

Konceptcionális tervezés az építőmérnöki gyakorlatban

Conceptual design in the civil engineering practice

DEZSŐ Zsigmond

HydraStat Mérnöki Iroda Kft.
4029 Debrecen, Maróthi György u. 4.

E-mail: hydrastat@hydrastat.hu; Tel.:+36-52-453-413; www.hydrastat.hu

Abstract

What is the meaning of Conceptual Design? Within this, the place of conceptual design in space and time, the background and readiness that determine it, as well as its content and expected outcomes. The importance of Conceptual Design in design practice today. This includes the preparation, role and communication of the architect and the engineer, as well as the justification of visual approximation methods and accurate calculations. To whom the presentation is directed? Within that, with what goals and expectations, how to proceed?

Keywords: conceptual design, engineering creativity

Kivonat

Mi a koncepcionális tervezés? Azon belül a koncepcionális tervezés helye térben és időben, meghatározó háttér és felkészültség, valamint annak tartalmi elemei és elvárt eredményei. A koncepcionális tervezés helyzete a mai tervezési gyakorlatban. Azon belül az építész és a mérnök felkészültsége, szerepe és kommunikációja, továbbá a szemléletes közelítő módszerek és pontos számítások létjogosultsága. Kinek szól az előadás? Azon belül milyen céllal és elvárásokkal, hogyan tovább?

Kulcsszavak: koncepcionális tervezés, mérnöki kreativitás

A koncepcionális tervezés a tervezési folyamat első lépcsője, mely az egész mérnöki alkotásra meghatározó kihatással van. A koncepcionális tervezés kapcsán sok, már ismert gondolat szerepel a leírtak között, hiszen elolvasva Fritz Leonhardt-tól, Jörg Schlaich-on át, David P. Billington-ig számos írást, az Ő szavaik is rendre visszacsengenek majd a hátralévő gondolatokban, de mindezeket összegyűjtve igyekeztem átfogó képet nyújtani a koncepcionális tervezés jelentőségét, tartalmát és háttérét tekintve, a környező feltételek és hatások elemzésével.

Nos, a hálózat alapú oktatás elkötelezett híveként, mindenek előtt felvázolom, hogy miről lesz szó, illetve hogy az előadásom témáit milyen menetrend szerint kívánom egymásra építeni. E szerint a koncepcionális tervezés témakörét három fő fejezetben fogom tárgyalni, úgymint:

1. Mi a koncepcionális tervezés?

Azon belül a koncepcionális tervezés helye térben és időben, meghatározó háttér és felkészültség, valamint annak tartalmi elemei és elvárt eredményei.

2. A koncepcionális tervezés helyzete a mai tervezési gyakorlatban.

Azon belül az építész és a mérnök felkészültsége, szerepe és kommunikációja, továbbá a szemléletes közelítő módszerek és pontos számítások létjogosultsága.

3. Kinek szól az előadás?

Azon belül milyen céllal és elvárásokkal, hogyan tovább?

Előadásom célja tehát, megválaszolni azt a két kérdést, hogy: Mi a koncepcionális tervezés és kinek szól az előadás? Továbbá hogy, hogyan néz ki ez a mai gyakorlatban és milyenek a jövő kilátásai? Természetesen itt minden esetben csakis a szerkezettel összefüggő koncepcionális tervezés értendő.

1. MI A KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS?

Eduardo Torroja: *Philosophy of Structures*, (Szerkezetek Filozófiája) című könyvének bevezetőjéből: „Minden anyagnak sajátos és megkülönböztető személyisége van, és minden forma más-más feszültségjelenséget kényszerít. Egy probléma természetes megoldása - a mesterkéltég nélküli művészet – optimális az öt létrehozó korábbi kényszerítő körülményekkel szemben, lenyűgöző a mondanivalójával, és egyúttal kielégíti a műszaki szakember és a művész igényeit. Egy szerkezeti együttes születése, egy alkotói folyamat eredménye, kilép a logika kizárólagos területéről, és behatol az ihlet titkos határaitra. A számítás előtt, és mindenekelőtt a számítás előtt ott van az ötlet, amely az anyagot ellenálló formába önti, hogy megfeleljen a küldetésének.”

A koncepcionális tervezés valójában a **szerkezeti koncepció kidolgozása**, és ezt ilyen egyszerűséggel mindenki érti. Az már más kérdés, hogy az alkotó mérnök mennyire nőtt fel a feladathoz, illetve, hogy a szerkezet mennyire felel meg a különböző elvárásoknak, illetve igényeknek.

