

3 A tervezés dimenziói. Tervezési követelmények

A *dimenzió* kifejezést a különféle szakmai terminológiák egymástól eltérő értelmezéssel használják. Ebben a fejezetben a szó olyan, egymástól jól megkülönböztethető, többé-kevésbé független irányultságokat jelent, amelyeket a tervező mérnök szem előtt tart, követ és kidolgoz munkája során.

E dimenziók – rendeltetés, szerkezet, forma, kivitelezhetőség, környezetbe illeszkedés, gazdaságosság, üzemeltetés, elfogadhatóság – kiemelése is, sorrendje is önkényes. További dimenziókat könnyen lehet értelmezni és az sem állítható, hogy valamennyi független a többitől*. Megkülönböztetésük mégsem felesleges. Azt érzékelteti, hogy a tervezés során egy sokdimenziós *követelménytérben* kell megkeresni a feladat valamilyen értelemben optimális – a követelményeket itt-ott talán nem tökéletesen kielégítő, de összességében harmonikus, kiegyensúlyozott – megoldását. A különféle részterületeken tájékozott szaktervezők együttműködésének éppen ez a célja.

3.1 Rendeltetés (funkció)

A rendeltetés az építendő szempontjából (kevés kivételtől[§] eltekintve) a legfontosabb dimenzió. A tervező figyelme ebben a dimenzióban a használatra irányul. Létesítmény esetében például - a rendeltetésből kiindulva - a megbízó által körvonalazott célok értelmezésével, szükség szerinti pontosításával, alkalmasint megvitatásával le kell vezetni a terekre, ezek összekapcsolására, a használattal összefüggő berendezésekre, komfortigényekre, ezeket kiszolgáló hálózatokra stb. vonatkozó igényeket, lehetőségeket.

A megbízó szándékainak felderítése, tisztázása el nem túlozhatóan felelősségteljes és fontos feladat. A tervező – szakértelme, tapasztalatai birtokában – gyakran tekint természetesnek olyan szempontokat, adatokat, korlátokat, amelyek az építendő számára egyáltalán nem maguktól értődőek. A megbízó – önmegvalósítás, egyediségigény, divat vagy hivalkodásvágy által indítva – elutasíthat sokszorosan bevált, kiforrott elrendezéseket, és igényelhet olyan „megoldásokat”, amelyek célszerűtlensége a használat során rövid időn belül kiderül.

A rendeltetést tervezési feladattá transzformáló tudás nagyon összetett. A létesítmény, szolgáltatás, rendezvény stb. jellegétől függő mélységekben ki kell terjednie (egyéni és közösségi) életviteli, esztétikai, szociológiai stb. szempontokra. A tervezés általános (*planen*) szintjén ezért széles összefüggések átlátására kell képesnek lennie a tervezőnek. Sok esetben kevés jele van ennek a követelménynek (például egy 60 m magas ipari kémény megtervezése ritkán függ össze életviteli megfontolásokkal), de szinte mindig meghatározó fontosságú, ha a használat személyeket, csoportokat, közösségeket érint (és a kémény esetében sem mellőzhető, ha a környezeti hatásokkal is számol a körültekintő tervező).

A tervezés *entwerfen* és *konstruieren* szintjén szükséges ismereteket kifejtő szaktárgyak elsajátítása önmagában nem tesz képessé komplex látásmódra. Utóbbi kialakítása elsősorban az építészmérnöki képzés vállalt célja**. Ez az oka annak, hogy a közérdeket érvényesítő jogszabályok az építmények igen széles körében megkövetelik az építészeti képzettségű (*architect*) tervező részvételét, összefogó tevékenységét.

Különösen lakó- és közösségi létesítmények esetében könnyű belátni ennek a jogi természetű szabályozásnak az indokoltságát. Az OTÉK által előírt követelmények jelentős részét a rendeltetés dimenziójában kell értelmezni. A térképzés és –elválasztás, a felszereltség, az ártalmak elleni védelem és használati biztonság, a követelmények lehetőség szerint rugalmas, ésszerű határok között rendeltetést módosítást is megengedő kielégítése az építészképzés tárgya.

Természetesen sok más esetben (így például közutak, hidak, szennyvíztisztító berendezések, szabadtéri ipari állványok tervezésénél) a rendeltetésnek megfelelő kialakításhoz teljesen elegendő lehet a szakági (például szerkezettervezői, épületgépészeti vagy üzemtechnológiai) mérnöki

* A rendeltetés és a formai megjelenés kapcsolatának szorossága például közhely, de a szerkezet és a gazdaságosság közötti összefüggés is gyakran szembeötlő.

[§] Kivételt jelenthet például a pénzmosást célzó beruházás, amelyben a funkció és a költségek kérdése esetleg érdektelen lehet.

** A települési infrastruktúra mérnöki létesítményei körében a most bontakozó településmérnöki képzés törekszik hasonló értelemben komplex szemléletmód kialakítására. Az *építőművész* látásának ugyanakkor lehetnek kisebb-nagyobb kiterjedésű vakfoltjai (érzékletlenség a kivitelezés, a gazdaságosság vagy az üzemeltetés dimenzióiban).

tájékozottság. De egyszerűnek látszó feladatokban is gyakran jelennek meg olyan mellékfunkciók, amelyek indokolják az építész összefogó, koordináló tevékenységét, még akkor is, ha a megbízó maga nem lép fel igényes esztétikai, „építészeti” megoldások iránti igénnyel.

Egy kisvárosi labdarúgó pálya tervezésének látszólag egyszerű mérnöki feladata is elgondolkodtatóvá válik, ha belátjuk, hogy napjainkban a közvetlen rendeltetést szolgáló gyepes tér és pályaszerelvények mellett ülőhelyes lelátókat, pénztárakat, parkolóhelyeket, hulladékgyűjtőket is tervezni kell, egy szolgáltató épületben melegvízre, zuhanyozókra, öltözőkre, a pályához vezető közlekedő terekre van szükség, sőt a rendeltetéshez tartozik a játékvezető kiszolgálása is az érkezéstől a mérkőzés végén esetleg bíróverésre gyülekező nézőktől való védelemig.

