülésekor a kvázistatikus egyensúly még biztosítható, ezért a $\mathbf{\Phi}(R_\alpha, M_0) \leq \mathbf{0}$ feltételt a modell képlékenységi feltételének tekinthetjük. A $\mathbf{\Phi}(R_\alpha, M_0) = 0$ egyenlőséget az R_1, R_2 koordinátarendszerben az I—IV. folyási mechanizmusoknak meg-

felelő egyenesek ábrázolják, melyek egy zárt tartományt határolnak (2/b. ábra). A határvonalra érvényes az

$$\dot{u}_\alpha = \dot{\Lambda} \frac{\partial \Phi}{\partial R_\alpha} = \dot{\Lambda} \mathbf{N} \tag{15}$$

normalitási törvény, ahol $\dot{\Lambda} \geq 0$ skalár szorzót jelöl. Eszerint a határvonal külső normálisa bármely pontban megadja az $\dot{u}_\alpha$ vektor irányát. A sarokpontokban $\dot{u}_\alpha$ a szomszédos egyenesek normálisai közé esik.

Ha a modellre olyan P_α teher működik, amelynek vektora nem éri el a határgörbét, akkor a modell nyugalomban marad, ellenkező esetben viszont mozgásba jön. A mozgást az alábbi dinamikai egyenlet írja le:

$$P_\alpha - R_\alpha = M \ddot{u}_\alpha. \quad (\alpha = 1, 2) \tag{16}$$

A modell által a mozgás közben elnyelt energia sebessége

$$D = M_0 [\, | \dot{\theta}_1 | + | \dot{\theta}_2 | \,].$$

Mivel $\dot{\theta}_\alpha$ és $\dot{u}_\alpha$ között fennáll a

$$\dot{\theta}_\alpha = \mathbf{G} \dot{u}_\alpha, \qquad \mathbf{G} = \frac{1}{2l} \begin{bmatrix} 3 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}$$

geometriai összefüggés, ennek felhasználásával az *energiadisszipációs függvény*

$$D = \frac{M_0}{2l} [\, | 3\dot{u}_1 - \dot{u}_2 | + | 3\dot{u}_2 - \dot{u}_1 | \,] \tag{17}$$

alakban is kifejezhető. Ha $P_\alpha = \text{konst}$, a $D(\dot{u}_\alpha) = \text{konst}$ eseteket az $\dot{u}_1$, $\dot{u}_2$ koordinátarendszerben téglalapokat alkotó egyenesek ábrázolják (2/c. ábra). A téglalapok sarokpontjai a 2/d. ábra I—IV. folyási mechanizmusainak, azaz a 2/b. ábra oldalainak, oldalai pedig e mechanizmusok lineáris kombinációinak, azaz a 2/b. ábra sarokpontjainak felelnek meg. A (9) képlet szerint

$$R_\alpha = \frac{\partial D}{\partial \dot{u}_\alpha},$$

amibe (16)-ot behelyettesítve

$$M \ddot{u}_\alpha = - \frac{\partial}{\partial \dot{u}_\alpha} [D - P_\alpha \dot{u}_\alpha] \tag{18}$$

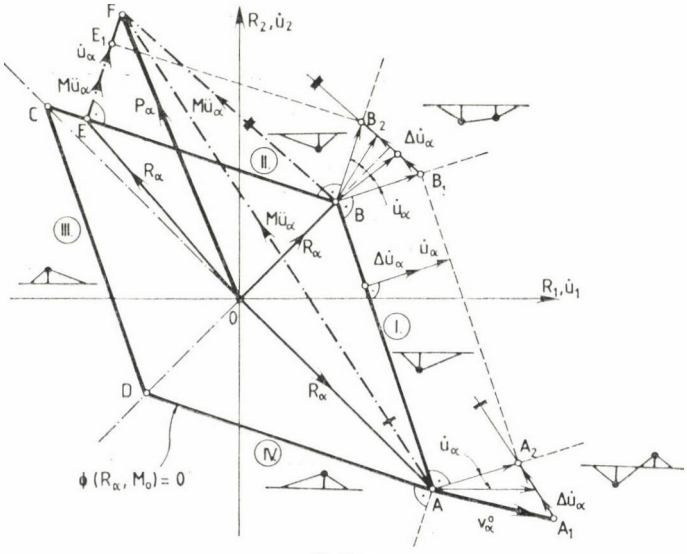
összefüggésre jutunk. Eszerint a gyorsulásvektor a zárójelben levő függvény gradiense.

Impulzív terhelés esetén, azaz ha $P_\alpha = 0$, a (18) összefüggés

$$M \ddot{u}_\alpha = - \frac{\partial D}{\partial \dot{u}_\alpha}$$

alakot ölt. Eszerint ebben az esetben a gyorsulásvektor a $D(\dot{u}_\alpha) = \text{konst}$ szintvonalak belső normálisának irányába mutat.

Vizsgáljuk a továbbiakban azt az esetet, amikor a gerenda v_α^0 kezdeti sebességgel indul mozgásnak és ezen kívül még $P_\alpha = \text{konst}$ erők is terhelik, és kövessük a mozgás lefolyását az R_1, R_2 illetőleg az azzal koaxiális $\dot{u}_1$, $\dot{u}_2$ koordinátarendszerben (3. ábra). Ábrázoljuk a P_α vektort és keressük meg a $\Phi(R_\alpha, M_0) = 0$ határgörbének azt a pontját, amelynek külső normálisával a v_α^0 vektor egybeesik. Legyen ez a pont az A sarokpont, amely így a (16) egyenletnek megfelelően az OAF háromszög révén meghatározza a $t = 0$ időpillanathoz tartozó R_α belső erőt és $\ddot{u}_\alpha$ gyorsulást. Ezt követően a $\Delta\dot{u}_\alpha$ sebességváltozás-vektoroknak párhuzamosaknak kell lenniük az $M\ddot{u}_\alpha$ vektorral, mivel $\Delta\dot{u}_\alpha = \ddot{u}_\alpha \Delta t$.



3. ábra

Ez azonban csak addig lehetséges, ameddig $\dot{u}_\alpha$ eléri az AA_2 irányt. Ezután a gerenda állapotában ugrásszerű változás következik be, mivel olyan állapotok, amelyek a határgörbe A és B sarokpontok között fekvő pontjainak felelnek meg, fizikailag nem lehetségesek. Ezekben a pontokban ugyanis $\dot{u}_\alpha$ és így $\Delta\dot{u}_\alpha = \ddot{u}_\alpha \Delta t$ is merőleges az AB egyenesre, és ezért $\Delta\dot{u}_\alpha$ nem lehet párhuzamos a megfelelő ponthoz tartozó $M\ddot{u}_\alpha$ vektorral. Amikor tehát $\dot{u}_\alpha$ eléri az AA_2 irányt R_α OA-ból OB helyzetbe, $M\ddot{u}_\alpha$ pedig AF-ből BF helyzetbe ugrik. Ezután R_α és $M\ddot{u}_\alpha$ ebben a helyzetben marad, $\dot{u}_\alpha$ pedig a BB_1 helyzetből a BB_2 helyzetbe fordul el, miközben $\Delta\dot{u}_\alpha = \ddot{u}_\alpha \Delta t$ növekményei párhuzamosak a BF iránnyal. Ezt követően a modell állapotát jellemző pont ismét „átugrik" B-ből az E pontba. Az E pontban az $\dot{u}_\alpha$ és az $\ddot{u}_\alpha$ vektorok egybeesnek és így $\dot{u}_\alpha = \psi\, \ddot{u}_\alpha$, ahol ψ az idő függvénye. Ezután már a mozgás teljes időtartama alatt $\ddot{u}_\alpha$ állandó marad és $\dot{u}_\alpha$ is csak a nagyságát változtatja. Kialakul tehát egy *stacionárius mozgás*, amelynek során a sebességmező *alakja* nem változik.

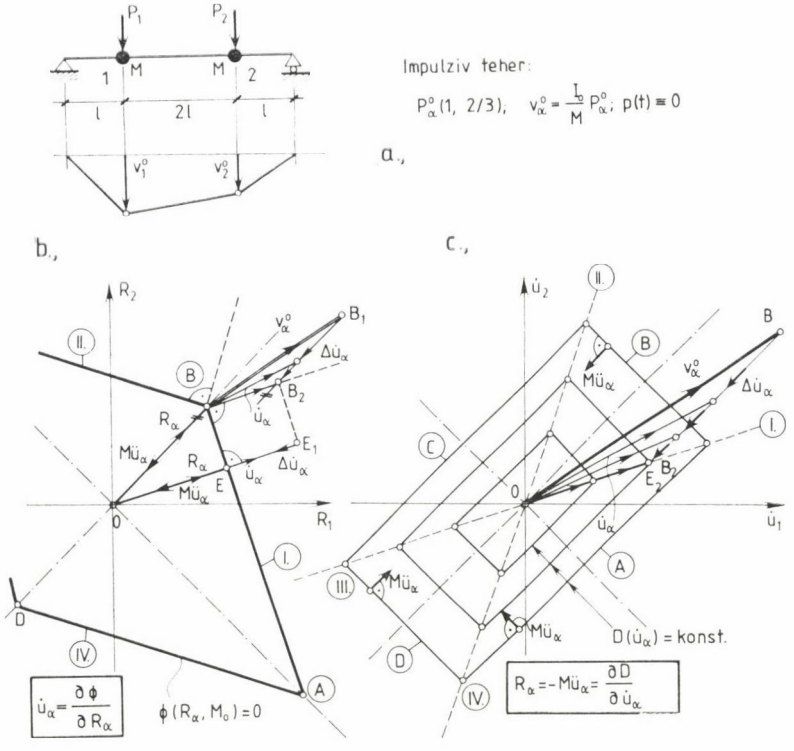
A példa alapján két általános érvényű megállapítás tehető:

— a merev-képlékeny szerkezetek gyorsulásmezőjében az idő függvényében diszkontinuitás léphet fel,

— ha a külső teher állandó nagyságú, akkor a szerkezet mozgása egy stacionárius állapot felé tart, amely a szerkezet valamelyik *saját alakjának* felel meg.

Vizsgáljuk most az *impulzív terhelés* esetét, amikor a $P_\alpha = P_\alpha^0 p(t)$ külső terhelést a $v_\alpha^0 = \frac{I_0}{M} P_\alpha^0$ kezdeti sebességgel helyettesítjük (4/a. ábra). Felvéve a $P_1^0 = 1$, $P_2^0 = \frac{2}{3}$ numerikus értékeket a v_α^0 vektor, mint külső normális, a $\Phi(R_\alpha, M_0) = 0$ határgörbe B sarokpontjához illeszthető (4/b. ábra). A mozgás első időszakában az $\dot{u}_\alpha$ sebességvektor a B pont körül forog, amíg a BB_2 irányt el nem éri. Ekkor az R_α és $M\ddot{u}_\alpha$ vektorok OB-ből OE helyzetbe „ugranak". Ezután az E pontban $\dot{u}_\alpha$ és $\ddot{u}_\alpha$ egy egyenesbe esnek és így egy stacionárius mozgás alakul ki. A továbbiak során a sebességmező alakja egészen a mozgás megszűntéig változatlan marad.

Az $\dot{u}_1, \dot{u}_2$ koordinátarendszerben a $D(\dot{u}_\alpha) = \text{konst}$ energiaszinteket téglalapokat alkotó egyenesek ábrázolják, amelyekre a $\Delta\dot{u}_\alpha = \ddot{u}_\alpha \Delta t$ sebességnövekmények merőlegesek (4/c. ábra). A sebesség csökkenése miatt egyre alacsonyabb energiaszint felé haladva az $\dot{u}_\alpha$ sebességvektor végpontja eljut a B_2 sarokpontba. Ezt követően $\Delta\dot{u}_\alpha$ egybeesik $\dot{u}_\alpha$ irányával, így a továbbiakban az $\dot{u}_\alpha$ sebességvektornak már csak a hossza változik, az állása változatlan marad. Kialakul tehát a már említett stacionárius állapot.



4. ábra

A gerenda mozgásának különböző állapotait követve a vizsgált feladat analitikus úton is egyszerűen megoldható. A részleteket mellőzve a mozgásidőre és a két tömeg maradó elmozdulásaira az alábbi eredményeket kapjuk:

$$t_f = 0{,}91667 \frac{I_0 l}{M_0}$$

$$u_{1f} = 0{,}47917 \frac{I_0^2 l}{M M_0} \tag{19}$$

$$u_{2f} = 0{,}2430 \frac{I_0^2 l}{M M_0}$$

4. ALAKKÖZELÍTÉS

4.1. *Alapelvek*

A 3.4. pontban láttuk, hogy egy kezdeti sebességgel elindított merev-képlékeny szerkezet mozgása, ha a külső teher állandó, egy stacionárius állapot felé tart, ami megegyezik a szerkezet egyik saját alakjával. Abban a különleges esetben pedig, ha a szerkezetet impulzív teher terheli, tehát $P_\alpha = 0$, és a kezdeti sebesség eloszlása azonos a szerkezet egyik saját alakjával, a szerkezet kizárólag csak stacionárius mozgást végez. A tárgyalt egyszerű modell eredményeit általánosítva ez a mozgás

$$\dot{u}_i(x_j, t) = \psi(t)\, \ddot{u}_i(x_j)$$

formában írható le, vagy ezzel azonos módon

$$\dot{u}_i(x_j, t) = \dot{W}(t)\, u_i^m(x_j) \tag{20}$$

alakban definiálható. Itt $\psi(t)$ és $\dot{W}(t)$ az idő lineáris függvényei, $\ddot{u}_i(x)_j$ a mozgás állandó nagyságú gyorsulása és $u_i^m(x_j)$ a szerkezet egy *saját alakja*.

A *Martin* és *Symonds* által javasolt alakközelítésnek az a lényege, hogy a lökésszerű teherrel terhelt merev-képlékeny szerkezetek dinamikai vizsgálatát a saját alakoknak megfelelő stacionárius mozgások vizsgálatára vezeti vissza [13]. A megoldás két közelítésen alapszik:

— a lökésszerű terhelést *impulzív teherrel* helyettesíti, amelynek megfelelő $v_i^0(x_j)$ kezdeti sebességeloszlást a (4) képlet alapján határozza meg,

— majd a $v_i^0(x_j)$ kezdeti sebességeloszlást egy olyan egyenértékű sebességeloszlással helyettesíti, amely a szerkezet egy saját alakjának felel meg, és így

$$\dot{u}_i(x_j, 0) = \dot{W}(0)\, u_i^m(x_j) = V_0\, u_i^m(x_j) \tag{21}$$

alakban fejezhető ki.

Ez azt jelenti, hogy az alakközelítés az eredeti feladatot egy másik kezdeti-érték-feladattal helyettesíti és így nem elégíti ki az eredeti kezdeti feltételeket. Előnye a közelítésnek, hogy a módosított kezdeti feltételek bevezetése következtében a szerkezet kizárólag csak a (20) képletnek megfelelő stacionárius

mozgást végez, aminek a megoldása zárt formában megadható. Így csupán az a probléma, hogy kiválasszuk a legmegfelelőbb $u_i^m(x_j)$ sajátalakot és meghatározzuk a (21) képletben szereplő V_0 sebességparaméter nagyságát.

4.2. *A megoldás menete*

Először tételezzük fel, hogy a legmegfelelőbb $u_i^m(x_j)$ sajátalakot már kiválasztottuk és így a következő feladat V_0 meghatározása. V_0-t úgy célszerű megállapítani, hogy a $V_0 u_i^m$ sebességeloszlás az adott v_i^0 kezdeti sebességeloszláshoz a legjobban illeszkedjék és ennek megfelelően az eltérések

$$\Delta_0(V_0) = \frac{1}{2} \int m(v_i^0 - V_0 u_i^m)(v_i^0 - V_0 u_i^m)\, dS \tag{22}$$

négyzetösszege a lehető legkisebb legyen. Ez a feltétel a

$$V_0 = \frac{\int m v_i^0 u_i^m\, dS}{\int m u_i^m u_i^m dS} \tag{23}$$

eredményre vezet és Δ_0 ennek megfelelő minimális értéke pedig

$$\Delta_0^{\min} = \frac{1}{2} \int m v_i^0 v_i^0\, dS - \frac{1}{2} \int V_0 u_i^m V_0 u_i^m\, dS = K^0 - K^m. \tag{24}$$

Ebben K^0, ill. K^m az adott, ill. a helyettesítő kezdeti sebességmezőnek megfelelő kinetikai energiát jelenti. Ez azt jelenti, hogy ezeknek a kinetikai energiáknak a különbsége a mértéke a közelítés pontosságának. Mivel Δ_0 nem lehet negatív, ezért $K^m \leq K^0$. Ez arra enged következtetni, hogy az alakközelítés a maradó elmozdulások összességét illetően alsó korlátra vezet (lásd 4.3. pontot).

Felhasználva V_0 (23) képlettel megadott értékét, a t_f mozgási időre és a maradó elmozdulások $W_f = W(t_f)$ paraméterére az alábbi képletek vezethetők le:

$$t_f = \frac{\int m v_i^0 u_i^m\, dS}{\int Q_j^m q_j^m\, dS} = \frac{I_0}{p_k} \tag{25}$$

$$W_f = \frac{[\int m v_i^0 u_i^m\, dS]^2}{2 \int m u_i^m u_i^m\, dS \int Q_j^m q_j^m\, dS} = \frac{1}{2} K \frac{I_0^2}{p_k}. \tag{26}$$

Ezekben p_k az $u_i^m(x_j)$ elmozdulásmezőhöz és a $T_i^0(x_j)$ alapteherhez tartozó, (10) képlettel meghatározott kinematikailag lehetséges teherintenzitást jelenti és

$$K = \frac{\int T_i^0 u_i^m\, dS}{\int m u_i^m u_i^m dS}. \tag{27}$$

W_f ismeretében a szerkezet maradó alakváltozásai meghatározhatók:

$$u_{if}(x_j) = W_f u_i^m(x_j). \tag{28}$$

4.3. *A saját alak kiválasztása*

A saját alakok a szerkezet kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőinek egy olyan csoportját alkotják, amelyek az állandó külső terhekkel terhelt szerkezet stacionárius mozgásállapotaként jönnek létre. Egy adott állandó teherhez tartozó saját alakot azonban előre nem ismerjük. A legjobb közelítést eredményező saját alak meghatározása céljából az egyszerűség kedvéért olyan szerkezeteket vizsgáljunk, amelyeknél az $u_i(x_j, t)$ elmozdulásvektornak csak egy komponense van, például $u_1(x_j, t)$ és definiáljuk az $u_{1f} = u_1(x_j, t_f)$ *tényleges* maradó elmozdulások négyzetösszegének négyzetgyökét

$$\bar{u}_{1f} = [\int (u_{1f})^2 \, dS]^{1/2}.$$

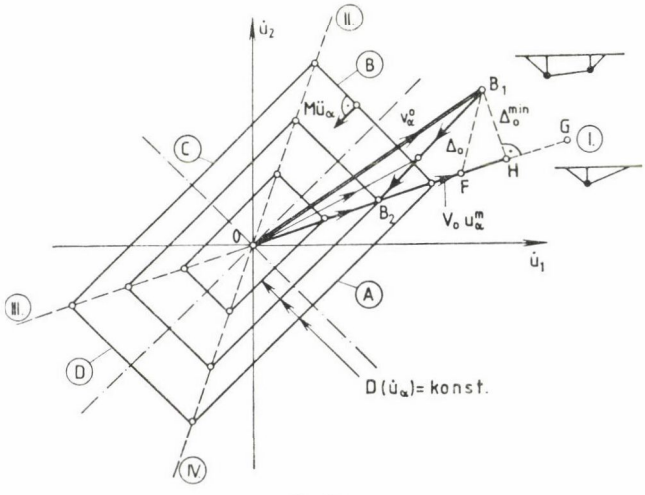
Ugyanakkor a (28) képlet segítségével bármelyik saját alakhoz tartozó maradó elmozdulások négyzetösszegének négyzetgyöke ugyancsak meghatározható:

$$\bar{u}^m_{1f} = [\int (u_{1f})^2 \, dS]^{1/2} = W_f [\int (u^m_1)^2 \, dS]^{1/2}. \tag{29}$$

Ebben W_f-et a (26) képlet szabja meg. Igazolni lehet, hogy bármelyik saját alakhoz tartozó $\bar{u}^m_{1f}$ érték a tényleges maradó alakváltozásokból nyerhető $\bar{u}_{1f}$ érték alsó korlátját adja, azaz $\bar{u}^m_{1f} \leq \bar{u}_{1f}$. Következésképpen az a saját alak tekinthető a legjobb közelítésnek, amely mellett a (29) kifejezés a legnagyobb értéket éri el. Ez a szabály támpontot nyújt a legkedvezőbb saját alak kiválasztásához. Az irodalomban u^m_i felvételére még más tételek is találhatók [23].

4.4. *Példa*

Vegyük szemügyre ismét a 4. ábrán feltüntetett, impulzív teherrel terhelt modellt, melynek kezdeti sebességét a $v^0_\alpha = \dfrac{I_0}{M}(1, 2/3)$ vektor szabja meg. Az 5. ábrán feltüntetett $\dot{u}_1$, $\dot{u}_2$ koordináta-rendszerben az ennek a kezdetiérték-feladatnak megfelelő megoldást a $B_1 - B_2 - O$ vonal szemlélteti. Alkalmazzuk



5. ábra

ezután az alakközelítést és a saját alakot az $O-G$ vonalnak megfelelően vegyük fel, azaz legyen u_α^m (1, 1/3). Ekkor az alakközelítéshez tartozó $V_0 u_\alpha^m$ kezdeti sebességvektor is az $O-G$ egyenes irányába mutat. Ha e vektor végpontja F, akkor az FB_1 távolság Δ_0 (22) képlettel definiált értékének négyzetgyökével egyenlő. Ez akkor lesz minimális értékű, ha a $(v_\alpha^0 - V_0 u_\alpha^m)$ vektor az $O-G$ egyenesre merőleges. Így tehát V_0 legkedvezőbb értékét az OH távolság adja meg. Ennek nagysága a (23) képlet szerint

$$V_0 = \frac{M v_\alpha^0 u_\alpha^m}{M u_\alpha^m u_\alpha^m} = 0{,}91667 \frac{I_0}{M}.$$

A felvett saját alak a 2. ábra I. folyási mechanizmusának felel meg. E mechanizmus képlékeny csuklóinak elfordulásai és nyomatékai adják meg az általánosított alakváltozásokat és feszültségeket:

$$q_\alpha^m\left(\frac{4}{3l}, 0\right), \qquad Q_\alpha^m(M_0, 0).$$

Ezután a (25) és (26) képletekből az alábbi eredmények nyerhetők:

$$l_f = \frac{M v_\alpha^0 u_\alpha^m}{Q_\alpha^m \sigma_\alpha^m} = 0{,}91667 \frac{I_0 l}{M_0} \tag{30}$$

$$u_{1f} = W_f = \frac{[M v_\alpha^0 u_\alpha^m]^2}{2[M u_\alpha^m u_\alpha^m][Q_\alpha^m q_\alpha^m]} = 0{,}50417 \frac{I_0^2 l}{M_0 M} \tag{31}$$

$$u_{2f} = \frac{1}{3} W_f = 0{,}1680 \frac{I_0^2 l}{M_0 M}. \tag{32}$$

Összehasonlítva ezeket a pontos megoldás (19) alatt megadott eredményeivel megállapíthatjuk, hogy az alakközelítés ebben a példában a mozgási időre azonos eredményt adott, míg az 1. tömeg helyén nagyobb, a 2. tömeg helyén pedig a pontos értékeknél kisebb maradó eltolódásokat eredményezett. Az átlagos maradó elmozdulásokra $\bar{u}_{1f} = 0{,}5372$, ill. $\bar{u}_{1f}^m = 0{,}5312$ értékeket kapjuk, ami megfelel annak, hogy az alakközelítés e tekintetben alsó korlátra vezet.

5. KINEMATIKAI KÖZELÍTÉS

5.1. *Alapelvek*

A 3.4. pontban láthattuk, hogy a merev-képlékeny szerkezetek dinamikai viselkedése két szakaszból áll: az első szakaszban a szerkezet instacionárius mozgást végez, a második szakaszban viszont egy stacionárius mozgásállapot alakul ki. A kinematikai közelítésnek az az alapgondolata, hogy a szerkezet teljes mozgását stacionáriusnak tekinti [5]. Ennek biztosítása céljából a szerkezetre rá kell kényszeríteni egy kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőt, amely az alábbi formában adható meg:

$$u_i^0(x_j, t) = W(t) u_i^k(x_j). \tag{33}$$

Ennek megfelelően:

$$\ddot{u}_i^0(x_j, t) = \dot{W}(t)\, u_i^k(x_j)$$
$$\ddot{u}_i^0(x_j, t) = \ddot{W}(t)\, u_i^k(x_j). \tag{34}$$

Itt $u_i^k(x_j)$ egy tetszőlegesen felvett kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőt, $W(t)$ pedig egy ismeretlen elmozdulásparaméter-függvényt jelöl.

Vizsgáljunk egy lökésszerű teherrel terhelt merevtökéletesen képlékeny anyagú szerkezetet. Ekkor felhasználva a (33) függvényt és a virtuális elmozdulások tételét, a $W(t)$ függvény meghatározása a

$$\ddot{W}(t) = K[p(t) - p_k] \tag{35}$$

differenciálegyenlet megoldására vezethető vissza. Az ebben szereplő K állandót a (27) képlet, a p_k kinematikailag lehetséges teherintenzitást pedig a (10) képlet adja meg. A (35) egyenlet egy egytömegű rendszer mozgásegyenletének is felfogható, ezért megállapítható, hogy a kinematikai közelítés a dinamikai feladat megoldását a megfelelő kvázistatikus feladat megoldására és egy helyettesítő egyszabadságfokú rendszer vizsgálatára vezeti vissza.

5.2. *A mozgásidő és a legnagyobb elmozdulások*

Figyelembe véve az $u_i(x_j, 0) = \dot{u}_i(x_j, 0) = 0$ kezdeti feltételeket a (35) differenciálegyenlet zárt formában megoldható [5, 8]. Ha olyan lökésszerű terheket vizsgálunk, amelyek kielégítik a

$$p(0) \geq p_k, \; I_0 \geq p_k t_0, \tag{36}$$
$$p(t) \equiv 0, \text{ ha } t > t_0$$

feltételeket, akkor a mozgásidőre és az elmozdulás-paraméter legnagyobb értékére az alábbi egyszerű képletek vezethetők le [8]:

$$t_f = \frac{I_0}{p_k}, \tag{37}$$

$$W_f = W(t_f) = KS_0\left[\frac{p_e}{p_k} - 1\right],$$

$$S_0 = \int_0^{t_0} p(t)\, t\, dt, \tag{39}$$

$$p_e = \frac{I_0^2}{2S_0}. \tag{40}$$

A képletekben szereplő I_0 impulzus a (3) képletből számítható. Ha például a (2) összefüggésekkel definiált „négyzetes" terhelést alkalmazzuk, akkor a következő eredményeket kapjuk:

$$t_f = \frac{p_0}{p_k} t_0 \tag{41}$$

$$W_f = \frac{1}{2} K p_0 t_0^2 \left(\frac{p_0}{p_k} - 1 \right). \tag{42}$$

W_f ismeretében a szerkezet maradó elmozdulásai az

$$u_i^0(x_j, t_f) = W_f u_i^k(x_j) \tag{43}$$

függvénnyel közelíthetők meg.

A kinematikai eljárás közelítésének pontossága a kinematikailag lehetséges elmozdulásmező megfelelő felvételén múlik. Igazolni lehet, hogy (37) a mozgási idő alsó korlátját adja meg. Nyilvánvaló, hogy a legjobb alsó korlátot akkor kapjuk, ha (37)-ben p_k a lehetséges legkisebb értékét éri el, vagyis azonos a teher p_t törőintenziátásával. A mozgásidő szempontjából tehát a szerkezet törési mechanizmusának alkalmazása vezet a legjobb közelítésre. A maradó elmozdulásokra vonatkozóan hasonló megállapítás nem tehető. Mégis — figyelembe véve az 5.3. pontban bemutatott példát — ebben az esetben is várhatóan a törési mechanizmus felvétele eredményezi a legjobb közelítést.

Ha I_0 állandó értéke mellett t_0 zérushoz tart, megkapjuk az impulzív terhelés esetét. Ekkor a (37) és (38) képletek a

$$\left.\begin{aligned} t_f &= \frac{I_0}{p_k} \\ W_f &= \frac{1}{2} K \frac{I_0^2}{p_k} \end{aligned}\right\} \tag{44}$$

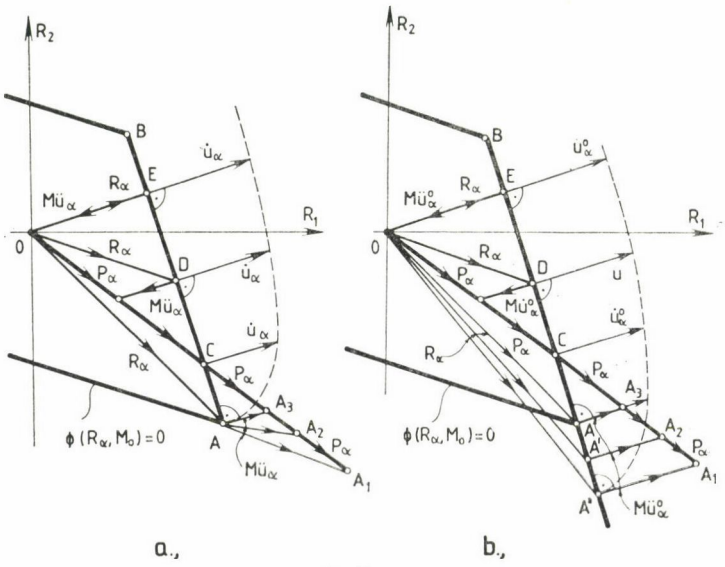
eredményekre vezetnek. Összehasonlítva ezeket az alakközelítés révén nyert (25) és (26) képletekkel, megállapíthatjuk, hogy impulzív teher esetében a kétféle közelítő módszer azonos eredményekre vezet, ha mindkét módszernél ugyanazt a kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőt alkalmazzuk, azaz $u_i^k = u_i^m$. Ez tehát azt jelenti, hogy a kinematikai közelítés egy olyan eljárás, amely a lökésszerű és az impulzív teher vizsgálatára egyaránt alkalmas, tetszőleges (nemcsak a szerkezet saját alakjának megfelelő) kinematikailag lehetséges elmozdulásmező felvételét lehetővé teszi, és speciális esetként az alakközelítés esetét is magában foglalja.

5.3. *Példa*

Vegyük szemügyre ismét a 4. ábrán látható kétszabadságfokú modellt, és tételezzük fel, hogy arra lökésszerű teher működik, azaz $v_\alpha^0 = 0$ és $P_\alpha = p(t) P_\alpha^0$. A modell viselkedését ebben az esetben a 6/a. ábra szemlélteti. Itt OA_1 a P_α teher kezdeti vektora, az R_α és $M\ddot{u}_\alpha$ vektorokat pedig az OA és AA_1 távolságok adják meg. Miközben a teher $p(t)$ nagysága csökken, az $\dot{u}_\alpha$ sebességvektor AA_1 helyzetből AA_3 helyzetbe kerül és így a gerenda instacionárius mozgást végez.

Ezt követően, mialatt a teher tovább csökken, az R_α vektor OC, OD és OE helyzeteket vesz fel, a sebességvektor állása azonban változatlan marad. A gerenda tehát a 2. ábra I. folyási mechanizmusának megfelelő stacionárius állapotban mozog. Az E pontnak megfelelő állapotban az erő zérus és így $R_\alpha = -M\ddot{u}_\alpha$. Az $\dot{u}_\alpha$ vektor továbbra is merőleges marad az AB egyenesre, és nagysága fokozatosan zérusra csökken. Megállapíthatjuk tehát, hogy a gerenda mozgása egy instacionárius és egy stacionárius fázisból áll.

A kinematikai közelítés alkalmazásakor először a feladat kvázistatikus megoldását kell meghatároznunk. Az ennek megfelelő állapotot a 6/b. ábrán a P_α vektor és a $\Phi(R_\alpha, M_0) = 0$ határgörbe C metszéspontja szabja meg. Az OC



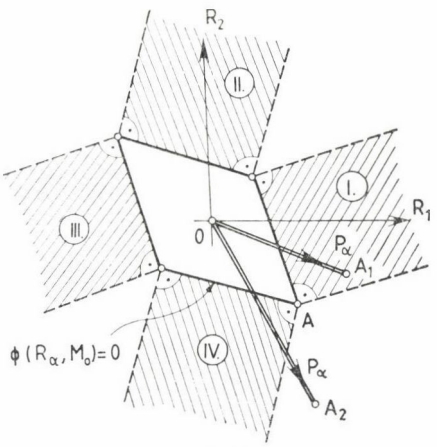
6. ábra

távolság a p_c törőintenzitással egyenlő, míg az AB egyenes normálvektora az $u_i^0(x_j)$ törési mechanizmust szabja meg. Ezek képezik a kinematikai közelítés alapját. Mivel a (34) képletek szerint az $\ddot{u}_\alpha$ vektornak ugyancsak merőlegesnek kell lennie a teljes mozgás alatt az AB egyenesre, ezért a $t = 0$ időpillanatnak megfelelő $M\ddot{u}$ vektort az $A''A_1$ távolság adja meg, a hozzátartozó R_α vektor pedig átdöfi a határgörbét. Amikor azonban a teher intenzitása az OA_3 távolsággal megszabott értéknél kisebb, az R_α vektor már a határgörbén belül marad és a modell mozgása azonos a 6/a. ábrán szemléltetett esettel.

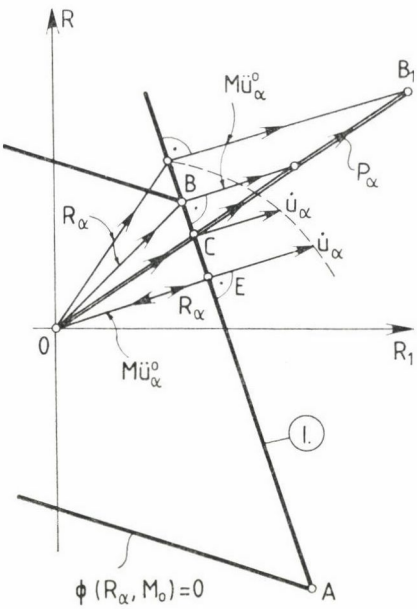
Megállapíthatjuk tehát, hogy a kinematikai közelítés esetén a szerkezet a mozgás teljes időtartama alatt stacionárius mozgást végez és ennek következményeként a mozgás első szakaszában a belső erők a képlékenységi feltételt esetleg megsértik. Ez az utóbbi azonban csak akkor következik be, ha a külső teher csúcsértéke aránylag nagy, például a vizsgált feladat esetében nagyobb, mint az OA_3 távolság. Egyébként a képlékenységi feltétel kielégül a teljes mozgás időtartama alatt és így a kinematikai közelítés pontos eredményre vezet. Általánosabban vizsgálva a példa esetét megállapíthatjuk, hogy ha a P_α

vektor végpontja a 7. ábra vonalkázott szakaszaira esik, akkor a kinematikai közelítés a feladat pontos megoldását adja. A fenti megállapítások más szerkezetekre is általánosíthatók.

Végül oldjuk meg azt a konkrét esetet, amikor a gerendára a $P_\alpha^0(1,\ 2/3)$ alaptehernek és a (2) képletnek megfelelő négyzetes teherparaméter-függvénynyel megszabott dinamikus teher működik. Ekkor a 8. ábra szerint a gerenda törési mechanizmusát a határgörbe a C pontbeli külső normális szabja meg, így a kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőt ennek megfelelően $u_\alpha^k(1,\ 1/3)$



7. ábra



8. ábra

módon vesszük fel. Ebből a gerenda terhelésének törőintenzitása a (27) és (10) képletekből meghatározható:

$$K = \frac{P_\alpha^0 u_\alpha^k}{M u_\alpha^k u_\alpha^k} = \frac{1{,}10}{M}$$

$$P_k = P_t = \frac{Q_\alpha^k q_\alpha^k}{P_\alpha^0 u_\alpha^k} = 1{,}0909 \frac{M_0}{l}.$$

Végül a (44) képletek

$$t_f = 0{,}91667 \frac{I_0 l}{M}, \tag{45}$$

$$W_f = 0{,}50417 \frac{I_0^2 l}{M_0 M} - 0{,}550 I_0 t_0 \tag{46}$$

eredményekre vezetnek. Impulzív teher esetén $t_0 \to 0$ és a fenti eredmények az alakközelítés alapján nyert (30) és (31) eredményekkel megegyeznek.

6. KORLÁTOK SZÁMÍTÁSA

Az irodalomban számos olyan eljárást publikáltak, amelyek a dinamikusan terhelt képlékeny anyagú szerkezetek mozgásideje korlátjainak és maradó elmozdulásai korlátjainak meghatározására alkalmasak (pl. [11, 20]). Az alábbiakban csak azokat a *Martin*tól származó eredményeket ismertetjük, amelyek az egyszerű merev-képlékeny elméletre alapulnak [10].

Az alakközelítésnél bemutatott (25) képlet az impulzívan terhelt merev-képlékeny anyagú szerkezetek mozgásidejének alsó korlátját adja, azaz

$$t_f \geq \frac{\int m v_i^0 u_i^k \, dS}{\int Q_j^k q_j^k \, dS} = \frac{I_0}{p_k}. \tag{47}$$

Ez a képlet a kinematikai módszer segítségével lökésszerű teher esetére is általánosítható és az alábbi implicit formában adható meg [5]:

$$t_f \geq \frac{I(t_f)}{p_k} \tag{48}$$

ahol

$$I(t_f) = \int_0^{t_f} p(t) \, dt.$$

A (47) és (48) képletekben u_i^k és q_j^k tetszőlegesen felvett kinematikailag lehetséges elmozdulás- és alakváltozás-mezőt jelöl, p_k pedig az ezekhez tartozó, kinematikailag lehetséges teherintenzitás.

Egy impulzív teherrel terhelt merev-képlékeny szerkezet tetszőleges A pontjában az n irányú maradó eltolódás felső korlátja *Martin* szerint [10] az

$$u_{An}^f \leq \frac{K_0}{P_s} = \frac{1}{P_s}\left[\frac{1}{2}\int m v_i^0 v_i^0 \, dS\right] \tag{49}$$

képletből számítható. Ebben P_s az A pontban, n irányban működő koncentrált erő statikailag lehetséges nagysága, és K_0 a kezdősebesség által reprezentált kinetikai energia. Nyilvánvalóan a legjobb felső korlátot akkor kapjuk, ha P_s a lehető legnagyobb értékét éri el, azaz megegyezik a P_t törőintenzitással.

Vizsgáljuk ismét az impulzív teherrel terhelt kétszabadságfokú modellt és vegyük fel a $v_\alpha^0 \left(\frac{I_0}{M}, \frac{2I_0}{3M}\right)$ kezdetisebesség-eloszlást. Működtessünk ezután a gerenda 1. pontjában egy függőleges koncentrált erőt. Ennek törőintenzitása $P_t = \frac{4}{3}\frac{M_0}{l}$, így a (49) képlet segítségével az 1. pontbeli függőleges maradó eltolódásra az alábbi felső korlátot kapjuk:

$$u_{1f} \leq \frac{1}{P_t}\left[\frac{1}{2} M v_\alpha^0 v_\alpha^0\right] = 0{,}54167 \frac{I_0^2 l}{M M_0} \tag{50}$$

7. OPTIMÁLIS TERVEZÉS

7.1. *Az eljárás ismertetése*

A dinamikusan terhelt képlékeny szerkezetek optimális tervezésével az irodalomban csak néhány dolgozat foglalkozik. Ezek az egyszerű merev-képlékeny elméleten alapulnak és elsősorban szakaszonként változó vastagságú gerendák és lemezek optimális tervezését mutatják be [9, 19]. A kinematikai közelítés alapján azonban egy általános eljárást is kidolgoztak, amely tetszőleges, merev-tökéletesen képlékeny, inhomogén szerkezet optimális tervezésére alkalmas és impulzív, ill. lökésszerű terhelés esetén egyaránt alkalmazható [2]. Az alábbiakban ennek részleteit ismertetjük.

Tételezzük fel, hogy a merev-tökéletesen képlékeny, inhomogén szerkezet S felülete olyan S_r; $(r = 1, 2, \ldots, n)$ részekre oszlik, amelyeken belül a szerkezet homogén és így a ϱ_r sűrűség, a c_r fajlagos költség és a σ_f^r folyási határ adott állandók. Az S_r részek helyzete és mérete valamint a szerkezetnek az S_r részeken belül ugyancsak állandónak feltételezett t_r vastagsága viszont ismeretlenek. Ezek a tervezési paraméterek, amelyekre az alábbi megkötések lehetnek előírva:

$$\begin{aligned} S_r' \subseteq S_r \subseteq S_r'' \\ t_r' \leq t_r \leq t_r'' \end{aligned} \qquad (r = 1, 2, \ldots, n). \tag{51}$$

A kinematikai közelítésnek megfelelően vegyünk fel ezután különböző

$$u_{ih}^0(x_j, t) = W_h(t)\, u_{ih}^k, \quad (h = 1, 2, \ldots m) \tag{52}$$

kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőket, amelyek a szerkezet teljes S tartományára kiterjednek és tételezzük fel, hogy mindegyik részére elő van írva egy W_{h0} megengedett paraméter. Ugyanakkor a (38) képletből mindegyik u_{ih}^k mezőhöz meghatározható a W_h paraméterek W_{hf} maximális értéke. Ezek a megengedett értékeket nem léphetik túl, azaz

$$W_{hf} \leq w_{h0}, \quad (h = 1, 2, \ldots, m). \tag{53}$$

Végül a szerkezet költsége

$$C = \sum_r c_r t_r S_r, \quad (r = 1, 2, \ldots, n). \tag{54}$$

Ezek után a szerkezet optimális tervezése kétféleképpen is megfogalmazható.

a) *Optimális tervezés előírt megengedett elmozdulások esetén.* Ekkor S_r, ill. t_r méretét, ill. nagyságát úgy kell meghatározni, hogy S_r, t_r és W_{hf} ne lépje túl az (51) és (53) képletekkel megszabott korlátokat és a szerkezet (54) alatti költsége a lehető legkisebb legyen. Röviden minimalizálni kell a

$$C = \sum_r c_r t_r S_r; \quad (r = 1, 2, \ldots, n) \tag{5}$$

célfüggvényt az

$$S_r' \leq S_r \leq S_r'' ,$$

$$t_r' \leq t_r \leq t_r'' ,$$

$$W_{hf} = K_h S_0 \left[\frac{p_e}{p_{hk}} - 1 \right] \leq W_{h0}; \quad (h = 1, 2, \ldots m) \tag{57}$$

feltételek teljesítése mellett.

b) *Optimális tervezés előírt költség esetén.* Ekkor S_r, ill. t_r méretét, ill. nagyságát úgy kell meghatározni, hogy S_r, t_r, ill. C ne lépje túl az (51) által megszabott mértéket, ill. egy adott C_0 értéket, és a „súlyozott" maradó elmozdulások a lehető legkisebbek legyenek. Röviden minimalizálni kell a

$$\left[\max \frac{W_{hf}}{W_{h0}} \right] = \left[\max \frac{K_h S_0}{W_{h0}} \left(\frac{p_e}{p_{hk}} - 1 \right) \right]; \quad (h = 1, 2, \ldots, m) \tag{58}$$

kifejezést az

$$S_r' \leq S_r \leq S_r'' \qquad (r = 1, 2, \ldots, n) \tag{59}$$
$$t_r' \leq t_r \leq t_r''$$

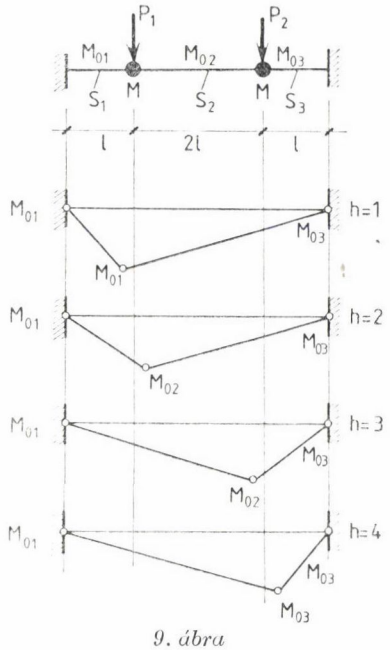
$$C = \sum_r c_r t_r S_r \leq C_0 \tag{60}$$

feltételek teljesítése mellett. Az (55)—(60) kifejezésekben szereplő p_{hk}, K_h, p_e és S_0 értékeket a (10), (27), (39) és (40) képletek adják meg. Látható, hogy a fenti feladat megoldása matematikai programozásra vezet.

7.2. *Példa*

A kétszabadságfokú modellt szemlélve most az eddigiektől eltérően tételezzük fel, hogy a gerenda mindkét vége be van fogva. A lökésszerű teher eloszlását a $P_\alpha^0(1, 2/3)$ vektor, időbeli változását a (2) képlettel megadott négyzetes függvény jellemzi, mindkét tömeg megengedett maradó lehajlása W_0-val egyenlő és a fajlagos költség a teljes gerenda mentén állandó.

Vizsgáljuk azt az egyszerű esetet, amikor a gerenda *adott hosszú* szakaszokra van felosztva és ezek a gerendának a két tömeg helyzete által megszabott S_1, S_2, S_3 részei (9. ábra). E szakaszokon belül a gerenda ismeretlen t_1, t_2, t_3 magasságai helyett az M_{10}, M_{20}, M_{30} törőnyomatékokat tekintsük ismeretlen tervezési paramétereknek és tételezzük fel, hogy ezek a gerenda egységnyi



9. ábra

hosszú szakaszainak térfogatával és így a költségével is lineáris kapcsolatban állnak. Ekkor a teljes gerenda költsége

$$C = M_{10} + 2M_{20} + M_{30} \tag{60}$$

alakban fejezhető ki. A törőnyomatékok nagyságát nem korlátozzuk, így azokra az

$$M_{10} \geq 0, \quad M_{20} \geq 0, \quad M_{30} \geq 0 \tag{61}$$

követelmények állnak fenn.

A maradó elmozdulások meghatározása céljából vegyük fel a 9. ábrán bemutatott négy folyási mechanizmust. Az ezekhez tartozó p_{kh}, $(h = 1, 2, 3, 4)$ kinematikailag lehetséges teherintenzitások az alábbiak:

$$p_{k1} = \frac{3}{11\,l}(7M_{10} + M_{30})$$

$$p_{k2} = \frac{3}{11\,l}(3M_{10} + 4M_{20} + M_{30})$$

$$p_{k3} = \frac{3}{11\,l}(M_{10} + 4M_{20} + 3M_{30})$$

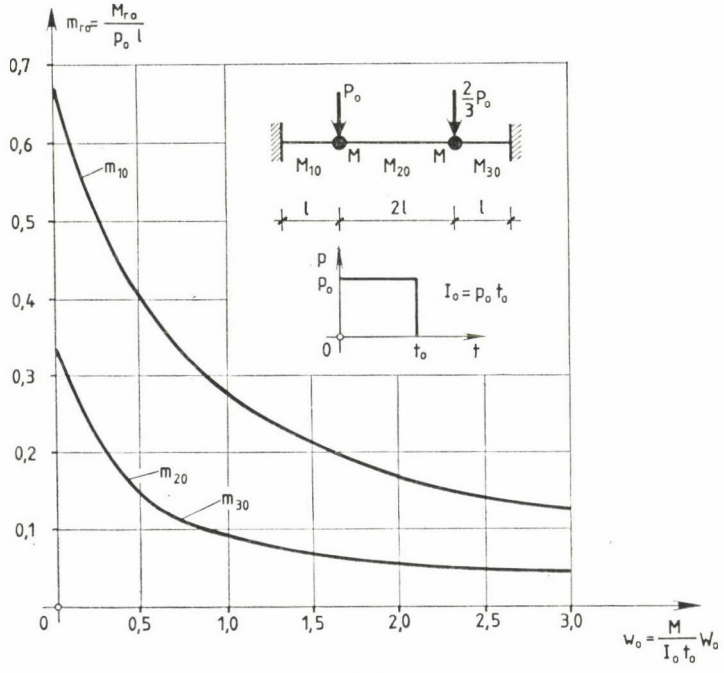
$$p_{k4} = \frac{3}{11\,l}(M_{10} + 7M_{30}).$$

A (27) képlet szerint $K_1 = K_2 = \dfrac{11}{10M}$ és $K_3 = K_4 = \dfrac{9}{10M}$. Alkalmazva ezután az (57) összefüggést mind a négy folyási mechanizmusra, az alábbi egyenlőtlenségek vezethetők le:

$$
\begin{aligned}
7m_{10} + \qquad\qquad m_{30} &\geq \frac{2{,}016}{w_0 + 0{,}550} \\
3m_{10} + 4m_{20} + \quad m_{30} &\geq \frac{2{,}016}{w_0 + 0{,}550} \\
m_{10} + 4m_{20} + 3m_{30} &\geq \frac{1{,}35}{w_0 + 0{,}450} \\
m_{10} + \qquad\quad + 7m_{30} &\geq \frac{1{,}35}{w_0 + 0{,}450}\,.
\end{aligned}
\tag{62}
$$

Itt $m_{k0} = \dfrac{M_{k0}}{p_0 l}$ és $w_0 = \dfrac{M}{I_0 t_0} W_0$ dimenzió nélküli változókat jelölnek.

Ezek után a feladat megoldása abból áll, hogy a (61) és (62) mellékfeltételek figyelembevételével minimalizálni kell a (60) alatti célfüggvényt. Ez ebben az egyszerű esetben lineáris programozásra vezet. Az optimális megoldást eredményező törőnyomatékok értékeit a 10. ábra adja meg.



10. ábra

8. A VISZKOZITÁS HATÁSA

8.1. *Anyagtörvény*

Legtöbb dinamikai feladat vizsgálatakor a viszkozitás hatását az alábbi, *Perzynától* származó merevviszkoplasztikus anyagtörvény alkalmazásával szokták figyelembe venni [17]:

$$\dot{q}_j = \dot{q}_0 F[\Psi(Q_j)] \frac{\partial \Psi}{\partial Q_j}, \text{ ha } \Psi(Q) \geq Q_0$$
$$\dot{q}_j = 0, \text{ ha } \Psi(Q_j) < Q_0. \tag{63}$$

Itt $\Psi(Q_j)$ a folyási függvény, $F[\Psi(Q_j)]$ a viszkózus viselkedést kifejező függvény, Q_0 és $\dot{q}_0$ pedig anyagállandókat jelölnek. A (63) anyagtörvény egy gyakran használt speciális alakja a következő:

$$\dot{q}_j = \dot{q}_0 \left[\frac{\Psi(Q_j)}{Q_0} - 1\right]^n \frac{\partial \Psi}{\partial Q_j}, \text{ ha } \Psi(Q_j) \geq Q_0$$
$$\dot{q}_j = 0, \text{ ha } \Psi(Q_j) < 0. \tag{64}$$

Például tiszta hajlítás esetében $Q_j = M$, $Q_0 = M_0$, $\dot{q}_j = \dot{\varkappa}$, $\dot{q}_0 = \dot{\varkappa}_0 = \frac{2\dot{\varepsilon}_0}{H}\left(1 + \frac{1}{2n}\right)^n$ és így

$$\dot{\varkappa} = (\text{sign } M)\,\dot{\varkappa}_0 \left[\frac{|\,M\,|}{M_0} - 1\right]^n, \text{ ha } |\,M\,| \geq M_0$$
$$\dot{\varkappa} = 0, \text{ ha } |\,M\,| < M_0. \tag{65}$$

A (65) alatti első összefüggésből az M hajlítónyomaték is kifejezhető:

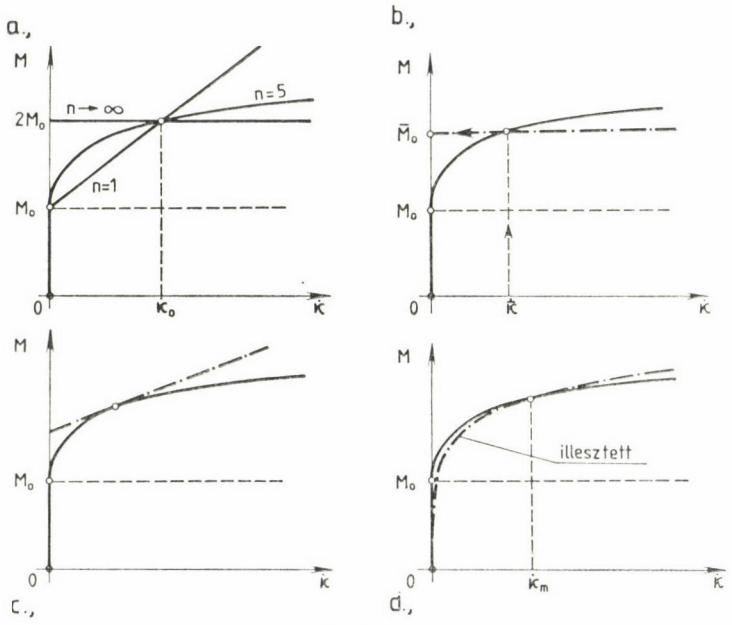
$$M = (\text{sign } \dot{\varkappa})\, M_0 \left[1 + \left(\frac{|\,\dot{\varkappa}\,|}{\dot{\varkappa}_0}\right)^{1/n}\right]. \tag{65/a}$$

A fenti képletekben $\dot{\varkappa}$ a görbületsebesség, H és M_0 a gerenda magassága és törőnyomatéka, n és $\dot{\varepsilon}_0$ pedig viszkozitási állandókat jelölnek [20] (pl. folytacél esetében $\dot{\varepsilon}_0 = 40\ s^{-1}$ és $n = 5$). Ha $n = 1$, akkor lineárisan viszkózus anyagról beszélünk, $n \to \infty$ esetben pedig olyan merev-tökéletesen képlékeny anyag esetét kapjuk meg, amelynek folyási határa $2\sigma_f$. (11/a. ábra).

Az alábbiakban néhány olyan módszert ismertetünk, amelyek a lökésszerűen terhelt merev-képlékeny szerkezetek vizsgálatánál közelítően a viszkozitás hatását is figyelembe veszik.

8.2. *Az anyagtörvény linearizálása*

A közelítésnek az a legegyszerűbb módja, ha például tiszta hajlítás esetén az anyagtörvényben szereplő zárójeles függvényt egy alkalmasan megválasztott állandóra vesszük fel. Ez azt jelenti, hogy a (65/a) összefüggést ábrá-



11. ábra

zoló görbét egy vízszintes egyenessel helyettesítjük (11/b. ábra). Ezt a közelítést felhasználva *Perrone* egy iterációs eljárást javasolt, amelynél először a dinamikai feladat merev-tökéletesen képlékeny megoldását kell meghatározni és ebből ki kell számítani az alakváltozás-sebességek legnagyobb vagy átlagos értékét (lásd $\dot{\bar{\varkappa}}$-t a 11/b. ábrán). Ennek ismeretében a viszkózus anyagtörvény segítségével meghatározható a folyási határ egy módosított értéke (a 11/b. ábrán $\bar{M}_0$), amely alapján a merev-képlékeny megoldás korrigálható. Ennek a közelítésnek tehát az a lényege, hogy a viszkozitás hatását a folyási határ megnövelésével vesszük számításba.

Pontosabb eredményre jutunk, ha a viszkózus anyagtörvényben szereplő nemlineáris függvényt nem egy állandóval, hanem egy lineáris összefüggéssel helyettesítjük. (Tiszta hajlítás esetére ezt a közelítést a 11/c. ábra szemlélteti.) Ennek alapján *Wierzbicki* olyan eljárást dolgozott ki, amelynek alkalmazásakor a viszkózus szerkezetek alapegyenletei formálisan megegyeznek a rugalmas szerkezetek rezgéseit leíró egyenletekkel [25].

8.3. *Alakközelítés*

Inhomogén anyagegyenletek esetén nem lehetséges az, hogy egy szerkezet a teljes mozgás során stacionárius alakváltozásokat végezzen. Emiatt a 4. fejezetben ismertetett alakközelítés — legalábbis változatlan formában — nem alkalmazható olyan merev-viszkoplasztikus szerkezetekre, amelyek anyagtörvényét a (64), (65) inhomogén összefüggések írják le. Fizikailag ennek az a magyarázata, hogy a szerkezet merev és alakváltozást végző szakaszainak határ-

rai a mozgás során nem állandó helyzetűek. Ez a nehézség úgy hidalható át, ha a merev-viszkoplasztikus anyagtörvény helyett egy homogén viszkózus anyagtörvényt alkalmazunk, azaz a (64), (65) és (65/a) összefüggéseket az alábbi „illesztett" anyagtörvénnyel helyettesítjük [21]:

$$\dot{q}_j = \dot{q}_0' \left[\frac{\Psi(Q_j)}{Q_0'}\right]^{n'} \frac{\partial \Psi}{\partial Q_j} \tag{66}$$

$$\dot{\varkappa} = (\text{sign } M)\, \dot{\varkappa}_0' \left[\frac{|M|}{M_0'}\right]^{n'} \tag{67}$$

$$M = (\text{sign } \dot{\varkappa}) \left[\frac{|\dot{\varkappa}|}{\dot{\varkappa}_0'}\right]^{1/n'} . \tag{67/a}$$

Itt $\dot{q}_0'$, Q_0', n' megfelelően megválasztott anyagállandók. Tiszta hajlítás esetén $M_0' = \mu M_0$, $n' = \nu n$ és $\dot{\varkappa}_0' = \frac{4\dot{\varepsilon}_0}{H}$. Ha illesztési pontként a $\dot{\varkappa}_m = \beta \dot{\varkappa}_0$ értéket választjuk (11/d. ábra), akkor

$$\nu = \frac{1 + \beta^{1/n}}{\beta^{1/n}}, \qquad \mu = \frac{1 + \beta^{1/n}}{\beta^{1/\nu n}} . \tag{68}$$

Bevezetve a fenti homogén viszkózus anyagegyenleteket, a szerkezetben nem lesznek merev szakaszok és így kialakulhat egy stacionárius mozgásállapot. Ezért a 4. fejezetben bemutatott megoldás és tételek a viszkózus anyagú szerkezetekre is általánosíthatók. Így az impulzív teherrel terhelt merev-viszkoplasztikus szerkezet megoldása visszavezethető egy kizárólag viszkózus alakváltozásokat végző szerkezet vizsgálatára.

8.4. *Kinematikai megoldás*

Az 5. fejezetben bemutatott kinematikai közelítés merev-viszkoplasztikus szerkezetek esetére is általánosítható [6]. Az általánosításnak az az alapgondolata, hogy a (35) egyenletben szereplő p_k kinematikailag lehetséges teherintenzitást egy p_k^v intenzitással kell helyettesíteni, amely a merev-viszkoplasztikus szerkezet kvázistatikus terhelés közben kifejtett ellenállását fejezi ki. Amíg p_k egy állandót jelent, addig p_k^v a W elmozdulás-paraméter sebességének a függvényében fejezhető ki. Felhasználva a (64), ill. (65) alatti anyagtörvényt, p_k^v az alábbi általános alakban írható fel:

$$p_k^v(\dot{W}) = p_k(1 + a\, \dot{W}^{\alpha}). \tag{69}$$

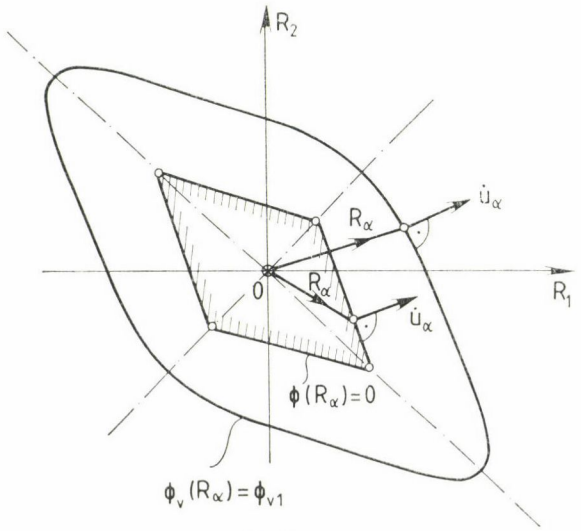
Az ebben szereplő a és α állandók a merev-viszkoplasztikus szerkezet kvázistatikus megoldása révén határozhatók meg. Behelyettesítve (69)-et a (35) egyenletbe, a mozgás differenciálegyenlete az alábbi módosított formában írható fel:

$$\ddot{W}(t) = K[p(t) - p_k(1 + a\dot{W}^{\alpha})] . \tag{70}$$

Ez a differenciálegyenlet numerikus úton egyszerűen megoldható. A fentiek szerint a kinematikai közelítés révén a tárgyalt feladat megoldása a merev-viszkoplasztikus szerkezet kvázistatikus megoldására és egy nemlineáris egyszabadságfokú rendszer dinamikai vizsgálatára vezethető vissza.

8.5. *Példa*

Ha az eddig vizsgált kétszabadságfokú modell viszkózus tulajdonságokkal is rendelkezik, akkor a teherbírását, ill. a mozgás közben kifejtett ellenállását egy görbesereg jellemzi (12. ábra). A $\Phi(R_\alpha) = 0$ tört vonal a mozgás kezdetének felel meg, amikor a sebesség még zérus és ez azonos a merev-képlékeny gerenda teherbírási határvonalával, míg a $\Phi_v(R_\alpha) = \Phi_{v1}$ görbe egy közbenső állapotnak felel meg, amikor a viszkózus gerenda már egy bizonyos sebességgel mozog.



12. ábra

A $\Phi_v(R_\alpha) = \Phi_{v1}$ teherbírási határgörbe egyenes és görbe szakaszokból áll és az $\dot{u}_\alpha$ sebességvektor ebben az esetben is a görbe megfelelő pontjának külső normálisa irányába mutat. Most azonban $\dot{u}_\alpha$ nagysága is ismert, azt a (65) alatti anyagegyenlet határozza meg. Impulzív teher esetén általában csak olyan ,,pillanatnyi'' alakközelítés lehetséges, amelynél fennáll az $\dot{u}_\alpha = \psi\, \dot{u}_\alpha$ kapcsolat (ahol ψ állandót jelöl), de $\dot{u}_\alpha$ iránya (azaz $\dot{u}_1/\dot{u}_2$) nem állandó a mozgás időtartama alatt. Emiatt stacionárius állapot nem alakulhat ki, és az elmozdulások függvénye nem fejezhető ki szorzat formájában. Végülis tehát a megoldás zárt formában nem állítható elő.

Ha bevezetjük a (66), ill. (67) alatti homogén viszkózus anyagtörvényt, akkor a $\Phi_v(R_\alpha) = \Phi_{v1}$ határgörbének nincsenek egyenes szakaszai és sarokpontjai. A sebességekre vonatkozóan a normalitási törvény most is érvényes, de a tömegpontok helyén csak akkor lesz az elfordulás zéró, ha a hajlítónyomaték nagysága is nulla. Ilyenkor impulzív teher működésekor minden esetben kialakul egy stacionárius mozgás és így az elmozdulásfüggvény szorzat formában kifejezhető. Ez lehetővé teszi a feladat zárt formában történő megoldását.

Alkalmazzuk a kinematikai módszert arra az esetre, amikor a vizsgált gerendára a $v_\alpha^0 = \dfrac{I_0}{M}(1,\ 2/3)$ kezdeti sebességgel jellemzett impulzív teher működik. Vegyük fel a kinematikailag lehetséges folyási mechanizmust a 2. ábra I. eseté-

nek megfelelően. Ekkor a (65) képlet felhasználásával a merev-viszkoplasztikus gerenda kinematikailag lehetséges teherintenzitására az alábbi eredmény vezethető le:

$$p_k^v = \frac{12}{11}\frac{M_0}{l}\left[1 + \left(\frac{4}{3}\frac{H}{l}\right)^{1/n}\left(\frac{\dot{w}}{\dot{\varkappa}_0}\right)^{1/n}\right]. \tag{71}$$

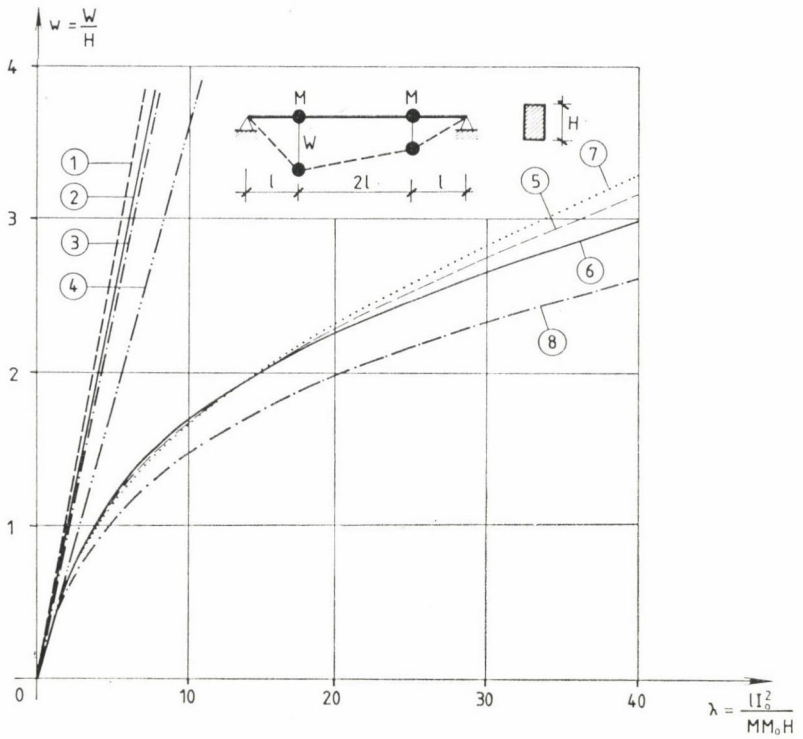
Ebben H a gerenda magassága, $\dot{w} = \dfrac{\dot{W}}{H}$ és $\dot{\varkappa}_0 = \dfrac{2\dot{\varepsilon}_0}{H}\left(1 + \dfrac{1}{2n}\right)^n$. Vegyük fel az $n = 5$, $\dot{\varepsilon}_0 = 40\ s^{-1}$ és $H/l = 0{,}25$ számszerű értékeket. Impulzív teher esetén a (70) differenciálegyenlet úgy módosítható, hogy $p(t) \equiv 0$ és a kezdeti sebesség $V_0 = KI_0$ értékű. Ekkor a vizsgált feladatot leíró differenciálegyenletre az alábbit kapjuk:

$$\frac{d^2w}{dt^2} + 0{,}9917\frac{v_0^2}{\lambda}\left[1 + 0{,}3036\left(\frac{dw}{dt}\right)^{1/5}\right] = 0 \tag{72}$$

ahol

$$w = \frac{W}{H}, \qquad v_0 = \frac{V_0}{H} \text{ és } \lambda = \frac{I_0^2 l}{MM_0 H}. \tag{73}$$

A fenti differenciálegyenlet numerikus megoldása megadja a gerenda 1. pontjának maradó eltolódását, amit a 13. ábra 4. diagramja szemléltet a λ paramé-



13. ábra

ter függvényében. Az 1., 2. és 3. diagramok a felső korlátot szolgáltató megoldást ((32) képlet), az alakközelítés és a kinematikai közelítés révén nyert megoldást ((32) és (46) képletek) és a pontos megoldást ((19) képlet) adják meg.

9. AZ ALAKVÁLTOZÁSOK HATÁSA

9.1. *Alakközelítés*

Könnyen belátható, hogy ha a dinamikai alapegyenletekben az alakváltozások hatásának figyelembvétele miatt nemlineáris tagok is szerepelnek, akkor a szerkezet nem végezhet stacionárius mozgást a teljes mozgási folyamat során. Emiatt a 4. fejezetben ismertetett alakközelítés a nagy alakváltozásokat végző szerkezetek dinamikai vizsgálatára változatlan formában nem alkalmazható.

Lehetséges azonban olyan „kvázi-alakközelítés" alkalmazása, amely a szerkezet kis alakváltozásainak megfelelő alakközelítésből indul el és azt a nagy alakváltozások esetére is kiterjeszti. Ebben az esetben a (22) képlettel megadott Λ_0 kifejezés minimumára alapuló számítási technika változatlanul alkalmazható.

Symonds és *Chon* azt javasolták, hogy nagy elmozdulások esetén az egymást követő időtartamokra szorzat alakban megadható pillanatnyi alakközelítések sorozatát alkalmazzák [23]. Ezek valamennyi időtartamon belül maradéktalanul kielégítik az alapegyenleteket, de egymáshoz nem csatlakoznak folytonosan, mivel a kontinuitás csak a szerkezet egyes pontjaiban biztosítható. Ez a közelítés olyan feladatok esetében vezet elfogadható megoldásokra, amelyeknél a szerkezet elmozdulásmezőjének eloszlása a mozgás során nem változik jelentős mértékben.

9.2. *Kinematikai közelítés*

A kinematikai közelítés az alakváltozások hatásának a figyelembevételére is alkalmazható [6]. A megoldásnak az az alapgondolata, hogy a (35) egyenletben szereplő p_k kinematikailag lehetséges teherintenzitást egy olyan p_k^a paraméterrel kell helyettesíteni, amely a nagy alakváltozásokat végző szerkezet által kifejtett ellenállást fejezi ki. Amíg p_k egy állandót jelentett, addig p_k^a — figyelembe véve az elmozdulásmező (33) alatti szorzatalakját — a W elmozdulásparamétertől függő függvényt jelöl: $p_k^a = p_k^a(W)$. Legtöbb esetben ez a függvény az alábbi általános alakban fejezhető ki:

$$p_k^a(W) = p_k(1 + bW^\beta)\,. \tag{74}$$

Az ebben szereplő b és β állandók az alakváltozások hatásának és a felvett $u_i^k(x_j)$ kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőnek a figyelembevételével a feladat kvázistatikus megoldása alapján határozhatók meg. Behelyettesítve (74)-et a (35) egyenletbe, megkapjuk a mozgás differenciálegyenletének módosított alakját:

$$\ddot{W}(t) = K[p(t) - p_k(1 + bW^\beta)]\,. \tag{75}$$

Ez a differenciálegyenlet numerikus úton oldható meg. A kinematikai közelítés alkalmazása révén tehát a feladat megoldása visszavezethető a nagy

alakváltozásokat végző szerkezet kvázistatikus megoldására és egy egyszabadságfokú nemlineáris rendszer dinamikai vizsgálatára.

Végül megemlítjük, hogy a (70) és a (75) egyenletek kombinációja révén a kinematikai közelítés a viszkozitás és a nagy alakváltozások együttes hatásának a figyelembevételére is általánosítható. Ekkor a mozgás differenciálegyenlete az alábbi általános alakban írható fel:

$$\ddot{W}(t) = K[p(t) - p_k(1 + a\dot{W}^{\alpha})(1 + bW^{\beta})]. \tag{76}$$

9.3. *Korlátok számítása*

Többek között *Ploch* és *Wierzbicki* az impulzívan terhelt, nagy alakváltozásokat végző, merev-képlékeny szerkezetek elmozdulásai felső korlátjának meghatározására egy aránylag egyszerű eljárást dolgozott ki [18].

Működtessünk a szerkezet A pontjában n irányban egy P_s koncentrált erőt és jelöljük a P_s-hez tartozó egyik statikailag lehetséges feszültségmezőt és elmozdulásmezőt σ_{ij}^s, ill. u_i^s függvényekkel. Ennek a rendszernek most az u_i^s elmozdulások okozta másodrendű hatás figyelembevételével kell kielégítenie az egyensúlyi és képlékenységi feltételeket. Ekkor a szerkezet A pontbeli n irányú maradó eltolódására az alábbi felső korlát számítható:

$$u_{An}^f \leq \frac{1}{P_s}\left[\frac{1}{2}\int m v_i^0 v_i^0 dS + \frac{1}{2}\int \sigma_{ij}^s u_{i,j}^s u_{i,j}^s dV\right]. \tag{77}$$

Ebben v_i^0 az impulzív tehernek megfelelő kezdeti sebességmezőt jelöli. Ha az eltolódások hatását figyelmen kívül hagyjuk, akkor a jobb oldal második integrálkifejezése zérus, és a fenti képlet megadja a *Martin* által a kis alakváltozásokat végző szerkezetekre levezetett (49) alatti korlátot.

9.4. *Példák*

Vizsgáljuk ismét a kéttömegű modellt, amelyre a $v_\alpha^0 = \frac{I_0}{M} P_\alpha^0$ kezdeti sebességgel jellemzett impulzív teher működik, ahol P_α^0 (1, 2/3). Tételezzük fel, hogy a gerenda tengelyirányú eltolódásai meg vannak gátolva és derékszögű négyszög alakú keresztmetszetének képlékenységi feltételét M hajlítónyomaték és N normálerők együttes működése esetén az

$$f = \frac{|M|}{M_0} + \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 - 1 = 0 \tag{78}$$

összefüggés jellemzi. Ebben $M_0 = \frac{BH^2}{4}\sigma_0$, $N_0 = BH\sigma_0$, H a gerenda magassága, B pedig a szélessége.

a) Alkalmazzuk a kinematikai közelítést és ehhez vegyük fel a 14/a. ábrán feltüntetett folyási mechanizmust. A képlékeny csukló helyén levő elfordulást és nyúlást θ, ill. e betűkkel jelölve a virtuális sebességek tétele az alábbi összefüggésre vezet:

$$\frac{11}{9} p_k^a W = M\theta + Ne. \tag{79}$$

A 14/a. ábra szerint

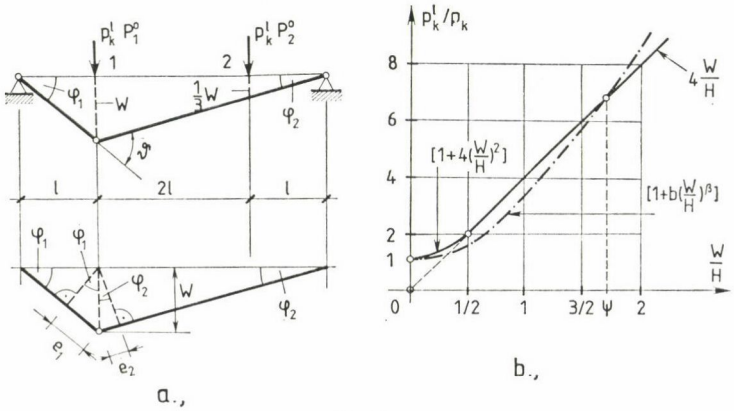
$$\theta = \frac{4W}{3l}\,;\; e = e_1 + e_2 = W\Phi_1 + W\Phi_2 = W\theta. \tag{80}$$

A (7) alatti folyási törvény szerint pedig

$$\frac{e}{\theta} = \frac{\partial f/\partial N}{\partial f/\partial M} = \frac{2M_0}{N_0^2}N = \frac{HN}{2N_0}. \tag{81}$$

Végül a (78), (80) és (81) összefüggéseket (79)-be behelyettesítve:

$$p_k^a = p_k\left[1 + 4\left(\frac{W}{H}\right)^2\right], \tag{82}$$



14. ábra

ahol $p_k = \dfrac{36}{33}\dfrac{M_0}{l}$ a kis elmozdulásokat végző gerenda kinematikailag lehetséges teherintenzitása.

A (81) képletek azonban csak addig érvényesek, ameddig $N < N_0$, azaz $\dfrac{W}{H} \leq \dfrac{1}{2}$. Ha $N = N_0$, akkor $M = 0$ és ezért $W/H > \dfrac{1}{2}$ esetben a (82) összefüggés helyett a

$$p_k^a = 4p_k\frac{W}{H} \tag{83}$$

képletet kell használni. A kétféle összefüggés használatának elkerülése érdekében (82) és (83) egyetlen képlettel közelíthető meg (14/b. ábra):

$$p_k^a = p_k\left[c + b\left(\frac{W}{H}\right)^\beta\right]. \tag{84}$$

A továbbiakban két különböző esetet vizsgálunk. Ha viszonylag nagy lehajlásokat végez a modell, akkor jó közelítésre jutunk, ha a (84) képletet lineáris összefüggéssel helyettesítjük. Erre legalkalmasabb a (83) képlet, amit úgy

kaphatunk meg, ha (84)-ben $c = 0$, $b = 4$ és $\beta = 1$. Ezeket (75)-be behelyettesítve a

$$\frac{d^2 w}{dt^2} + 3{,}967 \frac{v_0^2}{\lambda} w = 0 \tag{85}$$

differenciálegyenletre jutunk, amelynek megoldása a következő eredményre vezet:

$$w_f = \frac{W_f}{H} = 0{,}5021 \sqrt{\lambda}, \text{ ahol } \lambda = \sqrt{\frac{I_0^2 l}{M M_0 H}}. \tag{86}$$

Ezt az eredményt a 13. ábra 5. diagramja szemlélteti.

Ha a (84) képletben a $c = 1$, $b = 2$ és $\beta = 2$ értékeket vesszük fel, ami a pontos és a közelítő összefüggés $\Psi = \frac{W}{H} = \sqrt{3}$ pontban való illesztésének felel meg (lásd 14/b. ábrát), akkor a (75) egyenlet

$$\frac{d^2 w}{dt^2} + 0{,}9917 \frac{v_0^2}{\lambda} [1 + 2w^2] = 0 \tag{87}$$

alakú lesz. Ennek a nemlineáris differenciálegyenletnek a numerikus úton nyert megoldását a 13. ábra 6. diagramja adja meg.

b) Oldjuk meg a vizsgált feladatot a 9.3. pontban ismertetett közelítő eljárással is. A tengely irányú elmozdulásaiban gátolt gerenda esetében a (77) korlát az alábbi speciális alakot ölti:

$$u_A^f \leq \frac{1}{P_s} \left[K_0 + \frac{1}{2} \int N^s \left(\frac{du^s}{dx} \right)^2 dx \right]. \tag{88}$$

Ebben K_0 az előírt kezdeti sebesség által képviselt kinematikai energiát jelenti, N^s ill. u^s pedig statikailag lehetséges normálerő- és eltolódáseloszlást jelölnek. Vegyük fel statikailag lehetséges megoldásként a feladat alábbi membrán megoldását (lásd 15/a. ábrát):

$$\begin{aligned} &N^s = N_0; \quad M = 0; \quad P_s = \frac{4}{3} N_0 W; \\ &u^s = Wx, \text{ ha } 0 < x < l; \\ &u^s = \frac{W}{3}(4l - x), \text{ ha } l \leq x \leq 4l. \end{aligned} \tag{89}$$

Ebben P_s a gerenda 1. pontjában működő teher statikailag lehetséges intenzitását jelöli. Ha (89)-et (88)-ba behelyettesítjük és az így kapott korlátot optimalizáljuk P_s változó szerint, akkor a következő eredményre jutunk:

$$w_f \leq \frac{W_f}{H} = \sqrt{\frac{3K_0 l}{2N_0 H}}. \tag{90}$$

A vizsgált feladatnál $K_0 = \frac{13}{18}\frac{I_0^2}{M}$, így behelyettesítve

$$w_f \leq \frac{W_f}{H} = 0{,}5204\sqrt{\lambda}\,. \tag{91}$$

Ezt a felső korlátot a 13. ábra 7. diagramja szemlélteti.

c) Végül oldjuk meg a feladatot úgy is, hogy a viszkozitás hatását és az alakváltozásoknak az erőjátékra gyakorolt hatását egyaránt figyelembe vesszük. A kinematikai közelítést alkalmazva a (72) és a (87) egyenletek kombinációja az alábbi differenciálegyenletre vezet:

$$\frac{d^2w}{dt^2} + 0{,}9917\frac{v_0^2}{\lambda}[1 + 2w^2]\left[1 + 0{,}3036\left(\frac{dw}{dt}\right)^{1/5}\right] = 0. \tag{92}$$

Ennek a differenciálegyenletnek a numerikus megoldását a 13. ábra 8. diagramja adja meg.

10. A RUGALMAS ALAKVÁLTOZÁSOK HATÁSA

10.1. *Általános megjegyzések*

Amint az 1. fejezetben említettük, a rugalmas alakváltozások hatása akkor hanyagolható el, ha a mozgás közben elnyelt képlékeny alakváltozási energia lényeges mértékben meghaladja a szerkezet rugalmas energiafelvevő képességét. Ellenkező esetben a rugalmas alakváltozások hatása lényeges lehet. A pontos rugalmas-képlékeny vizsgálat azonban sokkal nehezebb, mint a tisztán rugalmas, ill. a merev-képlékeny vagy a merev-viszkoplasztikus megoldás. A rugalmas-képlékeny szerkezetben ugyanis képlékeny tartományok alakulhatnak ki, amelyek helyzete és nagysága a mozgás közben változhat. Ezt a bonyolult folyamatot csak numerikus úton lehet követni. Igény van azonban olyan durvább közelítő eljárásokra is, amelyek megbízható tájékoztatást nyújtanak a rugalmas-képlékeny állapotú szerkezetek dinamikai viselkedéséről. Az alábbiakban röviden két ilyen eljárást ismertetünk.

10.2. *Alakközelítés alkalmazása*

Ennek a *Symonds* által javasolt közelítő eljárásnak [21] az az alapgondolata, hogy a szerkezet mozgását két egymástól élesen elhatárolt részre osztja fel; az első mozgási állapotban a szerkezet kizárólag csak rugalmas alakváltozásokat végez, a másodikban viszont merev-képlékeny módon viselkedik.

A lineárisan rugalmas állapot vizsgálata és az $u_i^e(x_j, t)$ elmozdulásmező meghatározása a rugalmas szerkezetek ismert dinamikai egyenleteinek segítségével végezhető el. Ez az állapot addig a t_e időpontig tart, amikor a szerkezetre felállított ún. általános képlékenységi feltétel kielégül. Az utóbbi legegyszerűbben úgy definiálható, ha bevezetjük a szerkezet rugalmas igénybevétel-állapota alapján számítható „általános átlagos igénybevétel" fogalmát és úgy tekintjük, hogy a szerkezet akkor kerül képlékeny állapotba, ha ez az általános átlagos igénybevétel egy előre megszabott értéket elér.

A rugalmas állapotot követő merev-képlékeny állapot vizsgálatához az alakközelítés elveinek megfelelően egy $u_i^p = W^p(t)u_i^m(x_j)$ alakban megadható stacionárius elmozdulásmezőt kell felvenni. Ebben W^p kezdeti értékét úgy lehet meghatározni, hogy a szerkezet egy jellegzetes pontjában az elmozdulás nagysága egyezzék meg e pontnak a rugalmas állapot alapján számított t_e időpontban létrejövő elmozdulásával. A kezdeti sebesség V_0^p paramétere viszont a rugalmas állapot t_e időpillanatához tartozó $\dot{u}_i^e(x_j, t_e)$ sebességmezőből számítható ki a 4.2. pontban ismertetett elvek szerint. Most Λ_0 (23) kifejezésében és a (25) és (26) képletekben v_i^0-t $\dot{u}_i^e$ függvénnyel kell helyettesíteni és ekkor megkapjuk a V_0^p paramétert, a t_p mozgásidőt és a W_f^p paramétert. Végül tehát a rugalmas-képlékeny szerkezet legnagyobb elmozdulása és az ehhez tartozó időtartam az $u_{if} = u_i^e(x_j, t_e) + W_f^p u_i^m(x_j)$ és $t_f = t_e + t_p$ összefüggésekből számítható.

