

Kollár Lajos

Műszaki tudomány — mérnöki tervezés

Közismert, hogy a műszaki fejlődést, vagyis a mérnöki tevékenység színvonalának emelkedését a műszaki tudomány fejlődése tette lehetővé. Szemléletesen mutatja ezt a fejlődést a skóciai Firth of Forth tengeröböl felett épült két hid. A maga idejében mind a kettő a technika csodájának számított: az 1889-ben megépült, csőszelvényű rudakból készült rácsos hid 520 m-es támaszközeivel (1. ábra),



1. ábra



2. ábra

valamint az 1965-ben megépült kábelhid, amely egyetlen 1000 m-es nyílással hidalja át az öblöt (2. ábra). Az egymástól alig 1 km-re lévő két hidon a nem szakember szemlélő is lemérheti a nem egészen egy évszázad alatt bekövetkezett műszaki fejlődést.

Ha meg akarjuk vizsgálni a műszaki tudomány és a mérnöki tervezés egymáshoz való viszonyát, akkor először is tisztáznunk kell, hogy mi a tudomány és mi a mérnöki tevékenység.

A műszaki tudomány és művelése

A klasszikus meghatározás szerint a tudomány: igazolt ismeretek rendszere. Ebből következően a tudományos tevékenység, pontosabban a tudomány előbbrevitele kétféle lehet: vagy új ismeretek kimondása és igazolása, vagy a rendszer továbbfejlesztése.

A műszaki tudomány a természettudományok körébe tartozik, s a természettudományok többi ágától (fizika, kémia stb.) főként abban különbözik, hogy kiindulópontja más. Célja az általában társadalmi szükségletek kielégítésére szolgáló létesítmények, berendezések, eljárások és rendszerek megvalósításával és működtetésével kapcsolatos törvényszerűségek feltárása, szemben a természettudományok többi ágával, amelyek általában minden gyakorlati igény nélkül, a megfigyelt természeti jelenségek törvényszerűségeinek kutatásával foglalkoznak. A műszaki tudományok a természettudományok eredményeit használják fel, de a technika törvényszerűségei nem azonosak a természettudományok által feltárt törvényszerűségekkel, mert itt ezek sokrétű kombinációja jelentkezik s ezek új törvényszerűségeket szülnek. Ennek megfelelően a műszaki tudományokat a tárgyaknak megfelelő sajátos elméleti és módszertani megoldások sokasága jellemzi, melyek nem vezethetők le deduktíve valamilyen más tudományból (pl. egy rendszer működésének optimalása nem vezethető le a fizika törvényeiből).

Ha a műszaki tudományt önmagában nézzük, akkor értékét — éppen úgy, mint bármely más tudományét — az igazságtartalma szabja meg, vagyis az, hogy mennyire haladt előre az igazság megismerésében. Tisztán tudományos szempontból nézve tehát az alkalmazás itt sem elsőrendűen fontos. Csupán e tudomány jellegéből következik, hogy a legtöbb esetben szoros kapcsolatban áll a gyakorlati igényekkel és a gyakorlati alkalmazással.

Mi a menete a tudomány művelésének?

A kutatás a problémafelvetéssel kezdődik, mégpedig többnyire a gyakorlat oldaláról: valamilyen feladatot meg kell oldani, de hiányzanak hozzá az elméleti alapok, illetve nincs kidolgozva az a módszer, amellyel megoldhatjuk a feladatot. A kutatás abból áll, hogy végigvizsgáljuk a problémát, megvizsgáljuk, hogy hasonló kérdéseket hogyan oldottak meg, majd végiggondoljuk a lehetséges megoldásmódokat, érleljük a megoldást. Ez az érlelés sokszor — legalábbis részben — a tudat

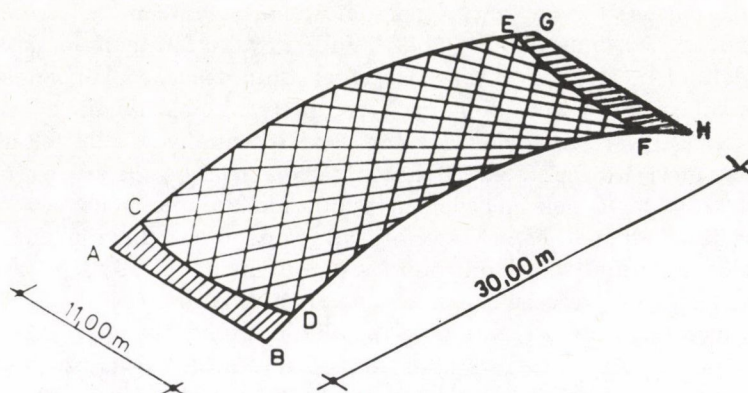
alatt zajlik le, és addig tart, amíg a kutató rá nem jön a megoldás módjára. Ha ez megvan, akkor már csak a részletes kidolgozás van hátra.

A most leírt kutatási folyamat voltaképpen egyetlen konkrét kérdés megválaszolását célozza, ezért eredménye sok esetben nem is használható másra, mint a konkrét probléma megoldására. Úgy is mondhatjuk, hogy az ilyen kutatás a tudomány továbbfejlesztésének abba a kategóriájába tartozik, amit úgy írtunk le, hogy „új ismeretek kimondása és igazolása”.

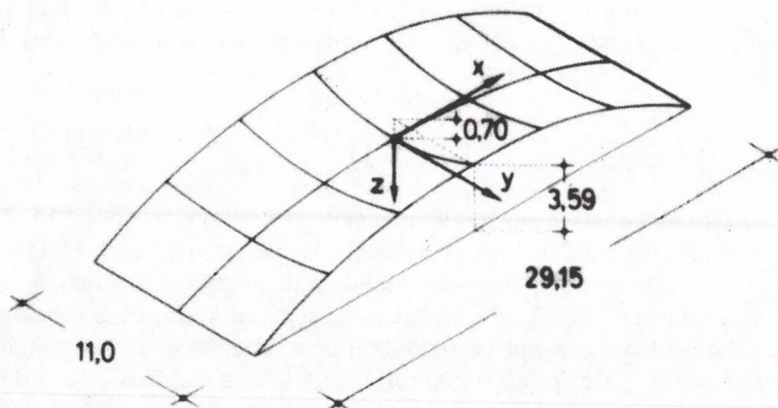
Van azonban a tudomány művelésének egy második lépcsője is, amit „a rendszer továbbfejlesztésének” neveztünk. Ez abban áll, hogy több egyedi probléma megoldását összehasonlítva általános érvényű megállapításokat teszünk, amelyek azután sok egyedi probléma megoldását teszik lehetővé.

