

Sebestyén Gyula

Világcsúcsok az építményekben*

Kutatási feladatok a 21. században

A korszerű építés meghatározza az építményekkel szemben támasztott követelményeket és ezek alapján előírja az építmények teljesítményét. A követelmények és teljesítmények legnagyobb része — valamilyen egységben mérve — számszerű értékkel jellemezhető. A teljesítmény meghatározhatja az építmény méretét (magasságát, hosszúságát, fesztávolságát, alapterületét), befogadóképességét (tanulók vagy osztályok, néző-, illetve ülőhelyek, ágyak számát, a tárolható mennyiséget) vagy egyéb képességet (teherbírás, hőszigetelés). A teljesítmény jellemezhető fajlagos mutatókkal is.

Ősi törekvés az építmények teljesítményét az addig ismert szinthez viszonyítva javítani, tágítani. Ez jelentheti a teljesítmények (és az ezeket jellemző mutatók) értékének a növelését, más esetekben pedig valamilyen fajlagos mutató értékének a csökkentését. A sportból vett analógiával szólva, az első csoportba tartoznak például a dobó, ugró, súlyemelő ágak (a cél az addigi eredmények számszerű értékének a növelése); a második csoportba tartoznak a futó, úszó, evezős számok (a cél az addigi időértékek csökkentése). A műszaki rekordokat (gyakran) a világ legfejlettebb megoldásaiként (csúcsteljesítményként) ismerjük el.

Míg a sportban az emberi fiziológiai képességek korlátozóan hatnak, addig a műszaki rekordoknál a korlátok más jellegűek. A teljesítményi érték tágítása és az épületekre/építményekre vonatkozó 'rekord'-ok megdöntése meghatározza a 21. évszázad elején érvényesülő kutatási-fejlesztési irányzatokat. Korlátozást jelent azonban, hogy a kisebb (lakó- és egyéb) épületek fejlesztési irányait figyelmen kívül hagyjuk; ezek ugyan fontosak, de e tanulmány keretein kívül esnek.

A „rekord” (mind a sportban, mind az építésben) szintetikus eredmény, amelyben gyakran sok tényező hatása összegeződik. A műszaki rekordok rend-

* A szerző az MTA külső tagja. A tanulmány 1997. december 17-én megtartott akadémiai székfoglaló előadása alapján készült.

szerint valamilyen többváltozós függvény szélső értékeit jelentik. A rendszerváltozás előtti időben az ilyen függvényeket gazdasági optimalásra nem lehetett használni, mert az akkori ár- és egyéb adatok miatt téves eredményt adtak. Jelenleg az ilyen optimalási modellek már használhatók és a modellbe többféle (sztochasztikus stb.) meggondolást lehet bevinni. Új probléma viszont a fenntartható fejlődés és a társadalmi, szociális tényezők számításbavétele. Változatlanul probléma a nem gazdasági és a nem (vagy csak feltételesen) kvantifikálható tényezők szerepe. Az ilyen esetekben alkalmazott ún. 'árnyék árak' ('shadow prices') bizonytalanságot visznek be a számításba.

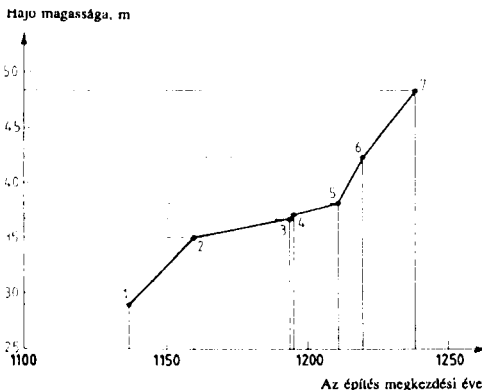
A műszaki fejlődésnek és ezen belül a teljesítményi határértékek tágításának vannak fejlődési és stagnálási szakaszai, valamint ugráspontjai. Ha az ismert legfejlettebb technológia és tudás-állomány a legutolsó rekordszint megdöntését már nem teszi lehetővé, akkor a továbblépéshez új ötlet, technológia vagy tudás szükséges.

A következőkben előbb a mérnöki szerkezettervezés, majd pedig az építészet és városfejlesztés néhány kiválasztott területével, rekordjaival és a velük kapcsolatos kutatásokkal foglalkozom.