Vagyis a koncepcionális szerkezettervezés nem csupán egy olyan szerkezet kitalálása, illetve megtervezése, mely megfelel az erőtanai követelményeknek (persze néha ez is elégséges, sőt kívánatos), hanem a jó koncepcionális szerkezettervezés olyan teherhordó szerkezet tervezését jelenti, mely azon túl, hogy erőtanilag megalapozott, logikusnak, szépnek vagy más módon tűnik érdekesnek, kellemesnek, harmonikusnak, persze a józan ész határain belül. A tartószerkezettervező mérnöki munkára vetítve a koncepcionális szerkezeti tervezés kifejezés olyan szerkezetek, illetve szerkezeti struktúrák létrehozásáról szól, amelyek a szerkezeti funkcionalitást és a vizuális formát értelmes és érdekes egészévé egyesítik. Azaz nem csak ellátja teherhordó szerepét, hanem annak megjelenésére is koncentrálnak! És akik ezt a legmagasabb szinten végzik, azok nem csak kiváló mérnökök, hanem művészek is. S van, ahol ennek elismeréseként a legnagyobbak közül néhányan mindkét, azaz a tudományos és a művészeti akadémiának is tagja lehettek, mint pl.: Jörg Schlaich, Stefan Polónyi, vagy Klaus Bollinger.

Mi lenne a tervezés ideális folyamata? A szerkezettervezés normális esetben az építészeti alapfogalmakat követően, az építéssel közös munkálkodás során egy a végleges formához folyamatosan közelítő iterációs folyamat.

A tervezés főbb állomásai:

- program: a projekt célkitűzéseinek, az épület jellemzőinek és a tervezési céloknak a meghatározása,
- **elképzelés:** a legfontosabb tervezési lépés, a meghatározó szerkezeti koncepció kidolgozása
- modellezés: a statikai váz felvétele, a tervezett valóság absztrakciója, modellek felépítése az erők elemzéséhez és számításához
- méretezés: a keresztmetszeti méretek meghatározása az anyagok választásától és kombinációjától függően
- részletezés: feldolgozás, a csomópontok és csatlakozások végleges részletezése, beleértve a szerkezeti rajzokat is

A koncepcionális tervezési szakasz az elképzelés vagy létrehozás szakasza, mely az útkeresésről szól, mikor is meghatározásra kerül az épület alapformája és kiválasztódnak a főbb épületrendszerek. Az ekkor hozott döntések az épület egészére nézve meghatározó jellegűek, és sokkal nagyobb mértékben érintik az épület költségét, mint bármi más, vagy akár a részletes tervben meghozott döntések többsége. Ezért a koncepcionális tervezés során az útkeresés eredménye, a megfelelő konstrukció, illetve optimális forma megtalálása alapvetően meghatározza az épület tulajdonságait, illetve a tervező megítélését. Az elvégzett mérnöki munka során létrejött mérnöki alkotást az alábbi – már évezredek óta megfogalmazott – tulajdonságok jellemzik, melyek mindegyike a koncepcionális tervezési szakaszban nyeri el végleges állapotát. Azaz már a római korban, Vitruvius Augustus építész-teoretikus kitűzte a hármas célt az építészek felé: „firmitas, utilitas, venustas”. Ebben a tartósságot a tartószerkezet méretezésével, illetve állékonyásával, a hasznosságot a funkció kielégítésével, és a szépséget a művészi megjelenéssel helyettesíthetjük. Ezt a hármas követelményt a mai napig érvényesnek tekinthetjük, s tulajdonképpen a mai hármas cél is ezeket fejei ki, kissé kiterjesztve a gondolati határokat. Azaz:

tartósság-hasznosság-szépség / szerkezet-funkció-esztétika.

Egy mérnöki alkotás akkor igazán profi, ha mind ezeknek megfelel, és akkor igazán művészi – a már mai megfogalmazások szerint –, ha az a hatékonyság, gazdaságosság és elegancia terén is kiváló nyújt, s mindezt a mérnöki követelmények által szabott korlátok között. Tehát a mai magas szintű elvárások szerint megfogalmazható hármas követelmény:

- hatékony, megvalósítható (*minimális anyagfelhasználással biztonságos szerkezet*)

- Tudományos (Scientific):** *Hogyan tervezték a szerkezetet, hogy a terhelést biztonságosan továbbítsa a talaj felé? Mi milyen anyagokat és mennyit használnak?*
- gazdaságos
Társadalmi (Social): *Milyen a szerkezet rövid és hosszú távú költségei a társadalom számára? Milyen szerepet játszik a szerkezet a társadalom működésében?*
 - elegáns, esztétikus
Szimbolikus (Symbolic): *Milyen érzéseket kelt a szerkezet? Milyen jelentéssel bír, s mit hordoz a szerkezet a használói számára?*

