

# A KÖNNYŰSZERKEZETES KUTATÁS NÉHÁNY KÉRDÉSE

SEBESTYÉN GYULA  
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium és az Országos Műszaki Fejlesztési Bizottság az elmúlt év alatt a könnyűszerkezetes kutatási célprogram keretében széleskörű kutatómunkát indított el. Számos hazai kutató szervezet, az ÉTI, az ÉMI, a BME és mások vettek és vesznek részt ebben a munkában. Jelen tanulmány e kutatómunka néhány aktuális problémájával foglalkozik.

## 1. Épületfizika és épületgépészet

A hazai épületfizikai kutatás által megalkotott „ME 30—65 Műszaki Előírás épületek és épületszerkezetek hőtechnikai méretezése” c. szabályzat a könnyűszerkezetes építés problémáinak többségére is kiterjed. Ennek ellenére ezt az előírást előbb vagy utóbb át kell dolgozni, az alábbi négy fő ok miatt.

a) Mai felfogásunk szerint a műszaki előírásoknak csak a kielégítendő követelményeket kell tartalmazniuk. Ez az előírás — egyéb szabályzatainkhoz hasonlóan —, sok olyan részt tartalmaz, aminek szakkönyvben, tankönyvben, segédletben, de nem szabályzatban lenne helye. Ilyen például az üreges, réteges, bordás határoló szerkezetek hőátbocsátási tényezőjének ( $k$ ) számítására javasolt közelítő képletek. Ezek ma is helyesek, de ugyanerre a célra más módszerek is rendelkezésünkre állnak. Így a hőáramlás síkbeli vagy térbeli differenciálegyenlete a szokásos numerikus módszerekkel (differencia-egyenletek iteratív vagy relaxációs megoldása) elektronikus számítógéppel vagy a nélkül megoldható, fizikai modellel leképezhető.

A jövőben nagyobb súlyt indokolt helyezni a matematikai és a fizikai modellezésre, mivel ezek segítségével az épületek komplexen vizsgálhatók, illetve a különböző hatások előzetesen értékelhetők.

b) A könnyűszerkezetes építés bizonyos problémáival az ME 30—65 még nem foglalkozott, illetőleg ezekre nézve helytelen előírást tartalmaz. Így például előírja, hogyha a külső falszerkezet tömege kisebb, mint  $300 \text{ kg/m}^2$ , úgy a hőátbocsátási tényezője kevesebb legyen, mint  $1,20 \text{ kcal/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

\* Építéstudományi Intézet Budapest, XI., Diószegi u. 37.

Ez a követelmény nem tartható be, ha a teljes homlokzati falfelület üvegből készül, mert ekkor a  $k$  értéke legalább 2,60. A tapasztalat bizonyítja, hogy az ilyen üvegfal bizonyos tervezési elvek betartása mellett teljesen megfelelő lehet (például repülőtéri várócsarnokokban), ha a homlokzat északi tájolású vagy megfelelően árnyékol, ha a mögötte levő tér levegője hűtött, télen pedig valamelyest magasabb hőmérsékletre fűtött.

c) Bizonyos építésfizikai kérdésekben kutatás szükséges még a megfelelő szabályozáshoz. Ide tartozik például a szellőztetett légrétegnek, illetőleg burkolati kérgének a viselkedése.

A könnyűszerkezetes építéssel kapcsolatos épületgépészeti kutatások közül kiemelendő a *légtechnikai* fejlesztés néhány kérdése. Bár megfelelő épületszerkezeti kialakítás (elsősorban árnyékolás) gyakran szükségtelenné teheti a bonyolultabb légtechnikai berendezést, sok esetben erre mégis szükség van.

d) Az épületszerkezetek hőtechnikai méretezésénél lényegesebb az épület egészének mint „zárt tér”-nek a hőtechnikai vizsgálata. Ebből a szempontból figyelemreméltó eredmény, hogy az Építéstudományi Intézetben kidolgozott számítógépes program segítségével már a tervezés kezdeti fázisában néhány építészeti alternatívára meghatározható a belső hőmérséklet várható alakulása, s ezek ismeretében a változatok közül kiválasztható a legkedvezőbb megoldás.