Saját szűkebb szakterületemről, a tartószerkezetek elméletéből vett példákkal próbálom illusztrálni a tudomány művelésének ezt a két lépcsőjét. Kezdjük egy olyanal, ahol a kutatás egyetlen esetre ad megoldást.

A Székesfehérvári Könnyűfémű nagycsarnokainak lefedését az 1960-as években olyan héjszerkezettel akartuk megtervezni, amelynek alakja igen közel áll az eredeti, *Menyhárd István* által tervezett héjak alakjához (10), (3. ábra), de nem másodrendű, hanem negyedrendű felület (4. ábra), amely a támaszok felé foko-

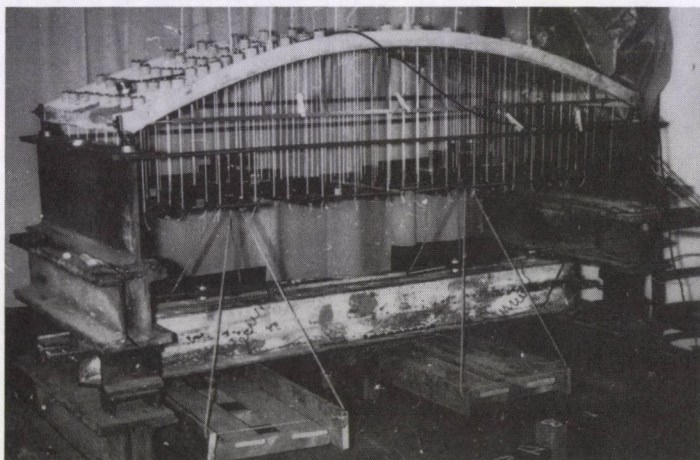


3. ábra



4. ábra

zatosan ellapul, azaz kiegyenesedik (6). Mivel annak idején a gépi számítás még gyerekcipőben járt, ezért problémát jelentett a hég igénybevételeinek kiszámítása. Az irodalomban ugyanis csak másodrendű felületek szerint kialakított héjakra volt található megoldás, negyedrendűre nem. Azt tudtuk, hogy a negyedrendű felület szerint kialakított hég nem csupán membránerőkkel hordja a terheket, hanem hajlítónyomatékok is ébrednek benne, de ezeknek a kiszámítása külön kutatómunkát igényelt. A nehézségeket úgy oldottuk meg, hogy felkértük az Építéstudományi Intézetet, ezen belül Szmodits Kázmért az analitikus megoldás kidolgozására, és modellkísérletet is végeztettünk a Budapesti Műszaki Egyetem Építőipari Laboratóriumával (5. ábra). Ezzel párhuzamosan a gépi számítást is megrendeltük, amelyet annak idején csak differencia-módszerrel lehetett elvégezni. A három vizsgálat eredményeit összevetettük és így jutottunk olyan ismeretekhez, amelyek alapján meg lehetett tervezni a hégat (7), (14), (6. ábra).



5. ábra



6. ábra

A most leírt mindhárom vizsgálat egyetlen konkrét probléma megoldására irányult. Közülük azonban csak az analitikus megoldás tekinthető tudományos kutatási eredménynek, mivel a másik kettő, a modellkísérlet és a differenciámódszeres gépi számítás ismert módszerekkel jutott célhoz.

Az általános érvényű megállapításokra, azaz a rendszer továbbfejlesztésére jó példa a héjszerkezetek szükséges megtámasztásmódjának tisztázása. Ismeretes, hogy egy héj akkor tekinthető gazdaságosnak, ha a külső terheket a héjfelületbe eső erőkkel, az ún. membránerőkkel tudja viselni, és nincs szükség a terhek viseléséhez hajlítónyomatékokra. A mérnökök az 1920-as évek óta építenek vékony héjszerkezeteket, és a különböző héjalakokhoz minden egyes esetben igyekeztek megkeresni azt a megtámasztásmódot, amely biztosította, hogy membránerőkkel viselje a héj a terheket. Fel lehet vetni azonban általánosságban is a kérdést: milyen héjalakokhoz milyen megtámasztást kell választanunk ahhoz, hogy létrejöjjön a membránerő-játék. Ezt a kérdést *Csonka Pál* tette fel az 1960-as években (1), de a problémát általánosságban *Tarnai Tibor* oldotta meg, a másodrendű parciális differenciálegyenletek elméletének eredményeit felhasználva, 1978-ban megjelent három alapvető cikkében (15).

A mérnöki tevékenység

A következőkben elsősorban az építőmérnöki alkotásokról, ill. tevékenységről fogunk beszélni, de amit ezekről mondunk, az alapjában véve igaz más mérnöki tevékenységekre is.

Mivel a mérnöki tevékenység társadalmi igény kielégítésére szolgál, ezért a feladat első lépése

- az igény pontos felmérése.

Ez igen sokrétű körültekintést igénylő feladat, figyelembe kell venni a műszaki szempontokon túlmenően közgazdasági, társadalmi, környezetvédelmi stb. kívánalmakat is. Ennek megfelelően az igény felmérése nem tisztán mérnöki tevékenység; döntő szerepet játszanak benne a különböző hatóságok, nem utolsósorban az igényt kielégítő létesítmény finanszírozója.

A kielégítendő igény tisztázása után következik

- a műszaki tervezés.

Ez az alapkérdés meghozatalával kezdődik: mivel tudjuk az igényt kielégíteni? Például egy völgyön való áthaladást megoldhatunk híddal, töltéssel, vagy úgy, hogy az utat levisszük a völgy fenekére és a másik oldalon ismét felvezetjük. Egy folyón való átjutást megoldhatunk híddal, a folyó alatti alagúttal, esetleg komppal is.