Tehát az, hogy egy jól megkonstruált szerkezet ezek mindegyikét pozitívan hordozza-e magában, úgy az már a koncepcionális tervezési szakaszban eldől. Mindezeknek megfelelően a tervezési folyamat során csupán a koncepcionális tervezési szakaszban történik „**valódi**” **alkotó tevékenység**, míg a többi tervezési fázis már csak „*számolás és mérés*”, azaz csupán a feldolgozás és kidolgozás szakasza. Ennek megfelelően a „művészi” mérnöki alkotások létrehozásának legfontosabb feltétele, hogy már a koncepció hordozza magába a szerkezet művészi megfogalmazásának lehetőségét, azaz a statikus a tervezés során építse be saját kreativitását, hogy – a műszaki követelményeknek is megfelelő – elegáns szerkezetet hozzon létre. Már, ha ez igény! Persze a művészi megfogalmazásra való törekvés nem szabad, hogy túleröltetett, természetellenes statikai megoldásokhoz vezessen. Igaz, ritka kivétellel még ez is megengedhető (pl.: Calatrava épülete és hídja vagy akár a Sydney Operaház). Rengeteg mai szerkezet azonban a gyors technológiai fejlődés adta lehetőségek ellenére sem tükrözi megfelelően változatosságukat, szépségüket és érzékenységüket. A tartószerkezeti tervezők túl gyakran hanyagolják el a kreatív koncepcionális tervezési fázist azzal, hogy megismétlik a szokásos tervet, és saját ötleteikkel nem járulnak hozzá kellően az építészekkel való eredményes együttműködéshez, már ha egyáltalán az építész ezt lehetővé teszi is.

A koncepcionális kialakításra tehát többféle korlátozás és igény vonatkozik, de még így is a témérdek feltétel között is számos megvalósítható megoldás létezik. A tervező feladata tehát egy olyan kreatív folyamat, amelyben a korlátok aligha segítenek a helyes megoldásra összpontosítani, inkább azt jelzik, hogy mit nem lehet megtenni. A koncepcionális terv tehát nem más, mint a koncepcionális tervezés folyamatának eredményeként egy épület konfiguráció kiválasztása számos megvalósítható alternatíva közül. Tehát ahogyan az elején Torroja-’t idéztem: „Egy szerkezeti együttes születése, egy alkotói folyamat eredménye, kilép a logika kizárólagos területéről, és behatol az ihlet titkos határait. A számítás előtt, és mindenekelőtt a számítás előtt ott van az ötlet, amely az anyagot ellenálló formába önti, hogy megfeleljen a küldetésének.”

Vagyis a tervezés ezen szakaszában többféle korlátozást kell kielégíteni, közben meg kell felelnie olyan céloknak, amelyek homályosak és nehezen számszerűsíthetők. Ebben áll az egyetemi oktatásban nehezen elfoglalt, illetve el nem foglalt szerepe, koncepcionális tervezés oktatásának jelentős akadálya.

2. KONCEPCIONÁLIS TERVEZÉS A MAI TERVEZÉSI GYAKORLATBAN

A középkor reneszánsz mesterei még az alkotás egészét egy személyben irányították. Így pl. Brunelleschi a firenzei dóm kupoláját statikust nélkül tervezte és építette. Azaz, mai értelemben ő maga volt egy személyben az építész és a tartószerkezet tervező mérnök. Azután elindult valami változás, mely kezdete a napóleoni korszakban nyúlik vissza és kettévált a képzés a formai részletek és az alkotás esztétikai kialakításáért felelős építészetre, valamint a hadmérnöki feladatok, hídépítés és nagyobb fesztávolságú tartószerkezetek tudományát elsajátító mérnökök képzésére. Aztán a XIX. század során megjelenő két új építőanyag: a vas-acél (Joseph Paxton, 1851. londoni világkiállítás "kristálypalota") és a vasbeton (Monier, 1849. vasbetétes beton virágtartó váza) elterjedése végleg forradalmasította az építőipart és szükségessé tette a különleges feladatok méretezését és kivitelezését biztos kézzel uraló mérnöki foglalkozás kialakulását.

Ezek után ma a tervezés folyamatát, illetve annak alkotó elemeit leegyszerűsítve az építész és a szerkezettervező mérnök szerepe jól elkülöníthető két, az egy csapatban dolgozó, de abban különböző feladatot ellátó szakemberre. Itt az építész előáll az épület funkcionális, társadalmi, politikai és esztétikai igényeknek megfelelő alapkoncepciójával, melyhez a szerkezettervező igyekszik – az építészeti koncepció megvalósítását biztosító – olyan szerkezetet kitalálni, illetve konstruálni, mely megfelel az összes technikai feltételnek, mind keresztmetszeti méreteiben, teherbírásában, stabilitásában, stb.