*A hazánkban jelenleg gyártott légbeszívó és légkifúvó szerkezetek, valamint az anemosztátok* teljesen elavultak, áramlási és esztétikai szempontból kifogásolhatók. Célszerű — a korszerű szerkezetek kialakítását megelőző kutatási eredmények átvétele és az extrudált alumínium profilok minél nagyobb mértékű felhasználása céljából — valamelyik vezető céggel kooperációs gyártás iránti tárgyalásokat kezdeményezni.

A kutatás (az ÉTI) közreműködhet a kooperációs gyártás megalapozásában és a további fejlesztésben, áramlási és akusztikai szempontból optimális szerkezetek kialakításában. E célból jelenleg az ÉTI-ben tanulmány készül az igényeket kielégítő szerkezet-választék és típusok meghatározására.

Kutatás-igényű a szellőztetett lámpatestek gyártásának meghonosítása. Az álmennyezetbe süllyeszthető lámpatesteket elszívó anemosztátnak használják, ezzel a világítási hőterhelés számottevően csökkenthető a szellőztetett (kondicionált) térben. A lámpatestek a gyártott (gyártani tervezett) álmennyezettel (szerkezeti kialakítás és méretek), továbbá a hazai világító testekkel (fénycső) vannak kapcsolatban, következésképpen külföldi típusok átvétele sem nélkülözheti a laboratóriumi méréseket (beleértve a világítás-technikai vizsgálatokat is).

A légvezetési célra jelenleg gyártott csőanyag rendkívül anyagigényes, csőkötései elavultak.

Az országban rendelkezésre áll a köralakú csöveket gyártó Spiró berendezés, de a felhasználás körét gátolja, hogy nincs az országban „négyszögletesítő” adapter; a síkba fejthető elemrészekből korcolással összeállított idomok korszerűtlenek, kézimunka igényesek, viszont nem gyártanak préselt idomokat. Külföldön kialakult formák kaphatók, célszerű megvásárolni a présszerszámokat.

Előbb-utóbb meg kell honosítani a flexibilis légtechnikai csővezetékek gyártását, mert e csőtípussal a készülékek, szerkezetek csőhálózathoz kapcsolásának helyszíni élőmunka igénye jelentősen csökkenthető. Az ilyen célú csővezetékeket műanyag-, fém-kombinációból, sőt rozsdamentes acélból gyártják. Ez utóbbit, főleg a gázprogram megvalósításához, a régi kémények bélelésére is számításba lehet venni (Angliában ezt a megoldást elterjedten használják), mert a kémények gáz égéstermék elvezetésére szolgáló megoldásai nem kiforrottak.

A légműködési, akusztikai csillapító csőszakasz gyártása megoldatlan (jelenleg egyetlen típust gyártanak). Itt is külföldi eredmények, típusok gyártásának átvétele indokolt. Az Építéstudomány Intézet közreműködhet a kutatás-fejlesztés területén, különösen a kombinált csillapítók (mélyhang elnyelés üregrezonátorsorozattal, magashang elnyelés abszorpciós anyaggal) kifejlesztésében.

A *légtechnikai központokat* a legnagyobb gyakorisággal építőelemes rendszerben gyártják. A jelenleg hazánkban gyártott típus korszerűtlen (nehéz szögvas keret, vastag lemez, vas hőcserélő alkalmazása, zajos stb.), és nem elegendő mennyiségben gyártják. A „szokzónás központ” területén gyári műszaki korszerűsítés célszerű. Ehhez szükséges kutatás, mérés, a hőcserélők (kaloriferek) korszerűsítése (alumíniumlamella, alucső), akusztikai csillapítóelemek kidolgozása (építőelemes adapter, nedvesítővel).

Külföldön gyártanak szabadterben elhelyezhető klímaközpontokat. Ennek hazai megfelelője nincs. A tetőre elhelyezhető központ előnye az egy egységben beszerelés, épület helyigénye nincs. Vagy külföldi típust kell adaptálni, vagy itthon kell az iparnak a kutatással közösen kifejleszteni ilyen szabadterei központokat.