Ennél a közelítő módszernél a szerkezet átlagos igénybevételének meghatározására vonatkozóan eljárásokat még nem dolgoztak ki, csupán egészen egyszerű esetekben mutatták be a számítás menetét.

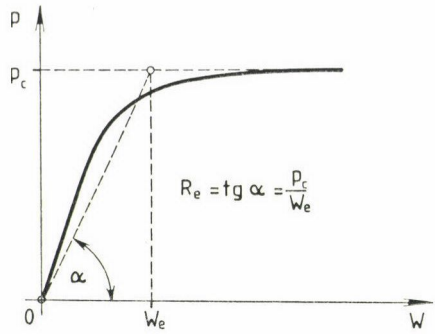
Végül megjegyezzük, hogy a vázolt közelítő eljárás alkalmazása esetén a merev-képlékeny állapot vizsgálatakor az anyag viszkózus viselkedésének és a nagy alakváltozásoknak a hatását is figyelembe lehet venni.

10.3. *Kinematikai közelítés*

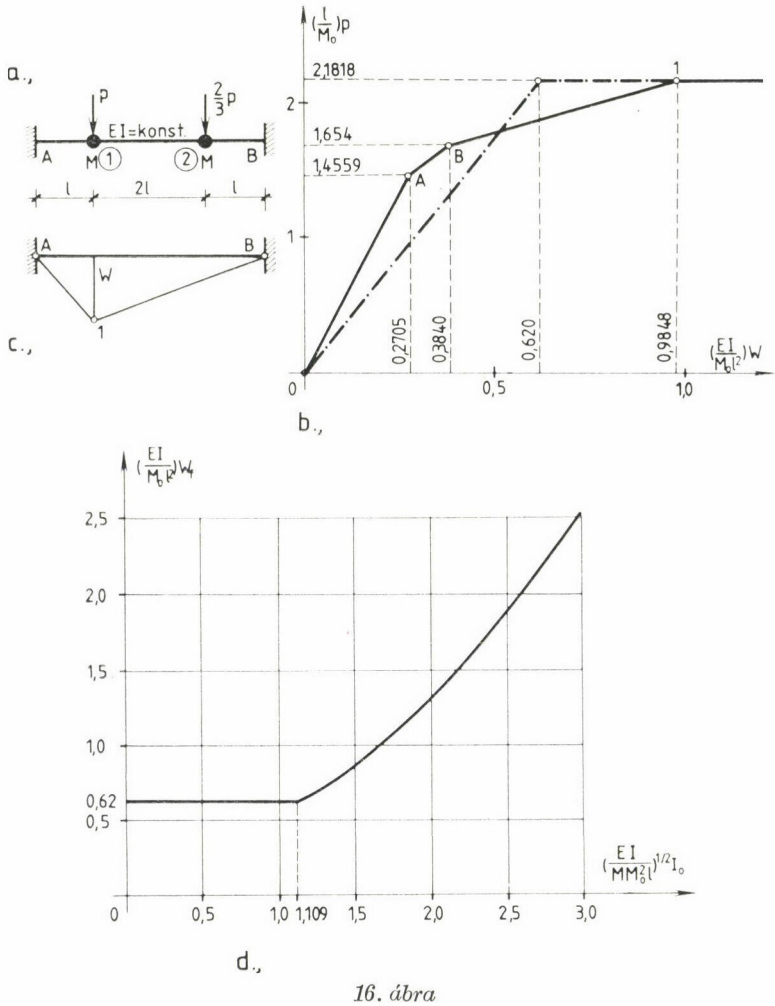
A kinematikai közelítés a dinamikusan terhelt rugalmas-képlékeny szerkezetek vizsgálatára is kiterjeszthető [7]. A számításnak most is az az alapgondolata, hogy egy kinematikailag lehetséges elmozdulásállapotot kell a szerkezetre kényszeríteni, most azonban a szerkezet alakváltozást végző részei rugalmas-képlékenyek. Ennek megfelelően a szerkezet ebben az esetben is a teljes mozgás időtartama alatt $u_i^0(x_j, t) = W(t)u_i^k(x_j)$ alakban kifejezhető stacionárius mozgást végez, de az alakváltozást végző tartószakaszok állapota különböző, egyesek rugalmas, mások képlékeny állapotban vannak és ezek az állapotok a mozgás közben is változnak. Emiatt a szerkezet által kifejtett ellenállás a mozgás közben nem állandó.

Például keretszerkezetek esetében a kinematikailag lehetséges elmozdulásmezőket a folyási mechanizmusokhoz hasonlóan úgy kapjuk meg, hogy az alakváltozásokat rugalmas-képlékeny csuklók helyére koncentráljuk és a szerkezet többi részét merevnek tekintjük. A csuklók rugalmas állandói a szomszédos rúdszakaszok merevségi tulajdonságaiból határozhatók meg, a képlékeny viselkedésüket pedig az illető rúdszakasz képlékeny nyomatéki teherbírása szabja meg. Az így nyert szerkezet egyszabadságfokkal rendelkezik és stacionárius mozgásokat végez. Állapotváltozása azonban csak lépésről lépésre követhető, mivel a csuklók feszültségállapota és így ellenállása, attól függően, hogy rugalmas vagy képlékeny állapotban vannak-e, nem állandó. A vizsgálat azonban még így is aránylag egyszerű.

A lépésről lépésre történő vizsgálat a szerkezet „átlagos rugalmas merevségének" bevezetésével kiküszöbölhető. Tételezzük fel, hogy a $pT_i^0(x_j)$ kvázistatikus teherrel terhelt szerkezet rugalmas-képlékeny megoldását ismerjük és így a p teherintenzitás és a szerkezet egy jellegzetes pontjának W elmozdulása közötti összefüggés is rendelkezésre áll (15. ábra). Ekkor a szerkezet átlagos



15. ábra



16. ábra

rugalmas merevségét az $R_e = \frac{p_c}{W_e}$ hányados adja meg, ahol p_c a szerkezet törőintenzitása és W_e egy alkalmasan megválasztott érték. R_e ismeretében a szerkezet mozgása két részre osztható: ha $W \leq W_e$, akkor a szerkezet kizárólag rugalmas alakváltozásokat végez és eközben $R_e W = \frac{p_c}{W_e} W$ ellenállást fejt ki, ha viszont $W > W_e$, akkor a szerkezet csak képlékeny alakváltozásokat végez és p_c állandó ellenállást tanúsít a mozgással szemben. Felhasználva tehát a (35) és (36) egyenleteket, az egyszabadságfokú rendszer mozgását az alábbi két differenciálegyenlet írja le:

$$\text{ha } W \leq W_e, \text{ akkor } \ddot{W}(t) = K\left[p(t) - \frac{p_c}{W_e} W(t)\right] \tag{93}$$

$$\text{ha } W > W_e, \text{ akkor } \ddot{W}(t) = K\,[p(t) - p_c]. \tag{94}$$

Ezek megoldása megadja a rugalmas-képlékeny szerkezet legnagyobb elmozdulásait.

10.4. *Példa*

Vizsgáljuk ismét a kétszabadságfokú modellt és tételezzük fel, hogy most a gerenda rugalmas-képlékeny anyagú, hajlítási merevsége rugalmas állapotban EJ állandó, és mindkét vége be van fogva (16/a. ábra). A gerendára működő pP_α^0 (1, 2/3) lökésszerű terhelést I_0 impulzussal jellemzett impulzív teherrel helyettesítjük.

A részleteket mellőzve a kvázistatikus teher p intenzitása az 1. pont W lehajlása közötti összefüggést a 16/b. ábra szemlélteti. A törési mechanizmus a 16/c. ábrán látható és a törőintenzitás $p_c = 2{,}1818\,\frac{M_0}{l}$. Ha a rugalmas lehajlás határát $W_e = 0{,}620\,\frac{M_0 l}{M}$ értékűre vesszük fel, akkor az átlagos rugalmas merevségre $R_e = \frac{p_e}{W_e} = 3{,}519\,\frac{EJ}{l^3}$ értéket kapjuk. A rugalmas és a képlékeny állapot vizsgálatához egyaránt a 16/c. ábrán látható mechanizmust használjuk. Ekkor $K = \frac{1{,}10}{M}$ és a vizsgált impulzív tehernek megfelelő kezdeti sebesség nagysága $\dot{W}(0) = KI_0$. Ilyen feltételek mellett a (93) és (94) differenciálegyenletek analitikus megoldása a következő eredményre vezet:

$$W_f = \frac{M_0 l^2}{EJ}\left\{0{,}620 + \langle\delta\rangle 0{,}251\left[\delta\cos\left(\arcsin\frac{1{,}109}{\delta}\right)\right]^2\right\}. \tag{95}$$

Ebben

$$\delta = \sqrt{\frac{EJ}{MM_0^2 l}}\,I_0,$$

és ha $\delta \leq 1{,}109$, akkor $\langle\delta\rangle = 0$

ha $\delta > 1{,}109$, akkor $\langle\delta\rangle = 1$

A (95) alatti eredményt a 16/d. ábra szemlélteti.

11. ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat áttekintést nyújt a rövid ideig tartó, nagy intenzitású dinamikus teherrel terhelt szerkezetek képlékeny viselkedéséről és az ennek vizsgálatával foglalkozó eljárásokról. A képlékeny alakváltozások mellett a viszkozitásnak, a rugalmas alakváltozásoknak és nagy elmozdulások esetén az alakváltozásoknak az erőjátékra való visszahatásának is fontos szerepe lehet. A dolgozat ezeket a hatásokat is tárgyalja és a figyelembevételükre alkalmas eljárásokat ugyancsak bemutatja.

A keményedés, a nyíróerő okozta alakváltozások és a szerkezet elfordulással szemben kifejtett tehetetlensége bizonyos esetekben ugyancsak lényegesebben befolyásolhatja a képlékeny szerkezetek dinamikai viselkedését. Karcsú szerkezeteknél pedig az instabilitási jelenségeknek lehet fontos szerepük [3, 14, 15]. Végül meg kell említeni, hogy a kísérleti vizsgálatoknak és a számítógépes módszereknek és megoldásoknak ugyancsak igen kiterjedt irodalma van [4]. Ezeknek az elméleti és gyakorlati szempontból fontos hatásoknak és eredményeknek az ismertetése e dolgozat kereteit meghaladta.

IRODALOM

[1] Capurso, M.: „Extended Displacement Bound Theorems for Continua Subjected to Dynamics Loading" J. Mech. Phys. Solids, Vol. 23, pp. 113—122. (1975).

[2] Heinloo, M., Kaliszky, S.: „Optimal Design of Dynamically Loaded Rigid-Plastic Structures" Application: Thick-Walled Concrete Tube. J. Struct. Mech. 9 (3) 235—251 (1981).

[3] Jones, N.: „Response of Structures to Dynamic Loading" Inst. Phys. Conf. Ser. No. 47. Chapter 3.

[4] Jones, N.: „A Literature Review of the Dynamic Plastic Response of Structures" Shock and Vibration Digest. 7 (1975), 10 (1978), 13 (1981).

[5] Kaliszky, S.: „Approximate Solutions for Impulsively Loaded Inelastic Structures and Continua" Int. J. Non-Linear Mechanics, Vol. 5, pp. 143—158. (1970).

[6] Kaliszky, S.: „Large Deformations of Rigid-Viscoplastic Structures under Impulsive and Pressure Loading" J. Struct. Mech., Vol. 1, pp. 295—317. (1973).

[7] Kaliszky, S., Duong, V. T.: „Approximate Analysis of Elasto-Plastic Structures under Dynamic Pressure (in Hungarian) Építés-Építészettudomány (in press).

[8] Krajcinovic, D.: „On approximate solutions for rigid-plastic structures subjected to dynamic loading" Int. J. Non-Linear Mech. 7: 571—575 (1972).

[9] Lepik, Ü., Mróz, Z.: „Optimal design of plastic structures under impulsive and dynamic pressure loading" Int. J. Solids Struct. 13 (7): 657—674 (1977).

[10] Martin, J. B.: „A Displacement Bound Technique for Elastic Continua Subjected to a Certain Class of Dynamic Loading" J. Mech. Phys. Solids, Vol. 12, pp. 165—175. (1964).

[11] Martin, J. B.: „Displacement Bounds for Dynamically Loaded Elastic Structures" J. Mech. Engineering Sci., Vol. 10, pp. 213—218. (1968).

[12] Martin, J. B.: „Extremum Principles for a Class of Dynamic Rigid-Plastic Problems" Int. J. Solids Structures, Vol. 8, pp. 1185—1204. (1972).

[13] Martin, J. B., Symonds, P. S.: „Mode Approximations for Impulsively Loaded Rigid-Plastic Structures" J. Eng. Mech. Div. Proc. ASCE, Vol. 92, No. EM5, pp. 43—66. (1966).

[14] Nonaka, T.: „Shear and Bending Response of a Rigid-Plastic Beam to Blast-Type Loading" Ing. Arch. (46) 35—52 (1977).

[15] Oliveira, J. G., Jones, N.: „A Numerical Procedure for the Dynamic Plastic Response of Beams with Rotatory Inertia and Transverse Shear Effects" J. Struct. Mech. 7 (2) 193—230 (1979).

[16] Perrone, N.: „On a Simplified Method for Solving Impulsively Loaded Structures of Rate-Sensitive Materials" J. Appl. Mech., Vol. 32, pp. 489—492. (1965).

[17] Perzyna, P.: „The Constitutive Equations for Rate Sensitive Plastic Materials" J. Appl. Math., Vol. 20, pp. 321—331. (1963).
[18] Ploch, J., Wierzbicki, T.: „Bounds in Large Inelastic Deformations of Dynamically Loaded Structures" (in Polish) Proc. 3rd Symposium Dynamics Stability of Structures.
[19] Reitman, M. I., Shapiro, G. S.: „Optimization of Structures under Dynamic Loading" (in Russian), Presented at Conference on Problems of Optimization in the Mechanics of Deformable Bodies, Vilnius, 1974.
[20] Symonds, P. S., Wierzbicki, T.: „On An Extremum Principle for Mode Form Solutions in Plastic Structural Dynamics" J. Appl. Mech., Vol. 42, pp. 630—640. (1975).
[21] Symonds, P. S.: „Elastic, Finite Deflection and Strain Rate Effects in a Mode Approximation Technique for Plastic Deformations of Pulse Loaded Structures" J. Mech. Eng. Sci. Vol. 22, No (1980).
[22] Symonds, P. S., Chon, C. T.: „Approximation Techniques for Impulsive Loading of Structures of Time-Dependent Plastic Behavior with Finite Deflections"Proc. Oxford Conf. „Mechanical Properties of Materials at High Strain Rates" Inst. of Physics Conf. Ser. No. 21, Dec. 1974, pp. 299—315. (1974).
[23] Symonds, P. S., Chon, C. T.: „On Dynamic Plastic Mode Form Solutions" J. Mech. Phys. Solids, Vol. 26, pp. 21—35. (1978).
[24] Tamuzs, B. P.: „Ob odnom minimalnom principe v dinamike zestkoplasticeskovo tela". Prikl. Mat. Mekh. 26: 715 (1962).
[25] Wierzbicki, T.: „An Approximate Linearized Theory of Viscoplastic Shells" Archive of Mechanics (1977).
[26] Wierzbicki, T.: „The Analysis of Dinamically Loaded Structures. (in Polish) Arcady. Warsaw.

Prof. dr. CSONKA PÁL, a műszaki tudomány doktora

SZABADON FELFEKVŐ, SZABÁLYOS HÁROMSZÖG ALAKÚ LEMEZ HÁROMSZOROSAN SZIMMETRIKUS TEHERREL

Ez a tanulmány a szabadon felfekvő, egyenlő oldalú háromszög alakú, állandó vastagságú rugalmas síklemezek hajlításproblémájával foglalkozik. Terhelésként a lemez középsíkjára merőleges, háromszorosan szimmetrikus erőrendszert vesz számításba. Az egyenletesen megoszló teherrel, valamint a közép felé növekvő teherrel terhelt lemez esetére zárt képletet vezet le és olyan eljárást mutat be, amely egy ismert terhelési esetre vonatkozó numerikus eredményekkel kombinálva lehetőséget nyújt néhány egyéb terhelési eset közelítő tárgyalására.

1. FELTEVÉSEK, JELÖLÉSEK

A címbeli feladatot a technikai rugalmasságtan szokásos feltevései keretében tárgyaljuk. A lemez anyagának rugalmassági tényezőjét E-vel, Poisson-tényezőjét μ-vel, a lemez oldalhosszát b-vel, vastagságát h-val jelöljük. Utóbbit a lemez egész terjedelmében állandónak tekintjük.

Koordinátarendszerül az 1. ábrán feltüntetett $O(x, y, z)$ derékszögű koordinátarendszert választjuk és megállapodunk a

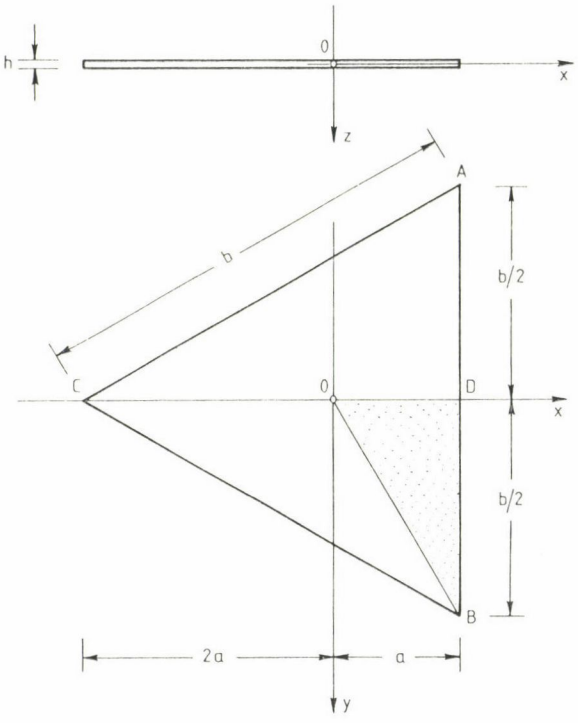
$$\xi = \frac{x}{a}, \qquad \eta = \frac{y}{a} \tag{1}$$

egyszerűsítő jelölésben, ahol

$$a = \frac{b}{2\sqrt{3}}. \tag{1a}$$

A lemezre ható terhelésként az OA, OB, OC tengelyekre szimmetrikus elrendezésű z irányú erőket vesszük számításba és a teherintenzitást a $q = q(\xi, \eta)$ *teherfüggvénnyel* fejezzük ki.

Célunk a q teherrendszer okozta alakváltozás meghatározása, amit a lemezközépsíkján fekvő pontok z irányú elmozdulását leíró $w = w(\xi, \eta)$ *elmozdulásfüggvénnyel* adunk meg. Minthogy a lemez támasztásmódja és terhei is háromszorosan szimmetrikusak, ugyanilyen szimmetriatulajdonságú a w elmozdulásfüggvény is.



1. ábra. Az O (x, y, z) koordinátarendszer

2. A FELADAT DIFFERENCIÁLEGYENLETE

A technikai rugalmasságtan szerint [1 – 4] a q teherfüggvény és a w elmozdulásfüggvény közt a

$$\Delta\Delta w = \frac{q}{K} \tag{2}$$

összefüggés áll fenn, ahol a Δ műveletjel értelme

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} = \frac{1}{a^2}\left(\frac{\partial^2}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2}{\partial \eta^2}\right), \tag{3}$$

a K tényező pedig a lemez hajlítómerevsége:

$$K = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)}. \tag{4}$$

A w elmozdulásfüggvény a (2) differenciálegyenleten kívül eleget tartozik tenni a lemez támasztásmódját kifejező peremfeltételeknek is. Szabadon felfekvő, egyenes oldalakkal bíró lemezről lévén szó, a $\xi = 1$ peremvonal mentén teljesítendő feltételek:

$$w = 0, \quad \Delta w = 0. \tag{5}$$

Ha ezek a feltételek a $\xi = 1$ peremvonal mentén teljesítve vannak, akkor a fennforgó háromszoros szimmetria folytán a másik két peremvonal mentén is teljesülnek.

3. AZ ELEMI FÜGGVÉNYEK ÉS KOMBINÁCIÓIK

Egyes feladatok tárgyalása során célszerűen alkalmazhatók olyan függvények, amelyek egyik tényezője a

$$\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4$$

kifejezés, másik tényezője pedig a ξ, η változók valamely háromszorosan szimmetrikus polinomja. Ezeket a függvényeket itt *elemi függvényeknek* nevezzük és $e_1, e_2, e_3, \ldots$ betűvel, általában e_n betűvel jelöljük ($n = 1, 2, \ldots$).

Néhány egyszerű elemi függvényt az I. táblázatban közlünk, a Δe_n kifejezéseknek a $\xi = 1$ peremvonal menti értékét a II. táblázatban, a $\Delta\Delta e_n$ kifejezések értékeit pedig a III. táblázatban adjuk meg.

I. táblázat

Az e_n elemi függvények

n	e_n
1	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)$
2	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^2 + \eta^2)$
3	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^3 - 3\xi\eta^2)$
4	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^2 + \eta^2)^2$
5	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^2 + \eta^2)(\xi^3 - 3\xi\eta^2)$
6	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^3 - 3\xi\eta^2)^2$
7	$(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^2 + \eta^2)^3$

II. táblázat

A e_n kifejezések értéke a $\xi = 1$ peremvonal mentén

n	Δe_n
1	12
2	48
3	$66 - 108\eta^2 + 18\eta^4$
4	$84 + 72\eta^2 - 12\eta^4$
5	$102 - 162\eta^2 - 54\eta^4 + 18\eta^6$
6	$120 - 540\eta^2 + 576\eta^4 - 108\eta^6$
7	$120 + 216\eta^2 + 72\eta^4 - 24\eta^6$

Szorzó: $1/\pi^2$

Az elemi függvényeket alkalmasan kombinálva, elő lehet állítani olyan függvényeket, amelyek pontosan megfelelnek az (5) peremfeltételeknek. Ilyen függ-

III. táblázat

A $\Delta\Delta e_n$ kifejezések

n	$\Delta\Delta e_n$
1	0
2	192
3	$288(\xi^2+\eta^2)$
4	$-256+1728(\xi^2+\eta^2)+640(\xi^3-3\xi\eta^2)$
5	$1920(\xi^3-3\xi\eta^2)+1152(\xi^2+\eta^2)^2$
6	$-1152(\xi^2+\eta^2)+3546(\xi^2+\eta^2)^2+2160(\xi^2+\eta^2)(\xi^3-3\xi\eta^2)$
7	$-2304(\xi^2+\eta^2)+6912(\xi^2+\eta^2)^2+2880(\xi^2+\eta^2)(\xi^3-3\xi\eta^2)$

Szorzó: $1/a^4$

vénykombinációk például az alábbiak, ahol p tetszőleges állandót jelent (dimenziója erő/terület):

$$w_A=(-4e_1+e_2)\frac{pa^4}{K},$$

$$w_B=(-112e_1+36e_2-2e_3-3e_4)\frac{pa^4}{K},$$

$$w_C=(-48e_1+4e_2+2e_3+3e_4)\frac{pa^4}{K}=40w_A-w_B, \qquad (6a\ldots e)$$

$$w_D=(-1088e_1+80e_2+96e_3+60e_4-20e_5-4e_6+3e_7)\frac{pa^4}{K},$$

$$w_E=(27680e_1-1920e_2-2500e_3-1440e_4+480e_5+110e_6-135e_7)\frac{pa^4}{K}.$$

Ha ezeket a függvénykombinációkat elmozdulásfüggvényeknek tekintjük, a nekik megfelelő teherfüggvényeket a (2) differenciálegyenlet figyelembevételével, vagyis a $q=K\Delta\Delta w$ képlet segítségével határozhatjuk meg. Ezt a számítást a III. táblázat adatainak felhasználásával elvégeztük, és azt találtuk, hogy a (6) elmozdulásrendszernek megfelelő teherfüggvények:

$$q_A=\quad 192\ p$$

$$q_B=\quad 1920\ p[4-3(\xi^2+\eta^2)-(\xi^3-3\xi\eta^2)], \qquad (7a\ldots e)$$

$$q_C=\quad 1920\ p[\quad 3(\xi^2+\eta^2)+(\xi^3-3\xi\eta^2)],$$

$$q_D=\quad 16124\ p[\quad 8(\xi^2+\eta^2)\qquad -(\xi^2+\eta^2)^2],$$

$$q_E=151200\ p[\ -20(\xi^2+\eta^2)\qquad -(\xi^2+\eta^2)(\xi^3-3\xi\eta^2)].$$

4. GYAKORLATI FELADATOK

Az alábbiakban két egyszerű feladat elvileg pontos megoldását mutatjuk be és egy olyan eljárást ismertetünk, amely bizonyos esetekben lehetőséget nyújt több feladat közelítő megoldására, ha egy másik feladat numerikus megoldása kellő pontossággal ismeretes.

4a) Egyenletesen megoszló teher esete

A $q = q_0 = \text{konst}$ teherrel terhelt lemeznek a szakirodalomból [1—3] ismert elmozdulásfüggvénye a (6a) és (7a) képletek felhasználásával oly módon állítható elő, hogy e képletekben p tényezőül a

$$p = \frac{q_0}{192}$$

értéket vezetjük be. Ebben az esetben ui. a q_A teherérték a figyelembe veendő q_0 teherrel válik azonossá, a (6a) alatti w_A függvény pedig a keresett w_0 függvénnyé alakul:

$$w_0 = (-4e_1 + e_2)\frac{q_0 a^4}{192 K}.$$

Ez a képlet az I. táblázatban szereplő elemi függvények behelyettesítésével így írható:

$$w_0 = (\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4)(\xi^2 + \eta^2 - 4)\frac{q_0 a^4}{192 K}. \tag{8}$$

A lemez középpontjában

$$w_0 = \frac{q_0 a^4}{12 K}.$$

A (8) képlettel számolva a 2. ábrán feltüntetett hálózat 6, 7, 8, 10 és 11 jelű pontjaiban rendre az alábbi elmozdulásértékek adódnak:

$$w_0 = (4{,}696\,655,\ 3{,}501\,892,\ 1{,}606\,750,\ 7{,}786\,560,\ 6{,}591\,797)\frac{q_0 a^4}{100 K}.$$

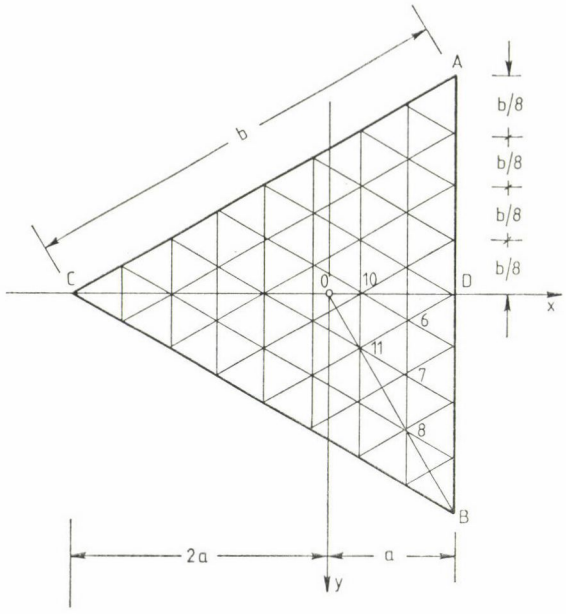
Ha a lemez anyagának Poisson-tényezőjét $0{,}1\dot{6}$ értékűnek vesszük és tekintettel vagyunk az (1a) összefüggésre, az előbbi w_0 értékeket így is kifejezhetjük:

$$w_0 = (0{,}380\,52,\ 0{,}283\,72,\ 0{,}130\,18,\ 0{,}630\,86,\ 0{,}534\,06)\frac{q_0 b^4}{100 Eh^3}.$$

Az utóbbi értékekkel szemben Bareš-féle táblázatban [7] differenciaszámítással meghatározott alábbi közelítő w_0 értékek szerepelnek:

$$w_0 = (0{,}40\,053,\ 0{,}300\,41,\ 0{,}14\,019,\ 0{,}66\,089,\ 0{,}56\,075)\frac{q_0 b^4}{100 Eh^3}.$$

Mint látható, a Bareš-féle értékek mintegy 5%-kal haladják meg az elméleti úton számított értékeket. Fokozottabb pontosság a differenciahálózat osztáskörének sűrítésével érhető el.



2. ábra. A csomópontok számozása

4b) A közép felé növekvő teher esete

Az alábbiakban olyan teherrendszerrel foglalkozunk, amelynek intenzitása a

$$q = -\frac{q_1}{4}(\xi^3 - 3\xi\eta^2 + 3\xi^2 + 3\eta^2 - 4), \quad q_1 = \text{konst}$$

képlettel fejezhető ki. Ennek a teherrendszernek az értéke a lemez peremén zérus, innét a középpont felé haladva fokozatosan növekvő. A lemez középpontjában $q = q_1$.

A szóban forgó terhelési eset, miként a $4a$ eset is, annyiban különleges, hogy az általa előidézett elmozdulásokat leíró w_1 függvény zárt alakban állítható elő. Ehhez a (6b) és (7b) alatti képletek használhatók fel, ha bennük p tényezőül a

$$p = \frac{q_1}{7680}$$

értéket választjuk. Ebben az esetben ui. a (7b) alatti q_B függvény a tárgyalandó q teherfüggvénnyel válik azonossá, a (8b) alatti w_B elmozdulásfüggvény pedig a keresett w_1 elmozdulásfüggvénybe megy át:

$$w_1 = (-112e_1 + 36e_2 - 2e_3 - 3e_4)\frac{q_1 a^4}{7680\,K}.$$

A w_1 függvény értéke a 2. ábrán szereplő hálózat 6, 7, 8, 10, 11 jelű csomópontjaiban rendre

$$w_1 = (3{,}201\,527,\ 2{,}297\,152,\ 0{,}975\,058,\ 5{,}427\,997,\ 4{,}523\,640)\frac{q_1 a^4}{100\,K}.$$

A lemez középpontjában

$$w_1 = 5{,}833\,333\,\frac{q_1 a^4}{100\,K}.$$

4c) Egyéb terhelési esetek

A szabályos háromszög alakú lemez elmozdulásfüggvénye a gyakorlatban szóba jövő terhelési esetek közül csak a 4a. és 4b. pontokban tárgyalt esetekben, valamint ezek kombinációi révén fejezhető ki zárt alakban. Egyéb terhelési esetekben csak inverz úton lehet zárt képletekhez jutni, nevezetesen így lehet adott elmozdulásfüggvényekhez a nekik megfelelő terhelésfüggvényt zárt alakban előállítani.

Adott terhelésfüggvény esetében az elmozdulásértékek közelítő meghatározására általában numerikus módszerhez kell folyamodni. Erre a célra igen alkalmas a véges differenciák módszere a Marcus-féle fogalmazásban [5, 6]. Vannak azonban esetek, amelyekben más megoldások ismeretében differenciaszámítás nélkül is módunkban áll az elmozdulásfüggvény közelítő meghatározása. Ilyen esettel van dolgunk pl. amikor, a

$$q = q_2(\xi^2 + \eta^2),\ q_2 = \text{konst}$$

terhelésfüggvénynek megfelelő $w_2(\xi, \eta)$ elmozdulásértékek ismertek. Ilyenkor a

$$q = q_3(\xi^3 - 3\xi\eta^2), \qquad q_3 = \text{konst},$$

$$q = q_4(\xi^2 + \eta^2)^2, \qquad q_4 = \text{konst},$$

$$q = q_5(\xi^2 + \eta^2)(\xi^3 - 3\xi\eta^2),\ q_5 = \text{konst}$$

terhelési eseteknek megfelelő w_3, w_4, w_5 elmozdulásértékek a (7c), (7d), (7e) képletek felhasználásával könnyű szerrel előállíthatók. Az eljárás pontossága nagymértékben függ azonban attól, hogy a w_2 értékek mily mértékben pontosak, mert a w_2 értékek hibái a számítás során sokszorosan (a 7c. esetben 3-szoros, a 7d. esetben 8-szoros, a 7e. esetben 20-szoros értékkel) jutnak érvényre.

Az alkalmazott eljárást a $q = q_4(\xi^2 + \eta^2)^2$ terhelési esetben mutatjuk be. Ha a (6d) és (7d) képletekben p tényezőül a

$$p = -\frac{q_4}{16128} \qquad (q_4 = \text{konst})$$

értéket választjuk, a (7d) teherfüggvény

$$q_D = -8q_4(\xi^2 + \eta^2) + q_4(\xi^2 + \eta^2)^2$$

alakba megy át. Ez a kifejezés két részre bontható:

$$q_D = q_D^* + q_D^{**},$$

ahol

$$q_D^* = -8q_4(\xi^2 + \eta^2), \quad q_D^{**} = q_4(\xi^2 + \eta^2)^2,$$

és ennek megfelelően két tag összegének fogható fel a w_D kifejezés is:

$$w_D = w_D^* + w_D^{**}. \tag{9}$$

Az itt szereplő két tag közül w_D^* a q_D^* teherrésznek megfelelő elmozdulásrész, mely w_2 ismeretében egyszerű arányosítással határozható meg,

$$w_D^* = -\frac{q_4}{q_2} w_2, \tag{10}$$

w_D^{**} pedig a q_D^{**} teherrendszernek megfelelő elmozdulás, ami a keresett w_4 elmozdulással azonos. Így a (9) képlet alapján a

$$w_4 = w_D^{**} = w_D - w_D^*,$$

ahol w_D a (6d) képlet szerint, w_D^* pedig a (12) képlet szerint veendő számításba.

Ismételten hangsúlyozzuk, hogy a vázolt számító eljárás pontossága nagymértékben függ attól, hogy a w_2 elmozdulásértékek minő pontossággal ismertek. A fordított út viszont igen pontos eredményre vezet, vagyis a w_4 értékeket ismerve, igen jó közelítéssel következtethetünk a w_2 függvény értékeire.

IRODALOM

1. Girkmann, K.: Flächentragwerke. Einführung in die Elastostatik der Scheiben, Platten, Schalen und Faltwerke. 5. Aufl. Springer-Verlag, Wien 1959, pp. 236—237.
2. L'Hermite: Resistance des Matériaux, Théorique et expérimentale. Tome I. Théorie de l'Élasticité et des Structures élastiques. Dunod, Paris 1954, pp. 552—553.
3. Timoshenko, S.—Goodier, J. N.: Theory of Elasticity. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York—Toronto—London 1951, pp. 331—332.
4. Szilard, R.: Theory and Analysis of Plates. Classical and Numerical Methods. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
5. Marcus, H.: Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung elastischer Platten. *Armierter Beton* **12** (1919), pp. 107—112, 129—135, 164—170, 181—190, 219—229, 245—250.
6. Marcus, H.: Die Theorie elastischer Gewebe und ihre Anwendung auf die Berechnung biegsamer Platten. Springer, Berlin 1924.
7. Bareš, R.: Berechnungstafeln für Platten und Wandscheiben. Tables for the Analysis of Plates, Slabs and Diaphragms based on the Elastic Theory. Bauverlag GmbH. Berlin—Macdonald and Evans Ltd. Estover, Plymouth, 3. Edition, pp. 480.

Dr. DULÁCSKA ENDRE, a műszaki tudomány doktora

A HÉJAK STABILITÁSVIZSGÁLATÁHOZ ALKALMAZANDÓ BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ

1. BEVEZETÉS

A [1] alatti dolgozatban röviden foglalkoztunk a vasbetonhéjakhoz ajánlott biztonsági tényezővel. Azt ígértük, hogy később egy külön dolgozatban e kérdéskört részletesebben meg fogjuk vizsgálni. Mostani dolgozatunkkal kívánjuk ezt az ígéretet beváltani.

Azt, hogy egy szerkezet megfelelően biztonságos legyen, sokféleképpen elérhetjük: lehet egységes biztonsági tényezőt és lehet osztott biztonsági tényezőt alkalmazni. Ezenkívül a biztonsági szint is különböző lehet. Az egyes országok általában különböző módon és szinten szabják meg a biztonságot.

Jelen dolgozatban a héjak stabilitási problémakörében egységes biztonsági tényező alkalmazását ajánljuk, amely különböző a rugalmas horpadásra, és a horpadás nélküli törésre, de összevonható közös biztonsági tényezővé. A biztonsági tényezők értékeit a magyar MSz és a német DIN, valamint a CEB és az amerikai ACI ajánlások szellemében vizsgáljuk.

Végül pedig a megépült, és sok év óta álló héjkupolák számított biztonságát összehasonlítjuk a javasolt biztonsági tényezőkkel.

2. A BIZTONSÁGI TÉNYEZŐ MEGHATÁROZÁSÁNAK ELVEI

A kritikus teherrel szemben meglevő biztonságot determináló, általunk választandó

$$\gamma = \frac{p_{cr}}{p} \tag{1}$$

biztonsági tényezőnek függenie kell:

- a kritikus teher számításához felhasznált elmélet pontosságától,
- a héj tönkremenetelének hirtelen vagy fokozatosan bekövetkező jellegétől (eső, emelkedő vagy állandó kritikuson túli teherbírás),
- az elméleti modell és a tényleges héj közötti
  - anyagminőség-,
  - anyagjellemző-,
  - teherérték-,
  - méret- és
  - alakeltérésektől,
- e hatások szórásától és a hatások és szórások egyidejűségétől,
- és végül a tönkremenetellel szemben vállalt kockázattól.

A felsorolt hatások másképp jelentkeznek a $p_{cr,el}$ rugalmas kritikus teher, és megint másképp az adott kezdeti külpontossághoz tartozó p_{pl} képlékeny

törőteher meghatározása során. A kezdeti hullámosság miatti görbületi sugár változásának egyrészt más hatása a $p_{cr,el}^{\text{felső}}$ rugalmas kritikus teher értékére, és más a p_{pl} képlékeny törőteher értékére, mert pl. a tökéletes gömbnél a rugalmas kritikus teher képletében $1/R^2$, a törőteher képletében viszont $1/R$ szerepel, ugyanis $p_{pl} = 2n_{pl}/R$. Másrészt a [2] dolgozatunk szerint a képlékeny teherbírás a w elmozdulás függvényében mindig eső jellegű, míg a kritikuson túli rugalmas teherbírás lehet emelkedő jellegű is, mint pl. a hiperbolikus paraboloid torznégyszög héjak esetében [3].

E körülmények miatt a rugalmas kritikus teherhez γ_{el} biztonsági tényező, a képlékeny törőteherhez pedig γ_{pl} biztonsági tényező adódik. Ezekkel a héj $p_{cr,H}$ kritikus határterhét pl. a [2] szerint *Dunkerley* ellipszis formula felhasználásával a következőképpen írhatjuk:

$$\left(\frac{p_{cr,H} \cdot \gamma_{el}}{p_{cr,el}^{\text{felső}}}\right)^2 + \left(\frac{p_{cr,H} \cdot \gamma_{pl}}{p_{pl}}\right)^2 = 1. \tag{2}$$

Ebből $p_{cr,H}$ értékét kifejezve:

$$p_{cr,H} = \frac{p_{cr,el}^{\text{felső}}}{\gamma_{el}} \sqrt{\frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma_{pl}}{\gamma_{el}} \cdot \frac{p_{cr,el}^{\text{felső}}}{p_{pl}}\right)^2}}, \tag{3}$$

a *Dunkerley* parabola formulával pedig

$$\frac{p_{cr,H} \cdot \gamma_{el}}{p_{cr,el}^{\text{felső}}} + \left(\frac{p_{cr,H} \cdot \gamma_{pl}}{p_{pl}}\right)^2 = 1, \tag{4}$$

és ebből:

$$p_{cr,H} = \frac{p_{cr,el}^{\text{felső}}}{\gamma_{el}} \left[\sqrt{\frac{1}{4} A^4 + A^2} - \frac{1}{2} A^2\right], \tag{5}$$

ahol

$$A = \frac{\gamma_{el}}{\gamma_{pl}} \cdot \frac{p_{pl}}{p_{cr,el}^{\text{felső}}}.$$

A fenti kifejezésekben $p_{cr,el}^{\text{felső}}$ a rugalmasnak tekintett héjnak az adott vagy felvett w_0 kezdeti hullámosság mellett érvényes felső, azaz átpattanási kritikus terhét jelenti, melyet vasbetonszerkezet esetében a repedések és az alkalmazott vasalás figyelembevételével kell meghatározni, w_0 pedig hullámossági amplitúdóértékek közepes értéke [1].

Ha az egyszerűség kedvéért közös $\gamma_{el,pl}$ biztonsági tényezőt kívánunk használni, akkor azt is megtehetjük, de az csak bizonyos közelítésekkel fog átmenetet biztosítani a horpadás nélküli törésvizsgálathoz.

A héj stabilitási biztonságát a legegyszerűbben úgy lehet a kellő szinten tartani, ha minden hatásból a legkedvezőtlenebb szélső értéket vesszük, ezekkel határozzuk meg a kritikus terhet, és ezt csökkentjük a biztonsági tényezővel. Ezt a módszert a részbiztonságok összeszorzásának nevezhetjük. Az eljárás feltétlenül biztonságos, de gazdaságtalan, mert nem veszi figyelembe, hogy a különböző adatok legkedvezőtlenebb értékei általában nem egyszerre lépnek fel.

A másik lehetőség a valószínűségelmélet teljes vagy részleges (ill. közelítő) alkalmazása [4], [5], [6]. Dolgozatunkban ezt fogjuk alkalmazni. A valószínűségelméleti értékelést ellenőrizni kell a gyakorlati adatokból számítható biztonsággal. Ugyanis a valószínűségelméleti módszerek tömeges események esetében nyújtanak megfelelő eredményeket, márpedig a héjak stabilitási tönkremenetele távolról sem tekinthető tömeges eseménynek, mert rendeltetésük szerint a héjszerkezeteknek megfelelő biztonsággal kell rendelkezniük. Ezért az anyagminőségek és modellkísérletek valószínűségelméleti értékelésén túl az egyes szükséges paraméterek felvételében bizonyos becslésekre kényszerülünk.

A becslés útján felvett adatok helyességét a meghatározott biztonsági tényező és a megépült, sok év óta hibátlanul álló szerkezetek adataiból számítható biztonság egybevetésével kell ellenőriznünk.

A valószínűségelmélet alkalmazása során fel fogjuk tételezni, hogy az egyes változók függetlenek, így egydimenziós eloszlással dolgozhatunk, és alkalmazhatjuk a szórásnégyzetek összeadási szabályát. Ebből egyben az is következik, hogy az eredő szórás kisebb, mintha az egyik változó szórását kihagynánk az eredő szórás számításából, és külön adnánk hozzá. Így pl. ha v_R az eredő relatív szórás, akkor

$$v_1 + \sqrt{v_2^2 + v_3^2} \geq \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + v_3^2} = v_R .$$

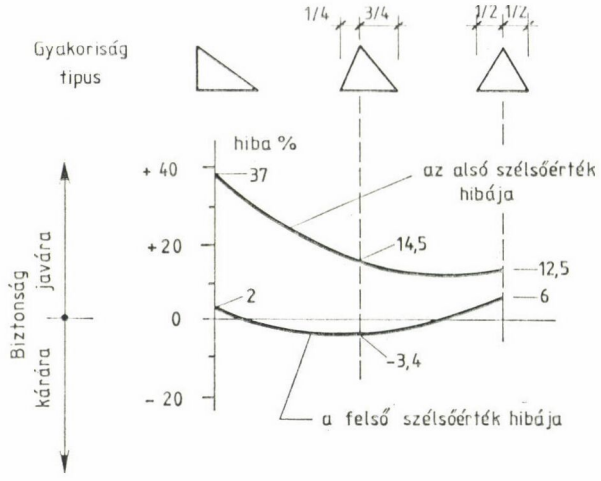
Ezt a szabályt követjük az anyagjellemzők meghatározásában, ugyanis a szilárdsági középértékből a saját szórásával az egyes előírások minősítési, ill. névleges értéket számítottak bizonyos gyakoriság figyelembevételével, alsó szélső-értékként. A stabilitási vizsgálatnál ezt a minősítési szilárdságot és az ebből következő anyagjellemzőket alkalmazzuk. Vizsgálatunkban az ezen túlmenő véletlen eltéréseket fogjuk felhasználni, melyek már biztosan függetlenek egymástól.

Az egyes változók eloszlására feltesszük, hogy egycsúcsúak, és ferdeségük elhanyagolható. Ezek után normál-eloszlással helyettesíthetők.

Ez a legdurvább közelítést a meteorológiai (hó, szél) terheknél jelenti, de a terhek mértékadó értékeit az előírások meghatározzák, és ezekben az eloszlás ferdeségét jól-rosszul figyelembe veszik. Itt csak felhasználjuk a már meghatározott adatokat.

Azt, hogy a normáleloszlás hogyan közelít valamely ferde eloszlást, egy durva ellenőrzéssel vizsgáljuk meg. Vegyük fel a gyakorisági függvényt háromszögnek, melynek a nagyobb függvényértékek irányában van ferdesége. Határozzuk meg ennek a 2,5%-os túllépési valószínűséghez tartozó alsó és felső szélsőértékét, és határozzuk meg ugyanezeket a normáleloszlásra vonatkozó összefüggésből. Ebből megláthatjuk, hogy a normáleloszlás feltételezése milyen közelítést jelent. Az eredményt az 1. ábrán tüntettük föl. Látható, hogy a felső szélsőérték (terhek) alkalmazása esetén a hiba elhanyagolhatóan kicsi, az alsó szélsőértékek (ellenállások) esetében ugyan nagyobb, de mindig a biztonság oldalán van. A valószínűségelmélet központi határeloszlás tételéből pedig ismeretes, hogy több nem normális eloszlás együttes eloszlása rohamosan közeledik a normális eloszláshoz. Így a normáleloszlást megnyugodva alkalmazhatjuk.

A fentiek után a kritikus tehernek a méretezéshez felhasználandó küszöbértékét lényegében úgy kapjuk, hogy a kísérleti eredmények középértékéből, ill. a számított középértékű kritikus teherből levonjuk az eredő szórás α-szorosát. Itt α a vállalt kockázathoz tartozó *quantilis*től függő számérték. A megálla-



1. ábra. Az eloszlás ferdesége okozta hiba

podás szerinti 2,5%-os quantilishez elegendően sok minta esetén $\alpha = 2{,}0$ vehető.

Így a biztonsági tényezőt a

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \alpha v_R} \tag{6}$$

kifejezéssel számíthatjuk. Itt γ_0 az a biztonsági érték, mely a számításba nem vett járulékos hatásokat és a kisebb számítási hibákat hivatott egyensúlyozni, valamint azt, hogy a biztonságnak a minősítési szintnél magasabb szinten megkívánt értéke miatt a terhek és teherbírások előírt gyakorisághoz tartozó felső, ill. alsó küszöbértékeit el kell tolni egymástól. E részbiztonságok vektoriális összegezéséből a magyar szabványban $\gamma_0 = 1{,}1$, az ACI és CEB ajánlásban $\gamma_0 = 1{,}12$ ill. $1{,}16$ adódik, a DIN-ben pedig $\gamma_0 = 1{,}25$, mint ahogyan ezt a későbbiekben látni fogjuk. Közelítő modell vagy közelítő számítás esetén γ_0 értékét növelni kell.

Rugalmas horpadás esetében a v_R relatív szórás a szórásnégyzetek összeadási szabálya alapján a következő kifejezésből számítható:

$$v_R^{el} = \sqrt{v_{\text{teher}}^2 + v_E^2 + v_\varphi^2 + v_{cr}^2}\,. \tag{7}$$

Itt:

v_{teher} az átlagos teher relatív szórása;

v_E a betonanyagú, ill. műanyag héjak kritikus terhének relatív szórása az E rugalmassági tényezőnek a minősítési szilárdság határán túlmenő szóródása figyelembevételével. Mivel a kritikus teher lineárisan arányos E-vel, az tulajdonképpen a rugalmassági tényező relatív szórása;

v_φ a kritikus teher relatív szórása a héj anyagának φ kúszási tényezője szóródásának a hatására;

v_{cr} a kritikus teher relatív szórása a w_0 hullámossági szóródás okozta R görbületi sugár megváltozása hatására.

3. A SZÓRÁSOK BECSLÉSE

a) *A teher v_{teher} relatív szórásának és a szerkezettörés v_{pl} relatív szórásának becslése*

Horpadás nélküli törés esetében a v_R eredő relatív szórás a következő:

$$v_R^{pl} = \sqrt{v_{\text{teher}}^2 + v_{pl}^2}. \tag{8}$$

Itt v_{pl} a törőteher relatív szórása.

Ezek után a magyar szabvány [7] adataiból, ill. szellemében meghatározzuk az egyes relatív szórásértékeket.

A vékony betonszerkezetek állandó terhének biztonsági szorzója $\gamma_{\text{áll}} = 1{,}2$, az esetleges teher biztonsági szorzója pedig $\gamma_{\text{esetl.}} = 1{,}3$-ra vehető. Átlagosan a teher biztonsági szorzójának a kettő átlagát vehetjük, azaz $\gamma_{\text{teher}} = 1{,}25$-öt. A teher biztonsági tényezőjére felírható, hogy

$$\gamma_{\text{teher}} = \frac{1}{1 - 2v_{\text{teher}}} = 1{,}25.$$

Innen kifejezve az átlagos teher relatív szórására

$$v_{\text{teher}} = 0{,}1 \tag{9}$$

értéket kapunk.

Az acélanyag biztonsági tényezője $\gamma_{\text{acél}} = 1{,}2$-re, a betonanyagé pedig $\gamma_{\text{beton}} = 1{,}4$-re vehető. (Ez a közepes szilárdság és a névleges ill. minősítési szilárdság hányadosa.) Mivel a szerkezetek tönkremenetele elsősorban az acéltól függ, az átlagos anyag-biztonsági szorzót az acélához közelebb, $\gamma_{\text{anyag}} = 1{,}25$-re vehetjük.

Az anyagszilárdság biztonsági tényezőre felírható, hogy

$$\gamma_{\text{anyag}} = \frac{1}{1 - 2 \cdot v_{pl}} = 1{,}25.$$

Az anyagszilárdság és ezen keresztül a szerkezettörés relatív szórása ebből:

$$v_{pl} = 0{,}1. \tag{10}$$

A horpadás nélküli törésre alkalmazva a (6) formulát:

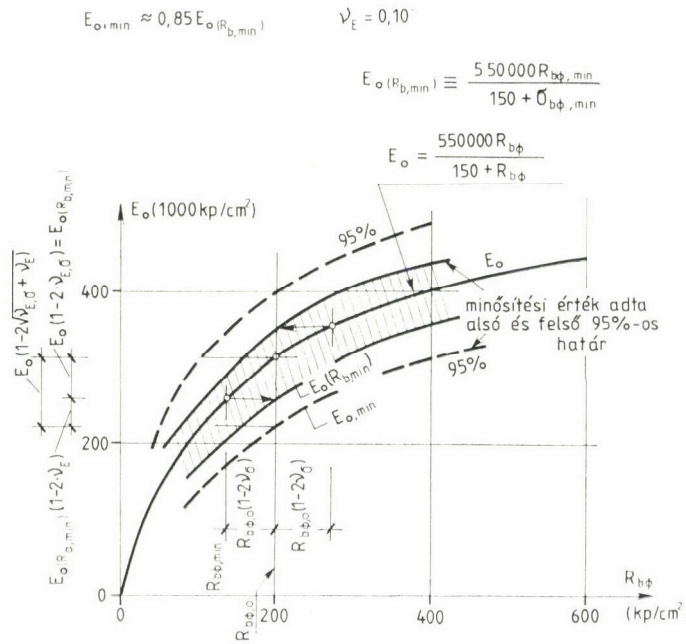
$$\gamma_{pl} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{v_{\text{teher}}^2 + v_{pl}^2}} = \gamma_{\text{anyag}} \cdot \gamma_{\text{teher}} = 1{,}35.$$

Innen γ_0-ra a következőt kapjuk:

$$\gamma_0 = 1{,}1. \tag{11}$$

b) *A rugalmassági tényező v_E többletszórásának becslése*

A v_E relatív szórás becsléséhez az EMPA [11] mérési adatait használjuk. Ezek során több ezer adatot dolgoztak föl, és ezeken alapulnak a rugalmassági tényező számítására alkalmazott képletek is. A határgörbéket és a felhasználandó adatokat a 2. ábrán láthatjuk.



2. ábra. A rugalmassági tényező szórása okozta kritikus teher többletszórás becslése

A magyar előírások [7] szerint a beton $K_{\min}$ minősítési szilárdsága az átlagos B szilárdság 70%-a. Felírható, hogy

$$\gamma_{\text{beton}} = \frac{1}{1 - 2 \cdot \nu_{\text{beton}}} = \frac{1}{0,7} \approx 1,4 .$$

Innen $\nu_{\text{beton}} = 0,15$ adódik.

Ennek figyelembevételével a hengerszilárdság $R_{b\varnothing}$ minősítési értéke és $R_{b\varnothing,\text{átl}}$ átlagértéke közötti összefüggés is hasonló: $R_{b\varnothing} = 0,7\ R_{b\varnothing,\text{átl}}$.

Ebből az E_0-nak a 2. ábrán adott képleteiből az ábrán látható módon kiszámítható és felrajzolható $E_{0(Rb\varnothing)}$ görbéje.

Ezek után az ábra adataiból lemérve:

$$\frac{E_{0(Rb\varnothing)}}{E_0} 0,86 = 1 - 2 \cdot \nu_{E,\sigma} .$$

Innen $\nu_{E,\sigma} = 0,07$.

Az ábrából az is lemérhető, hogy

$$\frac{E_{0,\min}}{E_0} \approx 0,75 = 1 - 2\sqrt{\nu_{E,\sigma}^2 + \nu_E^2} .$$

Innen a ν_E többletszórásra:

$$\nu_E = \sqrt{\left(\frac{1 - 0,75}{2}\right)^2 - 0,07^2} = 0,104 \approx 0,1 \qquad (12)$$

értéket kapunk.

c) A v_φ kúszási szórás becslése

Vandepitte és társai a betonkúszásnak a héjkupolák kritikus terhére való befolyása kimutatására nagyszámú kísérletet végeztek [12]. A kúszó modelleknél $v_{\varphi,\,\mathrm{exp}} = 0{,}20$ relatív szórást észleltek, a kúszás nélküli gyorskísérleteknél pedig átlagosan

$$v_{\mathrm{exp}} = \frac{0{,}150 + 0{,}085}{2} \approx 0{,}12$$ értékű relatív szórást regisztráltak.

Felírható, hogy

$$v_{\varphi,\,\mathrm{exp}} = \sqrt{v_{\mathrm{exp}}^2 + v_\varphi^2}.$$

Innen

$$v_\varphi = \sqrt{v_{\varphi,\,\mathrm{exp}}^2 - v_{\mathrm{exp}}^2} = \sqrt{0{,}20^2 - 0{,}12^2} \approx 0{,}16. \tag{13}$$

d) A rugalmas horpadás v_{cr} relatív szórásának becslése

A henger- és gömbhéjakra több kutató végzett stabilitásvizsgálati kísérletet fémből készült modelleken. Korábban értékeltük a kísérleteket és $v_{\mathrm{exp}} = 0{,}30$ szórást kaptunk [13]. Felülvizsgálva az eredményeket, megállapítottuk, hogy ez az eredmény irreálisan magas. Ennek az az oka, hogy a szórásba beszámítottuk az olyan nagy R/h (görbületi sugár/héjvastagság) arányú héjak eredményeit is, amelyek a gyakorlatban biztosan nem fordulnak elő, és a szórást a teljes R/h tartomány átlagértékéhez viszonyítva számítottuk, és ezért a kritikus erő R/h-val változó trendje is szórásként jelentkezett.

Úgy véljük, hogy a gyakorlatban a héjaknál $R/h > 1300$ már nem fordulhat elő. Ezenkívül az $R/h < 300$ esetben a képlékenység csökkenti a kritikus terhet. Ezt a kísérleti adatok hiányos volta miatt nem tudjuk értékelni és így a kísérleti értékek szisztematikus eltérése is szórásként jelentkezik. Ezért az új értékelésnél a következőképp jártunk el.

Az $R/h = 300—1300$ szakaszon értékeltük a kísérleteket, mégpedig úgy, hogy az összes kísérlet

$$\frac{p_{cr,\,el}^{\text{felső}}}{p_{cr}^{\mathrm{lin}}} = \varrho_{\mathrm{hom}} = \frac{1}{1 + \dfrac{\sqrt{3}\,R/h}{1000}}$$

regressziós görbéjének értékeivel osztottuk a kísérleti értékeket.

(Itt p_{cr}^{lin} a héjnak a „klasszikus" lineáris horpadáselmélettel meghatározható kritikus terhe.)

Az így kapott (*1,0* körüli) értékeknek számítottuk a szórását, mégpedig az egyes kutatók eredményeit külön-külön, és csak a *10*-nél nagyobb darabszámú kísérleteket értékeltük. Az így kapott szórásértékek közül a legnagyobbat tekintjük mértékadónak. Az összeállítást az I. táblázatban láthatjuk.

Így végül is a táblázati adatoknak megfelelően $v_{cr} = 0{,}23$ relatív szórást veszünk figyelembe.

I. táblázat

A héj modellkísérletek szórása

Héj modell fajta	Irodalom	Név	Modell db	R/h	v_{cr} rel. szórás
Hengerhéjak	[13]	Lundquist	29	650 – 900	0,172
		Weingarten – Morgan Seide	24	500 – 1000	0,226
		Kanemitsu – Nojima	19	760 – 1250	0,210
		Harris – Sver – Skene – Benjamin	20	400 – 800	0,192
Kupolahéjak	[13]	Little	23	500 – 800	0,113
		Seaman	20	500 – 1200	0,203
		Klöppel – Jungbluth	35	300 – 1300	0,234

e) A héj kritikus terhe viszonylag magas v_{cr} relatív szórásának oka

A modellhéjaknál a h vastagság, az E rugalmassági tényező és a szilárdság mért adataiból számított kritikus terhet hasonlítják össze a kísérlet során nyert kritikus teherértékekkel. Mivel ezek az adatok ténylegesen mért adatok, szórásuk viszonylag kicsi, és ez nem indokolja a kritikus teher nagy szórását. Jelen vizsgálatban el is hanyagoljuk e szórásokat. A kezdeti hullámosság viszont az R görbületi sugarat befolyásolja, mégpedig az

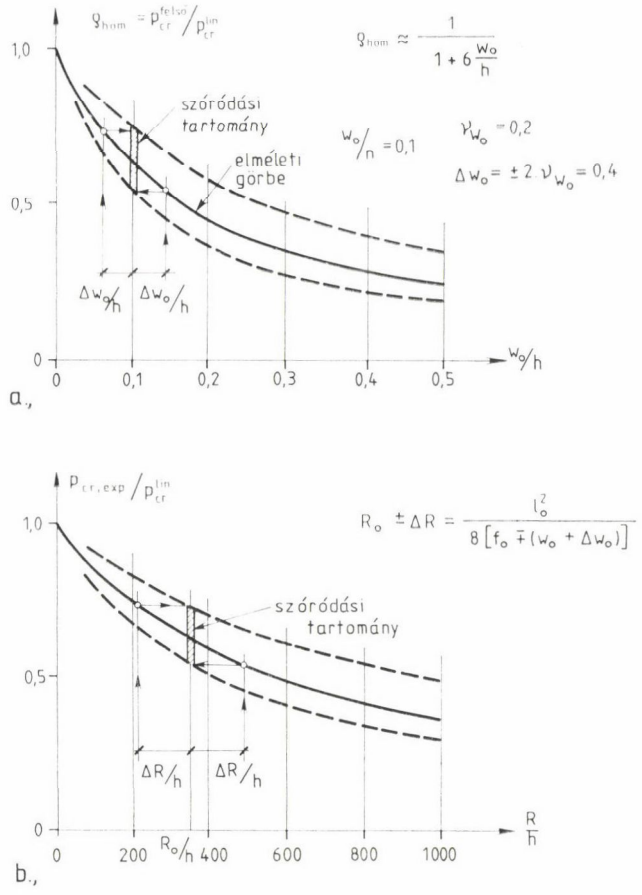
$$R = \frac{l_0^2}{8(f_0 \pm w_0)}$$

összefüggés szerint. Itt l_0 a horpadási hullámhossz, f_0 pedig R_0 terv szerinti görbületi sugárból az l_0 hosszon számított nyílmagasság, és w_0 a kezdeti hullámosság maximális amplitúdója.

A különböző elméleti vizsgálatok értékeléséből látható, hogy f_0 kisebb a héjvastagságnál. Így a $w_0 = h$ már síkpontot jelenthet a héjon. Az elméleti vizsgálatok szerint a kritikus teher alig függ a hullámosság hullámhosszától, de lényegesen függ w_0-tól. Ezért most csak w_0 hatását vizsgáljuk.

A 3a ábrán felrajzoltuk az elméleti eredményeket megközelítő ϱ_{hom} görbét. Ha w_0 eltér a kalkulált értéktől, azaz szóródik, a görbén jobbra-balra elcsúszunk Δw_0 értékkel. Így kisebb, ill. nagyobb w_0 lehetséges, és ennek megfelelően nagyobb, ill. kisebb kritikus teher. De természetesen ezt az eredeti w_0-hoz értelmezzük, és visszavetítjük a w_0-nak megfelelő függőlegesre. Azon pedig a kritikus teher eltérése mint szórás jelentkezik.

Hasonló a helyzet a kísérletek értékelésénél is, amikor a kritikus terhet R/h függvényében mérik föl. Itt a w_0 az R görbületi sugár ΔR értékkel való megváltozását okozza, és ez a kritikus teher megváltozásával jár. Ez a megváltozás az eredeti R_0 függőlegesben értelmezve a kritikus teher szóródását eredményezi.



3. ábra. Miképp okozza a hullámosság szóródása a kritikus teher szóródását

4. AZ ESŐ POSZTKRITIKUS TEHERBÍRÁSÚ HÉJAK BIZTONSÁGI TÉNYEZŐI

a) A biztonsági tényezők javasolt értékei

A biztonsági tényező számításához felhasználandó adatok az előzőkből: $\gamma_0 = 1{,}1$; $\alpha = 2{,}0$; $\nu_{\text{teher}} = 0{,}1$; $\nu_{pl} = 0{,}1$; $\nu_{\varphi} = 0{,}16$; $\nu_{cr} = 0{,}23$.
A horpadás nélküli törés biztonsági tényezője a (6) és (8) képletek figyelembevételével beton- és fémhéjakra:

$$\gamma_{pl} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_{pl}^2}} = 1{,}55. \tag{15}$$

A rugalmas horpadás biztonsági tényezője pedig a (6) és (7) összefüggésekből betonanyagú héjak esetében:

$$\gamma_{el}^{\text{beton}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_E^2 + \nu_\varphi^2 + \nu_{cr}^2}} = 2{,}955 \approx 3{,}0. \tag{16}$$

Fémanyagú héjak esetében $\nu_\varphi = \nu_E \approx 0$ vehető. Így fémhéjakra

$$\gamma_{el}^{\text{fém}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_{cr}^2}} = 2{,}207 \approx 2{,}2. \tag{17}$$

Ha nem akarjuk szétválasztani a képlékeny és a rugalmas biztonsági tényezőket, és közös biztonsági tényezőt akarunk használni, akkor a gyökjel alatt szerepeltetnünk kell a ν_{pl}^2 és ν_{cr}^2 értékeit is, de oly mértékben csökkentve, amilyen mértékben részt vesznek a rugalmas-képlékeny horpadásban.

Ha a képlékeny kritikus teherre alkalmazható Dunkerley-ellipszisbe beírjuk ν_{pl} és ν_{el} értékeit, és ezt egyenlővé tesszük a másik oldalon egy olyan *Dunkerley*-ellipszis formulával, melybe a $\gamma_{el,\,pl}$ van beírva, akkor kifejezhetjük $\gamma_{el,\,pl}$-t.

$$\gamma_{el,\,pl} = \gamma_{el}\sqrt{\frac{(\gamma_{pl}/\gamma_{il})^2 + (p_{pl}/p_{cr.\,el})^2}{1 + (p_{pl}/p_{cr,\,el})^2}}. \tag{18}$$

Ha közelítésképpen feltételezzük, hogy $p_{pl}/p_{cr,\,el} \approx p_p/p_{cr}^{\text{lin}}$, akkor a közös biztonsági tényezőre a

$$\gamma_{el,\,pl} \approx \gamma_{el}\sqrt{\frac{(\gamma_{pl}/\gamma_{el})^2 + (p_p/p_{cr}^{\text{lin}})^2}{1 + (p_p/p_{cr}^{\text{lin}})^2}} \tag{19}$$

kifejezést kapjuk. Ennek néhány értéke a II. táblázatban található. Itt p_p a p_{pl}-nek a $w_0 = 0$ esetében a szilárdságból számított teherbírási értéke.

A biztonsági tényezőt növelnünk kell,

— ha a felhasznált elmélet közelítő,

— ha a számítási modell nem egyezik meg a tényleges szerkezettel,

— ha az anyagjellemzők adatai nem megbízhatóak.

b) A biztonsági tényezők értékei a DIN szellemében

A DIN [8] előírás a stabilitás vesztés veszélye nélküli szerkezetekre $\gamma_{pl} = 1{,}75$ biztonsági tényezőt ad meg. A teherbírást a névleges szilárdságból számítja, ami nagyjából megfelel a magyar minősítési szilárdságnak. $\nu_{pl} = 0{,}1$ és $\nu_{\text{teher}} = 0{,}1$ esetében

$$\gamma_{pl} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_{pl}^2}} = 1{,}75, \tag{20}$$

és innen $\gamma_0 = 1{,}25$ adódik.

A rugalmas horpadás biztonsági tényezője betonanyagú héjak esetén:

$$\gamma_{el}^{\text{beton}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_E^2 + \nu_\varphi^2 + \nu_{cr}^2}} = \frac{1{,}25}{1 - 2\sqrt{0{,}1^2 + 0{,}1^2 + 0{,}16^2 + 0{,}23^2}} =$$

$$= 3{,}357 \approx 3{,}4. \tag{21}$$

Az IASS-ajánlás [14] ezt a biztonsági szintet fogadta el a vasbeton héjak horpadásvizsgálatához, mert $\gamma_{pl} = 1{,}75$ és $\gamma_{el} = 3{,}5$-öt ad.

Fémanyagú héjak esetében $\nu_\varphi = \nu_E \approx 0$ figyelembevételével

$$\gamma_{el}^{\text{fém}} = \frac{1{,}25}{1 - 2\sqrt{0{,}1^2 + 0{,}23^2}} = 2{,}508 \approx 2{,}50\,. \tag{17}$$

A közös törési-horpadási $\gamma_{el,\,pl}$ biztonsági tényezőre a (19) kifejezésből számított értékeket a II. táblázatban láthatjuk.

II. táblázat

A közös horpadás-törési $\gamma_{el,\,pl}$ biztonsági tényező

A héj anyaga	Javaslat		DIN szellemében (CEB)		ACI szellemében	
	Beton	Fém	Beton	Fém	Beton	Fém
$p_{pl}/p_{cr}^{\text{lin}} = 0$	1,50	1,50	1,75	1,75	2,10	2,10
0,5	1,90	1,70	2,18	1,92	2,23	2,10
1,0	2,35	1,90	2,70	2,16	2,98	2,42
2,0	2,75	1,97	3,14	2,37	3,40	2,59
∞	3,00	2,20	3,40	2,50	3,65	2,70

c) A biztonsági tényezők a CEB ajánlás szellemében

A CEB ajánlás [9] szerint $\gamma_{\text{acél}} = 1{,}15$, $\gamma_{\text{beton}} = 1{,}50$, és felvehető, hogy $\gamma_{\text{anyag}} = 1{,}25$. Ebből $\nu_{pl} = 0{,}1$ érték adódik. A terhekre $\gamma_{\text{állandó}} = 1{,}35$ és $\gamma_{\text{esetleges}} = 1{,}5$ szerepel az ajánlásban. Ezekből $\gamma_{\text{teher}} = 1{,}4$ vehető közepes értéknek, ebből pedig a $\nu_{\text{teher}} = 0{,}15$ értéket kapjuk. Ezek után

$$\gamma_{pl} = \gamma_{\text{anyag}} \cdot \gamma_{\text{teher}} = 1{,}25 \cdot 1{,}4 = 1{,}75. \tag{22}$$

Felírható, hogy

$$\gamma_{pl} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_{pl}^2}} = 1{,}75,$$

és ebből $\gamma_0 = 1{,}12$-t kapunk. A rugalmas horpadás biztonsági tényezője betonanyagú héjak esetében:

$$\gamma_{el}^{\text{beton}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_E^2 + \nu_\varphi^2 + \nu_{cr}^2}} = \frac{1{,}12}{1 - 2\sqrt{0{,}15^2 + 0{,}1^2 + 0{,}16^2 + 0{,}23^2}} =$$

$$= 3{,}36 \approx 3{,}4. \tag{23}$$

Fémanyagú héjak esetében pedig a $\nu_\varphi = \nu_E \approx 0$ felvétellel:

$$\gamma_{el}^{\text{fém}} = \frac{1{,}12}{1 - 2\sqrt{0{,}15^2 + 0{,}23^2}} = 2{,}48. \tag{24}$$

Tehát a CEB elvei szerint kapott biztonsági tényezők lényegében megegyeznek a DIN elvei szerint számítottakkal.

d) A biztonsági tényezők az ACI ajánlás (USA) szellemében

Az ACI ajánlás [10] szerint $\gamma_{\text{állandó}} = 1{,}4$; $\gamma_{\text{esetleges}} = 1{,}7$. Ezekből $\gamma_{\text{teher}} \approx$ $\approx 1{,}5$ vehető, melyből $\nu_{\text{teher}} = 0{,}167$ teherszórást kapunk. Külpontos nyomás esetében $\gamma_{\text{anyag}} = 1{,}4$, és ebből a $\nu_{\text{anyag}} = 0{,}15$ érték számítható.

A képlékeny törés biztonsági tényezője:

$$\gamma_{pl} = 1{,}5 \cdot 1{,}4 = 2{,}1. \tag{25}$$

Felírható, hogy

$$\gamma_{pl} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{anyag}}^2 + \nu_{\text{teher}}^2}} = 2{,}1,$$

és innen a $\gamma_0 = 1{,}16$ értéket kapjuk.

Ezek után a rugalmas horpadás biztonsági tényezője betonanyagú héjak esetében:

$$\gamma_{el}^{\text{beton}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\sqrt{\nu_{\text{teher}}^2 + \nu_E^2 + \nu_\varphi^2 + \nu_{cr}^2}} =$$

$$= \frac{1{,}16}{1 - 2\sqrt{0{,}167^2 + 0{,}1^2 + 0{,}16^2 + 0{,}23^2}} = 3{,}65, \tag{26}$$

fémanyagú héjak esetében pedig a $\nu_\varphi = \nu_E \approx 0$ helyettesítéssel:

$$\gamma_{el}^{\text{fém}} = \frac{1{,}16}{1 - 2\sqrt{0{,}167^2 + 0{,}23^2}} = 2{,}688 \approx 2{,}7. \tag{27}$$

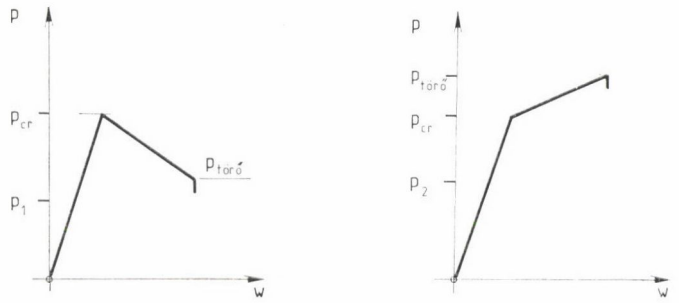
A $\gamma_{el,\,pl}$ törési-horpadási közös biztonsági tényezőre a (19) képletből számított értékeket a II. táblázatban szemléltetjük.

5. A KRITIKUSON TÚL EMELKEDŐ ÉS ÁLLANDÓ TEHERBÍRÁSÚ HÉJAK BIZTONSÁGI TÉNYEZŐJE

Ha a héj tönkremenetelével szemben minden esetben azonos biztonságot kívánunk meg, akkor a kritikus teherrel szemben különböző biztonsági tényezőt kell alkalmaznunk a kritikuson túl eső, ill. emelkedő teherbírású héjak esetében. Ennek lényegében az az oka, hogy az emelkedő teherbírás esetén nem a kritikus teher, hanem a törőteher jellemzi a tönkremenetelt. Ezt vázlatosan a 4. ábrán mutatjuk be, ahol az eső, ill. emelkedő teherbírást linearizálva, egy változó hajlásszögű egyenessel reprezentáljuk, és eltekintünk a kétféle jellegű tönkremenetel különböző szórásától.

Az ábrán bemutatott módon az emelkedő teherbírású szerkezetre

$$\gamma_2 = \frac{p_{cr}}{p_{\text{törő}}}\,\gamma_1,$$



4. ábra Az eső és az emelkedő teherbírás

ahol γ_1 az eső jellegű teherbírásra meghatározott biztonsági tényező. Miután az emelkedő teherbírást éppen a $p_{cr}/p_{törő} < 1$ jellemzi, ilyen esetekben $\gamma_2 < \gamma_1$ kell hogy legyen. Így nyilvánvaló, hogy más biztonsági tényező indokolt az eső teherbírású, és más az állandó vagy emelkedő kritikuson túli teherbírású szerkezetek esetében. A javaslat szerint való vizsgálatot tartva szem előtt:

$$\gamma_0 = 1{,}1;\ \alpha = 2{,}0;\ \nu_{\text{teher}} = 0{,}1;\ \nu_{pl} = 0{,}1;\ \nu_E = 0{,}1;\ \nu_\varphi = 0{,}16,$$

és az állandó teherbírású rudakra vonatkozó kísérletek elemzéséből

$$\nu_{cr} = \nu_{\text{exp}} = 0{,}18.$$

Ezekből betonhéjakra $\nu_R = 0{,}28$, fémhéjakra pedig $\nu_R = 0{,}23$ adódik, a biztonsági tényező pedig (az *el* index elhagyásával)

$$\gamma^{\text{beton}}_{\text{állandó}} = \frac{\gamma_0}{1 - 2\,\nu_R} = \frac{1{,}1}{1 - 2 \cdot 0{,}28} = 2{,}5, \tag{28}$$

$$\gamma^{\text{fém}}_{\text{állandó}} = \frac{1{,}1}{1 - 2 \cdot 0{,}23} \approx 2{,}05. \tag{29}$$

A DIN szellemében végzett vizsgálat esetén:

$$\gamma^{\text{beton}}_{\text{állandó}} \approx 2{,}85, \qquad \gamma^{\text{fém}}_{\text{állandó}} \approx 2{,}30,$$

a CEB szintű vizsgálatnál

$$\gamma^{\text{beton}}_{\text{állandó}} = 2{,}80, \qquad \gamma^{\text{fém}}_{\text{állandó}} = 2{,}10.$$

az ACI jellegű vizsgálatnál pedig

$$\gamma^{\text{beton}}_{\text{állandó}} = 3{,}05, \qquad \gamma^{\text{fém}}_{\text{állandó}} = 2{,}28.$$

Olyan héjak esetében, melyeknek kritikuson túli teherbírásuk eső ugyan, de az esés kisebb, mint az axiálisan nyomott hengernél és a radiálisan terhelt gömbnél, egy olyan $\gamma_{\text{közbenső}}$ biztonsági tényező indokolt, mely a $\gamma_{\text{eső}}$ és $\gamma_{\text{állandó}}$ között van. Ezt közelítően a $\varrho_{\text{hom}} = p^{\text{felső}}_{cr}/p^{\text{lin}}_{cr}$ tényező $w_0/h = 0{,}5$ helyen érvényes, az eső teherbírás meredekségére jellemző $\varrho_{\text{hom}(0,5)}$ értéke segítségével a következő interpolációs formulával közelíthetjük meg:

$$\gamma_{\text{közbenső}} = \gamma_{\text{állandó}} + (\gamma_{\text{eső}} - \gamma_{\text{állandó}}) \frac{1 - \varrho_{\text{hom}(0,5)}}{0{,}75}. \tag{30}$$

Tájékoztatásul megemlítjük, hogy radiális külső nyomással terhelt gömb és axiálisan nyomott henger esetében $\varrho_{\text{hom}(0,5)} = 0{,}25$, míg radiális külső nyomással terhelt igen hosszú henger esetében $\varrho_{\text{hom}(0,5)} = 1{,}00$.

Behelyettesítve az értékeket a különböző $\varrho_{\text{hom}(0,5)}$-höz és a különböző előírások szellemében végzett vizsgálatok szerint az III. táblázatbeli biztonsági tényezőket kapjuk.

Érdemes megfigyelnünk, hogy az eső teherbírású héjak rugalmas horpadására körülbelül kétszer akkora szükséges biztonság adódott, mint a stabilitásvesztés nélküli törésre.

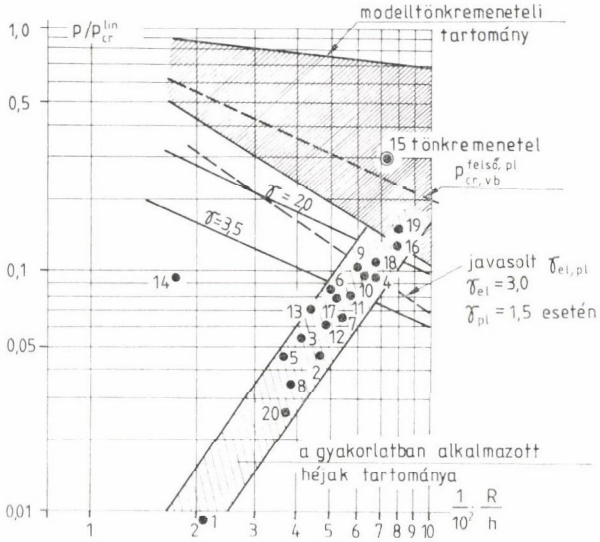
III. táblázat

A közbenső biztonsági tényezők értékei

		$\gamma_{el,\text{ közbenső}}$				γ_{pl}
	$\varrho_{\text{hom}(0,5)} =$	0,25	0,50	0,75	1,00	
Beton- és vasbeton-héjra	javaslat [1]	3,00	2,83	2,67	2,50	1,55
	DIN szellemében	3,40	3,22	3,03	2,85	1,75
	CEB szellemében	3,40	3,20	3,00	2,80	1,75
	ACI szellemében	3,65	3,45	3,25	3,05	2,10
Fémhéjra	javaslat	2,20	2,15	2,10	2,05	1,55
	DIN szellemében	2,50	2,43	2,37	2,30	1,75
	CEB szellemében	2,48	2,36	2,23	2,10	1,75
	ACI szellemében	2,70	2,56	2,42	2,28	2,10

6. ÖSSZEHASONLÍTÁS MEGÉPÜLT NAGYMÉRETŰ KUPOLÁKKAL

Egy sereg megépült nagyméretű vasbeton kupola kritikus terhét kiszámítottuk az [1]-ben ismertetett eljárással, és összehasonlítottuk a tényleges terhekkel. Az összehasonlítás az 5. ábrán látható. Úgy véljük, az ábra tanúsága alapján, hogy a [1] szerinti eljárással számítva a kritikus terhet, a biztonsági tényezőnek a javasolt $\gamma_{el} = 3{,}0$ érték körüli felvétele, mely $R/h = 500$ esetében $\gamma_{el,\,pl} \approx 2{,}4$ körüli értéket ad, az eddigi gyakorlatnak megfelelő biztonságot szolgáltat. A kétszeres biztonság alatt három héj található. Egy ezek közül valóban kihorpadt, a másik kettő pedig rendkívül karcsú. Az is kiolvasható az ábrából, hogy az $R/h < 500$ karcsúságú elliptikus héjak nagy valószínűség



1. Jena, Németország
2. Jena, Németország
3. Matsuyuma, Japán
4. Ingoviskosa Művek, NSZK
5. Hilling, USA
6. Hamburg, Németország
7. Windward, USA
8. Wales, Nagybritannia
9. Albuquerque, USA
10. Belgrád, Jugoszlávia
11. Belgrád, Jugoszlávia
12. Algeciras, Spanyolország
13. Novoszibirszk, SZU
14. Róma, Olaszország
15. Gödöllő, Magyarország
16. Tessaloniki, Görögország
17. Puerto Rico, USA
18. Cleadon, Nagybritannia
19. Lyon, Franciaország
20. Massachusetts, USA

5. ábra. Megépült kupolák biztonságának összehasonlítása a javaslattal

szerint meg fognak felelni stabilitási szempontból. A nyúlásmentes alakváltozásra hajlamos hiperbolikus felületek esetében ez az arány lényegesen kisebb is lehet, mert pl. a tönkrement Ferrybridge-i hűtőtornyok karcsúsága $R/h \approx$ ≈ 200 körül volt.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozatban a héjak stabilitás vizsgálatához szükséges biztonsági tényező kérdésével foglalkoztunk.

A valószínűség-elmélet közelítő alkalmazásával javaslatot adtunk a rugalmas horpadás, és a törés vizsgálatnál alkalmazandó biztonsági tényezőkre, és az egyszerűsített vizsgálat lehetősége céljából a közös biztonsági tényezőre. A biztonsági tényezők értékeit a különböző előírások szellemében is értékeltük. A közös biztonsági tényezőre horpadás nélküli törés esetében $\gamma_{pl} = 1{,}5$, míg tiszta rugalmas horpadásra eső teherbírású beton és vasbetonhéjra $\gamma_{el}^{beton} = 3{,}00$, fémhéjra pedig $\gamma_{el}^{fém} = 2{,}2$ biztonsági tényezőt javasoltunk.

IRODALOM

[1] Dulácska, E.: Explanation of the chapter on stability of the „Recommendations for reinforced concrete shells and folded plates" and a proposal to its improvement. IASS Bulletin. No 77 (1982). pp. 3—18.

[2] Dulácska, E.: Buckling of Elastic-Plastic Shells. IASS Bulletin. No 68 (1979) pp. 15—20.

[3] Kollár, L.—Dulácska, E.: Buckling of Shells. Whiley (1983) London.

[4] Korn, G. A.—Korn, Th, M.: Mathematical Handbook for Scientist and Engineers. 2. Ed. Mc.Graw-Hill, New York.

[5] Burington, R. S.—May, D. C.: Handbook of Probability and Statistic. 2. ed. McGraw-Hill, New York (1967).