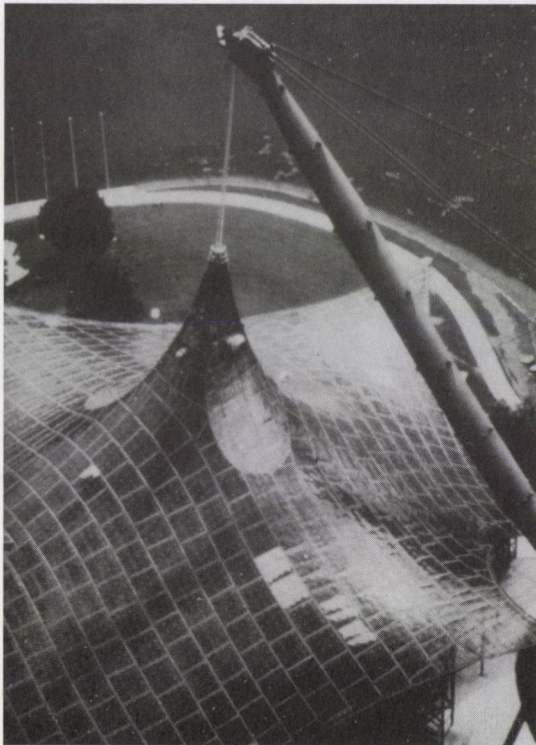
Ha meghoztuk az alapkérdést, akkor következik maga az alkotás, az általános érvényű hármastagozódás figyelembevételével: az alkotásnak egységbe kell foglalnia a funkciót, a szerkezetet és a formát, és ezen kívül gazdaságosnak is kell lennie. Egy híd esetében a funkció azt jelenti, hogy át kell vezetni a közlekedési létesítményt — utat, vasutat, vagy akárcsak gyalogutat — az egyik partról a másikra. A szerkezeti követelmények azt jelentik, hogy a híd elbírja a ráháruló terheket és időtálló legyen. Tágabb értelemben idetartozik minden műszaki szem-

pont és követelmény is (építési anyagok, építéstechnológia, vízszigetelés; épületek esetében idetartoznak még az épületszerkezetek, az akusztika, a hőszigetelés stb. is). A forma az esztétikai megjelenést jelenti.

Tovább vizsgálva a tervezés folyamatát, az alapkérdés után (a példa szerint hiddal akarjuk áthidalni a völgyet) meg kell határoznunk a létesítmény szerkezeti kialakítását, azaz a mérnöki alkotás koncepcióját. Ez azt jelenti, hogy el kell döntenünk, milyen szerkezetű és nyílásbeosztású hidat tervezünk és hogyan építhetjük meg. Ehhez a döntéshez nagyon sok szempontot kell ismernünk és figyelembe vennünk. Ezek nemcsak tartószerkezetiek, hanem anyagismeretet, építéstechnológiai tájékozottságot, épületszerkezeti jártasságot, esztétikai érzéket, környezetvédelmi gondolkodást stb. is igényelnek, és a koncepció meghatározása ezeknek a szempontoknak valamilyen optimális kielégítését kell hogy biztosítsa.

Felmerül a kérdés, hogy ez az optimalás nem végezhető-e el valamilyen algoritmus szerint. Ehhez azonban valamennyi tervezési szempontot közös nevezőre kellene hoznunk. Ez a közös nevező például a *költség* lehetne. Itt azonban alapvető nehézségek lépnek fel. Nem lehet ugyanis egyértelműen, egzaktul megállapítani, hogy a különböző funkcionális megoldásoknak mi az értéke, hiszen ezek bizonyos kényelmi szinteket is jelentenek, amit gyakorlatilag nem lehet számszerűsíteni. Ezen kívül az esztétikai megjelenés értéke sem számszerűsíthető.

7. ábra



Az algoritmizálás lehetősége ellen szól az is, hogy az idők folyamán új szerkezeti anyagok, szerkezeti megoldások és építésmódok jelennek meg. Így pl. régebben alapvető szabály volt, hogy tilos kinematikailag határozatlan szerkezeteket tervezni, mert nem állékonyak. A kötél szerkezetek megjelenésével (7. ábra) azonban új helyzet állt elő: a legtöbb kötél szerkezet — ha a kötél szakaszokat rudaknak tekintjük — kinematikailag határozatlan (azaz labilis), és csupán a feszítés stabilizálja őket, bár — amint később rátérünk — csak kis mértékben: megmarad az a tulajdonságuk, hogy nagy alakváltozásokat végeznek, amelyek messze túllépik a hagyományos szerkezetekre érvényes alakváltozás-korlátozás mértékét (9). A funkció területén is változások következnek be amiatt, hogy újabb igények jelennek meg más funkciók kielégítésére (pl. rakéta-kilövőhely).

A forma területén pedig az esztétikai téren bekövetkező izlésváltozás okoz további problémát.

Mindezeknek a nehézségeknek a mélyén az rejlik, hogy a tervezésben mindig van többlet az eddigi ismeretanyaghoz képest, ami legalábbis új kombinációját jelenti a meglévő lehetőségeknek, de sokszor ezen is túlmegy. Ezt úgy is megfogalmazhatjuk, hogy a tervezés kreatív, alkotó folyamat, ami mindig hozzáad valamit az eddigi ismeretanyaghoz.

Akik a tervezést egyszerűen optimálási folyamatnak fogják fel és azt hiszik, hogy csak idő kérdése a tervezési folyamat gépre vitele és optimálási feladatként történő megoldása, azok úgy vélik, hogy a tervezés olyan, mint egy sakkjátzsma. Itt azonban azt kell meggondolnunk, hogy a tervezéstől eltérően a sakkjátzsma jól definiált lépések egymásutánjából áll, és ezeknek a lépéseknek bár igen nagy számú, de véges variációjuk lehetséges. Elvileg tehát a sakkjátékot számítógépre lehet vinni, és elméletileg azt sem lehet kizárni, hogy néhány év vagy évtized múlva egy gép az összes lehetséges játszma közül kiválasztja a megnyitásnak megfelelő, biztosan nyerő megoldást.