Jelenleg Magyarországon csak dugattyús kompresszoros vízűtő egységeket gyártanak, viszonylag kis egységteljesítménnyel, szabályozásuk nem korszerű és a tartomány szűk.

Egyelőre helyesebbnek látszik a turbokompresszoros, továbbá abszorpciós vízűtőegységek importja.

Kooperációs gyártásban célszerű viszont meghonosítani a közvetlen gáztüzelésű abszorpciós hűtőegységek (kondicionáló egységek) gyártását. Az ÉTI a Diósgyőri Gépgyárral közösen kialakított egy típust, de a gyártmány család összes egységének gyártását célszerű az említett módon gyorsítani.

Nagy feladat az állattenyésztési épületek légtechnikai berendezéseinek fejlesztése. Ezen belül kutatási cél lehet különösen mezőgazdasági célú felhasználásra alkalmas közvetlen olajtüzelésű abszorpciós hűtőegységek kifejlesztése.

A jelenlegi víz-, csatorna-szerelési technológia már lehetővé teszi korszerű könnyűszerkezetes szerelési eljárások alkalmazását. Itt elsősorban a könnyűszerkezetű vizes térelemek alkalmazására gondolok, amelyekkel kapcsolatosan mind külföldön, mind belföldön tapasztalatok állnak rendelkezésre. Célszerű lenne kialakítani olyan könnyűszerkezetes vizes térelemegységeket, amelyek az épület egyéb szerkezeteivel együtt üzemben előregyárthatók és a helyszínen a szerelési munka csupán néhány órás csőkapcsolási munkára korlátozódnék.

E téren az Építéstudományi Intézet első lépcsőként a lakóépületek könnyűszerkezetes vizes térelemeit kutatja és alakítja ki. A továbbiakban az üzemi és az irodaépületek egészségügyi mellékhelyiségeinek, illetőleg vizes helyiségeinek könnyűszerkezetes kialakítására is sor kerülhet.

## 2. Műanyagok mechanikája

A műanyagokkal kapcsolatos mechanikai kutatásra annak ellenére szükség van, hogy a közeli években nem tervezzük műanyag teherhordó szerkezetek bevezetését. A műanyagok azonban széleskörűen alkalmazásra kerülnek *habok* formájában, amikor is támasztó szerephez jutnak. Ennek során és egyéb szerkezetek kialakításánál növekvő fontosságú a ragasztás; ezen felül fokozatosan számítani lehet az *üvegszálvázás műgyanták* növekvő alkalmazására.

A műanyagok két fontos tulajdonsága tér el a fémekétől: a *kúszás* és az *anisotrópia*. A kúszás (és ezzel együtt a fáradás) statikus terhelés hatására is bekövetkezik; így a műanyag-szerkezetek méretezését a Hooke-törvény helyett bonyolultabb, nem-lineáris anyagtörvényre kell alapoznunk, és ezt tovább bonyolítja az, hogy a műanyagok szilárdsági tulajdonságai összetételüktől és megmunkálásuktól függően az igénybevételi irányoktól függenek.

A műanyagok mechanikája terén külföldön már eddig is hatalmas kutató munkát végeztek. Ennek eredményeként olyan elméleti matematikai modelleket, fél-empirikus anyagegyenleteket és méretezési összefüggéseket dolgoztak ki, amelyekkel — bár gyakran csak igen bonyolultan — a méretezési feladatok elvégezhetőek. A kutatások méretére jellemző az a közlés, hogy az Amerikai Egyesült Államokban a műanyag gyártó cégek évi 40 millió dollárt fordítanak a műanyagok építőipari alkalmazásainak a kutatására. Nyilvánvaló, hogy Magyarországon tényként kell elfogadni, hogy másutt a mi lehetőségeinket sokszorosan meghaladó erők állnak e célra rendelkezésre. Ennek ellenére fel kell készülnünk a műanyag-szerkezetek mechanikai kutatá-