3.2 Szerkezet

A mérnöki létesítmények körében a szerkezeti kialakítás dimenziója a tervezés második és harmadik szintjén egyaránt kiemelkedő fontosságú. A „szerkezet” fogalma ugyanis meglehetősen általános – az építőmérnöki gyakorlatban használt, tartószerkezetekre korlátozott értelmezés csak egyike a lehetséges szűkítéseknek. E fogalomkörbe sorolható egyebek között a legtöbb

- teherviselő szerkezet (tartók, alapozások, közlekedési pályaszerkezetek),
- térelhatároló, szigetelő szerkezet (válaszfal, ablak, ajtó, tetőhéjalás),
- épületgépészeti (szellőzési, hőmérséklet szabályozási, anyag- és energiaszolgáltatási) ellátó és használat utáni hálózat, berendezés,
- burkoló, felületképző elem, szerkezet.

A sokféleséget és annak nagyságrendjét érzékeltetheti egy becslésszerű adat: falazó és tetőfedő agyagkerámia-elemektől hőszigetelő lapokon át kéményzáró idomokig, nyílászáróktól kötőanyagokon át járófelületek burkoló elemeiig, víz- csatorna-, gáz- villany- és informatikai hálózati rendszerek vezetőkeitől és tartozékaitól biztonságtechnikai berendezésekig terjedően mintegy 400 ezer terméket talál a piacon a tervező mérnök (és az építési ágazat termékeit forgalmazó nagy áruházak barkácsoló látogatója).

A sokféle szerkezetre vonatkozó ismeretanyagot a műszaki szaktárgyak nagy részletességgel tárják fel. A mérnöki tervezési módszerek témakörében ezért az említett szűkebb értelmezés szerinti szerkezetekkel összefüggő - az Európai Unióban érvényes szabályozással összhangban lévő hazai - tervezési követelményekre lehet szorítkozni, a létesítmények szilárdsági és állékonysági viselkedésére, alakváltozásaira és anyagára korlátozva a figyelmet.

Mechanikai szilárdság és állékonyság (mechanikai ellenállás és stabilitás)

Az OTÉK[#] teljes általánosságban, a *megvalósítás* követelményeként írja elő az építmények mechanikai szilárdságát és állékonyságát. Az első követelmény akkor teljesül, ha a teherviselő szerkezetekben a rájuk ható igénybevételek következtében nem keletkeznek károsodást okozó feszültségek, a második akkor, ha az igénybevételek hatására a szerkezetek nem mozdulnak el őket rendeltetésük betöltésére alkalmatlanná tévő mértékben.

Ebből a követelményből egyértelműen következik a *tervezés kötelezettsége és felelőssége* is. A létesítmény úgy kell megtervezni, hogy a terv szerinti kivitelezés eredménye feleljen meg az OTÉK előírásának. A feladat egésze tehát felöleli

- a létesítményre ható terhelések helyes megállapítását,
- a mechanikai viselkedés jellemzésére szolgáló modell helyes megválasztását,
- a választott modellben keletkező igénybevételek kellő pontosságú kiszámítását,
- az igénybevételeknek megfelelő szerkezeti méretek helyes meghatározását.

A mechanika témakörébe tartozó kérdésekkel (a statika és a szilárdságtan elméleti kérdéseivel, a tartószerkezetek viselkedésének leírására alkalmas modellekkel, a számítások módszereivel stb.) foglalkozó tantárgyak tartalma, tárgyalásmódjuk szigorú ezeknek a kötelezettségeknek a komolyságával van összhangban. A különféle közelítési lehetőségek, és vizsgálati módszerek jelentősége részletesebb elemzést igényel, a jegyzet 5. fejezete tárgyalja a tudnivalókat.

[#] Országos Területrendezési és Építési Követelmények (I. 2. fejezet)

Alakváltozások

A megfelelő mechanikai ellenállással rendelkező és állékony szerkezetek alakja a rájuk ható terhelések következtében akkor is megváltozik, ha egyébként rendeltetésük betöltésére alkalmasak. Az alakváltozások mértékének kiszámítása, előírt korlátokon belül tartása szintén a mechanika tárgykörébe tartozó feladat, amelyet a szerkezettervezőnek kell megoldania. A tervezett tartószerkezetek meggörbülhetnek, lehajlásokat, eredeti alakjuktól függő torzulásokat szenvedhetnek. Az alakváltozások megengedhető mértékét teherbírástól független, használhatósági vagy esztétikai szempontok is meghatározhatják

Az alakváltozásokat a laikus szemlélő is érzékeli, a teherbírás vagy annak esetleges elégtelensége kevésbé szembeötlő jelekből ítélhető csak meg. Egy szemmel láthatóan meggörbült födémgerenda akkor is aggodalmat kelthet, ha az észlelt lehajlás teljes összhangban van a terheléssel és a tartó teherbírása megfelelő. A látványt természetesen meg lehet szokni – egyes kisforgalmú vasútvonalak mentén a használaton kívülre került síneket felszedő és födémgerendaként hasznosító építetők például képesek erre.

Anyagok

A teherhordó szerkezetek anyagait a tervező mérnök a bennük keletkező feszültségek függvényében választja meg. A szerkezeti anyagok köre igen tág. Tulajdonságaik széles határok között változhatnak, viselkedésük ismerete a mechanikai modellek megválasztásánál jut szerephez.

A tervezés feladata nem merül ki a szerkezetekben felhasznált anyag mechanikai tulajdonságainak figyelembe vételében. A szerkezeti anyagok alakíthatósága, megmunkálhatósága a kivitelezés szempontjából lehet lényeges. Tulajdonságaik időbeni változása, korróziós és más tartós – de nem mechanikai - hatásokkal szembeni ellenállásuk a létesítmény várható élettartamát befolyásolhatja. A mérnöki szerkezetek tervezési élettartama gyakran több évtizedes, ilyen időtávon előfordulhatnak előre nem látott hatások is.