[6] Sicherheit von Betonbauten. Beitrage zur Arbeitstagung Berlin 7/8 Mai. (1973). Deutscher Beton-Verein E. V. Wiesbaden.

[7] MSz 15022/1.: Vasbetonszerkezetek. Magyar Szabványügyi Hivatal (1971) Budapest.

[8] DIN 1045.: Bestimmungen für Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton. Deutscher Betonverein (1972) Wiesbaden.

[9] CEB-FIP: Model Code for Concrete Structures. CEB-FIP International Recommendation 3 rd. Ed. (1978).

[10] ACI-Standard 318: Building Code Requirement for Reinforced Concrete. American Concrete Institut. (1977) Detroit-Michigan.

[11] Rôs, M.: Die materialtechnischen Grundlagen und Probleme des Eisenbetons im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung der Stahlbeton-Bauweise. EMPA Berich, No. 162 (1950).

[12] Vandepitte, D.—Rathé, J.—Weymeis, G.: Experimental Investigations into the Buckling and Creep Buckling of Shallow Spherical Caps-subjected to Uniform Radial Pressure. Proceedings IASS World Congress, Vol. 1. Madrid, Spain (1979) 1.1—1.15.

[13] Kollár, L.—Dulácska, E.: Schalenbeulung. Theorie und Ergebnisse der Stabilität gekrümmter Flächentragwerke. Werner V. (1975) Düsseldorf.

[14] IASS: Recommendations for Reinforced Concrete Schell and Folded Plates. (1979) Madrid.

Dr. GÁSPÁR ZSOLT, a műszaki tudomány kandidátusa

TÖKÉLETLENSÉGÉRZÉKENYSÉG KÖZELFEKVŐ KRITIKUS PONTOK ESETÉN

A dolgozat véges szabadságfokú (vagy azzal modellezett) szerkezet stabilitásvesztését vizsgálja. Feltételezi, hogy a teherparaméter két legkisebb kritikus értéke egyenlő vagy közel egyenlő. Olyan tökéletlenségek hatását is figyelembe veszi, mely a két kritikus érték távolságát is megváltoztatja.

A katasztrófaelmélet eredményeit felhasználva meghatározza azokat a tökéletlenségeket, melyek meglétekor a szerkezet egy előírt teherérték elérése előtt elveszti stabilitását.

1. BEVEZETÉS

A szerkezetek kritikus terhét jelentősen befolyásolhatják az elkerülhetetlen tökéletlenségek, ezért komoly erőfeszítések történtek hatásuk megbízható számítására. KOITER (1945) kidolgozta a rugalmas kontinuumok általános stabilitáselméletét, majd ezt THOMPSON és HUNT (1973) kiterjesztette diszkrét rendszerekre is. A számításhoz mindkét elmélet a szerkezet teljes potenciális energiájának függvényét használja fel.

A mérnöki gyakorlatban leggyakrabban előforduló esetekre (határpont; nemszimmetrikus elágazás, stabilis és labilis szimmetrikus elágazás) tökéletlenségérzékenységi felületeket határoztak meg, sőt HUNT (1978) a közelfekvő kritikus pontok esetével is foglalkozott. THOMPSON és HUNT (1975) mutatta ki a rugalmas stabilitás elméletének és a katasztrófaelméletnek a kapcsolatát. Ezek alapján, a katasztrófaelmélet eredményeit felhasználva GÁSPÁR (1983) bevezette a kritikus tökéletlenségi tartomány fogalmát, és a fenti esetekre meghatározta e tartományokat.

A kritikus tökéletlenségi tartományokat azok a tökéletlenségek alkotják, melyek hatására a kritikus teher egy előírt értéknél kisebb. E tartományoknak a tökéletlenség-érzékenységi felületekkel szemben két előnyös tulajdonságuk is van.

a) A tökéletlenségérzékenységi felületeket általában többértékű függvények írják le, így egy adott tökéletlenséghez tartozó legkisebb kritikus teher meghatározása nem könnyű feladat, ezzel szemben a kritikus tökéletlenségi tartományok közvetlenül megadják, hogy a tökéletlen szerkezet stabilitásvesztés nélkül elvisel-e egy előírt terhet vagy sem.

b) A kritikus tökéletlenségi tartományok eggyel kevesebb dimenziós térben ábrázolhatók.

A kritikus tökéletlenségi tartományok meghatározásához a következő lépések szükségesek.

a) Azoknak a transzformációknak a megkeresése, amelyek a szerkezet teljes potenciális energiájának függvényét a megfelelő katasztrófatípus kanonikus alakjába viszik.

b) A fenti transzformációkat behelyettesítve a katasztrófa elágazási halmazának egyenleteibe megkapjuk a tökéletlenségérzékenységi felületeket.

c) Meg kell határozni a tökéletlenségérzékenységi felületek szintvonalainak burkolóit.

d) Ki kell mutatni, hogy a kritikus tökéletlenségi tartományok határait mely szakaszokon alkotják a tökéletlenségérzékenységi felületek szintvonalai és melyeken a burkolók.

Ebben a dolgozatban először összefoglaljuk a katasztrófaelméletből felhasználandó ismereteket, majd bemutatjuk a fenti lépéseket az olyan potenciálfüggvények esetére is, melyeknek kétszeres kritikus pontjuk van, de a függvényben szerepel olyan tökéletlenség is, mely hatására e két kritikus pont szétválik. Kétszeres kritikus pont esetén a potenciálfüggvénynek általában elliptikus vagy hiperbolikus köldök típusú katasztrófapontja van. A dolgozatban mindkét esetet vizsgáljuk.

2. KATASZTRÓFAELMÉLETI ISMERETEK

Ebben a pontban Poston és Stewart (1978) nyomán bemutatjuk a vizsgált katasztrófatípusok egy-egy kanonikus alakját és a hozzájuk tartozó elágazási halmazt. A szétválasztási tétel kimondja, hogy ha egy n-változós függvény egy pontja katasztrófapont, akkor van olyan koordinátatranszformáció, mellyel a függvény (lokálisan) egy aktív és egy passzív részre választható. Az aktív rész nem függ a passzív koordinátáktól és tagjai az aktív koordinátákban legalább harmadfokúak. Az aktív rész magába foglalja a katasztrófa minden jellemzőjét. Az aktív rész az elliptikus és a hiperbolikus köldök típusú katasztrófa esetén is kétváltozós (x, y), és univerzális kinyitásukhoz három paraméter (a, b, c) szükséges. Az elliptikus köldök katasztrófa egy kanonikus alakja a következő:

$$f_E(x, y, a, b, c) = y^3 - 3x^2y + a(x^2 + y^2) + bx + cy\,. \tag{1}$$

Az elágazási halmazt a paramétertér azon pontjai alkotják, melyekhez tartozó (1) alakú függvénynek (esetleg más típusú, de) katasztrófapontja van. Az (a, b, c) térben az elágazási halmazt a θ paraméter felhasználásával az

$$a = a \tag{2}$$

$$b = \frac{a^2}{3}(\sin 2\theta - 2\cos\theta) \tag{3}$$

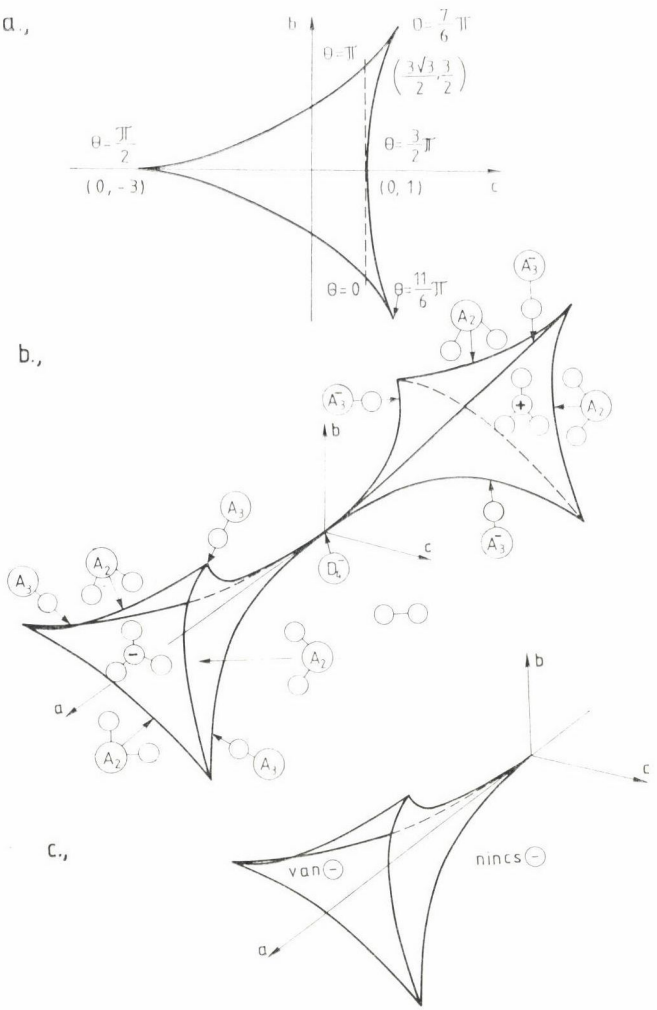
$$c = \frac{a^2}{3}(\cos 2\theta - 2\sin\theta) \tag{4}$$

egyenletek határozzák meg. E halmaz $a =$ konstans metszetei hasonlóak, mégpedig egy-egy háromágú hipociklois. Az $a = \sqrt{3}$ metszetet az 1/a. ábra mutatja, melyen feltüntettünk néhány jellemző ponthoz tartozó θ értéket is.

Az 1/b. ábra a teljes elágazási halmazt ábrázolja, bemutatva azt is, hogy az egyes paraméterhármasokhoz tartozó (1) alakú függvénynek milyen típusú stacionárius pontjai vannak. Ehhez (és a 2/b. ábrán is) a következő jelöléseket használjuk:

$\ominus$ minimumpont
$\bigcirc$ nyeregpont
$\oplus$ maximumpont
} nem katasztrófák

A_2 ránckatasztrófa
A_3 standard csúcskatasztrófa
A_3^- duális csúcskatasztrófa
D_4^- elliptikus köldök katasztrófa
D_4^+ hiperbolikus köldök katasztrófa



1. ábra. Elágazási halmaz az elliptikus köldök katasztrófánál

Az alkalmazásoknál általában azt kell kimutatni, hogy egy minimumpont mely paraméterértékek esetén szűnik meg. Ezeket a paraméterértékeket az 1/c. ábra mutatja (az elágazási halmaznak az a ≥ 0 feltételt teljesítő fele), hiszen e felület egyik oldalán levő pontokhoz tartozó paraméterekkel meghatározott függvénynek van lokális minimuma, a másik oldalán levő pontoknál pedig nincs minimumpont.

A hiperbolikus köldök katasztrófa egy kanonikus alakja a következő:

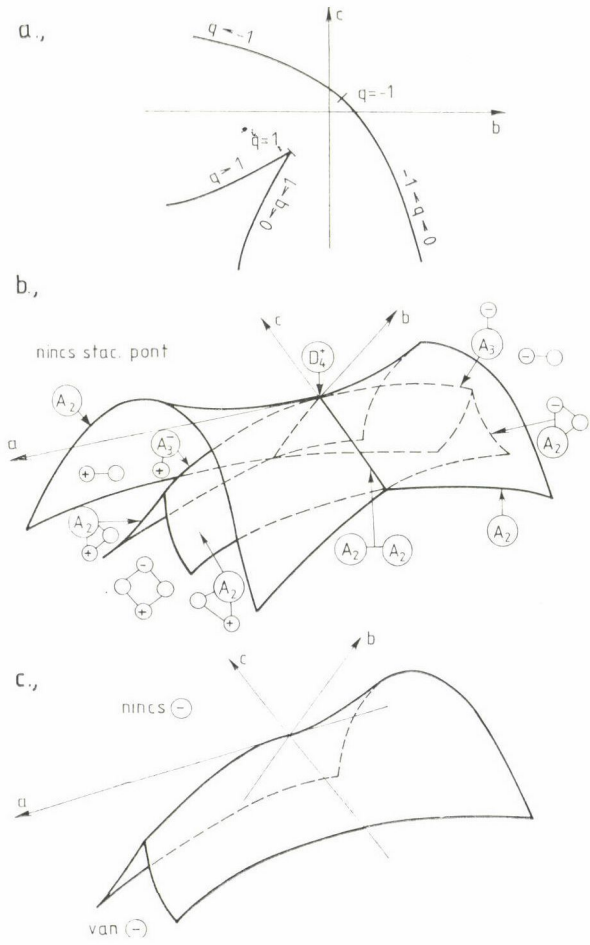
$$f_H(x,\ y,\ a,\ b,\ c) = x^3 + y^3 + axy + bx + cy. \tag{5}$$

Az elágazási halmazt a p és q paraméter felhasználásával az

$$a = 6p \tag{6}$$

$$b = -3p^2(2q^{-1} + q^2) \tag{7}$$

$$c = -3p^2(2q + q^{-2}) \tag{8}$$



2. ábra. Elágazási halmaz a hiperbolikus köldök katasztrófánál

egyenletek által meghatározott halmaz, valamint a b és c tengelyek negatív fele alkotja. E halmaz a = konstans (p = konstans) metszetei hasonlóak. Egy ilyen metszetet mutat a 2/a. ábra, melyen feltüntettünk néhány jellemző ponthoz tartozó q értéket is.

A 2/b. ábra a teljes elágazási halmazt ábrázolja, bemutatva azt is, hogy az egyes paraméterhármasokhoz tartozó (5) alakú függvénynek milyen típusú stacionárius pontjai vannak.

A 2/c. ábra azt a halmazt mutatja (az elágazási halmaznak a $pq \geq 0$ feltételt teljesítő felét), mely a paraméterteret két olyan részre bontja, mely közül az egyikben levő pontokhoz tartozó paraméterekkel meghatározott függvénynek van (pontosan egy) lokális minimuma, a másikban levő pontoknál pedig nincs minimumpont.

3. A POTENCIÁLIS ENERGIA FÜGGVÉNYE

Olyan rugalmas szerkezetekkel foglalkozunk, melynek állapotai n változóval jól jellemezhetők. A szerkezet terheiről feltételezzük, hogy azok konzervatívak. Feltételezzük továbbá, hogy a szerkezet teljes potenciális energiájának függvényét már szétválasztottuk az aktív és a passzív részre (például Poston és Stewart (1978) 160. oldalán megadott algoritmussal), és a továbbiakban csak az aktív résszel foglalkozunk. Hunt (1978) nyomán a következő (egyik koordinátájában szimmetrikus) alakot vizsgáljuk:

$$\hat{V} = c_1 \hat{v}^3 + c_2 \hat{u}^2 \hat{v} - \hat{\lambda}(c_3 \hat{u}^2 + c_4 \hat{v}^2) + \hat{\sigma}\hat{u}^2 + \hat{\varepsilon}_1 \hat{u} + \hat{\varepsilon}_2 \hat{v}, \tag{9}$$

melyben $\hat{u}$, $\hat{v}$ az aktív általánosított koordináták; $c_1 c_2 \neq 0$, $c_3 > 0$, $c_4 > 0$ konstansok; $\hat{\lambda}$ a teherparaméternek a kritikustól való eltérése; $\hat{\sigma}$, $\hat{\varepsilon}_1$ és $\hat{\varepsilon}_2$ a tökéletlenségek függvénye. A $\hat{\sigma}$ paraméter mutatja a két kritikus teher nagyságának eltérését, ezért szétválasztó paraméternek hívjuk.

Az egyszerűbb kezelhetőség kedvéért normalizáljuk a (9) függvényt. Az

$$\begin{aligned} \hat{u} &= c_1^{-1/3} c_3^{-1/2} c_4^{1/2} u \quad & \hat{v} &= c_1^{-1/3} v \\ \hat{\lambda} &= c_1^{2/3} c_4^{-1} \lambda & \hat{\sigma} &= c_1^{2/3} c_3 c_4^{-1} \sigma \\ \hat{\varepsilon}_1 &= c_1^{1/3} c_3^{1/2} c_4^{-1/2} \varepsilon_1 & \hat{\varepsilon}_2 &= c_1^{1/3} \varepsilon_2 \end{aligned} \tag{10}$$

transzformációk felhasználásával (9)

$$V(u, v, \lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2) = v^3 + \alpha A u^2 v - \lambda(u^2 + v^2) + \sigma u^2 + \varepsilon_1 u + \varepsilon_2 v \tag{11}$$

alakú lesz, ahol

$$A = | c_1^{-1} c_2 c_3^{-1} c_4 |$$
$$\alpha = \operatorname{sign}(c_1 c_2).$$

Ha $\alpha = -1$ (vagyis $c_1 c_2 < 0$), akkor a (9) függvénynek elliptikus köldök típusú katasztrófapontja van a $\hat{\lambda} = \hat{\sigma} = \hat{\varepsilon}_1 = \hat{\varepsilon}_2 = 0$ pontban, ha $\alpha = 1$ (vagyis $c_1 c_2 > 0$), akkor hiperbolikus köldök típusú katasztrófapontja van.

A következőkben először az elliptikus, majd a hiperbolikus köldök típusú katasztrófa esetén meghatározzuk a kritikus tökéletlenségi tartományokat.

Elliptikus köldök katasztrófa esetén (11)-ben $\alpha = -1$, tehát a vizsgálandó potenciálfüggvény

$$V_E(u, v, \lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2) = v^3 - Au^2 v - \lambda(u^2 + v^2) + \sigma u^2 + \varepsilon_1 u + \varepsilon_2 v \quad (12)$$

alakú.

a) *Ekvivalencia*

Az (1) és a (12) függvény ekvivalens, hiszen az

$$x = \sqrt{A/3}\, u$$

$$y = v + \frac{(3 - A)\lambda + A\sigma}{6A}$$

$$a = \frac{A\sigma - (A + 3)\lambda}{2A} \quad (13)$$

$$b = \sqrt{3/A}\, \varepsilon_1 \quad (14)$$

$$c = \varepsilon_2 + \frac{[(3 - A)\lambda + A\sigma][(A + 1)\lambda - A\sigma]}{4A^2} \quad (15)$$

transzformációkat felhasználva

$$f_E(x, y, a, b, c) = V(u, v, \lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2) + \gamma(\lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2)$$

adódik.

b) *Tökéletlenségérzékenységi felület*

Helyettesítsük be a (13), (14), (15) egyenleteket az elágazási halmazt meghatározó (3), (4) egyenletekbe. Ezeket rendezve

$$\varepsilon_1 = B\sqrt{A/3}\,(\sin 2\theta - 2\cos\theta) \quad (16)$$

$$\varepsilon_2 = C + B(\cos 2\theta - 2\sin\theta) \quad (17)$$

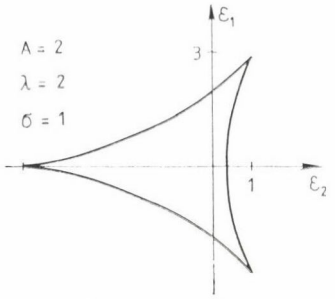
adódik, ahol

$$B = \frac{[(A + 3)\lambda - A\sigma]^2}{12A^2} \quad (18)$$

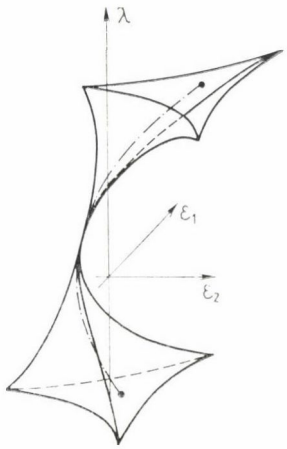
$$C = \frac{[(A - 3)\lambda - A\sigma][(A + 1)\lambda - A\sigma]}{4A^2} \quad (19)$$

(16) és (17) a θ paraméter segítségével a négydimenziós $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \sigma, \lambda)$ térben egy felületet határoz meg. A felület pontjai azokat az összetartozó tökéletlenségeket $(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \sigma)$ és teherparamétert (λ) adják meg, melynél a szerkezet potenciálfüggvényének katasztrófapontja van; tehát e felület egy tökéletlenségérzékenységi felület.

A négydimenziós térben fekvő felületet nem tudjuk ábrázolni, csak ha egy paraméterét különböző értékeknél rögzítjük. σ-t rögzítve egy olyan szerkezet tökéletlenségérzékenységi felületét kapjuk meg, amelynél a tökéletes szerkezet kritikus pontjai éppen a rögzített σ távolságra vannak egymástól. Ha λ-t is rögzítjük, akkor e felület szintvonalait kapjuk meg. Mivel ekkor B és C konstans (16) és (17) alapján könnyen megállapítható, hogy a szintvonalak az 1/a.



3. ábra. A tökéletlenségérzékenységi felület egy szintvonala



4. ábra. A tökéletlenségérzékenységi felület egy szintfelülete (σ = konst.)

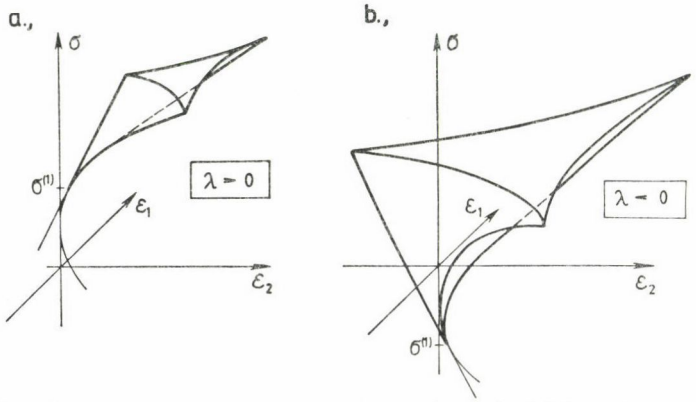
ábrán bemutatott háromágú hipocikloisnak az ε_1 tengely (b tengely) mentén lineárisan torzított és a ε_2 tengely (c tengely) mentén eltolt változatai. Példaként a 3. ábrán bemutatjuk az $A = 2$, $\lambda = 2$, $\sigma = 1$ értékekhez tartozó szintvonalat. Egy rögzített σ-hoz tartozó tökéletlenségérzékenységi felület (4. ábra) az 1/b. ábrán bemutatott felületnek egy torzított változata. Az eredetileg egyenes a tengely a (19) képletnek megfelelően egy, az $\varepsilon_2\lambda$ síkban fekvő, másodfokú parabola lesz. A hipociklois léptéke a (18) képlettel meghatározott másodfokú kifejezés szerint változik. A keresztmetszet nem ott zsugorodik ponttá, ahol a tengely ε_2 koordinátájának szélsőértéke van. Egy stabilis állapotból kiindulva a teherparaméter folyamatos változtatásával stabilitásvesztés az 1/c. ábrának megfelelően a 4. ábrán látható felület alsó felének elérésekor következik be.

c) *A burkoló*

Most a (16) és (17) egyenletben ne σ, hanem λ értékét rögzítsük. Az $a \geq 0$ feltételnek (13) alapján a

$$\sigma > \sigma^{(1)} = \frac{A+3}{A}\lambda \tag{20}$$

feltétel felel meg. Az e feltételnek is eleget tevő részt az 5. ábrán mutatjuk be egy pozitív és egy negatív λ esetén. Ha egy szerkezet olyan ε_1, ε_2, σ tökéletlenségű, melynek megfelelő pont egy λ_0 teherparaméterhez tartozó felület alatt fekszik, akkor a szerkezet a λ_0 teher elérése előtt elveszti stabilitását, tehát e felület alatti térrész biztosan a λ_0 teherparaméterhez tartozó kritikus tökéletlenségi tartomány része. Azonban előfordulhat, hogy egy λ_0-nál kisebb teher-



5. ábra. A tökéletlenségérzékenységi felület két szintfelülete (λ = konst.)

paraméterhez olyan felület tartozik, amely az előbbibe belemetsz. Tehát a kritikus tökéletlenségi tartomány az előbbinél nagyobb is lehet, így meg kell határoznunk a λ paramétertől függő felületsereg burkolóját.

Rögzített σ esetében különböző λ értékekhez (16) és (17) egy-egy görbét határoz meg. E görbék burkolójának a (16) és (17) egyenleten kívül a

$$\frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \lambda}\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \theta} - \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \theta}\frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \lambda} = 0 \tag{21}$$

egyenletet is teljesítenie kell. A deriválásokat elvégezve rendezés után az

$$(s-1)(2s+1)(2Ds + D - E) = 0 \tag{22}$$

egyenlethez jutunk, ahol

$$s = \sin\theta,$$

$$D = \frac{(A+3)\left[(A+3)\lambda - A\sigma\right]}{6A^2}$$

$$E = \frac{(A-3)(A+1)\lambda - A(A-1)\sigma}{2A^2}$$

(22) alapján megállapítható, hogy a (21) egyenlőség s következő értékei mellett teljesül:

$$s_1 = 1$$

$$s_2 = -1/2$$

$$s_3 = \frac{E + D}{2D} - 1 = \frac{2A^2(\lambda - \sigma)}{(A + 3)\,[(A + 3)\,\lambda - A\sigma]} - 1 \tag{23}$$

melyekből

$$\theta_i = \arcsin s_i \quad (i = 1,\ 2,\ 3)$$

számítható.

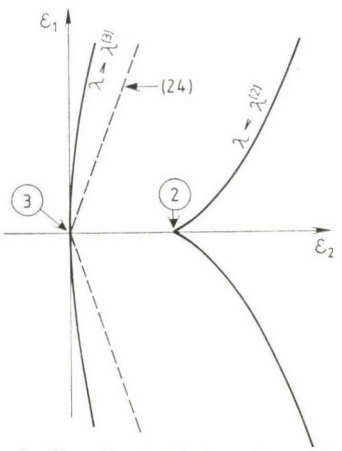
A $(0,2\pi)$ intervallumban θ_1 egyértelmű, és az 1/a. ábrán a b tengelyen fekvő csúcshoz tartozó $\theta_1 = \pi/2$ paramétert adja. s_2-ből két θ $(7\pi/6,\ 11\pi/6)$ számítható, melyek a másik két csúcshoz tartozó paraméterek. A szintvonalnak ezek a pontjai szinguláris pontok, így nem tartoznak a burkolóhoz.

θ_3 nem minden $(\lambda,\ \sigma)$ esetén értelmezhető. (23) vizsgálata alapján megállapítható, hogy az $(\alpha\lambda,\ \alpha\sigma)$ párhoz tartozó s_3 értéke független α értékétől. (18) és (19) alapján belátható, hogy ha egy $(\lambda,\ \sigma)$ párhoz B és C érték tartozik, akkor egy $(\alpha\lambda,\ \alpha\sigma)$ párhoz $\alpha^2 B$ és $\alpha^2 C$ tartozik. A fentiek szerint, valamint (16) és (17) alapján ha egy $(\lambda,\ \sigma)$ párhoz a burkolónak az $(\varepsilon_1,\ \varepsilon_2)$ pontja tartozik, akkor az $(\alpha\lambda,\ \alpha\sigma)$ párhoz az $(\alpha^2\varepsilon_1,\ \alpha^2\varepsilon_2)$ pont tartozik. Ezért a burkolók vizsgálatához elegendő egy $\sigma \neq 0$ és a $\sigma = 0$ metszet vizsgálata. (Ez utóbbi eset a két kritikus pont teljes egyezése; ezzel GÁSPÁR (1982) is foglalkozik.) A burkoló egy $\sigma > 0$ metszetét a 6. ábrán folytonos vonallal rajzolt görbék mutatják. Az ábrán megjelölt két kitüntetett pont jellemzői:

$$\lambda^{(2)} = \frac{A\sigma}{2A + 3},$$

$$\varepsilon_2^{(2)} = \frac{\sigma^2}{2A + 3},$$

$$\lambda^{(3)} = \sigma.$$



6. ábra. Burkológörbe ($\sigma > 0$)

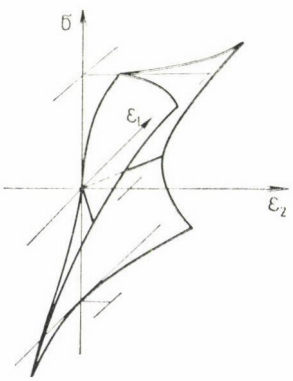
Az ábrán jeleztük azt is, hogy a burkolók egyes szakaszait milyen paraméterű szintvonalak érintik. A $\lambda^{(1)} < \lambda < \lambda^{(2)}$ paraméterhez tartozó szintvonalak nem érintik a burkolót. Ha $\sigma < 0$, akkor a relációjelek megfordulnak.

$\sigma = 0$ esetén a burkolók az origóból induló félegyenesekké fajulnak (6. ábra szaggatott vonalai), melyek egyenlete:

$$\varepsilon_2 = (2 + 3/A)^{-1/2} \mid \varepsilon_1 \mid. \tag{24}$$

(20) szerint egy rögzített σ esetén csak a

$$\lambda < \lambda^{(1)} = \frac{A}{A + 3}\,\sigma \tag{25}$$

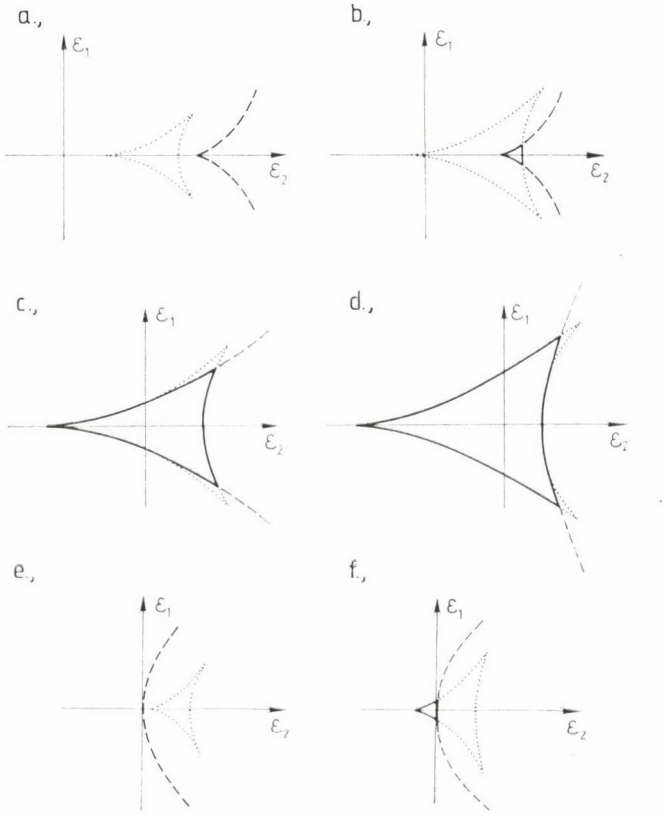


7. ábra. Burkolófelület

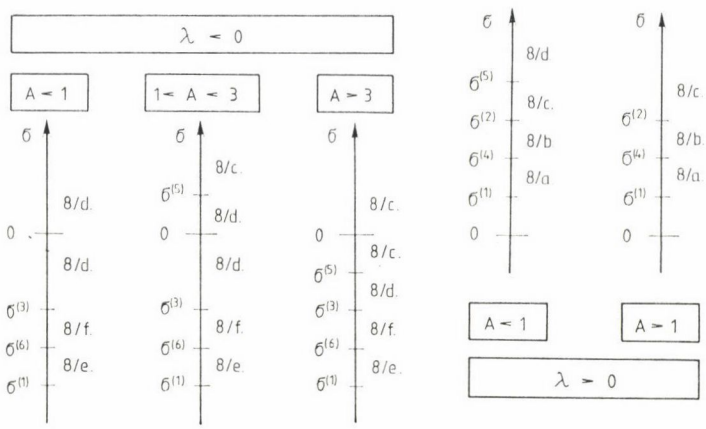
paraméterű szintvonalakat kell figyelembe vennünk, tehát $\sigma > 0$ esetén a 6. ábrán látható görbék közül csak a csúcsos részt, $\sigma < 0$ esetén csak az íves részt kapjuk meg. Az így kapott burkolófelület alakját a 7. ábra mutatja.

d) *A kritikus tökéletlenségi tartomány*

Egy λ_0 paraméterhez tartozó kritikus tökéletlenségi tartományt részben az 5. ábrán látható szintfelület, részben a 7. ábrán látható burkolófelület határol. A burkolófelületnél azonban el kell hagynunk a $\lambda > \lambda_0$ paraméterhez tartozó részeket, hiszen azok nem befolyásolhatják a náluk kisebb terhekhez tartozó egyensúlyi állapot stabilitási jellemzőit. A kritikus tökéletlenségi tartományt $\sigma =$ konst. metszeteivel jellemezzük. $\sigma < \sigma^{(1)}$ esetén természetesen a teljes $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ sík a tartományhoz tartozik. A többi metszet típusát a 8. ábra szemlélteti. Ezeken a kritikus tökéletlenségi tartomány határát vastag folytonos vonallal, a λ_0-hoz tartozó szintvonalnak a határhoz nem tartozó részét pontvonallal, a burkoló $\lambda < \lambda_0$ feltételnek eleget tevő részéből a határhoz nem tartozó szakasz elejét szaggatott vonallal rajzoltuk meg. A kritikus tökéletlenségi tartomány a határvonalon kívül fekvő terület.



8. ábra. A kritikus tökéletlenségi tartomány $\sigma =$ konst. metszeteinek típusai



9. ábra. A metszetek típusainak érvényességi tartományai

A 9. ábrán bemutatjuk, hogy λ és A különböző tartományaiban milyen σ értékhez melyik ábrán vázolt metszet tartozik. A típusok határai a

$$\sigma^{(1)} = \frac{A+3}{A}\lambda, \qquad \sigma^{(2)} = \frac{2A+3}{A}\lambda,$$

$$\sigma^{(3)} = \lambda, \qquad \sigma^{(4)} = \frac{\lambda}{1-[3/(2A+3)]^{1/2}},$$

$$\sigma^{(5)} = \frac{(A-3)(A+1)}{A(A-1)}\lambda, \qquad \sigma^{(6)} = \frac{2A+3}{2A}\lambda$$

képletekkel számíthatók. A 8/a. és 8/e. ábra azt mutatja, hogy $\lambda > 0$ esetén $\sigma^{(1)} < \sigma < \sigma^{(4)}$ határok között és $\lambda < 0$ esetén a $\sigma^{(1)} < \sigma < \sigma^{(6)}$ határok között is a teljes sík a kritikus tartományhoz tartozik.

5. HIPERBOLIKUS KÖLDÖK KATASZTRÓFA

Hiperbolikus köldök katasztrófa esetén (11)-ben $\alpha = 1$, tehát a vizsgálandó potenciálfüggvény:

$$V_H(u, v, \lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2) = v^3 + Au^2v - \lambda(u^2+v^2) + \sigma u^2 + \varepsilon_1 u + \varepsilon_2 v \quad (26)$$

alakú.

a) Ekvivalencia

Az (5) és a (26) függvény ekvivalens, hiszen az

$$x = 2^{-1/3}\left(v + \sqrt{\frac{A}{3}}\,u + \frac{3\sigma - (3+A)\lambda}{6A}\right)$$

$$y = 2^{-1/3}\left(v + \sqrt{\frac{A}{3}}\,u + \frac{3\sigma - (3+A)\lambda}{6A}\right)$$

$$a = 2^{-1/3}\frac{(3-A)\lambda - 3\sigma}{A} \quad (27)$$

$$b = 2^{-2/3}\left(\varepsilon_2 + \sqrt{\frac{3}{A}}\,\varepsilon_1 + \frac{[(3+A)\lambda - 3\sigma][(1-A)\lambda - \sigma]}{4A^2}\right) \quad (28)$$

$$c = 2^{-2/3}\left(\varepsilon_2 - \sqrt{\frac{3}{A}}\,\varepsilon_1 + \frac{[(3+A)\lambda - 3\sigma][(1-A)\lambda - \sigma]}{4A^2}\right) \quad (29)$$

transzformációkat felhasználva

$$f_H(x, y, a, b, c) = V_H(u, v, \lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2) + \gamma(\lambda, \sigma, \varepsilon_1, \varepsilon_2)$$

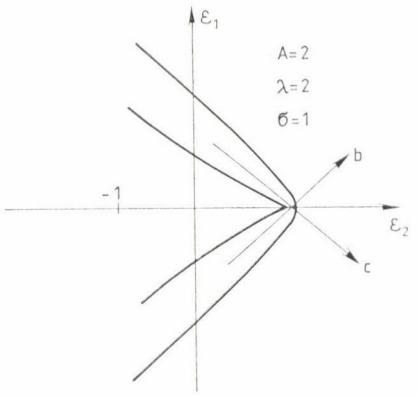
adódik.

b) Tökéletlenség-érzékenységi felület

Helyettesítsük be a (27), (28), (29) egyenleteket az elágazási halmazt meghatározó (6), (7), (8) egyenletekbe. A p paramétert kiküszöbölve és az egyenletet rendezve

$$\varepsilon_1 = B\sqrt{A/3}\,(-q^2 + 2q - 2q^{-1} + q^{-2}) \tag{30}$$

$$\varepsilon_2 = C - B(q^2 + 2q + 2q^{-1} + q^{-2}) \tag{31}$$



10. ábra. A tökéletlenségérzékenységi felület egy szintvonala

adódik, ahol

$$B = \frac{[(3 - A)\lambda - 3\sigma]^2}{24A^2} \tag{32}$$

$$C = \frac{[(3 + A)\lambda - 3\sigma][(A - 1)\lambda + \sigma)]}{4A^2}. \tag{33}$$

Az elliptikus köldökhöz hasonlóan itt is (30) és (31) a négydimenziós térben egy tökéletlenségérzékenységi felületet határoz meg.

Rögzített σ és λ esetén e felület szintvonalai adódnak. A szintvonalak a 2/a. ábrán bemutatott görbének elfordított, az ε_1 tengely mentén lineárisan torzított és az ε_2 tengely mentén eltolt változatai. A 10. ábra az $A = 2$, $\lambda = 2$, $\sigma = 1$ értékekhez tartozó szintvonalat mutatja (feltüntetve a korábbi b és c tengelyt is).

Egy rögzített σ-hoz tartozó tökéletlenségérzékenységi felület a 2/b. ábrán bemutatott felületnek egy torzított változata. Ilyen felületeket mutat be Hunt (1978) 8. és 9. ábrája.

c) A burkoló

Most a (30) és (31) egyenletben ne σ, hanem λ értékét rögzítsük. A 2/c. ábrán megmutattuk, hogy hiperbolikus köldök katasztrófa esetén az elágazási halmaznak csak a $pq \geq 0$ feltételt kielégítő fele határoz meg kritikus állapothoz

tartozó paramétereket. E feltétel (6) alapján $aq \geq 0$ alakban is írható. Így a 2/a. ábra, valamint (27) alapján megállapítható, hogy

$$\sigma < \sigma^{(1)} = \frac{3 - A}{3} \lambda \tag{34}$$

esetén csak a $q > 0$ paraméterű felet (csúcsos), $\sigma > \sigma^{(1)}$ esetén pedig csak a $q < 0$ paraméterű felet kell figyelembe venni.

A tökéletlenség-érzékenységi felület számunkra fontos részének egy $\lambda =$ konst. szintfelületét mutatja be a 11. ábra. (Az ábrán az origó helyzete A és λ függvénye.) Ha egy szerkezet olyan ε_1, ε_2, σ tökéletlenségű, melynek megfelelő pont egy λ_0 teherparaméterhez tartozó felülettől a $-\varepsilon_2$ tengely felé esik, akkor a szerkezet a λ_0 teher elérése előtt elveszti stabilitását, tehát e felülettől balra fekvő térrész biztosan a λ_0 teherparaméterhez tartozó kritikus tökéletlenségi tartomány része. Az elliptikus köldökhöz hasonlóan itt is határozzuk meg a felületsereg burkolóját.

Rögzített σ esetében különböző λ értékekhez (30) és (31) egy-egy görbét határoz meg. E görbék burkolójának a (30) és (31) egyenleten kívül a

$$\frac{\partial \varepsilon_1}{\partial \lambda} \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial q} - \frac{\partial \varepsilon_1}{\partial q} \frac{\partial \varepsilon_2}{\partial \lambda} = 0 \tag{35}$$

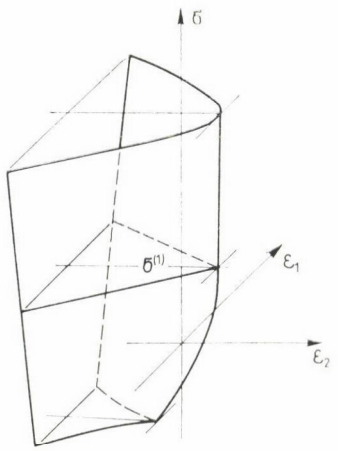
egyenletet is teljesítenie kell. A deriválásokat elvégezve rendezés után a

$$q^{-2}(1 - q^{-3})(1 - q)[Dq^2 + (D - E)q + D] = 0 \tag{36}$$

egyenlethez jutunk, ahol

$$D = \frac{(3 - A)\,[(3 - A)\,\lambda - 3\sigma]}{6A^2},$$

$$E = \frac{(3 + A)\,(A - 1)\,\lambda + (3 - A)\,\sigma}{2A^2}.$$



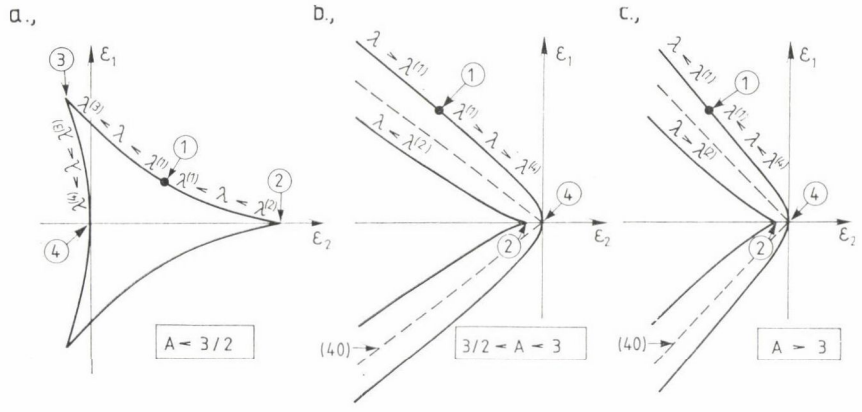
11. ábra. A tökéletlenségérzékenységi felület egy szintfelülete ($\lambda =$ konst.)

A $q = 0$ és a $q = \infty$ paraméterek az $(\varepsilon_1, \varepsilon_2)$ sík végtelen távoli pontjait adják, így ezekkel nem foglalkozunk. (36) alapján megállapítható, hogy a (35) egyenlőség q következő értékei mellett teljesül:

$$q_1 = 1$$

$$q_{2,3} = \frac{E - D \pm \sqrt{(D - E)^2 - 4D^2}}{2D} = \frac{A \pm \sqrt{6A - 9 + (9 - 3A)\,\sigma/\lambda}}{A \mp \sqrt{6A - 9 + (9 - 3A)\,\sigma/\lambda}} \tag{37}$$

($\lambda = 0$ esetén $q_{2,3} = -1$.) A szintvonalnak a $q = 1$ paraméterhez szinguláris pontja tartozik, így az a burkolónak nem része.



12. ábra. Burkológörbék ($\sigma > 0$)

A (37) képletet a (30) és (31) egyenletbe behelyettesítve megkapjuk a burkoló egyenleteit:

$$\varepsilon_1 = \frac{\pm\, 2\lambda^2 [2A - 3 + (3 - A)\,\sigma/\lambda]^{3/2}}{A^{1/2}(A - 3)^2} \tag{38}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{(6 - 4A)\,\lambda^2 + (A - 3)\,\lambda\sigma}{(A - 3)^2}\,. \tag{39}$$

(38) nem minden λ esetén értelmezhető. Ha σ pozitív, akkor $A < 3/2$ esetén csak a

$$\lambda^{(4)} = 0 \leq \lambda \leq \lambda^{(2)} = \frac{A - 3}{2A - 3}\,\sigma$$

intervallumban értelmezhető, $3/2 < A < 3$ esetén csak a $(\lambda^{(2)}, 0)$ intervallumban, $A > 3$ esetén csak a $(0, \lambda^{(2)})$ intervallumban nem értelmezhető. Ha σ negatív, akkor az intervallumok határai felcserélődnek.

Az elliptikus köldökhöz hasonlóan a burkolók vizsgálatához itt is elegendő egy $\sigma \neq 0$ és a $\sigma = 0$ metszet vizsgálata. A burkolók $\sigma > 0$ metszetének három típusát mutatják a 12. ábra folytonos vonallal megrajzolt görbéi. Az ábrán megjelölt kitüntetett pontok jellemzői:

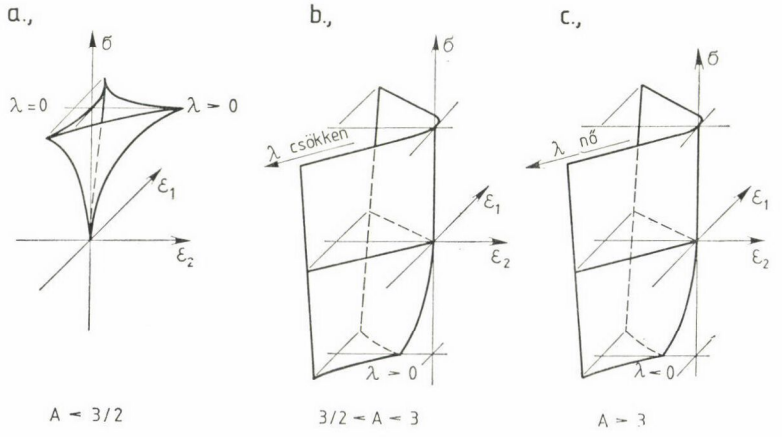
$$\lambda^{(1)} = \frac{3\sigma}{3 - A}, \qquad \varepsilon_1^{(1)} = \frac{\pm 2 \cdot 3^{1/2} A^{5/2} \sigma^2}{(A - 3)^4}, \qquad \varepsilon_2^{(1)} = \frac{-3(A^2 + 6A - 9)\sigma^2}{(A - 3)^4},$$

$$\lambda^{(2)} = \frac{(A - 3)\sigma}{2A - 3}, \qquad \varepsilon_1^{(2)} = 0, \qquad \varepsilon_2^{(2)} = \frac{\sigma^2}{3 - 2A},$$

$$\lambda^{(3)} = \frac{(A - 3)\sigma}{8A - 12}, \qquad \varepsilon_1^{(3)} = \frac{\pm 3^{3/2} \sigma^2}{8(3A - 2A^2)^{1/2}}, \qquad \varepsilon_2^{(3)} = \frac{\sigma^2}{8(2A - 3)},$$

$$\lambda^{(4)} = 0, \qquad \varepsilon_1^{(4)} = \varepsilon_2^{(4)} = 0.$$

Az ábrán jelöltük azt is, hogy a burkolók egyes szakaszait milyen paraméterű szintvonalak érintik. Ha $\sigma < 0$, akkor a relációjelek megfordulnak.



13. ábra. Burkolófelületek

Ha $\sigma = 0$, akkor $A < 3/2$ esetén a burkoló az origóban egy ponttá zsugorodik, $A > 3/2$ esetén az origóból induló félegyenesekké fajulnak (a 12. ábra szaggatott vonalai), melyek egyenlete:

$$\varepsilon_2 = (2 - 3/A)^{-1/2} \mid \varepsilon_1 \mid. \tag{40}$$

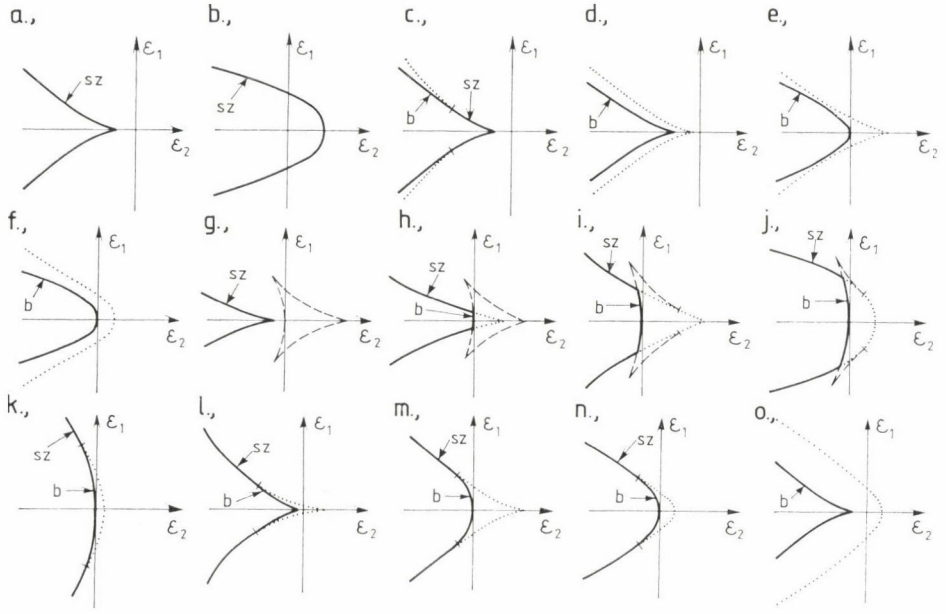
Korábban megmutattuk, hogy $\sigma < \sigma^{(1)}$ esetén a szintvonalnak csak a csúcsos felét, $\sigma > \sigma^{(1)}$ esetén csak az íves felét kell figyelembe vennünk. Az e feltételeknek is eleget tevő burkolófelületeket a 13. ábra mutatja. (Megjegyezzük, hogy a 13/a. ábra az 1/c. ábrához, a 13/b, c. ábrák a 2/c. ábrához hasonlóak.)

d) A kritikus tökéletlenségi tartomány

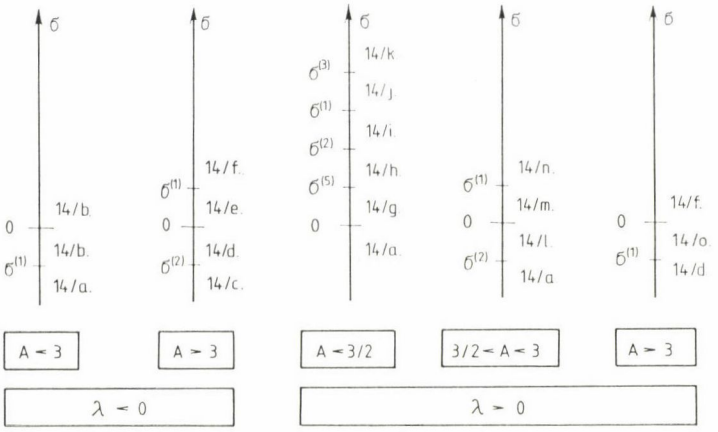
Egy λ_0 paraméterhez tartozó kritikus tökéletlenségi tartományt részben a 11. ábrán látható szintfelület, részben a 13. ábrán látható megfelelő burkolófelület határol. A burkolófelületnél azonban el kell hagynunk a $\lambda > \lambda_0$ paraméterhez tartozó részeket.

A kritikus tökéletlenségi tartományt $\sigma = \text{konst.}$ metszeteivel jellemezzük (14. ábra). Ezeken a kritikus tökéletlenségi tartomány határát vastag vonallal,

a λ_0-hoz tartozó szintvonalnak a határhoz nem tartozó részét pontvonallal, a burkoló $\lambda < \lambda_0$ feltételnek eleget tevő részéből a határhoz nem tartozó szakasz elejét szaggatott vonallal rajzoltuk meg. (Megjelöltük *b*-vel a burkolót, *sz*-szel a szintvonalat.) A kritikus tökéletlenségi tartomány a határvonalnak a $+\varepsilon_2$ tengely oldalán fekvő területe.



14. ábra. A kritikus tökéletlenségi tartomány σ = konst. metszeteinek típusai



15. ábra. A metszetek típusainak érvényességi tartományai

A 15. ábrán bemutatjuk, hogy λ és A különböző tartományaiban milyen σ értékhez melyik ábrán vázolt metszet tartozik. A típusok határai a

$$\sigma^{(1)} = \frac{(3 - A)\,\lambda}{3}, \qquad \sigma^{(2)} = \frac{(2A - 3)\,\lambda}{A - 3},$$

$$\sigma^{(3)} = \frac{(8A - 12)\,\lambda}{A - 3}, \qquad \sigma^{(5)} = \frac{(3 - 2A)\,\lambda}{3}$$

képletekkel számíthatók. A 14. ábrán négy lényegesen különböző eset van: a teljes határ a szintvonal (a, b, g), a teljes határ a burkoló (d, e, f, o), az ε_2 tengely közelében a szintvonal, távolabb a burkoló a határ (c), végül az ε_2 tengely közelében a burkoló, távolabb a szintvonal a határ ($h - n$).

IRODALOM

Gáspár Zs. (1982): Tartószerkezetek tökéletlenség-érzékenységének számítása kettős elágazási pontnál. Építés-Építészettudomány, XIV (1—2), 24—44.

Hunt, G. W. (1978): Imperfections and near-coincidence for semi-symmetric bifurcations, Annals of the New York Academy of Sciences **316**, 572—589.

Koiter, W. T. (1945): On the stability of elastic equilibrium. Dissertation, Delft, Holland (Angol fordítás: NASA Technical Translations F10 833 (1967.)).

Poston, T., Stewart, I. N. (1978): Catastrophe theory and its applications. London: Pitman.

Thompson, J. M. T., Hunt, G. W. (1973): A general theory of elastic stability. London: Wiley.

Thompson, J. M. T., Hunt, G. W. (1975): Towards a unified bifurcation theory. Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Physik, **26**, 581—604.

Dr. GYÖRGYI JÓZSEF—LOVAS ANTAL

FALSZERKEZETEK ÖNREZGÉSSZÁMÁNAK SZÁMÍTÁSA TÁRCSA- ÉS PANELELEMMEL KITÖLTÖTT KERETMODELL ALAPJÁN

BEVEZETÉS

A BME Építőmérnöki Kar Mechanika Tanszékén a panelvázas épületek nyílásokkal áttört falainak statikai számítására az ún. tárcsás keretmodellt alkalmaztuk [1]. Ennek során a falszerkezet tömör paneljeit tárcsával, a nyílásokkal áttört panelek oszlop illetve gerendaelemeit, a végein merev szakasszal rendelkező rudakkal modelleztük. A számításokat mátrix elmozdulásmódszerrel végeztük, az ismeretlen elmozdulásokat a födémek felső síkjai és a harántfalak tengelyeinek metszéspontjaiban felvett csomópontokban határoztuk meg. Az így felvett csomópontok a rúdelemek tengelyvonalától jelentős távolságra voltak. Az excentricitás figyelembevételével a [2]-ben foglalkoztunk.

A tárcsás keretmodellel való számítás jogosságát valós méretű modellen végzett laboratóriumi vizsgálatok is igazolták [3]. A kísérletekből az is kitűnt, hogy a szerkezeti elemek merev kapcsolatainak feltételezése nem mindig indokolt és a pontosabb számítások érdekében célszerű figyelembe venni a kapcsolatok hatását is. Ennek érdekében egy-egy szerkezeti elemet olyan véges elemként kell szerepeltetnünk, amely adott irányokban rugalmasan kapcsolódik a felvett csomópontokhoz. Az alábbiakban ismertetni fogjuk a nyílásokkal áttört panel modellezésére szolgáló ún. panelelem merevségi mátrixát, valamint az excentrikus és rugalmas kapcsolatoknak az elemi merevségi mátrixot módosító figyelembevételét.

A dinamikai vizsgálatokhoz szükség van az alkalmazott elemek tömegmátrixaira is. Elsőként a merev rugókkal rendelkező excentrikusan kapcsolt rúd tömegmátrixának előállítását mutatjuk meg, majd ismertetjük a panelelem tömegmátrixát, az excentrikus és rugalmas kapcsolatoknak az elemi tömegmátrixokat módosító hatását.

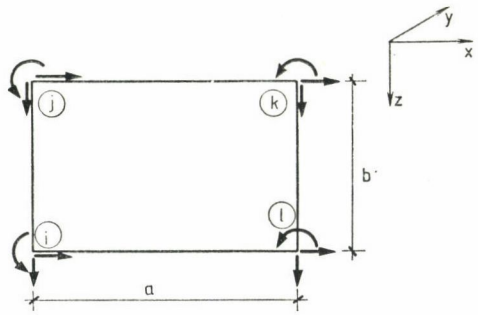
Végül kitérünk a falszerkezetek rezgésszámítása során szerzett numerikus tapasztalatokra, a rugalmas és excentrikus bekötések, a falelemekben levő esetleges repedések, a kapcsolatok részleges tönkremenetelének az eredményekre való hatására.

1. AZ ELEMI MEREVSÉGI MÁTRIXOK ÖSSZEÁLLÍTÁSA

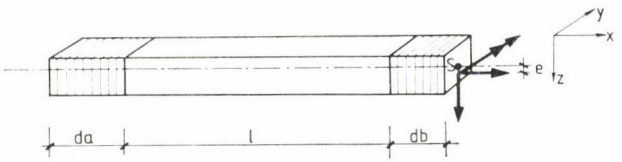
A falszerkezet számításánál a tömör paneleket tárcsaelemmel modelleztük. Az 1. ábrán látható elem sarokpontjainak elmozdulási szabadságfoka három volt. A tárcsaelem merevségi mátrixa az irodalomban [4] megtalálható.

A korábbi vizsgálatoknál előállítottuk a 2. ábrán látható excentrikusan bekötött merev végekkel rendelkező rúd merevségi mátrixát is [2].

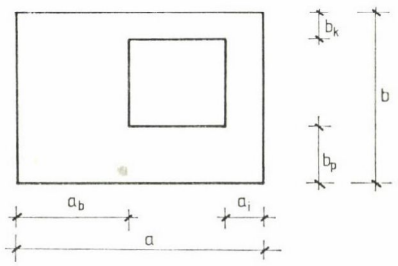
A nyílásokkal áttört falpanelt (3. ábra) merev végekkel rendelkező rúdelemekből állíthatjuk össze. Az egyes rúdelemek excentrikusan csatlakoznak a panel sarokpontjaihoz. Az így nyert modell elmozdulási szabadságfoka 12, a panelelem elemi merevségi mátrixa 12 ×12-es. Megjegyezzük, hogy az elemi merevségi mátrixnak vannak zérus blokkjai is, mivel a szemben levő sarokpontok nem csatlakoznak közvetlenül egymáshoz. A panelelem merevségi mátrixát a Függelékben adtuk meg.



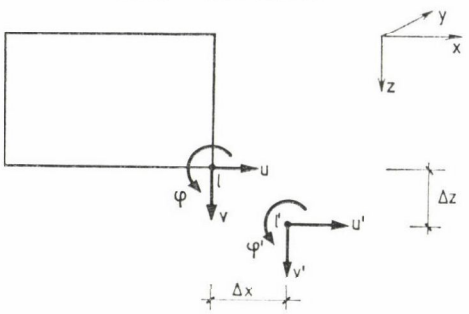
1. ábra. A sarokpontokon elfordulásokkal is rendelkező tárcsaelem



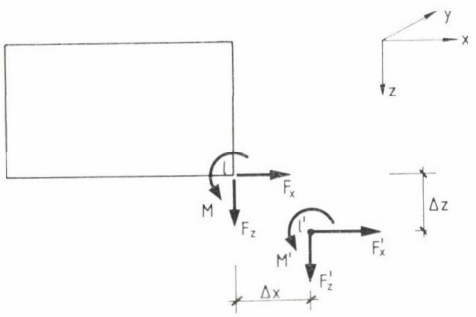
2. ábra. Merev végekkel rendelkező, excentrikusan bekötött rúdelem



3. ábra. Panelelem



4. ábra. Sarokponti és csomóponti elmozdulások



5. ábra. Sarokponti és csomóponti erők

Mint már említettük, a szerkezet számításánál felvett csomópontok és a panelelem sarokpontjai nem feltétlenül esnek össze. Az excentrikus bekötéseket a sarokpontok és a csomópontok közötti kapcsolatot leíró átviteli mátrixokkal vehetjük figyelembe. A 4. ábrán vesszővel jelöltük az excentrikusan elhelyezkedő csomópontot és annak elmozdulásait. A sarokpont elmozdulásai a csomópont elmozdulásaival az alábbiak szerint vehetők fel:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & -\Delta z \\ & 1 & \Delta x \\ & & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ \varphi' \end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\mathbf{u}_l = \mathbf{B}_l \, \mathbf{u}'_l . \tag{2}$$

Itt $\mathbf{B}_l$ mátrix a sarokponti és csomóponti elmozdulások közötti összefüggést leíró átviteli mátrix. Ugyanakkor az l pontban működő erők az l' pontban működő erőkkel (5. ábra) az alábbiak szerint helyettesíthetők:

$$\begin{bmatrix} F'_x \\ F'_z \\ M' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & \\ & 1 & \\ -\Delta z & -\Delta x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_z \\ M \end{bmatrix} \tag{3}$$

$$\mathbf{q}'_l = \mathbf{B}^* \, \mathbf{q}_l \tag{4}$$

mivel a (2) szerint

$$\mathbf{q}_l = \mathbf{B}_l \, \mathbf{q}'_l \tag{5}$$

$$\mathbf{B}_l \, \mathbf{B}^*_l = \mathbf{E}$$

azaz

$$\mathbf{B}^*_l = \mathbf{B}^{-1}_l . \tag{6}$$

Hasonló összefüggéseket írhatunk fel a többi sarokpontra, ill. csomópontra is.

Az egész elem sarokponti erői és elmozdulásai közötti összefüggésből kiindulva

$$\mathbf{q} = \mathbf{K}\mathbf{u},$$

a sarokponti és csomóponti elmozdulások, ill. erők közötti (2) és (5) összefüggéseket felhasználva

$$\mathbf{B}\mathbf{q}' = \mathbf{K}\mathbf{B}\mathbf{u}'.$$

A (6) alatti összefüggést alkalmazva

$$\begin{aligned} \mathbf{q}' &= \mathbf{B}^* \mathbf{K} \mathbf{B} \mathbf{u}' \\ \mathbf{q}' &= \mathbf{K}' \mathbf{u}' \\ \mathbf{K}' &= \mathbf{B}^* \mathbf{K} \mathbf{B} \end{aligned} \tag{7}$$

alakban kapjuk az excentrikus bekötésű elem merevségi mátrixát. Itt

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i & & & \\ & \mathbf{B}_j & & \\ & & \mathbf{B}_k & \\ & & & \mathbf{B}_l \end{bmatrix}.$$

Ha egy adott elem rugalmasan kapcsolódik a csomópontokhoz, azt úgy is felfoghatjuk, hogy a csomópontokhoz egy szilárdtest-elemből és négy rugóelemből álló összetett elem csatlakozik. Ha a rendszerhez tartozó elmozdulás- ill. erővektorba először a csomóponti, majd a sarokponti elmozdulásokat ($\mathbf{u}_1$ és $\mathbf{u}_2$ vektor), ill. erőket ($\mathbf{q}_1$ és $\mathbf{q}_2$ vektor) gyűjtjük össze, az összetett merevségi mátrix az alábbi lesz (a vonalkázott rész a mereven kapcsolt elem merevségi mátrixa):

$\underline{\underline{Q}}^i_{11}$				$\underline{\underline{Q}}^i_{12}$			
	$\underline{\underline{Q}}^j_{11}$				$\underline{\underline{Q}}^j_{12}$		
		$\underline{\underline{Q}}^k_{11}$				$\underline{\underline{Q}}^k_{12}$	
			$\underline{\underline{Q}}^l_{11}$				$\underline{\underline{Q}}^l_{12}$
$\underline{\underline{Q}}^i_{21}$				$+\underline{\underline{Q}}^i_{22}$			
	$\underline{\underline{Q}}^j_{21}$				$+\underline{\underline{Q}}^j_{22}$		
		$\underline{\underline{Q}}^k_{21}$				$+\underline{\underline{Q}}^k_{22}$	
			$\underline{\underline{Q}}^l_{21}$				$+\underline{\underline{Q}}^l_{22}$

Az elemre vonatkozó egyensúlyi egyenletek pedig, figyelembe véve, hogy külső erők csak a csomópontokon fognak hatni:

$$\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{K}}_{11} & \tilde{\mathbf{K}}_{12} \\ \tilde{\mathbf{K}}_{21} & \tilde{\mathbf{K}}_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

A második egyenletcsoportból:

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{K}}_{21} \mathbf{u}_1 + \tilde{\mathbf{K}}_{22} \mathbf{u}_2 &= 0 \\ \mathbf{u}_2 &= -\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1} \tilde{\mathbf{K}}_{21} \mathbf{u}_1 \\ (\tilde{\mathbf{K}}_{11} - \tilde{\mathbf{K}}_{12} \tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1} \tilde{\mathbf{K}}_{21}) \mathbf{u}_1 &= \mathbf{q}_1 . \end{aligned} \tag{8}$$

A zárójelben levő kifejezés a rugalmasan kapcsolt elem csomóponti elmozdulásai és erői közötti összefüggést leíró, a mereven kapcsolt elem merevségi mátrixával azonos méretű rugós merevségi mátrix:

$$\mathbf{K}_{\mathrm{rug}} = \tilde{\mathbf{K}}_{11} - \tilde{\mathbf{K}}_{12}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21}\,. \tag{9}$$

Az összetett elem $\tilde{\mathbf{K}}$ mátrixában szereplő ρ_{rs}^{i} mátrixok a rugómátrixok megfelelő blokkjai:

$$\rho^{i} = \begin{bmatrix} \rho_{11}^{i} & \rho_{12}^{i} \\ \rho_{21}^{i} & \rho_{22}^{i} \end{bmatrix}.$$

Ha az összetartozó sarok-, ill. csomópontokat a különböző elmozdulásirányokban egymástól független rugókkal kötjük össze, a ρ^{i} mátrix blokkjai diagonálmátrixok:

$$\rho^{i} = \begin{bmatrix} r_x & & & -r_x & & \\ & r_z & & & -r_z & \\ & & r_\varphi & & & -r_\varphi \\ -r_x & & & r_x & & \\ & -r_z & & & r_z & \\ & & -r_\varphi & & & r_\varphi \end{bmatrix}.$$

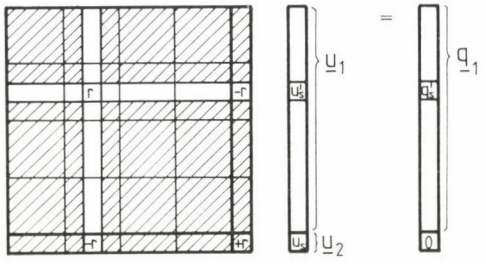
Itt r értékek a különböző irányokhoz tartozó rugómerevségek.

Ha a rugók egymástól függetlenek, azok beiktatását egymás után is elvégezhetjük. Az így kialakult összetett elem merevségi mátrixának rendszáma eggyel nagyobb az eredeti mátrix rendszámánál.

Ha az elmozdulásvektor első részében ($\mathbf{u}_1$) az eredeti sarokponti elmozdulások közül a rugalmas kapcsolat irányába esőt a hozzátartozó csomóponti elmozdulással helyettesítjük, és a sarokponti elmozdulást pedig az elmozdulásvektor utolsó elemébe ($\mathbf{u}_2$) helyezzük, az alábbi egyenleteket írhatjuk fel:

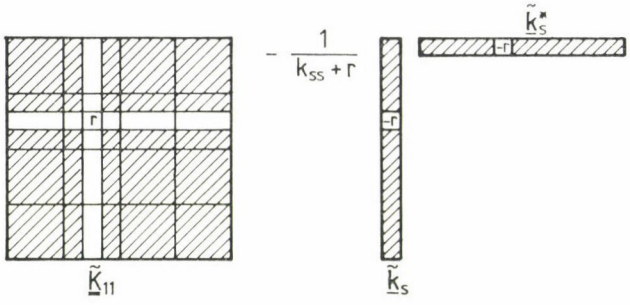
$$\tilde{\mathbf{K}}\,\tilde{\mathbf{u}} = \tilde{\mathbf{q}}\,.$$

Vonalazással jelölve az eredeti mátrix elemeit:



Az $\mathbf{u}_1$ vektorhoz tartozó módosított merevségi mátrix a (9) kifejezés szerint

$$\mathbf{K}_{\mathrm{rug}} = \tilde{\mathbf{K}}_{11} - \tilde{\mathbf{K}}_{12}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21} = \tilde{\mathbf{K}}_{11} - \frac{1}{k_{ss} + r}\,\tilde{\mathbf{k}}_s\,\tilde{\mathbf{k}}_s^{*}\,. \tag{10}$$



Bebizonyítható, hogy a $\mathbf{K}_{\text{rug}}$ mátrixot úgyis megkaphattuk volna, ha az elem eredeti merevségi mátrixából levontuk volna a rugalmasan kapcsolt elmozdulás-komponensnek megfelelő oszlop és sorvektorokból képzett diád $\frac{1}{k_{ss}+r}$ értékkel való szorzatát, azaz

$$\mathbf{K}_{\text{rug}} = \mathbf{K} - \frac{1}{k_{ss}+r}\,\mathbf{k}_s\,\mathbf{k}_s^*. \tag{11}$$

A (10) összefüggés felhasználásával most másképp számoljuk az s-edik sor, ill. oszlop elemeit. A főátlón kívüli elemek a (9)-es összefüggésből

$$k_{\text{rug}\,sj} = -\frac{1}{k_{ss}+r}(-r\,k_{sj}) = \frac{r\,k_{sj}}{k_{ss}+r}$$

a (10) összefüggésből:

$$k_{\text{rug}\,sj} = k_{sj} - \frac{1}{k_{ss}+r}k_{ss}\,k_{sj} = \frac{r\,k_{sj}}{k_{ss}+r}.$$

A főátlóban levő elem a (9)-es összefüggésből:

$$k_{\text{rug}\,ss} = r - \frac{1}{k_{ss}+r}r^2 = \frac{k_{ss}\,r}{k_{ss}+r}$$

a (10)-s összefüggésből:

$$k_{\text{rug}\,ss} = k_{ss} - \frac{1}{k_{ss}+r}k_{ss}\,k_{ss} = \frac{k_{ss}\,r}{k_{ss}+r}.$$

Ha a (10)es kifejezésbe $r = 0$-t helyettesítünk, a csuklósan kapcsolt elem merevségi mátrixának előállítására szolgáló jól ismert kifejezést kapjuk, míg „végtelen merev" rugó esetén az $\frac{1}{k_{ss}+r}$ kifejezés zérus lesz és a számítás eredményeként marad a mereven kapcsolt elem merevségi mátrixa.

2. AZ ELEMI TÖMEGMÁTRIXOK ÖSSZEÁLLÍTÁSA

A sarokpontonként három elmozduláskomponenssel rendelkező tárcsaelem tömegmátrixát a [4]-ben megtalálhatjuk. A centrikusan bekötött rúdelem nyírási alakváltozásait és az elfordulási tehetetlenség hatását is tartalmazó tömegmátrix az [5]-ből vehető ki. A panelelem tömegmátrixának előállításához szükségünk volt a merev végekkel rendelkező excentrikusan bekötött rúd tömegmátrixára is. A továbbiakban először ennek meghatározását ismertetjük.

A tömegmátrix ω^2-tel szorzott ij eleme megadja a j-edik irányba beiktatott egységnyi amplitúdójú, ω frekvenciájú harmonikus rezgésből a rúd mentén keletkező tömegerőknek az i-edik irányhoz tartozó redukált értékét.

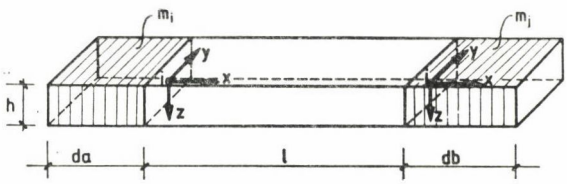
Ha a rúdvéghez még merev test is csatlakozik, akkor a tömegmátrix megfelelő elemeihez hozzá kell adni a merev szakaszon ébredő tömegerők adott irányhoz tartozó redukált értékét is.

A 6. ábrán látható esetben az x, ill. z irányú eltolódásokhoz, ill. y irányú elforduláshoz tartozó tömegerők i, ill. j pontra redukált értékei $\mathbf{M}_{ab}$ kiegészítő tömegmátrix segítségével számíthatók.

$$\mathbf{M}_{ab} = \begin{bmatrix} m_i & & & & & \\ & m_i & \frac{m_i da}{2} & & & \\ & \frac{m_i da}{2} & \theta_i & & & \\ & & & m_j & & \\ & & & & m_j & -\frac{m_j db}{2} \\ & & & & -\frac{m_j db}{2} & \theta_j \end{bmatrix}$$

$$\theta_i = \frac{m_i}{12}(h^2 + da^2) + m_i \frac{da^2}{4}$$

$$\theta_j = \frac{m_j}{12}(h^2 + db^2) + m_j \frac{db^2}{4}.$$



6. ábra. Merev végekkel rendelkező rúdelem

Ha ismerjük az i (ill. j) pontbeli erők és elmozdulások közötti összefüggéseket is, az átviteli mátrixok segítségével felírhatók az excentrikusan elhelyezkedő i' (ill. j') pontok elmozdulásai és erői közötti összefüggések is. Ez a megállapítás egyaránt vonatkozik a rugalmas alakváltozásokból számítható erőkre és a tömegerőkre is.

Ezek szerint az excentrikusan bekötött rúd tömegmátrixa

$$\mathbf{M}' = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_i^*(\mathbf{M}_{ii} + \mathbf{M}_i)\,\mathbf{B}_i & \mathbf{B}_i^*\,\mathbf{M}_{ij}\,\mathbf{B}_j \\ \mathbf{B}_j^*\,\mathbf{M}_{ji}\,\mathbf{B}_i & \mathbf{B}_j^*(\mathbf{M}_{jj} + \mathbf{M}_j)\,\mathbf{B}_j \end{bmatrix}.$$

A két indexszel rendelkező $\mathbf{M}_{ij}$ mátrixok a rugalmas rúd tömegmátrixának megfelelő blokkjait, míg az egyindexű $\mathbf{M}_i$ mátrixok az $\mathbf{M}_{ab}$ mátrix i, ill. j-edik csomóponthoz tartozó blokkjait jelentik.

Az excentrikusan bekötött rúd tömegmátrixa ismeretében előállítható a panelelem tömegmátrixa is (lásd a Függelékben).

Mint már említettük, a számítási modell kialakítása során felvett csomópontokhoz a tárcsa- és panelelemek excentrikusan csatlakoznak. Az excentrikusan kapcsolt elem tömegmátrixát a merevségi mátrixok tárgyalásánál bemutatott módon az átviteli mátrixokkal vehetjük figyelembe

$$\mathbf{M}' = \mathbf{B}^*\,\mathbf{M}\mathbf{B}\,.$$

Itt $\mathbf{B}$ mátrix hiperdiagonál, egyes blokkjai most is az adott csomóponthoz tartozó átviteli mátrixok lesznek.

Az előző pontban láttuk, hogy rugalmasan kapcsolódó sarokpont esetén a merevségi mátrix módosításával nyerhető az eredeti mérettel azonos méretű merevségi mátrix. A dinamikai vizsgálatoknál az ún. dinamikai merevségi mátrix módosítását kellene elvégeznünk.

Ha feltételezzük, hogy a dinamikus erők a csomópontokban működnek, a dinamikai egyensúlyi egyenletek az alábbi módon írhatók fel (harmonikus gerjesztés esetén):

$$\left(\begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{K}}_{11} & \tilde{\mathbf{K}}_{12} \\ \tilde{\mathbf{K}}_{21} & \tilde{\mathbf{K}}_{22} \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} & \\ & \mathbf{M} \end{bmatrix}\right)\begin{bmatrix} \mathbf{u}_1 \\ \mathbf{u}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

A $\mathbf{M}$ a sarokpontokra redukált tömegeket tartalmazza. Ha a második egyenletcsoportból $\mathbf{u}_2$ vektort (sarokponti elmozdulásokat) $\mathbf{u}_1$ függvényében akarjuk kifejezni

$$\mathbf{u}_2 = -(\tilde{\mathbf{K}}_{22} - \omega^2\,\mathbf{M})^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21}\,\mathbf{u}_1$$

kifejezést kapjuk.

A $\mathbf{K} - \omega^2\,\tilde{\mathbf{M}}_{\text{rug}}$ módosított dinamikai merevségi mátrixra pedig

$$\tilde{\mathbf{K}}_{11} - \tilde{\mathbf{K}}_{12}(\mathbf{K}_{22} - \omega^2\,\mathbf{M})^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21} \tag{12}$$

összefüggést nyerjük.

Jól látható, hogy a (12) alatti kifejezés nem bontható fel merevségi és tömegmátrixra, ami például azt jelenti, hogy a rendszer sajátkörfrekvenciáinak számítása nem vezethető vissza egy lineáris sajátértékfeladatra.

A módosított dinamikai merevségi mátrix közelítő előállítását az alábbi megfontolások szerint végezhetjük el.

Feltételezzük, hogy a csomóponti és sarokponti elmozdulások közötti összefüggés a merevségi mátrix előállításánál bemutatott módon írható fel (8). Ezek után a sarokpontokon levő statikus erőket és tömegerőket külön-külön helyettesítjük a csomópontban működő statikus és tömegerőkkel.

A csomóponti elmozdulásokhoz tartozó statikus erők a

$$\mathbf{K}_{\mathrm{rug}} = \tilde{\mathbf{K}}_{11} - \tilde{\mathbf{K}}_{12}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21}$$

merevségi mátrix segítségével fejezhetők ki, a redukált tömegerőket pedig az $\mathbf{M}_{\mathrm{rug}}$ módosított tömegmátrix segítségével számíthatjuk.

Az $\mathbf{u}_1$ elmozdulásrendszerhez olyan $\mathbf{M}_{\mathrm{rug}}$ tömegmátrixot rendelünk, hogy a segítségével számított tömegerőknek az $\mathbf{u}_1$ elmozduláshoz végzett munkája egyezzen meg az eredeti tömegmátrixszal számított tömegerőknek a csomóponti elmozdulások mentén végzett munkájával.

$$\delta\,\mathbf{u}_1^*\,\mathbf{M}_{\mathrm{rug}}\,\ddot{\mathbf{u}}_1 = \delta\,\mathbf{u}_2^*\,\mathbf{M}\,\ddot{\mathbf{u}}_2$$

$$\delta\,\mathbf{u}_1^*\,\mathbf{M}_{\mathrm{rug}}\,\ddot{\mathbf{u}}_1 = \delta\,\mathbf{u}_1^*(-\tilde{\mathbf{K}}_{12}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1})\,\mathbf{M}(-\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21})\,\ddot{\mathbf{u}}_1$$

vagyis

$$\mathbf{M}_{\mathrm{rug}} = \tilde{\mathbf{K}}_{12}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\mathbf{M}\,\tilde{\mathbf{K}}_{22}^{-1}\,\tilde{\mathbf{K}}_{21}\,. \tag{13}$$

Itt $\tilde{\mathbf{K}}_{22}$ és $\mathbf{M}$ mátrixok 12×12-es méretűek, míg a

$\tilde{\mathbf{K}}_{12} = \tilde{\mathbf{K}}_{21}^*$ mátrixok 3×3-as blokkokból álló hiperdiagonálok.

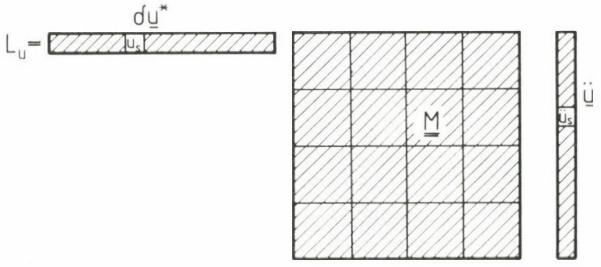
Ha az egymásnak megfelelő sarokponti és csomóponti elmozdulásokat egymástól független rugókkal kötjük össze, a módosított tömegmátrix előállításánál is lehetőségünk van a fokozatos, többlépcsős módosításra.

Legyen az s irányban r rugó és a sarokponti u_s elmozdulást a (8) alapján írjuk fel

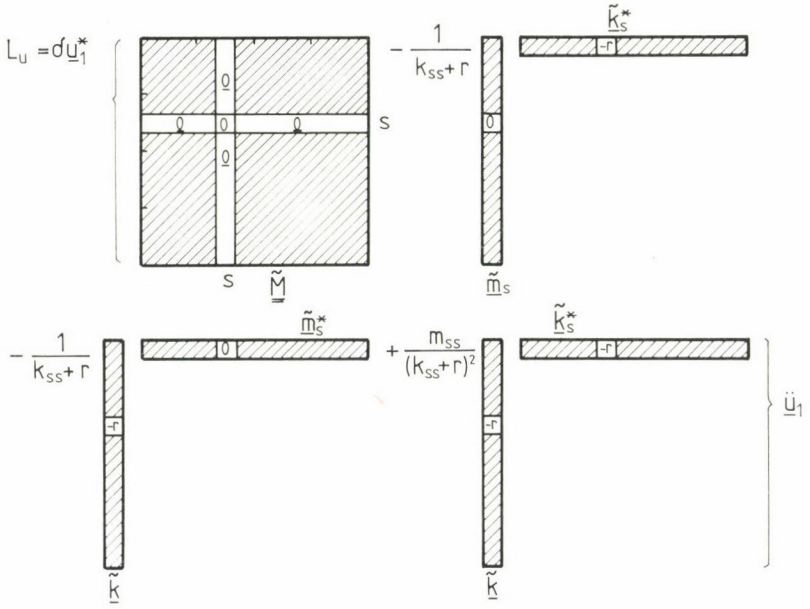
$$u_s = -\frac{1}{k_{ss} + r}\,\tilde{\mathbf{k}}_s^*\,\mathbf{u}_1\,.$$

Az eredeti tömegmátrixszal a csomóponti elmozdulásokon számítható munka míg a módosított tömegmátrixszal számított munka

$$L_{u_1} = \delta\,\mathbf{u}_1^*\,\mathbf{M}_{\mathrm{rug}}\,\ddot{\mathbf{u}}_1\,.$$



Az **u** vektor helyére $\mathbf{u}_1$ vektort írva az s helyen levő eltérő elemre figyelve a következőt kapjuk:



A zárójelben levő kifejezés éppen a módosított tömegmátrixot szolgáltatja. Bizonyítható, hogy a diáddal való módosításokat az eredeti tömegmátrixon és az eredeti tömegmátrix, ill. merevségi mátrix vektoraival az alábbi módon elvégezve ugyanazt a módosított tömegmátrixot kapjuk

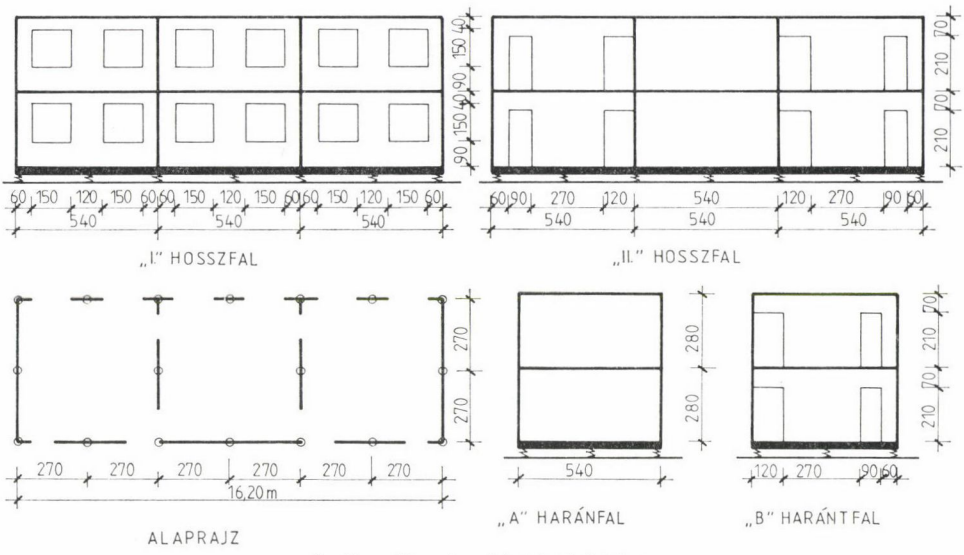
$$\mathbf{M}_{\text{rug}} = \mathbf{M} - \frac{1}{k_{ss} + r}(\mathbf{m}_s \mathbf{k}_s^* + \mathbf{k}_s \mathbf{m}_s^*) + \frac{m_{ss}}{(k_{ss} + r)^2} \mathbf{k}_s \mathbf{k}_s^* . \tag{14}$$

Az összehasonlítást, amelyet az előző pontban látott módon az s sor, ill. oszlop elemeire kell elvégeznünk — külön a főátlóban levő és az azon kívül levő elemekre —, az olvasóra bízzuk.