sára és vizsgálataira, mert jelenlegi körülményeink e célra nem kielégítőek. Nem szabad elfelejteni, hogy az alakváltozások függnek a terhelések időbeli lefolyásától és nagyok érzékenyek a hőmérsékletre. A vizsgálati környezetet, a vizsgáló eszközöket és módszereket tehát e körülményekhez kell igazítanunk, annál is inkább, mert e területen a pusztán elméleti számítások mellett mindig szükség lesz a modell méretű és teljes nagyságú ellenőrző szerkezeti vizsgálatokra. A kutatási programmal messzemenően támaszkodni kell a nemzetközi, különösen a KGST keretében lehetséges munkamegosztásra, aminek a mechanikai kutatásokban már eddig is pozitív eredményei voltak.

### *3. Szerkezeti-gyártási fejlesztési kutatás*

A könnyűszerkezetek tervezésekor olyan összetett hatásokat kell figyelembe venni, amire a szerkezettervezés eddigi gyakorlatában nem volt szükség. Ennek egyik legutóbbi példajaként megemlítendő, hogy az IPARTERV, a Magyar Alumíniumipari Tröszt és a 31. sz. Állami Építőipari Vállalat népgazdasági szinten nagyraértékelt kezdeményezése nyomán megvalósult a hűtőházi és egyéb építkezések céljára a poliuretánhabbal kitöltött bordás alumínium-szerkezet hazai gyártása.

Az egyenletesen bordázott acél vagy alumíniumlemezek gyártása elsődlegesen a lemezek teherhordó tulajdonságainak a növelése érdekében fejlődött ki. Ennek során a lemezeknek önálló teherhordó szerepük volt és így bordázásuk teljes szélességükben előnyös volt, mert ez inercia-nyomatékukat és teherbírásukat növelte.

E szerkezetek továbbfejlesztéseként két oldalukon sík hőszigetelő réteget erősítettek hozzá az ilyen bordás lemezekhez. Általában a hőszigetelő réteg a teherviselésben ilyenkor sem vett részt és így a szerkezet keresztmetszeti kialakítására az előzőekben kifejtettek érvényesek. Elvileg már itt is felmerül annak a lehetősége, hogy nyíróerő felvételére alkalmas, ragasztás révén együttdolgozó szerkezetet hozzanak létre, ez azonban e szerkezeteknél nem valósult meg.

Új helyzetet hozott a poliuretánhabbal való kitöltés. Minthogy a poliuretánhab és a fémlemez között intenzív tapadás érhető el, a hab támasztó szerephez jut, sőt kétoldali fémlemez esetén a teljes szerkezet tekinthető teherhordónak. Ebben az esetben a sűrű és mély bordázás már nem szükséges, elegendő kevesebb és ritkább bordázás, sőt minthogy a semleges tengely ilyen esetben a szerkezet mértani tengelyébe kerül, a bordák mélységének és számának a csökkentése inkább előnyös.

A bordás lemezeket falszerkezetként általában függőleges bordázattal használják és amennyiben sík hőszigetelő réteg kerül a bordás lemezek mögé, úgy a lemezek mögött egyenletesen elosztva trapéz keresztmetszetű légrétegek jönnek létre. A nemzetközi építési gyakorlatban ezt arra használják

ki, hogy „szellőztetett” légréteget képezzenek ki és ezáltal belső, kevésbé párazáró burkolatok esetén is megelőzzék a szerkezetben a páralecsapódást. Ebben az esetben tehát az egyenletes bordázás, építésfizikai szempontból indokolt.

A bordás lemezek poliuretánhabbal való kitöltése és a belső oldalon párazáró burkolati réteg esetén a bordákra építésfizikai szempontból nincs szükség. Minthogy légréteg nincs, ritkábban elhelyezett, kisebb mélységű bordák is elegendők.