Az építőanyagok fejlesztési versenyében időről időre megjelennek olyan ígéretesnek vélt újdonságok, amelyekről néhány éven belül kiderül, hogy tartós használatra mégsem alkalmasak. Műanyagokból előállított teherviselő elemek, ipari melléktermékekből előállított falazó anyagok felhasználása például jelentős és korai károsodásokhoz vezethet (adott esetben a használók egészségét is veszélyeztethetik). Ezért a tervező a szerkezeti anyagok megválasztása során óvatos és körültekintő módon köteles eljárni, nem hagyatkozhat a gyártók (még kevésbé a kereskedelem) hangzatos, de igen gyakran hiányos reklámjaira és ígérvényeire.

A XX. század harmincas éveiben – különösen a gyors szilárdulás előnyei miatt – széles körben használtak az építőiparban bauxit-cementet. A 60-as években derült csak fény arra, hogy az ennek felhasználásával kivitelezett beton és vasbeton tartószerkezetek bizonyos (egyáltalán nem rendkívüli) körülmények között jelentős szilárdságcsökkenést szenvednek. Építmények százait kellett költséges vizsgálatokkal ellenőrizni, megerősíteni, esetenként elbontani. Újabb keletű példaként említhető a kohósalakból készült falazóelem, vagy a földtámfalak erősítő anyagaként használt üvegszál-aszalt polészter szalag alkalmazása során előfordult káresetek sorozata.

A természetben előforduló anyagok (kő, fa, agyag, homokos kavics) és a különféle mesterséges úton előállított építőanyagok (szilikát-termékek, fémek, műanyagok, kompozitok) viselkedése az anyagtani és mechanikai tudás különböző szintjein más-más közelítésekkel írható le. A tervező felkészültsége és tapasztalata tükröződik a megválasztott méretekben, arányokban, megtámasztási rendszerekben. A tanult szerkezettervező legáltalánosabb arányszabálya: oda és annyi anyagot kell elhelyezni a szerkezetben, ahol és amennyi valóban „dolgozik”. A laikus szemlélő által megcsodált karcsú, jelentős terheket viselő szerkezetek – hidak, csarnokok, tornyok - esetében ennek az elvnek az ismerete és alkalmazása könnyebben érzékelhető; eltakart (például alapozási, üregmegtámasztó) szerkezetek esetében szinte soha. A létesítmények költségei mindenesetre tükröznek nagyon általános tapasztalati összefüggéseket (például egy szokványos terhelésre méretezett vasbeton lemezben a felhasznált betonacél-mennyiség térfogategységre vonatkoztatott értékéből következtetni lehet a tervező tudására, gyakorlottságára is).

A mechanikai (szilárdságtani, tartószerkezeti) viselkedés szempontjából fontos tulajdonságok ismerete mellett a tervező figyelmének további anyagjellemzőkre is ki kell terjednie. A legutóbbi évtizedekben megnőtt például a hőtechnikai tulajdonságok szerepe. Hasonló folyamat játszódik le több más épületfizikai hatás (például különféle sugárzások és elektromágneses erők) vonatkozásában.

3.3 Megjelenés, forma

A mérnöki létesítmény megjelenése széles – közterületi látványtól beltéri közérzetig terjedő – határok között kelt hatást a társadalomban. A tervezés egyik legfontosabb és legérdekesebb dimenziója ezért a forma, a megjelenés. A szaktárgyak részletesen tárgyalják azokat a különféle szempontokat, követelményeket és eszközöket, amelyek a látványosság, érdekesség, harmónia, divat, egységesség – egymásnak gyakran ellentmondó – várákosításainak kielégítésére teszik képessé a tervezőt.

A megbízó igényei, szempontjai ebben a dimenzióban is elsődlegesek. A létesítmény külleme üzenetet hordozhat (egy banképületnek például sugározni kell a biztonságot, a megbízhatóságot), kifejezésre juttathat jó módot, de nemtörődömséget vagy éppen iskolázatlan ízlést is. A meghökkenítő formai megjelenés igénye visszahathat a szerkezeti megoldásokra, és jelentősen befolyásolhatja a létesítmény költségét. E tekintetben csak bonyolítja a helyzetet az, hogy szinte nincs olyan építészeti ötlet, amelyet ne lehetne szerkezetként megformálni – más kérdés, hogy milyen áron.

A Sydneyben épített opera világszerte ismert, kagylóhéjra emlékeztető lefedése nem csak érdekes szerkezettervezési feladat volt. Megvalósítási költségei a hagyományos színházi létesítmények körében szokásos összeg többszörösét tették ki, de a város vállalta ezeket, éppen a kivételes nemzetközi visszhang és turisztikai vonzerő biztos reményében. Hazánkban is akadnak hasonló értelemben drága alkotások (például az ezredforduló táján épült egri uszoda), még ha a költségek vállalására irányuló készség olykor ellentmondásosabb vagy éppenséggel kényszeredett is lehet.

A mérnöki tervezés feladata a megjelenés dimenziójában az építészeti gondolatok megértése és a lehetséges szerkezeti, kivitelezési megoldások minél alkalmazkodóbb változatainak kidolgozása. Ebben a dimenzióban a konfliktusok kialakulásának kockázata különösen akkor nagy, ha az építész statikai tájékozottsága és a szerkezettervező felkészültsége egyaránt és egyidejűleg hiányos. Elsősorban a nagyobb terek lefedése és áthidalása körében eshet távol egymástól a közterületi látványban gondolkodó építész és a terheket biztonsággal hordozó szerkezetért felelős mérnök véleménye.

A tapasztalat azt mutatja, hogy kivételes esetektől eltekintve létrejön a látványosság és biztonság kiegyensúlyozott kompromisszuma. Elérése általában a szerkezettervező mérnöktől kíván meg nagyobb felkészültséget – például egyszeres és kettős görbületű héjak, nyílásokkal szabdaltnak lemezek, a statika törvényeit szinte megcsúfolni látszó, karcsú kötélhálók, függesztőművek méretezésére való képességet. Az egyetemi (MSc) oktatás ismeretanyagának elsajátítása ilyen összefüggésben csak kiinduló feltétel, mellette hosszú tartószerkezet-tervezési gyakorlatra, tapasztalatra, bonyolult mechanikai modellek számítására alkalmas (nagyteljesítményű számítógépekkel futtatható véges elemes) módszerekre kell támaszkodnia a felelős szerkezettervezőnek. A fiatal, tehetséges építészek és statikusok számára ennek a szintnek az elérését könnyítik meg a szakmai mesteriskolák.