A tervezés abban alapvetően különbözik a sakkjátzmától, hogy nem csupán jól definiált lépések egymásutánjából áll, hanem definiálatlan, sőt esetleg csak a jövőben kigondolandó lépésekből is.

Az algoritmizáláshoz lehetne azt a megoldást választani, hogy az egzaktul nem számszerűsíthető szempontokat becsléssel számszerűsítsük. Ez ugyan megoldaná a szempontok közös nevezőre hozását, de végeredményben csak önmagunkat csapnánk be vele, mert becslőt, azaz pontatlan adatokból kiindulva próbálnánk pontos eredményhez jutni.

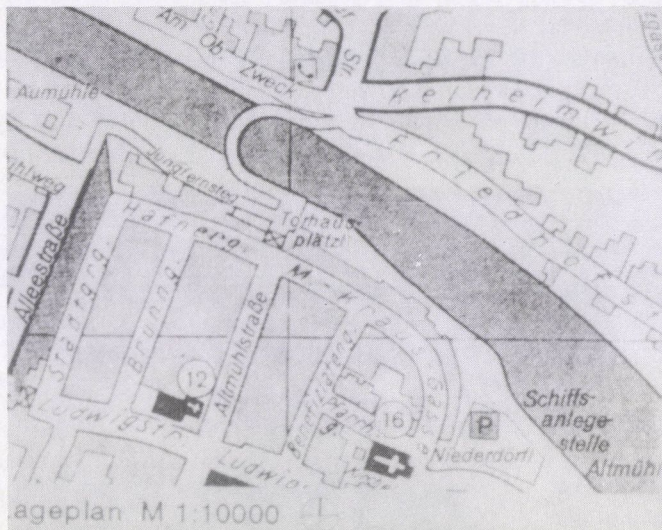
Az eddigi megfontolások azt mutatják, hogy a tervezésnek van egy egzaktul nevezhető része, amely szabályokba foglalható és bizonyos mértékig számszerűsíthető is, más része viszont a kreativitás, az intuíción és a művészet területére tartozik és ez nem számszerűsíthető.

Jóllehet a tervezésnek az egzakt része algoritmizálható és így számítógépre is vihető, mégsem nevezhetjük ezt a tevékenységet a tudomány továbbfejlesztésének, csupán alkalmazásának. Nyilván senki sem állítja, hogy pl. egy görbe tetőpontjának differenciálszámítással történő meghatározása tudományos tevékenység. Ugyanebből az okból nem minősül a tudomány továbbfejlesztésének a Székesfehérvári Könnyűfémű Héjszerkezetének differenciálmódszeres számítása, ill. modellkísérlete sem.

Ha elemezni próbáljuk az eddigiekben leírt tervezési folyamatot, akkor — a tudományos kutatáshoz hasonlóan — itt is négy fázist különböztethetünk meg. *Elsősor* össze kell gyűjteni és tanulmányozni kell az adottságokat, az igényeket, a műszaki és egyéb adatokat, *másodsor* érlelni kell az első lépésben összegyűjtött ismereteket. A *harmadik* lépésben kialakul a tervezett mű koncepciója, amely megfelel a tudományos tevékenység alapötletének, vagyis a megoldás megtalálásának. Végül a *negyedik* lépésben részletesen ki kell dolgozni az alapötletet.

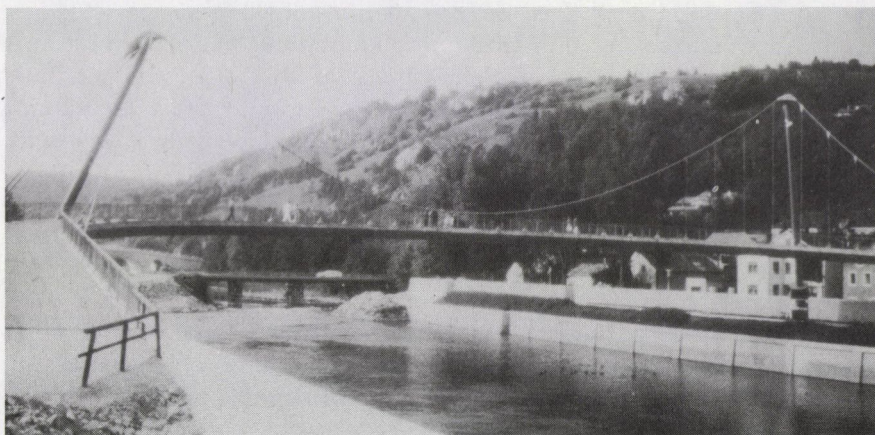
A tervezési folyamatnak tehát van egy olyan lépése: az ötlet kitalálása, amely túlmutat a logikus gondolkodáson és bizonyos értelemben többletet ad hozzá az addigi munkához: ez a tulajdonképpeni alkotó tevékenység.

Talán nem érdektelen egy konkrét példán bemutatni: hol jelentkezik az alkotó mozzanat a mérnöki tervezésben.



8. ábra

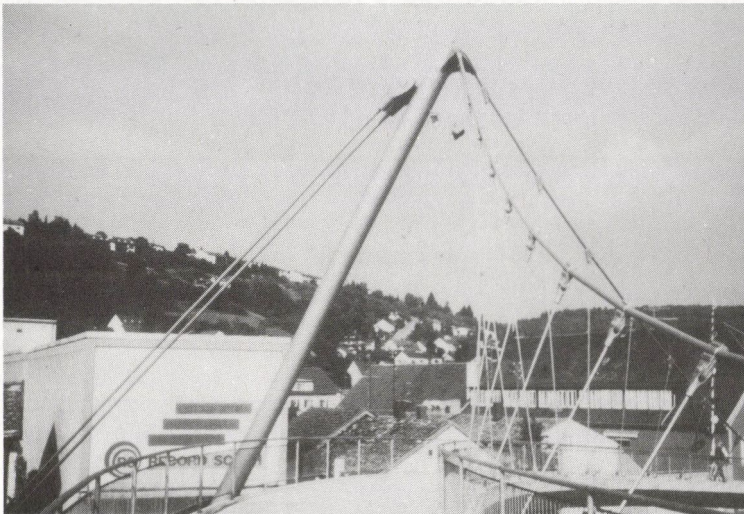
A Duna—Majna-csatorna létesítése több új híd megépítését is szükségessé tette. Az egyik gyalogoshíd Kelheim városában épült (8. ábra). A hajózási úrszelvény miatt a hídpályának meglehetősen magasra kellett kerülnie. Ha ezt az emelkedést a csatornára merőlegesen, a meglévő házak között hozták volna létre, akkor a lakók számára igen kellemetlen lett volna az emeleti ablakok előtt kis távolságban elhaladó töltés, amely a földszinti lakásokat elsötétítette volna, és ahonnan a járókelők beláthattak volna a lakásokba.