A teljesítmények növekedési folyamata

A nagyon magas épületek

A minél magasabb szerkezetek építésére való törekvés végigkíséri az emberi történelmet. A babiloni torony nem maradt ránk, de állnak az egyiptomi piramisok (a Keopsz eredetileg 146 méter magas volt), a gótikus és a későbbi székese gyházak, valamint korunk felhőkarcolói. Saint Denis volt az első francia gótikus székese gyház. Az ezt követő években épülő franciaországi székese gyházak mindegyikének a főhajóját az azt megelőzőnél magasabbra építették, egészen addig, amíg a Beauvais-i templom beomlott (1. ábra). A templomok



1. ábra

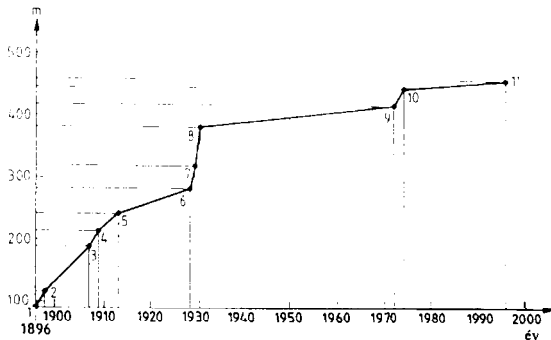
Francia gótikus székese gyházak főhajójának a magassága (zárójelben az építés megkezdésének éve és a főhajó magassága)

- 1 = Saint Denis (1137; 29 m)
- 2 = Notre Dame, Párizs (1160; 35 m)
- 3 = Chartres (1194; 36,55 m)
- 4 = Bourges (1195; 37 m)
- 5 = Reims (1211; 38 m)
- 6 = Amiens (1220; 42,30 m)
- 7 = Beauvais (1238; 48,50 m)

Európai történelmi templomtornyok magassága

Hely	Magasság, m
Ulm	161
Köln	157
Rouen	148
Strasbourg	142
Bécs	137

2. ábra



- 1 = St. Paul, New York (1896; 95 m)
- 2 = Park Row, New York (1898; 118 m)
- 3 = Singer, New York (1907; 187 m)
- 4 = Metropolitan Life, New York (1909; 213 m)
- 5 = Woolworth, New York (1913; 241 m)
- 6 = Bank of Manhattan, New York (1929; 282 m)
- 7 = Chrysler, New York (1930; 319 m)
- 8 = Empire State Building, New York (1931; 381 m)
- 9 = World Trade Center, North Block, New York (1972; 417 m)
- 10 = Sears Tower, Chicago (1974; 443 m)
- 11 = Petronas Tower, Kuala Lumpur (1996; 452 m)

A világ legmagasabb felhőkarcolói (zárójelben a megépítés éve, amely időponttól kezdve a magassági rekordot tartották és az épület magassága)

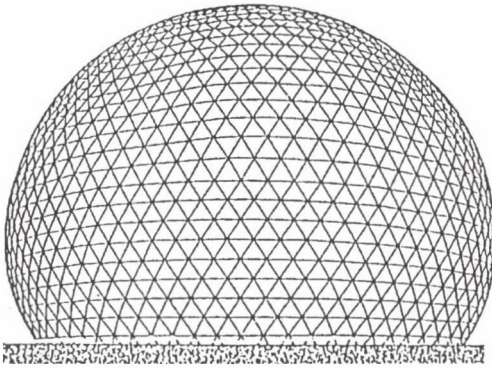
tornyait is magasra, 100–170 méter magasra építették (1. táblázat). Ezeket csak a XX. század felhőkarcolói szárnyalták túl.

A felhőkarcolók sorát Chicago indította el a múlt század végén, de amikor a város megtöltötte a magasabb épületek építését (ezt, az 1892-ben hozott tilalmat végleg csak az 1920-as években oldották fel), New York vette át a vezető szerepet. Mind több mérnöki tudás kellett a magasság növeléséhez. 1974-ben a Sears toronyépület (Chicagóban) lett a világ legmagasabb épülete (443 m). Ezután 22 éves szünet következett. Az új rekordot Malájziában, Kuala Lumpurban a Petronas ikertornyokkal állították fel (452 m), de ez csak marginálisan múlja felül az addigi rekordot. A teherbírás még nem korlátoz, de a gazdaságosság követelménye kikényszeríti a még jobb anyagok és szerkezeti sémák alkalmazását. (2. ábra)

A nagyon magas épületek kezdetben vázas szerkezetűek voltak. A vázat eleinte a falakkal és a födémekkel merevítették ('braced frame'), később a rejtett, majd pedig a homlokzaton megjelenő átlós merevítők terjedtek el. A vasbeton elterjedése után csőszerkezetekkel merevítettek, és pedig az alaprajzi magban kialakított vasbeton csővel ('core braced frame'), vagy a homlokzati falak csőszerű kialakításával ('tube-in-tube'). Újabb változat az épületmag merevítése konzolos rácsos tartószerkezettel ('outrigger-braced') és a csőnyaláb szerkezett ('bundled tube', Sears torony).

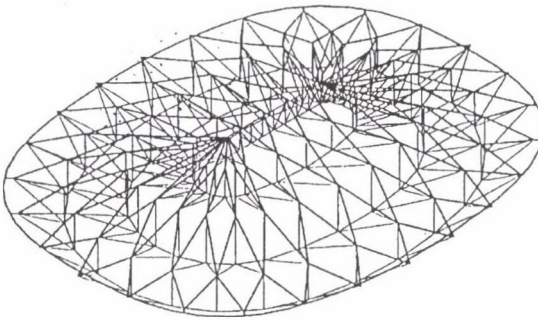
Frank Lloyd Wright 1956-ban készített (akkor még utópisztikus) vázlattervet 528 szint (egy mérföld) magas felhőkarcolóra, 100 ezer lakos és 15 ezer tisztviselő elhelyezésére. A terv nem valósult meg.