Olykor előfordul, hogy az így megszülető látványos építmény a rendeltetés dimenziójában bizonyul fogyatékosnak. A 2001-ben megnyitott londoni gyalogos függőhíd világhírű építész tervezője, Norman Foster érdekes kábelvezetési megoldást „álmodott meg”, amit az Ove Arup tapasztalt szerkezettervezői méretezni tudtak. Egyikük sem számított azonban arra, hogy a kialakított – kétségkívül látványos és szilárd – szerkezet a gyalogos forgalom hatására lengésbe jön, és a mozgás a sétálóknak riadalmat kelt. A hidat megnyitása után rövid időn belül le kellett zárni. Sok hónapos munka, csillapító hidraulikus berendezések felszerelése (és az eredeti költségkeret jelentős túllépése) után nyílt meg újra 2002-ben London e látványossága. Példamutatón nyilvános módon történt viszont a hibák tanulságainak levonása, eltusolás helyett lehetővé téve a szakmai tapasztalatok közkinccsé válását (és ezzel hasonló esetek megelőzését).

A forma dimenziójában is ismertek közmondásszerűen általános elvek. Például sokan értenek egyet abban, hogy „ami szép, az többnyire rendeltetés és szerkezetkialakítás szempontjából is megfelelő”. Egyes szerkezettervezők ezt a gondolatot tovább fejlesztve állítják, hogy a statikailag helyesen kialakított szerkezet szép is (évvődő építész kollégáik szerint talán igen, de nem eléggé). Mindenesetre

tény, hogy a természetben felismerhető teherviselő alakzatok döntően befolyásolják szépérzékünket, a hozzájuk közel álló, hasonló megjelenésű épített szerkezeteket könnyebben fogadjuk el.

3.4 Kivitelezhetőség, megvalósítás

A mérnöki tervezés eddig tárgyalt dimenzióiban a leendő létesítmény jellemzőihez kapcsolódó szempontok szerepeltek nagy súllyal. A rendeltetésnek megfelelő, esztétikus, szilárd és állékony építmény (a cél) lehetséges változatait mérlegelő tervező feladata azonban az eléréséhez vezető út kialakítása is. A létesítményt meg kell építeni, többé-kevésbé megszokott technológiák alkalmazásával, igen gyakran az építető vagy a leendő használok körében ismert és kedvezményezett kivitelezőkkel.

Elsősorban a szerkezettervező feladata azoknak a kivitelezési adottságoknak és lehetőségeknek a figyelembe vétele, amelyekkel a megvalósítás folyamán számolni kell. Ebben a körben sem lehet teljességre törekvő listát adni a tisztázandó kérdésekről. Sokféleségük szemléltetése végett sorolunk fel néhányat:

- A létesítmény környezetében adott talajviszonyoknak megfelelő alapozási megoldások közül melyekhez lehet felkészült (technológiailag felszerelt) kivitelezőre számítani?
- Az épületszerkezetek megépítéséhez mekkora munkaterületre van szükség?
- Milyen teherbírású, hatósugarú és mobilitású emelőeszközökre lehet számítani a szerkezetépítés időszakában?
- Az épületszerkezetek milyen kivitelezési technológiával készüljenek?

A tervező mérnök észjárása ebben a dimenzióban tér el a legjobban a kivitelező mérnökétől. Az eltérés azonban nem minősíti a kétféle észjárás szellemi igényességét. A gyakorlott és tapasztalt kivitelező képzelőereje a megvalósítás tekintetében legalább annyira gazdag lehet, mint a tervezőé a kialakítást illetően. A kivitelezésben is van tere a találékonyságnak, még ha látszólag egyértelmű célt kell is elérni. Nincs reális alapja annak a hiedelemnek, amely szerint a tervezés magasabb rendű szellemi tevékenység, mint a kivitelezés – mindkettő gyakorolható mesteri és kontár szinten is.

E kérdések felvetődésének ideje, súlya, az érintettek (építető, tervező, kivitelező, finanszírozó és mások) együttműködésének rendje nagymértékben függ attól, hogy a létesítmény megvalósítása milyen gazdasági-társadalmi rendszerben (például tervutasításos vagy versenyipiaci gazdaságban, oligopóliumok által uralt vagy sokszereplős közbeszerzéses versenyipiacon) történik.

- Ha az építető szabadon választja ki és egymástól függetlenül bízza meg tervezőjét és kivitelezőjét, akkor a tervezés korai és későbbi (engedélyezési és kivitelezési) szakaszában is egyeztetések sorozatával kerülheti el a tervező a kivitelező számára megoldhatatlan (vagy elfogadhatatlanul költséges) változatok betervezését.
- Ha az építető versenyben kívánja (vagy kénytelen) kiválasztani a létesítmény kivitelezőjét, akkor a tervezés két jellegzetes fázisa jól elkülönül – a versenyztetéshez szükséges tervek készítője a kivitelezési vonatkozású kérdések széles körét nyitva hagyja. A tender nyertesének adottságait a kiviteli tervek készítése során lehet és kell figyelembe venni.
- Ha az építető fővállalkozót bíz meg a létesítmény megvalósításával, akkor a tervező és kivitelező kezdettől fogva egymásra hangoltan keresheti a közös érdek szempontjából optimális megoldást. Ebben az esetben a tervezés elvileg kivitelezéstől független szempontjai is háttérbe szorulhatnak a vállalkozás egészének optimuma szempontjából.

Ez az optimum nem műszaki fogalom, természettörvényekből nem vezethető le. A szerkezettervező által optimálisnak tekintett elrendezés előnytelen, vagy éppen elfogadhatatlan lehet a megvalósításban érdekelt többi partner számára. A kivitelezhetőség ebben az összefüggésben nem a kivitelezés műszaki lehetőségességét, hanem a konkrét kivitelezést végző partner számára való elfogadhatóságot jelenti.