9. ábra

Azt a megoldást választották tehát, hogy az emelkedést a csatornával párhuzamosan alakították ki. Így a híd a hozzávezető eredeti út tengelyétől eltolva, attól bizonyos távolságban helyezkedik el. A másik parton azonban az eredeti úttengely folytatódik, így oda kell visszamenniük a gyalogosoknak. A megteendő útvonal tehát U alakú.

Mindezeknek a követelményeknek eleget lehetett volna tenni két töltéssel és egy egyszerű, egyenes vonalú hídval. A tervező *Jörg Schlaich* azonban nem ezt tette. Félkörív alaprajzú hidat választott (9. ábra), ami az U szerinti visszaforduláshoz szervesen illeszkedik. Az igazán frappáns ötlete azonban az volt — és éppen ez az alkotó mozzanat —, hogy ezt a félkörív alaprajzú hidpályát csak a belső oldalán támasztotta meg (10. ábra). Ez első pillanatra abszurdnak tűnik:



10. ábra

az egyenes vonalú hidakhoz szokott szemléletünk szerint a csupán egyik oldalán megtámasztott hidpálya nem állékony: lebillen. A körív alaprajz esetében azonban más a helyzet. Gondoljunk csak arra, hogy egy teljes körgyűrű alaprajzú lemezt elegendő az egyik (pl. a belső) pereme mentén megtámasztani. Lényegében ugyanez érvényes a félkörív alaprajzú hídra is. Schlaichnak további ötlete az volt, hogy ezt a megtámasztást hangsúlyossá tette: nem alátámasztotta, hanem két pilonról felfüggesztette a szerkezetet. Így alakult ki a megépült híd, amely egyedülálló, érdekes alakjával látványosságzámba megy (12).

Az elmondottakból az is kitűnik, hogy a tervezés alkotó jellegéhez ugyan szükség van a tudományra, de nem feltétlenül a tudomány továbbfejlesztésére, hanem csupán új területre való alkalmazására. A kelheimi hídnál a körgyűrű megtámasztására vonatkozó ismereteket kellett átvinni a félkörív-gyűrűre. A korábban említett székesfehérvári hêjszerkezet esetében sem volt feltétlenül szükség a tudomány továbbfejlesztésének számító analitikus megoldásra: voltaképpen elég lett volna a hêjszerkezetekre már korábban kidolgozott differencia-módszerrel, vala-

mint a szintén ismert modellkísérleti metodikával meghatározni az új héj-alak belső erőit és biztonságát a töréssel szemben. Az alkotó mozzanatot itt ugyanis a héj újszerű alakjának megválasztása jelentette, aminek megvalósításához elegendő lett volna a tudomány eredményeinek erre az új héjformára történő alkalmazása.

Az alkotó gondolkodás menete

Amint láttuk, a tudományos kutatás és a mérnöki tervezés voltaképpen négy hasonló lépésből áll, más-más területen. Érdekes ezek után összehasonlítani ez a két tevékenységet a művészek alkotó gondolkodásának menetével. Ez ugyanis Wallas amerikai kutatónak az 1920-as években felállított és azóta klasszikussá vált sémája szerint (2) a következő lépésekből áll:

1. Előkészület (anyaggyűjtés)
2. Lappangás (érlelés)
3. Megvilágosodás (az alapötlet kitalálása)
4. Verifikálás (felülvizsgálat, kidolgozás)

Ezek lényegében megegyeznek a tudományos és a tervezői tevékenység lépéseivel. Azt mondhatjuk tehát, hogy a tudomány továbbfejlesztése, a tervezés folyamata és a művészi alkotás nagyon hasonló lépésekből áll, és tágabb értelemben véve egyenrangú tevékenységek. Mégsem lehet ebből azt következtetni, hogy pl. a tervezés tudományos alkotó tevékenység, mint ahogyan senkinek nem jutna eszébe azt állítani, hogy a művészi alkotás egyenlő a tudomány továbbfejlesztésével. Ami igazán közös mind a háromban, az az alkotás mozzanata.

A Wallas-féle négy lépésnek további jellegzetessége, hogy az első és a negyedik lépés jól oktatható, a második lépés már kevésbé, a harmadik lépés pedig lényegében nem oktatható, hanem csak azt lehet megtenni, hogy példákon bemutatjuk: milyen alapötlete támadt a tervezőnek (kutatónak, művésznek) bizonyos esetekben, és ezzel próbáljuk meglendíteni a kezdő tervező, kutató stb. fantáziáját hasonló ötletek kitalálására. Kétségtelen azonban, hogy bár ily módon hozzásegíthetjük a kezdő tervezőt, kutatót az alkotó tevékenységhez, ez mégis elsősorban az illető adottságain fog múlni. Ezeket az adottságokat természetesen lehet fejleszteni, de csak akkor, ha valakiben van ilyen képesség.

Érdekes még összehasonlítani a tervezői tevékenységet a humán tudományokkal is, például a történelemmel. A történésznek is először össze kell gyűjtenie a tényeket és adatokat, ezeket ellenőriznie kell, és akkor merül fel probléma, ha ezek egymásnak ellentmondanak. Ekkor a történésznek sokszor más tudományágak segítségével (pszichológia, szociológia stb.) kell eldöntenie, hogy melyik magyarázat a helytálló például egy eseménynek vagy egy személy cselekedetének az okára. Ez a döntés azonban nemcsak a rokon- és segédtudományágak ismeretét kívánja meg, hanem bizonyos beleérző képességet is igényel, ami hasonlít a művészeti adottságokhoz.