Magától értetődik, az, hogy a gyártó gépsor és az alakítási munka költségesebb, ha több és minél mélyebb bordát kell készíteni. Ha tehát statikai és építésfizikai szempontból kevesebb és esetleg kisebb mélységű borda elegendő, úgy gazdaságossági szempontból indokolt erre berendezkedni.

Külföldön (NSZK-ban, NDK-ban stb.) gyártott szerkezetek ezen elvek alapján a Magyarországon alkalmazottnál kevesebb bordázattal kerültek kialakításra.

Figyelembe veendő azonban a poliuretánhab és az alumíniumlemez tapadásának a kérdése. Megfelelő anyagú közbenső réteg (Haftvermittler) esetén síklemezhez is jól tapad a poliuretánhab. A szerkezet tervezésekor a megfelelő tapadás érdekében látszott szükségesnek a sűrű bordázat. A kialakított bordázatot ez indokolja és e bordázat jóval kisebb mélységű, mint a tisztán teherhordó funkciójú bordás lemezeké. Vizsgálni kell azonban a habosítás módját és a tapadást, mert ez visszahat a lemez profilozására.

Az előbbieken kifejtettek alapján látszik, hogy elég bonyolult (statikai, építésfizikai, műanyagvegyészeti, alumínium-megmunkálási) kölcsönhatásokkal állunk szemben, és e tényezők komplex vizsgálata alapján esetleg kedvezőbb keresztmetszet (pl. ritkább és kisebb mélységű bordázat) érhető el.

A technológiai fejlesztési kutatással kapcsolatos problémák összetett jellegéről ma már számos más hasonló tapasztalattal rendelkezünk. Új korszerű könnyűszerkezetek gyártásának a kifejlesztése igen nagy költséget, munkaráfordítást igényel. Ebből következik a helyi és nemzetközi munkamegosztás fontossága. Már utaltam a KGST keretében szükséges és lehetséges együttműködésre. A nemzetközi együttműködés más országok kutató szervezeteivel is kívánatos. Ennek egyik eszköze a CIB, az építőipari kutató intézetek nemzetközi szövetsége, amelynek 56 sz. szervező csoportja 1971 áprilisában Budapesten szervezi az alacsony könnyűszerkezetes épületek kérdéséről szimpóziumját. A szimpóziumon több, mint 30 előadás fog elhangzani különböző országok szerzőitől és bizonyára ez is hozzá fog járulni ismereteink szélesítéséhez, elmélyítéséhez.

A hazai építőipari kutatás feladata a nemzetközi műszaki fejlődés figyelemmel kísérése a könnyűszerkezetű építésben. E fejlődés egyes tényezőinek a megismerése és elemzése alapján lehet és kell állástfoglalni a tekintetben, hogy mely fejlesztési eredményeket vegyünk át a hazai gyakorlatba és mi

legyen az a viszonylag szűk kör, amelyen saját hazai önálló kutatást kell végezni. A tapasztalatok azt mutatják, hogy rendkívül érdekes, felelősségteljes és hasznos munka a világ különböző országaiban megvalósuló, gyakran igen ellentétes fejlődési irányok elemzése, annak megállapítása céljából, hogy Magyarország számára milyen irány elfogadása a legcélszerűbb.

A fentiekben kifejtettek azt igazolják, hogy a könnyűszerkezetes építésmód bevezetése és széleskörű hazai elterjesztése során az építőipari kutató szervezetekre igen nagy és felelősségteljes munka hárul.

### Hozzászólások

*Halász Ottó*, a műszaki tudományok kandidátusa:

A könnyűszerkezetes építésmód egyik jellegzetes tartószerkezete a kohászat korszerű termékeit felhasználó, vékonyfalú elemekből felépülő, könnyű acéltartó.

A vékonyfalú acélszerkezetek méretezési kérdéseit hazánkban — még a tömeges gyártást megelőzően — kb. egy évtizede kibocsátott műszaki előírás foglalta össze. Ennek felhasználásával az utóbbi években meglehetősen nagyszámú, főleg mezőgazdasági rendeltetésű könnyű acélszerkezet készült. Ezek tervezésével, próbaterhelésével és — nem utolsósorban — meghibásodásával kapcsolatban szerzett tapasztalatok számos jelenség jobb megértését tették lehetővé, és felhasználásukkal egy javított méretezési előírás kiadása van folyamatban. E munkához fűződő néhány problémáról — a teljesség igénye nélkül, inkább illusztrációként — a következők számolnak be.