A kivitelezés gyakorlati kérdései kívül esnek a mérnöki tervezési módszerek tantárgyi keretein, a vállalatoként eltérő technológiai adottságok meghatározó volta miatt gyakran az egyetemi oktatás egészén is. A tervezőnek mégis tudnia kell arról, hogy a formai és szerkezeti megoldásokra is kiható szempontokkal (anyagmozgatás, tárolás, építési-szerelési sorrend, technológiai időszükséglet, élőmunka-igény ütemezése stb.) a tervezés során minden fázisban számolnia kell.

Sajátos tervezési feladat az építményen belüli üzemi berendezések, felszerelések elhelyezésének végiggondolása. Egyszerűbb esetekben, tágas terekben ez szinte felesleges lehet. Ha azonban energiaellátó vezetékek, szellőztető és fűtőberendezések bonyolult hálózatát kell magas szintű komfortigényeket kielégítő terekben elhelyezni, akkor a megtervezetlenség következménye vésés, bontás, újraépítés, helyszíni kényszermegoldások, ésszerűtlen rögtönzések sora lesz. Különösen az épületgépészeti tervezés és a szerkezettervezés folyamatos összehangoltsága fontos. A különféle funkciójú (hűtő-, fűtő-, szellőztető, anyagszállító és használat utáni) vezetékhalozatok telepítése, szerelhetősége a tartószerkezet-tervező számára is kötelezettséget jelent. A 3 dimenzióban gondolkodás és térlátás képességét ezért érdemes kifejleszteni, a tervezést támogató számítógépes rendszerek lenyűgöző fejlődése dacára is.

A tervező mérnök tapasztalatának, tudásának, együttműködő-képességének próbakövei a szerkezeti részletek, kapcsolatok. A valóban kivitelezhető és a mechanikai modellben tett feltevéseknek megfelelően működő, víz- hang- és hőszigetelési, korrózióvédelmi követelményeknek megfelelő csomópontok megtervezése gyakran több fantáziát, találékonyságot, előrelátást követel, mint a „megálmodás”, az általános szerkezeti elrendezések kialakítása vagy a méretezés. Sok tervező kerüli meg ezt a feladatot azzal, hogy „döntse el a kivitelező, miként akarja ezt a részletkérdést megoldani”. A lehetőség látszólag nagyvonalú megadása mögött gyakran húzódik meg ismerethiány, rosszabb esetben a csomóponti erőjáték és szerkezeti kialakítás végiggondolatlansága.

A kivitelezhetőség követelménye ebben az összefüggésben azt a kötelezettséget jelenti, amely szerint a tervezőnek legalább egy megépíthető szerkezeti részletmegoldást meg kell terveznie. Más – tervezői művezetés keretében tisztázható – kérdés, hogy az építés során a kivitelező javasolhat egyszerűbb vagy számára kedvezőbb, de ugyancsak megfelelő elrendezést.

A kivitelezhetőség feltételei között vannak olyanok is, amelyeket a tervezés időszakában szinte lehetetlen előre látni és figyelembe venni. Barcelona híres építészeti látványossága, a Gaudi által tervezett és (finanszírozási adottságok miatt) nagyon lassan épülő Familia Sagrada katedrális a XX. század első felében gyönyörű és tartós munkát adott a kézi kőfaragás mestereinek. Az ezredfordulóra ez a kivitelezési technika szinte megfizethetlenné vált. Ma a kézi faragványokkal azonos, zsaluzott betonelemek készülnek, a beton anyagától idegen finomsággal, de az építészeti üzenethez hűen. Sok műemlék rekonstrukciója példázza, hogy az építőipar alkalmazkodóképessége – szerencsére – a kivitelezhetőség feltételeinek változása tekintetében is csaknem korlátlan.

3.5 Környezetbe illeszkedés

A tervezett létesítmény kivételes esetektől eltekintve mindig valamilyen környezetbe kerül, azt valamilyen mértékig megváltoztatja. Ebben a dimenzióban a tervezés szemlélete, gyakorlata különösen sokat változott az elmúlt néhány évtizedben. Emiatt a környezetbe illeszkedés követelményét a jegyzet egy későbbi fejezetben részletesebben tárgyalja.

3.6 Gazdaságosság

A megvalósítandó termék, létesítmény, rendezvény stb. költségére vonatkozó tervezői becslés – noha nem egyedüli támpont - két vonatkozásban is fontos lehet az építető számára. A tervezés során választott megoldásoktól számottevően függhet a létrehozás egyszeri költsége, a használat időszakában pedig az üzemeltetés, fenntartás (a tervezés tárgyának élettartamához mérhető időtávon pedig a felújítás, alkalmasint a bővítés vagy átalakítás) költségeit befolyásolhatja jelentősen egy-egy tervezői javaslat vagy választás.

A gyakorlatban megvalósult létesítmények adatai valamelyes támpontot jelentenek a tervezés időszakában a várható költségek megítéléséhez. Így például mérnöki létesítmények esetében megadhatók egészen hozzávetőleges becslések az egyes részfeladatok költségarányaira is:

építmény	25-60 %
alapozás	5-15 %
szakipari munka	30-60 %
berendezés	15-50 %

Egyszerűbb feladat a felhasználandó anyagok, szerelvények, berendezések költségének figyelembe vétele, nehezebben becsülhető a tervezett megoldások kivitelezéséhez szükséges (sokféle és eltérő

szinten szakképzett) munkaerőé. Másféle, a gazdaságosság fogalmának komplexitását érzékeltető, a tervezés során tisztázandó kérdéskör az építmény vagy folyamat energetikai (például hőszigetelési megoldásoktól függő) viselkedése. Ráadásul a megvalósításra vállalkozók számos megfontolásból támaszthatnak, vagy mellőzhetnek kivitelezéshez kapcsolódó igényeket – különösen versenypiaci környezetben van tág tere az alkuknak. Ezért egy-egy tervezett megoldás gazdaságosságát értelmezni sem könnyű, nem hogy minősíteni.

Természetesen vannak alapelvek ebben a dimenzióban is. Egyebek mellett érvényesül az „olcsó húsnak híg a leve” mondás igazsága. A rövidebb élettartamú anyagok, gyengébb minőségű szerelvények, meghibásodásra hajlamosabb berendezések betervezése csökkenti a megvalósítás költségeit, de az elvárt élettartam időszakában a használati értéket is, az üzemeltetés és fenntartás terhei pedig többszöröződhetnek.