4. ábra



Geodéziai kupola, Motreal, Kanada, 50 méter magas; tervező: Buckminster Fuller

5. ábra



Hypar-tensegrity Georgia Dome, Atlanta, Georgia, USA; tervezők: Levy és Weidlinger-iroda

A XIX. században megjelent új szerkezeti anyagként a vas, a század második felében az acél, a századforduló körül a vasbeton, majd pedig a XX. században a ragasztott fa (Glulam), az alumínium, az acélkábel, a műanyagok és a műszaki textíliák (ponyvák). Ezekkel növekvő fesztávolságokat hidaltak át, miközben sok új szerkezettípus jelent meg és kidolgozták az új anyagokból készülő, újfajta térlefedések szerkezeti analizisét.

A múlt században vasrudakból készítették kupolákat. Vas-, később acél-szerkezettel és üvegezéssel épültek az európai nagyvárosokban fedett üzletfolyosók (galériák) és kupolák.

1913-ban a breslauer Jahrhunderthalle 65 méter átmérőjű bordás vasbeton kupolája indította el a vasbeton anyagú nagytér-lefedések fejlődését. Az 1920-as években jelentek meg a borda nélküli vasbeton kupolák (Jéna, 40 m átmérőjű, 6 cm vastag Schott-kupola; Jéna, 25 m átmérőjű, 3 cm vastag planetárium kupola.)

Később a vékony vasbeton héjak új típusai jelentek meg, amelyek geometriája — a keletkeztetés szerint — forgási vagy transzlációs jellegű; konoidok, hiperbolikus paraboloidok. Invenciózus mérnök-tervezők (Dischinger, Finsterwalder, Torroja, Candela, Nervj) járultak hozzá a szerkezeti analizis fejlődéséhez.

Századunk második felében újra teret nyertek az acélszerkezetek. Már a második világháború előtt épültek 100, a háború után pedig 200 méteres

Acél függőhidak fő fesztávolsága

Megépítés éve	Hely	Fesztávolság, m
1855	Niagara Falls	250
1883	Brooklyn Bridge, N.Y.	486
1931	George Washington, Hudson	1067
1937	Golden Gate, San Francisco	1260
1964	Verrazano Narrows, N.Y.	1298
1981	Humber Hull, Anglia	1410
1997	Nagy Belt, Dánia	1624
1998	Akashi, Japán	2022

Feszített vasbeton hidak fő fesztávolsága

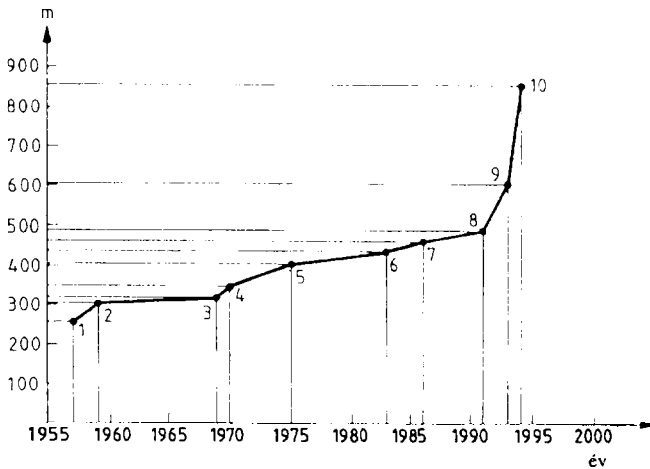
Megépítés éve	Hely	Fesztávolság, m
1938	Oelde	33
1946	Luzancy	55
1949	Sclayn, Maas	63
1951	Heilbronn, Neckar	95,5
1952	Worms, Rajna	114
1954	Koblenz, Mosel	123
1959	Bettingen, Majna	140
1963	Medway, Temze	152
1964	Bendorf, Rajna	208

átmérőt elérő nagytér-lefedések. Megjelentek a két és háromsíkú fém (acél- és alumínium-) térrácsok (*Mero*, *Triodetic*, *Unistrut* stb.), a *geodezikus kupolák* (*Buckminster Fuller*) (4. ábra), a függesztett és húzott kábel- és lemezszerkezetek ('tensegrity' szerkezetek). A houstoni Astrodome fesztávolsága közel 200 méter, a New Orleans-i Superdome-é 213 méter. Az 1992-ben elkészült *Georgia Dome* 'hypar tensegrity' ovális lefedése 240x192 méter alapterületű, textilponyva takarású kábelszerkezet (5. ábra). Nagy új ponyvatetők készültek például Szaudí-Arábiában a dzsiddai és az USA-ban a denveri repülőtéren. Új eredmény a nagystadionok össze- és széthúzható lefedő szerkezetek.