#### I. A szerkezetek anyagával kapcsolatos problémák

A könnyű acélszerkezetek hidegalakítással készült szerkezeti elemeinek — elsősorban a zárt szelvényeknek — anyaga a technológiai műveletek során mechanikai tulajdonságait lényegesen megváltoztatja; folyáshatára jelentősen, szakítószilárdsága kisebb mértékben megnövekszik — szakadási nyúlása viszont számottevően lecsökkenhet. Nagyon hasonló jelenséggel állunk szemben a különböző alumínium ötvözetek körében is, és a nagyobb szilárdságú acélananyagok várható térhódítása e jelenségekre még fokozottabban hívja fel a figyelmet.

Mindezek szükségessé teszik az alkalmazható anyagfélések osztályozását. Célszerű különválasztani a szerkezeti anyagokat — olyan kritérium alapján, hogy ezek mechanikai tulajdonságai még lehetővé teszik-e hagyományosan kialakult méretezési rendszerünk *alapvető* feltételezéseinek megtartását avagy nem — azoktól az anyagoktól, melyek esetében ez utóbbi nem lehetséges, és így alkalmazásuk csak lényegesen módosított méretezési eljárás bevezetésével lehet biztonságos.

A hagyományos méretezési rendszer igen nagy mértékben a szerkezeti anyag jó képlékeny tulajdonságaira épül fel. Olyan alapvető feltételezések — mint például a gyakran jelentős nagyságú, de nehezen megbecsülhető belső feszültségek figyelmen kívül hagyása, rácsos tartóknak csuklós modellel való számítása, kapcsolatok vizsgálatának leegyszerűsített módszere stb.

a kitűnő képlékeny tulajdonságokkal rendelkező lágy acélokkal szerzett, hosszú tapasztalatok útján nyertek igazolást. Fenti és hasonló alapvető feltételezések lényegében az *ideálisan rugalmas-képlékeny* anyagmodell felhasználására vezethetők vissza, és így a „szerkezeti anyag” kritériuma az anyagmodell alkalmazhatóságával kapcsolható össze.

Az elvi vizsgálatok azt mutatták, hogy a korlátlan alakváltozási képességet feltételező, idealizált rugalmas-képlékeny  $\sigma - \epsilon$  diagram alkalmazása még a hagyományos, szerkezeti anyagok esetében is ellentmondásra vezet: a segítségével leírt egyes folyamatokban olyan nagy képlékeny alakváltozások szerepelnek, amelyeket még e rendkívül nagy szakadási nyúlással rendelkező anyagfélések sem tudnának *szakadás nélkül* elviselni. Így az idealizált diagrammal számított teherbírás irreálissá válhatik.

Az ellentmondást az a tény vezeti le, hogy a folyás után felkeményedés következik be és a folyási határ és szakítószilárdság között fennálló, az anyagmodellrel figyelmen kívül hagyott *feszültségtartalék* a törőterhet megnöveli és azt eredményezi, hogy az idealizált diagrammal számított eredmények *biztonságos kötelítést* szolgáltatnak. A lágy szerkezeti acélokból

készült tartószerkezeti elemek egyszerű méretezési módszerei tehát onnan eredhetnek, hogy a rendelkezésre álló *feszültségtartalék* elégséges — és általában *bőségesen elégséges* — a *szakadási nyúlás korlátozottságának* kompenzálására. A hidegalakítás hatására azonban kedvezőtlen változás áll be: a méretezés alapjául elfogadott egyezményes folyáshatár ( $\sigma_{0,2}$ ) és a  $\sigma_{sz}$  szakítószilárdság közötti *feszültségtartalék* csökken és ezzel együtt az  $\epsilon_{sz}$  szakadási nyúlás is kisebb lesz. E jelenségek együttesen arra vezethetnek, hogy az idealizált diagramhoz kötődő számítási eljárásaink nem adhatnak kellően biztonságos közelítéseket.