A tervezés tudományos háttere

Amint korábban említettük, a tervezésnek van egzakt része. Nézzük most meg röviden, hogy milyen. Először is azt kell megállapítanunk, hogy a tervezés mindhárom aspektusának, a funkciónak, a szerkezetnek és a formának is van elmélete. Ezeket tervezéselméletnek szokták hívni.

A funkcióelmélet például azt vizsgálja, hogy hogyan lakik egy család, és az életmód elemzéséből vezeti le, hogy hogyan kell kialakítani a lakás célszerű alaprajzát. Elég csak egy pillantást vetnünk a századfordulón épült és a ma tervezett lakásokra, és rögtön kitűnik, hogy a családok annak idején egészen másképp laktak, mások voltak a mindennapi szokásaik, az életformájuk gyökeresen más volt, mint manapság. Ugyancsak van elmélete egy irodaház funkciójának: gondoljunk csak a kisteres és a nagyteres megoldásokra stb. Ez természetesen más területeken is így van. Például egy út megtervezése előtt meg kell határozni a közlekedési igényeket, ami szintén elméleti alapokat igényel.

Kiemelkedő szerepe van a funkcióra vonatkozó kutatásnak a településtervezésnél abban az értelemben, hogy talán a településtervezés az a mérnöki-építészeti tevékenység, amelynek a legszélesebb területről kell begyűjtenie a funkciót meghatározó tényezőket. Ugyanis nemcsak az emberi magatartás, viselkedés és életforma ismerete szükséges, hanem pl. környezetvédelmi, infrastrukturális, sőt jogi ismeretek is, és az emberi magatartás megítélésében figyelembe kell venni a pszichológiai, a szociológiai stb. tudományágak eredményeit, ha a településtervező el akarja kerülni, hogy a lakók rosszul érezzék magukat.

A szerkezetek elmélete elsősorban a tartószerkezetek erőjátékával foglalkozik, és ez mérnöki körökben jól ismert. De idetartozik az épületszerkezetek elmélete, az anyagismeret és még sok más egzakt műszaki tudományág, amelynek eredményeit fel kell használni a tervezésben.

Végül a formának is van elmélete, amit az esztétikáról írt könyvek nagy száma is bizonyít.

Mindezek arra szolgálnak, hogy lehetővé tegyék a magas színvonalú tervezést. Ehhez ezeknek az elméleteknek az eredményeit jól használható formába kell önteni, azaz szabályokat kell felállítani: tervezésmetodikát kell felépíteni, amelynek alapján a mérnök tudni fogja, hogyan fogjon hozzá a tervezéshez, milyen szempontokat kell végiggondolnia és milyen módszerekkel juthat célhoz (11). Idetartozik az a felismerés is, hogy a tervezési folyamat nem egyenes vonalban visz a végcélhoz, hanem iterációval, a tervezési szempontok ismételt megvizsgálásával, újragondolásával és összevetésével, aminek elsődleges oka az, hogy ezek a szempontok igen sokrétűek, néha ellentmondóak, és amint már említettük, nem lehet őket egzakt mérőszámmal összehasonlítani.

A tervezésmetodika lényegénél fogva elsősorban a szerkezeti és funkcionális kérdésekre terjed ki, az esztétikai kérdéseket azonban sokkal kevésbé lehet metodikába fogni, mert ez a kreativitás területére tartozik, ami nem tűri meg a merev szabályokat.

A mérnöki szakmának van egy mesterség-jellegű része is. Ez olyan szabályokat foglal magában, amelyeket nem tudományos alapon állítottak fel, hanem sok évtizedes tapasztalatból szűrtek le. Ilyen például a töltésekhez alkalmazott 6/4-es hajlás: a tapasztalat azt mutatta, hogy az ennek megfelelően kialakított rézsúk állékonyak.

A tudomány fejlődésével ezeket a mesterségbeli szabályokat idővel felváltják a tudományos alapon felállított (és a legtöbbször árnyaltabb, különböző esetekre más-más eredményt adó) szabályok. Így például a múlt század második felében érvényes építési szabályzat a fővárosban azt kívánta meg, hogy ahány emeletes az épület, annyi láb szélességű legyen a falak alapja. A talajtechnika mai fejlettségi fokán természetesen mosolygunk ezen, és a talaj tulajdonságaiból számítjuk ki az alap szükséges szélességét. Mindazonáltal meg kell állapítanunk, hogy ezek a régi szabályok nem is voltak olyan rosszak.

A tervezés tehát a tudományos eredményeket használja fel, és ebbe beletartozik az is, hogy a tudományos kutatás eredményei befolyásolják a tervezés menetét, azaz metodikáját is. A tervezés folyamata maga azonban nem tudományos problémák megoldása, nem tudományos tevékenység, hanem olyan szintézis, amelyben műszaki, emberi, esztétikai és sok egyéb szempontot összhangba kell hozni. Gondolhatunk arra is, hogy a művészettörténet vagy az esztétika ugyan tudományágak, de ettől még maga a művészet nem válik tudománnyá.

Mindeddig a mérnöki tervezésnek arról a fajtájáról beszéltünk, amikor a mérnök valamilyen objektumot tervez. A mérnöki tevékenységnek azonban van egy másik területe is: a folyamattervezés (gyártástervezés), amelyre nem érvényes a funkció, szerkezet és forma hármasszögének kritériuma. A folyamatnak logikusnak, célszerűnek és gazdaságosnak kell lennie, de nincs esztétikai oldala, az időbeli és térbeli elrendezést és minőségbiztosítást kell megcélözni. Az építőmérnöki gyakorlatban ez elsősorban a kivitelezés megtervezését jelenti. A folyamattervezés azonban legtöbbször nem az építőmérnökök feladata, hanem más (pl. gépész, kohász, vegyész) szakembereké. Éppen ezért nem kívánok ezzel részletesen foglalkozni, csupán annyit említenék meg, hogy minden folyamattervezés tudományos kutatási eredményekre épül és ezeket használja fel.