3. SZÁMÍTÁSI ÉS KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

Az ÉTI laboratóriumában végzett, [3]-ban részletesen ismertetett kísérletek során rezgésméréseket is végeztünk. A 7. ábrán látható elrendezésű épületnél függőleges irányú rezgéseket is mértünk. A továbbiakban arra a mérésre fogunk hivatkozni, amelyet abban az esetben hajtottunk végre, amikor az épület két szélső harántfala mentén mereven, közbenső pontokon gumirugókkal volt alátámasztva. Tekintettel a rugók viszonylag kis merevségére, a mért sajátkörfrekvenciát a panelszerkezet merevségi viszonyai és tömegeloszlása határozta meg. A függőleges irányú alaprezgéshez tartozó sajátkörfrekvencia mért értéke az alábbi volt:

$$\omega_{\text{mért}} = 69{,}1 \text{ l/s} .$$



7. ábra. Paneles kísérleti épület

A hajlító rezgések számításához külön vizsgáltuk a homlokzati és közbülső falat. A harántfalak és födémek hosszfalhoz tartozó részét mint megfelelő alapterületű és viszonylag kis hajlítómerevségű oszlopként, ill. gerendaként számítottuk. Ezen rudak falsávok közötti szakaszát merevnek tekintettük. A hosszfalakban levő paneleket tömör panel esetén tárcsaelemmel, áttört panel esetén panelelemmel modelleztük. Az épület falai alatt elhelyezkedő acéltartókat természetesen rúdelemekkel modelleztük.

A számításokat elvégeztük a fenti elemekből álló, azok merev összekapcsolásával nyert modellen. A legkisebb sajátkörfrekvencia

homlokzati falnál

$$\omega_{\text{hom}} = 70{,}6 \text{ l/s},$$

közbenső falnál

$$\omega_{\text{köz}} = 72{,}1 \text{ l/s}.$$

A merev modellel számított körfrekvenciák valamivel fölötte vannak a mért értékeknek.

A rugalmasan kapcsolt szerkezet számításához fel kellett vennünk az elemek és a csomópontok közötti kapcsolatot modellező rugók merevségi jellemzőit.

A panelek felső síkján ezt a kapcsolatot acélbetétek biztosították. Merevségüket méretük alapján számítottuk.

A panelek alsó síkján nem volt acél kapcsolat. Az elemek között elcsúszást feltételezve a súrlódási ellenállásnak megfelelő nyírt felületű beton kapcsolóelemből számítottunk rugómerevséget. Végül a függőleges élek mentén a fogazásnak megfelelően határoztuk meg a függőleges irányú rugók merevségét.

A számítások rugalmasan kapcsolt elemekből álló falaknál, az alaprezgéshez tartozó körfrekvenciákra:

homlokzati falnál

$$\omega_{\text{hom}}^{\text{rug}} = 66{,}9 \text{ l/s},$$

közbenső falnál

$$\omega_{köz}^{rug} = 68{,}7 \text{ l/s}$$

értékeket adtak.

A rugalmas kapcsolatokkal számított szerkezeten a körfrekvenciák mintegy 5%-kal kisebbre adódtak, mint amikor a szerkezetet merev kapcsolatokkal rendelkezőnek tételeztük fel. A két kapcsolati rendszerrel számított frekvenciák közrefogták a mért értéket. A fentiek alapján elmondhatjuk, hogy a rezgésmérési eredményekkel való összevetés alátámasztja, hogy az alkalmazott számítási modell alkalmas panelvázas épületek falainak rezgésszámítására.

4. VALÓS MÉRETŰ ÉPÜLETEN VÉGZETT SZÁMÍTÁSOK

A 8. ábrán láthatjuk egy ötemeletes épület közbenső falát. A fal fogadószinten épült és alsó éle mentén a csomópontokon rugalmasan van megtámasztva. A szerkezet sajátkörfrekvenciáját három különböző talaj-összenyomódási modulus mellett vizsgáltuk. Az elemek kapcsolatánál ugyancsak három különböző esetet tételeztünk fel. Ezek szerint vizsgáltunk merev kapcsolatokkal, rugalmas kapcsolatokkal (a rugalmas kapcsolatot az előző pontban ismertetettel azonos módon véve fel) és fellazult kapcsolatokkal rendelkező szerkezeteket. Az utóbbi alatt olyan kapcsolatrendszert értettünk, amelynél a kapcsoló rugók merevsége tizedére csökkent.

Összességében az alábbi öt esetet vizsgáltuk.

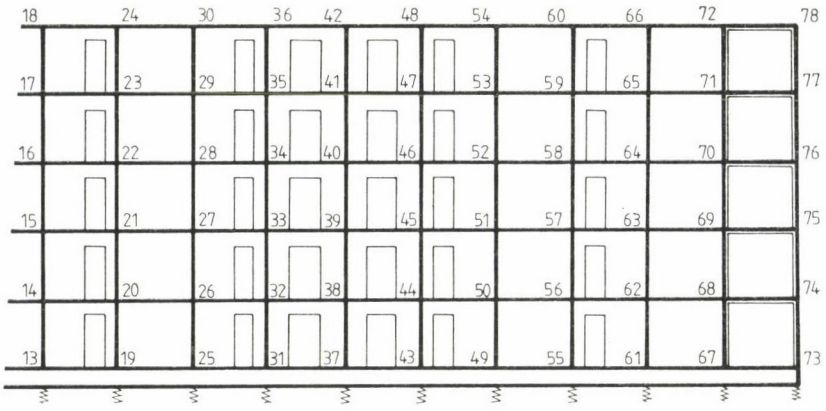
a) talajösszenyomódási modulus $M = 20\,000$ kN/m³
elemközi kapcsolat merevsége $r = \infty$

b) $M = 10\,000$ kN/m³
$r = \infty$

c) $M = 2000$ kN/m³
$r = \infty$

d) $M = 20\,000$ kN/m³
$r = r_1$

e) $M = 20\,000$ kN/m³
$r = r_1/10$



8. ábra. Kelenföldi 5 emeletes épület közbenső fala

A különböző esetekben számított sajátkörfrekvenciák közül az első nyolcat táblázatba gyűjtöttük.

Sajátkörfrekvenciák [1/s] különböző talaj- és kapcsolati merevség esetén

i \ eset	a)	b)	c)	d)	e)
1	17,6	12,6	5,7	15,8	12,8
2	20,5	14,5	6,5	20,5	20,5
3	57,1	56,7	56,4	28,1	23,0
4	102,6	102,0	101,5	55,7	42,6
5	113,3	112,8	112,4	68,3	52,7
6	180,2	179,8	179,5	98,0	72,7
7	194,2	194,1	194,1	121,0	95,6
8	195,1	195,0	195,0	150,6	104,0

Az eredményekből látható, hogy a talaj összenyomódási modulus változtatásának hatása az első két körfrekvenciánál jelentkezik. Ezekhez a frekvenciákhoz tartozó rezgésalakok a „merevtest-szerű" mozgásnak felelnek meg (az első az y tengely körüli elfordulásnak, a második a z tengely irányú eltolódásnak). Az első és második sajátkörfrekvencia csökkenése a talajösszenyomódási modulus csökkenésének négyzetgyökével arányos. Miközben a talajösszenyomódási modulus tizedére csökkent, a 3—6 sajátkörfrekvenciák csökkenése 0,5—1 %, míg a magasabb frekvenciák nem is változtak. A szerkezet rezgésszámai két élesen elkülönülő csoportba sorolhatók. Az egyik csoportba tartozóknál a rezgésszámok értéke a talaj merevségétől és az épület tömegétől (tehetetlenségi nyomatékától) függnek, a másik csoportba tartozók pedig a szerkezet merevségi és tömegeloszlására jellemzőek.

A rugalmasan kapcsolt szerkezetnél a második rezgésalakhoz tartozó frekvencia nem változott meg. Ennél a rezgésalaknál a csomópontok a z tengely irányában közel azonos mértékben tolódnak el, az x tengely irányú elmozdulás elhanyagolható. A vízszintes kapcsolatokban nem ébrednek erők, a függőleges kapcsolatokban az elhanyagolhatóan kicsiny relatív elmozdulás miatt szintén nem. Így érthető, hogy a csomópontoknál nem keletkeznek olyan mozgások, amelyek a merev kapcsolattól eltérnének.

Az első rezgésalakhoz számottevő x irányú tehetetlenségi erők tartoznak, amelyek a viszonylag gyenge vízszintes irányú kapcsolatok mellett a csomópontoknál relatív elmozdulásokat okoznak. Ez az oka annak, hogy a „merevtest-szerű" mozgáshoz tartozó körfrekvencia mintegy 10%-kal csökkent. A körfrekvenciák csökkenése a szerkezetre inkább jellemző, nagyobb sorszámú körfrekvenciáknál igen jelentős, akár a 100%-ot is eléri. A fellazult szerkezetnél további rezgésszám-csökkentést látunk. A rezgésszámcsökkenés viszonylag egyenletes, miközben a kapcsolatok merevsége tizedére csökken, a rezgésszámok 20—30%-kal csökkennek.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerkezetek véges szabadságfokú rendszerként való dinamikai számításához szükséges merevségi és tömegmátrixokat a véges elemek módszerével az elemi merevségi és tömegmátrixok ismeretében állíthatjuk elő. A dolgozatban megadtuk a rúd, valamint tárcsa-, ill. nyílásokkal áttört panelelemekből álló, excentrikusan és rugalmasan kapcsolt rendszer elemi merevségi és tömegmátrixai előállításának algoritmusát. Mindezek ismeretében a falszerkezetek rezgésszámítása az alkotóelemek és kapcsolatok merevségi jellemzőinek együttes figyelembevételével, a tömegerőknek a kapcsolatok jellegét is tartalmazó elrendezésével végezhetők el. A számítási modell alkalmazását kísérlettel is alátámasztottuk. A valós falszerkezeten végzett rezgésszámítás igazolta a rugalmas kapcsolatokat is figyelembe vevő számítás jogosságát. Ezen számítással elérhető egy adott szerkezet rezgésszámainak pontosabb meghatározása, mód nyílik a különböző kapcsolati rendszerek közül a dinamikai viselkedést illető legkedvezőbb kiválasztására.

Egy adott kapcsolati rendszerrel megépült szerkezetnél a kapcsolatok állapotától függően változnak a szerkezet sajátkörfrekvenciái. A mérési eredmények számítási eredményekkel való összevetéséből bizonyos következtetések vonhatók le a kapcsolatok állapotában bekövetkezett változásokra is.

IRODALOM

[1] Kaliszky S., Györgyi J., Lovas A.: Panelos épületek erőtani tervezése. Az épületek igénybevételeinek számitása. S-11/II. 1981. Tervezési segédlet.

[2] Györgyi J., Lovas A.: Külpontosan kapcsolódó rúdelemek alkalmazása síkbeli szerkezetek számításánál. Mélyépítéstudományi Szemle XXXI. 1981. 10. sz.

[3] Kaliszky S., Györgyi J., Lovas A.: Valós méretű panelekből álló szerkezeten végzett laboratóriumi kísérletek értékelése. Magyar Építőipar 1983. 6. szám.

[4] G. Kost, W. Weawer, R. B. Barrber: Nonlinear Dynamic Analysis of Frames with Filler Panels. Journal of the Structural Division, ASCE Vol. 100, No. ST4. 1974.

[5] J. S. Przemieneicki: Theory of Matrix Structural Analysis. McGraw-Hill, New York 1968.

FÜGGELÉK

F.1. *Panelelem merevségi mátrixa*

A 3. ábrán látható panelelem elemi merevségi mátrixa az I., II .és III. táblázatban látható, ahol

$$Q_1 = \frac{Ea_b h}{b} \qquad R_1 = \frac{Ea_b^3 h}{b_s^3 \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)}$$

$$S_1 = \frac{Ea_b^3 h}{2b_s^2 \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)} \qquad T_1 = \frac{Ea_b^3 h \left(4 + \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)}{12\, b_s \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)}$$

$$P_1 = \frac{Ea_b^3 h \left(2 - \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)}{12\, b_s \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_b^2}{Gb_s^2}\right)}$$

$$Q_2 = \frac{Eb_k h}{a_s} \qquad R_2 = \frac{Eb_k^3 h}{a_s^3 \left(1 + \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$$S_2 = \frac{Eb_k^3 h}{2a_s^2 \left(1 + \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)} \qquad T_2 = \frac{Eb_k^3 h \left(4 + \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)}{12\, a_s \left(1 + \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$$P_2 = \frac{Eb_k^3 h \left(2 - \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)}{12\, a_s \left(1 + \frac{1{,}2\, Eb_k^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$$Q_3 = \frac{Ea_j h}{b_s} \qquad R_3 = \frac{Ea_j^3 h}{b_s^3 \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)}$$

$$S_3 = \frac{Ea_j^3 h}{2b_s^2 \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)} \qquad T_3 = \frac{Ea_j^3 h \left(4 + \frac{1{,}2\, Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)}{12\, b_s \left(1 + \frac{1{,}2\, Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)}$$

I. táblázat

$$\mathbf{K}^{P}_{I,I}=\begin{bmatrix}
R_1+Q_4 & & & & & \\
 & Q_1+R_4 & & & & \\
-\left(R_1+\frac{Q_4}{2}\right)b_p-S_1 & -\left(\frac{Q_1}{2}+R_4\right)a_b-S_4 & \begin{matrix}2S_1b_p+T_1+2S_4a_b+T_4\\+\left(R_1+\frac{Q_4}{4}\right)b_p^2+\left(\frac{Q_1}{4}+R_4\right)a_b^2\end{matrix} & & & \\
-R_1 & & R_1\,b_p+S_1 & R_1+Q_2 & & \\
 & -Q_1 & Q_1\frac{a_b}{2} & & Q_1+R_2 & \\
-R_1\,b_k+S_1 & Q_1\frac{a_b}{2} & \begin{matrix}S_1\,b_k-Q_1\frac{a_b^2}{4}+R_1\,b_p\,b_k\\+S_1\,b_p\end{matrix} & \begin{matrix}\left(R_1+\frac{Q_2}{2}\right)b_k\\+S_1\end{matrix} & \begin{matrix}-\left(\frac{Q_1}{2}+R_2\right)a_b\\-S_2\end{matrix} & \begin{matrix}2S_1\,b_k+T_1+2S_2\,a_b+T_2\\+\left(R_1+\frac{Q_2}{4}\right)b_k^2+\left(\frac{Q_1}{4}+R_2\right)a_b^2\end{matrix}
\end{bmatrix}$$

$$P_3 = \frac{Ea_j^3 h\left(2 - \dfrac{1{,}2\ Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)}{12\, b_s\left(1 + \dfrac{1{,}2\ Ea_j^2}{Gb_s^2}\right)}$$

$$Q_4 = \frac{Eb_p h}{a_s} \qquad R_4 = \frac{Eb_p^3 h}{a_s^3\left(1 + \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$$S_4 = \frac{Eb_p^3 h}{2a_s^2\left(1 + \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)} \qquad T_4 = \frac{Eb_p^2 h\left(4 + \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)}{12\, a_s\left(1 + \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$$P_4 = \frac{Eb_p^2 h\left(2 - \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)}{12\, a_s\left(1 + \dfrac{1{,}2\ Eb_p^2}{Ga_s^2}\right)}$$

$a_s = a - a_b - a_j$ a nyílás szélessége
$b_s = b - b_p - b_k$ a nyílás magassága
E a panel anyagának rugalmassági modulusa
G a panel anyagának nyírási rugalmassági modulusa
h a panel vastagsága

II. táblázat

$$K^P_{I,II} = \begin{bmatrix} & & & -Q_2 & & -Q_2\frac{b_k}{2} \\ & & & & -R_2 & R_2 a_b + S_2 \\ & & & -Q_2\frac{b_k}{2} & -R_2 a_j - S_2 & S_2 a_b + P_2 - Q_2\frac{b_k^2}{4} + R_2 a_b a_j + S_2 a_j \\ -Q_4 & & Q_4\frac{b_p}{2} & & & \\ & -R_4 & R_4 a_b + S_4 & & & \\ Q_4\frac{b_p}{2} & -R_4 a_j - S_4 & S_4 a_b + P_4 - Q_4\frac{b_p^2}{4} + R_4 a_b a_j + S_4 a_j & & & \end{bmatrix}$$

III. táblázat

$$\mathbf{K}_{II,\,II} = \left[\begin{array}{c|c|c|c|c|c}
Q_2 + R_3 & & & & & \\
\hline
 & R_2 + Q_3 & & & & \\
\hline
\left(\frac{Q_2}{2} + R_3\right) b_k + S_3 & \left(R_2 + \frac{Q_3}{2}\right) a_j + S_2 & \begin{array}{c} 2S_2\, a_j + T_2 + 2S_3\, b_k + T_3 \\ + \left(R_2 + \frac{Q_3}{4}\right) a_j^2 + \left(\frac{Q_2}{4} + R_3\right) b_k^2 \end{array} & & & \\
\hline
- R_3 & & - R_3\, b_k - S_3 & Q_4 + R_3 & & \\
\hline
 & - Q_3 & - Q_3 \frac{a_j}{2} & & R_4 + Q_3 & \\
\hline
R_3\, b_p + S_3 & - Q_3 \frac{a}{2} & \begin{array}{c} S_3\, b_k - Q_3 \frac{a_j^2}{4} + P_3 \\ + R_3\, b_p\, b_k + S_3\, b_p \end{array} & \begin{array}{c} -\left(\frac{Q_4}{3} + R_3\right) b_p \\ - S_3 \end{array} & \begin{array}{c} \left(R_4 + \frac{Q_3}{2}\right) a_j \\ + S_4 \end{array} & \begin{array}{c} 2S_4\, a_j + T_4 + 2S_3\, b_p + T_3 \\ + \left(R_4 + \frac{Q_3}{4}\right) a_j^2 + \left(\frac{Q_4}{4} + R_3\right) b_p^2 \end{array}
\end{array}\right]$$

F.2. *Panelelem tömegmátrixa*

A 3. ábrán látható panelelem tömegmátrixa a IV., V. és VI. táblázatban látható, ahol

$$R_{1e}=\frac{1{,}2\,Ea_b^2}{Gb_s^2} \qquad P_{1e}=\frac{1}{(1+R_{1e})^2}$$

$$Q_{1b}=\varrho\,a_b\,h\left(\frac{b_s}{3}+\frac{b_p}{2}\right) \qquad Q_{ij}=\varrho\,a_b\,h\left(\frac{b_s}{3}+\frac{b_k}{2}\right)$$

$$R_{1b}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{13}{15}+\frac{7}{10}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{3}\right)+\frac{1}{10}\frac{P_{1e}\,a_b^2}{b_s^2}\right]+\frac{\varrho\,a_b\,b_p\,h}{2}$$

$$R_{1j}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{13}{15}+\frac{7}{10}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{3}\right)+\frac{1}{10}\frac{P_{1e}\,a_b^2}{b_s^2}\right]+\frac{\varrho\,a_b\,b_k\,h}{2}$$

$$S_{1b}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{11}{210}+\frac{11}{120}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{24}\right)b_s+\left(\frac{1}{10}-\frac{R_{1e}}{2}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12\,b_s}\right]+\frac{\varrho\,b_p^2\,ha_b}{4}$$

$$S_{1j}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{11}{210}+\frac{11}{120}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{24}\right)b_s+\left(\frac{1}{10}-\frac{R_{1e}}{2}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12\,b_s}\right]+\frac{\varrho\,b_k^2\,ha_b}{4}$$

$$T_{1b}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{1}{105}+\frac{R_{1e}}{60}+\frac{R_{1e}^2}{120}\right)b_s^2+\left(\frac{2}{15}+\frac{R_{1e}}{6}+\frac{R_{1e}^2}{3}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12}\right]+$$

$$+\frac{\varrho\,b_p\,ha_b}{24}(4b_p^2+a_b^2)$$

$$T_{1j}=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{1}{105}+\frac{R_{1e}}{60}+\frac{R_{1e}^2}{120}\right)b_s^2+\left(\frac{2}{15}+\frac{R_{1e}}{6}+\frac{R_{1e}^2}{3}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12}\right]+$$

$$+\frac{\varrho\,b_k\,ha_b}{24}(4b_k^2+a_b^2)$$

$$Z_1=\frac{\varrho\,a_b\,hb_s}{6}$$

$$U_1=\varrho\,a_b\,hb_s\left[P_{1e}\left(\frac{9}{70}+\frac{3}{10}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{6}\right)-\frac{P_{1e}\,a_b^2}{10\,b_s^2}\right]$$

$$V_1=\varrho\,a_b\,hb_s\left[-P_{1e}\left(\frac{13}{420}+\frac{3}{40}R_{1e}+\frac{R_{1e}^2}{24}\right)b_s+\left(\frac{1}{10}-\frac{R_{1e}}{2}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12\,b_s}\right]$$

$$P_1=\varrho\,a_b\,hb_s\left[-P_{1e}\left(\frac{1}{140}+\frac{R_{1e}}{60}+\frac{R_{1e}^2}{120}\right)b_s^2+\left(-\frac{1}{30}-\frac{R_{1e}}{6}+\frac{R_{1e}^2}{6}\right)\frac{P_{1e}\,a_b^2}{12}\right]$$

$$R_{2e}=\frac{1{,}2\,Eb_k^2}{Ga_s^2} \qquad P_{2e}=\frac{1}{(1+R_{2e})^2}$$

IV. táblázat

$$\mathbf{M}^{P}_{I,\,I} = \begin{bmatrix}
R_{1b} + Q_{1b} & & & & & \\
 & Q_{1b} + R_{1b} & & & & \\
-\left(R_{1b} + \frac{Q_{1b}}{2}\right) b_p - S_{1b} & -\left(\frac{Q_{1b}}{2} + R_{1b}\right) a_b - S_{1b} & 2S_{1b}\, b_p + T_{1b} + 2S_{1b}\, a_b + T_{1b} + \left(R_{1b} + \frac{Q_{1b}}{4}\right) b_p^2 + \left(\frac{Q_{1b}}{4} + R_{1b}\right) a_b^2 & & & \\
U_1 & & -U_1\, b_p + V_1 & R_{1j} + Q_{2b} & & \\
 & Z_1 & -Z_1 \frac{a_b}{2} & & Q_{1j} + R_{2b} & \\
U_1\, b_k - V_1 & -Z_1 \frac{a_b}{2} & V_1\, b_k + Z_1 \frac{a_b^2}{4} + P_1 - U_1\, b_p\, b_k + C_1\, b_p & \left(R_{1j} + \frac{Q_{2b}}{2}\right) b_k + S_{1j} & -\left(\frac{Q_{1j}}{2} + R_{2b}\right) a_b - S_{2b} & 2S_{1j}\, b_k + T_{1j} + 2S_{2b}\, a_b + T_{2b} + \left(R_{1j} + \frac{Q_{2b}}{4}\right) b_k^2 + \left(\frac{Q_{1j}}{4} + R_{2b}\right) a_b^2
\end{bmatrix}$$

V. táblázat

$$
M^{P}_{II,\,I} = \left[\begin{array}{c|c|c|c|c|c}
 & & & Z_2 & & Z_2\dfrac{b_k}{2} \\ \hline
 & & & & U_2 & -U_2 a_b + V_2 \\ \hline
 & & & Z_2\dfrac{b_k}{2} & U_2 a_j - V_2 & \begin{array}{c} V_2 a_b + P_2 + Z_2\dfrac{b_k^2}{4} \\ -U_2 a_b a_j + V_2 a_j \end{array} \\ \hline
Z_4 & & -Z_4\dfrac{b_p}{2} & & & \\ \hline
 & U_4 & -U_4 a_b + V_4 & & & \\ \hline
-Z_4\dfrac{b_p}{2} & U_4 a_j - V_4 & \begin{array}{c} V_4 a_b + P_4 + Z_4\dfrac{b_p^2}{4} \\ -U_4 a_b a_j + V_4 a_j \end{array} & & &
\end{array}\right]
$$

$$Q_{2b} = \varrho\, b_k\, h\left(\frac{a_s}{3} + \frac{a_b}{2}\right) \qquad Q_{2j} = \varrho\, b_k\, h\left(\frac{a_s}{3} + \frac{a_j}{2}\right)$$

$$R_{2b} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{13}{35} + \frac{7}{10}R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{3}\right) + \frac{1}{10}\,\frac{P_{2e}\, b_k^2}{a_s^2}\right] + \frac{\varrho\, a_b\, b_k\, h}{2}$$

$$R_{2j} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{13}{35} + \frac{7}{10}R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{3}\right) + \frac{1}{10}\,\frac{P_{2e}\, b_k^2}{a_s^2}\right] + \frac{\varrho\, a_b\, b_k\, h}{2}$$

$$S_{2b} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120}R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{24}\right)a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{2e}}{2}\right)\frac{P_{2e}\, b_k^2}{12\, a_s}\right] + \frac{\varrho\, b_k\, h a_b^2}{4}$$

$$S_{2j} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120}R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{24}\right)a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{2e}}{2}\right)\frac{P_{2e}\, b_k^2}{12\, a_s}\right] + \frac{\varrho\, b_k\, h a_j^2}{4}$$

$$T_{2b} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{1}{105} + \frac{R_{2e}}{60} + \frac{R_{2e}^2}{120}\right)a_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{2e}}{6} + \frac{R_{2e}^2}{3}\right)\frac{P_{2e}\, b_k^2}{12}\right] +$$

$$+ \frac{\varrho\, b_k\, h a_b}{24}\left(b_k^2 + 4a_b^2\right)$$

$$T_{2j} = \varrho\, b_k\, h a_s\left[P_{2e}\left(\frac{1}{105} + \frac{R_{2e}}{60} + \frac{R_{2e}^2}{120}\right)a_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{2e}}{6} + \frac{R_{2e}^2}{3}\right)\frac{P_{2e}\, b_k^2}{12}\right] +$$

$$+ \frac{\varrho\, b_k\, h a_j}{24}\left(b_k^2 + 4a_j^2\right)$$

$$Z_2 = \frac{\varrho\, b_k\, h a_s}{6}$$

VI. táblázat

$$\mathbf{M}^{P}_{II,\,II} = \begin{bmatrix} Q_{2j} + R_{3b} & & & & & \\ & R_{2j} + Q_{3b} & & & & \\ \left(\frac{Q_{2j}}{2} + R_{3b}\right) b_k + S_{3b} & \left(R_{2j} + \frac{Q_{3b}}{2}\right) a_j + S_{2j} & 2S_{2j}\,a_j + T_{2j} + 2S_{3b}\,b_k + T_{3b} + \left(R_{2j} + \frac{Q_{3b}}{4}\right) a_j^2 + \left(\frac{Q_{2j}}{4} + R_{3b}\right) b_k^2 & & & \\ U_3 & & U_3\,b_k - V_3 & Q_{4j} + R_{3j} & & \\ & Z_3 & Z_3\,\frac{a}{2} & & R_{4j} + Q_{3j} & \\ V_3 - U_3\,b_p & Z_3\,\frac{a_j}{2} & V_3\,b_k + Z_3\,\frac{a_j^2}{4} + P_3 - U_3\,b_p\,b_k + V_3\,b_p & -\left(\frac{Q_{4j}}{2} + R_{3j}\right) b_p - S_{3j} & \left(R_{4j} + \frac{Q_{3j}}{2}\right) a_j + S_{4j} & 2S_{4j}\,a_j + T_{4j} + 2S_{3j}\,b_p + T_{3j} + \left(R_{4j} + \frac{Q_{3j}}{4}\right) a_j^2 + \left(\frac{Q_{4j}}{4} + R_{3j}\right) b_p^2 \end{bmatrix}$$

$$U_2 = \varrho\, b_k\, h a_s \left[P_{2e} \left(\frac{9}{70} + \frac{3}{10} R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{6} \right) - \frac{P_{2e}\, b_k^2}{10\, a_s^2} \right]$$

$$V_2 = \varrho\, b_k\, h a_s \left[-P_{2e} \left(\frac{13}{420} + \frac{3}{40} R_{2e} + \frac{R_{2e}^2}{24} \right) a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{2e}}{2} \right) \frac{P_{2e}\, b_k^2}{12\, a_s} \right]$$

$$P_2 = \varrho\, b_k\, h a_s \left[-P_{2e} \left(\frac{1}{140} + \frac{R_{2e}}{60} + \frac{R_{2e}^2}{120} \right) a_s^2 + \left(-\frac{1}{30} - \frac{R_{2e}}{6} + \frac{R_{2e}^2}{6} \right) \frac{P_{2e}\, b_k}{12} \right]$$

$$R_{3e} = \frac{1{,}2\, E a_j^2}{G b_s^2} \qquad P_{3e} = \frac{1}{(1 + R_{3e})^2}$$

$$Q_{3b} = \varrho\, a_j\, h \left(\frac{b_s}{3} + \frac{b_k}{2} \right) \qquad Q_{3j} = \varrho\, a_j\, h \left(\frac{b_s}{3} + \frac{b_p}{2} \right)$$

$$R_{3b} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{13}{35} + \frac{7}{10} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{3} \right) + \frac{1}{10} \frac{P_{3e}\, a_j^2}{b_s^2} \right] + \frac{\varrho\, a_j\, b_k\, h}{2}$$

$$R_{3j} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{13}{15} + \frac{7}{10} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{3} \right) + \frac{1}{10} \frac{P_{3e}\, a_j^2}{b_s^2} \right] + \frac{\varrho\, a_j\, b_p\, h}{2}$$

$$S_{3b} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{24} \right) b_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{3e}}{2} \right) \frac{P_{3e}\, a_j^2}{12\, b_s} \right] + \frac{\varrho\, b_k^2\, h a_j}{4}$$

$$S_{3j} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{24} \right) b_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{3e}}{2} \right) \frac{P_{3e}\, a_j^2}{12\, b_s} \right] + \frac{\varrho\, b_p^2\, h a_j}{4}$$

$$T_{3b} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{1}{105} + \frac{R_{3e}}{60} + \frac{R_{3e}^2}{120} \right) b_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{3e}}{6} + \frac{R_{3e}^2}{3} \right) \frac{P_{3e}\, a_j^2}{12} \right] +$$
$$+ \frac{\varrho\, b_k\, h a_j}{24} (a_j^2 + 4 b_k^2)$$

$$T_{3j} = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{1}{105} + \frac{R_{3e}}{60} + \frac{R_{3e}^2}{120} \right) b_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{3e}}{6} + \frac{R_{3e}^2}{3} \right) \frac{P_{3e}\, a_j^2}{12} \right] +$$
$$+ \frac{\varrho\, b_p\, h a_j}{24} (a_j^2 + 4 b_p^2)$$

$$Z_3 = \frac{\varrho\, a_j\, h b_s}{6}$$

$$U_3 = \varrho\, a_j\, h b_s \left[P_{3e} \left(\frac{9}{70} + \frac{3}{10} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{6} \right) - \frac{P_{3e}\, a_j^2}{10\, b_s^2} \right]$$

$$V_3 = \varrho\, a_j\, h b_s \left[-P_{3e} \left(\frac{13}{420} + \frac{3}{40} R_{3e} + \frac{R_{3e}^2}{24} \right) b_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{3e}}{2} \right) \frac{R_{3e}\, a_j^2}{12\, b_s} \right]$$

$$P_3 = \varrho\, a_j\, h b_s \left[-P_{3e} \left(\frac{1}{140} + \frac{R_{3e}}{60} + \frac{R_{3e}^2}{120} \right) b_s^2 + \left(-\frac{1}{30} - \frac{R_{3e}}{6} + \frac{R_{3e}^2}{6} \right) \frac{P_{3e}\, a_j^2}{12} \right]$$

$$R_{4e} = \frac{1{,}2\,E b_p^2}{G a_s^2} \qquad P_{4e} = \frac{1}{(1 + R_{4e})^2}$$

$$Q_{4b} = \varrho\, b_p\, h \left(\frac{a_s}{3} + \frac{a_b}{2}\right) \qquad Q_{4j} = \varrho\, b_p\, h \left(\frac{a_s}{3} + \frac{a_j}{2}\right)$$

$$R_{4b} = \varrho\, b_p\, h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{13}{35} + \frac{7}{10} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{3}\right) + \frac{1}{10} \frac{P_{4e}\, b_p^2}{a_s^2} \right] + \frac{\varrho\, a_b\, b_p\, h}{2}$$

$$R_{4j} = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{13}{35} + \frac{7}{10} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{3}\right) + \frac{1}{10} \frac{P_{4e}\, b_p^2}{a_s^2} \right] + \frac{\varrho\, a_j\, b_p\, h}{2}$$

$$S_{4b} = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{24}\right) a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{4e}}{2}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12\, a_s} \right] + \frac{\varrho\, a_b^2\, h b_k}{4}$$

$$S_{4j} = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{11}{210} + \frac{11}{120} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{24}\right) a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{4e}}{2}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12\, a_s} \right] + \frac{\varrho\, a_j^2\, h b_k}{4}$$

$$T_{4b} = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{1}{105} + \frac{R_{4e}}{60} + \frac{R_{4e}^2}{120}\right) a_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{4e}}{6} + \frac{R_{4e}^2}{3}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12} + \right.$$

$$\left. + \frac{\varrho\, b_p\, h a_b}{24} (b_p^2 + 4 a_b^2) \right.$$

$$T_{4j} = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{1}{105} + \frac{R_{4e}}{60} + \frac{R_{4e}^2}{120}\right) a_s^2 + \left(\frac{2}{15} + \frac{R_{4e}}{6} + \frac{R_{4e}^2}{3}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12} \right] +$$

$$+ \frac{\varrho\, b_p\, h a_j}{24} (b_p^2 + 4 a_j^2)$$

$$Z_4 = \frac{\varrho\, b_p\, h a_s}{6}$$

$$U_4 = \varrho\, b_p h a_s \left[P_{4e} \left(\frac{9}{70} + \frac{3}{10} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{6}\right) - \frac{P_{4e}\, b_p^2}{10\, a_s^2} \right]$$

$$V_4 = \varrho\, b_p h a_s \left[- P_{4e} \left(\frac{13}{420} + \frac{3}{40} R_{4e} + \frac{R_{4e}^2}{24}\right) a_s + \left(\frac{1}{10} - \frac{R_{4e}}{2}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12\, a_s} \right]$$

$$P_4 = \varrho\, b_p h a_s \left[- P_{4e} \left(\frac{1}{140} + \frac{R_{4e}}{60} + \frac{R_{4e}^2}{120}\right) a_s^2 + \left(- \frac{1}{30} - \frac{R_{4e}}{6} + \frac{R_{4e}^2}{6}\right) \frac{P_{4e}\, b_p^2}{12} \right]$$

$a_s = a - a_b - a_j$ a nyílás szélessége
$b_s = b - b_p - b_k$ a nyílás magassága
E a panel anyagának rugalmassági modulusa
G a panel anyagának nyírási rugalmassági modulusa
h a panel vastagsága

KURUTZNÉ DR. KOVÁCS MÁRTA

A SZUBDIFFERENCIÁLIS ANYAGTÖRVÉNY ELEMZÉSE EGYTENGELYŰ FESZÜLTSÉG- ÉS ALAKVÁLTOZÁSÁLLAPOTBAN

BEVEZETÉS

Az anyagok, szerkezetek valóságos viselkedését pontosabban leíró összefüggések keresésének igénye hívta életre az ún. szubdifferenciális anyagtörvényt, amely egyesíti magában az anyag lineárisan rugalmas, tökéletesen képlékeny, lineárisan keményedő, tökéletesen érintkező, záruló viselkedésének kombinációit. A szubdifferenciális anyagtörvény a test egy pontjának, mint szubdifferenciális kapcsolatnak a viselkedését írja le, amely pont képes arra, hogy egy terhelési folyamat során váltakozva ideálisan egyoldalú (feltételes) és ideálisan kétoldalú (feltétlen) kapcsolatként funkcionáljon.

1. A SZUBDIFFERENCIÁLIS ANYAGTÖRVÉNY

A szubdifferenciál fogalmának bevezetése [1, 2] lehetőséget nyújt az anyagtörvény általánosított kezelésére [3, 4, 5] azáltal, hogy a kapcsolati pontokhoz tartozó konvex energiasűrűségfunkcionálok differenciálhatósági fogalmát általánosítja [6, 7]. Ez azt jelenti tehát, hogy konvex, de nem mindenütt differenciálható funkcionállal megadott $W(\varepsilon_{ij})$ alakváltozási, ill. $W^c(\sigma_{ij})$ komplementer alakváltozási energiasűrűség függvény melletti anyagmodellek esetén is érvényben marad a σ_{ij} feszültségtenzor és az ε_{ij} alakváltozástenzor közötti, a rugalmas anyagoknál megszokott kapcsolat:

$$\sigma_{ij} \in \vartheta\, W(\varepsilon_{ij}) \qquad \varepsilon_{ij} \in R^6,$$

ill.

$$\varepsilon_{ij} \in \vartheta\, W^c(\sigma_{ij}) \qquad \sigma_{ij} \in R^6,$$

ahol ϑ a szubdifferenciálás szimbóluma és $W(\varepsilon_{ij})$ a 6-dimenziós R^6, a $<\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}>$ skalárszorzattal definiált euklideszi téren értelmezett konvex funkcionál, amelynek $W^c(\sigma_{ij})$ a konjugáltja, maga is konvex funkcionál. A W és W^c, nem mindenütt differenciálható funkcionálokat az anyagtörvény szuperpotenciáljának, ill. konjugált szuperpotenciáljának nevezzük [8, 3, 9]. A W és W^c funkcionálok szubgradienseként való származtatásából következik a $\sigma_{ij}(\varepsilon_{ij})$, ill. az $\varepsilon_{ij}(\sigma_{ij})$ kapcsolati operátorok monoton növekvő jellege, vagyis fennállnak az alábbi variációs egyenlőtlenségek, miszerint

$$W(\varepsilon^1_{ij}) - W(\varepsilon_{ij}) \geq \sigma_{ij}(\varepsilon^1_{ij} - \varepsilon_{ij}) \qquad \forall\, \varepsilon^1_{ij} \in R^6, \text{ ha } \varepsilon_{ij} \in R^6,$$

illetve

$$W^c(\sigma^1_{ij}) - W^c(\sigma_{ij}) \geq \varepsilon_{ij}(\sigma^1_{ij} - \sigma_{ij}) \qquad \forall\, \sigma^1_{ij} \in R^6, \text{ ha } \sigma_{ij} \in R^6,$$

amely megfelel a *Drucker*-féle stabilitási posztulátumnak [10, 11].

A W és W^c funkcionálokat az alábbi módon értelmezzük:

$$W(\varepsilon_{ij}) = \begin{cases} < \infty, & \text{ha } \varepsilon_{ij} \in K \subset R^6, \\ \infty, & \text{ha } \varepsilon_{ij} \notin K, \end{cases}$$

illetve (1)

$$W^c(\sigma_{ij}) = \begin{cases} < \infty, & \text{ha } \sigma_{ij} \in K^c \subset R^6, \\ \infty, & \text{ha } \sigma_{ij} \notin K^c, \end{cases}$$

ahol a W, ill. W^c funkcionálok az $\varepsilon_{ij} \in K$, ill. $\sigma_{ij} \in K^c$ mellett szubdifferenciálhatók, viszont az $\varepsilon_{ij} \notin K$, ill. $\sigma_{ij} \notin K^c$ mellett nem létezik a szubdifferenciáljuk, azaz a szubgradienseik $\vartheta W(\varepsilon_{ij})$, ill. $\vartheta W^c(\sigma_{ij})$ halmaza üres halmaz [2, 3]. Az R^6 tér K, illetve K^c konvex részhalmazát és e halmazok int K, int K^c belső pontjaiból és front K, front K^c határpontjaiból álló részhalmazát az alábbiak szerint értelmezzük:

$$K = \{\varepsilon_{ij} \mid f(\varepsilon_{ij}) \leq 0\}, \text{ int } K = \{\varepsilon_{ij} \mid f(\varepsilon_{ij}) < 0,\ df(\varepsilon_{ij}) \geq 0\},$$
$$\text{front } K = \{\varepsilon_{ij} \mid f(\varepsilon_{ij}) = 0,\ df(\varepsilon_{ij}) \leq 0\},$$

illetve

$$K^c = \{\sigma_{ij} \mid F(\sigma_{ij}) \leq 0\}, \text{ int } K^c = \{\sigma_{ij} \mid F(\sigma_{ij}) < 0,\ dF(\sigma_{ij}) \geq 0\},$$
$$\text{front } K^c = \{\sigma_{ij} \mid F(\sigma_{ij}) = 0,\ dF(\sigma_{ij}) \leq 0\},$$

amelyek a feltételes kapcsolatként értelmezett pont $F(\sigma_{ij}) = 0$, ill. $f(\varepsilon_{ij}) = 0$ szilárdsági, ill. geometriai feltételeihez tartozó konvex hiperfelületek által burkolt halmazt alkotják [12, 13, 14, 15, 16, 17].

E konvex halmazok $I_K(\varepsilon_{ij})$, ill. $I^c_K(\sigma_{ij})$ indikátorfunkcionáljainak bevezetésével [3] az (1) energiafunkcionálok így írhatók fel:

$$W(\varepsilon_{ij}) = W_0(\varepsilon_{ij}) + I_K(\varepsilon_{ij}) \qquad \varepsilon_{ij} \in R^6,$$

ill. (2)

$$W^c(\sigma_{ij}) = W^c_0(\sigma_{ij}) + I^c_K(\sigma_{ij}) \qquad \sigma_{ij} \in R^6,$$

ahol $W_0(\varepsilon_{ij}) < \infty$, ill. $W^c_0(\sigma_{ij}) < \infty$ és

$$I_K(\varepsilon_{ij}) = \begin{cases} \lambda \cdot f(\varepsilon_{ij}) = 0, & \text{ha} \quad \varepsilon_{ij} \in K \subset R^6, \\ \infty, & \text{ha} \quad \varepsilon_{ij} \notin K, \end{cases}$$

ill. (3)

$$I^c_K(\sigma_{ij}) = \begin{cases} \Lambda \cdot F(\sigma_{ij}) = 0, & \text{ha} \quad \sigma_{ij} \in K^c \subset R^6, \\ \infty, & \text{ha} \quad \sigma_{ij} \notin K^c, \end{cases}$$

ahol λ és Λ feszültség-, ill. alakváltozásjellegű szorzókat jelent [14]. Mivel az $F(\sigma_{ij}) \leq 0$ illetve az $f(\varepsilon_{ij}) \leq 0$ képlékenységi, ill. záródási függvények [15, 16] az R^6 téren értelmezett konvex, mindenütt szubdifferenciálható funkcionálok, így a *Koiter*-elv [18, 19] általánosítását is tartalmazó szubdifferenciális anyagtörvény így írható fel:

$$\sigma_{ij} \in \vartheta W_0(\varepsilon_{ij}) + \vartheta I_K(\varepsilon_{ij}),$$

ill.

$$\varepsilon_{ij} \in \vartheta W^c_0(\sigma_{ij}) + \vartheta I^c_K(\sigma_{ij}),$$

vagyis részletesebben

$$\sigma_{ij} \in \vartheta W_0(\varepsilon_{ij}) + \begin{cases} \lambda \cdot \vartheta f(\varepsilon_{ij}) = \lambda \cdot f_{ij}, & \text{ha} \quad \varepsilon_{ij} \in K, \\ \Theta, & \text{ha} \quad \varepsilon_{ij} \notin K, \end{cases}$$

ill.

$$\varepsilon_{ij} \in \vartheta W_0^c(\sigma_{ij}) + \begin{cases} \Lambda \cdot \vartheta F(\sigma_{ij}) = \Lambda \cdot F_{ij}, & \text{ha} \quad \sigma_{ij} \in K^c, \\ \Theta \quad \text{ha} \quad \sigma_{ij} \notin K^c, \end{cases}$$

ahol f_{ij}, ill. F_{ij} a K, ill. a K^c konvex halmazok burkolófelületeinek ε_{ij}, ill. σ_{ij} pontbeli gradiensei, az e pontokhoz tartozó külső normálkúp elemei.

A konvex funkcionálok differenciálhatósági fogalmának általánosítása révén a klasszikus *Legendre*-transzformáció az általánosabb érvényű *Fenchel*-transzformációba megy át, amely látszólag megegyezik az előbbivel, vagyis

$$W(\varepsilon_{ij}) + W^c(\sigma_{ij}) = \sigma_{ij}\,\varepsilon_{ij} \qquad \sigma_{ij},\ \varepsilon_{ij} \in R^6,$$

de itt W, ill. W^c nem mindenütt differenciálható funkcionálok [20, 21].

A fentiek értelmében ideális egyoldaló (feltételes) kapcsolatként viselkedik a pont, ha

$$W_0(\varepsilon_{ij}) = 0 \text{ és így } W(\varepsilon_{ij}) = I_K(\varepsilon_{ij}) \quad \text{(tökéletesen záruló)},$$

ill. ha

$$W_0^c(\sigma_{ij}) = 0 \text{ és így } W^c(\sigma_{ij}) = I_K^c(\sigma_{ij}) \text{ (tökéletesen képlékeny)},$$

és ideális kétoldalú (feltételes) kapcsolatként viselkedik a pont, ha

$$I_K(\varepsilon_{ij}) = 0, \quad \varepsilon_{ij} \in R^6, \text{ vagyis, ha } K \equiv R^6,$$

ill.

$$I_K^c(\sigma_{ij}) = 0, \quad \sigma_{ij} \in R^6, \text{ vagyis, ha } K^c \equiv R^6,$$

ekkor tehát

$$W(\varepsilon_{ij}) = W_0(\varepsilon_{ij}) \quad \text{és} \quad W^c(\sigma_{ij}) = W_0^c(\sigma_{ij}) \text{ (rugalmas)}.$$

Amint láttuk, a szubdifferenciális anyagtörvény egyesíti magában az anyag rugalmas, záruló és képlékeny tulajdonságait. Ahhoz, hogy erről az általánosított anyagtörvényről közelebbi képet kaphassunk, alkalmazzuk azt a legegyszerűbb esetre, az egytengelyű feszültség- és alakváltozás-állapotra, megalkotva a poligonális anyagtörvény mechanikai modelljét.

2. A POLIGONÁLIS ANYAGTÖRVÉNY ELEMI MECHANIKAI MODELLJEI

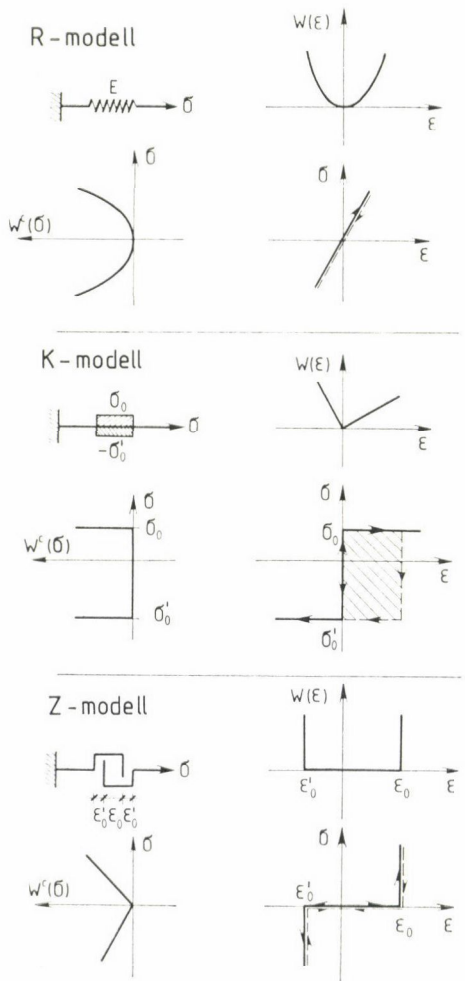
A szubdifferenciális anyagtörvény egytengelyű feszültség- és alakváltozás-állapotban poligon-jellegű feszültség-alakváltozás függvénnyel írható le [3]. Innen származik a szubdifferenciális anyagtörvény „poligonális" elnevezése, amellyel még többtengelyű állapot esetén is találkozunk.

Ehhez az idealizált anyagmodellhez tartozó monoton növekvő poligon az egytengelyű állapotra vonatkozó anyagtörvény nem mindenütt differenciálható, de majdnem mindenütt szubdifferenciálható konvex alakváltozási, ill.

komplementer alakváltozási energiasűrűség funkcionáljának a szubdifferenciálgörbéje.

A poligonális anyagmodellt általánosított feltételes kapcsolatnak tekintjük, amelynek viselkedését egymással kapcsolatban álló ún. elemi szubdifferenciális kapcsolati modellek és az ezekhez tartozó feltételek szabják meg.

Az egytengelyű általánosított feltételes kapcsolatnak megfelelő poligonális anyagmodellt az 1. ábrán látható elemi kapcsolati modellekből építjük össze. Az egyes elemi kapcsolatok mechanikai modelljei mellett feltüntettük a modellhez tartozó $\sigma(\varepsilon)$, ill. $\varepsilon(\sigma)$ kapcsolati operátort, a $\sigma-\varepsilon$ diagramot (folytonos vonallal a terhelési, szaggatott vonallal a tehermentesítési ágat ábrázolva), továbbá a $W(\varepsilon)$ alakváltozási, és a $W^c(\sigma)$ komplementer alakváltozási energiafunkcionált. Amint látható, a $\sigma(\varepsilon)$, ill. $\varepsilon(\sigma)$ függvények a $W(\varepsilon)$, ill. a $W^c(\sigma)$ konvex funkcionálok szubdifferenciálgörbéi.



1. ábra. Az elemi kapcsolómodellek

A három elemi modell közül a rugalmas modell, a továbbiakban R-modell feltétel nélküli, ún. kétoldalú kapcsolat, a képlékeny K-modell és a záruló Z-modell feltételes, ún. ideális egyoldalú kapcsolat.

Az R-modellre vonatkozó összefüggések:

$$K \equiv R^1, \quad K^c \equiv R^1, \quad \text{így}$$

$$I_K(\varepsilon) = 0, \quad I_K^c(\sigma) = 0, \quad \text{tehát}$$

$$\left.\begin{aligned} W(\varepsilon) = W_0(\varepsilon) &= \frac{1}{2} E \varepsilon^2 \\ \sigma(\varepsilon) = \vartheta W(\varepsilon) &= E \varepsilon \end{aligned}\right\} \varepsilon \in R^1,$$

$$\left.\begin{aligned} W^c(\sigma) = W_0^c(\sigma) &= \frac{1}{2E} \sigma^2 \\ \varepsilon(\sigma) = \vartheta W^c(\sigma) &= \frac{1}{E} \sigma \end{aligned}\right\} \sigma \in R^1,$$

és

$$W(\varepsilon) + W^c(\sigma) = \sigma\varepsilon \qquad \sigma, \varepsilon \in R^1,$$

ahol az E rugóállandó a rugalmassági modulus.

A K-modellre vonatkozó összefüggések:
Az ideális egyoldalú kapcsolatnál

$$K^c \subset R^1, \quad \text{így} \quad I_K^c(\sigma) = \begin{cases} F \cdot \Lambda = 0, & \text{ha} \quad \sigma \in K^c, \\ \infty, & \text{ha} \quad \sigma \notin K^c, \end{cases}$$

ahol

$$K^c = \{\sigma \mid -\sigma_0' \leq \sigma \leq \sigma_0\} \text{ és}$$

$$\text{int } K^c = \{\sigma \mid -\sigma_0' < \sigma < \sigma_0\}, \text{ front } K^c = \{\sigma \mid \sigma = \sigma_0, \ \sigma = -\sigma_0'\},$$

továbbá

$$W_0^c(\sigma) = 0, \text{ így}$$

$$W^c(\sigma) = I_K^c(\sigma) = \begin{cases} F \cdot \Lambda = 0, & \text{ha } \sigma \in K^c, \\ \infty, & \text{ha } \sigma \notin K^c, \end{cases}$$

ebből

$$\varepsilon(\sigma) = \vartheta W^c(\sigma) = \begin{cases} \Lambda, & \text{ha } \sigma \in K^c, \\ \Theta, & \text{ha } \sigma \notin K^c, \end{cases}$$

ahol $\Lambda = 0$, ha $\sigma \in \text{int } K^c$ és $\Lambda \geq 0$, ha $\sigma \in \text{front } K^c$. Λ a képlékeny alakváltozások növekménye vagy az ún. képlékeny szorzó. Pozitív értelme a K^c halmaz σ-pontbeli külső normálisának irányára vonatkozik koaxiális $\sigma - \varepsilon$ koordinátarendszer esetén.

A *Fenchel*-transzformációból [20]:

$$W(\varepsilon) = \sigma\varepsilon - W^c(\sigma) = \sigma \cdot \Lambda, \quad \sigma \in K^c, \ \varepsilon \in R^1,$$

és

$$W(\varepsilon) = 0, \text{ ha } \sigma \in \text{int } K^c, \text{ de } W(\varepsilon) \geq 0, \text{ ha } \sigma \in \text{front } K^c.$$

A terhelési folyamat során befektetett potenciális energia nem negatív, azaz:

$$\sigma(\varepsilon_1 - \varepsilon) \geq 0 \quad \sigma \in K^c, \quad \varepsilon, \varepsilon_1 \in R^1,$$

vagyis a K-modell a Drucker-féle posztulátum [8, 9] szerint stabil kapcsoló modell, amely egyébként következik a $\sigma(\varepsilon)$ operátor monoton növekvő jellegéből, amelyet szintén a fenti variációs egyenlőtlenség reprezentál.

A teljes terhelési — tehermentesítési folyamat közben elnyelt energiának megfelelő ún. képlékeny hiszterézishurkot az ábrán sraffozással jelöltük. Látható, hogy a K-modell esetén a tehermentesítés során visszanyert energiáról nem beszélhetünk.

A Z-modellre vonatkozó összefüggések:
Az ideális egyoldalú kapcsolatnál

$$K \subset R^1, \text{ így } I_K(\varepsilon) = \begin{cases} f \cdot \lambda = 0, & \text{ha } \varepsilon \in K, \\ \infty, & \text{ha } \varepsilon \notin K, \end{cases}$$

ahol

$$K = \{\varepsilon \mid -\varepsilon_0' \leq \varepsilon \leq \varepsilon_0\} \quad \text{és}$$

$$\text{int } K = \{\varepsilon \mid -\varepsilon_0' < \varepsilon < \varepsilon_0\}, \text{ front } K = \{\varepsilon \mid \varepsilon = \varepsilon_0, \ \varepsilon = -\varepsilon_0'\},$$

továbbá

$$W_0(\varepsilon) = 0, \text{ így}$$

$$W(\varepsilon) = I_K(\varepsilon) = \begin{cases} f \cdot \lambda = 0, & \text{ha } \varepsilon \in K, \\ \infty, & \text{ha } \varepsilon \notin K, \end{cases}$$

ebből

$$\sigma(\varepsilon) = \vartheta W(\varepsilon) = \begin{cases} \lambda, & \text{ha } \varepsilon \in K, \\ 0, & \text{ha } \varepsilon \notin K, \end{cases}$$

ahol $\lambda = 0$, ha $\varepsilon \in \text{int } K$, és $\lambda \geq 0$, ha $\varepsilon \in \text{front } K$. λ a záródási feszültségek növekménye, vagy az ún. záródási szorzó. Pozitív értelme a K halmaz ε-pontbeli külső normálisának irányára vonatkozik koaxiális $\sigma - \varepsilon$ koordinátarendszer esetén.

A *Fenchel*-transzformációból [20]:

$$W^c(\sigma) = \sigma \cdot \varepsilon - W(\varepsilon) = \varepsilon \cdot \lambda, \quad \varepsilon \in K, \quad \sigma \in R^1,$$

és

$$W^c(\sigma) = 0, \text{ ha } \varepsilon \in \text{int } K, \text{ de } W^c(\sigma) \geq 0, \text{ ha } \varepsilon \in \text{front } K.$$

A terhelési folyamat során befektetett potenciális energia nem negatív, pontosabban zérus, azaz

$$\sigma(\varepsilon_1 - \varepsilon) = 0, \quad \text{mivel} \quad \varepsilon_1, \varepsilon \in K, \ \sigma \in R^1,$$

ily módon a Z-modell is stabil kapcsolómodell, amely egyébként a $\sigma(\varepsilon)$ operátor (itt nem szigorúan) monoton növekvő jellegéből is következik.

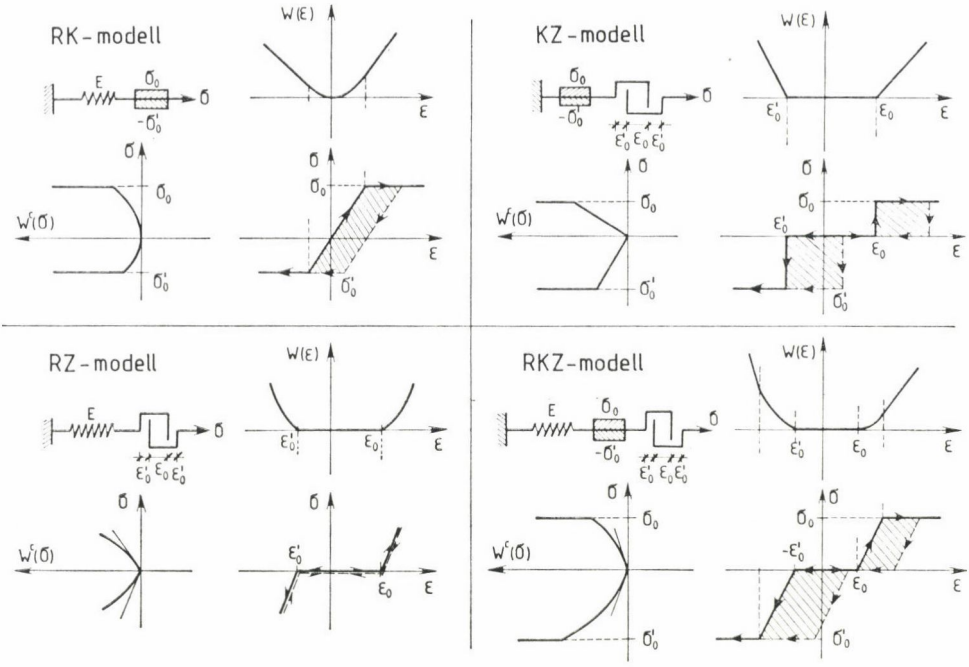
A Z-modell esetén a teljes terhelési-tehermentesítési folyamat során nincs potenciális energiatermelés, így sem elnyelt sem visszanyert energiáról nem lehet szó.

Amint ez a K- és Z-modell elemzéséből nyilvánvaló: e két modell konjugáltja egymásnak, tehát duális modellpárt alkot.

3. A POLIGONÁLIS ANYAGMODELL MINT AZ ELEMI MODELLEK KOMBINÁCIÓJA

Az alábbiakban megmutatjuk, hogy miként állíthatók elő tetszőleges poligonális anyagmodellek a fenti három elemi modell kombinációiként.

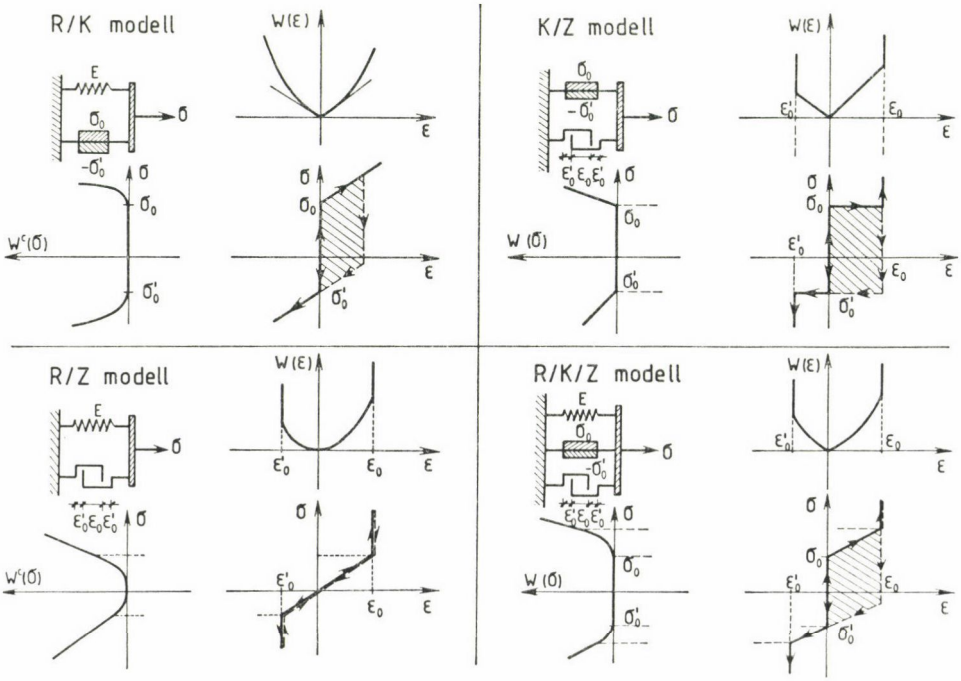
Az elemi modellek soros kapcsolása esetén az alakváltozások összegeződnek azonos feszültségérték mellett. A 2. ábrán az elemi modellek legegyszerűbb soros kapcsolási kombinációit tüntettük fel a megfelelő $W(\varepsilon)$, ill. $W^c(\sigma)$ energia-funkcionálokkal, és a szubdifferenciálásuk útján származtatott $\sigma - \varepsilon$ operátorral. Ábrázoltuk a teljes terhelés — tehermentesítés során elnyelt energiának megfelelő hiszterézishurkot is. Jól érzékelhető, hogy az energianyelő K-modell hiánya esetén ez a hiszterézishurok elmarad, a befektetett rugalmas energia visszanyerhető.



2. ábra. Az elemi modellek soros kapcsolása

Az elemi modellek párhuzamos kapcsolása esetén a feszültségek összegeződnek azonos alakváltozásérték mellett. A 3. ábrán az elemi modellek legegyszerűbb párhuzamos kapcsolási kombinációit tüntettük fel.

Az elemi modellek vegyes kapcsolására egy egyszerű példát mutatunk be a 4. ábrán. Jól érzékelhető, hogy az elemi kapcsolatokra előírt anyagállandók megszabják a kapcsolati modellek precedenciáját: az egyes kapcsolóelemek

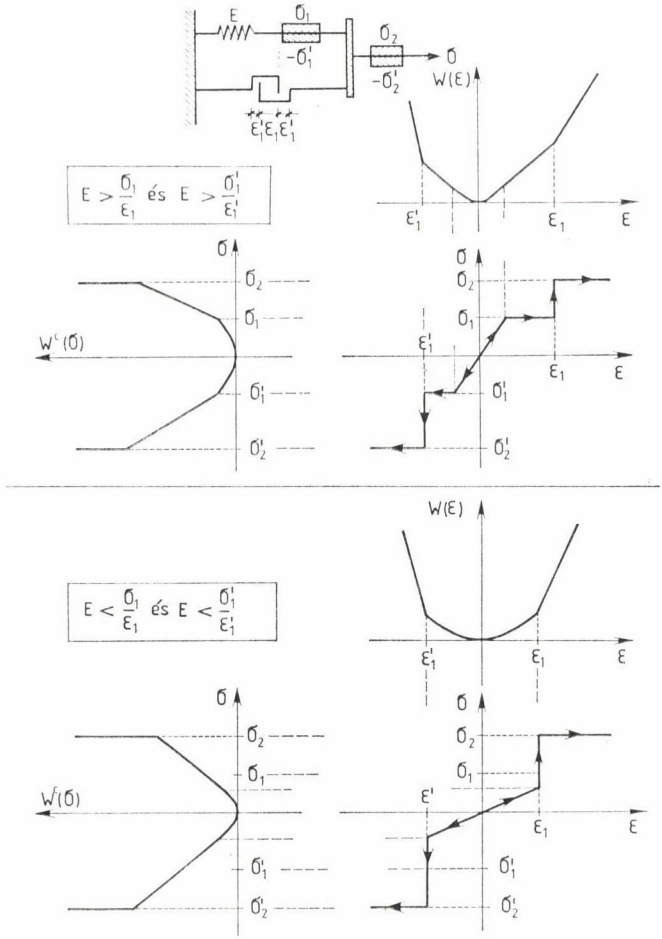


3. ábra. Az elemi modellek párhuzamos kapcsolása

aktivizálódási állapotát. Így pl. $E > \dfrac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$ vagyis $\varepsilon_1 > \dfrac{\sigma_1}{E}$ esetén előbb csúszik meg a K-kapcsolat, mintsem a Z-kapcsolat zárulna. Viszont $W < \dfrac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$ vagyis $\varepsilon_1 < \dfrac{\sigma_1}{\varepsilon_1}$ esetén a Z-kapcsolat zárul előbb, így a K-kapcsolat inaktív marad.

Tekintsük most a feladat megfordítását, vagyis igazoljuk azt az állítást, miszerint bármely stabil poligonális anyagmodell előállítható az elemi szubdifferenciális modellek kapcsolási kombinációjaként. Az anyag stabilitását a $\sigma - \varepsilon$ poligon monoton növekvő jellege biztosítja, az energiafunkcionálok konvexitásának megfelelően.

Az 5. ábrán egy (nem szigorúan) monoton növekvő $\sigma - \varepsilon$ poligont tüntettünk fel. Állítsuk elő e poligonális anyagtörvény mechanikai modelljét az elemi modellek kombinációjaként.



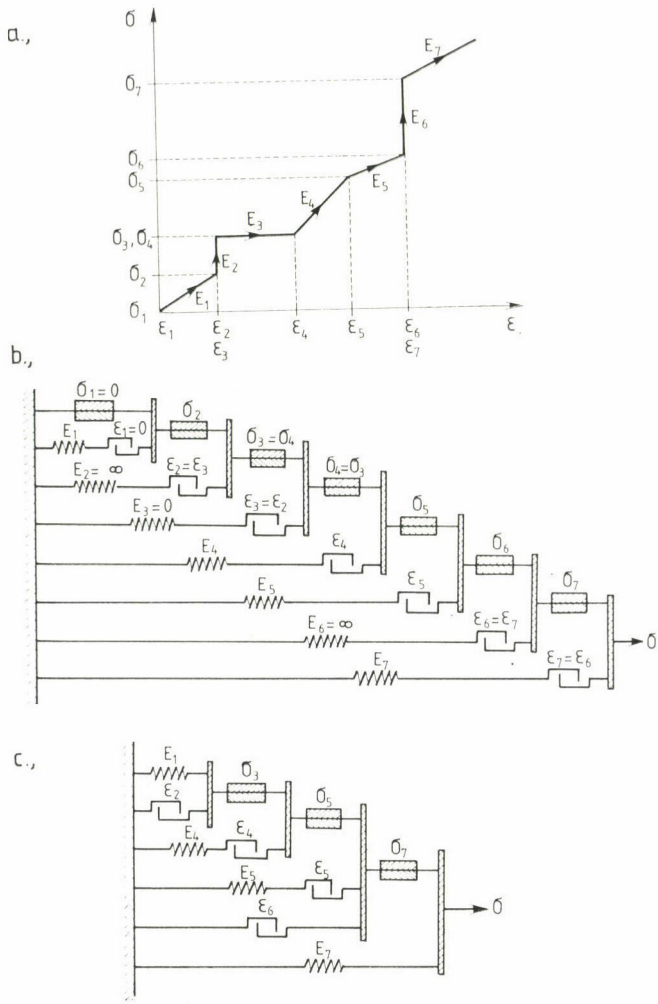
4. ábra. Az elemi modellek vegyes kapcsolása

Készítsük el először azt az ún. általános kapcsolóelemet, amelynek segítségével a poligonális $\sigma - \varepsilon$ diagram bármely szakasza modellezhető. Legyen az általános kapcsolóelem a 6. ábrán látható kombináció, amelyet bármely kapcsolati rendszerhez bárhol beiktatva a kívánt diagramszakasznak megfelelő viselkedés érhető el.

Az általános kapcsolóelem egy, a megelőző kapcsolati rendszerhez (vagy a megelőző általános kapcsolóelemhez) sorosan kapcsolt K-modellből és párhuzamosan kapcsolt RZ-modellből áll. Ezen elemi modellek σ_i, ε_i állandóit úgy adjuk meg, hogy a belőlük és a követő kapcsolóelem állandóiból számítható iránytangens a megfelelő poligonszakasz iránytangensét adja, ezáltal az általános kapcsolóelem a megkívánt R-, K-, ill. Z-modellként viselkedjék.

A 6. ábrán feltüntettük a $\sigma - \varepsilon$ poligon i-edik szakaszát, amelynek iránytangense:

$$E_i = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i}{\varepsilon_{i+1} - \varepsilon_i},$$



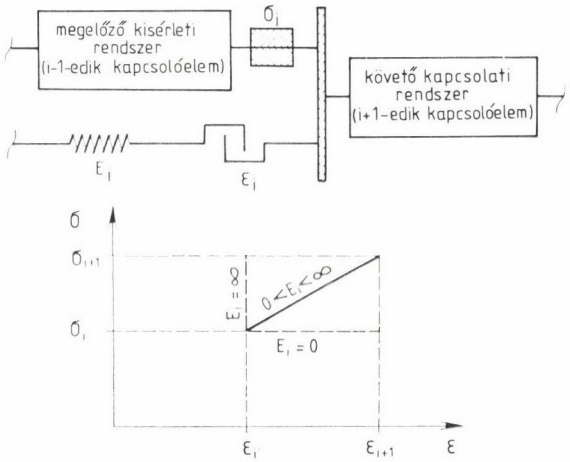
5. ábra. Poligonális anyagmodell mint elemi modellek kombinációja

ennek megfelelően

$$0 \leq E_i \leq \infty.$$

Ha $\sigma_i = \sigma_{i+1}$, akkor $E_i = 0$, vagyis az általános kapcsolóelem K-modellként, ha viszont $\varepsilon_i = \varepsilon_{i+1}$, így $E_i = \infty$, akkor Z-modellként viselkedik. Egyidejűleg e két jelenség nem fordulhat elő, hiszen a K- és Z-modellek egymás konjugáltjai. Abban az esetben, ha $\sigma_i \neq \sigma_{i+1}$ és $\varepsilon_i \neq \varepsilon_{i+1}$, akkor az R-modellnek megfelelő viselkedésről van szó.

Térjünk most vissza az 5.a ábrán megadott diagramnak megfelelő mechanikai modell elkészítéséhez az általános kapcsolóelem felhasználásával. Írjuk fel rendre a $\sigma - \varepsilon$ poligon által megadott, a szakaszonként alkalmazandó általános kapcsolóelemre érvényes iránytangenseket.



6. ábra. Az általános kapcsolóelem

Az 1. számú általános kapcsolóelem esetén (5.b ábra):

$$E_1 = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{\sigma_2}{\varepsilon_2}, \quad \text{mivel} \quad \sigma_1 = \varepsilon_1 = 0,$$

így az 1. számú általános kapcsolóelem mindössze egy R_1-modellből áll.

A 2. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_2 = \frac{\sigma_3 - \sigma_2}{\varepsilon_3 - \varepsilon_2} = \infty, \quad \text{mivel} \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_3,$$

így az $E_2 = \infty$ jellemzőjű R_2-modell merev kapcsolatnak felel meg, tehát a rugó kiiktatódik. Hasonlóképpen feleslegessé válik a 2. számú kapcsolóelem K_2-modellje is, mivel a Z_2-modell éppen akkor zárul ε_2 érték mellett, amikor a K_2 modell megcsúszna σ_2 érték mellett. Ily módon tehát a 2. számú általános kapcsolóelem mindössze egy Z_2-modellből áll.

A 3. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_3 = \frac{\sigma_4 - \sigma_3}{\varepsilon_4 - \varepsilon_3} = 0, \quad \text{mivel} \quad \sigma_3 = \sigma_4,$$

így az $E_3 = 0$ jellemzőjű rugó az elvágott kapcsolórúdnak felel meg, amely a vele sorosan kapcsolt ε_3 jellemzőjű Z_3-modellt feleslegessé teszi, így kiiktatható a rendszerből. Így tehát a 3. számú általános kapcsolóelem mindössze egy K_3-modellből áll.

A 4. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_3 = \frac{\sigma_5 - \sigma_4}{\varepsilon_5 - \varepsilon_4} \quad \text{és} \quad 0 < E_4 < \infty,$$

de mivel $\sigma_4 = \sigma_3$, így az R_3Z_3-modell hiánya miatt a K_3-modellel soros kapcso-

lásba kerülő K_4-modell feleslegessé válik, hiszen funkcióját K_3-modell ellátja. Így a 4. számú általános kapcsolóelem az R_4 és Z_4-modellekből áll.

Az 5. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_5 = \frac{\sigma_6 - \sigma_5}{\varepsilon_6 - \varepsilon_5} \quad \text{és} \quad 0 < E_5 < \infty,$$

és mivel $\sigma_5 > \sigma_4$, $\varepsilon_5 > \varepsilon_4$ így szükség van a kapcsolóelemet alkotó mindhárom modellre, tehát az 5. számú általános kapcsolóelemet a K_5, R_5, Z_5 modellek alkotják.

A 6. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_6 = \frac{\sigma_7 - \sigma_6}{\varepsilon_7 - \varepsilon_6} = \infty, \quad \text{mivel} \quad \varepsilon_7 = \varepsilon_6,$$

így az $E_6 = \infty$ jellemzőjű R_6-modell merev kapcsolórúdnak felel meg. Továbbá a σ_6 jellemzőjű K_6-modell is felesleges, mivel Z_6-modell zárul ε_6 mellett, mielőtt K_6-modell megcsúszhatna. Ily módon a 6. számú általános kapcsolóelem mindössze egy Z_6-modellből áll.

A 7. számú általános kapcsolóelem esetén:

$$E_7 = \frac{\sigma - \sigma_7}{\varepsilon - \varepsilon_7} \quad \text{és} \quad 0 < E_7 < \infty,$$

mivel a σ_7-jellemzőjű K_7-modell megcsúszása után az E_7-jellemzőjű R_7-modell működik korlátlan σ és ε mellett. Mivel $\varepsilon_7 = \varepsilon_6$, a Z_6-tal párhuzamosan kapcsolt Z_7-modell felesleges. Így tehát a 7. számú általános kapcsolóelem az R_7- és a K_7-modellekből áll.

Az 5.b ábrán az adott poligonális anyagmodell teljes, az 5.c. ábrán a felesleges kapcsolóelemektől megfosztott mechanikai modelljét ábrázoltuk.

Megmutattuk tehát, hogy bármely stabil poligonális anyagmodell előállítható az elemi modellek kapcsolási kombinációjaként, sőt az általános kapcsolóelem segítségével e művelet automatikusan végezhető.

4. A POLIGONÁLIS ANYAGMODELL ENERGETIKAI VIZSGÁLATA INKREMENTÁLIS FOLYAMATBAN

Tekintsük a 7. ábrán feltüntetett monoton növekvő $\sigma - \varepsilon$ diagramot, amelyre tehát fennáll, hogy

$$(\sigma - \alpha_i)(\varepsilon - \beta_i) \geq 0$$

bármely összetartozó σ, ε és α_i, β_i értékpárra, ahol α_i és β_i az egyes poligontöréspontokra előírt feszültségi és alakváltozási értelmű anyagállandó.

Írjuk most fel a terhelési folyamat során felhalmozott $W(\varepsilon)$ alakváltozási és $W^c(\sigma)$ komplementer alakváltozási energiafunkcionálok (σ, ε) ponthoz tartozó értékeit:

$$W(\varepsilon) + W(\beta_i) + dW(\varepsilon)_i,$$

ahol $dW(\varepsilon)_i \geq 0$, ha $\varepsilon \geq \beta_i$ az i-edik általános kapcsolóelem által előidézett alakváltozási energianövekmény [23]:

$$dW(\varepsilon)_i = \alpha_i(\varepsilon - \beta_i) + \frac{1}{2}\frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{\beta_{i+1} - \beta_i}(\varepsilon - \beta_i)^2, \text{ ha } \varepsilon \in K_i,$$

ahol

$$K_i = \{\varepsilon \mid f_i = (\varepsilon - \beta_{i+1}) \leq 0\} \text{ és}$$

$$\text{int } K_i = \{\varepsilon \mid \varepsilon < \beta_{i+1}\}, \text{ front } K_i = \{\varepsilon \mid \varepsilon = \beta_{i+1}, \text{ de } \beta_{i+1} = \beta_i\},$$

és ahol $E_i = \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{\beta_{i+1} - \beta_i}$ az i-edik általános kapcsolóelem rugalmassági modulusa.

Továbbá

$$W^c(\sigma) = W^c(\alpha_i) + dW^c(\sigma)_i,$$

ahol $dW^c(\sigma)_i \geq 0$, ha $\sigma \geq \alpha_i$ az i-edik kapcsolóelem által előidézett komplementer alakváltozási energianövekmény:

$$dW^c(\sigma)_i = \beta_i(\sigma - \alpha_i) + \frac{1}{2}\frac{\beta_{i+1} - \beta_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}(\sigma - \alpha_i)^2, \text{ ha } \sigma \in K_i^c,$$

ahol

$$K_i^c = \{\sigma \mid F_i = (\sigma - \alpha_{i+1}) \leq 0\} \text{ és}$$

$$\text{int } K_i^c = \{\sigma \mid \sigma < \alpha_{i+1}\}, \text{ front } K_i^c = \{\sigma \mid \sigma = \alpha_{i+1}, \text{ de } \alpha_{i+1} = \alpha_i\}.$$

Most írjuk fel az energiafunkcionálokat a K_i ill. K_i^c konvex halmazok indikátorai segítségével:

$$W(\varepsilon) = W(\beta_i) + dW_0(\varepsilon)_i + dI_K(\varepsilon)_i, \quad \varepsilon \in R^1,$$

ahol

$$dW_0(\varepsilon)_i = \alpha_i(\varepsilon - \beta_i) + \frac{1}{2}\frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{\beta_{i+1} - \beta_i}(\varepsilon - \beta_i)^2, \quad \varepsilon \in K_i$$

és

$$dI_K(\varepsilon)_i = \begin{cases} df_i\, d\lambda_i = 0, & \text{ha } \varepsilon \in K_i, \\ \infty, & \text{ha } \varepsilon \notin K, \end{cases}$$

valamint

$$W^c(\sigma) = W^c(\alpha_i) + dW_0^c(\varepsilon)_i + dI_K^c(\sigma)_i, \quad \sigma \in R^1,$$

ahol

$$dW_0^c(\sigma)_i = \beta_i(\sigma - \alpha_i) + \frac{1}{2}\frac{\beta_{i+1} - \beta_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}(\sigma - \alpha_i)^2, \quad \varepsilon \in K_i,$$

és

$$dI_K^c(\sigma)_i = \begin{cases} dF_i\, d\Lambda_i = 0, & \text{ha } \sigma \in K_i^c, \\ \infty, & \text{ha } \sigma \notin K_i^c. \end{cases}$$

Képezzük $W(\varepsilon)$ és $W^c(\sigma)$ funkcionálok szubdifferenciálját, így

$$\sigma(\varepsilon) \in \vartheta\, W(\varepsilon) = \alpha_i + \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{\beta_{i+1} - \beta_i}(\varepsilon - \beta_i) + d\lambda_i, \quad \varepsilon \in K_i,$$

és

$$\varepsilon(\sigma) \in \vartheta\, W^c(\sigma) = \beta_i + \frac{\beta_{i+1} - \beta_i}{\alpha_{i+1} - \alpha_i}(\sigma - \alpha_i) + d\Lambda_i, \quad \sigma \in K_i^c.$$

Tekintsük most a speciális eseteket.

Ha $\beta_i = \beta_{i+1}$, egyidejűleg $\alpha_i \leq \sigma \leq \alpha_{i+1}$, akkor

$$\varepsilon \in \text{front } K_i, \text{ mivel } \varepsilon = \beta_i = \beta_{i+1}.$$

Ekkor $E_i = \infty$ és

$$\left.\begin{aligned} W(\varepsilon) &= W(\beta_i), \quad dW(\varepsilon)_i = 0 \\ \sigma(\varepsilon) &= \alpha_i + d\lambda_i \\ W^c(\sigma) &= W^c(\alpha_i) + \beta_i(\sigma - \alpha_i), \quad dW^c(\sigma)_i = \beta_i(\sigma - \alpha_i) \\ \varepsilon(\sigma) &= \beta_i, \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &\varepsilon \in \text{front } K_i, \\ &\sigma \in R^1, \end{aligned}$$

amelyből nyilvánvaló, hogy $d\lambda_i = \sigma - \alpha_i$. Abban a speciális esetben tehát, ha az i-edik kapcsolóelemre a $\beta_i = \beta_{i+1}$ előírás érvényes, akkor az elem a Z-modellnek megfelelően viselkedik: terhelés során alakváltozási energiát nem, viszont komplementer energiát halmoz fel, állandó alakváltozás, de növekvő feszültség mellett.