A „szerkezeti anyag” kritériuma így egy olyan egyenlőtlenséggel fejezhető ki, amely a szakadási nyúlást a feszültségtartalékkal hozza összefüggésbe. Szélső esetben, tehát képlékeny alakváltozásra képtelen, rideg anyag esetében olyan nagy feszültségtartalékra van szükségünk, amely elégséges a számítással nem követett, de képlékeny alakváltozások hiányában *nem mérséklődő* feszültségcsúcsok kompenzálására. *Korlátlan nyúlóképességű* anyagnál a feszültségtartalék hasznosítása sem nem szükséges, sem nem lehetséges: a közbenső esetekben pedig a  $\sigma - \epsilon$  diagram egyszerűsítése és átlagos esetek elemzése útján elvileg rögzíthetjük azokat az alapvető mechanikai jellemzők közti összefüggéseket, amelyek betartása esetében méretezési eljárásaink még kellően biztonságos eredményekre vezetnek, és amelyek az alkalmazható „szerkezeti anyag” kritériumát jelentik.

Noha az ezirányban végzett helyezések és konkrét vizsgálatok még nem eléggé kiterjedtek, fentiek alapján lehetővé válik a hidegalakítással járó felkeményedés hasznosítása és egyben olyan korlátok közé való szorítása, amelyek — méretezési eljárásaink alapvető módosítása nélkül — biztonságos tervezést eredményeznek.

## II. Egy jellemző stabilitási probléma

A vékonyfalú nyomott acélrudak vagy hajlított acéltartók stabilitásuk elvesztésekor bonyolult alakváltozásokat végeznek, és így a stabilitásvizsgálati módszerek (elcsavarodó kihajlásvizsgálat, kifordulásvizsgálat stb.) is meglehetősen bonyolultak. *Karcsú elemek* esetére vonatkozó kiterjedt vizsgálatok és ezek eredményeit feldolgozó táblázatok és grafikonok azonban a gyakorlati végrehajtást kellően könnyedé teszik.

Lényegesen komplikáltabb helyzet áll elő *kevésbé karcsú* vagy éppen *zömök* elemek esetében; nagyon hasonlóan ahhoz, hogy a közepesen karcsú vagy rövid rudak ún. képlékeny zónában lejártszódó, egyszerű kihajlásának vizsgálata is csak több mint félévszázados elemzés után tudott kellően megalapozott eredményekre jutni.

Vékonyfalú rudak esetében a fő problémát nem is a feszültségek és nyúlások közötti arányosság megszűnése jelenti, hanem inkább az a tény, hogy az elem karcsúságának csökkentésével a teljes elem stabilitásvesztését az alkotó lemezek ún. lokális instabilitása (horpadása) váltja fel. Hagyományos eljárásainkban e két jelenség elkülönítésére törekedtünk, és külön vizsgálatot végeztünk a teljes rúd kihajlására, és külön a lemezek horpadására. Vékonyfalú rudak esetében e különválasztás durva eredményeket adhat, és kedvezőtlenül befolyásolhatja a gazdaságos keresztmetszetkialakítást, a valóban vékony falak alkalmazását.

A kísérletek azt mutatják, hogy három jelenségszámítást különböztethető meg. Igen hosszú elemeknél az egész elem stabilitásvesztése (kihajlás, kifordulás) következik be. A karcsúság csökkenésével a kihajlás és horpadás (generális és lokális instabilitás) nem választható el és egymással kölcsönhatásban jön létre. Végül egészen rövid rudak esetében a horpadásvizsgálat klasszikus módszereivel le nem írható, a horpadás és folyás együttes felléptét jelző tönkremenetel áll elő, amelyet célszerűen gyűrődésnek nevezhetünk.