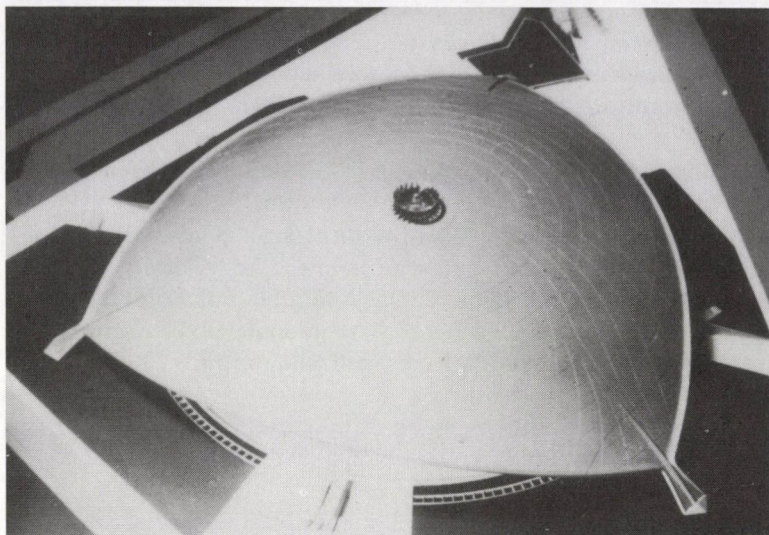
Tudományos problémák a tervezésben

A tervezés során sokszor történik meg, hogy tudományos probléma is merül fel. Ilyesmi leginkább a tartószerkezetek területén fordul elő. Ezeknek a tudományos problémáknak a megoldása azonban a legtöbb esetben más személyekre vár, nem a tervezőre, és nagyon sokszor időben sem fér ebbe bele.

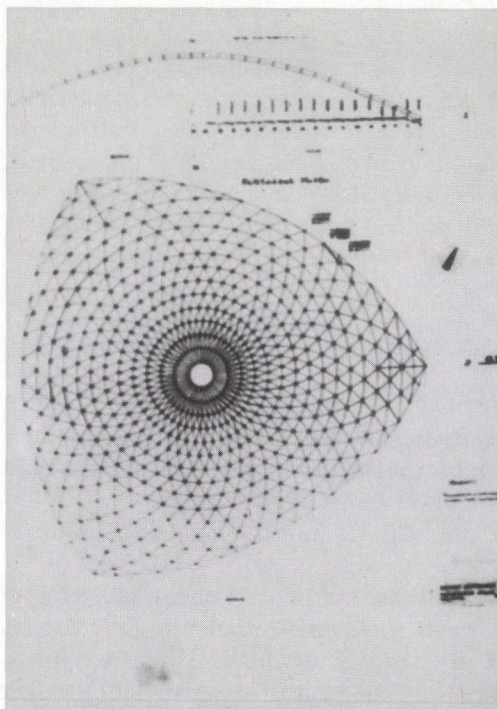
A következőkben két példát szeretnék mutatni a felmerülő tudományos problémákra és megoldásuk módjára.

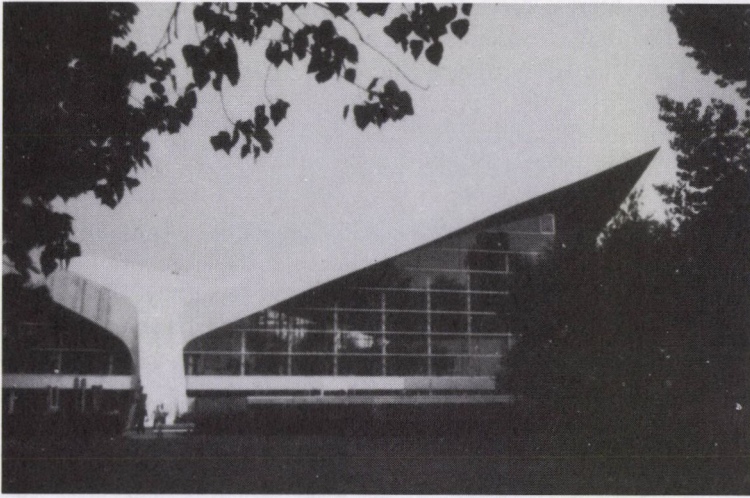
A Budapesti Sportcsarnok lefedését az 1960-as években (5) olyan kétszer görbült felületű héjjal oldottuk meg, amely acél rácsszerkezetből állt (11. és 12. ábra). Ezzel kapcsolatban felmerült az a probléma, hogy hogyan helyettesíthető egy folytonos felületű héjszerkezet rudakból álló hálózattal, hogyan lehet ezeket

11. ábra

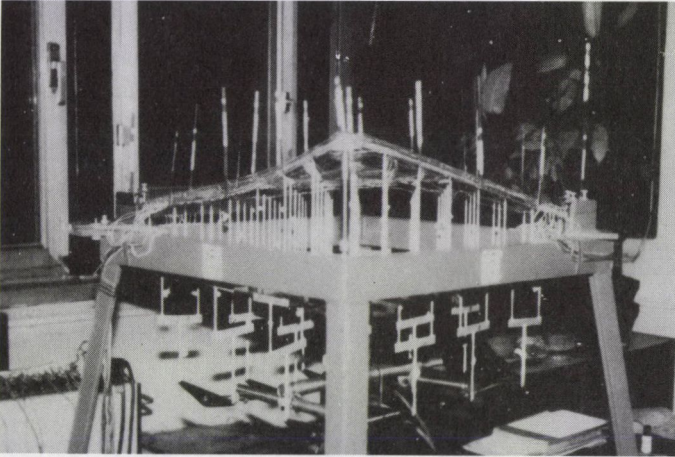


12. ábra egymásba átszámítani, és mikor felel meg a kettő egymásnak statikai szempontból. A tervezés idejében erre vonatkozóan egymásnak ellentmondó cikkek jelentek meg a külföldi folyóiratokban, és ezek közül ki kellett szűrni a téves eredményeket tartalmazókat; a helyes eredményeket tartalmazókkal viszont az volt a probléma, hogy csak speciális esetre (egyenlő oldalú háromszögekből álló hálózatra) adtak megoldást, márpedig kettősen görbült felületre csak egészen kivételes esetben lehet egyenlő oldalú háromszög-hálózatot szerkeszteni. Ennek a kérdésnek a megoldásában a tervezési idő alatt annyira jutottunk el, amennyire a Sportszarnok lefedő szerkezetéhez szükség volt. A tervezés befejezése után még hosszabb időt vett igénybe a felmerülő kérdések általános tisztázása, és így csak 10 évvel később jelent meg Hegedűs Istvánnal közösen írt könyvünk, amely a problémák nagy részét általánosságban is megoldotta (8).