Közben nőtt a faszervezetek fesztávolsága is és már a 150 méteres fesztávolságot is túlhaladták. A nagytér-lefedések fejlődése tovább tart. Londonban, illetőleg Greenwhichben 360 méter átmérőjű Millennium kupolát terveztek.

Mérnöki létesítmények. Infrastruktúra

A történelmi korok hidjai falazott szerkezetűek vagy fából ácsoltak, esetleg kötélén függesztettek voltak. A vas, illetőleg az acél megjelenése szerkezeti anyagként új helyzetet teremtett. A Severn folyó feletti vashíd 1776 és 1779 között 30 méteres fesztávolsággal épült és ettől kezdve, a XIX. század folyamán a fesztávolságok gyorsan nőttek. A század végére a fesztávolságok elérték az 500 métert, de a gyors fejlődést több híd leszakadása kísérte.



6. ábra

Kábelmerezítésű hidak (zárójelben: megépítés éve és fő fesztávolsága)

- 1 = Düsseldorf–North (1957; 260 m)
 2 = Köln–Severin (1957; 302 m)
 3 = Düsseldorf–Kniebrücke (1969; 320 m)
 4 = Duisburg–Neuenkamp (1970; 350 m)
 5 = Saint Nazaire, Franciaország (1975; 404 m)
 6 = Barrios de Luna, Spanyolország (1983; 440 m)
 7 = John Fayer, Kanada (1986; 465 m)
 8 = Ikuchi, Japán (1991; 490 m)
 9 = Yang Pu, Kína (1993; 602 m)
 10 = Le Havre, Franciaország (1994; 856 m)

A rácsos szerkezetű hidak mellett megjelentek a *függőhidak*: előbb a lánc-, majd a kábelhidak. (2. és 3. táblázat, 6. ábra)

Az első 1000 méteren felüli fesztávolságú híd *Othmar Ammann*nak a Hudson folyót átívelő George Washington függőhídja volt. A legfrissebb „világrekord” a dániai Nagy Belt 1600 métert meghaladó fesztávú függőhídja. A kétezer méteres fesztávolságot Japánban, az Akashi híd átadásával haladták túl (fesztávolság: 2022 méter). Közben bevezették a kábelmerezítésű hidakat, és a vasbeton hidakat is sokféle módon alakították ki. A fesztávolságok mindegyik kategóriában nőttek, bár a függőhidakét nem érik el. A nagy fesztávolságú hidak sikeres építéséhez meg kellett tanulni az aerodinamikus és szeizmikus hatásokra való méretezést, új anyagok és technológiák alkalmazását.

Kétszáz évvel ezelőtt épült a 460 méter hosszú alagút a Temze alatt. Sziklában csak a múlt század közepétől tudtak hosszú alagutat fúrni. Ez a kompresszoros fúró és a robbanó zselatin (nitroglicerin+nitrocellulóz) felfedezésének volt köszönhető. Az Alpok alatt egymás után épültek a tíz kilométert meghaladó hosszúságú alagutak (Mont Cenis, St. Gotthard, San Bernardino, Simplon, Mont Blanc). Századunkban fejlesztették ki a víz alá süllyesztett elemekből építhető alagutakat. Megépültek az első tenger alatti hosszú alagutak (Japánban Honshu és Hokkaido között, 54 km, Anglia és Franciaország között 51 km, ebből 38 km a víz alatt).

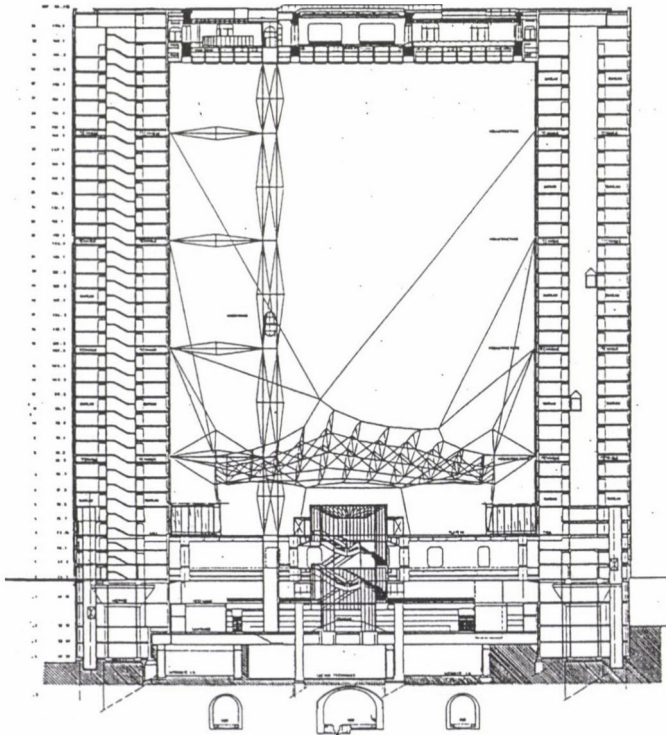
Tenger által elválasztott szárazföldi területek között (alagúttal és/vagy hiddal) 30–50 km hosszú közúti és vasúti összeköttetések épültek (Japán, Dánia)

és még hatalmasabbakat terveznek (Dánia és Svédország között, a Messinai és a Gibraltár szorosokon át).