Ha $\alpha_i = \alpha_{i+1}$, egyidejűleg $\beta_i \leq \varepsilon \leq \beta_{i+1}$, akkor

$$\sigma_i \in \text{front } K_i^c, \text{ mivel } \sigma = \alpha_i = \alpha_{i+1}.$$

Ekkor $E_i = 0$ és

$$\left.\begin{aligned} W^c(\sigma) &= W^c(\alpha_i), \quad dW^c(\sigma)_i = 0 \\ \varepsilon(\sigma) &= \beta_i + d\Lambda_i, \\ W(\varepsilon) &= W(\beta_i) + \alpha_i(\varepsilon - \beta_i), \quad dW(\varepsilon)_i = \alpha_i(\varepsilon - \beta_i) \\ \sigma(\varepsilon) &= \alpha_i, \end{aligned}\right\} \begin{aligned} &\sigma \in \text{front } K_i^c, \\ &\varepsilon \in R^1, \end{aligned}$$

amelyből nyilvánvaló, hogy $d\Lambda_i = \varepsilon - \beta_i$. Abban az esetben tehát, ha az i-edik kapcsolóelemre az $\alpha_i = \alpha_{i+1}$ előírás érvényes, akkor az elem a K-modellnek megfelelően viselkedik: terhelés során alakváltozási energiát halmoz fel, de komplementer energia nem keletkezik, állandó feszültség, de növekvő alakváltozás mellett.

Az az eset, amikor egyidejűleg $\alpha_i = \alpha_{i+1}$ és $\beta_i = \beta_{i+1}$, nem fordulhat elő. Ez ugyanis azt jelentené, hogy az i-edik és az $i + 1$-edik pont a $\sigma - \varepsilon$ diagramban

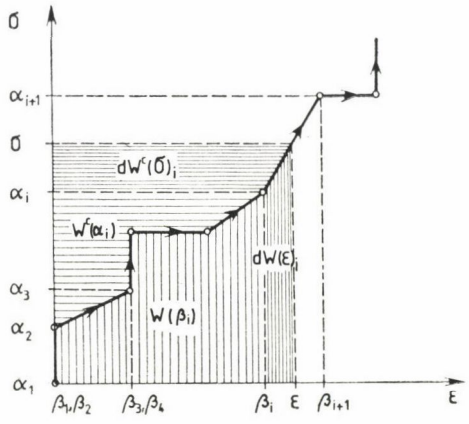
egybeesik, ennek pedig nincs értelme. Másrészt ez azt is jelentené, hogy egyidejűleg

$$\varepsilon \in \text{front } K_i \text{ és } \sigma \in \text{front } K_i^c,$$

vagyis az elem egyidejűleg Z- és K-modellként viselkednék, ami fizikailag lehetetlen, tekintve, hogy e két modell konjugált modellpárt képez.

A 7. ábrán megadott anyagtörvénynek megfelelő alakváltozási energiafunkcionál részletesen tehát így adható meg:

$$W(\varepsilon)=\begin{cases}\lambda_1 \cdot f_1(\varepsilon) = 0, & \text{ha } \varepsilon=\beta_1-\beta_2, \text{ azaz } \varepsilon \in \text{front } K_1,\\ \alpha_2 \cdot \varepsilon + \dfrac{1}{2}\dfrac{\alpha_3-\alpha_2}{\beta_3-\beta_2}\cdot\varepsilon^2, & \text{ha } \beta_2\leq\varepsilon\leq\beta_3, \text{ azaz } \varepsilon \in \text{int } K_2,\\ \alpha_2 \cdot \varepsilon + \dfrac{1}{2}(\alpha_3-\alpha_2)\cdot\varepsilon^2 + \lambda_2 \cdot f_3(\varepsilon), & \text{ha } \varepsilon=\beta_3=\beta_4, \text{ azaz } \varepsilon \in \text{front } K_3,\\ \alpha_2\ \beta_3 + \dfrac{1}{2}(\alpha_3-\alpha_2)\beta_3 - \alpha_4(\varepsilon-\beta_4), & \text{ha } \beta_4\leq\varepsilon\leq\beta_5, \text{ azaz } \varepsilon \in \text{int } K_4,\\ \alpha_3\ \beta_3 + \dfrac{1}{2}(\alpha_3-\alpha_2)\beta_3 + \alpha_4(\beta_5-\beta_4) + & \\ + \alpha_5(\varepsilon-\beta_5) + \dfrac{1}{2}\dfrac{\alpha_6-\alpha_5}{\beta_6-\beta_5}(\varepsilon-\beta_5)^2, & \text{ha } \beta_5\leq\varepsilon\leq\beta_6, \text{ azaz } \varepsilon \in \text{int } K_5,\\ \vdots & \\ \infty, & \text{ha } \varepsilon < \beta_n, \quad \text{azaz } \varepsilon \in K = \bigcup_{i=1}^{n} K_i,\end{cases}$$



7. ábra. A poligonális anyagmodell energetikai vizsgálata

és szubdifferenciálja

$$\sigma(\varepsilon) \in \vartheta W(\varepsilon) = \begin{cases} \lambda_1, & \text{ha } \varepsilon \in \text{front } K_1, \\ \alpha_2 + \dfrac{\alpha_3 - \alpha_2}{\beta_3 - \beta_2} \cdot \varepsilon, & \text{ha } \varepsilon \in \text{int } K_2, \\ \alpha_3 + \lambda_2, & \text{ha } \varepsilon \in \text{front } K_3, \\ \alpha_4, & \text{ha } \varepsilon \in \text{int } K_4, \\ \alpha_5 + \dfrac{\alpha_6 - \alpha_5}{\beta_6 - \beta_5}(\varepsilon - \beta_5), & \text{ha } \varepsilon \in \text{int } K_5, \\ \vdots & \\ \Theta, & \text{ha } \varepsilon \in K = \bigcup_{i=1}^{n} K_i, \end{cases}$$

ahol valamennyi K_i halmaz tartalmazza az origót.

Hasonlóképpen írható fel a $W^c(\sigma)$ komplementer alakváltozási energiafunkcionál és szubdifferenciálja, az $\varepsilon(\sigma)$ operátor is.

IRODALOM

[1] Moreau, J. J.: Functionelles sous-differentiables. C. R. Acad. Sc., Paris 257A, 4117—4119. 1963.

[2] Rockafellar, R. T.: Convex Analysis. Princeton Mathematical Series, Vol. 28. Princeton U. P. Princeton, New Yersey, 1970.

[3] Panagiotopoulos, P. D.: Ungleichungsprobleme in der Mechanik. Habilitationsschrift, Aachen, 1977.

[4] Moreau, J. J.: On unilateral constraints, friction and plasticity. New variational techniques in mathematical physics. C. I. M. E. 173—322. Edizioni Cremonese, Roma, 1974.

[5] Duvaut, D.—Lions, J. L.: Inequalities in Mechanics and Physics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1976.

[6] Panagiotopoulos, P. D.: Convex analysis and unilateral static problems. Ing. Archiv 45. 55—68. 1976.

[7] Panagiotopoulos, P. D.: On the unilateral contact problem of structures with a nonquadratic strain energy density. Int. J. Solids and Structures, 13, 253—261, 1977.

[8] Moreau, J. J.: La notion de sur-potentiel et les liaisons unilaterales en elastostatique. C. R. Acad. Sc., Paris 267 A, 954—957, 1968.

[9] Panagiotopoulos, P. D.: A systematic approach to the search for variational principles of bilateral and unilateral problems, ZAMM, 57. T 246—247, 1977.

[10] Drucker, D. C.: Some implications of workhardening and ideal plasticity. Quart. Appl. Math. Vol. 7. No. 2. 411—418. 1949.

[11] Drucker, D. C.: A more fundamental approach to plastic stress-strain relations. Proc. 1-st. US Nat. Congr. Appl. Mech. Chicago 1951. Eduard Brothers Inc. 487—491. 1952.

[12] Prager, W.: On the ideal-locking materials, Trans. Soc. Rheol. 1. 169—175, 1957.

[13] Kaliszky, S.: Feltételes kapcsolatokat tartalmazó szerkezetek vizsgálata, Építés-Építészettudomány, 6, 325—339, 1974.

[14] Kaliszky, S.: The analysis of structures with conditional joints, Journal of Structural Mechanics 6, 195—210, 1978.

[15] Kurutz, M.: State change analysis of structures with generalized conditional joints Period. Polytechn. Civil. Eng. 25, 169—189, 1981.

[16] Kurutz, M.: Általánosított feltételes kapcsolatokkal rendelkező szerkezetek állapotváltozásvizsgálata, Műszaki Tudomány, 59, 109—129, 1981.

[17] Kurutz, M.: State change analysis of elasto-plastic structures with generalized conditional joints, T185—T186, ZAMM, 63, 1983.

[18] KOITER, W. T.: Stress-strain relations uniqueness and variational theorems for elasto-plastic materials with a singular yield surface. Quart. Appl. Math. Vol. 11. No. 3. 350—354, 1953.
[19] KOITER, W. T.: General theorems for elastic-plastic solids. In: Progress in Solid Mechanics. Vol. I. S. 165—221. North-Holland Publ. Co. 1960.
[20] FENCHEL, W.: On conjugate convex functions. Canad. J. Math. 1. 73—77., 1949.
[21] MOSCO, U.: On the continuity of the Young-Fenchel transformation. 7. Math. Anal. Appl. 35. 518—535, 1972.

*Dr. TARNAI TIBOR, a műszaki tudományok kandidátusa**

A SZERKEZETI STABILITÁSELMÉLET DUNKERLEY-TÍPUSÚ TÉTELEI ÉS FORMULÁI

1. BEVEZETÉS

A rugalmas stabilitáselmélet addíciós formuláinak az a lényegük, hogy egy összetett feladatot részekre bontunk és ezeket a részfeladatokat oldjuk meg, majd a részfeladatok kritikus terheit adott módon összegezve kapjuk meg az eredeti feladat közelítő kritikus terhét. Ha az összegzés a kritikus teher (teherparaméter) reciprok értékeire vonatkozik, akkor Dunkerley-típusú formuláról beszélünk. Szokás valamennyi reciprok összegzésen alapuló formulát Dunkerley-képletnek nevezni, bár olykor más-más a formula fizikai tartalma, ill. más-más matematikai feltétel teljesítése eredményezi a képletek azonos algebrai alakját.

Az addíciós közelítő formulák a számítástechnika fejlődésével a nagyobb pontosságot igénylő vizsgálatokban háttérbe szorultak ugyan, a mindennapi tervezési gyakorlatban azonban, amikor gyors ellenőrzésre van szükség, a jelentőségük semmit sem csökkent. Ezeket a formulákat a gyakorlatban kiterjedten alkalmazzák. Számos esetben azonban bizonytalanság forrása volt annak tisztázatlansága, hogy az egyes formulákkal kapott eredmény a biztonság javára vagy kárára tér-e el a pontos értéktől.

E bizonytalanság csökkentését célozza a jelen dolgozat, amelyben áttekintést adunk a Dunkerley-típusú formulákról. Általánosítjuk a Dunkerley-tételt, és néhány Dunkerley-típusú összefüggésnél (Föppl—Papkovics-formula, Melan-formula) rögzítjük azokat a feltételeket, amelyek mellett a formulák a biztonság javát szolgáló közelítést eredményeznek. Ezekben az esetekben a bizonyítást is megadjuk. (Az egyik-másik tételt és bizonyítást már évtizedekkel ezelőtt kidolgozták a matematikusok, de eredményeik a mérnöki gyakorlat számára mindeddig ismeretlenek maradtak.) A matematikai tárgyalásban a problémákat Hilbert-térben értelmezett lineáris operátorok segítségével fogalmazzuk meg. Ez az általánosabb tárgyalásmód lehetőséget ad arra, hogy pl. a Dunkerley-tételnek a szokásostól eltérő, új fizikai interpretációt adjunk, és ennek eredményeképpen megmutassuk, milyen hasznos gyakorlati alkalmazásai vannak ennek a közel százéves tételnek.

Végül foglalkozunk néhány olyan Dunkerley-típusú formulával, amelynél a biztonság javára történő közelítés vagy még nem bizonyított (Kollár-formula), vagy nem bizonyítható (Rankine-formula).

Megjegyezzük, hogy a jelen dolgozatban tárgyalt összefüggések közül néhánnyal 1933 és 1937 között már Papkovics [32] is foglalkozott és ezekből többet közvetlenül vagy közvetve be is bizonyított. A bizonyításokat általánosított koordináták segítségével a Weierstrass—Hilbert-tételre alapozta,

* Építéstudományi Intézet, Budapest, Dávid F. u. 6., 1113

amely azt mondja ki, hogy ha adott két nem feltétlenül végesrendű szimmetrikus mátrix és közülük legalább az egyik pozitív definit, akkor mindig létezik olyan lineáris transzformáció, amely a két mátrixot egyidejűleg diagonál alakra hozza. Az általánosított koordináták elmélete azóta a végtelen dimenziós Hilbert-terek általános elméletébe olvadt. A Hilbert-terek és a bennük működő lineáris operátorok segítségével pedig Papkovics állításait is egyszerűbben és valamelyest általánosabban lehet megfogalmazni, ill. áttekinthetőbb formában lehet bizonyítani.

2. A DUNKERLEY-TÉTEL

A stabilitáselméletben, mint ismeretes, a Dunkerley-tétel hagyományos értelmezésben a következőképpen szól: Egy összetett teherrendszerrel terhelt rugalmas szerkezet legkisebb kritikus teherparaméterének a reciproka nem nagyobb, mint a teher rész-rendszerek legkisebb kritikus teherparamétereinek reciprok összege.

Ezt az eredményt matematikailag is megfogalmazhatjuk. Tekintsünk egy H Hilbert-térben működő S lineáris operátort. Jelölje (u, v), $u, v \in H$ a H térben értelmezett skalárszorzatot, D_s pedig az S operátor értelmezési tartományát. Azt mondjuk, hogy az S lineáris operátor: (i) *szimmetrikus*, ha $(Su, v) = (u, Sv)$, $u, v \in D_s$ és D_s sűrű H-ban; (ii) *pozitív*, ha $(Su, u) > 0$, $u \neq 0$, $u \in D_s$; (iii) *pozitív definit*, ha létezik egy $\alpha > 0$ szám úgy, hogy $(Su, u) \geq \alpha(u, u)$, $u \in D_s$. $\bar{S}$ jelöli az S operátor lezártját.

A Dunkerley-tétel általánosabb alakban a következő:

1. T é t e l. Legyenek A és B lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív definit, B pedig pozitív. Avégett, hogy a spektrum diszkrét legyen, tegyük fel, hogy az $\bar{A}^{-1/2} B \bar{A}^{-1/2}$ operátor teljesen folytonos. Legyen $B = \sum_{i=1}^{n} B_i$. Rendelkezzék a B_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ ugyanazokkal a tulajdonságokkal mint B. Ha λ_0, ill. λ_i jelöli az

$$(A - \lambda B)u = 0, \tag{1}$$

ill. az

$$(A - \lambda B_i)u = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{2}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét, akkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i} \tag{3}$$

egyenlőtlenség.

Ebben az esetben az (1), (2) egyenleteknek csak pozitív sajátértékeik vannak. A tétel bizonyítása differenciáloperátorokra megtalálható pl. [5]-ben.

Megemlítjük, hogy a (3) összefüggést — különösen ha ábrázolni akarják —

$$1 \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda_0}{\lambda_i} \tag{4}$$

alakban is használják.

A (3) összefüggést Dunkerley [6] 1894-ben empirikus úton fedezte fel olyan forgó rugalmas tengelyek rezgésvizsgálatánál, amelyre merev tárcsák voltak rögzítve. Jeffcott [18] 1919-ben — a köztudat szerint elsőként — bizonyította be elméleti úton, egyensúlyi összefüggéseket használva a (3) formula helyességét, bár ezt Jeffcott-tól függetlenül más úton Hahn [9] már egy évvel korábban megtette. Temple [42] a (3) állítást tételként mondta ki és egyszerű variációs elv felhasználásával bizonyította be. Az említett szerzők közvetlenül vagy közvetve feltételezték, hogy a problémának csak pozitív sajátértékei vannak. Renton [35] valamint a közelmúltban Milner és Horne [29] a Dunkerley-tételt véges szabadságfokú rendszerekre bizonyították be úgy, hogy a B és B_i operátorok pozitivitását nem követelték meg. Ily módon a problémának negatív sajátértékei is lehetnek és a (3) összefüggés a legkisebb pozitív sajátértékekre érvényes. Williams [48] kiegészítette Milner és Horne eredményét és megmutatta, hogy a (3) formula ellenkező irányú egyenlőtlenséggel az abszolút értékre legkisebb negatív sajátértékekre is teljesül.

Mindezek után természetesnek tűnik egy olyan óhaj, hogy általánosítsuk Milner és Horne eredményét, azaz bizonyítsuk be a Dunkerley-tételt végtelen dimenziós esetben úgy, hogy a B és B_i operátorokról nem tételezzük fel, hogy pozitívak, hanem csak azt, hogy szimmetrikusak.

2.1. *A Dunkerley-tétel általánosítása*

D e f i n í c i ó [45]. Legyenek A és B szimmetrikus lineáris operátorok H-ban és legyen A pozitív. Azt mondjuk, hogy a (Bu, u) kvadratikus funkcionál teljesen folytonos (Au, u)-ra nézve, ha tetszőleges $\varepsilon > 0$-ra létezik véges sok $l_1, \ldots, l_k$ lineáris funkcionál úgy, hogy ha $l_1(u) = l_2(u) = \ldots = l_k(u) = 0$, akkor

$$|(Bu, u)| \leq \varepsilon(Au, u).$$

A Dunkerley-tétel általánosított formában az alábbi módon fogalmazható meg:

2. T é t e l. Legyenek A és B lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív és létezik egy c állandó, melyre

$$|(Bu, u)| \leq c(Au, u), \quad u \in D_A \subset D_B \subset H. \tag{5}$$

Avégett, hogy a spektrum diszkrét legyen, tegyük fel, hogy a (Bu, u) kvadratikus funkcionál teljesen folytonos (Au, u)-ra nézve. Legyen $B = \sum_{i=1}^{n} B_i$. Rendelkezzék a B_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint B és az (5) összefüggés is teljesüljön megfelelő c_i állandókkal. Ha λ_0, ill. λ_i jelöli az

$$(A - \lambda B)u = 0, \tag{6}$$

ill. az

$$(A - \lambda B_i)u = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{7}$$

sajátérték-feladat legkisebb pozitív sajátértékét, akkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i} \tag{8}$$

egyenlőtlenség.

Bizonyítás. Az (5) egyenlőtlenség miatt a Rayleigh-hányados reciproka, $(B_i u, u)/(Au, u)$ $i = 1, 2, \ldots, n$-re korlátos és

$$\frac{1}{\lambda_i} = \sup_{u \in D_A} \frac{(B_i u, u)}{(Au, u)}. \tag{9}$$

Jelölje u_0 a λ_0 sajátértékhez tartozó sajátelemet. Így a (9) összefüggés alapján azt kapjuk, hogy

$$\frac{1}{\lambda_0} = \frac{(Bu_0, u_0)}{(Au_0, u_0)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(B_i u_0, u_0)}{(Au_0, u_0)} \leq \sum_{i=1}^{n} \sup_{u \in D_A} \frac{(B_i u, u)}{(Au, u)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i},$$

amit bizonyítani kellett.

Megjegyzések: Ebben az esetben a (6), (7) egyenleteknek megszámlálhatóan végtelen sok pozitív és negatív sajátértéke is lehet. A Dunkerley-tételnek ez az általánosítása valójában nem új, mivel Weinberger [45] könyvének 65. oldalán található egy tétel, amely lényegében Weyl [47] 1912-ben integráloperátorokra megfogalmazott tételének egy változata.

Ez a tétel azt mondja ki, hogy ha a B operátor $B = B_1 + B_2$ alakú, akkor

$$\frac{1}{\lambda_0^{(k+l-1)}} \leq \frac{1}{\lambda_1^{(k)}} + \frac{1}{\lambda_2^{(l)}} \quad k, l = 1, 2, \ldots,$$

ahol $\lambda_0^{(k+l-1)}$, $\lambda_1^{(k)}$, $\lambda_2^{(l)}$ rendre az $Au - \lambda Bu = 0$ egyenlet $k + l - 1$-edik, az $Au - \lambda B_1 u = 0$ egyenlet k-adik, az $Au - \lambda B_2 u = 0$ egyenlet l-edik legkisebb pozitív sajátértéke. $k = l = 1$ helyettesítéssel éppen a Dunkerley-formulát kapjuk.

Ily módon korrigálnunk kell az 1. Tétel utáni megjegyzésünket, és azt kell mondanunk, hogy Weyl volt az első, aki elméleti úton bizonyította a Dunkerley-formula helyességét. Sőt, a bizonyítást általánosított formában adta meg anélkül, hogy Weyl tudta volna, hogy ezzel a Dunkerley-formulát bizonyítja, legalább is Weyl dolgozatában semmi sem utal arra, hogy Weyl ismerte volna Dunkerley eredményeit.

Weyl eredménye a Dunkerley-tétellel kapcsolatban azonban a stabilitáselmélet terén gyakorlatilag ismeretlen maradt. Érdekes megemlítenünk, hogy bár Weyl német matematikus volt, a sajátérték-feladatokkal foglalkozó legismertebb német szerzők (Collatz [5], Kamke [19]) sem tesznek említést könyvükben Weyl dolgozatáról és a Dunkerley-tételt csak arra az esetre ismertetik, amikor a B operátor pozitív.

Itt jegyezzük meg, hogy Papkovics [32] 1933-ban kimutatta, hogy adott többparaméteres erőrendszer esetében, amikor az egyes teherparaméterek negatív értéket is felvehetnek, a teherparaméterek stabilitási tartománya konvex. Ez a megállapítás pedig implicite már tartalmazza az általánosított Dunkerley-tételt.

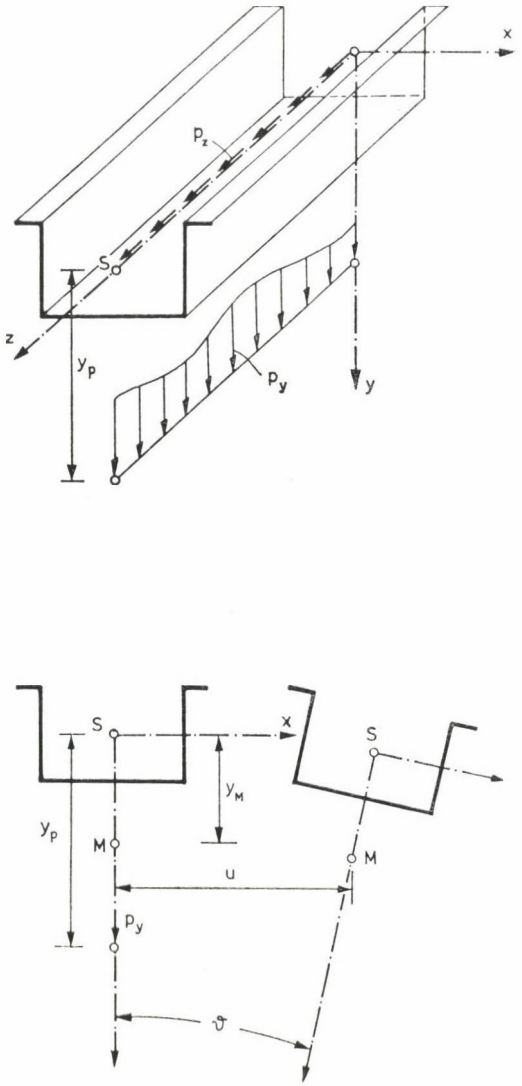
Megemlítjük még, hogy abban a speciális esetben, amikor valamely i-re az $(A - \lambda B_i)u = 0$ feladatnak nincsenek pozitív sajátértékei, fennáll a

$$\sup_{u \in D_A} \frac{(B_i u, u)}{(Au, u)} = 0$$

összefüggés és így a (8) egyenlőtlenségben az $1/\lambda_i = 0$ érték veendő számításba.

2.2. *A Dunkerley-tétel néhány alkalmazása*

A probléma, amelyen a Dunkerley-tétel különböző alkalmazásait bemutatjuk, a rudak kifordulása. Tekintsünk egy vékonyfalú, egyszeresen szimmetrikus nyitott keresztmetszetű rudat, melyet tengelyirányú és transzverzális erők terhelnek (1. ábra). Ha a rúd állandó keresztmetszetű, a kifordulás előtt a terhek az y—z síkban (a rúd szimmetriasíkjában) hatnak és az elmozdulások kicsik, akkor a rúd egyensúlyát kifordult állapotban az alábbi differenciálegyenletek írják le:



1. ábra

$$EI_y u'''' + (M_x \vartheta)'' + [N(u' + y_M \vartheta')]' = 0, \tag{10a}$$

$$EI_\omega \vartheta'''' - GI_{cs} \vartheta'' + [(Nr^2 - M_x r_y) \vartheta']' + M_x u'' +$$

$$+ y_M(Nu')' + (y_p - y_M) p_y \vartheta = 0, \tag{10b}$$

ahol

E a rugalmassági modulus,
G a nyírási rugalmassági modulus,
I_{cs} a keresztmetszet csavarási tehetetlenségi nyomatéka,
I_y a keresztmetszet y tengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka,
I_ω a keresztmetszet öblösödési állandója,
M_x a rúd $y-z$ síkú hajlítónyomatéka, mely akkor pozitív, ha az alsó szál húzott,
N a rúd normálereje, mely akkor pozitív, ha nyomást okoz,
p_y a transzverzális irányú teher,
r, r_y keresztmetszeti sugarak ($r^2 = F^{-1} \int_F (x^2 + y^2) dF + y_M^2$, $r_y = I_x^{-1} \int_F y(x^2 + y^2) dF - 2y_M$, ahol F a keresztmetszet területe, I_x pedig a keresztmetszet x tengelyre vett tehetetlenségi nyomatéka),
u a nyírási középpont x irányú eltolódása,
x, y, z Descartes-féle koordináták,
y_p a transzverzális teher támadáspontjának a súlyponttól mért távolsága,
y_M a nyírási középpontnak a súlyponttól mért távolsága,
ϑ a keresztmetszet elfordulásának szöge az $x-y$ síkban,
$(.)' = d/dz$ a z változó szerinti differenciálás jele.

Tegyük fel, hogy a terhek egyparaméteresek. Jelölje λ a teherparamétert. Jelölje továbbá M_{x1}, N_1, p_{y1} az M_x, N, p_y függvények alapértékét. Így:

$$M_x = \lambda M_{x1}, \; N = \lambda N_1, \; p_y = \lambda p_{y1}.$$

Vezessük be az alábbi jelöléseket:

$$A_{11} u = EI_y u'''' \tag{11a}$$

$$A_{22} \vartheta = EI_\omega \vartheta'''' - GI_{cs} \vartheta'' \tag{11b}$$

$$B_{11} u = -(N_1 u')' \tag{11c}$$

$$B_{12}^{(1)} \vartheta = -y_M(N_1 \vartheta')' \tag{11d}$$

$$B_{12}^{(2)} \vartheta = -(M_{x1} \vartheta)'' \tag{11e}$$

$$B_{21}^{(1)} u = -y_M(N_1 u')' \tag{11f}$$

$$B_{21}^{(2)} u = -M_{x1} u'' \tag{11g}$$

$$B_{22}^{(1)} \vartheta = -r^2(N_1 \vartheta')' \tag{11h}$$

$$B_{22}^{(2)} \vartheta = r_y(M_{x1} \vartheta')' \tag{11i}$$

$$B_{22}^{(3)} \vartheta = -(y_p - y_M) p_{y1} \vartheta \tag{11j}$$

továbbá

$$B_{12} = B_{12}^{(1)} + B_{12}^{(2)}, \tag{12a}$$

$$B_{21} = B_{21}^{(1)} + B_{21}^{(2)}, \tag{12b}$$

$$B_{22} = B_{22}^{(1)} + B_{22}^{(2)} + B_{22}^{(3)}. \tag{12c}$$

A (11a – j) differenciál kifejezések rögzített homogén peremfeltételek mellett lineáris differenciáloperátorokat jelölnek.

Így a (10a,b) egyenletek rögzített peremfeltételek mellett az alábbi alakra egyszerűsödnek:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \tag{13}$$

amely az

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix}, \qquad B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} \tag{14}$$

jelöléssel egy $(A - \lambda B)w = 0$ alakú sajátérték-feladat, ahol $w = \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix}$.

A legtöbb gyakorlati esetben a peremfeltételek olyanok, hogy az A és B operátorok kielégítik a 2. Tétel feltételeit.

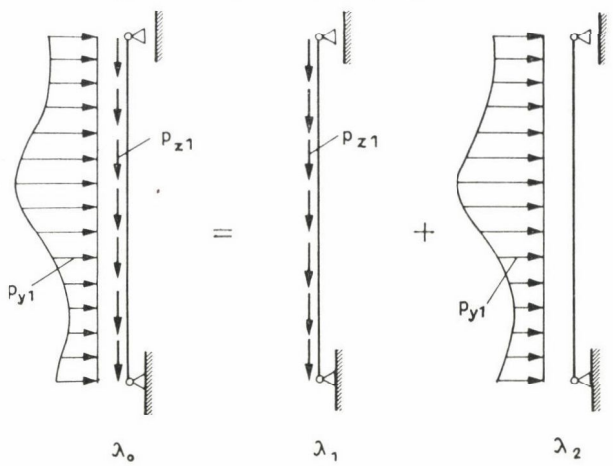
2.2.1. *Példa* Legyen a B operátor részekre bontva

$$B = B_1 + B_2 \tag{15}$$

alakban, ahol

$$B_1 = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12}^{(1)} \\ B_{21}^{(1)} & B_{22}^{(1)} \end{bmatrix}, \qquad B_2 = \begin{bmatrix} 0 & B_{12}^{(2)} \\ B_{21}^{(2)} & B_{22}^{(2)} + B_{22}^{(3)} \end{bmatrix}. \tag{16}$$

Ez azt jelenti, hogy a külső erőrendszert két részre osztottuk: a tengelyirányú és a transzverzális irányú terhekre (2. ábra). Ily módon, a 2. Tétel értelmében



2. ábra

alsó korlát adható a rúd legkisebb pozitív kritikus teherparaméterére a legkisebb, elcsavarodó kihajlást előidéző teherparaméter és a legkisebb pozitív, gerenda-kifordulást előidéző teherparaméter segítségével. Ez a Dunkerley-tétel hagyományos módon történő alkalmazása.

2.2.2. *Példa* Tekintsük a tengely irányú erők nélküli ($N_1 = 0$) rúd kifordulási feladatát:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} 0 & B_{12}^{(2)} \\ B_{21}^{(2)} & B_{22}^{(2)} + B_{22}^{(3)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}. \tag{17}$$

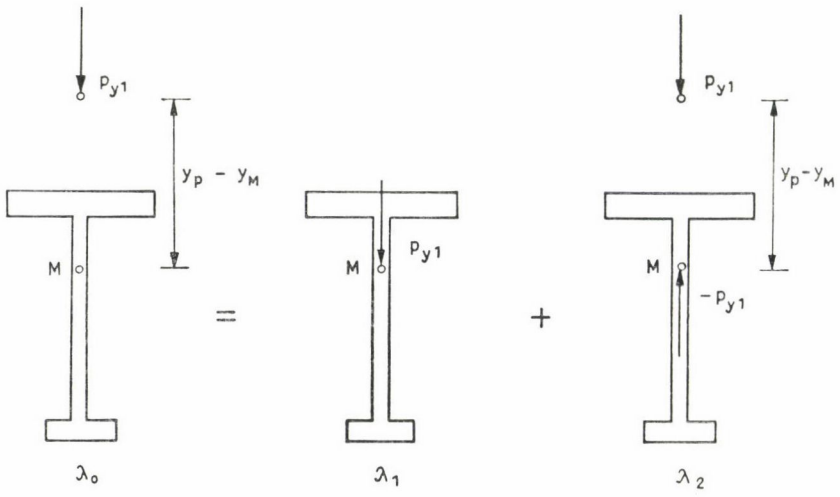
Bontsuk fel két részre a (16)-beli B_2 operátort:

$$B_2 = B_2^{(1)} + B_2^{(2)}, \tag{18}$$

ahol

$$B_2^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & B_{12}^{(2)} \\ B_{21}^{(2)} & B_{22}^{(2)} \end{bmatrix}, \qquad B_2^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22}^{(3)} \end{bmatrix}. \tag{19}$$

Legyen a (11j) szerinti $B_{22}^{(3)}$ operátor pozitív, azaz támadjon a teher a nyírási középpont felett. Ekkor a (14), (18), (19) kifejezésekkel értelmezett A, B_2, $B_2^{(1)}$, $B_2^{(2)}$ operátorokra teljesülnek a 2. Tétel feltételei, és a rúd legkisebb pozitív kritikus teherparaméterére — Kollár [23] ötlete nyomán — az alábbi módon adhatunk közelítést (3. ábra): Először meghatározzuk a rúd legkisebb pozitív kritikus teherparaméterét arra az esetre, amikor a teher a nyírási középpontban támad ($B_2^{(2)} = 0$). Az ehhez az esethez tartozó legkisebb pozitív kritikus teherparaméter λ_1. Azután meghatározzuk a tartó kritikus terhét arra az esetre, amikor az eredeti helyén működő terhen kívül egy vele azonos nagyságú, de ellentétes irányú, a nyírási középpontban ható teher is működik a rúdon ($B_2^{(1)} = 0$). Ez ekvivalens azzal, mintha a rudat a nyírási középponton átmenő tengelye mentén csuklósan alátámasztanánk. Ez a megtámasztás nem akadályozza a rúd-keresztmetszetek elfordulását, hiszen a rúd úgyis e körül



3. ábra

a tengely körül akar elcsavarodni. Az ehhez az esethez tartozó kritikus teherparaméter λ_2. A rúd λ_0 legkisebb pozitív kritikus teherparaméterére pedig fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$$

egyenlőtlenség.

2.2.3. *Példa.* A (17) feladat megoldásának egy másik közelítési módja lehet, ha a B_2 operátort

$$B_2 = \tilde{B}_2^{(1)} + \tilde{B}_2^{(2)} \tag{20}$$

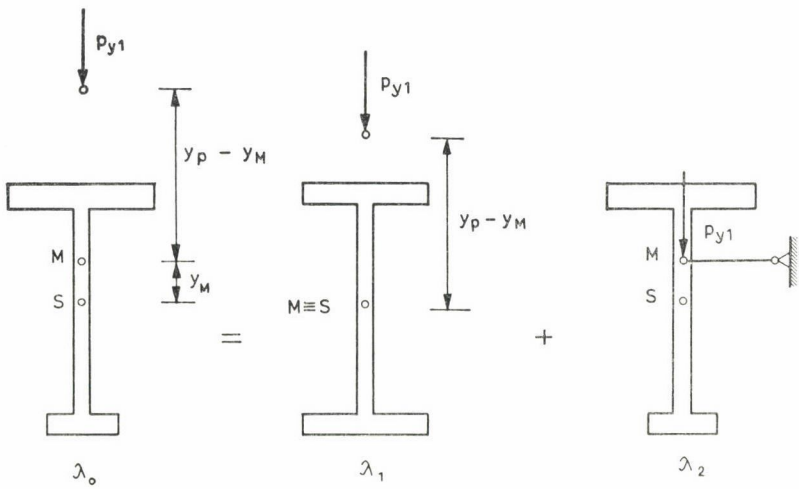
alakban bontjuk két részre, ahol

$$\tilde{B}_2^{(1)} = \begin{bmatrix} 0 & B_{12}^{(2)} \\ B_{21}^{(2)} & B_{22}^{(3)} \end{bmatrix}, \qquad \tilde{B}_2^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22}^{(2)} \end{bmatrix}. \tag{21}$$

A (14), (20), (21) kifejezésekkel értelmezett A, B_2, $\tilde{B}_2^{(1)}$, $\tilde{B}_2^{(2)}$ operátorok kielégítik a 2. Tétel feltételeit, ezért

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2},$$

ahol λ_1 egy olyan rúdnak a legkisebb pozitív kritikus teherparamétere, amelynek keresztmetszete két szimmetriatengelyű, de valamennyi merevségi adata a vizsgált rúdéval megegyezik és a transzverzális teher támadáspontjának a nyírási középponttól mért távolsága is azonos a vizsgált rúdon a teher támadáspont és a nyírási középpont között mért távolsággal. λ_2 pedig a vizsgált rúdnak azt a legkisebb pozitív kritikus teherparaméterét jelenti, amelyet $y_p = y_M$ mellett tekintünk, azaz amikor a teher a nyírási középpontban terheli a rudat, és amelynél a nyírási középpont oldalirányú elmozdulása meg van akadályozva (4. ábra).



4. ábra

Megjegyezzük, az a gondolat, hogy a transzverzális teher kritikus értékét Dunkerley-formulával két részből lehet összetenni, egy egyszeresen szimmetrikus és egy kétszeresen szimmetrikus keresztmetszetre vonatkozó kritikus teherből már Nylandernek egy korábbi dolgozatában [31] is előfordul.

2.3. *A Dunkerley-tétel kvadratikus sajátérték-feladatra történő általánosítása*

A Dunkerley-tétel az

$$(A - \lambda B - \lambda^2 C)\, u = 0 \tag{22}$$

kvadratikus sajátérték-feladatra is általánosítható. Évégből legyenek A, B és C lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív definit és C pozitív. Azért, hogy a spektrum diszkrét legyen, tegyük fel, hogy a (Bu, u) és (Cu, u) kvadratikus funkcionálok teljesen folytonosak (Au, u)-ra nézve. Jelölje λ_0 a (22) sajátérték-feladat legkisebb pozitív sajátértékét. Ekkor igaz az alábbi három tétel.

3. T é t e l. A fenti feltételezések mellett legyen $B = \sum_{i=1}^{n} B_i$. A B_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ rendelkezzék ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint a B operátor. Jelölje λ_i az

$$(A - \lambda B_i - \lambda^2 C)u = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{23}$$

egyenlet legkisebb pozitív sajátértékét. Ekkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}$$

egyenlőtlenség.

4. T é t e l. A fenti feltételezések mellett legyen $B = \sum_{i=1}^{n} B_i$, $C = \sum_{i=1}^{n} C_i$. A B_i, ill. a C_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ rendelkezzék ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint a B, ill. a C operátor. Jelölje λ_i az

$$(A - \lambda B_i - \lambda^2 C_i)\, u = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{24}$$

egyenlet legkisebb pozitív sajátértékét. Ekkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}$$

egyenlőtlenség.

5. T é t e l. A fenti feltételezések mellett legyen $B = \sum_{i=1}^{n} B_i$, $C = \left(\sum_{i=1}^{n} C_i\right)^2$. A B_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ rendelkezzék ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint a B operátor. A C_i operátor $(i = 1, 2, \ldots, n)$ legyen korlátos önadjungált. (Ekkor C_i^2 $(i = 1, 2, \ldots, n)$ ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkezik, mint a C operátor.) Jelölje λ_i az

$$(A - \lambda B_i - \lambda^2 C_i^2)\, u = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{25}$$

egyenlet legkisebb pozitív sajátértékét. Ekkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}$$

egyenlőtlenség.

E tételek bizonyításával itt most nem foglalkozunk, mert a 3. és 5. Tétel bizonyítása [40]-ben megtalálható, a 4. Tétel bizonyítása pedig a 3. Tételével analóg.

M e g j e g y z é s e k: A 3., 4., 5. Tételben a B, ill. B_i operátorokról csak szimmetriát tételeztünk fel, ezért az is megengedhető, hogy a B, ill. B_i operátorok nullák legyenek. Ha a 4. és 5. Tételben a B és vele együtt valamennyi B_i operátor nulla, akkor a (22), (24) és (25) sajátérték-feladatok λ^2-ben lineárisak lesznek és a 4. és 5. Tétel visszamegy az 1. Tételre. Ekkor az erősebb

$$\frac{1}{\lambda_0^2} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i^2}.$$

egyenlőtlenség is teljesül.

A 4. és 5. Tételben szereplő C_i operátorok is lehetnek nullák, de ilyenkor ki kell kötnünk, hogy a (24) és (25) feladatoknak létezzék legkisebb pozitív sajátértékük. (Ez mindig teljesül, ha a B_i operátorok pozitívak.) Ha e kikötéstől eltekintünk és a (24), (25) feladatoknak nincsenek pozitív sajátértékei, akkor a 2.1 szakasz legutolsó megjegyzésének megfelelően az adott i-re $1/\lambda_i = 0$ veendő számításba.

A 3., 4., 5. Tételek pl. a rúdkifordulás feladataira alkalmazhatók, melyekre példákat [40]-ben találhatunk.

2.4. *A Strigl-formula*

Ismeretesek olyan vizsgálatok, amelyek arra irányultak, hogy az 1. tételbeli (3) Dunkerley-egyenlőtlenséget élesítsék. Ezek a vizsgálatok a Dunkerley-formula nemlineáris változatait eredményezték.

Legyenek A és B lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív definit, B pedig pozitív. Avégett, hogy a spektrum diszkrét legyen, tegyük fel, hogy a (Bu, u) kvadratikus funkcionál teljesen folytonos (Au, u)-ra nézve. Legyen $B = B_1 + B_2$. Rendelkezzenek a B_1 és B_2 operátorok ugyanazokkal a tulajdonságokkal, mint B. Ha λ_0 jelöli az

$$(A - \lambda B)u = 0 \tag{26}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét, továbbá λ_1 és u_1 az

$$(A - \lambda B_1)u = 0 \tag{27}$$

sajátérték-feladat, ill. λ_2 és u_2 az

$$(A - \lambda B_2)u = 0 \tag{28}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét és a hozzá tartozó sajátelemét, akkor Strigl [38] szerint igen jó közelítést szolgáltat a

$$\frac{\lambda_0}{\lambda_1} + \frac{\lambda_0}{\lambda_2} - \frac{\lambda_0^2}{\lambda_1 \lambda_2}\left[1 - \frac{(Au_1, u_2)^2}{(Au_1, u_1)(Au_2, u_2)}\right] \approx 1 \tag{29}$$

kvadratikus Dunkerley-formula, amely

$$\begin{vmatrix} (Au_1, u_1)\left(1 - \frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right) & (Au_1, u_2) \\ (Au_1, u_2) & (Au_2, u_2)\left(1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_0}\right) \end{vmatrix} \approx 0 \tag{30}$$

alakban is írható. A (30) kifejezés legegyszerűbb esete egy Strigl [38] által levezetett, magasabb rendben nemlineáris interpoláló formulának. Strigl a (29) formulát eredménnyel alkalmazta olyan esetekben is, amikor a B operátortól nem követelt pozitivitást, csak szimmetriát, és így a feladatnak negatív sajátértékei is lehettek. A (29) formula gyakorlati alkalmazhatóságát nehezíti, hogy a részfeladatok legkisebb pozitív sajátértékein kívül szükséges a hozzájuk tartozó sajátelemek (sajátfüggvények) ismerete is.

Strigl numerikus vizsgálatai azt mutatták, hogy a (29) formula egyaránt eredményezhet a biztonság javára és kárára szolgáló eltéréseket is a pontos megoldástól.

3. A FÖPPL–PAPKOVICS-TÉTEL

L. Föppl [8] 1933-ban ismertetett egy közelítő módszert rugalmas szerkezetek stabilitásvizsgálatára. Módszerének lényege a következő: Jellemezze a szerkezetet n számú merevségi paraméter. Tekintsük ezután azt a képzeletbeli szerkezetet, amely az eredetiből úgy áll elő, hogy annak valamennyi merevségi paraméterét végtelen nagyra növeljük, kivéve az i-ediket, amelyet változatlanul hagyunk. Legyen az így kapott képzeletbeli szerkezetnek a legkisebb kritikus teherparamétere λ_i. Hajtsuk végre ezt az eljárást valamennyi i-re ($i = 1, 2, \ldots, n$). Ha λ_0 jelöli az eredeti szerkezet legkisebb kritikus teherparaméterét, akkor ennek reciprokára jó közelítést szolgáltat a megmerevített szerkezetekhez tartozó legkisebb kritikus teherparaméterek reciprokösszege:

$$\frac{1}{\lambda_0} \approx \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}. \tag{31}$$

Föppl azonban nem közölte, hogy az itt vázolt stabilitásvizsgálati mód a biztonság javára közelít-e, és ha igen, akkor ehhez milyen feltételeknek kell teljesülniük.

A Föpplnél hiányzó feltételeket Papkovics [32] adta meg 1937-ben és egyúttal bizonyította az alábbi tételt ([32] 1. fejezet 21. § 11. tétel):

6. T é t e l. Ha egy rugalmas rendszer több különböző független deformáció egyidejű fellépte mellett veszíti el a stabilitását, akkor e rendszer λ_0 legkisebb elsőfajú kritikus teherparamétere megbecsülhető a rendszernek az egyes deformációknak megfelelő λ_i legkisebb kritikus teherparamétereivel az alábbi egyenlőtlenség szerint:

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i}. \tag{32}$$

Papkovics tehát két lényeges feltételt szab meg a (31) összefüggésnek a biztonság javára történő közelítéséhez:

(a) a teher legyen elsőfajú,

(b) a deformációk legyenek függetlenek.

E feltételekben szereplő fogalmak a következőket jelentik:

A teher *elsőfajú*, ha a terhelő erők pozitív értelem mellett minden kinematikailag lehetséges elmozduláson pozitív munkát végeznek.

Egy rugalmas rendszerben ébredő több különböző deformáció *független*, ha a rendszer alakváltozási energiájában az egyes deformációknak megfelelő alakváltozási energiák egymástól elkülöníthetők, azaz az alakváltozási energia kifejezés nem tartalmaz különböző deformációkat egyesítő „vegyes" tagokat.

Nem nehéz észrevenni, hogy a Föpplnél szereplő merevségi paraméterek a Papkovicsnál szereplő különböző deformációkkal vannak kapcsolatban. Ha ugyanis a j-edik merevségi paraméter végtelen nagy, akkor a j-edik deformáció nulla.

A 6. tétel speciális eseteként Papkovics külön tételként ([32] 1. fejezet 20. § 10. tétel) kimondta, hogy ha az egyes deformációknak megfelelő kihajlási alakok azonosak, akkor a (32) összefüggés egyenlőséggel teljesül. Példaként a végén koncentrált erővel terhelt, alul befogott, felül szabad végű, nyírási alakváltozást is végző rúd kihajlását említette. E példa megtalálható pl. [43]-ban.

1952-ben azonban Plantema [33] éppen egy, a nyírási alakváltozást is végző rudak köréből vett egyszerű feladatnál (a végein koncentrált erővel terhelt, alul befogott, felül csuklósan megtámasztott rúdnál) úgy találta, hogy a merevségek szétválasztásának módszere, amely tulajdonképpen azonos Föppl módszerével, a biztonság kárára közelít. Jóllehet a nyírási és hajlítási alakváltozás függetlennek látszik, a teher is elsőfajú, ugyanakkor a 6. tétel Papkovics-féle bizonyítása is korrektnek tűnik, a Plantema-paradoxont nem sikerült feloldani. Ezt még az is nehezítette, hogy az irodalomban bizonyos hagyományok alapján a nyírási alakváltozást is végző rudak kihajlását végső soron egyetlen elmozdulás függvényében tárgyalják és így elmosódik a kétféle deformációból adódó kétféle elmozdulás szerepe a feladatokban.

Történetileg később úgy alakult a dolog, hogy a kérdés általános tisztázása egy időre lekerült a kutatások napirendjéről. A (32) Föppl—Papkovics-formula helyességét véges szabadságfokú rendszerek [30] és konkrét feladatok [24, 39], esetében bizonyították, ill. esetenként numerikusan igazolták [49]. Renton [35] is csak reprodukciós céllal nyúlt vissza Papkovics eredményeihez, mígnem 1976-ban Éliás [7] új felfogásban fogalmazta meg a Föppl—Papkovics-tételt. Az Éliás-féle tárgyalásban a deformációk függetlenségének egy lényeges tulajdonsága is előtérbe került, az tudniillik, hogy a független deformációkból származó elmozdulások matematikailag különböző alterekben ébrednek és azok bizonyos értelemben ortogonálisak egymásra. Éliásnak ez a [7] rendkívül rövid írása a bizonyításnak csak a vázlatát adja, amelyből, sajnos, az ott jelzett módon még nem lehetséges magát a bizonyítást rekonstruálni.

Mindezek után úgy tűnt számunkra, hogy a Föppl—Papkovics-formulával kapcsolatos kérdéskör tisztázása, amely a Plantema-féle paradoxon okára is fényt derít, csak szigorú matematikai, mindenekelőtt funkcionálanalízisbeli módszerekkel lehetséges. Az ilyen irányú vizsgálataink — H. F. Weinberger [46] útmutatásai alapján — vezettek el a Föppl—Papkovics-tétel általánosabb alakjához.

3.1. *A Föppl-Papkovics-tétel általános alakja*

Definíció. Legyen A szimmetrikus pozitív operátor egy H Hilbert-térben. Azt mondjuk, hogy az u és v elemek ($u, v \in D_A$) A-ortogonálisak, ha $(Au, v) = 0$. Legyen X és Y két altér D_A-ban. Azt mondjuk, hogy X és Y A-ortogonálisak, ha minden $u \in X$ és $v \in Y$-ra teljesül, hogy $(Au, v) = 0$. Legyen Z egy altér D_A-ban. Azt mondjuk, hogy Z az X és Y alterek A-ortogonális direkt összege, és ezt $Z = X \oplus Y$-nal jelöljük, ha minden $w \in Z$ elem felírható $w = u + v$ alakban úgy, hogy $u \in X$, $v \in Y$ és $(Au, v) = 0$.

7. Tétel. Legyenek A és B lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív definit, B pozitív és $D_A \subset D_B \subset H$. Avégett, hogy a spektrum diszkrét legyen, tegyük fel, hogy a (Bu, u) kvadratikus funkcionál teljesen folytonos (Au, u)-ra nézve. Legyenek $D_1, D_2, \ldots, D_n$ páronként A-ortogonális alterek D_A-ban úgy, hogy $D_A = D_1 \oplus D_2 \oplus \ldots \oplus D_n$. Ha λ_0, ill. λ_i jelöli az

$$(A - \lambda B)u = 0 \qquad u \in D_A, \tag{33}$$

ill. az

$$(A - \lambda B)u = 0 \qquad u \in D_i \ (i = 1, 2, \ldots, n) \tag{34}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét, akkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i} \tag{35}$$

egyenlőtlenség.

Bizonyítás. Vezessük be a

$$\tilde{D}_i = D_i \oplus \tilde{D}_{i+1} \qquad i = 1, 2, \ldots, n - 1 \tag{36}$$

jelölést, ahol

$$\tilde{D}_1 = D_A \text{ és } \tilde{D}_n = D_n. \tag{37}$$

D_i altér voltából következik, hogy $\tilde{D}_i$ is altér D_A-ban ($i = 1, 2, \ldots, n$). Jelölje $\tilde{\lambda}_i$ az

$$(A - \lambda B)u = 0 \qquad u \in \tilde{D}_i \qquad i = 1, 2, \ldots, n \tag{38}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét, ahol

$$\tilde{\lambda}_1 = \lambda_0 \text{ és } \tilde{\lambda}_n = \lambda_n \ . \tag{39}$$

Rögzítsük i értékét. Ezzel $\tilde{D}_i$ (36)-nak megfelelően két A-ortogonális altér direkt összegére bomlik: $\tilde{D}_i = D_i \oplus \tilde{D}_{i+1}$, azaz minden $u \in \tilde{D}_i$ elemnek van egy

$$u = v + w$$

alakú felbontása úgy, hogy $v \in D_i$, $w \in \tilde{D}_{i+1}$ és $(Av, w) = 0$. A pozitív definit volta és B pozitivitása miatt a $\tilde{\lambda}_i$, λ_i, $\tilde{\lambda}_{i+1}$ sajátértékek a Rayleigh-hányados segítségével is értelmezhetők:

$$\frac{1}{\tilde{\lambda}_i} = \sup_{u \in \tilde{D}_i} \frac{(Bu,\ u)}{(Au,\ u)}, \tag{40}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \sup_{v \in D_i} \frac{(Bv,\ v)}{(Av,\ v)}, \tag{41}$$

$$\frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}} = \sup_{w \in \tilde{D}_{i+1}} \frac{(Bw,\ w)}{(Aw,\ w)}. \tag{42}$$

A (41) és (42) összefüggésekből következik, hogy

$$(Bv,\ v) \leqq \frac{1}{\lambda_i}(Av, v) \qquad v \in D_i, \tag{43}$$

$$(Bw,\ w) \leqq \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw, w) \qquad w \in \tilde{D}_{i+1}. \tag{44}$$

Mivel a B operátor pozitív, ezért a (Bu, u) skalárszorzat normát definiál D_B-n.

$$||\, u \,||_B = (Bu,\ u)^{1/2}, \tag{45}$$

amelyre teljesül a háromszög egyenlőtlenség, azaz $u = v + w$ esetén

$$||\, u \,||_B = ||\, v + w \,||_B \leqq ||\, v \,||_B + ||\, w \,||_B. \tag{46}$$

A (45), (46), valamint a (43), (44) összefüggésekből következik, hogy ha $u = v + w$, $v \in D_i$, $w \in \tilde{D}_{i+1}$, akkor

$$(Bu,\ u) = (B(v + w),\ v + w) = ||\, v + w \,||_B^2 \leqq (||\, v \,||_B + ||\, w \,||_B)^2 =$$

$$= [(Bv,\ v)^{1/2} + (Bw,\ w)^{1/2}]^2 \leqq \left\{\left[\frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v)\right]^{1/2} + \left[\frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w)\right]^{1/2}\right\}^2 =$$

$$= \frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v) + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w) + 2\left[\frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v)\frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w)\right]^{1/2} =$$

$$= \left(\frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}\right)[(Av,\ v) + (Aw,\ w)] - \frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v) - \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w) +$$

$$+ 2\left[\frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v)\frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w)\right]^{1/2} =$$

$$= \left(\frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}\right)[(Av,\ v) + (Aw,\ w)] - \left\{\left[\frac{1}{\lambda_i}(Av,\ v)\right]^{1/2} - \left[\frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}(Aw,\ w)\right]^{1/2}\right\}^2 \leqq$$

$$\leqq \left(\frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}\right)[(Av,\ v) + (Aw,\ w)].$$

Mivel v és w A-ortogonális, azaz $(Av, w) = 0$, ezért fennáll, hogy

$$(Av, v) + (Aw, w) = (Av, v) + 2(Av, w) + (Aw, w) =$$

$$= (A(v + w), v + w) = (Au, u).$$

Ebből következik, hogy

$$(Bu, u) \leq \left(\frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}\right)(Au, u),$$

illetve

$$\frac{(Bu, u)}{(Au, u)} \leq \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}. \tag{47}$$

Minthogy (47) minden $u \in \tilde{D}_i$-ra fennáll, következik, hogy ez az egyenlőtlenség a $(Bu, u)/(Au, u)$ szuprémumára is teljesül, azaz

$$\sup_{u \in \tilde{D}_i} \frac{(Bu, u)}{(Au, u)} \leq \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}},$$

és így (40) alapján adódik, hogy

$$\frac{1}{\tilde{\lambda}_i} \leq \frac{1}{\lambda_i} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_{i+1}}. \tag{48}$$

A (48) egyenlőtlenség a (36) felbontásnak megfelelően $i = 1, 2, \ldots, n-1$ esetén teljesül. Figyelembe véve a (39) jelölést, így az alábbi egyenlőtlenségsorozatot nyerjük:

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_2}, \qquad \frac{1}{\tilde{\lambda}_2} \leq \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\tilde{\lambda}_3}, \ \ldots, \frac{1}{\tilde{\lambda}_{n-1}} \leq \frac{1}{\lambda_{n-1}} + \frac{1}{\lambda_n}.$$

Ezek egybevetéséből pedig a tételbeli állítást kapjuk.

M e g j e g y z é s e k. A bizonyításban fontos szerepe volt annak, hogy a B operátor pozitív. A biztonság javára történő közelítés tehát csak olyan feladatok esetén biztosított, amelyeknek csak pozitív sajátértékeik vannak. A tételben nem szerepel a feltételek között az, hogy a (Bu, u) funkcionál minden egyes részfeladatnál ($u \in D_i, i = 1, 2, \ldots, n$) is teljesen folytonos legyen (Au, u)-ra nézve. Ezért a tétel olyan elfajuló részfeladatok esetén is igaz, amelyeknek a spektruma csak egyetlen pontból áll és ez végtelen sokszoros sajátérték, vagy a spektruma folytonos. Folytonos spektrum esetén azonban szigorúan nem beszélhetünk legkisebb sajátértékről, hanem csak — a (40) összefüggést definíciónak tekintve — a Rayleigh-hányados legkisebb sajátértékéről. Ilyen feladatok fordulhatnak elő pl. a nyírási alakváltozást is végző rudak kihajlásánál.

A Föppl—Papkovics-tételnek ez az általánosabb alakja valójában nem új, mivel Weinberger [45] könyvének 91. oldalán található egy lemma, amely tulajdonképpen Aronszajn [2] 1948-ban publikált tételének egy speciális esete. Ez a lemma lényegében azt mondja ki, hogy ha $D_A = D_1 \oplus D_2$, akkor

$$\frac{1}{\lambda_0^{(k+l-1)}} \leq \frac{1}{\lambda_1^{(k)}} + \frac{1}{\lambda_2^{(l)}} \qquad k, l = 1, 2, \ldots,$$

ahol $\lambda_0^{(k+l-1)}$, $\lambda_1^{(k)}$, $\lambda_2^{(l)}$, rendre az $(A - \lambda B)u = 0$ egyenlet $k + l - 1$-edik sajátértéke a D_A téren, k-adik sajátértéke a D_1 altéren, l-edik sajátértéke a D_2 altéren. $k = l = 1$ helyettesítéssel éppen a Föppl—Papkovics-formulát kapjuk.

3.2. *Példák a Föppl—Papkovics-tétel alkalmazására*

Vannak esetek, amikor a Föppl-módszer (parciális megmerevítés) alkalmazásával teljesülnek a Dunkerley-tétel feltételei és a (32) összefüggés a Dunkerley-tétel következtében áll elő. Ilyenkor a Föppl—Papkovics-formula azonos a Dunkerley-formulával. Vannak olyan esetek is, amikor a Föppl—Papkovics-formula nem azonos a Dunkerley-formulával és a Föppl—Papkovics-formula az erősebb. A következőkben ezekre az esetekre mutatunk be egy-egy példát, majd foglalkozunk a Plantema-paradoxonnal, ahol a Föppl-módszer a biztonság kárára közelít.

3.2.1. Példa. Tekintsük a végein N koncentrált nyomóerővel terhelt, csuklós megtámasztású rúd kihajlását. A probléma differenciálegyenlete és a peremfeltételek az alábbiak:

$$EI_y u'''' + Nu'' = 0, \tag{49}$$

$$u(0) = u''(0) = u(l) = u''(l) = 0. \tag{50}$$

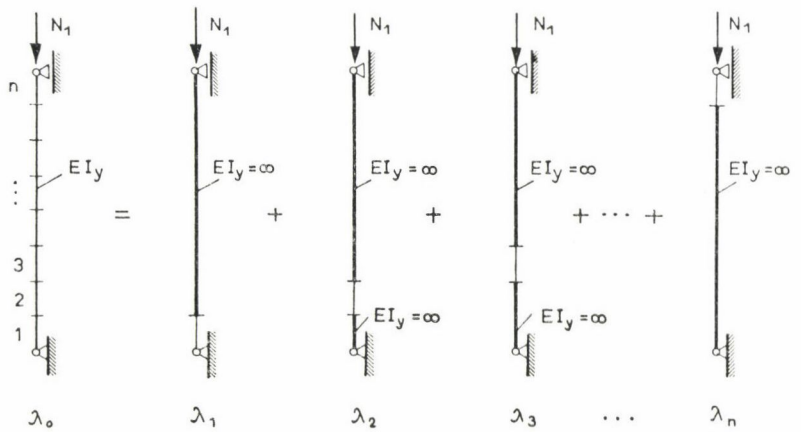
Az $Au = EI_y u''''$, $\lambda N_1 = N$, $Bu = N_1 u''$ jelölésekkel a (49), (50) sajátértékfeladat az $(A - \lambda B)u = 0$ alakot veszi fel. A (49) egyenletet

$$u'''' + \frac{N}{EI_y} u'' = 0 \tag{51}$$

formában írva sajátérték-feladatunk az $\bar{A}u = u''''$, $\lambda N_1 = N$, $\bar{B}u = N_1 u''/EI_y$ jelölések mellett az $(\bar{A} - \lambda \bar{B})u = 0$ alakot nyeri. Osszuk fel a rúd tengelyét n részre a $0 = z_0 < z_1 < z_2 < \ldots < z_{n-1} < z_n = l$ pontok segítségével (5. ábra). A merevségi paraméterek valamennyi szakaszon azonosak: EI_y. Vezessük be a következő jelöléseket:

$$K_i = \begin{cases} EI_y, & \text{ha } z_{i-1} < z \leqq z_i, \\ \infty, & \text{ha } z \leqq z_{i-1} \text{ vagy } z > z_i \end{cases} \qquad (i = 1, 2, \ldots, n),$$

$$\bar{B}_i u = -N_1 \frac{u''}{K_i} \qquad (i = 1, 2, \ldots, n).$$



5. ábra

Nyilvánvaló, hogy $\bar{B} = \sum_{i=1}^{n} \bar{B}_i$ és teljesülnek a Dunkerley-tétel (2. Tétel) feltételei. Ezért, ha λ_i jelöli az $(\bar{A} - \lambda \bar{B}_i)u = 0$ sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét, akkor fennáll a (8) egyenlőtlenség, amely most tartalmilag a (32) egyenlőtlenségnek felel meg, hiszen a rúd parciális megmerevítésével az u elmozdulásfüggvények A-ortogonális altereit állítottuk elő. Ez a következőképpen látható be. Az i-edik A-ortogonális alteret, D_i-t, azok a négyszer folytonosan differenciálható u függvények képezik, amelyek kielégítik az (50) peremfeltételeket és amelyek a $z_{i-1} < z \leqq z_i$ intervallumon kívül — a megmerevítés következtében — lineárisak. (Megjegyezzük, hogy $i = 2, 3, \ldots, n-1$ esetén az $u''(0) = u''(l) = 0$ feltételek automatikusan teljesülnek.) Legyenek $u \in D_i$, $v \in D_j$, $i \neq j$ tetszőleges elemek. Ekkor parciális integrálással

$$(Au, v) = \int_0^l EI_y u'''' v dz = [EI_y u''' v]_0^l - [EI_y u'' v']_0^l + \int_0^l EI_y u'' v'' dz.$$

Ebben a kifejezésben a kiintegrált részek a peremfeltételek következtében eltűnnek. Az u, ill. v függvény második deriváltja pedig a $z_{i-1} < z \leqq z_i$, ill. a $z_{j-1} < z \leqq z_j$ intervallumokon kívül nulla. Mivel ezek az intervallumok diszjunktak, adódik, hogy az $u'' v''$ szorzat azonosan nulla. Ezért $(Au, v) = 0$, azaz u és v A-ortogonálisak, következésképp D_i és D_j A-ortogonálisak. Teljesülnek így a Föppl—Papkovics-tétel (7. Tétel) feltételei is. A Rayleigh-hányados felírásával arról is könnyen meggyőződhetünk, hogy az $(\bar{A} - \lambda \bar{B}_i)u = 0$ $u \in D_A$ és az $(A - \lambda B)u = 0$ $u \in D_i$ sajátérték-feladatok legkisebb sajátértéke ugyanaz a λ_i szám. Ebben a példában tehát a Dunkerley-tétel és a Föppl—Papkovics-tétel ugyanazt a formulát eredményezi.

3.2.2. Példa. Tekintsük egy alul befogott felül szabad végű rúd elcsavarodó kihajlását. Az egyensúlyi egyenlet és a peremfeltételek a 2. szakaszbeli jelölésekkel a következők:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12}^{(1)} \\ B_{21}^{(1)} & B_{22}^{(1)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ \vartheta \end{bmatrix} = 0 \tag{52}$$

$$u(0) = u''(0) = u'(l) = u'''(l) = 0, \tag{53a}$$

$$\vartheta(0) = \vartheta''(0) = \vartheta'(l) = \vartheta'''(l) = 0. \tag{53b}$$

A (27) egyenlet (13) és (15)-beli jelöléssel

$$Aw - \lambda B_1 w = 0 \tag{54}$$

alakban írható. Vezessük be az alábbi jelöléseket:

$$B_1^{(1)} = \begin{bmatrix} B_{11} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_1^{(2)} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22}^{(1)} \end{bmatrix}, \quad B_1^{(3)} = \begin{bmatrix} 0 & B_{12}^{(1)} \\ B_{21}^{(1)} & 0 \end{bmatrix}.$$

Nyilvánvaló, hogy $B_1 = B_1^{(1)} + B_1^{(2)} + B_1^{(3)}$. Jelölje λ_1, λ_2, λ_3 rendre az

$$(A - \lambda B_1^{(1)})\, w = 0,$$

$$(A - \lambda B_1^{(2)})\, w = 0,$$

$$(A - \lambda B_1^{(3)})\, w = 0$$

sajátérték-feladatok legkisebb sajátértékét.
Ha λ_0 az (54) feladat legkisebb sajátértéke, akkor a Dunkerley-tételnek megfelelően azt kapjuk, hogy

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_3}.$$

Ha a Föppl-módszerben EI_y és GI_{cs} a két merevségi paraméter, akkor a Föppl-Papkovics-tétel az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$$

egyenlőtlenséget eredményezi. Látható, hogy ebben az esetben a Föppl—Papkovics-formula és a megfelelő Dunkerley-formula nem azonos és a kettő közül a Föppl—Papkovics-formula az erősebb, azaz ez a formula közelít kisebb hibával.

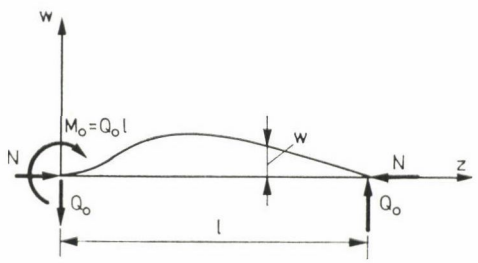
3.2.3. Példa (Plantema-paradoxon) Tekintsük egy egyik végén mereven befogott, a másik végén csuklósan megtámasztott, a végein N koncentrált erővel terhelt, nyírási alakváltozást is végző nyomott rúd kihajlását (6. ábra). A rúd tengelyvonalának w elmozdulásai a hajlítási alakváltozásnak megfelelő u és a nyírási alakváltozásnak megfelelő v elmozdulásokból tevődnek össze:

$$w = u + v.$$

A vizsgált rúd egyensúlya — az irodalomban szokásos módon — csupán az u elmozdulással is kifejezhető. Ekkor az egyensúlyi egyenlet és a peremfeltételek a $\lambda N_1 = N$ jelölés bevezetésével az alábbiak lesznek:

$$u'''' - \lambda N_1 \left(\varrho \frac{u''''}{GF} - \frac{u''}{EI_y} \right) = 0, \tag{55}$$

$$\frac{u(0)}{EI_y} - \varrho \frac{u''(0)}{GF} = 0, \tag{56a}$$



6. ábra

$$u'(0) = 0, \tag{56b}$$

$$u(l) = 0, \tag{56c}$$

$$u''(l) = 0, \tag{56d}$$

ahol F a rúdkeresztmetszet területe, ϱ pedig a keresztmetszet nyírási alaki tényezője. Az (55), (56) sajátérték-feladatból $GF = \infty$ esetén az

$$u'''' + \lambda N_1 \frac{u''}{EI_y} = 0, \tag{57}$$

$$u(0) = u'(0) = u(l) = u''(l) = 0 \tag{58}$$

feladat, míg $EI_y = \infty$ esetén az

$$u'''' - \lambda N_1 \varrho \frac{u''''}{GF} = 0, \tag{59}$$

$$u''(0) = u'(0) = u(l) = u''(l) = 0 \tag{60}$$

feladat származik.
Jelölje λ_0, λ_1, λ_2 rendre az (55), (56) feladat, az (57), (58) feladat és az (59), (60) feladat legkisebb sajátértékét. Könnyű megmutatni az

$$a^2 = \frac{\lambda N_1}{EI_y \left(1 - \varrho \dfrac{\lambda N_1}{GF}\right)} \tag{61}$$

transzformáció alkalmazásával, hogy az

$$u'''' - \lambda N_1 \left(\varrho \frac{u''''}{GF} - \frac{u''}{EI_y}\right) = 0, \tag{62}$$

$$u(0) = u'(0) = u(l) = u''(l) = 0 \tag{63}$$

feladat legkisebb sajátértékének a reciproka éppen egyenlő $1/\lambda_1 + 1/\lambda_2$-vel. Ez a sajátérték a

$$\operatorname{tg} al = al \tag{64}$$

karakterisztikus egyenlet legkisebb pozitív gyökéből származik.
Az (55), (56) feladat azonban az

$$\left(1 + \varrho \frac{EI_y}{GF} a^2\right) \operatorname{tg}\ al = al \tag{65}$$

karakterisztikus egyenletre vezet, melyben tg al együtthatója egy 1-nél nagyobb szám. Ebből következik, hogy (65) legkisebb pozitív gyöke kisebb (64) legkisebb pozitív gyökénél, és mivel (61) szerint kisebb a-hoz kisebb λ tartozik, azt kapjuk, hogy az (55), (56) feladat legkisebb sajátértéke, λ_0, kisebb mint a (62), (63) feladat legkisebb sajátértéke, $(1/\lambda_1 + 1/\lambda_2)^{-1}$, vagyis

$$\frac{1}{\lambda_0} > \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2},$$

azaz a Föppl-módszer a biztonság kárára közelít.

A szóban forgó kihajlási probléma (55), (56) alakjából azonban nem deríthető ki, hogy ezt mi okozza, hiszen a feladatot csupán u függvényében tárgyalva a nyírási és hajlítási alakfüggvények A-ortogonalitása nem értelmezhető. Nem teljesül a 7. tételbeli teljes folytonossági követelmény. A feladat operátorai sem szimmetrikusak, ráadásul a megmerevítéssel a peremfeltételek is megváltoznak.

A paradox helyzet feloldása érdekében írjuk fel a feladatot az u hajlítási és a v nyírási elmozdulásokkal. Ekkor az

$$EI_y u'''' + \lambda N_1(u'' + v'') = 0, \tag{66a}$$

$$-\frac{GF}{\varrho} v'' + \lambda N_1(u'' + v'') = 0 \tag{66b}$$

egyenletrendszert és az

$$u(0) = 0, \qquad u'(0) = 0, \tag{67a,b}$$

$$u(l) = -\varrho \frac{Q_0 l}{GF}, \qquad u''(l) = 0, \tag{67c,d}$$

$$v(0) = 0, \qquad v(l) = \varrho \frac{Q_0 l}{GF} \tag{67e,f}$$

peremfeltételeket kapjuk, ahol Q_0 a támaszoknál fellépő nyíróerő. Bevezetve az alábbi jelöléseket:

$$A_{11} u = EI_y u'''', \tag{68}$$

$$A_{22} v = -\frac{\varrho}{GF} v'', \tag{69}$$

$$B_{11} u = -N_1 u'', \tag{70}$$

$$B_{22} v = -N_1 v'', \tag{71}$$

az

$$\begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} - \lambda \begin{bmatrix} B_{11} & B_{22} \\ B_{11} & B_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = 0 \tag{72}$$

sajátérték-feladathoz jutunk, amely az

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & 0 \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{22} \\ B_{11} & B_{22} \end{bmatrix}, \quad w = \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \tag{73}$$

jelölésekkel az $(A - \lambda B)w = 0$ alakra egyszerűsödik. Megállapítható, hogy a hajlításból és a nyírásból származó u és v elmozdulások mint

$$\begin{bmatrix} u \\ 0 \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \begin{bmatrix} 0 \\ v \end{bmatrix}$$

vektorok A-ortogonálisak. A B operátor szimmetrikus és pozitív, továbbá (Bw, w) teljesen folytonos (Aw, w)-re nézve. Az A operátor azonban nem szim-

metrikus! Ezért nem teljesülnek maradéktalanul a 7. Tétel feltételei és ezért a (35) egyenlőtlenségnek sem kell fennállnia. Az ok tehát az A operátor szimmetriájának a hiánya, amelyet itt a peremfeltételek okoznak.

Írjuk még fel a rúd alakváltozási energiáját:

$$U = \frac{1}{2}(Aw,\ w) = \frac{1}{2}\left\{EI_y\, u'''(l)\, u(l) + EI_y \int_0^l u''^2\, dz - \frac{GF}{\varrho}\, v'(l)\, v(l) + \frac{GF}{\varrho}\int_0^l v'^2\, dz\right\}.$$

Ez a kifejezés a (67c) és (67f) peremfeltételek miatt a következőképpen is írható:

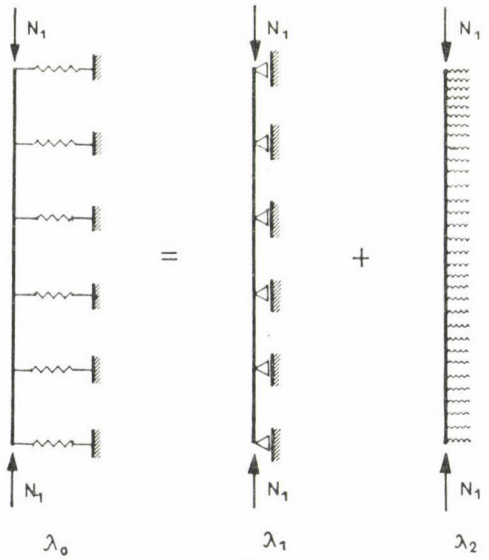
$$U = \frac{1}{2}\left\{-EI_y\, u'''(l)\, v(l) + EI_y \int_0^l u''^2\, dz + \frac{GF}{\varrho}\, v'(l)\, u(l) + \frac{GF}{\varrho}\int_0^l v'^2\, dz\right\}.$$

Látható, hogy az alakváltozási energia kifejezésében a peremek alakváltozási energiájaként u-t és v-t egyesítő vegyes tagok szerepelnek. Ezért a hajlítási deformáció és a nyírási deformáció a Papkovics-féle értelmezés szerint nem független. Így az eredeti Papkovics-tétel (6. Tétel) feltételei sem teljesülnek.

Megállapítható tehát, hogy Plantema [33] itt részletezett példája nincs ellentmondásban a Föppl—Papkovics-tétellel. Ez a példa ugyanakkor felhívja a figyelmet a peremfeltételek jelentős szerepére.

4. A KOLLÁR-FÉLE SEJTÉS

Kollár [21] 1971-ben Éliás E. kutatásaira hivatkozva közölt egy közelítő formulát diszkrét pontokban rugalmasan megtámasztott nyomott rudak legkisebb kritikus teherparaméterének meghatározására (7. ábra). Jelölje λ_1 a



7. ábra

rúd legkisebb kritikus teherparaméterét abban az esetben, amikor az egyes támaszok rugómerevsége végtelen nagy, vagyis amikor a rugókat végtelen merev megtámasztásokkal helyettesítjük. Jelölje λ_2 a rúd legkisebb kritikus teherparaméterét abban az esetben, amikor az egyes támaszok rugómerevségét megfelelő módon folytonosan elosztjuk a rúd hossza mentén, vagyis amikor a diszkrét rugókat folytonos rugalmas ágyazással helyettesítjük. Ha az eredeti szerkezet legkisebb kritikus teherparaméterét λ_0-val jelöljük, akkor Kollár sejtése szerint

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}. \tag{74}$$

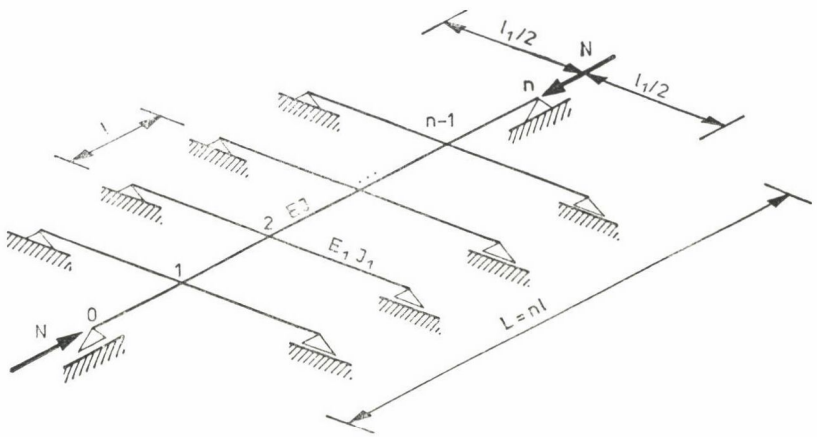
Ezt a fajta közelítő módszert kihajlási feladatokon [23] kívül rezgéstani feladatokra [22] is eredménnyel alkalmazták, nemcsak eltolódás, hanem elfordulás elleni rugalmas megtámasztás eseteiben is. A (74) formula helyességét azonban általános érvénnyel eddig nem sikerült se bizonyítani, se cáfolni. E módszerben nem kellően tisztázott, hogy hogyan, milyen eloszlásfüggvény szerint kell a megfelelő rugalmas ágyazást értelmezni. Nyilvánvaló azonban, hogy a támaszok számának növekedésével ez a bizonytalanság eliminálódik.

A következőkben két példát mutatunk be a (74) adta közelítés illusztrálására. A jelölések egyszerűsítése érdekében bevezetjük a λ_K Kollár-féle kritikus teherparamétert, melyet az

$$\frac{1}{\lambda_K} = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} \tag{75}$$

összefüggéssel értelmezünk.

4.1. Példa. Tekintsük annak az N koncentrált erővel nyomott, L hosszúságú, EI hajlítómerevségű rúdnak a kihajlását, amelyik a 8. ábra szerint a végein csuklósan van megtámasztva és közbül $n-1$ számú kereszttartón fekszik fel. Legyen valamennyi kereszttartó hossza l_1, hajlítómerevsége $E_1 I_1$, és feküdje-

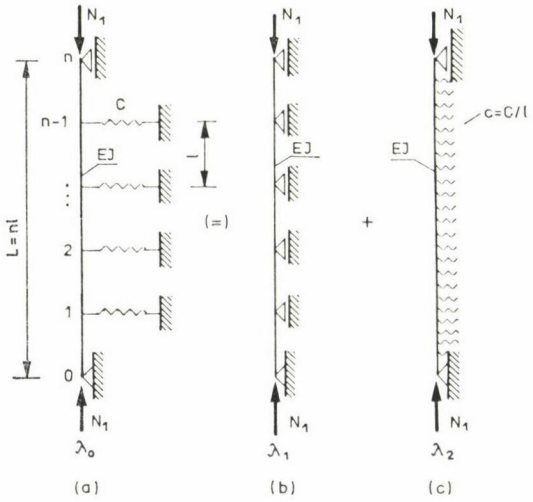


8. ábra

nek egyenletes kiosztásban egymástól l távolságra. A kereszttartók rugalmas alakváltozásaik révén a rúdnak rugalmas megtámasztást biztosítanak

$$C = \frac{48\, E_1 I_1}{l_1^3}$$

rugóállandóval. Így a 9(a) ábrán látható rúdmodellhez jutunk. Az egyszerűség kedvéért legyen az N nyomóerő N_1 alapértéke egységnyi. Ekkor $\lambda = N$.



9. ábra

A feladat ezek után a 9(a) ábrán látható rugalmas alátámasztású rúd λ_0 legkisebb kritikus teherparaméterének a meghatározása. A pontos megoldást Bleich [4] nyomán kaphatjuk. A keresett kritikus teherparamétert az alábbi kifejezés adja:

$$\lambda_0 = \left(\frac{\beta_0}{\pi}\right)^2 \frac{\pi^2 EI}{l^2}. \tag{76}$$

Itt $\beta_0 = \min\limits_{1 \le i \le n-1} \beta_i$, ahol β_i az alábbi egyenlet rögzített i melletti megoldása:

$$\beta^2 \frac{\left(1 - \cos\dfrac{i\pi}{n}\right) a - b}{1 - \dfrac{b}{1 - \cos\dfrac{i\pi}{n}}} - 24\, \nu = 0 \quad (i = 1,\ 2,\ \ldots,\ n-1). \tag{77}$$

A (77)-ben szereplő a, b, ν szimbólumok jelentése:

$$a = \frac{\beta}{\beta - \sin\beta}, \quad b = \frac{\beta(1 - \cos\beta)}{\beta - \sin\beta}, \quad \nu = \frac{E_1 I_1 l^3}{EI\, l_1^3}.$$

$n = \infty$ esetében (77) a

$$\frac{\beta^3(1 - \cos\beta)}{(\sqrt{\beta} + \sqrt{\sin\beta})^2} - 24\,\nu = 0 \tag{78}$$

alakra egyszerűsödik.

Határozzuk meg most a rúd λ_K Kollár-féle kritikus teherparaméterét. Ez a 9(b) ábra szerinti merev alátámasztású, ill. a 9(c) ábra szerinti rugalmasan ágyazott rúd λ_1, ill. λ_2 legkisebb kritikus teherparaméterével történik. A merev alátámasztású rúd legkisebb kritikus teherparamétere most egyszerűen számítható, mivel az éppen azonos az l hosszúságú rúd Euler-féle kritikus teherparaméterével, λ_E-vel:

$$\lambda_1 = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \lambda_E\,. \tag{79}$$

A rugalmasan ágyazott rúd legkisebb kritikus teherparamétere $c = C/l$ ágyazási együtthatójú egyenletes ágyazás feltételezése mellett Timoshenko és Gere [43] nyomán az alábbi összefüggéssel kapható meg:

$$\lambda_2 = \min_{m=1,2,\ldots} \frac{\pi^2 EI}{l^2}\left[\left(\frac{m}{n}\right)^2 + \left(\frac{n}{m}\right)^2 \frac{48}{\pi^4}\,\nu\right]. \tag{80}$$

Ezt követően λ_K λ_1-ből és λ_2-ből (75) szerint határozható meg.

Legyen $E_1 I_1 = EI$ és $l_1 = 4l$. Ekkor $\nu = 1/64$. Határozzuk meg különböző n értékekre az egyes teherparamétereket és a

$$\Delta = \frac{\lambda_0 - \lambda_K}{\lambda_0}$$

kifejezéssel a Kollár-féle közelítés hibáját. A közölt összefüggésekkel ekkor a következő eredményeket kapjuk:

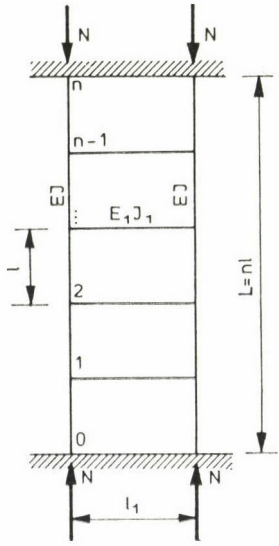
$n = 2$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}2807980\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}2192367\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}2807354\ \lambda_E$,
$\Delta = 21{,}9\%$.

$n = 4$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}1856918\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}1566105\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}1855357\ \lambda_E$,
$\Delta = 15{,}6\%$.