13. ábra



14. ábra

Egy másik példa a hamburgi Alster-uszoda, melynek tetőszerkezetét Jörg Schlaich újszerű elrendezéssel oldotta meg: a hiperbolikus paraboloid torznégyszögekből álló lefedést konzolosan kinyújtotta (13. ábra), és magával a héjjal horgonyozta vissza a támaszok zónájába. Ily módon lényegesen kisebb keresztmetszetű peremtartókat tudott alkalmazni (13), (3). Tisztázatlan maradt azonban a peremtartók kihajlásának általános problémája, mivel ezeket a héj bizonyos fokig merevíti, de nem volt ismeretes, hogy ez a merevítés milyen mértékű. A kérdést évekkel később Jankó László tisztázta egy általa irányított modellkísérlet-sorozattal, amelyet a Budapesti Műszaki Egyetem Építőipari Laboratóriuma végzett el (14. ábra). Itt ugyanehhez a héjhoz különböző merevségű peremtartókat alkalmazott az egyes modellekben, és így meg tudta állapítani, hogy a peremtartó és a héj merevségeinek különböző arányai esetében milyen mértékű a héj merevítő hatása (4).

Az elmondottakból kitűnik, hogy a tervezés közben felmerülő tudományos problémák megoldása sok esetben más szakemberek közreműködését igényli, és általában csak a tervezés alatt álló objektum viselkedését tisztázza. Általános törvényszerűségeket szinte minden esetben csak utólag lehet felállítani, és ez a tevékenység a tudományos kutatók feladata.

Összefoglalás

A bemutatott példák azt igazolják, hogy a tervezés közben felmerülő tudományos problémák megoldása általában nem fér bele a tervezés menetébe, esetleg más szakemberek bevonását igényli, vagy a tervező tudományos tevékenységét.

Azt is láttuk, hogy nemcsak a tudomány hat a tervezésre, hanem fordított hatás is jelentkezik: nagyon sokszor a gyakorlat veti fel azokat a problémákat, amelyeket a műszaki tudománynak kell megoldania. Ilymódon termékeny egymásrahatást figyelhetünk meg a tudomány és a tervezés között.

Az eddig elmondottakat összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a mérnöki tervezés: szintetizáló tevékenység, amely a konkrét társadalmi igény kielégítésére szolgáló létesítmények kialakításához felhasználja és alkalmazza a tudomány eredményeit, ezeket számos esetben kutatással egészíti ki, és vannak benne alkotó mozzanatok is. Éppen ezért nagyfokú hasonlóságot találtunk a művészeti alkotás, a tudomány továbbfejlesztése és a tervezés menete között, de ez nem jelenti e tevékenységek azonosságát, csupán egyenértékűségét.*

IRODALOM:

- (1) Csonka P.: Héjszerkezetek. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1981.
- (2) Halász L. (szerk.): Művészetpszichológia. Gondolat Könyvkiadó, Budapest, 1983.
- (3) Jankó L.: Torznégyszög felületű héj premtartóinak méretezése a héj tehermentesítő hatásának figyelembevételével. Mélyépítéstudományi Szemle 23 (1973) 36—41.
- (4) Jankó L.—Szittner A.: Experiment to investigate the common loss of stability of edge beams in combination with hyperbolic paraboloid shell supported along the generatrices. Acta Techn. Civ. Eng. 106 (1994) 145—175.
- (5) Kollár L.: A Budapesti Sportsarnok héjfedésének szerkezeti kialakítása. Műszaki Tervezés 1967/5. 35—36.
- (6) Kollár L.: A Székesfehérvári Könnyűfémű bővítés II. ütemének héjszerkezetei. Mélyépítéstudományi Szemle 19 (1968) 541—545.
- (7) Kollár L.—Gárdonyi Z.—Holnapy D.: Negyedrendű felületű, egyenes peremű hajlított héj számítása szimmetrikus és antiszimmetrikus teherre. Műszaki Tudomány 43 (1970) 151—181.
- (8) Kollár L.—Hegedűs I.: Analysis and Design of Space Frames by the Continuum Method. Akadémiai Kiadó, Budapest—Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 1985.
- (9) Kollár L.: Kötélszerkezetek merevségi problémái. Közlekedéscépités- és Mélyépítéstudományi Szemle 38 (1988) 241—248.
- (10) Menyhárd I.: Héjszerkezetek. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1966.
- (11) Mistéthy E.: A tervezés metodikája. Magyar Tudomány 1995. március, 266—269.
- (12) Schlaich, J.—Bergermann, R.: Fußgängerbrücken. ETH Zürich. Institut für Baustatik und Konstruktion 1992.
- (13) Schlaich, J.: Zum Tragverhalten von Hyperschälén mit nicht unterstützten Randträgern. Beton- und Stahlbetonbau 65 (1970) 54—63.
- (14) Szittner A.: Modellstatik. Periodica Polytechnica Vol. 17. (1973) Civ. Eng. No. 1—2. 55—85.
- (15) Tarnai T.: Héjak membránállapotának létezési és egyértelműségi feltételeiről. Műszaki Tudomány 56 (1978) I. Hipربولikus héjak 19—47.; II. Parabolikus héjak 169—192.; III. Elliptikus héjak 379—410.

*A székfoglaló előadás rövidített változata.