Rendkívüli teljesítmény a nagy gátak építése. Több közülük 2—300 méter magas (Svájcban, Tadzsikisztánban és másutt). A völgyzáró gátak a geotechnikai ismereteket gazdagították; kikötők, tenger-feltöltések, hűtőtornyok, silók, bunkerek, tartályok és egyéb nagy mérnöki létesítmények is sokféle kutatási probléma megoldását igénylik.

Az *infrastruktúra* fejlesztésére mind nagyobb építkezések szükségesek. Szinte folyamatosan épülnek a gyorsforgalmú utak és a nagysebességű vasútvonalak, felkészülnek a 450—500 km/óra segeességű Maglev technológiájú vasútvonalak építésére. Befejeződött a *szökőár* elleni védekezés komplex védőrendszere, a holland Delta-terv. A legutolsó létesítmény az úgynevezett Új Viziút-ba beépített két (egyenként 210 m hosszú és 22 m magas íves zárófalat tartalmazó) rendszer, amelyet 1997-ben adtak át.

Hatalmas építkezésekkel fejlesztik a világ *kikötőit*, köztük a legnagyobbakat (Rotterdam, Szingapúr, Hongkong, Sanghaj). Az új pályaudvarok és repülőterek is imponáló méretűek. Hongkong Chek Lap Kok repülőtere 5,5 x 3,5 kilométeres új szigeten épül, ez volt a még épülő kínai Három Szoros gát után a világ legnagyobb infrastrukturális beruházása, amelyen egy időben dolgozott a világ kotrógéppálmányának a fele. Az új nagy repülőterek (Makao, Cam; Oszaka, Kanszai; Szöul, Ichon stb.) egyenként évi 80—100 millió utas kiszolgálására



7. ábra

Nagyméretű irodaépület,
Párizs, Défense;
tervező: Spreckelsen

készülnek, tehát nagyobb forgalmúak lesznek, mint a mai legnagyobb amerikai és európai légitársaságok. (A Chicagói O'Hare-t 1993-ban 65 millió utas vette igénybe.)

Építészeti (teljesítményi) csúcsteljesítmények

Az építészeti (teljesítményi, tehát nem építőművészeti) csúcsteljesítmények rekordértékekkel nem jellemezhetők. Ebben bizonyos sportágakhoz hasonlóan (torna, birkózás, ökölvívás, vívás). Ennek ellenére az adott időszakban eléggé nyilvánvalóak a kiemelkedő eredmények. A XX. század első felében a „modern” építészet és végső kifejlődésében a „Nemzetközi Stílus” vált uralkodóvá. A 60-as évektől kezdődően az ezzel való elégedetlenség hozta létre a 'poszt-modern' irányzatot, sokféle (metabolikus, dekonstruktivista stb.) változataival és új esztétikai elvek megvalósulásával együtt. (7. ábra)

Az új stílusok összekapcsolódtak a technológiai fejlődéssel és 'high-tech' épületeket eredményeztek. A történeti korok építészetétől gyökeresen eltérő épületek jönnek létre, így például múzeumépületek (Groningen, Bilbao stb.).

Új jelenség az épületek programjának komplex jellegűvé és nagyméretűvé válása. A hagyományos könyvtárak, színházak, filmszínházak helyett újszerű művelődési-információs, szórakozási intézmények épülnek. Ezek egyik sajátossága a komplexitásból fakadó nagyobb méret, és ezzel együtt az, hogy újszerű megjelenésükkel egész városrészek rekonstrukcióját indukálják.

Rem Koolhaas neves holland építész szerint mintegy száz év óta a „bigness” vagyis a „nagyméretűség” izgatja (újólag) az építészeket. A nagy méret lehet a megrendelő áhitott célja, mint ahogyan ez korábbi korokban is előfordult. Megépült Elefántcsontparton Yamoussoukrou-ban a Notre Dame de la Brousse templom, a római Szent Péter templom által ihletve, kétszer akkora átmérőjű kupolával (90 m). Az utópiákat nem tárgyaljuk, viszont reális és megvalósuló tervek alapján épülnek jelentős, a korábbiaknál nagyobb és összetettebb funkciójú épületek (például a Rem Koolhaas által tervezett lille-i Congexpo kongresszusi és kiállítási palota, amelynek sokféle programját a tervező egyetlen hatalmas ellipszis alakú alaprajzi tömbben foglalta össze). Az ilyen nagyméretű épületekkel kapcsolatosan rendszerelméleti és -technikai kutatásokra van szükség. A bonyolult műszaki rendszerekkel felszerelt épületek és építményegyüttesek üzemeltetésére új szakma: a facility management jött létre.