Az építési piacon megszokott versenyviszonyok közepette sajátos szerepe lehet a kivitelezéshez kapcsolódó egyes költségelemeknek. A talajfeltárás részletességének ésszerű korlátai vannak, egyes építőanyagok alkalmazásának szándékát befolyásolhatja a szállítási távolság, a szakképzett munkások megfizethetőségén építészeti elgondolások megvalósíthatósága múlhat. Kivitelezés közben is előfordulhatnak olyan kiegészítő és pótfeladatok, amelyeket a tervező nem láthatott előre, elvégzésüket az építetőnek finanszíroznia kell. A tervezési gyakorlatban ezeket a bizonytalansági tényezőket jól meg lehet különböztetni az egyszerű mulasztástól, amelyet a tervező gondatlansága, figyelmetlensége okoz – rosszabb esetben alacsony költségek kimutatására irányuló szándék vagy elvárás kényszerít ki.

A házgyárok és lapos tetők fénykorában az ácsmesterség mennyiségi és minőségi szempontból hanyatló szakmának számított, nyomasztó látványt nyújtó tetőszerkezetek épültek. A fizetőképesebb építési igények megerősödése és az erdélyi épületasztalosok megjelenése az elmúlt két évtizedben szinte a másik végletbe sodorta a lakóház-építészeti közízlést.

A gazdaságosság megítélése önmagában is sokdimenziós részfeladat. A tervező mérnök szakmai ismeretei ebben a tekintetben bizonyosan nem elegendőek a lehetséges szempontok, választások áttekintéséhez és el kell fogadnia a más területen szerezhető (elsősorban közgazdasági) szakértelmet. Különösen akkor kényszerül erre, ha egy átfogóbb feladatmegfogalmazás nyomán befektető-tervező-kivitelező-hitelező *konzorcium* tagjaként kap tervezési feladatot. Ebben az esetben (hasonlóan a kivitelezési követelmények kapcsán említett lehetőséghez) könnyen előfordulhat, hogy egy szerkezeti vagy anyagfelhasználási szempontból optimális megoldás helyett költségviselési megfontolások alapján dönt a konzorcium vezetése egy másfajta optimum mellett.

Ugyanilyen jellegű következménye lehet a 3.2 szakaszban említett „újszerű” anyagok, szerkezetek gazdasági előnyök reményében történő alkalmazásának. A mérnöki tervezési feladatok gazdaságos megoldásai körében ritkák a csodák. A műszaki igényeket olcsón kielégíteni látszó anyagok, szerkezeti elemek alkalmazása etikátlan is, ha a tervező (például egy megbízás elnyerése érdekében) nem tájékoztatja a kevésbé tapasztalt építetőt az így vállalt minőségi következményekről.

Egy társadalom gyarapodásának biztos jele az építésben alkalmazott anyagok, szerelvények, berendezések minőségének javulása. Eltűnnek a piacról az alumíniumból, vasból vagy horganyozatlan bádogból készült vezetékek, csövek csatornák – helyettük teret nyer a réz. Az épületasztalos-ipari szerkezetekben megnő az előkezelt, pontosan szabott faanyagok hányada. Amikor az egy m² alapterületre számított építési költség emelkedésének ütemét bíráljuk, ritkán gondolunk arra, hogy építményeink drágábbak, de jobb minőségűek és gazdaságosabbak is lettek.

3.7 Üzemeltetés, fenntartás

A tapasztalt beruházó a tervezőtől a funkcionális és formai igények, valamint a költségvállalási lehetőségek közlése mellett üzemeltetési, fenntartási, alkalmasint későbbi felújítási, korszerűsítési szempontjait is meg tudja fogalmazni. Láttuk az 1.3 szakaszban, hogy az üzemtechnológiai tervezés önálló szaktervezői feladat, és az épületgépészeti megoldások jelentős hányadát is az üzemeltetés szempontjai határozzák meg. Egyszerűbb (például technológiai vagy épületgépészeti igényeket nem támasztó) tervezési feladatok és felkészületlenebb építető esetében viszont az építész- és az építőmérnök tervező figyelmének kell kiterjednie az üzemeltetés közben keletkező zajokra, rezgésekre, szellőzési stb. körülményekre.

Az üzemeltetés körülményeinek és költségeinek gondos elemzése adott esetben egyenértékűnek látszó szerkezeti megoldások közötti választást dönthet el.

Egy települési csatornahálózat áramoltatási rendszere lehet gravitációs, vákuumos vagy nyomás alatti is. A kiépítés költségei között – például terepviszonyoktól, a keletkező szennyvíz mennyiségétől függően - jelentősek lehetnek a különbségek, de komoly meglepetések érhetik azt az önkormányzatot, amely pusztán ennek alapján dönt olcsóbb változat mellett. A választott rendszer működtetésének energiaigényével, a meghibásodások várható gyakoriságával és javítási költségével, a kiszolgáltak körének használati kultúrájával nem számoló választás adott esetben rövid (a tervezett élettartamnál nagyságrenddel rövidebb) idő alatt bizonyulhat elhamarkodottnak és szakszerűtlennek.

Egyszerűsége miatt szinte említésre sem érdemes tervezési szempont ebben a dimenzióban a tisztán tarthatóság, illetve tisztíthatóság.

Sok, a múlt század második harmadában kivitelezett középület külső nyílászáró üvegfelületeinek állapota jelzi napjainkban azt, hogy tervezőjük nem látott elég tisztán a jövőbe.