$n = \infty$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}1754934\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}1492934\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}1753758\ \lambda_E$,
$\Delta = 14{,}9\%$.

Látható, hogy a (75) Kollár-féle formula minden esetben a biztonság javára közelít.

4.2. Példa. Tekintsünk egy kétlábú, n-szintes síkbeli keretet, amelynek oszlopai alul és felül vízszintes eltolódás és elfordulás ellen mereven meg vannak fogva, és amelyet a végein oszloponként egy-egy N koncentrált erő terhel (10. ábra). Legyen a keret magassága L, oszlopköze l_1. Az egymást követő szintek közötti l távolság legyen állandó. A keretgerendák hajlítómerevsége min-



10. ábra

den szinten $E_1 I_1$, a keretoszlopoké pedig EI. A keretgerendák rugalmas alakváltozásaik révén a keretoszlopoknak rugalmas befogást biztosítanak

$$K = \frac{6\, E_1 I_1}{l_1}$$

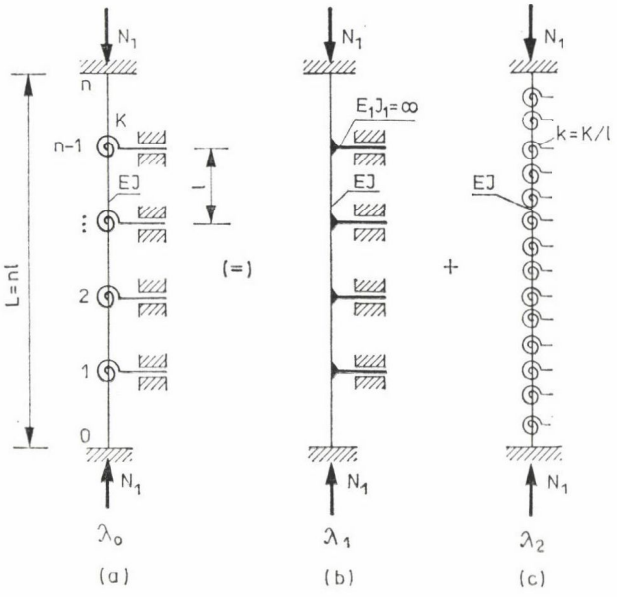
rugóállandóval. Így a fél keret, egy szintenként elfordulás ellen rugalmasan befogott nyomott rúddal modellezhető (11(a) ábra). A teher alapértékét válaszszuk ezúttal is egységnyinek.

A feladat a 11(a). ábrán látható, pontonként elfordulásra rugalmasan befogott rúd λ_0 legkisebb kritikus teherparaméterének a meghatározása. A pontos megoldást Kármán és Biot [20] nyomán kaphatjuk. A keresett kritikus teherparamétert ismét a (76) kifejezés adja a 4.1 példabeli feladathoz képest azzal a különbséggel, hogy β_0 most a

$$\cos\beta + 3\,\mu\frac{\sin\beta}{\beta} = \cos\frac{2\pi}{n} \tag{81}$$

egyenlet pozitív β megoldásainak a minimuma. Itt a μ paraméter jelentése:

$$\mu = \frac{E_1 I_1 l}{EI\, l_1}.$$



11. ábra

Határozzuk meg ezután a rúd λ_K Kollár-féle kritikus teherparaméterét. Ez most a 11(b). ábra szerinti szintenkénti merev befogású, de kilendülő, ill. a 11(c). ábra szerinti elfordulásra rugalmasan ágyazott rúd λ_1, ill. λ_2 legkisebb kritikus teherparaméterével történik. A szintenkénti merev befogású kilendülő rúd λ_1 legkisebb kritikus teherparamétere ismét egyszerűen adódik, mivel éppen azonos az l hosszúságú rúd λ_E Euler-féle kritikus teherparaméterével és így (79)-ből számítható. Az elfordulásra rugalmasan ágyazott rúd λ_2 legkisebb kritikus teherparamétere $k = K/l$ ágyazási együtthatójú egyenletes ágyazás feltételezése mellett az

$$EIu'''' - ku'' + \lambda u = 0,$$

$$u(0) = u'(0) = u(l) = u'(l) = 0$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét jelenti, és a

$$\lambda_2 = \left[\left(\frac{2}{n}\right)^2 + \frac{6\mu}{\pi^2}\right]\frac{\pi^2 EI}{l^2} \tag{82}$$

alakban is megadható. A λ_K (79) és (82) ismeretében (75) szerint már könnyen meghatározható.

Legyen $E_1 I_1 = EI$ és $l_1 = l$. Ekkor $\mu = 1$. Határozzuk meg különböző n értékekre az egyes teherparamétereket és a Kollár-féle közelítés hibáját. Az elvégzett számítások az alábbi eredményeket szolgáltatták:

$n = 2$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 1{,}6079271\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}6165537\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = \lambda_E$,
$\Delta = 38{,}3\%$.

$n = 4$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}8579271\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}4617658\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}6109857\ \lambda_E$,
$\Delta = 24{,}4\%$.

$n = 20$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}6179271\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}3819252\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}4046892\ \lambda_E$,
$\Delta = 5{,}6\%$.

$n = \infty$ esetén: $\lambda_1 = \lambda_E$,
$\lambda_2 = 0{,}6079271\ \lambda_E$,
$\lambda_K = 0{,}3780813\ \lambda_E$,
$\lambda_0 = 0{,}3958091\ \lambda_E$,
$\Delta = 4{,}5\%$.

A 4.1 példához hasonlóan a (75) Kollár-féle formula most is minden esetben a biztonság javára közelít. Egyúttal azt is érdemes megjegyezni, hogy ha a pontonkénti rugalmas megtámasztást csupán a rugalmas ágyazással helyettesítjük és nem vesszük figyelembe a merev megtámasztás módosító hatását, akkor a 4.1 és 4.2 feladatnál egyaránt a biztonság kárára közelítünk ($\lambda_2 > \lambda_0$).

5. A MELAN-TÉTEL

Ismeretes, hogy a hajlító lengéseket végző rúd önrezgésszáma megváltozik, ha a rúdra normálerő is hat. A statikus normálerővel is terhelt rugalmas rúd transzverzális szabad rezgéseinek a problémája régi eredetű, hiszen e feladat egyesíti a D. Bernoulli által vizsgált húrrezgés, az Euler által vizsgált rúdkihajlás, valamint a normálerő nélküli rúd hajlítólengés problémáit. Nem is tudjuk pontosan, hogy ki foglalkozott elsőként ezzel a problémával. Annyit tudunk, hogy ezt a feladatot Melan az egyik tanulmányában [27] már tárgyalta, és a két végén csuklósan megtámasztott rúdra, melyen középen egyetlen koncentrált tömeg helyezkedik el, az alábbi összefüggést adta meg (igaz, még nem ebben a formában):

$$\frac{\omega_k^2}{\omega_0^2} = 1 + \frac{N}{N_E}, \tag{83}$$

ahol N_E a rúd Euler-féle kritikus ereje, ω_0 a normálerő nélküli rúd legkisebb sajátkörfrekvenciája, ω_k pedig a rúdnak az N normálerő melletti sajátkörfrekvenciája. Itt N előjele húzáskor pozitív. A későbbi munkákban, így pl. [12]-ben

már az áll, hogy a (83) Melan-formula közelítő. Általános esetben, ha a normálerő húzást okoz, az

$$\frac{\omega_k^2}{\omega_0^2} \leq 1 + \frac{N}{N_E} \quad (N \geq 0) \tag{84}$$

egyenlőtlenség teljesül. Egyenlőség pedig akkor áll fenn, ha a rezgési alak és a kihajlási alak azonos.

Renton [36] felhívta a figyelmet Massonnet [26] egy kevésbé ismert munkájára, amelyben Massonnet egyebek mellett a rezgéssel kombinált rugalmas stabilitási feladatok esetén a stabilitási tartomány konvexitásával is foglalkozott. Sajnos, vizsgálataink idején Massonnetnak ez a tanulmánya nem volt hozzáférhető.

A továbbiakban, eddigi módszerünket követve, a problémát a Hilbert-terekben értelmezett operátorok segítségével tárgyaljuk és az alkalmazásokban továbbra is a *nyomóerőt tekintjük pozitívnak.*

5.1. A Melan-tétel általános alakja

8. T é t e l. Legyenek A, B, C lineáris szimmetrikus operátorok egy H Hilbert-térben úgy, hogy A pozitív definit B és C pozitív és $D_A \subset D_B \cap D_C \subset H$. Tegyük fel, hogy (Bu, u) és (Cu, u) kvadratikus funkcionálok teljesen folytonosak (Au, u)-ra nézve. Legyen λ_0 és μ_0 az

$$(A - \lambda B - \mu C)u = 0 \quad u \in D_A \tag{85}$$

kétparaméteres sajátérték-feladat egy összetartozó sajátérték-párja úgy, hogy μ_0 a rögzített λ_0 melletti μ sajátértékek közül a legkisebb. Jelölje λ_1, ill. μ_1 az

$$(A - \lambda B)u = 0 \quad u \in D_A, \tag{86}$$

ill. az

$$(A - \mu C)u = 0 \quad u \in D_A \tag{87}$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértékét. Ha $\lambda_0 \leq \lambda_1$ és $\mu_0 \geq 0$, akkor fennáll az

$$\frac{1}{\lambda_0} \leq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\lambda_0}\frac{1}{\mu_1} \tag{88}$$

egyenlőtlenség.

B i z o n y í t á s. Mivel λ_0 előjelét nem korlátoztuk, így az egyaránt lehet pozitív és negatív. Tekintsük először azt az esetet, amikor $\lambda_0 > 0$. Legyen u_0 a λ_0 és μ_0 sajátértékpárnak megfelelő sajátelem. Ekkor teljesül a (85) egyenlőség, azaz

$$Au_0 - \lambda_0 Bu_0 - \mu_0 Cu_0 = 0.$$

Ennek az egyenlőségnek u_0-val történő skaláris szorzása után rendezéssel az alábbi összefüggés nyerhető:

$$\frac{1}{\lambda_0} = \frac{(Bu_0, u_0)}{(Au_0, u_0)} + \frac{\mu_0}{\lambda_0}\frac{(Cu_0, u_0)}{(Au_0, u_0)}. \tag{89}$$

Ekkor a λ_1 és μ_1 sajátértékeket a Rayleigh-hányadosokkal előállítva (89)-ből az alábbi egyenlőtlenség nyerhető:

$$\frac{1}{\lambda_0} = \frac{(Bu_0, u_0)}{(Au_0, u_0)} + \frac{\mu_0}{\lambda_0}\frac{(Cu_0, u_0)}{(Au_0, u_0)} \leqq \sup_{u \in D_A} \frac{(Bu, u)}{(Au, u)} + \frac{\mu_0}{\lambda_0} \sup_{u \in D_A} \frac{(Cu, u)}{(Au, u)} =$$

$$= \frac{1}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\lambda_0}\frac{1}{\mu_1},$$

amely azonos a tétel (88) állításával.

Legyen most $\lambda_0 < 0$. Rögzített λ_0 mellett a (85) sajátérték-feladat μ_0 sajátértéke felfogható úgy, mint az

$$(A - \lambda_0 B)u - \mu Cu = 0 \qquad u \in D_A$$

sajátérték-feladat legkisebb sajátértéke, amely a Rayleigh-hányadossal is kifejezhető, és így

$$\mu_0 = \inf_{u \in D_A} \frac{(Au, u) - \lambda_0(Bu, u)}{(Cu, u)} \leqq \frac{(Au, u) - \lambda_0(Bu, u)}{(Cu, u)}.$$

Ezt rendezve és figyelembe véve, hogy $\lambda_0 < 0$, kapjuk az alábbi egyenlőtlenségeket:

$$\mu_0 \frac{(Cu, u)}{(Au, u)} \leqq 1 - \lambda_0 \frac{(Bu, u)}{(Au, u)} \leqq 1 - \lambda_0 \sup_{u \in D_A} \frac{(Bu, u)}{(Au, u)},$$

azaz

$$\mu_0 \frac{(Cu, u)}{(Au, u)} \leqq 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1} \qquad u \in D_A.$$

Ez az egyenlőtlenség a $(Cu, u)/(Au, u)$ hányados minden $u \in D_A$ elemen vett értékére fennáll, következésképp a hányados szuprémumára is teljesül:

$$\mu_0 \sup_{u \in D_A} \frac{(Cu, u)}{(Au, u)} = \frac{\mu_0}{\mu_1} \leqq 1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}.$$

Innen

$$1 \geqq \frac{\lambda_0}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\mu_1},$$

ill. ebből λ_0 negatív volta miatt

$$\frac{1}{\lambda_0} \leqq \frac{1}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\lambda_0}\frac{1}{\mu_1},$$

azaz a tételbeli állítás adódik.

M e g j e g y z é s e k. A (88) egyenlőtlenség tulajdonképpen egy tartományon alsó korlátot és egy ettől diszjunkt tartományon felső korlátot ad. A két korlát (88)-nak λ_0-val történő beszorzásával nyerhető:

$$1 \leqq \frac{\lambda_0}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\mu_1} \quad (0 \leqq \lambda_0 < \lambda_1), \tag{90}$$

$$1 \geqq \frac{\lambda_0}{\lambda_1} + \frac{\mu_0}{\mu_1} \quad (\lambda_0 < 0). \tag{91}$$

Az itt bizonyított tételnek szorzatterekben a [3]-ban szereplő matematikai apparátus segítségével valószínűleg további általánosítása is megadható, ezzel azonban nem foglalkoztunk.

Papkovics [32] a Melan-tételt a szűkebb Dunkerley-tétel (1. Tétel), ill. a többparaméteres terhekre vonatkozó reciprok addiciós tétel egy speciális esetének tekinti, amikor a tartón a kihajlást okozó terheken kívül egy szabad rezgésből származó fiktív erő is működik.

5.2. Példa a Melan-tétel alkalmazására

Tekintsük az 5. szakasz elején említett szabad hajlítólengéseket végző, normálerővel is terhelt rúd problémáját. Ha EI a rúdkeresztmetszet hajlítómerevsége, m a rúd hosszegységre vett tömege, u a rúdtengelypontok transzverzális elmozdulása, N a rúd normálereje (mely nyomáskor pozitív), ω pedig a rezgés körfrekvenciája, akkor a rúd rezgési egyenlete az időváltozó kiküszöbölése után:

$$(EIu'')'' + (Nu')' - \omega^2 mu = 0. \tag{92}$$

A rudak esetében szokásos megtámasztási feltételek, pl. csuklós megtámasztás mellett (92) szimmetrikus feladatot határoz meg, azaz a $\lambda N_1 = N$ jelölés alkalmazásával az

$$Au = (EIu'')'',$$
$$Bu = -(N_1 u')',$$
$$Cu = mu$$

összefüggésekkel értelmezett A, B, C operátorok az adott peremfeltételek mellett szimmetrikusak és teljesülnek rájuk a 8. tételbeli feltételek. Ha a $\mu = \omega^2$ jelölést is bevezetjük, akkor feladatunkra fennáll a 8. Tétel (88) állítása, ahol most λ_0 adott normálerőparaméter, μ_0 a rúd λ_0 melletti legkisebb sajátkörfrekvenciájának a négyzete, λ_1 a nem rezgő ($\mu = 0$) rúd legkisebb kritikus teherparamétere, μ_1 pedig a normálerőmentes ($\lambda = 0$) rúd legkisebb sajátkörfrekvenciájának a négyzete.

A (88) egyenlőtlenség, ill. a (90), (91) egyenlőtlenségpár alkalmas arra, hogy velük korlátokat adjunk a rúd rezgési, és stabilitási paramétereire.

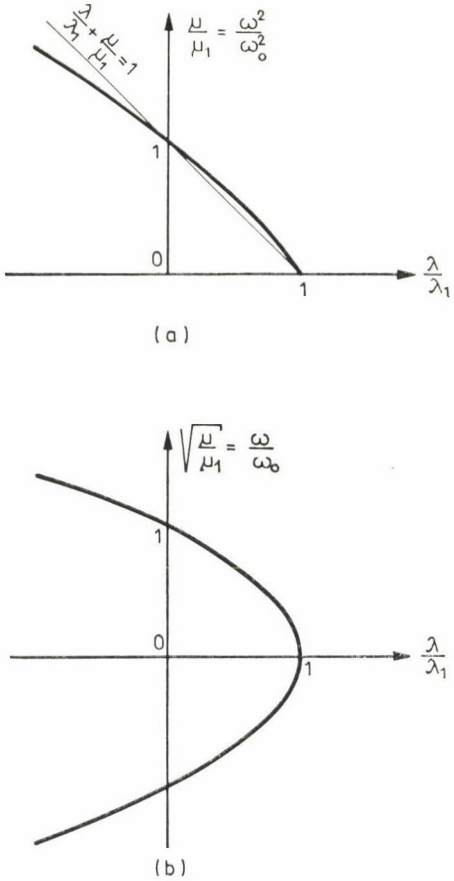
5.2.1. Korlátok a rúd adott normálerő melletti önrezgésszámára

A (90) és (91) egyenlőtlenségekből közvetlenül adódik, hogy

$$\mu_0 \geqq \mu_1 \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right) \quad (0 \leqq \lambda_0 < \lambda_1),$$

$$\mu_0 \leqq \mu_1 \left(1 - \frac{\lambda_0}{\lambda_1}\right) \quad (\lambda_0 < 0).$$

Látható, hogy a rúd adott λ_0 normálerőparaméter melletti legkisebb sajátkörfrekvenciájának négyzetére alsó korlátot kapunk, ha a rúdban nyomás, és felső korlátot kapunk, ha húzás működik (12. ábra).



12. ábra

5.2.2. *Korlát a rúd legkisebb kritikus teherparaméterére*

A (88) egyenlőtlenségekből adódik, hogy

$$\lambda_1 \leqq \frac{\lambda_0}{1 - \frac{\mu_0}{\mu_1}}, \tag{93}$$

függetlenül a rúdban működő normálerő előjelétől.

A (88) Melan-formula tehát mindig a biztonság kárára ad közelítést a szerkezet legkisebb kritikus teherparaméterére. A gyakorlati esetek többségében azonban a (93) közelítés hibája nem jelentős. Így lehetőség nyílik, hogy a szerkezet legkisebb kritikus teherparaméterét jó közelítéssel rezgésmérés útján határozzuk meg [37]. A (93) formula speciális esete annak az általánosabb összefüggésnek, amely a következőképpen adódik. Két, egymástól különböző λ_{01} és λ_{02} normálerő-paraméter mellett megmérjük a szerkezet μ_{01} és μ_{02} legkisebb sajátkörfrekvenciájának a négyzetét. Ez a λ, μ koordinátarendszerben két pontot, a két pont pedig egy egyenest határoz meg. Az egyenes tengelymetszékei λ_1-re és μ_1-re adnak közelítést:

$$\lambda_1 \leqq \lambda_{01} + \frac{\lambda_{02} - \lambda_{01}}{1 - \frac{\mu_{02}}{\mu_{01}}}, \tag{94}$$

$$\mu_1 \leqq \mu_{01} + \frac{\mu_{01} - \mu_{02}}{1 - \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{01}}} \quad (\lambda_{01} \cdot \lambda_{02} \geqq 0), \tag{95}$$

$$\mu_1 \geqq \mu_{01} + \frac{\mu_{01} - \mu_{02}}{1 - \frac{\lambda_{02}}{\lambda_{01}}} \quad (\lambda_{01} \cdot \lambda_{02} \leqq 0). \tag{96}$$

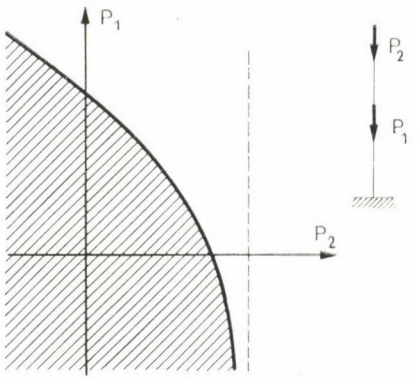
A (94) összefüggés segítségével olyan szerkezetek legkisebb kritikus terhe (ebből pedig hajlítómerevsége) is meghatározható jó közelítéssel, amelyeket egyébként nyomásra gyakorlatilag nem tudunk igénybe venni. Ilyen szerkezetek pl. a kábelek. Így érdekes módon a szerkezet egy jellemző nyomóparaméterét (a legkisebb kritikus teherparamétert) húzókísérlettel tudjuk meghatározni [17].

5.3. *A stabilitási tartomány*

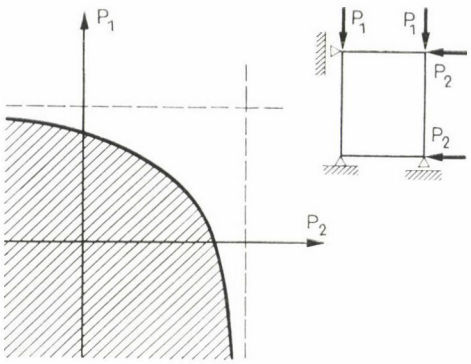
A nyomóerővel terhelt szabad rezgést végző rúd 12(b). ábrán látható stabilitási tartományát szemügyre véve megállapítható, hogy az szoros analógiát mutat a Papkovics [32] könyvének 11. ábráján szereplő stabilitási tartománynyal. A fekvő parabolára emlékeztető tartomány Papkovicsnál egy olyan négyszögletes lemezt jellemez, amelyre két szemközti élén azonos de ellentétes irányú normálerő hat, és amely egyidejűleg a középfelület síkjában működő nyírásra is igénybe van véve. A Dunkerley-tételnél a legkisebb kritikus teherparamétereket csak pozitív értékek mellett tekintettük. Ha a tartót terhelő erőket többparaméteres rendszernek fogjuk fel, akkor értelmes feladatok defi-

niálhatók számos olyan esetben is, amikor a paraméterek közül néhány negatív. Így pl. egy kétparaméteres rendszernél az eddig tekintett pozitív síknegyeden kívül a másik három síknegyedben is értelmezhetjük a feladatot. Ezzel a teljes stabilitási tartományt előállíthatjuk, illetve a tartomány határgörbéjének (több dimenzióban hiperfelületének) egyes szakaszaira korlátokat állíthatunk, bár maga a Dunkerley-formula, ha az negatív paramétereket is tartalmaz, általában már nem lesz igaz. Számos különböző típusú stabilitási tartomány létezik a különböző feladatokra. Ezek közül tüntettünk fel néhányat a 13., 14., 15. és 16. ábrán. A 13. és 14. ábra olyan feladatokra jellemző, amelyeknél a stabilitás elvesztése minden egyes részrendszer esetén csak pozitív teherparaméternél következik be. Ilyenek például a közönséges rúdkihajlási és lemezhorpadási feladatok. A 15. és 16. ábra pedig olyan feladatokra jellemző, amelyeknél a stabilitás elvesztése a teherparaméterek pozitív és negatív értékeinél egyaránt bekövetkezhet. Ilyenek pl. a kifordulási problémák.

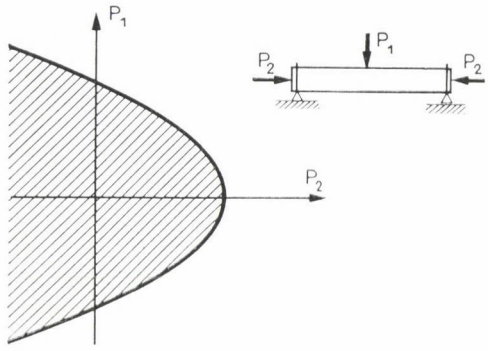
Bár a teljes tartományokat a gyakorlatban ritkán használják, ismeretük azért fontos, mert segítségükkel lehet megérteni olyan egyáltalán nem szokványos interakciós összefüggéseket, amilyen pl. egy háromtámaszú tartó kifordulásánál áll elő, amikor a tartót nyílásonként egy-egy transzverzális erő terheli (17. ábra) [44]. A 17. ábrán látható interakciós görbe alakja a 16. ábra ismeretében már nem okoz gondot.



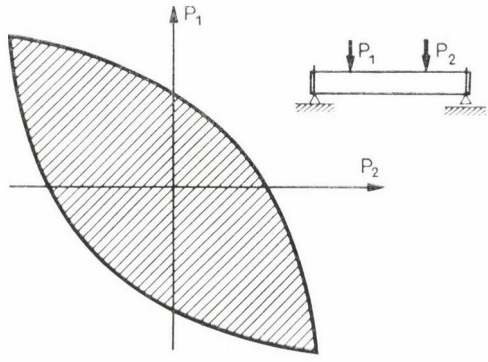
13. ábra



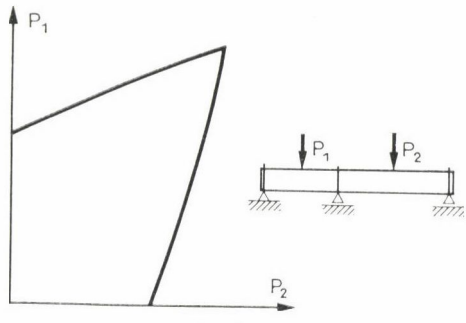
14. ábra



15. ábra



16. ábra



17. ábra

6. A RANKINE-FORMULA

A Rankine-formula valójában nem tartozik a Dunkerley-formulával rokon összefüggések közé, mivel az nem rugalmas, hanem rugalmas-képlékeny szerkezetekre vonatkozik és ezért matematikailag nem lineáris operátorok sajátérték-feladatából ered. Az ok, amiért mi mégis foglalkozunk itt a Rankine-

formulával az az, hogy a Rankine-formula algebrai alakja speciális esetben a Dunkerley-formuláéhoz hasonló.

A Rankine-formula története jól ismert. Hodgkinson [11] 1840-ben publikált kísérleti eredményei alapján Gordon javasolt egy közelítő összefüggést nyomott rudak törőterhének meghatározására. Rankine [34] Gordon formuláját a keresztmetszet tehetetlenségi sugarával írta fel és így az alábbi összefüggéshez jutott:

$$P_F \approx \frac{P_P}{1 + a\left(\frac{l}{r}\right)^2}, \tag{97}$$

ahol

P_F a rúd törőterhe,
P_P a keresztmetszet képlékeny teherbírása ($P_P = F\,\sigma_y$, ahol F a keresztmetszet területe, σ_y a folyási feszültség),
l a rúd hossza,
r a keresztmetszet tehetetlenségi sugara,
a egy állandó.

Ha a rúd mindkét végén csuklós megtámasztású és az a állandót úgy választjuk, hogy

$$a = \frac{\sigma_y}{\pi^2 E}$$

legyen, akkor a (97) Rankine-formula az

$$\frac{1}{P_F} \approx \frac{1}{P_P} + \frac{1}{P_C} \tag{98}$$

alakot veszi fel, ahol P_C a lineárisan rugalmasnak tekintett rúd legkisebb kritikus terhe. Érdekes, hogy egy, a (98)-cal teljesen megegyező algebrai alakot már Hodgkinson [11] megemlített fa anyagú rudakkal kapcsolatban. Merchant [28] 1954-ben rugalmas-képlékeny keretekre terjesztette ki a (98) Rankine-formulát.

A Rankine-formula teherrendszerek esetén a következő:

$$\frac{1}{\lambda_F} \approx \frac{1}{\lambda_P} + \frac{1}{\lambda_C}, \tag{99}$$

ahol λ_F, λ_P, λ_C rendre a szerkezet rugalmas-képlékeny törő teherparamétere, a szerkezet merev-képlékeny törő teherparamétere, a szerkezet legkisebb rugalmas kritikus teherparamétere. Az úgynevezett Rankine-teherparamétert, λ_R-et az

$$\frac{1}{\lambda_R} = \frac{1}{\lambda_P} + \frac{1}{\lambda_C}$$

összefüggés definiálja. Horne [13] bizonyos feltételezések mellett elméletileg igazolta, hogy a Rankine-teherparaméter a biztonság javára szolgáló közelítését adja a rugalmas-képlékeny törő teherparaméternek. Ismereteink szerint

azonban általánosan nem igazolható, hogy a Rankine-teher a törőteher alsó korlátja. Vizsgálatainknak már egy korábbi fázisában felmerült az a probléma, hogy a Rankine-formula vajon a biztonság javára vagy kárára közelít [41], melyhez Horne is hozzászólt [15]. Horne professzor megjegyzéseit az ő hozzájárulásával az alábbiakban közöljük.

6.1. Horne megjegyzései [15]

„A szerző felteszi a kérdést, hogy vajon fel lehet-e állítani olyan kritériumokat, amelyek biztosítják, hogy az

$$\frac{1}{\lambda_R} = \frac{1}{\lambda_P} + \frac{1}{\lambda_C}$$

Rankine-formula λ_R-rel alsó korlátot adjon valamely szerkezet λ_F-fel jelölt tényleges rugalmas-képlékeny törőterhére. Nem nehéz [13] szükséges feltételeket állítani ahhoz, hogy λ_R alsó korlát legyen, kétséges azonban, hogy az ezt eredményező megállapításnak van-e egyáltalán valamilyen értéke, mivel nem valószínű, hogy az ilyen feltételek kielégülnek a gyakorlatban. Ez azonban nem jelenti, hogy a Rankine-terhet el kell vetni, mint ami értéktelen a tervezés segítése szempontjából. Keretszerkezeteknél ugyanis (szemben az egyedül álló rudakkal) a gyakorlati esetek többségében bízni lehet abban, hogy λ_R a λ_F törő teherparaméterre a *biztonság javára* történő közelítést ad.

A szerkezeti viselkedésben van két egymást kiegészítő tényező, amelynek λ_F-hez viszonyítva ellentétes a hatása a λ_R értékére.

(1) A merev-képlékeny tönkremeneteli módban, melyből λ_P származik, a szerkezet deformációit reprezentáló U_P lehajlásokat ki lehet fejezni a λ_{C1}, λ_{C2}, λ_{C3}, ... rugalmas kritikus teherparaméterekhez tartozó U_{C1}, U_{C2}, U_{C3}, ... kritikus alakfüggvények lineáris függvényeiként, azaz $U_P = \sum_i a_i U_{Ci}$. A Rankine-formulában szereplő λ_C kritikus teherparaméter a legkisebb kritikus teherparaméternek, λ_{C1}-nek felel meg. A λ_R Rankine-teher tendenciájában annál nagyobb *biztonságú* becslése λ_F-nek, mennél jobban különbözik U_{C1}-től az U_P lehajlási alak, azaz mennél több U_{C2}, U_{C3}, ... alak jelenik meg szignifikáns tagként az U_P-t előállító kifejezésben.

(2) A rugalmas viselkedéstől a képlékeny összeomlásig tartó folyamat úgy következik be, hogy a képlékenység a keresztmetszetekben és a rudak hossza mentén fokozatosan terjed. A λ_F érték λ_R-hez képest egy alacsonyabb szintre törekszik azáltal, hogy mialatt a teher nő, a szerkezet egyes részeiben a képlékenység korán kifejlődik és ez a merevség korai csökkenését okozza. Ilyen körülmények között az a tendencia, hogy a λ_R érték λ_F-nek a *biztonság kárára* szolgáló becslését adja.

Ezt a két ellentétes tendenciát mutatja meg Horne dolgozata [13]. A Rankine-teher gyakran nagyon szoros közelítést ad a törőteherre, mivel a két tendencia hozzávetőleg kiegyenlíti egymást. λ_R valamivel λ_F alatt marad egyszerű szerkezeteknél, pl. külpontosan nyomott csuklós végű rudaknál, ahol a képlékeny tönkremeneteli lehajlási alak közel hasonló a legkisebb rugalmas kritikus alakhoz. Szerkezeti kereteknél a képlékeny tönkremeneteli alak rendszerint világosabban kivehető eltérést mutat a legkisebb rugalmas kritikus alaktól és ez magyarázza azt a megfigyelt tényt, hogy λ_R gyakorlatilag alkalmas alsó korlát λ_F-re. (Lásd [16] 5. fejezet, [14] 6. fejezet.)

Nyilvánvaló lesz, hogy a Rankine-teher lényegében empirikus eredmény marad, teljesen eltérően a rugalmas stabilitáselmélet Dunkerley-tételétől. Szigorú alsó korlát egy olyan hipotétikus szerkezet esetében *lenne*, amely teljesen rugalmas marad mindaddig, amíg a képlékeny mechanizmushoz szükséges képlékeny csuklók egyszerre valamennyien ki nem alakulnak.

Ez viszont megkövetelné, hogy a rugalmas analízis szerinti belső erő eloszlás azonos legyen a képlékeny határállapotbeli belső erő eloszlással a tönkremenetel pillanatában. Ez a követelmény maga után vonná mind a rúdkeresztmetszeti igénybevételeket (nyomóerőt, nyíróerőt, hajlító- és csavarónyomatékot), mind pedig ezen igénybevételeknek megfelelő feszültségek keresztmetszeten belüli eloszlását. E vizsgálat révén nyilvánvaló, hogy ilyen szituáció nem létezhet, hacsak nem egy olyan szerkezetben, amelyet mesterségesen úgy terveztek, hogy így viselkedjen (például a folyási feszültségeknek a szerkezet minden részére kiterjedő megfelelő változtatásával). A következtetés az kell, hogy legyen, hogy nem lehetséges olyan hasznavehető feltételeket felállítani, amelyek mellett a Rankine-teher a törőerőnek szigorú alsó korlátját képezi."

6.2. Nemlineáris Rankine-formulák

Bizonyos rugalmas-képlékeny anyagú szerkezeteknél kísérleti eredmények alapján úgy találták, hogy a (99) Rankine-formula túlságosan is a biztonság javára közelít. Ezért ésszerűnek látszott a Rankine-féle interpolációs formulát a kísérleti eredményekhez igazítani. Ez a szándék vezetett el a Rankine-formula nemlineáris változataihoz. Számos ilyen formulát dolgoztak ki, és közülük több a különböző acélszerkezeti szabványokba is belekerült.

Előnyösen alkalmazható pl. a (29) Strigl-formulára emlékeztető

$$\frac{\lambda_F}{\lambda_P} + \frac{\lambda_F}{\lambda_C} - \frac{\lambda_F^2}{\lambda_P \lambda_C} \approx 1$$

interpolációs összefüggés, amely megfelelő korrekciós tényezőkkel a nyomott rudak méretezésére vonatkozó magyar előírásoknak is az alapjává vált [10]. De jól ismertek a

$$\left(\frac{\lambda_F}{\lambda_P}\right)^m + \left(\frac{\lambda_F}{\lambda_C}\right)^n \approx 1 \qquad m \geqq 1, \quad n \geqq 1$$

típusú interpolációs képletek is, ill. ezek $m = n$ melletti speciális alakjai [1]. Olyan összefüggésekről is tudunk, amelyek további paramétereket (pl. a folyás megindulásához tartozó teherparamétert) vonnak be a λ_F-et közelítő kifejezésbe [25].

Mindezekről az interpolációs összefüggésekről ugyanazt kell megjegyeznünk, mint a (99) Rankine-formuláról, hogy t. i. valamennyien empirikus formulák, és ismeretünk szerint nem állíthatók fel olyan feltételek, amelyek mellett általánosan elméletileg igazolható lenne, hogy ezek a kifejezések a szerkezet törőterhére minden esetben alsó korlátot adnak.

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgálatok eredményeiből levonható legfontosabb következtetéseket az alábbiakban foglaljuk össze:

(7.1) A terhek részekre bontásán alapuló közelítő módszer a Dunkerley-tétel következtében a gyakorlatban előforduló valamennyi — szimmetrikus feladatot definiáló — szerkezet esetében a biztonság javára szolgáló közelítést ad a szerkezet legkisebb pozitív rugalmas kritikus teherparaméterére.

(7.2) A szerkezet parciális megmerevítésén alapuló módszer a Föppl—Papkovics-tétel értelmében csak olyan esetekben ad a biztonság javára szolgáló közelítést a legkisebb rugalmas kritikus teherparaméterre, amikor a szerkezet különböző részeinek megmerevítése mellett kialakuló deformációk függetlenek, és amikor a kritikus állapot a teher ellenkező iránya mellett nem értelmezhető (azaz amikor a feladatnak csak azonos előjelű sajátértékei vannak).

(7.3) A szerkezet rugalmas tulajdonságait mobilizáló Kollár-féle módszer az eddigi tapasztalatok szerint a biztonság javára közelíti a szerkezet legkisebb pozitív rugalmas kritikus teherparaméterét. E módszer helyességét azonban nem tudtuk általános érvénnyel bizonyítani.

(7.4) A normálerővel is terhelt, transzverzális rezgéseket végző szerkezeteknél a Dunkerley-formulához hasonló Melan-formula — a pontos értékeket adó kivételektől eltekintve — minden esetben a biztonság kárára közelíti a szerkezet legkisebb rugalmas kritikus teherparaméterét.

(7.5) A rugalmas-képlékeny anyagú szerkezetek törő teherparaméterére a Rankine-formula lineáris és nemlineáris változatai egyaránt adhatnak a biztonság javára és kárára történő közelítéseket. A Rankine-formula alapvetően tapasztalati összefüggés, amelynek approximációs iránya a gyakorlatban előforduló szerkezetekre általános érvénnyel elméletileg nem bizonyítható.

IRODALOM

[1] Allen, D.: Merchant-Rankine Approach to Member Stability. *Journal of the Structural Division, Proc. of the ASCE* **104** (1978) ST12, 1909—1914.

[2] Aronszajn, N.: Rayleigh-Ritz and A. Weinstein Methods for Approximation of Eigenvalues. I. Operators in a Hilbert Space., II. Differential Operators. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **34** (1948), 474—480, 594—601.

[3] Atkinson, F. V.: Multiparameter Eigenvalue Problems. Vol. I. Academic Press, New York, 1972.

[4] Bleich, F.: Buckling Strength of Metal Structures. McGraw-Hill Book Comp. New York, 1952.

[5] Collatz, L.: Eigenwertaufgaben mit technischen Anwendungen. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1949.

[6] Dunkerley, S.: On the whirling and vibration of shafts. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Ser. A* **185** (1894), 279—360.

[7] Éliás E.: Föppl egy tételéről. Kézirat 1976.

[8] Föppl, L.: Über das Ausknicken von Gittermasten, insbesondere von hohen Funktürmen. *ZAMM* **13** (1933), 1—10.

[9] Hahn, E.: Note sur la vitesse critique des arbres et la Formule de Dunkerley. *Schweizerische Bauzeitung* **72** (1918), 191—194, 206—208.

[10] Halász, O. and Iványi, M.: Stability Problems in Hungarian Specifications and Recommendations for Steel Structures. *Proc. Regional Colloquium on Stability of Steel Structures.* Budapest—Balatonfüred, October 1977, 25—35.

[11] HODGKINSON, E.: Experimental Researches on the Strength of Pillars of Cast Iron, and other Materials. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (1840), 385—456.
[12] HOHENEMSER, K. und PRAGER, W.: Dynamik der Stabwerke. Eine Schwingungslehre für Bauingenieure. Springer-Verlag, Berlin, 1933.
[13] HORNE, M. R.: Elastic-Plastic Failure Loads of Plane Frames. *Proceedings of the Royal Society, A*, **274** (1963), 343—364.
[14] HORNE, M. R.: Plastic Theory of Structures, 2nd Edition. Nelson, 1979.
[15] HORNE, M. R.: Discussion on „Generalisation of the Dunkerley Theorem and its Applications in the Theory of Elastic Stability" by T. Tarnai. Letter to the author, Manchester, 11th August, 1981.
[16] HORNE, M. R. and MERCHANT, W.: The Stability of Frames. Pergamon Press, Oxford, 1965.
[17] ILLÉSSY J.: Hídkötelek dinamikai viselkedése. *Mélyépítéstudományi Szemle* **19** (1969), 361—367.
[18] JEFFCOTT, H. H.: The periods of lateral vibration of loaded shafts. The rational derivation of Dunkerley's empirical rule for determining whirling speeds. *Proc. Royal Soc. Lon. Ser. A* **95** (1919), 106—115.
[19] KAMKE, E.: Differentialgleichungen Lösungsmethoden und Lösungen. I. Gewöhnliche Differentialgleichungen. 6. Auflage. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1959.
[20] KÁRMÁN, T. v. and BIOT, M. A.: Mathematical Methods in Engineering. McGraw-Hill Book Comp. New York, 1940.
[21] KOLLÁR L.: A stabilitástan újabb eredményei a tervező szemével. *Magyar Építőipar* **20** (1971), 333—337.
[22] KOLLÁR L. és TARNAI T.: Kötelekkel merevített antennatornyok lineáris rezgéseinek közelítő számítása a kontinuum-módszerrel. *Mélyépítéstudományi Szemle* **22** (1972), 214—221.
[23] KOLLÁR L., PETRAVICH A. és IJJAS GY.: Stabilitási példatár. Budapesti Városépítési Tervező Vállalat, Budapest, 1978.
[24] KOVÁCS, I.: Allgemeines Knicken des mit Hängestangen und Balken versteiften Parabelbogens. Dissertation, Technische Universität Stuttgart, 1974.
[25] КУЗНЕЦОВ, Б. Н.: Приближенный метод определения предельной нагрузки для рам. *Строительная механика и расчет сооружений* № 1, 1983, 44—48.
[26] MASSONNET, C.: Les Relations entre les Modes Normaux de Vibration et la Stabilité des Systemes Élastiques. *Bulletin des Cours et des Laboratoires d'Essais des Constructions du Génie Civil et d'Hydraulique Fluviale* Vol **1** (1940), 1—351.
[27] MELAN, H.: Kritische Drehzahlen von Wellen mit Längsbelastung. *Zeitschrift der Österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines* **69** (1917), 610—612, 619—621.
[28] MERCHANT, W.: The Failure Load of Rigidly Jointed Frameworks as Influenced by Stability. *Structural Engineer* **32** (1954), 185—190.
[29] MILNER, H. R. and HORNE, M. R.: Elastic critical loads of structural systems. *International Journal of Mechanical Sciences* **20** (1978), 485—491.
[30] NEUBER, H.: Gesetzmässigkeiten von Torsionsschwingungszahlen und Aufstellung einfacher Grenzwertformeln. *Ingenieur-Archiv* **22** (1954), 258—267.
[31] NYLANDER, H.: Torsion, Bending and Lateral Buckling of I-Beams. *Transactions of the Royal Institute of Technology Stockholm*, Sweden, No 102 (1956).
[32] ПАПКОВИЧ, П. Ф.: Труды по строительной механики корабля. Том 4. Устойчивость стержней, перекрытий и пластин. Изд. «Судпромгиз», Ленинград, 1963.
[33] PLANTEMA, F. J.: Theory and Experiments on the Elastic Overall Instability of Flat Sandwich Plates. Doctoral Thesis, Delft, 1952.
[34] RANKINE, W. J. M.: A Manual of Civil Engineering. 2nd Edition. Charles Griffin and Comp. London, 1863.
[35] RENTON, J. D.: Buckling of frames composed of thin-walled members. Thin-Walled Structures, pp. 1—59. (Edited by A. H. Chilver) Chatto and Windus, London, 1967.
[36] RENTON, J. D.: Levél a szerzőhöz, Oxford, 1981. július 28.
[37] STEINERT, J.: Möglichkeiten der Bestimmung der kritischen Last von Stab- und Flächentragwerken mit Hilfe ihrer Eigenfrequenz. Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Hochschule Braunschweig Heft 8, März 1967.
[38] STRIGL, G.: Das nicht lineare Überlagerungsgesetz für die Lösungen von zusammengesetzten Stabilitätsproblemen mit Verzweigungspunkt. *Der Stahlbau* **24** (1955), 33—39, 51—61.
[39] TARNAI, T.: A végein felfüggesztett gerendák kifordulás-vizsgálata a Dunkerley-tétel segítségével. *Fiatal Oktatók és Kutatók Tudományos Fóruma, Szerkezetépítési Szekció*, BME, 1978, 136—142.

[40] TARNAI, T.: Generalization of Southwell's and Dunkerley's theorems for quadratic eigenvalue problems. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* **91** (1980), 201—221.
[41] TARNAI, T.: Generalization of the Dunkerley Theorem and Its Applications in the Theory of Elastic Stability. Lecture presented at the *9th International Congress on the Application of Mathematics in Engineering Science*, Weimar, 28th June to 4th July, 1981.
[42] TEMPLE, G.: The computation of characteristic numbers and characteristic functions. *Proceedings of the London Mathematical Society, Ser. 2,* **29** (1929), 257—280.
[43] TIMOSHENKO, S. P. and GERE, J. M.: Theory of Elastic Stability. McGraw-Hill Book Comp. New York, 1961.
[44] TRAHAIR, N. S.: Interaction Buckling of Narrow Rectangular Continuous Beams. *Civil Engineering Transactions of the Institution of Engineers, Australia,* Vol. CE **10** (1968), No. 2., Oct., 167—172.
[45] WEINBERGER, H. F.: Variational Methods for Eigenvalue Approximation. SIAM Philadelphia, Pa., 1974.
[46] WEINBERGER, H. F.: Levél a szerzőhöz. Minneapolis, 1981. július 27.
[47] WEYL, H.: Das asymptotische Verteilungsgesetz der Eigenwerte linearer partieller Differentialgleichungen (mit einer Anwendung auf die Theorie der Hohlraumstrahlung). *Mathematische Annalen* **71** (1912), 441—479.
[48] WILLIAMS, F. W.: Designing to achieve target values for eigenfrequencies and critical loads. EUROMECH Colloquium No 112. Mátrafüred, Hungary, February 1979. *Bracketing of Eigenfrequencies of Continuous Structures* (Ed.: Á. Bosznay). Akadémiai Kiadó, Budapest, 1980, 607—639.
[49] ZALKA, K.: Buckling of a Cantilever Subjected to Distributed Normal Loads, Taking Shearing Deformation into Account. *Acta Technica Acad. Sci. Hung.* **89** (1979), 497—508.

*VLADIMIR ŠLAPETA**

A MODERN ÉPÍTÉSZET BRNÓBAN

In memoriam Bohuslav Fuchs (1895—1972)

I. A KEZDETEK

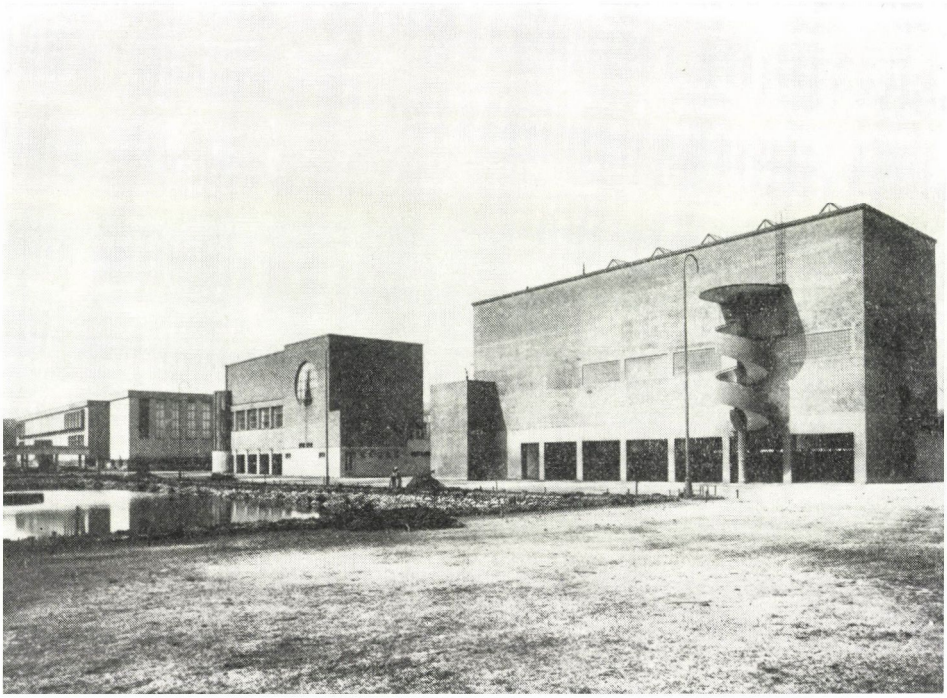
Brno, Morvaország fővárosa, amelynek textil- és gépipara egyre növekedett, a múlt század második felében erőteljes német befolyás alatt állt, s hosszú fejlődési utat kellett megtennie ahhoz, hogy a 20-as, 30-as években a modern cseh építészet fő gócává s a baloldali kultúravantgard törekvések egyik jelentős központjává váljon. Mégis Brno volt az a város, ahol már ekkoriban a modern cseh és közép-európai építőművészet két kimagasló alapítótagjának bölcsője ringott: 1870. december 10-én itt született Adolf Loos, a cseh avantgard inspirátora és pártfogója s egy esztendővel később, 1871. december 18-án ugyanitt született Jan Kotěra, a modern cseh építészeti iskola tényleges megalapítója, tanítómestere és vezéralakja. A város urbanisztikai és építészeti arculatára akkoriban főként az Osztrák—Magyar Monarchia fővárosából, a Bécsből érkező hatások, a historizmus s főként a bécsi Ringstrasse új épületeinek stílusa nyomták rá bélyegüket. Brnóban is megkezdték egy Ringstrasse felépítését és a „körútra" szánt monumentális épületek megtervezését, de más fontos, reprezentatív jellegű feladatok kivitelezését is vezető bécsi építészekre bízták.[1] Az említett épületek sorából kiemelkednek Theofil Hansen professzor művei, mindenekelőtt a Husz utcai cseh Beseda-ház, amely 1871—1873 között épült, és a XIX. század végén a morvaországi cseh társasélet középpontja volt. A morvaországi (brnói) építészeti tevékenység esztétikai és mesterségbeli színvonalának emeléséhez jelentős mértékben hozzájárult az Építőipari Iskola, melyet már a 80-as években megalapítottak és szakmai körökben igen jó hírnek örvendett. Kimagasló építészegyéniségek tanultak itt, olyanok, mint Josef Hoffman, a Gessner-testvérek, Hubert és Franz, később pedig Jindřich Kumpošt és Bohuslav Fuchs.

A századfordulón, az első világháborúig Brno politikailag, gazdaságilag, kulturálisan a Monarchia fővárosának befolyása alatt állt, aminek okát nem csupán a város földrajzi fekvésében, hanem lakosságának — a prágaiéhoz viszonyítva — alacsony szintű nemzeti öntudatában lelhetjük meg. Nem volt véletlen, hogy Brnót „Bécs elővárosának" — vagy fejlett textilipara miatt — az „osztrák Manchesternek" is hívták.[2] A XX. század kezdetétől azonban itt is mindinkább kiütköztek a sajátos cseh vonások. Ezt a változást tükrözte az a tény, hogy Brno építkezéseinél egyre növekedett a prágai építészek

* Vladimir Šlapeta, Narodni Technicke Muzeum 170 78 Praha 7. Kostelni 42.

[1] *Pavel Zatloukal:* Přehled architektury historismu XIX. století na Morave. (A XIX. századi morva építészeti historizmus áttekintése.) Az „Umeni" c. folyóiratban 1980. 28. évf. 4. sz. 355—367.

[2] Přehled historického, socialního a stavebního rozvoje. Brno. (A város történelmi, gazdasági, társadalmi és építészeti fejlődésének áttekintése.) Brno, 34.

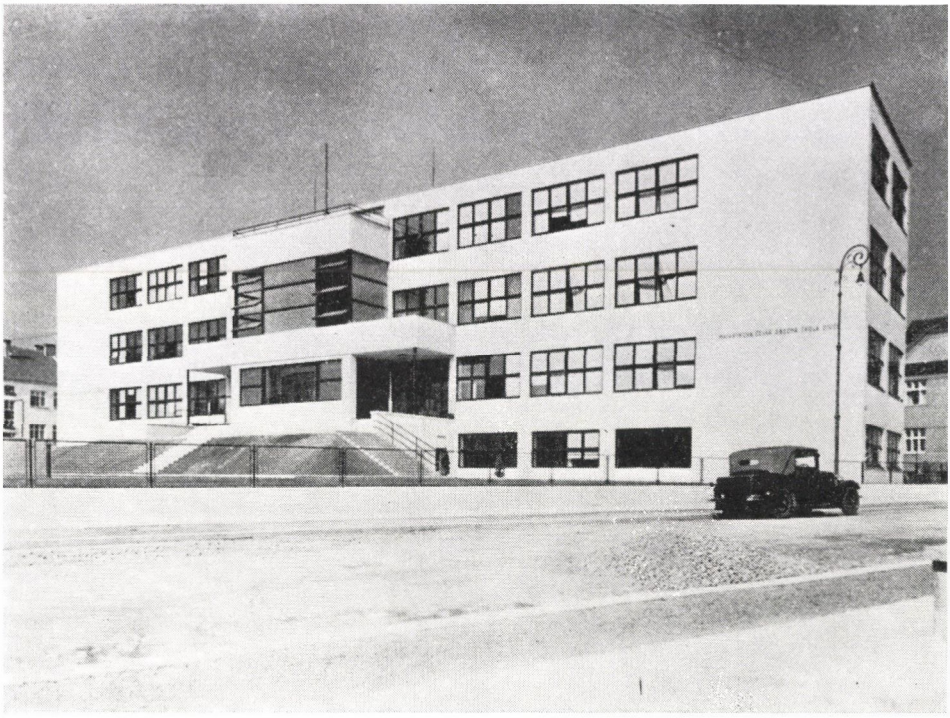


1. kép. A kortárs-művészet kiállítása. Brno, 1928. Jobbról: Brno város pavilonja, Bohuslav Fuchstól. — A morva tartomány pavilonja, Vladislav Chrosttól. — Prága városának pavilonja — Kamil Roskottól

arányszáma. Brno építészeti fejlődéséhez jelentős mértékben hozzájárult az általános városrendezési pályázat, amelyet német nemzetiségű osztrák építészek és néhány német urbanista számára hirdettek meg (Josef Stübber, Karl Henrici) s amelyet Camillo Sitté építészeti elvei befolyásoltak. A győztes pályamű mintájára, melyet Eugen Fassbender, bécsi építész alkotott, számos nagy lakótelep épült, kiterjedt zöldfelülettel a város északnyugati részében.[3] Míg a XIX. század historizmusának és eklekticizmusának stílusjegyei főként Brno szívében jelentek meg, kiváltképp a Ringstrassén, a peremkerületek villanegyedeiben egymás után nőttek ki a földből a bécsi Jugendstil szellemében fogant épületek. Az új szellem fuvallatát Bécsből Wagner tanítványai, Leopold Bauer és Hubert Gessner már röviddel 1900 után magukkal hozták. A cseh építőművészek hatása azonban csak az erősödő nemzeti öntudattal párhuzamosan kezdett növekedni. Leopold Bauer már 1901-ben Pisárkyban (Schreibfeld) egyszerű stílusban építette meg Dr. K. Reisig villáját, figyelemre méltó a lakóterület térbeosztása s feltűnően kevés a díszítőelem.[4] A házat

[3] Popis města Brna k soutěži na dopravně-komunikacní plán. (Brno leírása a közlekedési és kommunikációs tervpályázatra.) Brno, 1933. 5.

[4] Hlinka utca 148. Az első világháború előtt Leopold Bauer más épületeket is épített Brnóban, pl. az S. Haupt áruház és lakóház a Vítězství utca 7-ben, 1900-ból és H. Hecht luxusvillája Pisarkyban (Schreibfeld) a Hlinka utca 142/b-ben.



2. kép. Mojmir Kyselka: A cseh leány- és fiúiskola. Brno, Černa Pole, Zenědělské 29. (1930.)

haladó építészeti szemlélete miatt „Ausztria első modern házá"-nak nevezték.[5] Hubert Gessner a Körzeti Betegsegélyző Pénztár felépítésével írta be nevét Brno építészetének történetébe. A ház 1903—1905 között készült el.[6] Kiváltképp az épület Jugendstilben épült részletei tűnnek ki, amelyet a piros, fugázott téglafalazás, valamint a színes kerámiadíszek kombinációja jellemez. Franz Holikra is befolyást gyakoroltak tanítómesterének, O. Wagnernek elképzelései, ez érződik már a Szűz Mária Szeplőtelen Fogantatása elnevezésű templom építkezésén, mely 1910—1913 között épült a Křenova utcában. Látható, hogy a műre elsősorban Wagnernek a bécsi Steinhof-temploma hatott. A város építészeti képének kialakításához Wagner brünni honosságú tanítványai is hozzájárultak: Jan Mraček egy 1907-ben épült bérházzal, amelynek homlokzatán geometrikus díszítőelemek láthatók,[7] és Bohumír F. A. Čermak a Munkás Balesetbiztosító Intézet monumentális épületével, melyet 1912-ben emeltek.[8] Bécs hatása érződött Friedrich Ohmann[9] tanítvá-

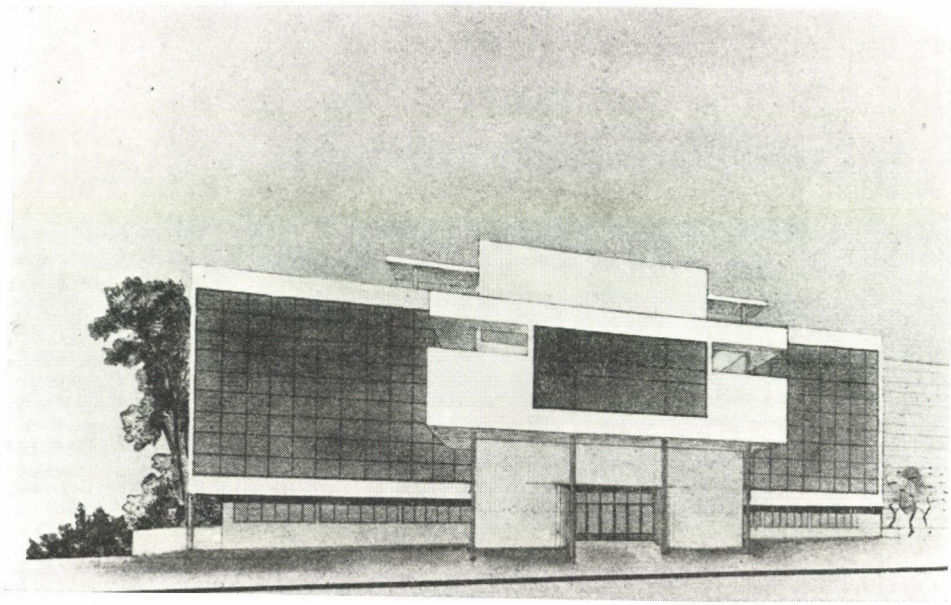
[5] *Dušan Reidl—Bohumil Samek:* Moderni architektura v Brne. (A modern építészet Brnóban) 1900—1965. Brno, 1967. 29.

[6] Októberi forradalom út 24—26.

[7] Antonínská utca 2.

[8] Sady Osvobzení (Felszabadulás park) 43.

[9] Heinrich Ried: A Művészet háza, Malinovszky tér, 1909—1911. 1945 után Bohuslav Fuchs átépítette.

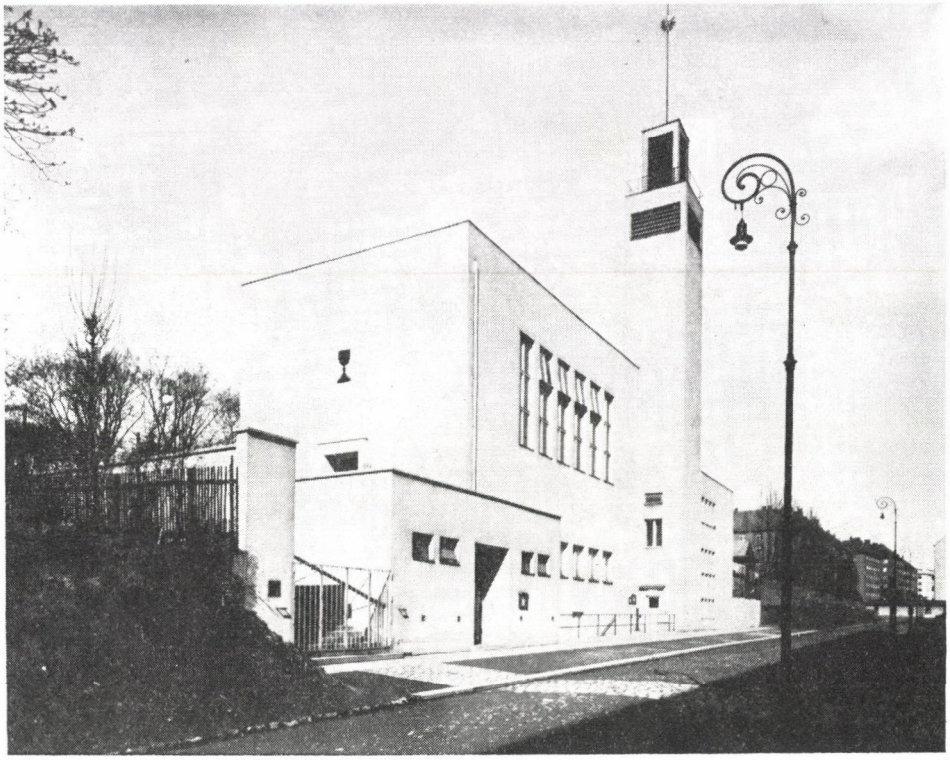


3. kép. Bedřich Rozehnal: A tanácsház pályázati terve. Brno. Megvásárolták: 1932-ben

nyai, pl. Viktor Lemtz, Josef Štepanek,[10] valamint más brünni építészek által tervezett épületeken is.[11]

A cseh befolyás erősödéséhez hozzájárult a Művészetek Barátai Klubjának megalakulása (Klub přatel uměni) 1900-ban, mely a városban a cseh nemzeti kultúrát támogatta. A prágai születésű építészek közül Brnóban elsőként Kotěra tanítványa, Antonin Pfeiffer érvényesült a már 1900-ban megépített VESNA lányiskola megalkotásával,[12] ennek az épületnek különösen a Jugendstil szellemében fogant, plasztikus díszekkel ékített homlokzata tesz nagy hatást a szemlélőre, mely az épület hivatását kívánta kidomborítani. 1906-ban telepedett le Brnóban az akkori idők egyik legjelentősebb építésze, Dušan Jurkovič. Munkáihoz Morvaország és Szlovákia határterületének népi építészetében keresett ösztönzést, melyet egyéni stílusjegyeket viselő építészeti nyelvvé sikerült átalakítania. Jurkovič Brno-Sebrowitzében saját villáját nagyvonalú térelrendezéssel alkotta meg s megnyitásakor itt addigi műveiből kiállítást rendezett.[13] A kiállítás a fiatalabb építésznemzedékre erőteljes hatást gyakorolt. Jurkovič két évvel később valósította meg második építési tervét Brnóban, itt épült a B. Škardas-féle bérház,[14] melynek homlokzatát magas, festői hatású voluta-oromzat koronázta. Nem sokkal ezután, 1907-ben Emil Králikot hívták meg Brnóba, hogy professzorátusát az Építészeti Iskolán átvegye. Králik, akinek személyiségében szerencsésen egyesültek azok az isme-

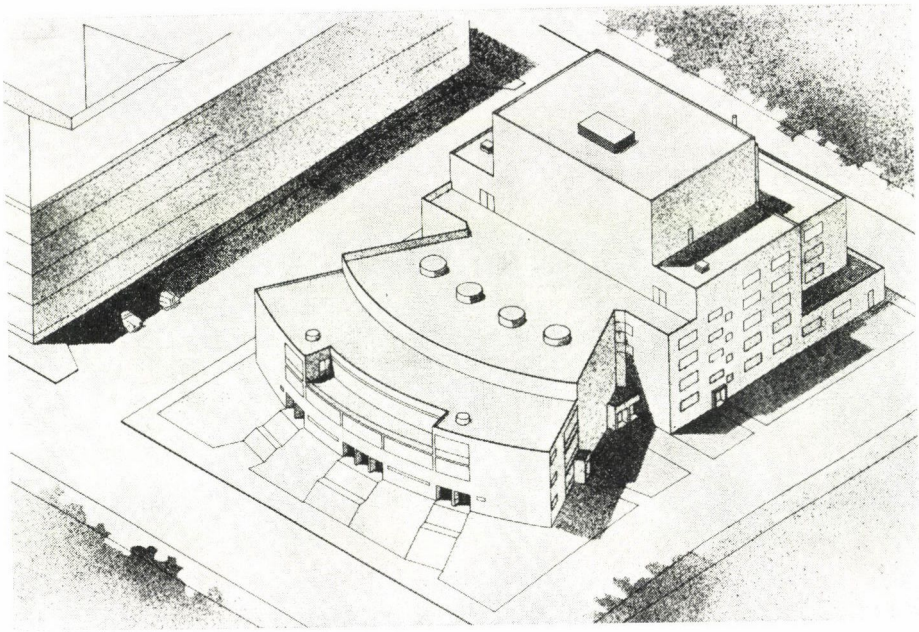
[10] *Antonin, Blažek:* Iskola. Královo Pole, Slovenské náměsti 2. 1912—1913.
[11] Az ún. Müller-házak. Októberi forradalom út 12—16. (Többek közt.)
[12] Jaselská utca 9.
[13] Jana-Nečase utca 3.
[14] Dvořáková utca 10.



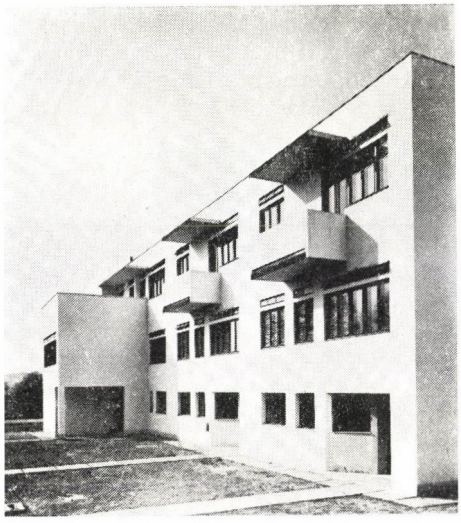
4. kép. Jan Višek: Cseh templom, Brno, Botnické 1. 1927—1928

retek és tapasztalatok, amelyeket a prágai Cseh Műszaki Főiskolán, valamint a bécsi Fellner és Heimer cégnél szerzett, rövidesen a helyi építészet egyik vezető egyéniségévé vált. A háború után megalapította az Építészeti Iskolát a brnói Műszaki Főiskolán. A prágai iskola hatása tükröződött Josef Gočar egyik legelbűvölőbb, kora-modern építészeti művén is, a Jarušek-házon Královo Poleben, amelyet 1910-ben épített.[15] Az új prágai építész-generáció feltűnése kiváltképp azon a két pályázaton éreztette hatását, melyet 1910-ben, ill. 1913-ban írtak ki a brnói Nemzeti Színház megépítésére. Főként az első pályázaton nyújtottak be kimagaslóan jó tervrajzokat, így pl. a prágai Pável Janák, Bohumil Hübschmann, Jaroslav Vondrák, Josef Gočar és Vlatislav Hofman, a brnói Emil Králik, melyekben a cseh építőművészet atmoszférájában jelenlevő s ez idő tájt kulmináló modern racionalista, valamint a bontakozó kubista irányzat hatása érződött,[16] de ezt a zsüri értékelni nem tudta. A brnói építészek alkotótevékenysége 1900 és 1914 között — az említett pozitív eredmények ellenére — még korántsem jelezte a két világháború között beköszöntő virágkort. Önálló építészeti fejlődésről a várossal kapcsolatban nem beszélhetünk; a legjobb műveket nem idevalósi építészek alkották, ha-

[15] Palackého utca 65.
[16] Styl, Prága 3/1911. évf. 30—52.



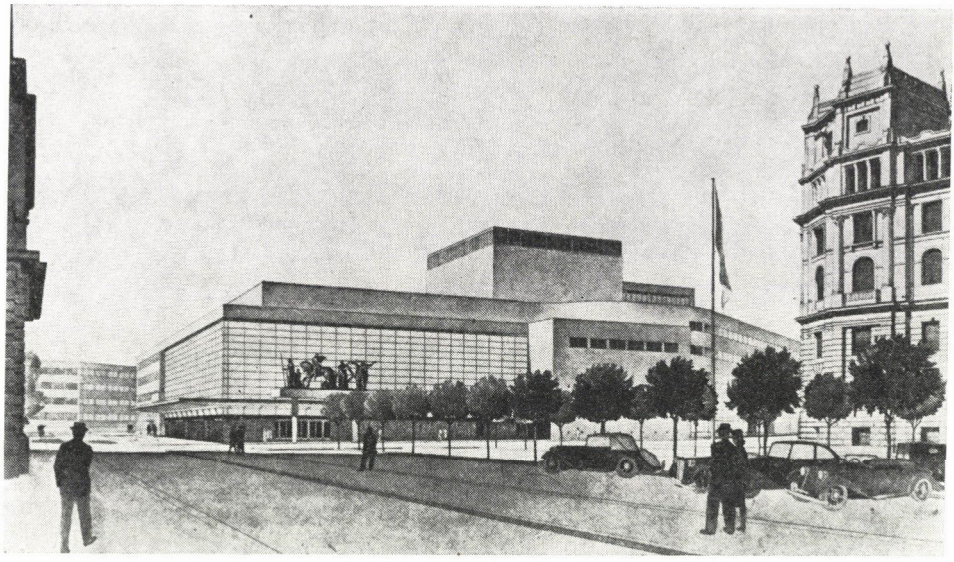
5. kép. Lubomir és Čestmir Šlapeta: Pályázati terv a Német Színházhoz. Brno. Megvásárolták 1935-ben



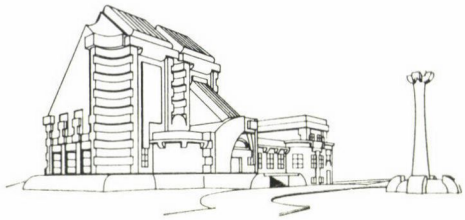
6. kép. Bohuslav Fuchs: Háromlakásos családi ház. A Cseh Szakszövetség „Az új ház 1928"-as kiállításán



7. kép. Oscar Pořiska: Convalaria Kávéház. Brno, Česká 19. 1937.



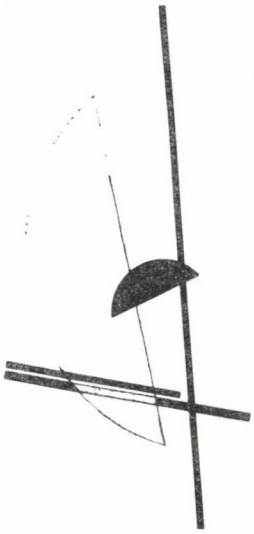
8. kép. Jan Višek: A Cseh Színház végleges terve. Brno, 1937—1940



9. kép. Josef Štepanek: Pályázati terv a „Művészet Házá"-hoz. Brno, 1921



10. kép. Jan Višek: Dr Silhan Szanatórium. Brno, Veveří 135. 1932—1935



künstlerhaus, brno, kobližná 41 od 1. do 16. června 1935

výstava

l. moholy-nagy

oleje na plátně, aluminiu, silberitu, galalitu, neolitu, trolitu, celuloidu, akvarely, kresby, obrazy montované, fotomontáže - fotoplastiky, fotogramy, fotografie, snímky divadelních scén a výstav, práce typografické a mnohé jiné

vernisáž v sobotu 1. června o 17.30 hodině . úvodní slovo proniluví **dr. bedřich václavek**

u příležitosti výstavy uspořádána jest v pátek dne 7. června o 21. nodině v kinu »lucerna« v brně-žabovřeskách projekce experimentálních filmů profesora l. moholy-nagy

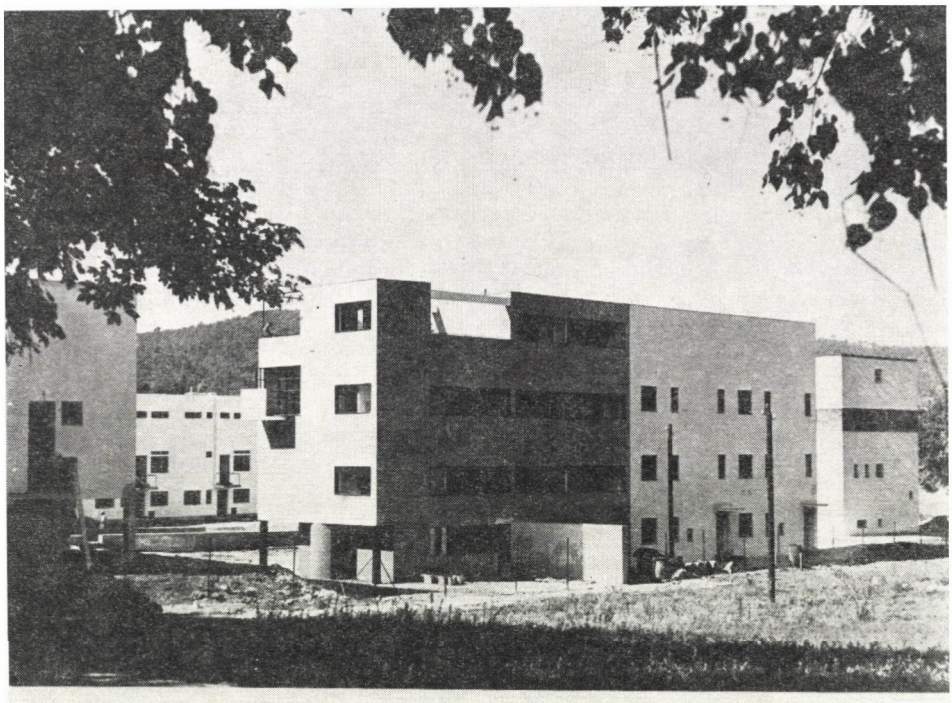
marseille . světelná hra černá-bílá-šedá . cikáni ve velkoměstě . znějící abeceda

úvodní přednáška: **fr. kalivoda**

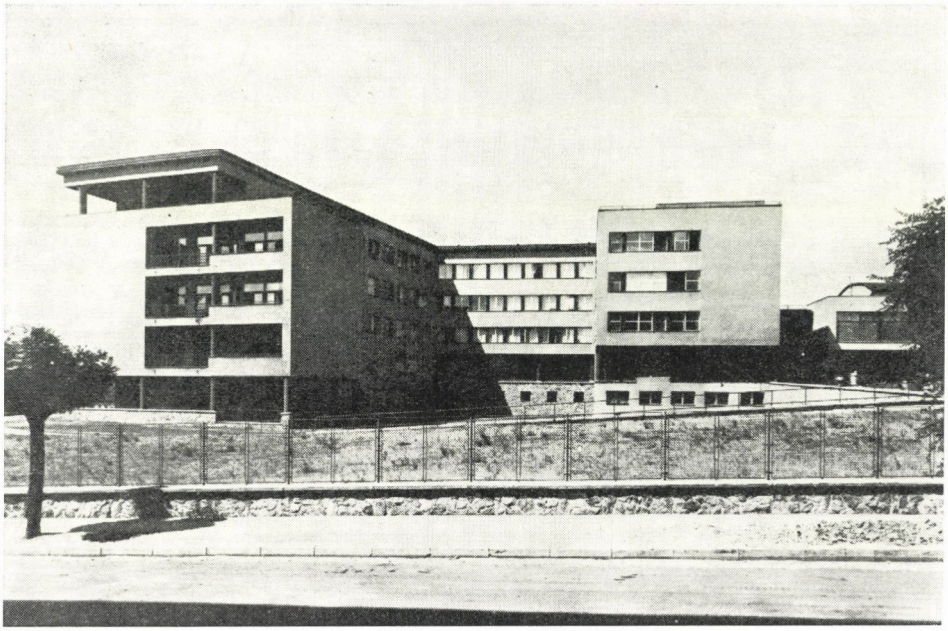
instalace výstavy: architekt fr. kalivoda

štočky zapůjčil mezinárodní časopis pro optickou kulturu »telehor«, brno, plotní 37 vytiskla »typlas«, brno, cejl 21

11. kép. Meghívó Moholy-Nagy kiállítására, 1935.



12. kép. Szakszövetségi ház. Brno, „Új ház 1928"



13. kép. Bedřich Rozehnal: Gyermekklinika. Brno-Cernopolni 9. 1947—1953

nem rendszerint bécsi vagy prágai mesterek. A brnói éptészek tevékenységének súlypontja — mint pl. Dušan Jurkovičé és Emil Králiké — a városon kívülre helyeződött.[17] Annak a fejlődésnek, mely Brno építészetében az első világháború után majd lejátszódik, egyetlen jelzése volt csupán a cukorgyár igazgatója, Dr. Bauer részére 1917—1918 közt épült villa Hrušovanyban (Rohrbach), mely pár kilométerrel a város határán kívül állt. A brnói születésű Adolf Loos ebben fejezte ki építészeti felfogását a teraszházról éppúgy, mint előtte a Scheu-ház esetében Wien-Hietzingben.

A városi élet gyors fellendülése, Brno politikai, gazdasági és kulturális jelentőségének növekedése, mely oly mélyen rárótta jegyeit a város építészeti arculatára, csupán az Osztrák—Magyar Monarchia széthullása és 1918. október 8-a, a Csehszlovák Köztársaság kikiáltása után vált lehetővé. Azok a fiatal, morva származású építészek, akik Prágában vagy Bécsben tanultak, megérezték azt az óriási lehetőséget, amelyet számukra Morvaország fővárosa nyújtott s ezt ki is aknázták.

II. AZ ÉRLELŐDÉS KORA

Az első világháború utáni politikai fordulat, valamint az a körülmény, hogy Brno Morvaország fővárosa lett, számos olyan adminisztratív döntéshez vezetett, melyeknek célja az volt, hogy a város helyzetét a Köztársaságon belül

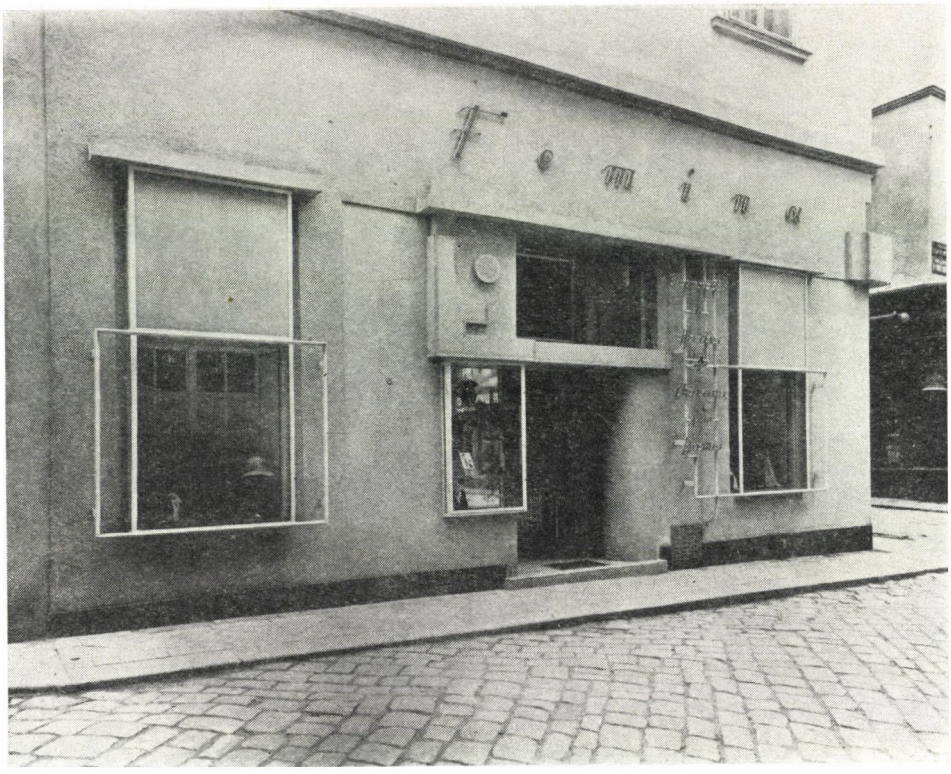
[17] Dušan Jurkovičnél főként Luhačovicében, Emil Králiknál Prostějovban.



14. kép. Bohuslav Fuchs: T. G. Masaryk Diákotthon, Brno Cihlářská 21. 1928—1930

megerősítse. Ezek a döntések eredményezték azt, hogy Brno — korábban „Bécs elővárosa" — az új állam nagyságrendben második városává és földrajzi középpontjává növekedett. Már 1919-ben két felsőoktatási intézményt alapítottak meg Brnóban: az Egyetemet és a Műszaki Főiskolát. A Legfelsőbb Bíróság székhelye is Brnóban volt s a város kedvező földrajzi fekvése miatt kísérletek történtek arra, hogy Brnót tegyék a Köztársaság fővárosává. Ezek a tények a város urbanisztikai képének alakulására is rányomták bélyegüket. Még 1922-ben 22 községet csatoltak a városhoz, melynek területe ennek következtében 12 380 hektárra — azaz a korábbi hétszeresére — növekedett. Josef Peňáz kidolgozta Nagy-Brno első városrendezési tervét. A Műszaki Főiskolán rövidesen építészeti tanszéket nyitottak, amelynek élére — teljes joggal — Emil Králikot állították. 1920 januárjában Jindřich Kumpost lett a város első főépítésze, az ő tervei szerint alakították ki az új lakótelepeket, kiváltképp Královo Polén (Königsfeld) a mai Lenin út és a Jirašek-negyed környékén, mely az első időkben egyetemi negyedként, később pedig kertváros („garden city") gyanánt szolgált közalkalmazottak számára s amelynek kivitelezéséhez a tervek elkészülte után azonnal hozzáláttak.