A modern építészetet követő poszt-modern, dekonstruktivista és high-tech irányzatok is felvetnek új (nem-teherhordó szerkezeti) technológiai problémákat. Ilyenek például az újabb szállodaépületekben a magas (50 szintet is elérő), felül üvegezett átrium-terek védelme tűz ellen, a természetes (nappali) és a mesterséges világítás új eszközei és mások.

Kutatások a teljesítmények növeléséhez

A műszaki haladás és ezen belül a teljesítményi határértékek (a „rekordok”) túlhaladása tapasztalati alapon vagy pedig kutatási eredményeken alapuló mérnöki munkával valósítható meg. A kutatás szerepe idővel növekszik, de az építésben jelentős az invenciózus tervezők szerepe és a jövőben is az marad.

Az alapkutatások (matematika, fizika) eredményei több technológiai területen alkalmazhatók. Korunkban olyan tudományágak (például az orvostudományi kutatás) eredményeire is szükségünk van, amelyek korábban nem, vagy csak alig hatottak az építésre.

Az építmények teljesítményi határértékeinek tágitásához egyre több eszköz áll rendelkezésre: elméleti és alkalmazott kutatás, kísérletező és modellező munka, károsodások és katasztrófák elemzése. E sokirányú kutatásban a magyar tudósok (*Kármán Tódor*, *Csonka Pál* és mások) szerepe nemzetközi szinten régóta ismert és megbecsült.

Matematika, mechanika, számítástechnika

Az elmúlt fél évszázad alatt mindenekelőtt a szerkezettervezés szükségletei igényelték a matematika, mechanika, számítástechnika fejlődését, de az eredményeket a szerkezettervezésen kívül hasznosították a mérnöki munka más (például a hőterjedés és az akusztika) területein is.

A mérnöki matematikában a legfontosabb új eszközök, az algebrai és analitikai módszerek, így többek között a végeselem és a peremérték módszerek. Numerikusan megoldhatóvá lettek analitikusan leírható, de zárt formában megfelelően nem kezelhető problémák, így például a tetszőleges geometriájú, meghatározott peremfeltételekkel rendelkező és nem-homogén anyagú szerkezetszámítási feladatok.

A valószínűségszámítás, a matematikai statisztika a számítási modellekben fontos szerephez jutott, és az elemzéseket ki lehetett terjeszteni érzékenység-vizsgálatokra (sensitivity analysis) és kockázatra. Kifejlődtek az optimálási módszerek, ideértve a matematikai programozás különböző (lineáris, kvadratikus, dinamikus) módszereinek alkalmazását.

A determinisztikus mechanikai (vagy egyéb, például hőterjedési) modellek helyett lehetővé vált a sztochasztikus folyamatok elemzése, ennek során véletlenszerű (random), időben és térben változó tényezők alapulvétele, például az anyagtulajdonságokat, a hatásokot a terheléseket és a geometriát illetően.

A fejlődés másik ága volt különböző alakok, felületlefedések, térkitöltések és tagolások geometriájának a kutatása, ami megalapozta a különböző szerkezeti megoldások geometriájának a reprezentációját, generálását, optimalását. Ezekkel kapcsolatosan fejlődött a morfológia és a topológia. A bonyolult szerkezeti konfigurációjú nagytér-lefedések területén a fejlődés egyik példája a Formex algebra és az ennek kezelésére kidolgozott Formian számítógépnyelv.

A számítási-tervezési eszköztár kibővült a plaszticitás és a stabilitás elméletével és a dinamikus analízissel. Az elasztikus modellek mellett a plasztikus vagy a plasztikus-elasztikus modellek, az eredeti geometrián alapuló (elsőrendű) elméleten kívül a terhelés alatti deformációkat figyelembe vevő (másodrendű) elmélet is helyet kapott a szabályzatokban, a határállapotra való méretezéssel együtt. A bonyolult méretezési eljárásokat a számítástechnikán kívül segítik a különböző modellvizsgálatok (szélcatorna, laboratóriumi terhelésvizsgálatok stb.).

A „rekord” teljesítményű épületeket a szokásos hatásokon kívül rendkívüliekre is méretezni kell. Így például a szél és a földrengés jelentős kihajlási, translációs-torziós elmozdulásokat okozhatnak. A tényleges szeizmikus és szélhatások alapos tanulmányozása és megismerése ellenére is maradtak kutatóandó témák, mint például a mélyebben lévő puha rétegek viselkedése, a talaj folyóssá válása és a függőleges irányú talajmozgások bizonyos jellemzői a legcélszerűbb nem-lineáris és spektrum-analízis modellek helyes megválasztása.