Az üzemeltetés és fenntartás dimenziójában mérlegelendő tervezési szempont a létesítmény (termék, szolgáltatás) rendeltetésének megfelelő használat várható kultúráltsága. Ebben a tekintetben nem (ebben sem) lenne helye önámító vagy naiv várakozásoknak, mégis igen gyakran derül ki, hogy az építetői és tervezői derúlítás vagy jóhiszeműség nem számol a kíméletlen használat, súlyosabb esetekben a vandalizmus gyakoriságával. Telefonfülkék és közterületi váróhelyiségek, elektronikus tájékoztató rendszerek és játszóterek állapota szemléletes bizonyítéka annak, hogy a magyar társadalomban a használati kultúra javításának vannak még tartalékai. Amíg ezek a tartalékok ki nem merülnek, helyesen jár el a tervező, ha a saját javait kíméletesebben használó társadalmakban rendeltetésüknek megfelelő megoldásokat keményebb igénybevételeknek való ellenállásuk szempontjából is kiértékeli, az eredménytől függően pedig vagy lemond alkalmazásukról, vagy megerősített változatukat alakítja ki.

A nagyvárosi sportpálya tulajdonosa-üzemeltetője európai környezetet teremthet közönsége számára a lelátókra telepített, jól tisztítható, sajtolt műanyag ülésekkel. Ezek az ülőhelyek kényelmesek, tervezett élettartamuk évtizedekben mérhető, beszerzésük költsége ennek megfelelően meglehetősen magas. Mechanikai szilárdságuk azonban véges, a hazai csapat által elvesztett mérkőzés után nem állnak ellen a csalódottságát törve-zúzva levezető közönség természetátalakító kedvének. Pótolhatók, de ha a csapat gyengén szerepel a bajnokságban, akkor a mérkőzések bevételeinek felét-harmadát kellhet ilyen célra fordítani hétről hétre az ülések rendeltetését illető félreértés miatt.

3.8 Társadalmi elfogadhatóság

A használati kultúra a létesítmény rendeltetészerű működésében közvetlenül érdekelték várható viselkedésével összefüggő, szociológiai megfontolásokat is igénylő tervezési szempont. Hasonló jellegű megfontolásokat tesz szükségessé a közvetett érdekelték, a tervezett létesítmény (termék, szolgáltatás) térbeli, időbeni, társadalmi környezetében élők részéről várható fogadtatás.

Ez a tervezési dimenzió esik talán a legtávolabb a mérnök számára nyilvánvaló és kezelhető követelmények sokaságától. Ebben a dimenzióban gyakran kiszámíthatatlanok az erőviszonyok, nincsenek felülbírálnakatlan és megszeghetetlen törvények. Társadalmi konvenciók, politikai érdekérvényesítési törekvések, történelmi hagyományok, szokások, vagy divatok kiszolgáltatottjának érezheti magát a tervező, ha egy általa lelkiismeretesen elkészített és jónak vélt tervet ilyesféle akadályok miatt nem lehet megvalósítani.

A közismertebb példák közé tartoznak a szakrális létesítmények (templomok, emlékhelyek) – ezek tervezését politikai erőpróbák és döntések a tiltástól a támogatásig terjedő tartományban a legkülönbözőbb módokon befolyásolhatják. A másik végletet jelenthetik a hulladéklerakó és feldolgozó művek, amelyek telepítése sokszor válik populista mozgalmak akcióinak áldozatává, akkor is, ha tervezett kialakításuk szakszerű és kisebb veszélyt jelentenek egy adott település számára, mint az ott élők saját nemtörődömsége (például talajvizet szennyező „szikkasztási” gyakorlata).

A várható társadalmi elfogadókészség előzetes megítélése sem, tényleges mértékének megállapítása sem könnyű. Léteznek olyan véleményfelmérő mechanizmusok, amelyek többé-kevésbé hitelt érdemlő képet adnak egy tervezett létesítmény várható fogadtatásáról, de ezek megbízhatóan csak olyan társadalmi környezetben működnek, amelyben a véleményalkotás általánosan elfogadott együttélési magatartásminta, a többségi nézet elfogadása a viselkedéskultúra része, és ezért a vélemények manipulálásában érdekelt szereplők mozgástere szűk. Szerencsés az a mérnök, aki ilyen társadalmi környezetben tervezhet közhasznú létesítményeket.

A svájci szövetségi kormány a 90-es évek elején vitte dűlőre egy olyan, mintegy 50 km hosszú bázisautópályát építését, amely az országon észak-déli irányban áthaladó nemzetközi kamionforgalom szennyező hatásától volt hivatott megkímélni a természeti és épített környezetet. A hatalmas (20 milliárd USD körüli) kiépítési költség miatt a társadalom széles rétegei folyamatosan vitatták a projekt vállalhatóságát. A népszavazás az alagútpártiak 51%-49% arányú „győzelmét” hozta – ez a minimális különbség eldöntötte a vitát és a projekt mára megvalósult.

A tervező mérnök lehetőségei a társadalmi elfogadókészség befolyásolásában meglehetősen szerények. Szemben a politikusok és a média számára megengedett és szélteben-hosszában alkalmazott eszközökkel (nagyotmondás, féligazságok szembeállítás, felszínes és egyoldalú állásfoglalás, riogatás) a mérnököt ismeretei és szakmájának etikai szabályai is arra kötelezik, hogy ne essen túlzásokba, egy-egy lehetőség előnyeire is, hátrányaira is részrehajlás nélkül mutasson rá, ne tegyen olyan kijelentéseket, amelyek érvényességének felezési ideje esetleg csak órákban fejezhető ki.

Különösen nehéz helyzetbe kerülhet a mérnök akkor, ha az általa tervezett létesítmény egyszersmind szűkebb érdekcsoportok kifinomult eszközökkel felszerelt törekvéseinek tárgya. Ilyen esetekben bonyolult *társadalmi játszmák* alakulhatnak ki, amelyekben sok hangoskodó résztvevő csak statiszta, és a mérnök is könnyen sodródhat számára idegen, vagy éppenséggel méltatlan szerepbe. A mérnöki tervezési módszerek tárgyalása keretében sem mód, sem szükség nincs ennek a kérdéskörnek a részletesebb kifejtésére, de a fogékony olvasó bizonyára ráébred arra, hogy a sikeres és tisztességes tervező módszereinek tárházában bizony ott a helye azoknak a társadalomtudományi ismereteknek is, amelyek birtokában felkészült játékosként érvényesítheti felelős szaktudását.