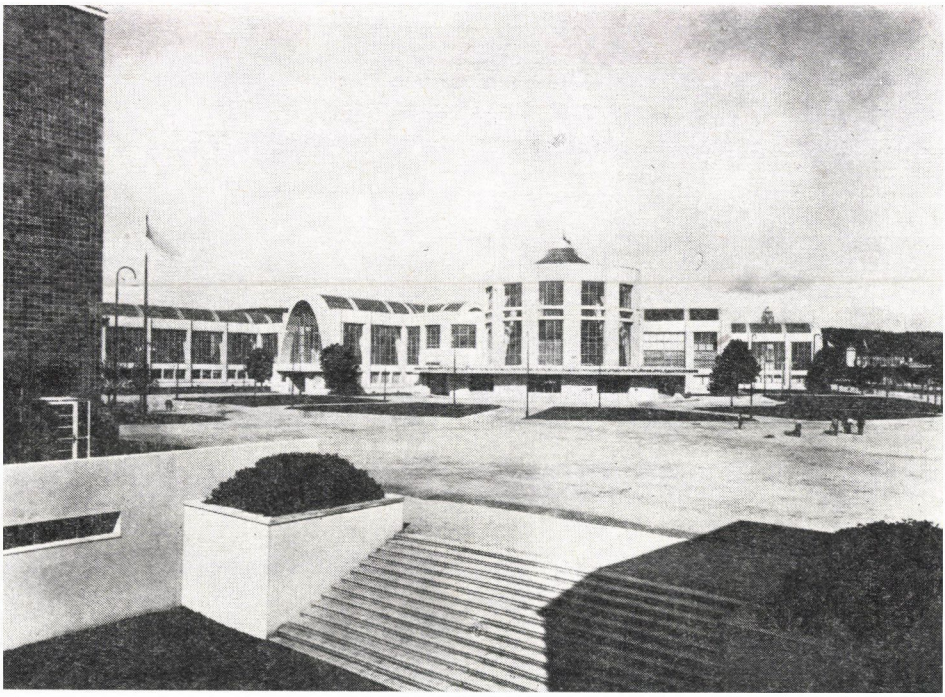
Ilyen körülmények között érkeztek Brnóba azok a fiatal építészek, akik Prágában vagy Bécsben tanultak. Bár építészeti tapasztalataik meglehetősen különbözőek voltak — a prágai végzősöknek az előttük járó Gočar és Janák nyomdokain haladó nemzedék kubista — s a háború után — az ebből fejlődött nemzeti stílus örökségével, a bécsieknek pedig a bécsi építészet monu-



15. kép. Jaroslav Grunt: a Femija üzlet. Brno, Česká utca 1924

mentalizmusával és tradicionalizmusával kellett szakítania.[18] Mindkét csoportnak azonban azonos volt a modern, wagneriánus építészeti felfogás iránti tisztelete. Ez abból állt, hogy azokat az elveket, amelyeket Wagner fektetett le, ahogy ő fogalmazott: „az új céloknak új konstrukciót és ezáltal új formákat kell megteremtenie" — s a továbbiakban: „meg kell határoznia a tiszta igazságra való törekvést", a konstrukció „világos, egyértelmű és könnyen értelmezhető karakterét", valamint a „cél lehető legjobb szolgálatát", — tekintették az építészet vezéreszméinek.[19] Ezek az alapelvek nyertek kifejezést Wagner prágai tanítványai közül Jan Kotěra és iskolájának műveiben, Bécsben a Wagner-iskola hagyományainak folytatását épp Adolf Loos alkotásaiban jelölhetjük meg, ő szabadította meg végleg a modern építészeti alkotásokat a díszítőelemek ballasztjától. Az alapvető építészeti program jelzett pontjain kívül, mindkét csoport tagjai, akikből a két világháború között az első építészgeneráció toborzódott, más jellegzetes stíluselemeket is átvettek: Bécsből származott a sajátságos „modern tradicionalizmus", vagyis az a tisztelet, mely egy időben fordult a múlt hagyományai s az új építészet vívmányai

[18] *Francis Burkhardt—Milena Lamarová:* Architectura et interni del Cubismi cecoslovacco. Electa, Milano, 1982.
[19] *Otto Wagner:* Moderni architektura (Modern Építészet). Prága, 1910. 45.



16. kép. Josef Kalous—Jaroslav Valenta: Az Ipar Palotája a kortárs-művészet kiállításán. Brno, Vásártelep 1924—1928

felé s melyet egyszersmind a részletek megformálásánál a nemes anyagok kedvelése jellemzett. Prága ezzel ellentétben, a saját — akkoriban — demokratikus kultúrklímája révén az internacionalizmus szellemét közvetítette, nevezetesen: a másfajta avantgard-irányzatokkal való kapcsolatokat; pontosabban- a német „új tárgyilagosságot", a németalföldi De Stilj, a párizsi Le Corbusier purizmusának és a szovjet konstruktivizmusnak hatásait. Ez volt az altalaja annak a fejlődésnek, amelyből a brnói építészeti avantgard gondolatai tápot nyertek s amely igen rövid idő alatt — 1919-től 1925-ig — a teljes beéréshez vezetett.

A Bécsben szerzett ismeretek vértezetében jöttek Brnóba Jindřich Kumpošt, Arnošt Wiesner és később Otto Eisler is. Prágából viszont egymásután érkeztek az ottani Műszaki Főiskola végzősei, Jaroslav Grunt és Miroslav Kopřiva, Kotěra tanítványai Jarel Kotas és Bohuslav Fuchs, később más építészek is, mint pl. Jan Višek, Josef Polašek és Oskar Pořiska. Noha a brnói építészeknek nem volt olyan elvi irányítója, mint Prágában Karel Teige, ezt a szerepet 1923 óta Bohumil Markalous író és a marxista beállítottságú irodalomkritikus, Bedřich Václavek töltötte be. Bedřich Václavek alapította meg František Halas költővel, Artuš Černik íróval és másokkal az avantgard jellegű Devětsil Csoport brnói ágazatát[20] és „Pásmo" című folyóiratát (1924—

[20] *Jiři Hek:* Z dokumentú a korespondence brněnskeho Devetsilu (A brnói Děvětsil-csoport dokumentumaiból és levelezéséből.) Literarni Archivum, Annual of the Museum of Czeh Literature, Prága, 2/1967. évf. 176—215.



17. kép. Emil Králik: Kávéház és színház a kortárs-művészet kiállításán. Brno, Vásártelep



18. kép. Josef Gočar: Jarušek-ház. Brno, Palackého 65. 1909—1910



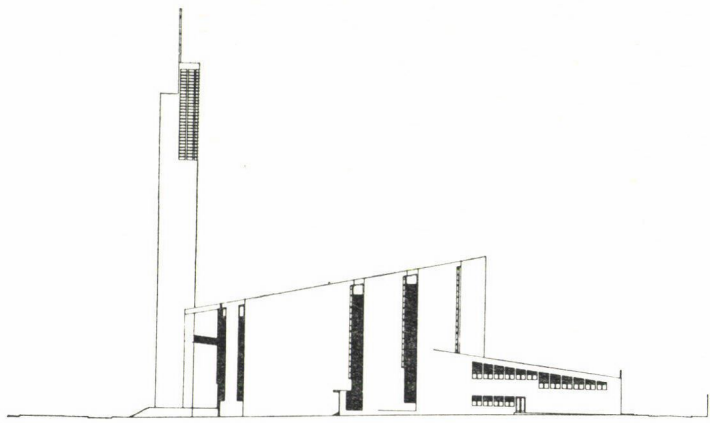
19. kép. Dušan Jurkovič saját háza. Brno, Nečasova 3. 1906

1926), előadásokat szervezett a nemzetközi avantgard vezető személyiségei — többek között — Karel Teige, Jaromír Krejcar, Theo von Doesburg és Moholy Nagy László részvételével. Bohumil Markalous és Jan Vanek, az UP-Bútorház igazgatói megpróbálták a funkcionalista formatervezést érvényre juttatni. Sikerült megnyerniük Bruno Taut, Adolf Loos, Le Corbusier, Walter Gropius, J. J. P. Oud és más modern irányvonalat képviselő építészek közreműködését.[21] 1924—1925 telén az UP-üzem a Brnói Építészeti Klub együttműködésével megszervezte a Prágában elhangzott „Egy új építészetért" című előadássorozat reprízét, amelyen J. J. P. Oud, Walter Gropius, Le Corbusier, Amédée Ozenfant, Adolf Loos s a brnói honosságú építészek közül Jan Višek adtak elő. Ez az előadássorozat csakúgy, mint a Devětsil-csoport által szervezett esti rendezvények jelentős mértékben hozzájárultak ahhoz, hogy az avantgardeszmék véglegesen érvényre jutottak (1925). Ebben az időben szakítottak a brnói építészek a kubizmus, a monumentalizmus és a modern németalföldi építőművészet örökségével.

Jindřich Kumpošt karrierje a Kerületi Betegsegélyző Épülettel kezdődött 1922-ben,[22] melynek terve még bécsi tanítómestere, Leopold Bauer monumentalizmusának szellemében fogant. Később azonban Kumpošt Celní utcai lakóépületén, a Városi Szálló épületén a Bratislava utcában és végül saját villáján is, a Jirašek-negyedben, építészeti nyelvének kifejezési skáláját a fugázott téglafalazás egyszerű hatásáig csökkentette.[23] A 20-as évek kezdetén a brnói

[21] *Zdenka Paukertová:* UP závody a bytová kultura (Az UP-Művek és a lakáskultúra.) Umeni a řemesla. Prága, 1977. évf. 3. sz. 53—58.
[22] Zahradnikova utca 2—4.
[23] Barvičova utca 15.

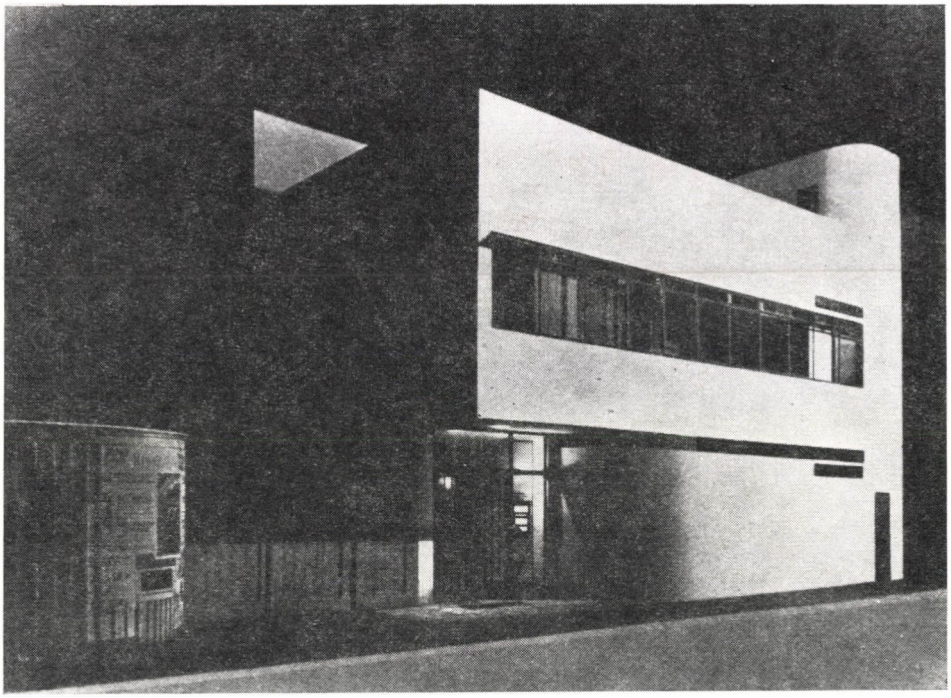
honosságú Emil Králik, Jaroslav Syriště és Jaroslav Grunt[24] tervrajzai és építményei még a prágai nemzeti stílust visszhangozzák. A felsorolt alkotók esetében azonban a „visszhang" csupán a homlokzatkiképzés dekoratív jellegén érződik; e tekintetben csak a következő nemzedék, Kotěra tanítványai hoztak új építészeti felfogást — a „belülről kifelé" elvével. Az anyag plasztikusságának ezúttal már nemcsak a homlokzat dekorativitását kellett biztosítania, hanem — és elsősorban — az épület belső rendeltetését kellett dinamikus formában kifejezésre juttatnia. Az építészeti gondolkodásban beállott változásoknak fontos dokumentuma volt a „Művészet Házá"-ra kiírt pályázati terv, amelyet 1921-ben a prágai Josef Štepanek dolgozott ki. Amikor két



20. kép. Josef Štepanek: Katolikus templom terve. Brno, Zidemice, 1929

évvel később, Jindřich Kumpošt brnói főépítész meghívására Bohuslav Fuchs Brnoba érkezett, ezt az elvet alkalmazta munkájában: egy villacsoport esetében, amely a Mahen utcában található. Az ő tevékeny, merész, szervezőképességgel is megáldott szelleme — amely képes volt új benyomások gyors felszívására — tette őt rövidesen a brnói építészet egyik vezetőegyéniségévé. Már 1923-ban feléje fordult a figyelem, mikor az új Tartományi Székház céljaira készült pályázati tervét — a dinamikusan hangsúlyozott sarokkiképzéssel — benyújtotta, hasonlóképp a Černa Pole ötletgazdag rendezési terve is sikert aratott. Fuchs több egylakásos családi házcsoportot épített fel (Maloměricében, Husovicében, a Jirašek-negyedben), melyek még Heinrich Tessenow hatását mutatják, míg végül az 1923—1925 közötti időszakban a Húspiac házának felépítésével (ahol először alkalmazott vasbeton gombafödémet), valamint a Városi Temető Ravatalozójának megalkotásával szakított a főként a fugázott téglafalazás hatására építő németalföldi stílusirányzattal. „Az ilyesmi mindig inkább úgy néz ki, mint egy csűr, nem pedig, mint egy kápolna. A födémet egy keretpárra helyeztem, szépen körülfalaztam téglával, az ablakok helyett üvegtégla-betétű réseket nyitottam, a padlóra márványt fektettem — és kész!" — írta Bohuslav Fuchs barátjának, Josef Štepaneknek erről

[24] *Emil Králik:* A Dominikánus tér rendezésének terve. Jaroslav Sýrýstě — Orel Tornatér; Jaroslav Grunt és Miloš Laml — lakóház a Dimitrov utca 63-ban.

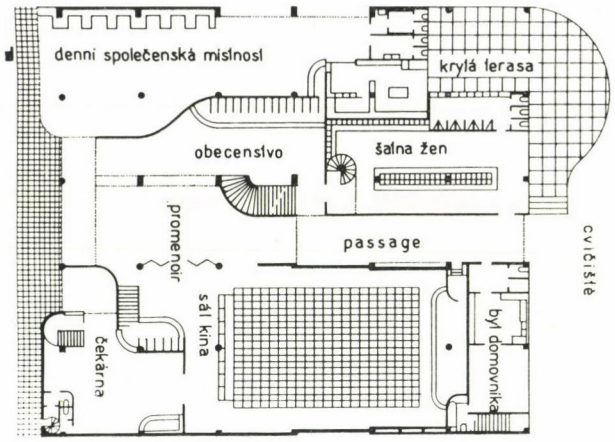


21. kép. Josef Kranz: AVIA Mozi. Brno, Nové-Černovice, 1928—1929

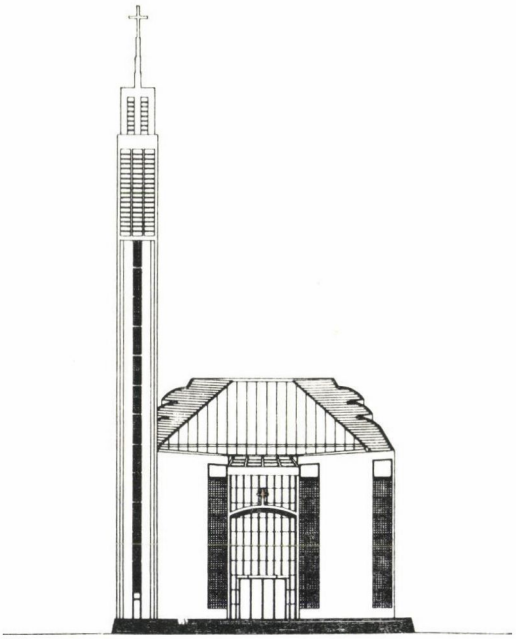
az épületről,[25] mely némely vonatkozásában az „Unity Church"-re, Frank L. Wright alkotására emlékeztet.

A 20-as évek elején Jindřich Kumpošt és Bohuslav Fuchs építőművészete gyors ütemben bontakozott ki. Az akkori idők brnói építészete harmadik vezéralakjának, Arnošt Wiesnernek alkotótevékenységére inkább a loosi „modern tradicionalizmus" normáinak állandó szem előtt tartása jellemző. Építészeti alkotásainak sorából elsőként egy faházat épített fel, a Lužánky parkban, amely némi hasonlatosságot mutat a Walter Gropius-féle Sommerfeld-villával. Ezután Wiesner az ún. „Fehér ház" tömbjét alkotta meg, a jezsuita templom szomszédságában. Ezzel a művével bebizonyította, hogy képes feladatait a nagyvárosi jelleg szellemében felfogni és arra, hogy Adolf Loos tanításait egyéni módon értelmezze. Nagyon finom érzékkel, ízléssel oldotta meg a tömb elhelyezését, az épület egyes részleteit, távlati hatását. A Mozart utcában tömör, szimmetrikus megoldáshoz folyamodott, hogy az új épület és a templom apszisa közötti térben a templomkert kapuja teljes hatásában érvényre jusson. Ezzel ellentétben a Beethoven utca felől, a templomtorony mellett a párkányzatot egy emelettel lejjebb helyeztette, hogy ne zavarja meg az utca képének összhatását. Az épületkomplexumot egy tetőkert koronázta meg, ez volt az első tetőkert Brnóban, amelyet a városban tett látogatása alkalmával Le Corbusier is megcsodált.

[25] Az 1925. augusztus 31-i levélben.



22. kép. Josef Kranz: AVIA Mozi. Brno, Nové-Černovice, 1928—1929

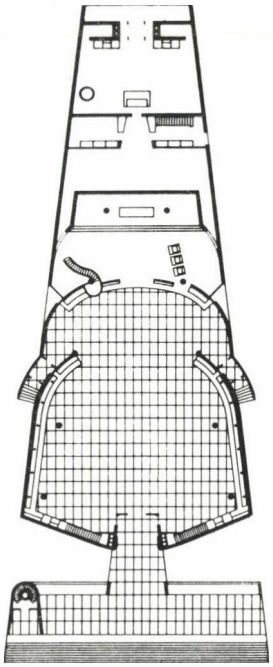


23. kép. Josef Štepanek: Katolikus templom terve. Brno, Zidemice

Későbbiekben Wiesner a Pisarkyban (Schreibfeld) álló Münz-villával demonstrálta felfogását az egylakásos teraszházakkal kapcsolatban. Első alkotóperiódusát a Brnói Krematórium győztes pályázati tervével zárta le. Az objektumot a város egyik kiemelkedő pontján, egy teraszra helyezte el, így az építmény az egész környéket uralta. A ravatalozó fehér tömbje nyugalmas hatású, vörös kerámiaburkolatú horizontális alapzatból emelkedik ki lépcső-

zetesen, üvegtető fedi és gúlában végződő travertinoszlopok fogják körül. Ezzel a geometrikus formákból építkező összhatással, mely a mezopotámiai zikkuratokéra emlékeztet, Wiesner az abszolút építészet évszázadokon átívelő problematikáját érintette s megalkotta saját műremekét.

A brnói avantgard-építészet érlelődési korszakát a fentebb említett három építész: Bohuslav Fuchs, Jindřich Kumpošt és Arnošt Wiesner — szinte szimbolikusan — kávéházak építésével zárták le. Mindezek a munkák igen



24. kép. Josef Štepanek: Katolikus templom terve. Brno, Zidemice

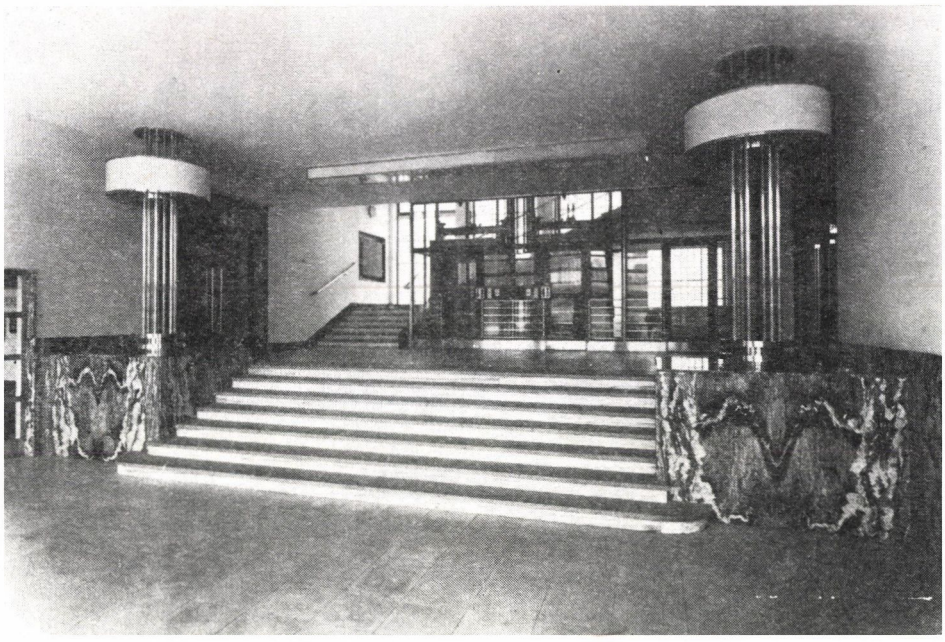
jellemzően mutatták a brnói építészet dimenzióit, melyek az avantgard szellemű radikalizmustól a hagyományok korszerű értelmezésén át a „modern tradicionalizmus"-ig terjedtek. Bohuslav Fuchs alkotótevékenységének ezt a szakaszát a Zeman Kávéház tervezésével fejezte be, a „Na Kolišti" parkban, s e művével egy bölcsen kiegyensúlyozott funkcionalizmusig, a szabad, folyamatos téralakítás gondolatáig jutott el, melyeket a későbbiekben dinamikusan továbbfejlesztett. Jindřich Kumpošt átépítette a Savoy Kávéházat, a Bohumenská utcában és ez alkalommal nagyvonalú, lépcsőzetes tértagolást alkalmazott. A mód, ahogy Kumpošt a részletek megformálásában a bécsi hagyományokhoz csatlakozva a márványt elegáns fémelemekkel kombinálta, már jelezte, hogy képes továbblépni az önálló művészi fejlődés útján. Wiesner a loosi örökség klasszikus letéteményesének bizonyult. Az Esplanade Kávéház lapos kupolával fedett, ovális alakú terme érdekes térhatást nyújtott, ezt még fokozta a tükörborítású falfelület, mely éles ellentétben állt a tapéták józan, nemes ívű rajzolatával. A három kávéház közül ma már egyik sem áll.



25. kép. Bohuslav Fuchs: az AVION Szálló. Brno, Česká 20. 1926—1928

III. AZ ELSŐ VIRÁGKOR

A 20-as évek második felére nagy építkezési konjunktúra volt jellemző. Az „Egy új építészetért" című előadássorozat, a Vaňek és Markalous által szerkesztett folyóirat, a „Bytova kultura", a Vaclavek által vezetett Devětsil-csoport munkái csakúgy, mint a vezetőépítészek alkotásai, kiváltképp B. Fuchsé, J. Kumpošté és A. Wiesneré 1925-től előkészítették a talajt az újonnan színre lépő funkcionalista építészet számára. A városfejlesztési tervek, mint pl. az Akadémiai negyed rendezése (1925), a Brno beépítésére vonatkozó pályamunkák s kiváltképp a kiállítási terület előkészítő munkálatai (1924-től) már jelezték, hogy a város politikai, gazdasági és kulturális jelentősége növekvőben van s ez a tény egyszersmind az építészek előtt is új távlatokat nyitott. Az Akadémiai negyed rendezésére vonatkozó tervek még jobbára konzervatív szellemben fogantak, a prágai építészek közül kizárólag az első díj nyertesének, Alois Dryaknak munkájából valósult meg valami, egy torzó, a jogi fakultás épülete. A város beépítésére vonatkozó győztes pályamunkát, a „Tagenta" tervezetet B. Fuchs, Josef Peňaz és František Šklenár készítette s ezen már jól kivehetők voltak azok a vezérelvek, melyeknek alapján a város rendezését — kiváltképp az újonnan építendő pályaudvarét és környékét —



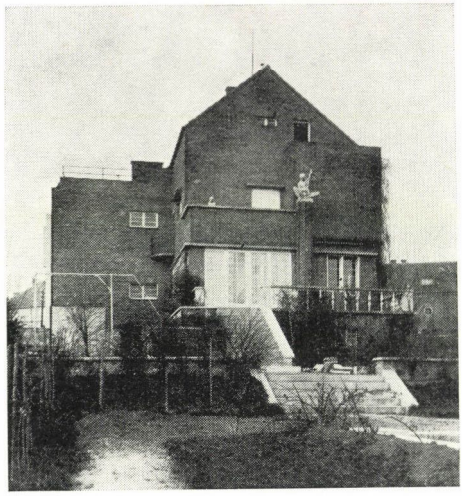
26. kép. Emil Králik: Általános Nyugdíjintézet. Brno, Burešova 20. 1930—1932



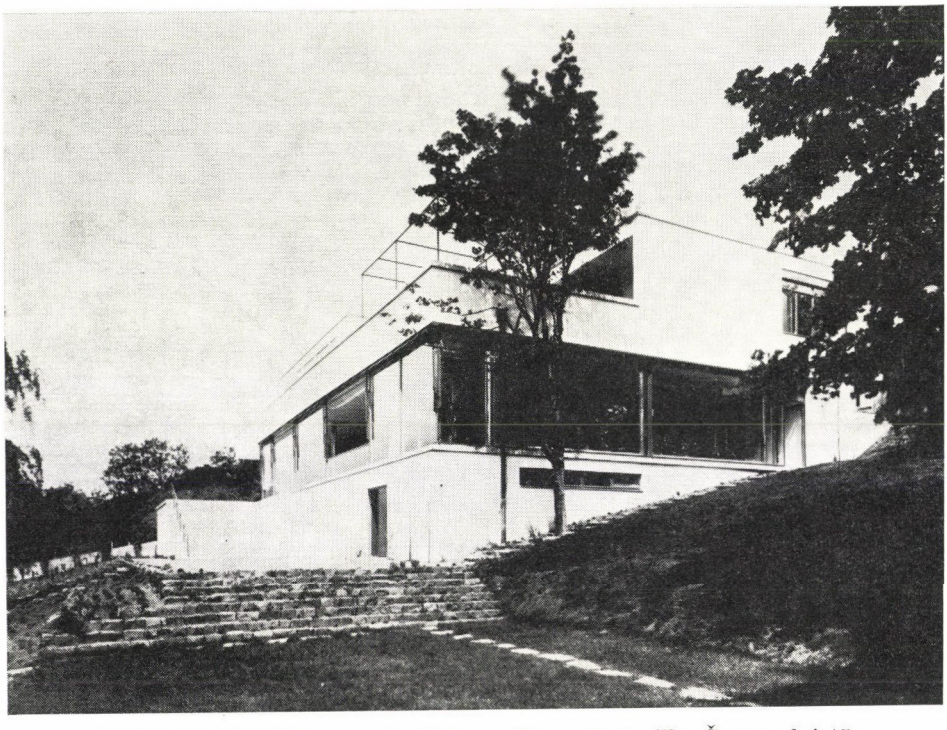
27. kép. Jiři Kroha: Villa Patočka. Brno, Kaplanova 11. 1934—1935

a tervezők elképzelték.[26] Hasonló városrendezési tervet írtak ki 1933-ban. A fenti három építésznek az a terve, hogy a belföldi gyártmányok általános kiállítását a régi Bauerrampe területére telepítsék, megvalósult s a kiállítást a Köztársaság kikiáltásának 10. évfordulóján meg is nyitották (1928).[27] Az

[26] Hroznová utca 19. 1981-ben rekonstrukció folyamán lebontották.
[27] 1925-ben. Styl, Prága, 16/1931—1932. évf. 115—116.



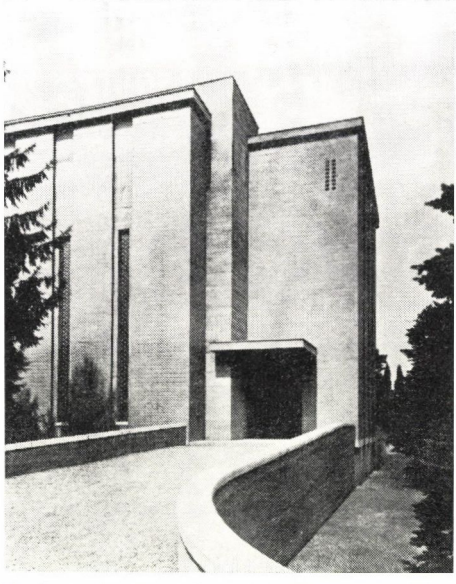
28. kép. Jindřich Kumpošt saját háza. Brno, Barvičova 15. 1923—1924



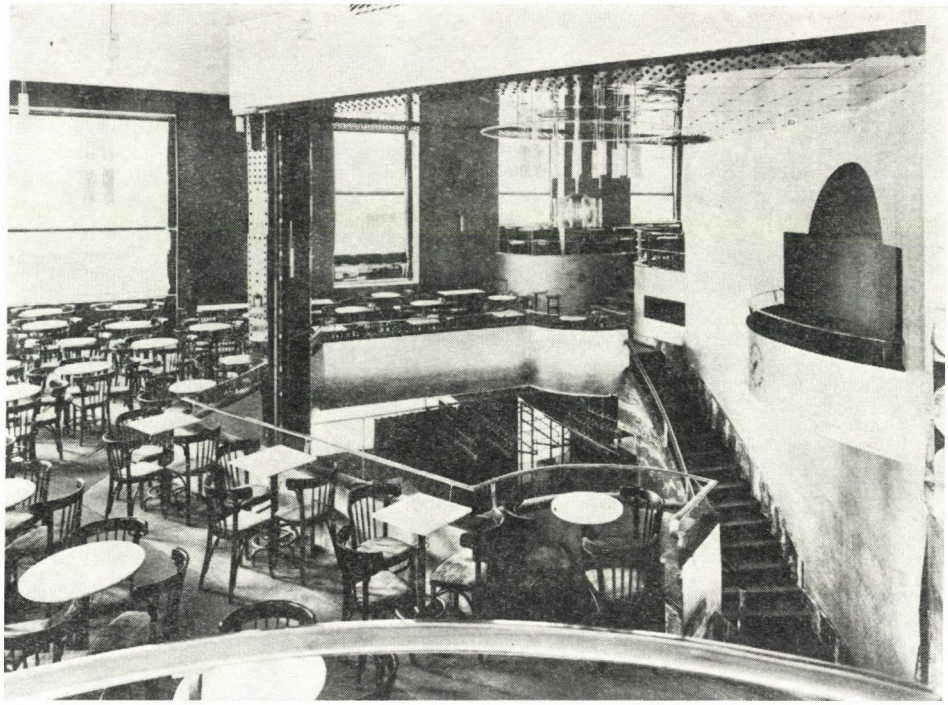
29. kép. Ludwig Mies van der Rohe: a Tugendhat-villa. Černopolni 45. Brno, 1928—1929



30. kép. Bedřich Rozehnal: PAZDERA lakó- és üzletház. Brno, Špirkova 1. 1930—1931



31. kép. Bohuslav Fuchs: A temető szertartásterme. Brno, Koněvova 128. 1925—1927



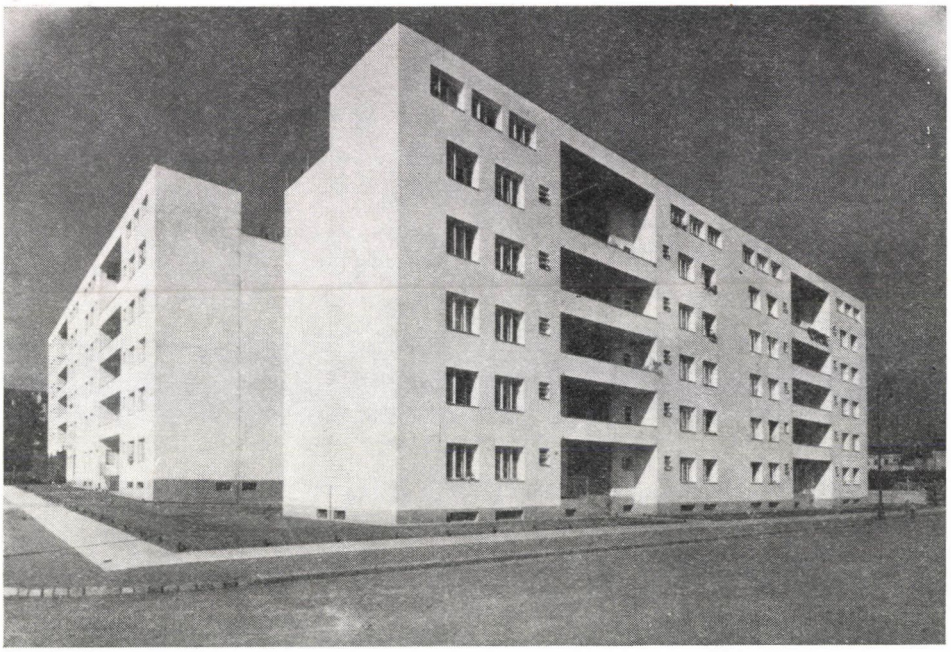
32. kép. Jindřich Kumpošt: Savoy Kávéház. Brno, Béhounské. 1926—1927

első rendezvény a kortárs-művészet kiállítása volt. Az 1924-es pályázat után, amelyet a prágai Josef Kalous nyert meg s melyen Emil Králik a második lett,[28] ez utóbbit nevezték ki a kiállítás vezető építészének,[29] a Főpavilon felépítését pedig, amelyet akkoriban a Kereskedelem és Ipar Palotájának hívtak (ma A pavilon) Josef Kalousra és Jaroslav Valente konstruktőrre bízták. Az alkotóknak sikerült itt a parabolikus íveken nyugvó vasbeton szerkezetű épülettel, az egész kiállítást uraló tömböt létrehozniuk. A többi pavilon tervét egyrészt a prágai iskola legjelesebb képviselői készítették el (Jaroslav Gočar a Képzőművészetek Csarnokát, Pável Janák az Iparművészeti Iskoláét, Kamil Roskot Prága Városának Pavilonját), másrészt brnói építészek (Jiři Kroha az „Ember és fajtája", Bohumir Čermák a Kereskedelem és Ipar Csarnokáét). Jan E. Koula teljes joggal nevezte tehát a kortárs-művészet kiállítását a „modern cseh építészet mérföldkövének" egyszersmind „díszparádéjának".[30] A kiállítási csarnokok mellett két lakóházat is felépítettek, melyeknek az volt a célja, hogy bemutassa a modern lakberendezésről vallott felfogásokat. A lakóházak közül az egyiket, egy bérházat, Josef Havliček tervezte szá-

[28] Stavitel, Prága 9/1928. évf. 127—129.

[29] *Iloš Crhonek:* Brněnske výstaviyště. Vystabva areálu 1928—1968. (A brnói kiállítás. A terület felépítése [1928—1968].) Prága, 1940. 82.

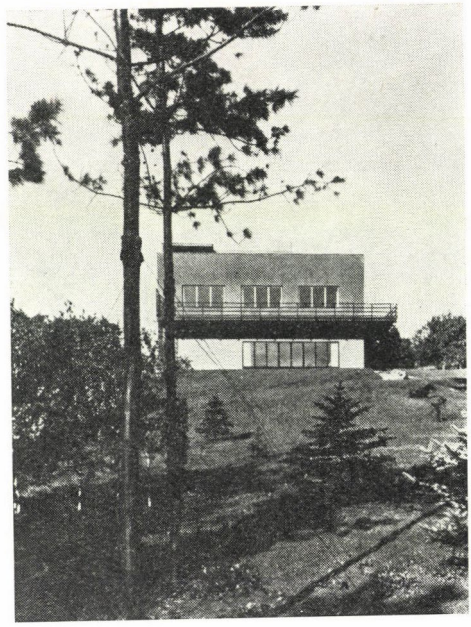
[30] *J. E. Koula:* Nová česka architektura a její výboj ve XX. století (Az új cseh építészet és fejlődése a XX. sz.-ban.) Prága, 1940. 82.



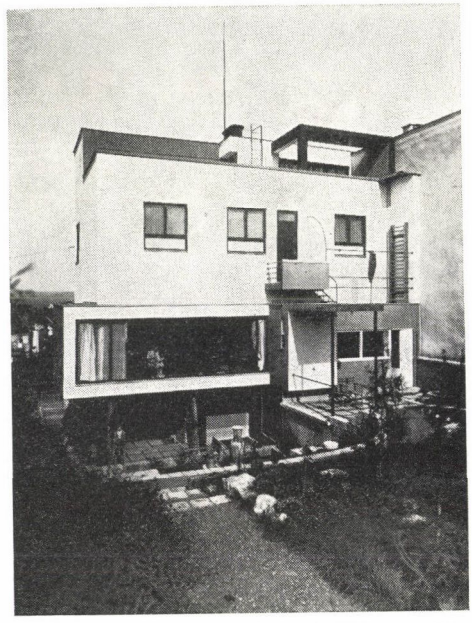
33. kép. Josef Polašek: Szövetkezeti kislakások. Brno, Vranovské 22—28. 1928

mos városrendezési tervvel együtt s itt a Cseh Werkbund szervezésében több cseh vezetőépítész lakberendezési tervét mutatták be. A másik egy Oldřich Stary által tervezett egylakásos családi ház volt, amelyet a közepes méretű, teraszos épületek prototípusának szántak.

František Iherka és Čenak Ruller brnói magánvállalkozók kezdeményezésére a hivatalos kiállítás mellett, a Cseh Werkbund védelme alatt „A modern ház 1928" elnevezéssel egy másik kiállítást is rendeztek, amely a stuttgarti Weissenhof halvány tükörképe volt. Ez utóbbi kiállításon számos új neves építész vett részt, így pl. B. Fuchs, J. Grunt, J. Kroha, Hugo Foltyn, M. Putna, J. Višek, J. Syriště és A. Wiesner Brnóból, valamint J. Štěpánek Prágából. Az olcsó, egylakásos családiház prototípusát itt J. Grunt, J. Višek és B. Fuchs sorházai képviselték. Grunt és Višek a lépcsőházat átlós irányban helyezte az elrendezésbe s ezáltal viszonylag sok síkfelületet nyertek. Tudatosan figyelmen kívül hagyták a ház külső megjelenését, s csupán néhány típus ablakformát használtak. Velük ellentétben B. Fuchs egy egykarú lépcsővel hosszában tagolta az épületet s így sikerült a belső terek előnyös mélységét megadnia. Fuchs a házsor első épületén rizalitot kapcsolt az épülethez, dolgozószobával és garázzsal, mely által nemcsak a házcsoport elegáns homlokfalát sikerült felfrissítenie, hanem a városrendezési szempontból is érdekes, markáns sarokkiképzéssel a kiállítás bejáratának is sajátos hangsúlyt adott. Arnošt Wiesnert és Miroslav Putnát az „irodával kapcsolt lakóház" típusának kidolgozása foglalkoztatta. Fuchs berlini típusával szemben Wiesner itt újra a loosi hagyományokhoz kapcsolódott, s a már bevált térelrendezést alkalmazta, központosan elhelyezett kétkarú lépcsővel, és egy az épület



34. kép. Otto Eisler: Lakóház két fivér számára. Brno, Neumannová 10. 1930.



35. kép. Jiři Kroha saját háza. Brno, Sedlákova 75. 1928—1930



36. kép. Vladimir Karfík: a BAŤA Áruház. Brno, Gagarinova. 1930

egész hosszán végigfutó, átlósan átszellőztetett lakótérrel. Miroslav Putna első műve tiszta szerkezetű terv volt, amely a használhatóság szempontjából elég sok lehetőséget biztosított. A szomszédépülettel, a szintén debütáló Hugo Foltyn Le Corbusier stuttgarti maisonette-jének egyik variánsát próbálta megvalósítani, de az épület néhány részletmegoldása problémákat vet fel. Az egylakásos családi házak közül Jiři Kroha munkája emelkedik ki, bár költségei magasra rúgtak, kényelmes és építészeti szempontból sikerült alkotás volt. Bár „Az új ház" kiállítás a rendezők számára anyagi szempontból csődöt jelentett, mégis ez az úttörő jellegű vállalkozás nyitotta meg az utat a funkcionalista családi házak tervezéséhez. Prágában hasonló kiállításra csak négy évvel később került sor, s a szervezők lényegesen kevesebb művészi bátorságról és elvi következetességről tettek tanúbizonyságot.[28]

Az építkezési kedv nem csupán a kortárs-művészet kiállításán nyilvánult meg, hanem más területeken is. Igen gyors ütemben fejlődött az iskolaépítés, és intenzívebbé vált a szociális lakásépítés, valamint a középület és üdülőépítés. Hála a Városépítési Hivatal haladó gondolkodású munkatársainak (J. Kumpoštnak, B. Fuchsnak, J. Polášeknek, O. Poliškának) s a jó politikai érzékkel rendelkező közigazgatásnak (J. Gruntnak) csaknem minden esetben sikerült haladó szellemű megoldásokat találni. Vezető szerepet töltött be Bohuslav Fuchs és Arnošt Wiesner, akikben a kivételes építészeti képesség jókora vállalkozókedvvel párosult, de szóhoz juthatott Brno minden jelentős építésze.

[31] *Vladimir Šlapeta:* A cseh Werkbund kiállítása: 1928. Brno és a Novy Dum 1932. Prága, Baba. Stadt. Hamburg. 1982/29. évf. 5. sz. 48—55. és 65—66.

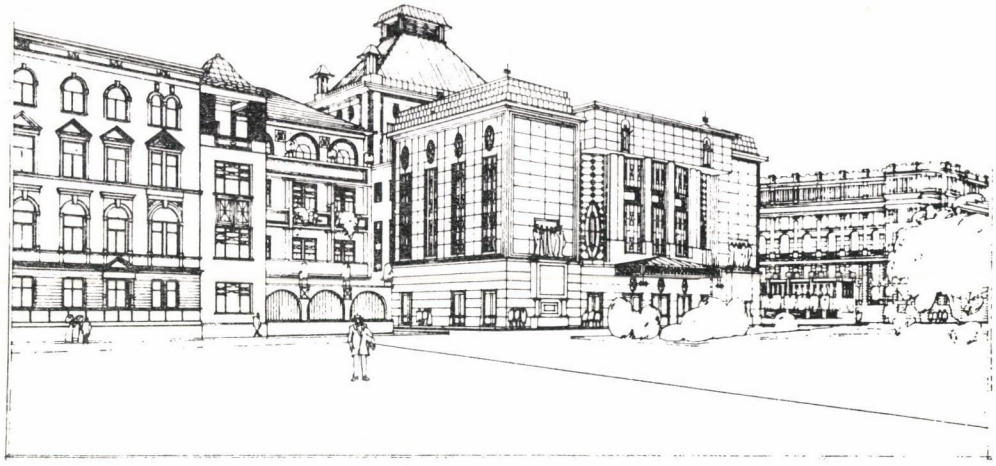


37. kép. Adolf Loos: Villa. Hrušovany (Rohrbach), Brno mellett. 1917

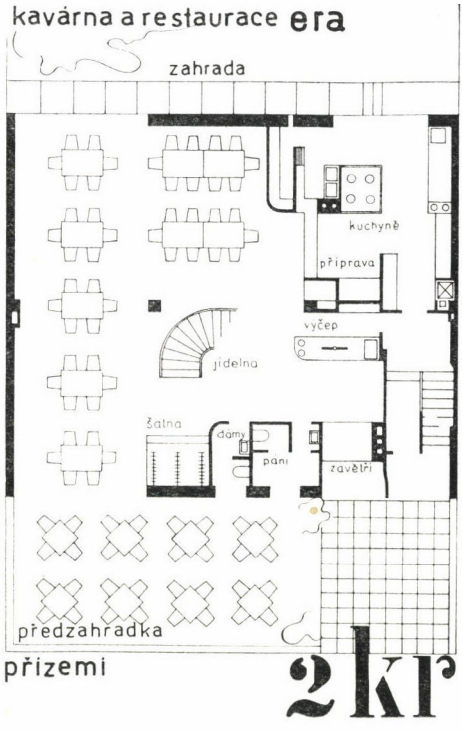
Bohuslav Fuchs 1928-ban két rendkívül fontos épületet alkotott.[32] Saját műterem villájában, a Krivi horán (Kuhberg) egészen sajátosan, elegáns corbusier-i formákkal ötvözve értelmezte a Loos-féle „térrendezés"-t. A ház kompozíciója rendkívül érdekes volt: a nappali szoba két szintet fogott át, melynek társas célokra használt részét a privát célúaktól — okosan — két lépcsőrendszer választotta el, egy egykarú lépcső a társas célokra és egy csigalépcső a család privát céljaira. A Česka utcában a Hotel Avion felépítésével Fuchs egyik legfontosabb alkotása valósult meg, példátlan tehetséggel oldotta meg az alaprajzi elrendezést, a szűk (8,35 m) és egyben szokatlanul mély (37 m) telken, a város történelmi magjának egy „foghíján". Egy komplikált lépcsőrendszerrel s a közös helyiségek bámulatra méltó egymásba-áramoltatásával, amelynek illuzionisztikus térhatását a felső és oldalvilágítás megoldása és a tükörborítású falak még csak felerősítették, egy nagyvonalú, összefüggő térrendszert alakított ki, melyben egy sor meglepő térkapcsolat és átláthatóság — az összes társasági szintet egybefoglalva — gazdagítja az épületet.

Bohuslav Fuchs építőművészetének csúcspontját a 20-as, 30-as évek fordulóján érte el több nagy épületegyüttes megoldásával. A Cihlářska utcában álló

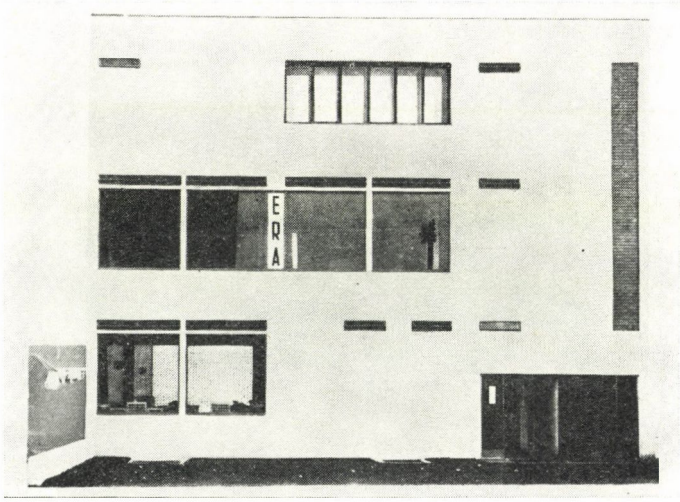
[32] Hvězdárenská utca 2.



38. kép. Emil Králik: Pályázati terv a Cseh Színházhoz. Brno, 1910



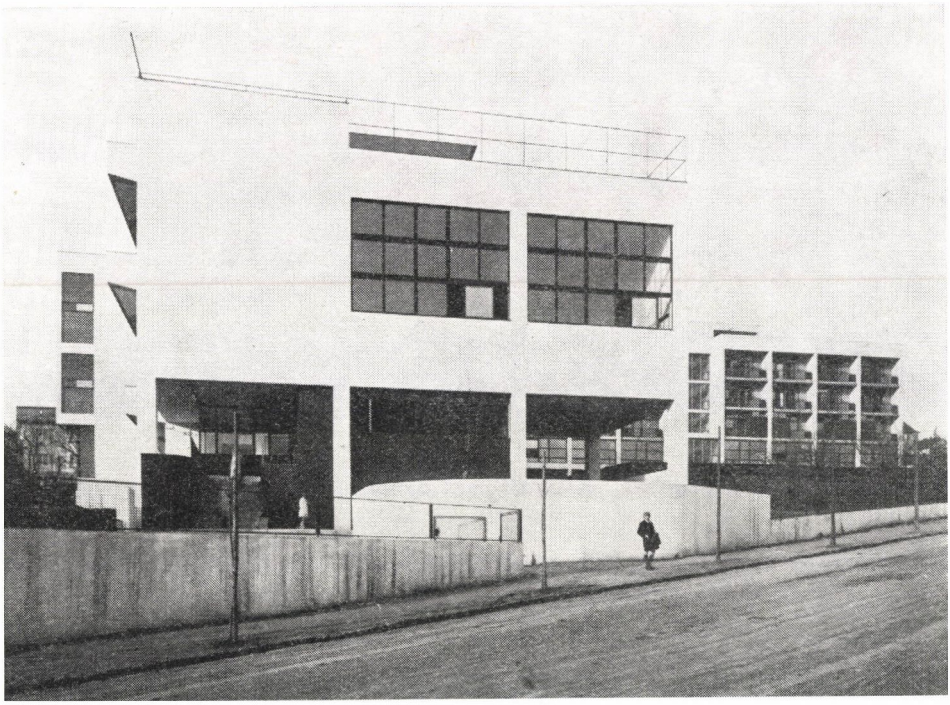
39. kép. Josef Kranz: ERA Kávéház. Brno, Zenědělskě 30. 1927—1929



40. kép. Josef Kranz: ERA Kávéház. Brno, Zenědělskě 30. 1927—1929

Masaryk Diákotthon esetében egyértelműen választotta el egymástól a két fő funkciót — az internátust és a menzát a díszteremmel — rendeltetésüket építészetileg tömören kifejezve. A VESNA-iskola (munkatársa Josef Polašek) és az „Eliška Machovká Leányotthon" épületegyüttesének megoldásakor Pisarkyban Josef Polašek érvényesítette Hollandiában szerzett ismereteit és azt javasolta, hogy a kereszttartós szerkezet felhasználásával a tantermet egy eltolható fallal kapcsolják össze a mellette levő munkateremmel. A kereszttartós szerkezet a leányotthon épületében Fuchsnak lehetőséget adott arra, hogy a homlokzat tiszta architektúráját különböző színű loggiák plasztikus sorával tegye változatosabbá. Bohuslav Fuchs a strukturalista felfogás szellemében alkotta meg az obrowitzi (zábrdovicei) városi fürdőt, melyet a nyerstéglával kitöltött vasbeton vázszerkezet jellemez. Bohuslav Fuchs alkotóművészetének csúcspontján Arnošt Wiesnerrel együtt alkotta meg a Szabadság téren álló Morva Bank épületét. Ez az épület a város történelmi központjában, részint üvegburkolatával, valamint a Wiesnerre jellemző belső térkiképzésével, radikális megoldás. Az épület földszintjén nagyvárosi üzletpassage látható.

Röviddel előtte Arnošt Wiesner egymaga oldotta meg a Morava Palota első szakaszának építését, a Divadelni utcában. Az épületre a csupaszon hagyott, fugázott téglafallal kitöltött vasbeton vázszerkezet a jellemző és az épületet az utca vonalának megfelelően formálták, maximális telekkihasználással és figyelembe véve az egyes helyiségek legmegfelelőbb világítását. Ez az épület a városközpont bejáratának kifejező plasztikus hangsúlyt ad, Wiesner a Kapitol Mozival, amely a fentebb említett épület alagsorában helyezkedett el, a 20-as évek brnói építészetének egyik legelbűvölőbb középület interiőrjét alkotta meg. Pisarkyban (Schreibfeld) a Münz-villa mellé Wiesner még egy sor „loosi" szellemben fogant reprezentatív villát épített. Itt főként a tömör, kifejező formák, a tagolatlan, csupasz falfelületek hatására épített. Építészeti nyelvének skáláját sajátos formai elemekkel bővítette, jobban törekedett



41. kép. Bohuslav Fuchs—Josef Polašek: VESNA Leányiskola. Brno, Lipová 16. 1929—1930. — Háttérben az Eliška Machová Leányotthon.

a tájba illeszkedésre, a nagy homlokzati felületeket különböző színekkel tarkázta, sőt a klasszikus, palladiánus formákhoz is visszanyúlt, alkalmazta például a „Basilica di Vicenza" tetőzetét. E villák kertjeinek építészeti megoldása Otto Eislertől származik s nem csupán a kertészeti megoldások eredetiségével, hanem a virágok és fák szokatlan kombinációjával is kitűnnek. Eisler saját építészeti tevékenysége is rokon vonásokat mutatott Wiesnerével. Eisler Bécsben, valamint Gropius weimari műtermében szerzett tapasztalatai alapján sajátos stílust alakított ki, melyet az anyagban rejlő kifejezőerő bőséges kihasználása s a higgadt, kiegyensúlyozott építészeti koncepció jellemzett. Eisler stílusának jellemző vonásai egyben Eisler emberi és művészi tisztességéről is tanúbizonyságot tesznek. A Jirašek-negyedben álló apartmanház esetében is sikerült egyetlen ablakformával igen hatásos homlokzatot kialakítania.

Ez idő tájt igen gyors ütemben bontakozott ki a város, ill. az építőszövetkezetek által finanszírozott kislakás-építészet is. A régi „tömbös" építkezési formát a nyitott sávház rendszer váltotta fel. Jindřich Kumpošt a Jirášek-negyedben a Vaněk tér beépítését íves lakóépülettel zárta le s a Blahobyt és Stavog nevű építőszövetkezeteknek azt javasolta, hogy a Táborhegyet szalagházakkal építsék be. Az épületek egyes szekcióit vízszintes ablaksávok kapcsolják össze, melyeket középen beépített loggiák szakítanak meg. Josef Polašek városi lakóházakat tervezett. A Vranovská utcai tömb esetében első

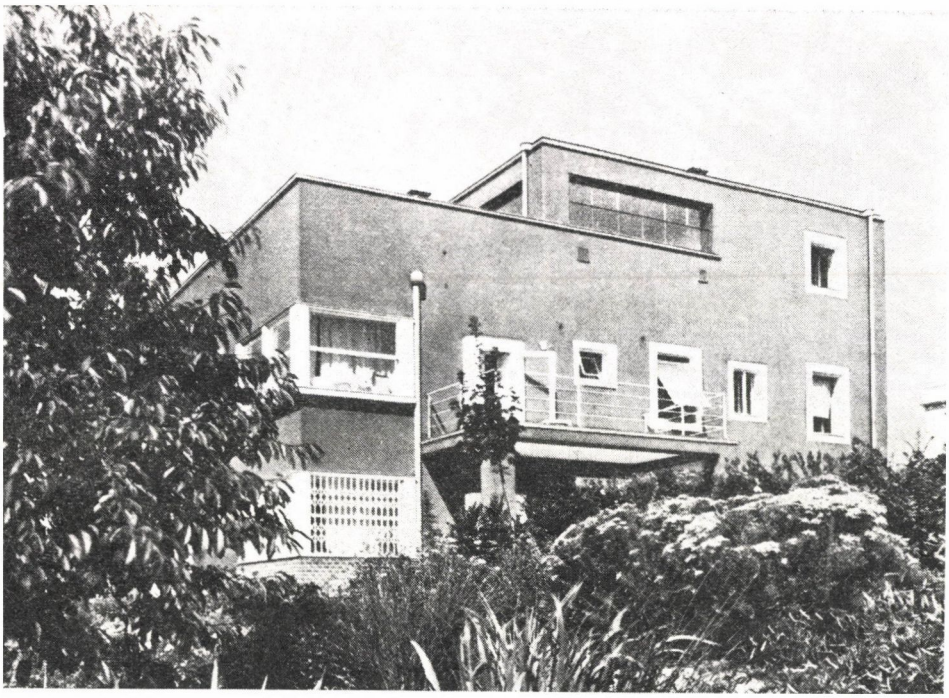


42. kép. Jindřich Kumpošt: a „Stavog" és a „Blihobyt" építőtársaságok lakóházai. Brno, Tabor 28—34. 1928—1930

ízben szakítottak a zárt formával. Polašek építőművészetét a nagyvonalú, üvegtáblás lépcsőházak, valamint a horizontális erkélysor jellemzik. Polašek Kralovo Polen (Königsberg) egy másik épületkomplexumot is alkotott. Az enyhén ereszkedő terepen a lakóházak sora egy merőleges telepítésű, egyszintes üzletsorban végződik, amely egyszersmind a főutca (a mai Mosevská utca) lezárása is.

Ugyanekkor Brno építészeti életében egy új, jelentős személyiség is feltűnik, Jan Višek. A „schinkeli" hagyományokból, valamint Adolf Loos örökségétől ihletetten a dekoratív elemek csökkentésével az „új tárgyilagosság" egy egészen sajátos válfaját sikerült kialakítania. Az új építészeti felfogás már Jan Višek első brnói épületére, a Jirašek-negyedben álló családiházra is rányomta bélyegét, az épület formáját és alaprajzát rendkívüli gazdaságosság jellemzi; még inkább látszik ez a Csehszlovák Egyház Husz-Társaságának épületén, a Botanická utcában, melyet az épület tömegének tömör, aszimmetrikus kompozíciója jellemez.

A brnói Építészeti Iskola megalapítójának, Emil Králiknak munkássága a Dohányjövedék, az Erőmű, valamint az Általános Nyugdíjintézet megalkotásával érte el csúcspontját. Az utóbbi épület, mely a maga nyugodt stílusával a Fuchs által épített Masaryk Diákotthonnal ellentétben a teret méltóságteljesen lezárja, az előcsarnok érdekes megformálásával hívja fel magára a figyelmet, amelyet nemes anyagokból készült elegáns részletek díszítenek.



43. kép. Arnošt Wiesner: Neumark-villa. Brno-Pisárky. 1928—1929

A brnói Építészeti Iskola új professzora, Jiři Kroha is rövidesen a gyakorlatban bizonyítja saját villájának felépítésével építészeti elgondolásait. Az épület a Sedlak utcában áll, az építőanyagok dinamikus feszültsége s a színeknek különös, feltűnő ötvözése jellemzi.

A 20-as évek végén, a 30-as évek elején tűntek fel Brno építészeti berkeiben a brnói Építészeti Iskola első végzős építészei, akik közül mindenekelőtt Josef Kranz, Mojmír Kyselka és Bedřich Rozehnal futottak be. Josef Kranz a Černa-Pole-i (Schwarzfeld) Cafe-ERA megépítésével debütált. Az egész épület enteriőrjének domináns eleme a lépcsőház. Ez szabadon épült be a térbe s az egyes szintek összekötésében játszott szerepét sajátos plaszticitás és színhatás emeli ki. Kranznak sikerült itt egy egészen sajátos, már-már misztikus hatást elérnie a teljes átvilágítással, az utca felől nagy ablakok, az udvar felől pedig üvegtéglafal tervezésével. Nagyon hatásosak voltak a részelemek is: az ablak- és ajtóprofilok esetében a tervező szinte az anyag tűrőképességének határáig ment el s épp ezáltal sikerült egy érzésekkel teli, emberi léptéket létrehoznia. A tömör és építészetileg tiszta utcai homlokzat koronázta meg Kranznak ezt a vitathatatlan remekművét. Kranz második jelentős műve, az AVIA-Mozi Nove Černovicében, mely stílusirányát tekintve a funkcionalizmus aerodinamikus ágazata felé hajlik, befejezetlen torzó maradt, mivel az építés második szakasza — egy tornaterem tervével — nem valósult meg. Moymír Kyselka főleg iskolaépítéssel foglalkozott. A Bohuslav Fuchsszal együtt alkotott Černa Polei német elemi iskola kivitelezése után, Kyselka ugyanebben a város-

negyedben építette fel 1930-ban a Műszaki Fiú- és Leányiskolát. Kyselka koncepciójának megfelelően az iskolaépület egyszerű, szimmetrikus tömbnek épült, közepén üvegfalú rizalittal, benne a tornateremmel és előadóteremmel. És végezetül: Bedřich Rozehnal is azoknak a munkáknak révén érvényesült, melyek — már a historizmus idején — a radikális, funkcionális szemlélet jegyében fogantak; elsőként a Pazdera Üzlet- és Lakóház nagyvonalú, Le Corbusier korai műveire emlékeztető tervével Tuřanyban (1930—1931), röviddel ezután az Orvosi Takarékpénztár felépítésével a „Na Kolisti" utcában, melyek a funkcionalista építészet mintapéldányaiként hatnak.[33]

A nem brnói építészek közül 1930-ban Vladimir Karfik, a Baťa cég főépítésze is beavatkozott a városszerkezet kialakításába, mikor is a Kobižna utca torkolatában (ma: Gagarin utca), exponált helyen — a színházzal szemben — felépítette a Baťa áruházat. Karfiknak ez volt az első építészeti feladata az USA-ban töltött évek után, ahol Chicagóban a Holabird and Roche cégnél és Taliesinben Frank Lloyd Wright műtermében dolgozott. A fentebb említett épülettel Karfik az elsők közt került a „curtain-wall"-lal (acél és üveg függönyfal) dolgozó építészek sorába.

A brnói építészet stílusa, melyet nem csupán fő képviselőinek egyedi vonásai jellemeztek, hanem — Jan Višek szavaival élve — „az érzelemgazdagság" is, meggátolta, hogy ezek „megkerüljék a munkásságukhoz kapcsolódó pszichikai tényezőket",[34] s ez az építészet kétségtelenül homogénebb volt, mint akkoriban a prágai, s hozzájárult széles körű külföldi kapcsolatok kifejlődéséhez. Különösen Adolf Loos hatása volt érezhető, aki a 20-as évek második felében gyakran felkereste szülővárosát, személyes kapcsolatai, valamint előadásai révén az itteni építészeti tevékenységet erőteljesen befolyásolta. A német Leberecht Migge a városi kertépítésről tartott előadásokat.[35] 1926-ban Bedřich Václávek a dessaui Bauhaust látogatta, itt barátságokat kötött, amelyeket később az avantgard gyűjteménykötet a Fronta kiadásánál kamatoztatott.[36] 1926-ban nemzetközi pályázatot írtak ki a Divadelni utcában levő Hotel Stiassny megtervezésére. E pályázaton Peter Behrens, J. P. Oud és Arnošt Wiesner vettek részt. Az épület Wiesner egy későbbi terve alapján készült el, amelyet hozzáigazítottak az épülettel kapcsolatos új funkciókhoz. 1928-ban J. J. P. Oud készített egy tervet háromlakásos családiház felépítéséhez, valószínűleg az Eisler fivérek cége számára, de sajnálatos módon kivitelezésre nem került sor.[37] Ludwig Mies van der Rohe is hozzájárult a város építészeti arculatának kialakulásához, méghozzá egy jelentős épülettel. 1928—30 között építette fel a Černa Polei kerület enyhén lejtős terepén a Tugendhat-villát, háború előtti időszakának legkiemelkedőbb művét, mely a későbbiekben az egész világ építőművészeinek zarándokhelyévé s állandó vitáinak tárgyává vált.[38] Példaként álljon itt egy idézet Philip Johnsontól, aki a villa megtekintése

[33] Sady osvobození (Felszabadulás park).

[34] Brno. Přehled historického, hospodarského, socialního a stavebniho rozvoje. (Brno. A város történelmi, gazdasági, szociális és építészeti fejlődésének áttekintése.) Brno, 1935. 110.

[35] 1935-ben.

[36] *F. Halas—V. Pruša—Z. Rossmann—B. Václávek* (Szerk.): Fronta. Mezinárodni sbornik soudobé aktivity (Fronta. A kortársi tevékenység almanachja.) Brno, 1927.

[37] Ez kiolvasható abból a levélből is, amelyet Philip Johnson írt J. J. P. Oudnak 1930. szept. 2-án.

[38] A kritikai jellegű írások sorából kiemelendő a „Hygiena bytu" (Lakáshigiénia) című cikk, amelyet Jaromir Krejcar írt. Žijeme. 1932.



44. kép. Arnošt Wiesner: MORAVA Palota. Brno, Divadelni 3. 1926—1929

után, 1930-ban a következő lelkesült szavakat írta J. J. P. Oudnak: „Szeretném elmondani Önnek, milyen benyomások alakultak ki bennem, miután a Mies által alkotott brnói villát meglátogattam. Hasonló építészeti élményben csupán a Kiefhoek-lakótelepen és a Parthenonnál, az antik építészet e remekénél részesültem. Persze, nehéz ezt szavakba foglalni, hiszen számos különféle összetevőt kell figyelembe venni; ismerni kellene a görög nyelvet és otthonossággal kellene mozogni a miesi prófétikus szellem világában is. Az

amerikai slang-et használva csak annyit mondhatok: a brnói ház prima."[39] Az építészeti felfogások végleges kikristályosodásához hozzájárult a Jiři Kroha által 1927-ben alapított és a J. B. Svrček (később Václáv Roštapil) által szerkesztett Revue Horizont című lap is, mely a Brnóban épülő modern szellemű épületekről adott tájékoztatást. Az 1920-as és 1930-as évek fordulóján a brnói avantgard építészet elérte fejlődésének csúcsát. Az első virágkort elsősorban a világgazdasági válság szakította meg, mely a 30-as években Csehszlovákiát is elérte. A válság miatt fordultak a brnói építészek is mindinkább egy másik terület felé, melynek legfontosabb problémái leginkább Jiři Krohát, Josef Polášeket, Bohuslav Fuchsot, Jindrich Kumpoštot és Ždenek Rossmant foglalkoztatták, nevezetesen: az építészet és városrendezés szociális kérdései felé.

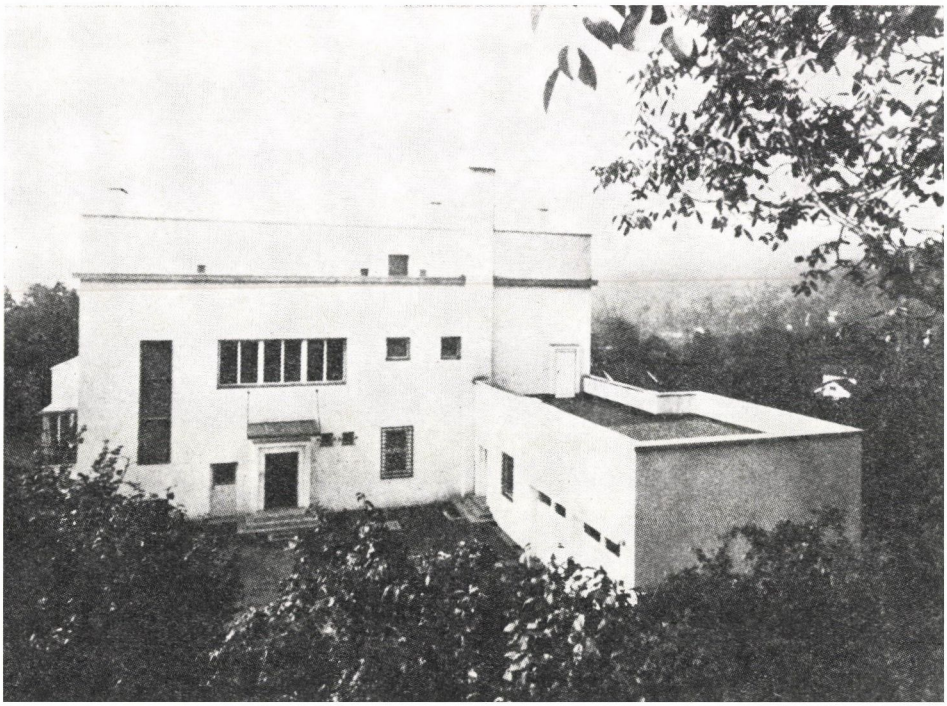
IV. A SZOCIÁLIS PROBLÉMA AZ ÉPÍTÉSZETBEN

1929-ben két olyan esemény zajlott le Brnóban, amely döntően befolyásolta a város építészetét. Bedřich Václávek, irodalmi kritikus szerkesztésében megalakult az „Index" című folyóirat, mely az első Köztársaság végéig (1938-ig) baloldali értelmiségének lapja volt s melynek szerkesztésében Jiři Mahen a költő, J. P. Fischer a filozófus, az építészek közül pedig Bohuslav Fuchs és Jan Vaněk is közreműködött. Ugyanezen év decemberében pedig megalakult a prágai Baloldali Front brnói tagozata. Az alapító tagok névsorában két építész is szerepelt, Z. Rossmann és J. Polášek. Mikor a csökkenő munkalehetőség miatt az építészek kénytelenek voltak mind szűkebb körre szorítani tevékenységüket, Jiři Kroha új programmal állt elő: „Az építész nem hagyhatja el a maga posztját. Ha nincs mit építeni, ha az építőmunka a bénító körülmények miatt beszűkül, a szünetben önmagát kell átalakítania; építészeti felfogását, világszemléletét is felül kell vizsgálnia, hogy megtisztítsa őket a reakciós eszmék maradványaitól, ezeknek hatása alól kivonja magát, új, szociális orientációjú építéstudományt kell kidolgoznia egyszerre merítve a múlt örökségéből és az imperializmus korának vívmányaiból, melyek azt az örökséget, amelyet a proletariátus vesz majd át, gazdagították; ki kell bontakoztatni a magasabb rendű, szocialista építőművészet koncepcióját . . ."[40] Az építészek e programjavaslat után egyre inkább az építészet elvi kérdései felé fordultak, kiváltképp azoknak az ösztönzéseknek engedve, amelyet a szovjet építészeti avantgardtól és a Hannes Meyer által vezetett Bauhaus szociológiai, analitikus irányzatától kaptak. Ezeknek az elveknek valóra váltásában mind a szovjet avantgard tagjaival, mind a Bauhaus-beliekkel kötött személyes kapcsolatok is közrejátszottak.[41] Karel Teige, a Bauhaus külső docense 1930 tavaszán a Baloldali Front brnói frakciója előtt megismé-

[39] Az 1930. szept. 2-án írt levélből.

[40] Index. Brno, 5/1933. évf. 82.

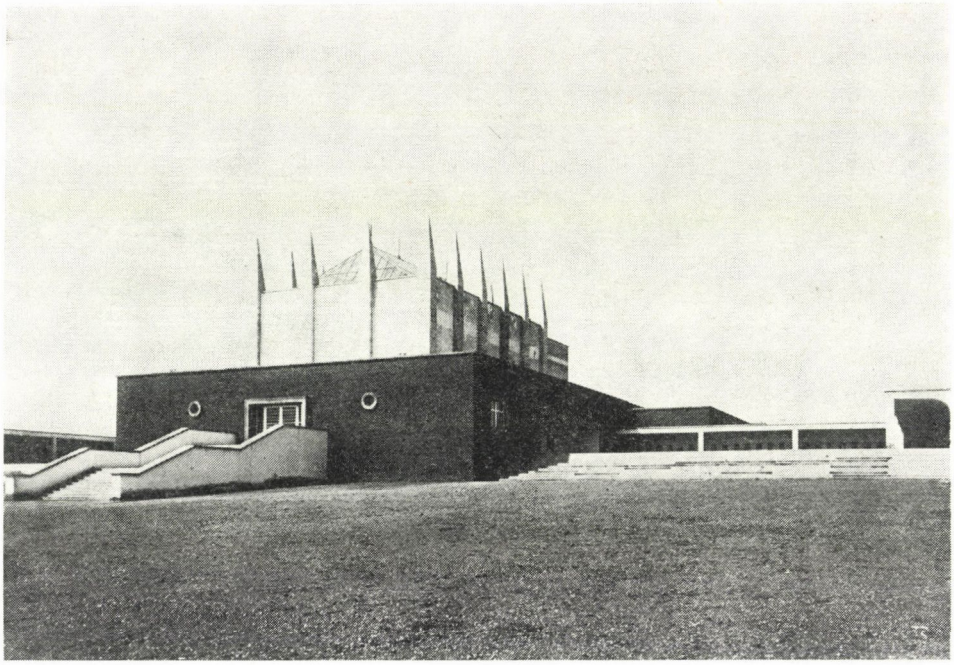
[41] *Vladimír Šlapeta:* Bauhaus a česka avantgarda. (A Bauhaus és a cseh avantgard.) Az „Uměni a řemeslá"-ból. Prága, 1977. évf. 3. sz. 29—35. A cikk bővebb változata „A Bauhaus és a cseh avantgard" címmel jelent meg a „Form und Zweck" c. folyóiratban. Berlin, 1978. évf. 36—42. Továbbiakban megjelent a „Bauhaus a česka avantgarda II." is az „Uměni a řemeslá"-ban. Prága, 1980. évf. 3. sz. 54—64. Németül „A Bauhaus befolyása a cseh építészetre" címmel, a weimari Építőművészeti és Építéstudományi főiskola tudományos folyóiratában, Weimar, 26/1979. évf. 4. füzet, 400—404.



45. kép. Arnošt Wiesner: Münz-villa. Brno-Pisárky, Hroznová 19. 1924—1926

telte az „Építészet szociológiai problémáiról" c. előadását,[42] amely később — bővített formában — a „Minimál lakás" címmel 1932-ben könyvalakban is megjelent. Hannes Meyer 1930 tavaszán, majd később 1931-ben, valamint 1935—1936-ban, miután a Szovjetunióból hazatért, Brnóban előadásokat tartott az ott szerzett tapasztalatairól. Mart Stam is gyakran ellátogatott Brnóba és 1935 nyarán előadásokat tartott a szovjet városépítészetről. Két bauhausos, Lotte Stam-Beese és Zdeněk Rossmann, Bohuslav Fuchs műtermében dolgozott. Rossmann, aki Hannes Meyernél és Mies van der Rohenál tanult, az „Index" grafikáit tervezte, s vezetője volt a Stavitel című folyóirat brnói szerkesztőségének (e folyóirat magas szintű funkcionalista grafikája neki köszönhető) egyszersmind kritikai és elvi kérdésekkel foglalkozó értekezésekkel járult hozzá az új építészeti irányzat kibontakozásához, s az 1930-as évek elején az új építészet haladó eszméinek egyik legfontosabb propagátora volt. Végezetül pedig Jiři Krohának a Szovjetunióbeli 1930-as látogatását kell megemlítenünk s azt, hogy három évvel később őt választották meg a Baloldali Frontból alakuló Szocialista Építészek Szövetségének elnökévé. Az általa tartott számos előadás, valamint publicisztikai írásai is hozzájárultak ahhoz, hogy ő vált a szovjet és szocialista építészet egyik vezető szervezőjévé. Ezért

[42] Az előadás 1930. márc. 24-én zajlott le. Bővebbet a brnói Baloldali Frontról lásd: *Jiři Hek:* Levá fronta v Brně a na Moravě v letech 1929—1935" (A baloldali front Brnóban és Morvaországban 1929-től 1935-ig). A Literárni archiv-ban. Annual of the Museum of Czech Literature, Prága, 10/1975. évf. 179—276.



46. kép. Arnošt Wiesner: Krematórium. Brno, 1925—1930

bűnhődnie is kellett — többek között — 1934-től 1937-ig megfosztották professzorátusától, sőt még háromhavi börtönre is elítélték. A szovjet avantgard építészetről bőségesen tájékoztatta a nyilvánosságot az a kiállítás, amelyet 1932 decemberétől 1933 januárig a Morava Palotában rendeztek.

Az 1930-as évek elejének ebben az ideológiai légkörében két olyan elméleti mű született, mely átlépte a regionális határokat; az egyik Jiři Kroha „A lakóház mint szociológiai sejt" c. munkája (1930—1938), a másik pedig Bohuslav Fuchs és Jindřich Kumpošt tanulmányai a brnói terület városrendezési terveiről (1933—1935). Jiři Kroha 1930-ban tanítványaival együtt hozzálátott, hogy módszeresen feldolgozza a lakásproblémával kapcsolatos szociális, gazdasági és biológiai tényezőket. A lakóteret mint az általános szociális közösségtér eredményét tárgyalta tanulmányában. A különböző társadalmi rétegek életfeltételeinek — élet-, lakás- és munkakörülményeinek — bemutatásával kíméletlenül kritikus tükröt tartott az akkori osztálytársadalom elé. Tanulmányával azt bizonyította, hogy azokat a létkörülményeket, melyek minden embernek egyformán szükségesek, a lakáshierarchia osztályok szerint szabja meg.[43] A „lakás"-nak mint a „ház szociológiai sejtjé"-nek Krohától eredő felfogását — nagy sikerrel — az 1933-ban rendezett Építészeti és Lakáskiállítás demonstrálta. A lakás Kroha egész „építéstudományi" koncepciójának alapjául szolgált s előbbi művét egy másikkal „A lakás mint gazdasági sejt"

[43] *Jiři Kroha:* Sociologicky fragment bydleni (A lakás mint szociológiai sejt). Brno, 1973.

címen folytatta, amely a családon belüli generációs feszültségekről, a kislakások változtathatóságáról szólt, — végezetül — Kroha eredményeit összességükben mutatta be „A lakás mint humanisztikus sejt" című könyve. Ez a kollektív lakóházakkal kapcsolatos térvariációkkal s azokkal a technikai újításokkal is foglalkozott, melyek pl. a műremekeknek audiovizuális szempontból való szakadatlan élvezetét teszik lehetővé. A Bohuslav Fuchs és Jindřich Kumpošt által készített városrendezési tervet, mely Brnóra vonatkozott, az 1933-ban kiírt brnói közlekedési és kommunikációs rendszer pályázata inspirálta. A pályázaton a két mester által alkotott terv nyerte el az első díjat. Fuchs és Kumpošt ökológiai, gazdasági és kommunikációs szempontból kiindulva ezt a tervet az egész országra kiterjesztette s azt javasolta, hogy mint kedvező fekvésű, természeti és gazdasági téren egyaránt fejleszthető várost, Brnót tegyék meg Csehszlovákia középpontjává. Fuchs és Kumpošt urbanisztikai szempontból úttörő művét 1935-ben kibővítették s „Az út a cseh gazdasági élet fellendítéséhez" címmel könyvalakban tették közzé. Jiři Kroha, Bohuslav Fuchs és Jindřich Kumpošt felsorolt művei — a prágai Karel Teige és Karel Honzik munkái mellett — olyan alkotásoknak tekinthetők, melyekkel a cseh szellem sajátosan járult hozzá a kor funkcionalista gondolkodásához.

Bár a gazdasági válság megbéklyózta az építkezési kedvet, mégis számos jelentős pályázatot írtak ki ez időben is. Annak a „kétlépcsős" pályázatnak, amelyet a Legfelsőbb Bíróság építésére írtak ki (1930—31-ben — először a mai Hotel International, később pedig a tervezett Akadémia téren kívánták felállíttatni) első díjas művén — szerzője Adolf Lebscher— többé-kevésbé hagyományos megoldások voltak láthatók. Két másik rendezvény azonban jelentősebb fontossággal bír. Az új Városház felépítésére kiírt pályázaton (1932-ben), melyet szintén a mai Hotel International helyére kívántak felépíttetni, Bedřich Rozehnal kimagaslóan jó, nagyvonalú tervet vetett papírra, melyen — az épületkomplexum egészét tekintve — főként a közösségi helyiségek elrendezésében vetődtek fel építészeti szempontból érdekes gondolatok. Az orvostudományi fakultás pályázatán a Kravi hora enyhén lejtős terepére monofunkciós pavilonok építését vetették fel, melyek tervét Bohuslav Fuchs, Jindřich Kumpošt, valamint a Grunt-kollektíva — Polášek, Roštapil, Rozehnal — és egy prágai építészpáros, F. M. Černy és B. Holy készítették el.

A gazdasági világválságra visszavezethető élénk elméleti és kritikai tevékenység arra is módot nyújtott, hogy megvonják a funkcionalista építészet eddigi eredményeinek mérlegét. Erre egy 1930-ban megrendezett Építészet és Lakáskiállítás adott lehetőséget, melyet a cseh építészek Kongresszusával kötöttek egybe. Ez a kiállítás a funkcionalista építészet eddigi legnagyobb seregszemléje volt, egyszersmind a teoretikus és „szociális" lakásprogramnak is. Kroha — a jelzettek ellenére — a kiállítás katalógusában szkeptikus hangot ütött meg: „Az életben, ahol emberek munka, kenyér és lakás nélkül, gondok és szociális öntudat nélkül élnek; az építészetben, ahol csak feladatok vannak, építési vállalkozók és építészek nélkül, az egész helyzet okainak ismerete nélkül; nos így fest építészetünk helyzete a mai válságban."[44] Két

[44] *Jiři Kroha:* Architektura v krizi 1933 (Építészet az 1933-as válság idején). *B. Fuchs—J. Oplt—Z. Rossmann:* Katalog vystavi stavebnictvi a bydleni (Az építészeti és lakáskiállítás katalógusa). Brno, 1933. szept. 4—8. 65—70. Német nyelven: „Építészet az 1933-as válság idején." A „Forum"-ban, Bratislava 1933/3. évf. 289—291.

évvel később mégis úgy tekintett vissza a cseh építészeknek a gazdasági válság idején kifejtett munkásságára, mint „az egyetemes építőművészet egészéhez való hozzájárulás"-ra, „melyet épp akkor fejtettek ki, amikor ennek úttörő jellegű tevékenységét a gazdasági válság, valamint a szociálpolitikai helyzet deformálták".[45]

V. A MÁSODIK VIRÁGKOR

A gazdasági élet fellendülése — az 1930-as évek derekán — még egyszer lehetőséget nyújtott a brnói építészeknek, hogy tudásukat ne csupán elméleti munkákban, hanem konkrét épületek realizálásával csillanthassák meg. Az ún. „fehér funkcionalizmus" — a 30-as év stílusa — egységes kánonját átdolgozták s az új felfogást az egyes alkotók tehetsége és adottságaik színezték át. A városban több közigazgatási épületet emeltek s ezeknek megtervezését — most már „programszerűen" — modern építészeti elveket valló mesterekre bízták. Az új épületek funkciója azonban már a háború közeledését jelezte. Bohuslav Fuchs a Tartományi Katonai Parancsnokság íves épületét (1936—1937), valamint a Pályaudvari Postát (1938) építette meg, Jindřich Kumpošt a Légierő-Laktanya nagyszabású, horizontális épülettömbjét (1935—1937), Bohumil Tureček a pisarkyi vízszűrő-berendezést és egy tűzoltóságot (1938). Arnošt Wiesner nemes, tradicionális felfogásban a Morvaországi Biztosítóintézet átépítésével befejezte a Malinovszky téren a Dorethof együttesét (1934—1937). Bedřich Rozehnal felépítette első egészségügyi épületét, a Daganatos Betegségek Gyógyintézetét a Sárga Dombon (1934—1935), Jan Višek lapidáris építészeti stílusban, két lépcsőben a Dr. Šilhán Szanatóriumot a Vevěri utcában (1932—1935), Josef Polásek, Jindřich Blum és Otakar Oplatek közösen az Első Morva Takarékpénztár elegáns épületét a Jánská utcában (1936—1939), Karel Kotas pedig a Riunione-Adriatica Biztosítótársaság igazgatási és lakóépületét a főpályaudvarral szemben (1938). Az 1936-os pályázat után a városi közigazgatás ismét több olyan házcsoportot építtetett, amelyben a létminimum szintjéhez igazított lakások voltak találhatók, többségük a Renneská utca közelében, Bedřich Rozehnal és a Hilský—Jasensky—Jach—Kozelka prágai építészkollektíva tervei alapján, Josef Polásek tervezésében pedig árkádsoros házak készültek Husoviceban. A cseh Nemzeti Színház felépítésére is pályázatot írtak ki, két szakaszban, ezt Jan Višek nyerte meg. A színház terveinek elkészítése egészen a tervező haláláig tartott. A magánépítkezések száma is rohamosan gyarapodott és az elkészült épületek megépíttetőiknek fejlett öntudatáról tesznek tanúbizonyságot: a funkcionalista építkezési mód gazdasági stabilitásuk és anyagi hátterük jelképe volt. Ez időszak brnói építészetének egyik jellemzője az ideváló építészek széles körű foglalkoztatása volt, így pl. a Kuba testvérek, V. Dvořák, akik bérházjellegű komplexumokkal és magas esztétikai színvonalon álló sorházaikkal jócskán hozzájárultak a város építészeti arculatának kialakításához (bérházakkal többek közt: a Dřevařska, Hoppeova, Kotlářska, Na piskách, Pekařska utcában; sorházakkal a Hvězdárenská utcában és a Černa Polei városnegyedben). A háború előtti időkben gyakran épültek luxusvillák, melyek főként a Jindřich Kumpošt által rendezett Pisarkyban (Schreib-

[45] Index, Brno 7/1935. évf. 81.

feld) és a Jirášek-negyedben helyezkedtek el s melyeknek stílusát az alkotók (Grunt, Kompošt, Kroha, Fuchs) egyénisége tette változatossá.