A dinamikai hatásokra való tervezés során a merevségen és flexibilitáson kívül a duktilitás fontos szerepe is nyilvánvalóvá vált. A szerkezeti rezgés

csökkentésére aktív és passzív csillapítási módokat és ezek számítási eljárásait használják. Az elasztomer réteg a magasépület felszerkezete és alapozása között a felszerkezet alapfrekvenciáját a talajmozgás alfrekvenciája alá viszi (base isolation). A nagyter- lefedésekhez az általános stabilitás mellett a kinematikai stabilitást (pl. az eredeti geometria megmaradását, a helyi stabilitást, a horpadás megelőzését) is biztosítani kellett.

A korszerű szerkezetek tervezése sokféle elméleti, modellezési és számítási probléma megoldását igényelte. A magyar tudósok, mérnökök hozzájárulása ezekhez a múltban is (*Menyhárd István, Csonka Pál, Szmodits Kázmér*), a jelenben is (*Kollár Lajos, Szabó János* és mások) nemzetközi szinten is elismert és nagyra becsült.

A mérnöki számítási igények napjainkban jelentős mértékben megnöttek. A felhőkarcolók, nagyter- lefedések, nagy feszítávolságú hidak szerkezeti tervezése, a külső és belső környezeti hatások számítása nagykapacitású számítógépek nélkül nem lenne lehetséges. A bonyolulttá és nagyméretűvé vált mérnöki számítások céljára előbb a nagygépek, majd a megnövelt kapacitású személyi számítógépek, legújabbban pedig ezek hálózatokhoz kapcsolása, az adatbázis-kezelés szolgál alapot.

Anyagtudomány

A jelenleginél jobb teljesítményű szerkezetek, épületek és építmények csak fejlettebb tulajdonságú építőanyagokkal építhetők. Az anyagkutatások célja és tartalma anyagonként különbözők.

Az új építőanyagok tették lehetővé azt, hogy megadott teljesítmény a korábnál kevesebb anyagból, kisebb tömeggel valósítható meg.

A beton eddig alkalmazott fajtáin (vasbeton, feszített beton, könnyűbeton stb.) kívül megjelent a nagy teljesítményű ('high performance') beton. Ezzel kapcsolatban szükséges a kúszás és zsugorodás kutatása, különösen a kezdeti időszakban; a rosttal, vágott szállal erősített beton; a tűzállóság kutatása, a repedések modellezése. A nagy teljesítményű betonból készített szerkezetekre vonatkozóan különösen a pontszerű nyomás (pillér és földem csatlakozás) helyeit; a plasztikus csuklókat, a minimális vasalást, a vasalás lehorgonyzását kutatják, továbbá a repedés-szélesség számítását. Kutatások folynak a kompozit szerkezetek és az előállítási technológiák terén is.

Az acéllal kapcsolatos kutatás-fejlesztés a nagy szilárdságú hegeszthető és jó duktilitású acélok szélesebb körű alkalmazására; a kapcsolatokra (félautomatikus kapcsolatok, öntött acél kapcsolóelemek, új szegecsek és csavarok); jól gyártható új hengerelt és hajlított keresztmetszetekre; vékony hajlított acéllemez szerkezetekre irányul.

A fa új felhasználásai: a glulam (tehát a ragasztott szerkezeti fa); a tömörített fa; új rácsos szerkezetek és csomóponti kapcsolataik; lemez-merevített szerkezetek (stressed skin panel), mind új kutatómunkát igényelnek.

A szerkezeti üveg, a műanyagok és a műszaki ponyvák ugyancsak sokféle kutatást indokolnak. A párizsi Louvre nagy és kis piramisánál a tervező által igényelt nagy átlátszóságú üveg, az energiatakarékosság céljából pedig a napsugárzásra megfelelő módon reagáló üvegek tettek szükségessé kutatásokat.

A kutatások egy része bizonyos anyagokra vonatkozóan specifikus. Így például a repedés-mechanikában figyelembe veendő, hogy az acél repedéseinek jelentős részét fáradás okozza, a fa repedései nagyban függnek a rostszerkezettől és ennek a kapcsolatokkal való viszonyától; a betonban pedig a külső hatások okozta feszültségi repedéseken kívül nagy szerepe lehet a zsugorodásnak, kúszásnak, szemszerkezetnek.

Egyéb tudományágak

A római színházak akusztikája, fürdők kialakítása, a gótikus székes-egyházak bevilágítása tanúskodik arról, hogy a történeti korok építői is gondoltak a teherbíráson kívüli szempontokra, lehetőségeik azonban korlátozottak voltak. Korunkban a vízellátás, fűtés, világítás, felvonótechnika, telekommunikáció új távlatokat nyitnak, de egyszersmind új kutatásokat is tesz szükségessé. Megemlítek néhány aktuális kutatási feladatot.