Az M5 jelű autópálya meghosszabbításában érdekelt, Kecskemét környéki települések újságolvasó polgárai már a projekt előkészítésének időszakában pontosan tudhatták, hogy a kivitelezési költségek megtérülésének követelményével milyen használati díjak járnak együtt. Ebben az időszokban azonban nem tiltakoztak, mert tudták, hogy nemtetszésük kifejezésre juttatása a megépülést fenyegetné. Felháborodásuknak csak akkor adtak hangot, amikor már biztosak voltak abban, hogy a projekt leállításától nem kell tartani. Sem a média, sem a politika nem tekintette feladatának és nem találta vállalhatónak az előzmények felidézését, a színlelt meglepetések játszmájában.

A mérnök egyik lehetséges stratégiája a játszmákból való kimaradás. A másik lehetőség a felkészült részvétel, a játékszabályok átláthatóságának és betartásának elérésére is kiterjedő figyelemmel. Nemzetközi példák szerint az utóbbi változat is vállalható.

Ellenőrző kérdések:

Rendeltetés, funkció

- Mi a tervezés feladata, ha a megbízó körvonalazni tudja az általa elérni kívánt célt?
- Mikor és miért fordulhat elő, hogy az építetető jól bevált megoldásokat elutasít?
- Melyik tervezési szinten és mikor van szükség arra, hogy a tervező átfogóbb (esztétikai, szociológiai, kulturális stb.) tájékozottsággal rendelkezzen?
- Mi indokolja az építész kiemelt szerepét a *planen* szintű tervezési szinten?
- Tud-e olyan létesítményeket említeni, amelyekben a szakági felkészültség is elegendő lehet?

Szerkezet

- Nevezzen meg jellegükben különböző szerkezettypusokat példákkal is magyarázva!
- Milyen nagyságrendje van a mérnöki tervezésben előforduló termékek számának?

- Mikor teljesül a mechanikai szilárdság (ellenállás) követelménye?
- Mikor teljesül az állékonyság (stabilitás) követelménye?
- Említsen meg legalább kettőt a szerkezettervezés keretében esedékes tennivalókból?
- Ki tudja következtetni a másik kettőt anélkül, hogy visszalapozna a 3.2 szakaszhoz?
- Miért kell foglalkoznia a tervezőnek a szilárd, és állékony szerkezetek alakváltozásaival is?
- A szerkezeti anyagok tulajdonságai miért nem közömbösek a kivitelezés szempontjából?
- Az építőanyag-ipari innováció fontos és sikeres eredményeit miért kell a szerkezettervezésben óvatossággal alkalmazni?
- Emlékszik olyan megfontolásokra, amelyek a szerkezettervezés számára széles körben irányadóak?
- Milyen hatások teszik indokolttá a szerkezettervező figyelmének kiterjesztését nem-mechanikai anyagjellemzőkre is?

Megjelenés, forma

- Soroljon fel olyan várakozásokat, amelyeket egy építmény megjelenésével szemben lehet támasztani!
- Mikor alakulhat ki könnyen konfliktus az építész és a szerkezettervező között?
- Milyen eszközökkel segítheti elő a szerkezettervező az építészeti elgondolások megvalósítását?
- Van-e összefüggés az esztétikai szépség felismerése és a természetben felismerhető mechanikai struktúrák között?

Kivitelezhetőség, megvalósítás

- Soroljon fel olyan kérdéseket, amelyeket a tervezőnek a kivitelezhetőség érdekében kell vizsgálnia!
- Az építési tevékenység különböző gazdasági struktúrákban előforduló rendszerei közül tud-e ismertetni legalább egyet?
- Nevezzen meg olyan kivitelezési szempontokat, amelyekkel a mérnöknek a tervezés során számolnia kell!
- Miért kell összehangolni a szerkezettervezést az épületgépészeti tervezéssel is?
- Meg tudja magyarázni, hogy mi a különbség a tervezés dimenziói és az épületgépészeti tervezésben szükséges figyelem három dimenziós jelleg között?
- Milyen értelemben minősíti a tervező mérnök tudását a részlettervek kidolgozottsága?
- Hogyan viszonyuljon a tervező az általa választott részletmegoldások változtatására vonatkozó kivitelezői javaslatokhoz?

Környezetbe illeszkedés

- Fel tudja-e idézni, hogy ebben a dimenzióban miért csak ezt az ellenőrző kérdést találja?

Gazdaságosság

- Miért lehet fontos az építető számára a létesítmény megvalósításának tervezői költségbecslése?
- Milyen hozzávetőleges tapasztalati arányokkal jellemezhetők az építményi, alapozási, szakipari és berendezési költségek?
- Könnyebb vagy nehezebb becsülni a munkaerő költségét, mint a felhasznált anyagokét, berendezéseket?
- Milyen ellentmondás feszülhet építési költség, élettartam és üzemeltetési kiadások között?
- Fel tud idézni néhány olyan költségtényezőt, amelyek a kivitelezés körülményeitől függően vehetők figyelembe a tervezés szakaszában?
- Mikor van különös fontossága annak, hogy a tervező a megvalósításban érdekelt más szereplők gazdasági megfontolásait és optimum-feltételeit ismerje és értse?
- Miért helyénvaló, ha a tervező az általa választott anyagok minőségére vonatkozó ismereteit megosztja megbízójával?

Üzemeltetés, fenntartás

- Milyen összefüggés van a létesítmény jellege és a tervezésben részt vevő szaktervezők köre között?

- Világítsa meg példákkal is azt, hogy mi a használati kultúra és miért kell ezzel számolni a tervezés során!

Társadalmi elfogadhatóság

- Milyen ismeretek birtokában lehet képes a tervező mérnök munkája várható társadalmi fogadtatását felmérni?
- Említsen meg olyan példákat, amelyek szemléltetik a tervezői szaktudás eredményének társadalmi fogadtatásában előforduló bizonytalanságokat!
- Emlékszik olyan eszközökre, amelyeket a tervező mérnöknek „nem illő” alkalmaznia a társadalmi elfogadtatás érdekében?
- Mire kötelezik a tervező mérnököt szakmai ismeretei és etikai szabályai?
- Milyen ismeretek birtokában vállalhat aktív szerepet a mérnök a tervezés érdekeltjeinek részvételével kialakuló társadalmi játszmákban?