Tovább folytatódott a brnói vezetőépítészek alkotómódszerének individualizálódása. Bohuslav Fuchs egyértelműen az építészeti művek aerodinamikus, sőt organikus felfogása irányában tájékozódott,[46] amely nem csupán a Múzeum Kávéház hullámos mennyezetén (1930), két Pisarkyban álló lakóházán, a Petrák-villán (1936) és a Tesar-házon (1936) látszik meg, hanem nagyobb építmények egész sorozatán; így pl. azon a pályázaton kívül készült terven is, amelyet a Cseh Nemzeti Színházhoz alkotott (1936). Jiři Kroha a Kaplan utcában fekvő Patočka-villán keresztül (1935) a lakásfunkcióknak a lakótérben való leleményes és rendkívül eredeti elosztásáig jutott el, melyet a lépcsőzetesség, kívülről pedig a formáknak — a Krohára oly jellemző — mozgalmassága jellemez. Jan Višek szerény építészeti eszközökkel élt, Višek a belső tér hatását a „schinkeli" nagyszabású tengelyrefűzéssel és a Loos által inspirált belmagasság-változtatásokkal érte el. Arnošt Wiesner, amint ezt a Dorethof átépítése tanúsítja, a modern építészet klasszikusának bizonyult, olyan építésznek, aki ritka érzékeny ízléssel s a környezetet is figyelembe véve kapcsolta egybe a modern tradicionalizmus elemeit. Jindřich Kumpošt és Jaroslav Grunt munkái, kiváltképp a „Pod vodojemen" (A Víztorony alatt) nevű kerületben egyszerűségükkel, a részletek elegáns könnyedségével, valamint tökéletes elhelyezésükkel tünnek ki. Bedřich Rozehnal, aki — az általa mesterének tartott — Le Corbusier korai munkáinak sajátos transzformációival kezdte meg építészeti tevékenységét, egyre többet foglalkozott nagyméretű, speciális rendeltetésű kórházak tervezésével.

Az építészeti alkotómunka fő szervezőjének s propagátorának szerepét, melyet a 20-as évek derekán Bohumil Markalous, a gazdasági válság idején pedig Ždeněk Rossman töltött be, a 30-as évek közepén a fiatal cseh avantgard talán legaktívabb tagja, František Kalivoda (1913—1971) grafikus, építész és lapszerkesztő vette át. Kalivoda, aki már 1933-ban — megfigyelőként s magánszemélyként — ott volt a Patria nevű hajó fedélzetén, ahol az Athéni Chartát közzétették, később La Sarrazban, Zürichben és Amsterdamban is ígéretet tett a CIAM vezetőségének, hogy újraszervezi vagy újból megalkotja a cseh CIAM-csoportot.[47] A CIAM-csoportban a helyzet ekkor már kritikus volt. A CIAM az 1935-ös ülése után kibocsátott beszámolójában leszögezte, hogy a cseh CIAM-csoporttal megszakadt a kapcsolat. Kalivodának — Bohuslav Fuchs közreműködésével — sikerült még ugyanebben az évben a cseh CIAM-csoportot újból megszerveznie. Kalivoda és Fuchs sajtó alá rendezte az „Index"-nek egy különszámát, melyet kizárólagosan a CIAM tevékenységének szenteltek és amely — többek közt — az újraalkotott cseh CIAM-csoport tagjainak névjegyzékét is tartalmazta. A különszámban — többek közt — a brnói építészek közül B. Fuchs, J. Grunt, F. Kalivoda, J. Kumpošt, J. Polášek, J. Višek és Jindřich Blum neve is szerepelt, később csatlakozott Bedřich Rozehnal, Arnošt Wiesner és Endré Steiner. A cseh CIAM-csoport vezetősége — s ez Kalivodának köszönhető — áttelepült Brnóba és titkára — hivatalosan is — František Kalivoda lett. Vezetése alatt a csoport

[46] *Vladimir Šlapeta:* Organic Architecture in Central Europe and Alvar Aalto. Az „Abacus"-ban. 2. sz. Yearbook of the Museum of Finnish Architecture. Helsinki, 1981. 114—139.

[47] *Vladimir Šlapeta:* A funkcionalizmus és a cseh CIAM-csoport. A „Város"-ban, Hamburg, 29/1982. évf. 5. sz. 26—47.; 61—65.

nemzetközi kapcsolatai továbbépültek. Bohuslav Fuchsot állandó küldötté választották, 1938-ban pedig mellé Jindřich Kumpoštot is. A csoportot azonban ténylegesen többnyire maga Kalivoda képviselte, mint pl. az 1936-os és 1937-es La Sarraz-i megbeszéléseken és a CIAM V. kongresszusán Párizsban (1937). Kalivoda gyümölcsöző kapcsolatokat épített ki a szomszédállamok delegációival. Az ő kezdeményezésének volt köszönhető, hogy 1937—1938-ban négy CIAM-Ost kongresszust rendeztek. Az elsőre 1937 januárjában Budapesten került sor, itt dr. Sigfried Giedion, valamint magyar, lengyel, cseh delegátusok voltak jelen. Ezen az ülésen létrehozták a kelet-európai országok tömbjét (a CIAM-Ost-ot), mely a kelet-európai CIAM-csoportokat fogta össze. A második kongresszusra ugyanezen év májusában Zlinben és Brnóban került sor. A lengyel delegátusok (a Syrkus-házaspár, Roman Piotrowski), a magyar küldöttek (Molnár Farkas, Fischer József, Ligeti Pál, Major Máté), valamint az osztrák Walter Loos ezen a kongresszuson ismerkedtek meg azokkal az eredményekkel, amelyeket a cseh csoport — építészetben és városrendezésben — Morvaországban elért. Az ülésen Mme Hélene Mandrot, a cseh építészek közül B. Fuchs, J. Kumpošt, A. Wiesner, F. Kalivoda, J. Polášek és a zlini F. L. Hagura díszvendégként vettek részt. A CIAM keleti-csoportjának harmadik találkozója, melyet František Kalivoda és Molnár Farkas készítettek elő, szerényebb keretek közt, 1938-ban Mykonos szigetén zajlott le. Kalivodának meglehetősen rövid ideig tartó (1935—1938) publicisztikai tevékenysége is jelentőséggel bírt. 1935-ben Kalivoda kiállítást rendezett Brnóban Moholy-Nagy László munkáiból, egy évvel később pedig egy reprezentatív monográfiát adott közre, ugyancsak Moholy-Nagyról. Ez volt a „Telehor" nevű magazin egyetlen megjelent példánya. Kalivoda bőségesen tájékoztatta a cseh olvasóközönséget a CIAM munkásságáról, a brnói „Magazin AKA" és a bratislavai „Forum" hasábjain.

A CIAM keleti tömbjében tömörült — különböző nemzetiségű — csoportoknak volt köszönhető, hogy Brno jelentősége az 1930-as évek derekától egyre nőtt s hogy a brnói építészet megérdemelt nemzetközi elismerésnek örvendett. Ez azonban rövid ideig tartott. Annak a kiáltványuknak már, melyben azt követelték, hogy „olyan építészetet alkossanak", amely „jobbá teszi az embert"[48] s amelyet B. Fuchs részvételével fogalmaztak meg, valamint „A ma építésze és építészete"[49] című könyvnek, amelyet Jiři Kroha írt s amelyben a szerző azoknak a kliséknek veszélyességére hívta fel a figyelmet, amelyeket a modern építészet követhet s amelyben azt követelte, hogy az építészet az elemzőmunka és a művészi igényesség egybeötvözésével egy magasabb létforma felé vezesse az embereket, már nem volt közvetlen visszhangja. Az 1938-ban kötött müncheni egyezmény s a Cseh Köztársaság bukása 1939. márc. 15-én már a közelgő háborút jelezték, amelynek következménye — ismét — az építészet súlyos hanyatlása lett.

VI. AZ ELNÉMULÁS

A háborúnak súlyos következményei voltak mind a brnói építészek alkotótevékenysége, mind magánéletük szempontjából. Az építészek közül néhánynak, pl. Arnošt Wiesnernek, André Steinernek és Ladislav Radónak a faj-

[48] Index, Brno, 9/1937. évf. 102—104.
[49] Forum, Bratislava 8/1938. 25—26.

üldözés miatt el kellett hagyniuk az országot, másokat zaklattak, bebörtönöztek (Emil Králik, Jiři Kroha), megint másokat pedig mint pl. Otto Eislert fogságba vetettek, Norvégiába küldték kényszermunkára, végül pedig a koncentrációs tábor kapuja zárult rá. A brnói építészek közül kettő — a legtehetségesebb fiatal építészek közé tartoztak — Hugo Foltýn és Vladimír Krondl az ellenállási mozgalomban való részvétele miatt, életével fizetett.

Az építészek közül az építkezési kényszerszünetet legtöbben arra használták fel, hogy az elvileg tökéletes építészettel kapcsolatos munkákat tanulmányozzák, vagy olyan terveket alkossanak, amelyek a háború befejeződése után kivihetőnek látszottak. Jiři Kroha a szociális szemléletű építészet által tervezett épületek új variánsainak kidolgozásán fáradozott, Bohuslav Fuchs és František Kalivoda pedig a regionális tervezés és Dél-Morvaország városrendezési tervein dolgozott. Antonin Kuriel, a brnói Építészeti Iskola egyik ifjú végzőse sikeresen újított fel néhány enteriőrt, ez kiváltképp a „Fekete Medvéhez" nevű étterem esetében látható. Bedřich Rozehnal a monofunkciós kórházi pavilonok problémáival foglalkozott, valamint Morvaország számos nagy kórházépületének megtervezésével, amelyeket a háború befejeződése után gyors ütemben meg is valósított.

Miután a szovjet csapatok Csehszlovákiát felszabadították, az építészek előtt újból lehetőség nyílt arra, hogy a brnói építészet avantgard, ill. szocialista orientáltságú hagyományait folytassák. Ebből a szempontból nagy jelentősége volt annak, hogy ki tölti be az Építészeti Akadémia professzori állásait. Jiři Krohán kívül, aki a 20-as évek közepétől az iskolának mind művészeti, mint ideológiai tevékenységét erősen befolyásolta, Bohuslav Fuchsot, Bedřich Rozehnalt, Antonin Kuriált, sőt Jaromir Krejcárt is meghívták Prágából a tanszékek vezetésére. Ennek az építészgárdának volt köszönhető, hogy a brnói Építészeti Akadémia ez idő tájt egész Európának egyik legfontosabb és leghaladóbb építészeti intézménye volt.

A háború után az építőtevékenység meglehetősen lassan indult meg. Ennek az időnek nagyobb létesítményei közül elsőként az Államvasutak Igazgatósági épületének megalkotását kell említenünk. Tervét Evžen Škarda már 1938—1939-ben elkészítette, a művet egyszerű szerkezeti megoldás, kettőskeresztelvű alaprajzi elrendezés jellemezte. 1946-ban a Josef Polášek, Jiři Kroha és Vilém Kuba által készített terveket is megvalósították a Tábor-hegyen. Bohuslav Fuchs tervei közül csupán egy autóbuszpálya-udvar része realizálódott, amelynek elegáns feszített beton perontetőjét Hruban tervezte. Emanual Hruska a történelmi múltú zöldségpiac beépítését munkatársaival együtt egy új vásárcsarnok építésével zárta le.

A 40-es évek legkiemelkedőbb építészegyénisége kétségkívül Bedřich Rozehnal volt, aki alkotóművészetének csúcsán olyan méretű és minőségű kórházkomplexumokat alkotott, amilyenek korábban nem voltak. Csúcsteljesítményeinek sorozatát már 1945-ben megkezdte a Radioterápiás Intézet tervével. A komplexum középponti tömbje a terápiás kezelővel és az igazgatósági épülettel együtt egy Y alakú kórterem-szárnyba torkollik, a többi kezelőpavilon egymásra merőlegesen helyezkedik el és kapcsolódásuk egy félig nyitott átriumrendszert alkot. Rozehnal ezt az alapgondolatot minden ez idő tájt keletkezett művében alkalmazta. Ez az elv tette lehetővé, hogy a közösségi tereket elkülönítsék egymástól, békés, nyugodt sarkokat alakíthassanak ki, ami gyógyászati szempontból igen fontos. A centrális monoblokk, az egymáshoz csatlakozó öt vagy több traktusos ortogonális, ill. Y-alaprajzú egyéb

épületrészek, az elsőség kétségkívül Bedřich Rozehnal nevéhez fűződik; elgondolásai a Černa Pole-i (schwarzfeldi) kerületben épült gyermekklinikában (1947—1953), valamint a bohunicei Tartományi Klinika terveiben tetőződtek. Ezeket az épületeket a nagyvonalú építészeti koncepció és tiszta funkcionális elvek jellemzik, amelyekre a Le Corbusier-i purizmus öröksége, annak sajátos továbbfejlesztése nyomja rá bélyegét. Azt a művészi ötletgazdagságot, építészi meggyőző erőt, amely ezekből a művekből árad, a cseh építészet történetében a mai napig senki sem szárnyalta túl.

A cseh építőművészet a CIAM VI. 1947-es bridgewateri kongresszusának gondolataihoz Rozehnal műveivel járult hozzá a legkifejezőbb formában. A kongresszus cseh anyagát[50] a Tartományi Kutató- és Tervezőhivatal állította össze Emanuel Hruška, Alfred Neumann és Bedřich Rozehnal közreműködésével s ez az anyag a kongresszuson nagy feltűnést keltett. José Luis Sert levélben gratulált a cseh építészet képviselőjének, Josef Havličeknek a cseh építészet eredményeihez, amelyeket „kimagaslónak" nevezett.[51]

A februári forradalom után Csehszlovákiában egy új, szocialista társadalom építése kezdődött meg, a társadalom szerkezete átalakult s ez a tény új feladatok elé állította a cseh építészeket is. Az építészek bezárták magánműtermeiket s új, állami tervezőintézeteket (a Stavoprojekteket) hoztak létre, ahol a kibontakozóban levő szocialista társadalom igényeinek megfelelő ideológiai és szociális problémákkal foglalkoztak. Az új folyamatnak kezdeményező egyénisége Jiři Kroha volt, aki elméleti munkáiban és épületterveiben (pl. a brnói Építészkar pavilonja) megalkotta a szocialista realizmus építészeti programbeli hagyományokhoz való kapcsolatot. A meglehetősen rövid historizáló időszak után a cseh építőművészet ismét a baloldali beállítottságú avantgard öröksége felé fordult, hogy ebből az örökbecsű forrásból ismereteket és ösztönzést merítsen. Az avantgard munkássága révén mind a mai napig érvényes az a megállapítás, amit Karel Teige így fogalmazott meg Brno építészetével kapcsolatban: „ez a város a modern cseh építészet legjelentősebb központja."[52]

[50] Studies of the Czechoslovak Group CIAM drawn up in the Century Research and Planning Institute. Brno. Under the patronage of the State Planning Board of the Czechoslovak Republic, 1947.

[51] Az 1947. nov. 7-i levélből.

[52] Index. Brno, 5/1933. évf. 82.

PREISICH GÁBOR 75 ÉVES

1984. május 12-én volt 75 éves kollégánk és barátunk, Preisich Gábor, s ha kicsit késve is, nem kevesebb tisztelettel, becsüléssel és szeretettel üdvözöljük őt, ezen a nevezetes évfordulón. Üdvözöljük az Építés-Építészettudomány Szerkesztő bizottsága, szerkesztői, írói és olvasói és — talán nem túlzás, ha azt mondom — az egész szakterület: az építészettudomány és az építőművészet elméleti és gyakorlati művelői nevében.

Ennek a rövid megemlékezésnek építész lánya által összeállított mellékletei — „Szakmai életrajza", „Szakmai bibliográfiá"-ja, a nevét viselő „Építészeti alkotások" és díjnyertes „Tervpályázatok"ból listája — felmentik eme üdvözlő sorok fogalmazóját, hogy egy élet és életmű részletesebb feltárására és érdeme szerinti méltatására vállalkozzék, de lehetetlen el nem ámulnia e pályafutás és e produkció sokrétűségén és gazdagságán.

Mert ámulnivaló mindenekfelett az a tény, hogy Preisich Gábor, aki pályájának kezdetén meggyőződéssel és fiatalos lelkesedéssel csatlakozott az új építészet mozgalmához, alapító tagja lett a magyar CIAM (CIRPAC)-csoportnak, propagálója az építészet természetes és szükséges megújulását hozó rugalmas elveknek és módszereknek — figyelembe véve a folytonos mozgás, változás, fejlődés követelményeit —, kitartott mellettük (még az 1951. évi nevezetes építészeti vitában is), s nem hódolt be, még csak nem is engedett semmiféle építészeti megalkuvásnak, divatnak. S ezt a magatartását pályája minden pozíciójában megőrizte, minden produkciójában érvényesítette, és érvényesíti ma is. Ha olykor hibázott, tévedett is, a nagy pozitívumok mellett kis negatívumai elenyésztek: bárcsak mindnyájan ennyi aktívummal, s ily kevés passzívummal állíthatnánk fel — amikor kell — életünk mérlegét.

Születésnapi üdvözleteinket ezért azzal a jókívánsággal zárjuk, hogy Preisich Gábor a még bízvást remélhető jövendő jubileumokig töretlenül járja tovább életének és szakmai működésének útját, szeretett mesterségünk és művészetünk, az építészet, s ezzel a magyar kultúra gyarapodására.

Major Máté

PREISICH GÁBOR ÉLETRAJZA ÉS MUNKÁSSÁGA

Szakmai életrajz

— Született 1909-ben Budapesten.
— Érettségi 1926-ban.
— Egy év a Karlsruhe-i Technische Hochschule-n (1926—27)
— Három év a budapesti műegyetemen (1927—30)
A szünidőkben Sebestyén Artúr, majd Bauer Emil építészi irodájában. Itt ismerkedik meg későbbi társával, Vadász Mihállyal.
— Diplomaterv Kotsis Iván professzornál.
— Építészi diploma 1930 decemberében.
— Egytemi hallgató korában kapcsolatba kerül Ligeti Pál körével és a magyar CIAM (CIRPAC) csoporttal.
— Részt vesz a CIRPAC csoport 1931. évi kiállításán.
— Részt vesz a CIAM 1931. évi berlini kongresszusán, itt megismerkedik a CIAM vezetőivel, Le Corbusier-vel, Walter Gropius-sal, Ernst May-jal, Victor Bourgeois-val. Ez utóbbi ajánlására belép Joseph Moutschen belga építész irodájába Liège-ben. Itt egy évig dolgozik.
— 1932-ben hazatér, mert kint készített vázlatterve alapján megbízást kap egy budapesti bérház tervezésére. Ugyanez évben megnyeri a Magyar Mérnök és Építész Egylet „Kéler Napoleon" pályázatát.
— 1933-ban társul Vadász Mihály építésszel. A Preisich és Vadász iroda hamarosan közismertté válik. Számos bérházat, társasházat, családi házat, továbbá mozit és strandfürdőt terveznek. Pályázatokat nyernek. Munkáik megjelennek a hazai és részben külföldi szaklapokban.
— 1942-ben Gerle György építésszel társasviszonyban több bérházat, társasházat, családi házat tervez.
— 1942—43-ban a Weiss Manfréd gyár alkalmazásában a gyár csepeli irodájában dolgozik, illetve tervez. Ez az alkalmazás a háborús időben bizonyos védettséget biztosít számára.
— Még 1940-ben megismerkedik Harrer Ferenccel, illetve az irányításával készült Budapest fejlesztési tervével. Ez felkelti érdeklődését a városrendezési kérdések iránt. Az ostrom alatt, amelyet különböző házak pincéiben bujkálva vészel át, elhatározza, hogy ha életben marad, minden energiáját Budapest újjápítésének elősegítésére fordítja.
— A felszabadulás után azonnal bekapcsolódik az újjáépítés munkáiba. Tervezeteket készít a helyreállítások megszervezésére, a város fejlesztésére. Kapcsolatba kerül a Fővárosi Közmunkák Tanácsával, amelynek CIAM-beli kollégája, Fischer József az elnöke. 1945 nyarán a Közmunka Tanács alkalmazásába lép. Budapest általános rendezési tervén dolgozik. Ez a feladat további szakmai működésének gerince marad egészen nyugdíjba vonulásáig.
— Közmunatanácsi munkája mellett folytatja tervező építészi tevékenységét. Gádoros Lajos építésszel társasviszonyban több pályázatot nyer, jelentős középületek tervezésében vesz részt.
— 1948 elején a Perényi Imre vezetésével megalakuló első állami tervező szervezet (Építéstudományi Központ, új nevén Építéstudományi és Tervező Intézet, majd MATI) kötelékébe lép. Az intézet területrendezési osztályán folytatja az Általános Terv készítését, illetve annak irányítását.
— 1949 februárjában a főváros tervező intézetének a FŐTI-nek a (BUVÁTI jogelődjének) megszervezésével bízzák meg és az intézet igazgatójává nevezik ki.
— 1949 szeptemberétől megbízott tanárként a Műszaki Egyetem Lakóépítési Tanszékét vezeti, majd 1950 elejétől a Fővárosi Tanács Városrendezési Főosztályának vezetőjévé

nevezik ki. Lemond műegyetemi tanári megbízásáról. Különböző címeken — 1953—55 közt „főépítészi" megbízással a Főváros városrendezési apparátusát vezeti, ugyanakkor az Általános Rendezési Tervnek a BUVÁTI-ban folyó munkáit közvetlenül irányítja. Tagja az „Építészeti Tanács"-nak, kezdettől fogva tagja az MTA Településtudományi Bizottságának.

— Az Általános Rendezési Terv felső szintű jóváhagyásának többszöri meghiúsulása, a súlyos politikai légkör és a természetével ellenkező adminisztratív munka 1955-ben idegösszeroppanást eredményez. Orvosi javaslatra a VB hozzájárul tervező irodába történő visszatéréséhez.

— 1956. januártól a BUVÁTI főépítésze, majd városrendezési irodájának vezetője. Az irodavezetés mellett ismét lehetősége nyílik épületek tervezésére, tervpályázatokon való részvételre és fokozottabb irodalmi munkásságra.

— 1960-ban (majd 1971-ben) a Minisztertanács jóváhagyja Budapest és környéke általános rendezési tervét.

— 1961-ben megvédi „Budapest városépítésének története Buda visszafoglalásától a kiegyezésig" c. kandidátusi disszertációját.

— 1962-ben Ybl-díjjal, 1969-ben a Főváros Pro Urbe aranyérmével tüntetik ki. 1969-től címzetes egyetemi tanár. Ugyanez évben jelenik meg Budapest városépítésének története c. sorozatának III., befejező kötete. 1972-ben „Budapest városrendezésének néhány problémája; analízis és következtetések" c. disszertációja révén a Műszaki tudományok doktora címet nyeri el.

— 1970-ben lemond a BUVÁTI irodavezetéséről és műszaki-gazdasági tanácsadóként irányítja a „Budapesti agglomeráció területrendezési terve" munkáit.

— 1975. január 1-től nyugdíjas. Egy évig a BUVÁTI-nál, majd a VÁTI-nál műszaki-gazdasági tanácsadó. Nyugdíjazása évében, 1975-ben megkapja a nemzetközi Herder-díjat. 1977-ben Hild János emlékéremmel tüntetik ki. Ugyanez évben a Német Városrendezési és Regionális Tervezési Akadémia (Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung) levelező tagjává választja. 1979-ben a Munka érdemrend arany fokozata kitüntetést kapja.

— Vezetőségi tagja az Építőipari Tudományos Egyesület Városrendezési Szakosztályának és a Magyar Urbanisztikai Társaságnak. Szerkesztőségi tagja a „Városépítés"-nek. Szakmapolitikai és szakirodalmi tevékenysége máig is folyamatos. Előadások itthon és külföldön, bírálatok, szakmai publikációk stb. Legutóbbi előadások (1983): „Ist Gropius immer noch aktuell?" (Gropius még mindig aktuális?) Berlinben, „Siedlungsentwicklung in Ungarn unter dem Aspekt der Industrialisierung" (Településfejlődés Magyarországon az iparosítás aspektusából) Goslarban a Német Városrendezési Akadémia szimpozionán.

Szakmai bibliográfia*

A családi házról
Új Idők 1931. ápr. 26. 565—566.

A CIRPAC és a modern építészet
Magyar Szemle 1931. szept. 47—53.

Az új városról, az új lakásról
Új Idők 1932. febr. 28. 265—266.

Belső városrészek átépítésének gazdaságossága
Pesti Hirlap 1933.

Milyen lesz a jövő művészete
Független Kritika 1935. márc. 1.

Bölcs tanácsok kezdő és haladó építészeknek,
Bölcs tanácsok kezdő és haladó építtetőknek
Vállalkozás-Építkezés 1937. dec. 20.

Budapesti riport az 1960 évben. Írta G. Chisierp, a Honolulu-News Európába küldött tudósítója. Közzéteszi P. G.
Vállalkozás-Építkezés 1938. dec. 29.

Levél a Műszaki Értelmiség Szabad Fórumának
Műszaki Értelmiség 1945. szept. 1.

Az építőipar racionalizálásának megszervezése,

* A könyv alakban megjelent művek félkövér betűvel szedve. Az egyedi tervpéldányok könyvtári helyét jelöljük.

Hozzászólás Perczel Károly 1945. szept. 15-i cikkéhez
Műszaki Értelmiség 1945. okt. 1.
A háború utáni újjáépítés feladatai
Új Építészet 1946. 1. 6—9.
Az Újjáépítési Minisztérium tervpályázata
Új Építészet 1946. 1. 11.
P. G.—Hoch István: A „fajlagos beépítés" fogalma és felhasználása a városépítésben
Tér és Forma 1946. 10. 123—127.
Hogyan építsük fel a csepeli munkások házait
Fogaskerék 1947. jan. 4.
Építési Szövetkezet
Fogaskerék 1947. márc. 1.
A megvalósítás útja (Javaslat a lakásépítkezések finanszíális megszervezésére)
Új Építészet 1947. 2. 17—19.
A Weiss Manfréd-gyár rendezési terve
Új Építészet 1947. 6. 125—126.
P. G.—Gádoros Lajos: A falusi ház alaprajzi vizsgálata
Új Építészet 1947. 7. 155.
Varsó városrendezési terve
Új Építészet 1947. 10. 251—252.

A családi ház elhelyezése a városban. (Családi lakóház. Építéstudományi Központ kiad. Bp. 1948.) 15—30.

Hozzászólás Fülep Lajos: Egy nagy lehetőség Budapest újjáépítésében c. cikkéhez
Fórum 1948. 788.
Csecsemőotthonok építése
Új Építészet 1948. 2. 65—67.
A gyermekvárosról (A. B. aláírással)
Új Építészet 1948. 2.
Nagy-Budapest városrendezési terve és Csepel
Új Építészet 1948. 5. 161—166.
Az Úttörő Köztársaság
Új Építészet 1948. 7. 258—261.
Perényi Imre—P. G.—Hoch István—Karafiáth László—Kismarty Lechner Gyula—Ruisz Rezső: Nagy-Budapest általános rendezési terve. Összefoglaló ismertetés.
Új Építészet 1947. 8. 279—296.
Két szakszervezeti székház Budapesten
Új Építészet 1948. 11—12. 21—23.

Nagy Budapest Általános Rendezési Terve.
(Szerzőtársakkal) Kefelevonat. 53 p.
Állami Építéstudományi és Tervező Intézet Bp. 1948.
(Szabó Ervin Könyvtár Bf. 725/629)

Az építészeti forma kérdéséhez
Építés-Építészet 1949. 4. 22—24.
Közvéleménykutatás az új házak lakói között
Építés-Építészet 1949. 6—7. 30—35.
A Sztálin-téri autóbusz pályaudvar — vagy az érem két oldala
Építés-Építészet 1950. 1. 4—11.
Lakásépítésünk és az ÉM típusterv pályázata
Építés-Építészet 1950. 7—8. 583—591.
Budapest városrendezési tervezésének metodikája
Építés-Építészet 1950. 11—12. 721—724.
Hozzászólás (Vita építészetünk helyzetéről)
Magyar Dolgozók Pártja Központi Vezetőség Agitációs és Propaganda Osztály. Budapest 1951. 84—86. és 97—98.
Szocialista városrendezés. Levcsenko könyvének kritikai ismertetése
Építés-Építészet 1951. 8. 577—582.
A jövő Budapestje
Irodalmi Újság 1951. okt. 25.

Feladataink az új Budapest felépítésében
Világosság 1951. aug. 17.
Új városnegyedeket építünk Budapesten
Világosság 1951. aug. 29.
Csepel
Világosság 1951. szept. 12.
Új városrészek épülnek
Világosság 1951. szept. 27.
A szocialista városépítés alapfogalmai
Mérnöki Továbbképző Intézet kiadv. Bp. 1952. 29 p.
Friss dunai levegő a város belsejében
Esti Budapest 1952. ápr. 8.
A Duna-part ma és holnap
Esti Budapest 1952. júl. 1.
Rendezett szocialis fővárossá alakítjuk Budapestet
Világosság 1952. márc. 20.
A Budapesti Városi Tanács VB ismertetője a budapesti városépítészeti vitához. 1953. június
Akadémiai Nyomda. F. k.: Preisich Gábor 39 p.
A budapesti földalatti gyorsvasút városrendezési jelentősége
Magyar Építőművészet 1953. 3—4. 83—84.
Budapest városrendezési problémái
Magyar Építőművészet 1953. 5—6. 139—148.
Az újjáalakuló Budapest
Magyar Nemzet 1953. dec. 8.
A jövő Budapestjének tervei
Szabad Nép 1953. nov. 18.
P. G.—Szimély Károly: A magyar városok városkörnyéke tervezésének irányelvei és metodikája
Településtudományi Közlemények 3. 1953. 3—82.

P. G.—Sós Aladár—Brenner János: **Budapest városépítészeti kérdései**
Építőipari Könyv és Lapkiadó Bp. 1954. 152 p.

Miként alakul Budapest lakásépítkezése
Élet és Tudomány 1954. 24. sz. febr. 16. 750—755.
A korszerű lakóház
Élet és Tudomány 1954. 41. sz. okt. 13. 1296—1301.
Népünk nem csak használni akarja épületeinket, — gyönyörködni is akar bennük
Esti Budapest 1954. márc. 11.
Építőművészeti tanácskozás Budapesten az Általános Városrendezési Tervről
Magyar Építőművészet 1954. 1—2. 2—8.
Városépítés a Szovjetunióban
Magyar Építőművészet 1954. 10—12. 277—320.
Építőművészetünk problémái
Csillag 1955. 6. 1283—1288.
(Új publ.: Major Máté—Osskó Judit: Új Építészet — Új Társadalom. Corvina 1981. 164—167.)
Budapest tíz éve
Magyar Építőművészet 1955. 3—5. 76—83.
Ízlés az építészetben — ízlés az utcán
Természet és Társadalom 1955. nov. 683—686.
Budapest fejlesztésének feladatai és lehetőségei
Élet és Tudomány 1956. 10. sz. márc. 7. 303—308.
A Marx téri tervpályázat
Magyar Építőművészet 1956. 3. sz. 76—79.
P. G.—Brenner János: A településrendezés tervezési módszerének alapjai (Az MTA Településtudományi Főbizottság Különbizottságának munkája alapján)
Építés és Közlekedéstudományi Közlemények I. köt. 3—4. sz. 1957. 443—450.
Probleme der Budapester Stadtplanung
(Előadás a bécsi Mérnök és Építész-egyletben)
Bauzeitung 1959. 49. sz.

Preisich—Reischl—Vadász: Városi családi ház (246 p.)
A családi ház telke" c. fejezet
Műszaki Kiadó Bp. 1959. 7—31. p.
Budapest városépítésének története I. Buda visszavételétől a kiegyezésig.
Műszaki Kiadó Bp. 1960. 179. p.
Budapest és környéke általános városrendezési terve.
Minisztertanácsi előterjesztés. Szerzőtársak: Perényi Imre, Heim Ernő + munkatársak.
Készült 70 számozott példányban 1960.
(Szabó Ervin Könyvtár Bf 725/619)

Lakóterületek korszerű beépítésének kérdései
Építésügyi Szemle 1960. 2. sz. 46—50.
Stadtplanung ohne Spekulation
Tagebuch. Wien 1960. jan.
A budapesti régió tervezésének néhány problémája
Településtudományi Közlemények 12. sz. 1960. 97—103.
A jövő Budapestje
Élet és Irodalom 1961. okt. 25.
A Duna-kanyar rendezési terve
Építésügyi Szemle 1961. 9. sz. 257—270.
Városi építésnek eleji
Magyar Építőművészet 1961. 1. sz. 61.
Az Európai Szén- és Acélközösség lakótelep-tervpályázata
Magyar Építőművészet 1961. 6. 34—38.
Heim Ernő—P. G.: Budapest és környéke rendezési terve
Magyar Építőművészet 1962. 1. sz. 4—9.

Budapest városrendezési problémái, szerk.: P. G.
Mérnök Továbbképző Intézet kiadv. Bp. 1963. 329. p.
Budapest városrendezési problémái a társadalmi fejlődés tükrében c. fejezet 75—94.

Új tudományág: a korszerű városrendezés
Élet és Tudomány kalendáriuma 1963. 176—180.

Budapest városépítésének története II. A Kiegyezéstől a Tanácsköztársaságig
Műszaki Kiadó Bp. 1964. 252 p.

A típustervezés és a városrendezés összefüggései a III. ötéves tervben
Építésügyi Szemle 1964. 7. 197—204.
Vizet merni a szitába
Élet és Irodalom 1965. máj. 8.
P. G.—Kiss Dénes: Házgyári technológia és városrendezés
Építésügyi Szemle 1965. 6. 165—169.
A Belváros rendezése
Műszaki Élet 1965. aug. 12.
Hungary
Town and Country Planning London 1965. nov. 424—428.
Izrael — regionális tervezés és városépítés
Városépítés 1965. 1. 25—26.
Szociológia a városépítés szolgálatában
Városépítés 1965. 4. 2—3.
Le Corbusier a várostervező
Városépítés 1965. 5. 10—11.
„Budapest" 1966. 7. sz. 34—36.
A társadalmi fejlődés hatása a városszerkezetre
(Hozzászólás az MTA 1966. okt. 26—27-i ankétján)
Településtudományi Közlemények 19. sz. 1966. 56—57.
P. G.—dr. Fodor László—Györffyi Lajos—Szabó Kálmán: A budapesti Belváros rendezési terve
Városépítés 1966. 3. sz. 3—19.
Hozzászólás dr. Nagy Ervin: Budapest közlekedésfejlesztési koncepciója c. cikkéhez
Városépítés 1966. 6. sz. 30.
A főváros környékének növekedési gondjai
„Budapest" 1967. 8. sz. 1—4.

Innenstadt heute und morgen
Budapester Rundschau 1967. máj. 19.
Hozzászólás: Nagytávlatú közlekedésfejlesztés tervezése c. 1967. okt. 19—20-i ankéthoz
Közlekedéstud. Egy. kiadv. 139—143.
P. G.—Benkhard Ágost: Budapest építészete a két világháború között
Építés és Közlekedéstudományi Közlemények XI. köt. 3—4. sz. Bp. 1967. 461—524.
Perényi Imre: A korszerű város (Könyvismertetés)
Magyar Építőipar 1967. 10. sz. 645—646.
The Architect's Collaborative 1945—1965
Magyar Építőművészet 1967. 2. sz. 64.
Városrendezés és paneles lakásépítés
Mérnök Továbbképző Intézet kiadv. Bp. 1967. 16.
Tapolca. Beszélgetés a városi tanács elnökével, párttitkárával, építési osztályának vezetőjével
MUT — tájékoztató 1967. márc.—ápr. 24—31.
Budapest jövője
Műszaki Élet 1967. júl. 13.
Nemzetközi városrendezési tervpályázat Pozsonyban
Városépítés 1967. 5. 29—30.
A budapesti agglomeráció fejlődésének és jelenlegi helyzetének elemzése (szerzőtársakkal) Főv. Tanács VB munkabizottsága
Kiad.: Országos Tervhivatal, Bp. Főv. Tanács 1968.
Szabó Ervin könyvtár Bq 325/16. 114 p.
A budapesti település-agglomeráció növekedése és az ebből eredő problémák
Demográfia 1968. 2. sz. 201—221.
Kurze Zusammenfassung der Städtebaugeschichte von Budapest
Der Aufbau (Wien) 1968. 7. sz. 238—244.
A magyar városrendezés törvényes alapjai
Építésügyi Szemle 1968. 2. sz. 43—47.
A városi lakástelepítés problémái
MUT-tájékoztató 1968. jan.—márc. 11—12.
Újságírás és urbanisztika
MUT-tájékoztató 1968. jan.—márc. 25—26.
Bécsi látogatás
MUT-tájékoztató 1967. jan.—márc. 59—60.
Perényi Imre: A korszerű város (könyvismertetés)
Népszabadság 1968. márc. 6.
Budapest fejlesztésének néhány alapvető problémája
Településtudományi Közlemények 21. sz. 1968. 5—25.
Hozzászólás Füle Lajos: A holnap városa c. cikkéhez
Városépítés 1968. 3. 33.

Budapest városépítésének története III. A két világháború közt és a felszabadulás után Műszaki Kiadó Bp. 1969. 311 p.

Budapest városfejlesztésének néhány problémája
Doktori értekezés 1970. 285 p.
Szabó Ervin könyvtár, Bq 725/621
Budapest általános rendezési tervének előzményei
„Budapest" 1969. márc. 8—9.
Städtebau und Architektur in Budapest
Deutsche Architektur (Berlin) 1969. 12. sz. 714—725.
Benjámin Károly (1896—1968)
Magyar Építőművészet 1969. 1. 58.
Az iparfejlesztés városrendezési problémái a budapesti agglomerációban
(MTA-MUT Iparfejlesztés-Városrendezés szimpozion előadása)
Településtudományi Közlemények 22. sz. 1969. 24—29.
Elszalasztott lehetőségek
Valóság 1969. 1. sz. 36—39.
Külön-külön vagy együtt? (Hozzászólás Major Máté és Erdei Ferenc cikkéhez)
Valóság 1969. 5. 102—103.

Budapest és környéke általános rendezési terve (munkatársakkal)
Készült 400 példányban 1970.
Szabó Ervin könyvtár Bq 725/589

Szabó Ervin könyvtár Bq 725/589
25 Jahre Städtebau in Ungarn
Budapester Rundschau 1970. febr. 20.
Budapest. Städtebau und Architektur in Ungarns Hauptstadt
Neue Heimat (Hamburg) 1970. 5. 33—44.
Budapest népességnövekedéséről
Valóság 1970. 3. sz. 73—78.
A budapesti városépítés eredményei — 25 év mérlege
Városépítés 1970. 1—2. sz. 17—21.
Stadtsoziologische Untersuchungen in Ungarn
Archiv für Kommunalwissenschaften 10. Jg. 1971. II. Halbjahresband 325—331.
Budapest és környéke általános rendezési terve. — V. Az ipari területek
„Budapest" 1971. 3. 4—6.
Budapest városfejlesztésének néhány problémája. Analízis és következtetések
Doktori értekezés tézisei. Bp. 1971. 9 p.
Egészségügyi problémák a budapesti agglomerációban
Városépítés 1971. 2. 9—12.

Walter Gropius
Akadémiai Kiadó, Architektura-sorozat
Bp. 1972. 42 p. + 62 ill.
Belső Józsefváros 5. tömbjének rehabilitációs terve (P. G.—Schwarzuk Ágnes—Szenczi Ottó). BVTV. Soksz. 22 p. 1972
Szabó Ervin Könyvtár Bf 725/618

P. G.—Gopcsa Ervin: Környezetvédelmi kutatás a Józsefvárosban
BUVÁTI soksz. Bp. 1972. 30 p.
Szabó Ervin könyvtár Bq 333/171
Siedlungssoziologie und Städtebau in der VR Ungarn
Deutsche Architektur (Berlin) 1972. 1. sz. 22—25.
Elavult városrészek rehabilitációja
Műszaki Élet 1972. jún. 9.
Faragó Kálmán—Granasztói Pál—P. G.—Pongrácz Pál: A városépítés tudományos művelése. Helyzetkép
Műszaki Tudomány 45. 1972. 367—381.
Lakótelepeink — építész szemmel (Oroszi István beszélgetése P. G.-ral)
Népszabadság 1972. ápr. 30.
Budapest — korunk szive
Természet Világa 1972. 7. sz. 301—305.
A budapesti agglomeráció tagolása, a központok rendszere
Területrendezés 1972. 3. sz. 75—90.
Nagy-London fejlesztési terve
Városépítés 1972. 1. sz. 37.

Budapest jövője (szerk.)
Műszaki Kiadó Bp. 1973. 184 p.
Budapest nagyvárossá alakulása és az általános rendezési terv jelentősége 7—21.
P. G.—Szücs István: a lakásépítés feladatai 31—47.
A központok rendszere 48—62.
Az ipar fejlesztése és az ipari területek 100—107.

Településtervezés és népgazdasági területi tervezés (Hozzászólás Dr. Csáki Norbert cikkéhez)
Városépítés 1972. 4. sz.
Az elismerés és a kritika hangján a METRÓ-ról
„Budapest" 1973. 3. sz. 6—8.
Új budapesti irodaházakról
„Budapest" 1973. 7. sz. 22—25.
Száz év legjelentősebb építészeti alkotásai
„Budapest" 1973. 11. sz. 24—29.

Hipotézis a budapesti kerületek lakosságszámának alakulására
Demográfia 1973. 3—4. sz. 295—311.
A városrendezési terv és a megvalósulás
Magyar Nemzet 1973. márc. 6.
Nyílt levél Bernáth Aurélhoz
Magyar Nemzet 1973. nov. 12.
A METRÓ esztétikája
Művészet 1973. 10. sz. 38—39.
Pfannl Egon 1911—1973
Magyar Építőművészet 1973. 4. 62—63.
Nevelőotthon vagy nevelőszülői hálózat
Valóság 1973. 5. sz. 98.
A koncentrált lakásépítés problémái
Városépítés 1973. 4. sz. 37—38.
Önálló városrendezési szabályzatot Budapestnek
„Budapest" 1974. 4. sz. 34.
P. G.—Szücs István: A budapesti agglomeráció. Elképzelések és realitások
„Budapest" 1974. 10. sz. 29—31.** *(Újra publikálva, lásd 524. oldal)*
Die Budapestes Agglomeration
Berichte zur Raumforschung und Raumplanung 18. Jg. Heft 3. 1974. 20—24.
Budapest városépítésének fejlődése (Hozzászólás a MTA tudományos ülésszakán)
Tanulmányok Budapest múltjából XX. Bp. 1974. 38—43.
A koncentrált lakástelepítés problémái (MTA és MUT vitaülésének összefoglalója)
Településtudományi Közlemények 1974. 99—112.
Budapest történeti értékeinek pusztulása és megóvása
Területrendezés 1974. 3. sz. 55—59.**

A budapesti agglomeráció területrendezési terve
(Gerle Ervinnel és munkatársakkal)
BVTV kiadv. 1975. megjelent 200 példányban 417 p.
Szabó Ervin Könyvtár Bq 725/789

Hozzászólás a Budapesti Agglomeráció vitájához
„Budapest" 1975. 7. 28—29.**
Feljegyzések meg nem írt cikkekhez
„Budapest" 1975. 10. 12—13.
Modernség (Hozzászólás a tulipán-vitához)
Élet és Irodalom 1975. nov. 8.
Új publ.: Major M.—Osskó J.: Új építészet — új társadalom. Corvina kiadó 1981. 409—411.
Gondolatok a tömeges lakásépítés esztétikai kérdéseiről
Magyar Építőművészet 1975. 3. 60—61.
Korreferátum az „Összehangolt településfejlesztés és közlekedésfejlesztés időszerű feladatai" c. ankéton, 1975. okt. 9-én
MUT kiadvány 1976. 71—75.
A városépítés ökonómiai vetületei (Hozzászólás az MTA vitaülésén)
MUT kiadvány 1974. 52—53.
Településtudományi Közlemények 25. sz. 1975.
A tömeges lakásépítés esztétikai kérdései
Területrendezés 1975. 1. 65—73.
Elavult tömbök felújításos átépítése
Városépítés 1975. 1. 18—21.
Budapest 1945—1975
Városépítés 1975. 2—3. 18—20.
Városrekonstrukciós problémák a bécsi Duna-sziget létesítésénél (Tervpályázat '75)
Városépítés 1975. 5. 36.
A budapesti agglomeráció tervezett területfelhasználása és településszerkezete
Városépítés 1975. 6. 9—13.

Budapest településföldrajzi képe
Budapest urbanizációs gondjai, fejlődésének perspektívája
Budapest földrajza. Tankönyvkiadó 1976. 103—110 és 111—122.

A városrendezési tervezés néhány módszertani kérdése
Építés-Építészettudomány VIII. köt. 1—2. sz. 1976. 225—266.

Kételyeim (Hozzászólás a tulipán-vitához)
Magyar Építőművészet 1976. 2. 63.
Új publ.: Major M.—Osskó J.: Új építészet — új társadalom. Corvina kiadó 1981. 409—411.
Karbantartás-felújítás-újjáépítés Budapest belső kerületeiben
Valóság 1976. 12. 42—49.
Új publ.: Vélemények-viták a lakáspolitikáról. Kossuth Kiadó Bp. 1983. 55—67.
A Hilton-szálló a városképben
„Budapest" 1977. 3. 28—30.
Lakótelepek esztétikája
„Budapest" 1977. 6. 28—30. Idézi: Látóhatár 1977. 10. 215—217.
Környezetalakítás budapesti lakótelepeken
Területrendezés 1977. 2. 78—82.
A budapesti agglomeráció kisugárzásában fekvő községek fejlesztése
Területrendezés 1977. 4. 47—49.
Gondolatok a városrekonstrukció népgazdasági hatékonyságáról
Városépítés 1977. 4. 7—8.

„Modern építészeti lexikon", egyes címszavai
Műszaki Kiadó 1978.

Die Bedeutung der Ringstrassen für Wien und Budapest
Berichte für Raumforschung und Raumplanung. Heft 6. 1978. 32—35.
Die Wirksamkeit städtebaulicher Konzepte am Beispiel der Hauptstadt Budapest
Deutsche Akademie für Städtebau und Landesplanung
Mitteilungen 22. Jg. 1978. 1. 68—81.
A városrendezési koncepciók hatékonysága
Valóság 1978. 5. 53—59. Idézi: Látóhatár 1978. 7. 205—206.**
Kósa Zoltán 1902—1978
Magyar Építőművészet 1979. 4. 57.
Entwicklungs- und Planungsprobleme der Stadt Budapest
Schriftenreihe AIV Hamburg 1979. 4. 4—18.
Várostervezés ökológiai szemszögből
Búvár 1979. 3. 100—105.
Elavult városrészek felélesztése
Élet és Tudomány 1979. 6. 182—185.
Budapest anno 2000
Europäische Hefte 6. Jg. 1979. 1. 112—124.
Entwicklungs- und Planungsprobleme der Stadt Budapest
Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. Bd. 121. I. 1979. 107—127.
(Szabó Ervin könyvtár B 725/706)
A körutak jelentősége Bécs és Budapest számára
Műemlékvédelem 1979. 2. 141—146.
A Magyar Tanácsköztársaság városépítési tevékenysége
Városépítés 1979. 1. 2—4. Idézi: Látóhatár 1979. 8. 214—216.
Levél Perényi Imréhez a Hild János emlékéremmel való kitüntetése alkalmából
Városépítés 1979. 5. 15.
Történeti értékű városaink fejlesztése és rendezése
(Vác 1979. jún. 12. ankét zárszava)
Városépítés 1979. 5. 24.

Budapest és környékének helyrajza, műszaki fejlődése és építészete a két világháború között
Budapest története V. kötet Akadémiai Kiadó 123—175.

Utópia '38
„Budapest" 1980. 6. 10—12.
A főváros mostohagyereke: a Zugliget
„Budapest" 1980. 11. 31.
Tapiola vagy Békásmegyer?
Élet és Irodalom 1980. szept. 20.**
A lakótelepek esztétikai problémái és a kibontakozás lehetséges útja
SAVARIA Nyári Egyetem kiadv. 1980. 68—70.
Hörcher Ferencné—P. G.: A városépítési törvény előkészítésének tapasztalatai
Területrendezés 1980. 2. 59—61.

Walter Gropius
(lengyel nyelven)
Akadémiai Kiadó Budapest
Wydawnictvo Arkady Warszava
1981. 35 p + 60 ill.

Az „Általános Rendezési Terv" a Kiegyezéstől a Tanácsköztársaságig
„Budapest" 1981. 3. 32—33.
Az „Általános Rendezési Terv" a két világháború között
„Budapest" 1981. 6. 32—33.
Az „Általános Rendezési Terv" előzményei a felszabadulás után
„Budapest" 1981. 7. 15—17.
Az „általános terv" az ötvenes évek első felében
„Budapest" 1981. 10. 16—17.
Gabikám hol él maga? (Az első általános rendezési terv)
„Budapest" 1981. 12. 11—12.
Városépítészeti szempontok figyelembevétele a tervezési és városfejlesztési gyakorlatban
Építés-Építészettudomány XIII. köt. 3—4. sz. 1981. 235—299.
Családhelyzet-lakáshelyzet (beszélgetés)
Tudósklub. Válogatás a televízió műsorából
RTV Minerva kiad. Bp. 1981. 253—272.
Válasz a „Városépítés" kérdéseire
Városépítés 1981. 4. 4—5.
Jancsó Vilmos 1902—1981.
Városépítés 1981. 6. 39.

Walter Gropius
(német nyelven)
Akadémiai Kiadó Budapest
Henschel Verlag Berlin 1982. 42 p + 62 ill.

Neues Bauen in Ungarn
form + zweck 1982. 1. 43—48.
A magyar építészet útja a két világháború között
Műemlékvédelem 1982. 2. 114—131.
A rehabilitáció városrendezési kérdései a fővárosban
Településfejlesztés 1982. 2. 14—17.
Osztrák építészet 1945—1975 (kiállítás kritikája)
Városépítés 1982. 1. 33—34.
Mai célok és döntések a jövő városa számára
(Beszámoló az NSZK Városépítési Akadémia hamburgi közgyűléséről)
Városépítés 1982. 2. 32.
Városépítészeti szempontok a rehabilitációban
Városépítés 1982. 3. 4—7.
Town building aspects in the rehabilitation
Városépítés 1982. 3. English translation for SAVARIA 1982 Summer Courses 11—16.
Kazincbarcika
Városépítés 1982. 6. 14.
Az építész közérzete
Élet és Irodalom 1983. júl. 1.
Ist Gropius immer noch aktuell?
Farbe und Raum (Berlin) 1983. 5. 5—6.
Városépítészeti szempontok figyelembevétele a tervezési gyakorlatban
Hazai Műszaki-Gazdasági Tájékoztató
I. 1982. 8. sz. 61—64.
II. 1982. 9. sz. 63—66.
III. 1982. 10. sz. 60—63.
IV. 1982. 11. sz. 68—70.
V. 1982. 12. sz. 62—65.
VI. 1983. 1. sz. 69—70.
VII. 1983. 2. sz. 63—64.
VIII. 1983. 3. sz. 77—79.
Egy szigligeti nyaralóról
Lakáskultúra 1983. 3. 2—5.

Budapest arculatának változása az utolsó fél évszázadban
Magyar Építőművészet 1983. 3. 10—11.
Még mindig — Gropius?
Magyar Építőművészet 1983. 4. 58—61.

Ernst May
Akadémiai Kiadó Bp. 1983. 43 p + 59 ill.

A jövendő városszerkezetet meghatározó tendenciák
Városépítés 1983. 5. 33—34.

Vélemények-viták a városépítésről (szerk.)
Kossuth Kiadó Bp. 1984. 545 p.

Az ebben újraközölt, **-gal jelölt tanulmányok:

Szücs István — P. G. A budapesti agglomeráció 140—146.
A budapesti agglomeráció vitájához 160—163.
Budapest történeti értékeinek pusztulása és megóvása 208—215.
Tapiola vagy Békásmegyer? 398—403.
A városrendezési koncepciók hatékonysága 468—477.

Válogatás az utolsó évized magyar nyelvű szakirodalmából. In: Vélemények, viták . . ., 1984, 523—545.

„Épületet olvasni ugyan ki tanít kicsodát?"
Élet és Irodalom 1984. márc. 16.
Die Ungarische Urbanistische Gesellschaft
Berichte für Raumforschung und Raumplanung
28. Jg. 1984 Heft 1 25—26.

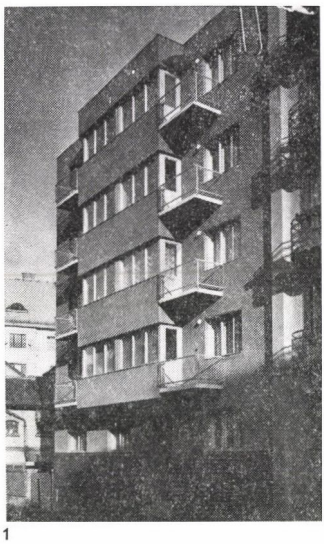
Megjelenés előtt:

Budapest helyrajza a Magyar Tanácsköztársaság idején
Tanulmányok Budapest múltjából 1984.
Az ötvenes évek építészetéről
Magyar Építőművészet 1984. 3. sz.
Egy budapesti építkezés 1934-ben
Magyar Építőművészet 1984. 4. sz.

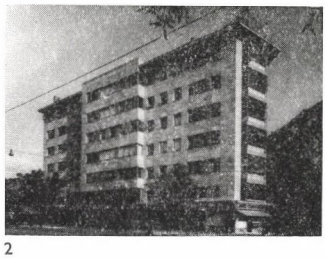
Építészeti alkotások

(Első publikáció helyének és idejének megadásával)

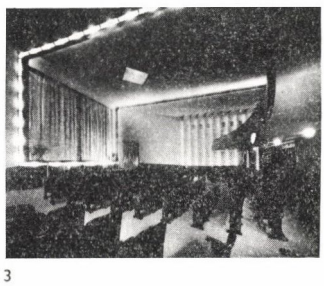
Érd, Tusculanum telep Ikerház 1931
Érd, Családi ház (parcellázási mintaház) 1932
Érdliget, Kúria 1932
Budapest, Gellérthegy u. 6. Négyemeletes bérház 1933
Tervezőtárs: Münnich Aladár
Tér és Forma 1933. 12.
Budapest, Káplár u. 7. Négyemeletes bérház (1) 1933
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Tér és Forma 1934. 1.
Budapest, Bartók Béla út 64. Hatemeletes bérház és mozi. A Weiss Manfréd-gyár nyugdíjintézete számára (2) (3) 1934
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Belső építész: Révész Zoltán
Tér és Forma 1934. 10.
Budapest, Erzsébet királyné út 30/b. Emeletráépítés
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Magyar Építőművészet 1934. 6—7.
Budapest, Köztársaság tér déli oldala 3 nyolcemeletes bérház az OTI nyugdíjintézete számára 1934
Tervezőtársak: Árkay Bertalan, Faragó Ferenc, Heysa Károly, Ligeti Pál, Molnár Farkas, Fischer József, Pogány Móric, Vadász Mihály
Tér és Forma 1935. 7.
Balatonföldvár, Strandfürdő 1935
Tervezőtárs: Vadász Mihály, Molnár Pál
Balatonföldvár, Nyaraló (4) 1936
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Tér és Forma 1938. 1.
Budapest, Zugló, Örs vezér útja 52. Családi ház 1936
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Budapest, Tusnádi út 34. Családi ház 1936
Tervezőtárs: Vadász Mihály
(Városi családi ház, Műszaki Kiadó, 1959. 229.)
Budapest, Bazin u. Családi ház 1936
Tervezőtárs: Vadász Mihály



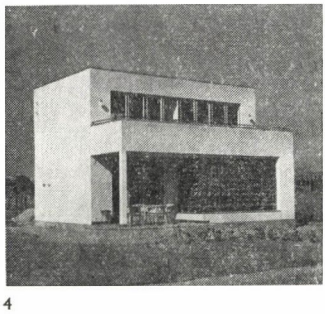
1



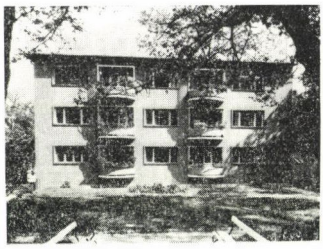
2



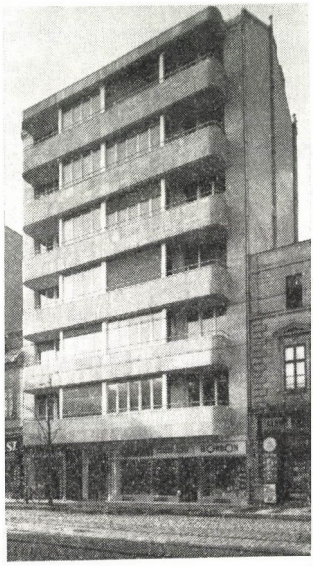
3



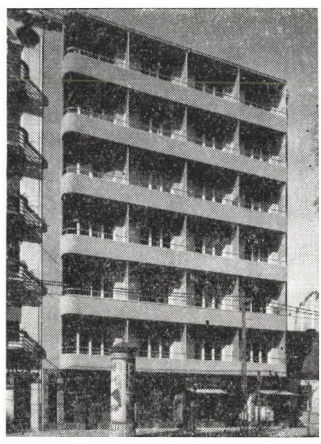
4



5



6



7

Budapest, Városmajor u. 26/a. Kétemeletes bérvilla (5) 1937
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Csepel, Kórház, emeletráépítés 1937
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Budapest, Krisztina krt. 137. Hatemeletes bérház (6) 1937
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Tér és Forma 1937. 7. sz.
Budapest, Mártírok útja 65. Hatemeletes bérház (7) 1937
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Tér és Forma 1937. 7. sz.
Újpest, Chinoin gyár gyermekotthona 1938
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Új Építészet 1948. 2.
Budapest, Kossuth Lajos tér. Hatemeletes bérház a Bauxit-nyugdíjintézet számára 1939
Tervezőtárs: Vadász Mihály, Wellisch Andor
Tér és Forma 1939. 8. sz.
Budapest, Csalogány u. 4/d. Négyemeletes bérház 1939
Tervezőtárs: Vadász Mihály
Budapest, Városmajor u. 52. Négyemeletes társasház (8) 1941
Tervezőtárs: Gerle György
Budapest, Hegyalja út 105. Családi ház 1942
Tervezőtárs: Gerle György
Budapest, Koszciuszkó Tádé u. 34. Négyemeletes bérház (9) (10) 1943
Tervezőtárs: Gerle György (11)
Tér és Forma 1943. 5.
Budapest, Endrődi Sándor u. 18/a. Családi ház 1943
Tervezőtárs: Gerle György
(Városi családi ház. Műszaki Kiadó 1959. 227. o.)
Csepel. Különböző üzemi épületek a Weiss Manfréd-gyár csepeli telepén 1942–1943
Pomáz: Kőhegyi menedékház emeletráépítés 1943
Budapest: Portál a Bajcsy-Zsilinszky út Arany János u. sarkán 1947
Tervezőtárs: Gádoros Lajos
Budapest, Dózsa György út. MÉMOSZ-székház 1948–1950

Tervezőtársak: Gádoros Lajos, Perényi Imre, Szrogh György
Magyar Építészet 1945—70 (Corvina) 101 p.

Budapest, Széchenyi rkp. Belügyminisztérium, (ma Pártszékház) 1947—1949
Tervezőtársak: Benkhard Ágost, Gábor László, Gádoros Lajos, Lévai Andor, Rudnai Gyula
Új Építészet 1947. 20. (építés közben)

Budapest, Béla király út. VIII. ker. Tanács gyermekotthona 1954

Budapest, Kékgolyó u. 1. Hatemeletes bérház 1961
Tervezőtársak: Kiss Albert, Mester Árpád
Magyar Építőművészet 1962. 5.

Budapest, Lágymányosi út, négyemeletes bérházcsoport (12) 1961
Magyar Építőipar 1962. 1.

Budapest, Lágymányosi úti lakótelep, iskola 1961
Tervezőtársak: Kiss Albert, Mester Árpád
Városépítés 1964. 2.

Budapest, Cseppkő utcai Münnich Ferenc gyermekotthon (13) 1964
Magyar Építőművészet 1965. 4. sz.

Szigliget, nyaraló 1. ütem 1969
2. ütem (14) 1974
Magyar Építőművészet 1969. 6. sz.
Callmeyer—Rojkó: Családi házak, nyaralók. Műszaki Kiadó, 1972. 84. o.
Lakáskultúra 1983. 3. sz.

Tervpályázatok

Belső Erzsébetváros egy tömbjének átépítése.
A Magyar Mérnök és Építész Egylet pályázata 1932
Tervezőtárs: Oblatt György 1. díj

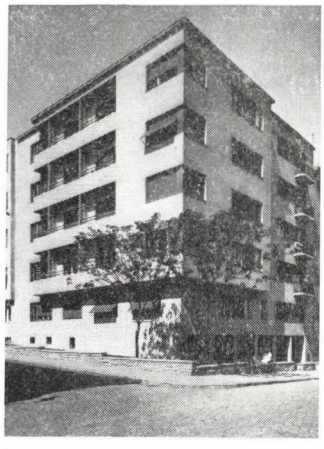
Tisza Kálmán tér (ma Köztársaság tér) déli oldalának beépítése.

Országos Társadalombiztosító Intézet tervpályázata 1934
Tervezőtárs: Vadász Mihály megosztott 1. díj

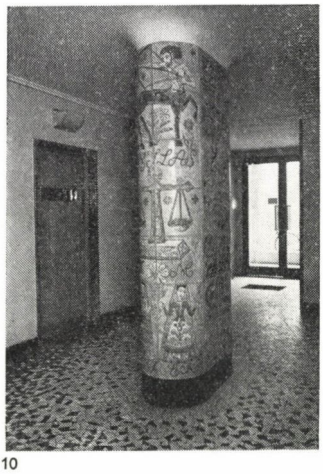
Duna-parti és Magdolnavárosi lakótelep beépítése
Tervezőtársak: Gádoros Lajos, Gerle György, Málnai László, Perczel Károly, Perényi Imre 1946
2. díj



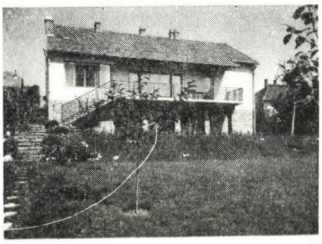
8



9



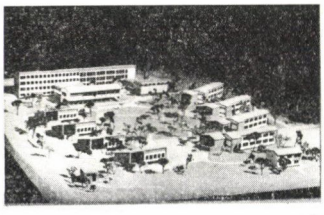
10



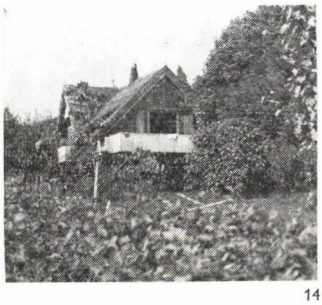
11



12



13



14

(Új Építészet 1946. 3. sz.)
Tér és Forma, 1946. 10—12. sz. 120.

Lánchíd—Erzsébet-híd közötti Duna-part beépítése
Tervezőtárs: Gádoros Lajos, Jankovich István, Málnai László 1947 megvétel
(Tér és Forma, 1946. 7—9. sz. 96.)

Építés és Közmunkaügyi Minisztérium tervpályázata
Lakóépület tervezése, 1947. Versenyen kívül megvett terv.
Tervezőtárs: Gádoros Lajos
(Új Építészet 1947. 8. sz.)

Óvoda típusterv
Népjóléti Minisztérium pályázata 1948.
Tervezőtárs: Gádoros Lajos díjazás
(Új Építészet 1948. 2. sz.)

MÉMOSZ-székház a Dózsa György úton.
Zártkörű pályázat
Tervezőtárs: Gádoros Lajos 1947 megbízás
(Új Építészet 1948. 3. sz.)

Tervpályázat a Gellért-szálló homlokzatának rekonstrukciójára
Tervezőtárs: Gádoros Lajos, Pfannl Egon 1. díj

Tervpályázat az Árpád-híd pesti hídfőjének rendezésére
Tervezőtársak: Brenner János, Kiss Albert, Mester Árpád 1957 1. díj
(Magyar Építőművészet 1957. 5—6. sz. 128.)

Tervpályázat a Duna-parti szálloda elhelyezésére
Tervezőtárs: Ürmössy Teréz, Pfannl Egon 1. díj
(Városépítés 1964. 1. sz.)

Tervpályázat a Nemzeti Színház elhelyezésére
Tervezőtársak: Ébert Ágoston, Preisich Katalin, m. társ: Pfannl Egon 1964 2. díj
(Magyar Építőművészet 1964. 6. sz. 5.)

Tervpályázat a MTESZ-székházra Rákóczi út-Múzeum krt. sarkán
Tervezőtársak: Vadász György, Preisich Katalin 1970 2. díj

Magyar Pantheon
Tervpályázat a Kerepesi-temető átrendezésére.
Tervezőtársak: Baracka Katalin, Zádory Attila 1972 2. díj

Dr. Preisich Katalin

KÖNYVSZEMLE

Dr. Zádor Mihály:

Műemlékek konzerválásának új módszerei. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1983. 280 oldal

A műemlékvédelem története során kezdettől fogva két fő tendencia érvényesült, amit a nemzetközi szaknyelv máig is konzerválás és restaurálás néven különböztet meg. Az egyik elsősorban az emlékek ránkmaradt állapotának megőrzését, azaz: konzerválását tartotta a fő feladatnak, a másik a bennük rejlő esztétikai és történeti értékek hiteles formában való visszaállítását.

Bizonyos történelmi szituációkban az egyik vagy másik tendencia átmenetileg nagyobb hangsúlyt kapott, aminek mindég felismerhető okai voltak. Így a század elején a XIX. század túlzott, historizáló újjáépítései ellenhatásaként alakultak ki Európaszerte a konzerválás mérnöki módszerei, pl. a rejtett vasbeton és acélszerkezetek alkalmazása a szerkezetek állékonyságának biztosítására. (Ma már azt is tudjuk, hogy ezek a beavatkozások egyes helyeken — így pl. napjainkban az athéni Akropolison — újabb súlyos problémák okozóivá váltak.)

A második világháború súlyos pusztításai újabb kérdések elé állították a műemlékvédelmet: a megsemmisült vagy súlyosan megsérült épületek ill. városrészek helyreállításának elvei és módszerei kerültek az érdeklődés előterébe. Itt elsősorban nem a technikai, hanem a történelemszemléleti, művészetelméleti valamint építészeti és urbanisztikai szempontok váltak kulcsfontosságúvá. A műemlékállomány hitelességének megőrzése, az európai építészeti örökség helyes értékelése, s a történelmi településekben az élet kontinuitásának biztosítása látszott a legsürgetőbb feladatnak. Efelé mutattak a nemzetközi élet mozgásai is, nem utolsó sorban az 1964. évi velencei kongresszus és az ott létrehozott Velencei Carta.

A magyar műemlékvédelem az európai fejlődésnek ebben a szakaszában ugyancsak az elvi kérdések tisztázását, egységes és korszerű kialakítását tartotta legsürgősebb feladatának, s ezen a téren rövidesen nemzetközi tekintélyre is tett szert.

Időközben azonban világossá vált, hogy a műemlékállomány megtartásának technikai fegyvertárát is tovább kell fejleszteni, különös tekintettel arra, hogy a hagyományos veszélyeztető tényezők mellett — mint a talajnedvesség, az időjárás, a szerkezetek természetes avulása — újabb veszélyek jelentkeznek, mint a levegő szennyeződése, a közlekedés okozta rázkódtatások, eddig ismeretlen biológiai tényezők hatásai, sőt az élet parancsoló szükségessége még olyan rendkívüli feladatokat is felvethet, mint az Abu Simbel-i sziklatemplomok áthelyezése.

Épp ezért az utóbbi évtizedekben világszerte felgyorsult a műszaki tudományok mellett a természettudományok: a fizika, kémia, biológia, geológia bekapcsolódása a műemlékek védelmének munkájába. Természetesen az új eljárások kidolgozása egy sor olyan hosszabb távú tudományos kutatómunkát, kísérleteket tett szükségessé, amelyekhez megfelelő laboratóriumok, műszerpark, szakembergárda és mindenekelőtt pénz volt szükséges. Így érthető, hogy ezek a kutatások elsősorban az iparilag fejlett országokban indultak meg és haladtak előre, ahol a műszaki fejlesztés gyorsabban képes igazodni a változó követelményekhez.

Magyarországon, ahol a műemlékvédelem huszonöt éves múltra visszatekintő mai szervezete csupán a hagyományos építőipari munkákra alkalmas saját műszaki apparátussal rendelkezik, saját kutatóbázis kifejlesztésére eddig nem volt lehetőség. Még az olyan, közvetlenül hasznosítható javaslat, mint a saját fotogrammetriai műszerpark felállítása sem valósulhatott meg. Ugyanakkor a Budapesti Műszaki Egyetemen Dr. Zádor Mihály professzor mintegy két évtizede felismerve a feladat időszerűségét és az abban rejlő lehetőségeket, hozzákezdett egy olyan kutatógárda megszervezéséhez, amely a Műegyetem különböző intézeteinek együttműködése útján, a meglévő eszközök felhasználásával képessé vált a konzerválás új technikai—technológiai eljárásaira vonatkozó kutatások megindítására.

Az Országos Műemléki Felügyelőség

— saját technikai-tudományos kutatóbázis hiányában — örömmel karolta fel ezt a kezdeményezést, és az évek során gyümölcsöző együttműködés alakult ki a két intézmény között. Az elmúlt évtizedben számos olyan kutatás indult meg, amely nemcsak a szorosanvett műemléképületek konzerválásának ügyét, hanem tágabb értelemben a meglévő épületállomány egészének fenntartását is szolgálta, s az Építészettörténeti és Elméleti Intézet — 1975-ben felállított saját Műemlékvédelmi Laboratóriumával — mintegy kiegészítő technikai és technológiai kutatóbázisává vált az OMF saját műszaki és tudományos apparátusának.

Dr. Zádor Mihály most megjelent könyve „Műemlékek konzerválásának új módszerei" címmel ennek a közel két évtizedes munkának az eredményeit összegzi. Ez a házagpótló kézikönyv az első olyan önálló kötet a magyar szakirodalomban, amely arra vállalkozik, hogy átfogó képet adjon a műemlékek konzerválásával kapcsolatos technikai problémákról, és az azok megoldására tett újabb erőfeszítésekről.

A könyv elsősorban azokkal a kérdésekkel foglalkozik részletesen, amelyek terén a BME Műemlékvédelmi Laboratóriumában a szerző irányításával saját kutatómunka és széles körű gyakorlati tapasztalat alakult ki az utóbbi időben. Ezek: a talajnedvesség elleni védelem, a felületvédelem, a romfalak konzerválása és a kőemlékek konzerválása. Mindezek alapvető követelményeként az épületek helyreállítást megelőző korszerű épületdiagnosztikai vizsgálatait állítja előtérbe. Ennek feladata az épületek anyagairól és szerkezeteiről olyan részletes és pontos információkat szerezni, amelyek mindenféle beavatkozásnak alapjául szolgálnak s amelyet a szerző találóan a koszerű orvostudomány diagnosztikai eljárásainak fejlődésével ill. azok jelentőségével hoz párhuzamba. Ezek a vizsgálatok hivatottak világos képet adni az egyes műemlékek műszaki állapotáról, a pusztulás mértékéről és okairól.

A megelőző vizsgálatok egy része nem csupán a műszaki állapot megismerését szolgálja, hanem az építészettörténeti dokumentációt is. Ezek közé tartozik a fotogrammetriai felmérés módszere is, amelyet egyes európai országokban már igen magas színvonalra fejlesztettek. A könyv ismerteti ennek előnyeit és lehetőségeit, de azokat a problémákat is, amelyek ennek széleskörű hazai elterjedését eddig nem tették lehetővé.

Hasonlóképpen az építészettörténeti kormeghatározásra is felhasználhatók a habarcsok analizálására szolgáló eljárások.

Az épületszerkezetek egyik legnagyobb ellensége a nedvesség, mely a különböző építőanyagok korróziójának legfőbb okozója. Mint Zádor professzor emlékeztet rá, már elődei: Möller és Csányi professzorok is elsőrendű fontosságúnak tanították a felszálló nedvesség elleni védelmet. Azóta az utólagos falszigetelésnek több korszerű eljárása alakult ki, mint az elektro-ozmotikus vagy a töltéskompenzációs módszer. Legújabban kerültek előtérbe Európa-szerte a különböző kémiai falszigetelések, amelyek között Magyarországon úttörő jelentőségű a szerző és munkatársai által szabadalmaztatott Szilikofób-Anhydro eljárás.

A nedvesség elleni védelem további területe a felületvédelem, amely egyrészt a homlokzati vakolatok, másrészt a hazánkban különösen gyakori romfalak csapadék elleni konzerválását célozza. Mindkettőnek feladata, hogy a külső felületeket oly módon tegye víztaszítóvá, hogy azok egyrészt megőrizzék a szerkezetek légzőképességét, másrészt láthatatlanok legyenek. A kötet részletesen ismerteti a különböző használatban lévő védőbevonatok adatait, előnyeit és hátrányait.

Külön fejezet foglalkozik a műemlékvédelem nemzetközi viszonylatban is legégetőbb problémájával: a kőanyagok, kőfaragványok pusztulása elleni védekezéssel. A műemlékek nagyrészt kőből faragott építészeti részletei, szerkezetei az utolsó száz évben rohamos pusztulásnak indultak Európa-szerte, aminek legfőbb oka a levegő szennyeződésének, főleg kén-dioxid tartalmának fokozódása.

A kőkonzerválás vegyi eljárással kétféle célt szolgál: egyrészt a még ép felületek védelmét, másrészt a már mállásnak indult kövek szilárdítását. Míg az előbbire már vannak megnyugtató eljárások, melyek meghatározott időre védelmet nyújtanak, addig az utóbbi még nemzetközi viszonylatban is kísérletezés stádiumában van.

A könyv sokoldalú képet nyújt a kőkonzerválás nemzetközi helyzetéről, a különböző kísérletekről és irányzatokról, tárgyilagosan feltárva a még nyitott kérdéseket, de a már használhatónak bizonyult eredményeket is. Ez utóbbiak ismeretében nem lehet eléggé helyeselni a szerzőnek azt a javaslatát — melyet egyébként már e sorok írója is felvetett a maga területén —, hogy a műemlékek értékes kőrészeinek konzerválásáról gondoskodni kellene. Ennek hiányában sajnos mindinkább terjed a kőrészletek és szobrászati díszek újrafaragásának módszere, aminek következtében félő, hogy a műemlékek legértékesebb formai részletei végül csak másolatokban fognak fennmaradni.

Néhány rövidebb fejezet a kötet végén tájékoztatást nyújt a vályog- és vert falazatú népi építészeti emlékek, a faanyagok

és fémek konzerválásáról, a műemlékhely-reállítások néhány szerkezeti és statikai problémájáról, végül beszámol arról a posztgraduális műemlékvédelmi szakmérnökképzésről, amely a BME Építészettörténeti és Elméleti Intézetének keretében szintén Zádor professzor vezetésével folyik immár nyolcadik éve.

A bőséges irodalommal és ábraanyaggal felszerelt könyv érdeme, hogy közkinccsé teszi mindazokat az eredményeket, amelyek eddig jórészt csak kéziratos dokumentációk és jelentések formájában voltak hozzáférhetők, és ezzel ráirányítja a figyelmet az épületek konzerválásának kevéssé ismert újabb technikai-technológiai eljárásaira. Gazdag információ-anyagával elősegíti a tisztánlátást ezen szakmai körökben sokszor vitatott területen.

A magyar műemlékvédelem jelenlegi gyakorlatát illető, visszatérően kemény kritikáival vitába szállni nem volna értelme. Egyrészt azért mert e bírálatok egy része — mint azt a kőkonzerválásoknál láttuk — jogos. Másrészt azért, mert az új eljárások bevezetésével kapcsolatos óvatosság ill. fenntartások egy részét éppen a szerző által tárgyilagosan közölt tények mint pl. bizonyos kísérletek még le nem zárt volta, bizonyos technikai feltételek biztosításának meglévő nehézségei, vagy a hagyományos eljárások sokszor jóval alacsonyabb költségei — motiválják. Végül, de nem utolsó sorban pedig azért, mert mint az a könyv sok helyén visszatérően olvasható: a kutatások jó része éppen az Országos Műemléki Felügyelőség megbízásából ill. kezdeményezésére készült.

Ami épp ezért félreérthető a műemlékvédelmen kívül álló olvasó számára, az csupán a műemlékvédelem alapvető szemléleti változásnak, az elvi-metodikai koncepció új alapokra való helyezésének sürgetése. Hogy a magyar műemlékvédelem alapvetően helyes elvi és módszertani úton jár, azt az elmúlt évtizedek nemzetközi elismerései is bizonyítják. Helyesebbnek tűnik úgy fogalmazni, hogy ezt a koncepciót — kétségtelenül — tovább kell fejleszteni a korszerű technikai-technológiai eljárások mind szélesebb körű alkalmazásának irányába. Reméljük, hogy erre a jövő gazdasági és ipari fejlődése s maguknak a módszereknek tökéletesedése lehetőséget fog nyújtani.

Dr. Horler Miklós

СОДЕРЖАНИЕ

Д-р Шандор Калиски: Поведение динамически нагруженных конструкций в пластическом состоянии 305
Д-р Пал Чонка: Свободно опирающаяся плита формы рвностороннего треугольника, с трехкратно симметричной нагрузкой 343
Д-р Эндре Дулачка: Коэффициент надежности применительно к испытанию оболочек на устойчивость 351
Д-р Жолт Гашпар: Чуствительность к несовершенству при близко размещенных критических точках 367
Д-р Йожеф Дьёрди — Антал Ловаш: Расчет собственного колебания стенных конструкций на основе рамочной модели, заполненной дисковым и панельным элементами 385
Д-р Марта Ковач-Куруц: Анализ субдифференциального закона материала в одноосном напряженном и деформационном состоянии 409
Д-р Тибор Тарнаи: Тезисы и формулы типа Данкерли теории устойчивости конструкций 427
Владимир Слапета: Современная архитектура в Брне 469

Обзор

Габору Преизиху 75 лет *(Мате Майор)* 513
Биография и творчество Габора Преизиха *(д-р Каталин Преизих)* 514

Обзор книг

Д-р Михай Задор: Новые методы консервации архитектурных памятников *(д-р Миклош Хорлер)* 529

CONTENTS

Dr. Sándor Kaliszky: Plastic Behaviour of Structures under Dynamic Load 305
Dr. Pál Csonka: Simply Supported, Regular Triangular Plate under Trisymmetric Load 343
Dr. Endre Dulácska: Safety Factor for the Stability Analysis of Shells 351
Dr. Zsolt Gáspár: Sensitivity to Imperfections in Case of Close Lying Critical Points 367
Dr. József Györgyi—Antal Lovas: Calculation of the Natural Frequency of Wall Structures Using a Model of a Framework Filled with Plate and Slab Units 385
Dr. Márta Kurutz-Kovács: Analysis of the Subdifferential Constitutive Law for Uniaxial Stress/Strain Condition 409
Dr. Tibor Tarnai: Dunkerley-Type Theorems and Formulae of the Theory of Structural Stability 427
Vladimir Šlapeta: Modern Architecture in Brno 469

Review

Gábor Preisich — 75 years *(Máté Major)* 513
Life and Activity of Gábor Preisich *(Dr. Katalin Preisich)* 514

Book Review

Dr. Mihály Zádor: Recent Methods of Monuments Conservation *(Dr. Miklós Horler)* 529

INHALT

Dr. Sándor Kaliszky: Verhalten dynamisch belasteter Konstruktionen in plastischem Zustand 305
Dr. Pál Csonka: Die frei aufligende Platte von gleichmäßiger Dreieckform unter dreifach symmetrischer Last 343
Dr. Endre Dulácska: Der bei der Stabilitätsuntersuchung von Schalen anzuwendende Sicherheitsfaktor 351
Dr. Zsolt Gáspár: Mangelhaftigkeitsempfindlichkeit bei naheliegenden kritischen Punkten 367
Dr. József Györgyi—Antal Lovas: Berechnung der Eigenschwingungszahlen von Wandkonstruktionen anhand eines durch Scheiben- und Großplattenelemente ausgefüllten Rahmenmodells 385
Dr. Márta Kovács-Kurutz: Analyse des subdifferentialen Materialgesetzes in einachsigem Spannungs- und Formänderungszustand 409
Dr. Tibor Tarnai: Thesen und Formeln Typ Dunkerley der Stabilitätstheorie der Konstruktionen 427
Vladimir Šlapeta: Die moderne Architektur in Brno 469

Rundschau

Der 75jährige Gábor Preisich *(Máté Major)* 513
Lebensbeschreibung und Tätigkeit von Gábor Preisich *(Dr. Katalin Preisich)* 514

Bücherschau

Dr. Mihály Zádor: Neue Methoden zur Konservierung der Baudenkmäler *(Dr. Miklós Horler)* 529

SOMMAIRE

Dr. Sándor Kaliszky: Comportement sous charge dynamique des constructions en état plastique 305
Dr. Pál Csonka: Plaque triangulaire régulière s'appuyant librement, sous charge triplement symmetriques 343
Dr. Endre Dulácska: Le facteur de sécurité à employer dans l'étude de stabilité des coques 351
Dr. Zsolt Gáspár: Sensibilité aux insuffisances en cas de points critiques rapprochés 367
Dr. József Györgyi—Antal Lovas: Calcul des fréquences propres des structures de mur à l'aide d'un modèle en cadre, hourdé par des éléments de disque et de grands panneaux 385
Dr. Márta Kovács-Kurutz: Analyse de la loi subdifférentielle de la matière, ó l'état de contrainte et de déformation monoaxial 409
Dr. Tibor Tarnai: Thèses et formules du type Dunkerley de la théorie de stabilité des constructions 427
Vladimir Šlapeta: L'architecture moderne à Brno 469

Revue

Gábor Preisich a 75 ans *(Máté Major)* 513
Biographie et activité de Gábor Preisich *(dr. Katalin Preisich)* 514

Revue des livres

Dr. Mihály Zádor: Méthodes nouvelles de conservation des monuments historiques *(dr. Miklós Horler)* 529

A kiadásért felelős az Akadémiai Kiadó és Nyomda főigazgatója.
Műszaki szerkesztő: Sándor István
A kézirat a nyomdába érkezett: 1984. I. 31. – Terjedelem: 22,05 (A/5) ív
84.12913 Akadémiai Kiadó és Nyomda, Budapest – Felelős vezető: Hazai György

Ára: 70 Ft
Évi előfizetés: 140 Ft

ISSN 0013—9661

INDEX: 26.213