A hő és nedvesség terjedését illetően új felismerés, hogy a levegő exfiltrációja és rotációja (különösen hideg éghajlat esetén) erősen befolyásolja az építmények szerkezeteinek a higrótermikus reakcióját. Ezt és más, eddig determinisztikus viszonyokra elemzett hőtechnikai problémát sztochasztikus körülményekre kell vizsgálni. Új fűtési és szellőztetési rendszereket fognak kidolgozni és elterjeszteni, mint amilyen például a transzparens hőszigetelés, az alulról bevezetett szellőztető levegő ('displacement ventilation') és a hűtött álmennyezet ('cooled ceiling'). A hőtechnikába is be kell vezetni a teljesítményi határértékekre alapozott méretezést és szabályozást. Fejlesztik és komplexebbé teszik a számítási modelleket és a nagy tervező szervezetekben fokozatosan kialakulnak a statikai, építészeti szakágakhoz hasonló épületfizikai szakági részlegek.

Ma már a kísérleti megvalósulás szakaszába lépett a korszerű épületberendezések létrehozása az elektronika felhasználásával, de még messze vagyunk a tényleges széles körű alkalmazástól. A „rekord” épületek kísérleti terepként szolgálnak a szélesebb körű elterjesztéshez (programozható fűtés és szellőztetés; épületeken belüli és kívüli kommunikáció; funkciók automatizálása ('intelligent buildings', 'smart homes').

A korrózió és a pára-kondenzáció fizikai-kémiai folyamatai lényegileg tisztázottak, de még csak elszigetelt eredmények vannak a biológiai korrózió és a biológiai hatások (például asztma) tekintetében. A különböző biológiai hatások (állati: házi atka; növényi: moha, moszat, alga, penész; bakteriológiai) és ezek más hatásokkal való kombinációi csak részlegesen ismertek. Az elektromágneses sugárzásnak hosszú idő alatti egészségre gyakorolt hatásáról csak bizonytalan ismereteink vannak és a védekezésnek nincsenek gyakorlati megoldásai. A szagok kvantifikálására még csak kezdeti eredmények léteznek.

A szupertiszta levegőt igénylő (termelő vagy gyógyító célú folyamatok elhelyezésére szolgáló) helységek és épületek jellegzetességei (és költségei) nagymértékben függenek a levegő megkivánt tisztasági fokától.

A hagyományos kísérleti eszközök, modellek és számítások nem adnak elég segítséget a heterogén felépítésű épületszerkezetek akusztikai tervezéséhez és ellenőrzéséhez. Új kísérleti műszerekkel jobban mérhetők a hang-intenzitás és a zaj-transzmisszió csökkenés. Új vizualizálási mérési technika az akusztikai holográfia és az ezen alapuló fonoszkópia. Szükség van az építőanyagok és hangelnyelő anyagok dinamikai sajátosságainak pontosabb megismerésére is. A numerikus számítások itt is a véges elemek és a perem-elemek módszereit hasznosítják.

A tűz és füst elleni védekezésre irányuló kutatómunka nagy eredménye egy új mérnöki szak (tűzvédelmi mérnök: 'Fire safety engineering'). További kutatómunka folyik a tűz- és a füstterjedés jobb modellezése céljából.

Tanulságok

Az emberi ambíció, a társadalom szükségletei, a fejlődő tudományos ismeretek és technológiák az építés új rekordjait és csúcsteljesítménynek számító építményeket hoztak létre. Ez a folyamat nyilvánvalóan folytatódni fog, ami több tanulsággal szolgál.

A kiemelkedő teljesítményű építmények megvalósítására jelentős igény lesz a jövőben is. Ez az építőipar szakmailag legfelkészültebb szektorai számára tartósan feladatokat gerjeszt, mert ezek az építmények egyszersmind ki fogják kényszeríteni környezetük és általában az egész épített környezet rekonstrukcióját. Ez teljesen más jövőkép, mint az az elterjedt nézet, hogy az építőiparnak a jövőben főleg karbantartási és javítási megbízásai lesznek.

Az építmények teljesítményeinek tágitása csak intenzív kutatómunka alapján valósítható meg. Ezért az építéstudományi kutatást fontos területnek kell tekinteni, ideértve a jövőben még fokozódó jelentőségű együttműködését egyéb kutatási szektorokkal.

A magyar építőiparnak általában nem feladata világrekordokat képviselő építmények (toronyok, alagutak, felhőkarcolók) megvalósítása. Tekintettel azonban a technikatörténet tanulságára, miszerint a közepes és kis építési beruházásokon is hasznosulhat a kiemelt feladatokon elért haladás, a magyar építésügyi kutatásnak szoros kapcsolatban kell maradnia a világ élenjáró kutatásával és építési gyakorlatával.

A teljesítményi értékek tágitásának az irányzatai egyszersmind előre jelzik a 21. század első részében várható építési és építéskutatási irányzatokat. Mindezek tudományos alapként fognak szolgálni az új társadalmi elvárások (a környezet, az emberi egészség és a klíma védelme, a természeti erőforrásokkal való takarékoság, a fenntartható fejlődés) kielégítéséhez és az ezeknek megfelelő építéshez és településfejlesztéshez.