Az elsőnek említett jelenség számítására jól használható elméletek állnak rendelkezésre; a két másik jelenség számítása még sok bizonytalanságot rejt magában. A korábban említett, hagyományos, „különválasztó” módszer ezért a gazdaságosság kárára levő elhanyagolásokra kényszerül.

Az elmúlt években a gyűrődés számítására — bizonyos keresztmetszeti alakok esetére — használható fél-empirikus eljárás alakult ki. A középső szakasz még további olyan vizsgálatokat igényel, amelyeknek az elmondottak szerint komoly gazdaságossági jelentőségük van.

## III. A próbaterhelések útján nyerhető eredmények fontossága

Az acél tartóváz általában térbeli felépítésű és működésű szerkezet, és ebben az alárendelt elemek szerepe nemcsak abban áll, hogy a terhet a fő tartószerkezeti részekre hárítják át, hanem abban is, hogy ez utóbbiak térbeli megtámasztását, a számítási feltételekkel összhangban való működését biztosítják, és nem kívánt instabilitási jelenségeket elhárítanak.



Utóbbi szempontból ez elemek kellő merevsége fontos szerepet játszik. Hagyományos felépítésű, kellő csavarómerevségű és általában szimmetrikus főtartószerkezetek esetében a megtámasztó elemek *axiális* merevsége bír jelentőséggel, és az ezzel kapcsolatos követelmények általában — külön vizsgálat előírása nélkül is — kielégülnek. Ha azonban a vékonyfalú szerkezetekre jellemző kis csavarómerevségű és esetenként a gyártási adottságok miatt aszimmetrikus keresztmetszetű tartóelemek kerülnek alkalmazásra, ezek elcsavarodásának megakadályozása céljából a *hajlítási merevség* is fontossá válik, és az ehhez kapcsolódó követelmények vizsgálata olyan térbeli tartómodellek elemzését követeli meg, amelyek kapcsolatai nyomtérképvitelre is képesek, és amely elemzés során az ún. gátolt csavarás viszonylag bonyolult fizikai összefüggéseit alkalmazzuk.

E számítások — amennyiben jól modellezhető tartórendszerrel van szó — megbízható eredményre vezetnek. Nehezebb helyzet áll elő azonban olyan — nagy gyakorlati jelentőségű — esetekben, amelyekben a szerkezet térbeli merevségét a térelhatároló elemek biztosítják.

Ilyenkor ugyanis egyrészt ismerni kell e felületszerkezetként működő elemek — hullámlemezek, profillemezek, fém- és műanyagrétegekből álló szendvicelemek-szilárdsági és merevségi jellemzőit; ezek hazai vizsgálata éppen csak kezdetét vette, és a külföldi adatok nehezen ültethetők át. Ennél nehezebb problémát jelent a térelhatároló és tartószerkezeti elemek sokszor újszerű és szokatlan kapcsolatainak elemzése, szilárdsági — és *főleg merevségi* tulajdonságainak felderítése. Ez utóbbiak pedig a szerkezet működését erősen befolyásolhatják.

Példaképpen egy igen elterjedt hazai könnyű acélszerkezet-típus többszörösen megismételt próbaterhelésének tanulságaira szeretnék hivatkozni, amely nem szimmetrikus, kis csavarómerevségű fő- és melléktartókból épül fel. Ennek az épületnek térbeli merevségére és stabilitására döntő kihatással van olyan alárendeltnek látszó szerkezeti részlet, mint a térelhatároló hullámlemez és Z-szelvényű szelemen kapcsolata. E számítással nem elemezhető kapcsolat merevsége a szelemennek elfordulását különböző mértékben gátolhatja, és ezen keresztül a főtartó alakváltozását és egyensúlyának stabilitását jelentősen befolyásolja.

Ilyen és hasonló problémák a teljes szerkezet próbaterhelés útján való vizsgálatának jelentőségét állítják előtérbe. Ezért a könnyű acélszerkezetekre vonatkozó új műszaki előírás igyekszik rendszerbe foglalni azokat a követelményeket és módszereket, melyek nehezen vagy alig számítható szerkezetek mérerezését a próbaterhelés adatainak felhasználásával teszik lehetővé.