Mivel a tervezésnek egyéb szakági tervező is részese, így a tervezőcsapatban való együttműködés elengedhetetlen feltétele a műszakilag életképes, esztétikus és fenntartható épülettervek készítésének. Azaz az építésznek, a tartószerkezettervezőnek és a többi közreműködőnek, vagyis minden tervezőnek és tanácsadónak együtt kell működnie! Persze lehetőleg egyenrangú félként, elismerve azt, hogy az esetek többségében a csapatvezető az építész. Mindenki tisztában kell legyen azzal, hogy a végeredmény nem a legjobb önálló

egyéni gondolatok és feladatmegoldások összege, hanem egy olyan csapaté, melyben minden tervező legalább részben nyitott a többi szakág, illetve tudományág felé. Ha egy szakág a kompromisszumok nélküli tökéletességre törekszik, úgy az egész nem lehet jó és optimális, az csak közös kompromisszumok eredményeként jöhet létre! Ilyen munkakapcsolatban nekünk mérnököknek kell kialakítanunk azt az érzést, hogy mit lehet kihívásként átvinni, és mi alapvetően értelmetlen. Mi aránytalan és mi lehetséges? Sok építőmérnök ebben nem eléggé érett és tapasztalt. Az ár-érték arány racionalitását meghatározó érzést jobban ki kellene alakítani annak érdekében, hogy a közös tervezőasztalnál folytatott párbeszéd és koncepcionális tervezés során a legalapvetőbb és legfontosabb döntések helyesen születhessenek meg, mert ez az épület alapvető kialakítását meghatározó tervezési fázis. A koncepcionális tervezéshez szükséges mérnöki tudásnak ötvöznie kell a tapasztalatot, az intuíciót, a hagyományt, a műszaki megoldásokat, és különösen a tervezők - az építőmérnökök - leleményességét és érzékenységét.

Mivel a mérnökök gyakran együttműködnek építészekkel, így sok esetben a szerkezet eleganciája vagy művészi megfogalmazása a mérnöki helyett, az építészeti tervezésnek köszönhető, de még ekkor is igen fontos eleme az ilyen tervezésnek: a mérnöki fantázia és az ihlet, valamint az innováció. Személyes élményem volt hallgatni Michel Virlogeux-t, a Norman Fosterrel történő együttműködéséről. A Foster által – az eredeti elképzeléshez – igazított morfológia erősen kapcsolódott a Virlogeux által megálmodott koncepcióhoz.

A mai gyakorlat azonban kissé eltér a felvázolt ideális állapottól.

Az építészek úgy gondolják, hogy a „tervezés” az épület megjelenésére és funkciójára vonatkozó jövőkép kidolgozása, amely pénzügyi, kulturális, társadalmi-politikai és esztétikai tényezőket tartalmaz. A mérnökök pedig úgy vélik, hogy a „tervezés” viszonylag módszertani folyamatnak tekinthető, azaz csak a szerkezet vagy a szerkezeti elem megfelelőségének meghatározására szolgál. De hát akkor ki a legalkalmasabb a formatervezés szerkezeti koncepciójának kidolgozására?

Vajon az építész, aki nincs felkészülve a technikai következmények megértésére, amelyek számára nélkülözhetetlenek a szerkezeti formával kapcsolatos helyes döntések meghozatalához? Vagy a mérnök, aki nem rendelkezik képzettséggel arra, hogy a tervezés során figyelembe vegye a nem technikai kérdéseket? A válasz természetesen az, hogy a szerkezeti koncepciót együttesen kell, hogy kidolgozzák (vagy legalább együtt kellene fejleszteni). De ez még a legkritikább esetben sincs így!

A szerkezeti koncepció kidolgozásának olyan együttműködési folyamatnak kellene lennie, amelynek során a szerkezeti szükséglet, az esztétika és a funkcionális hasznosság ellentétes követelményeit működőképes és lenyűgöző egészszé szintetizálják. A modern épülettervezés legjobb példája, ahol a szerkezet az építészet része, valóban együttes erőfeszítés eredménye. Mivel az optimális szerkezet kialakításának nem az egyetlen, s néha még csak nem is a legfontosabb feltétele az állékonyság, így felmerülhet a következő kérdés: hogy akkor honnan erednek a szerkezet kialakítására vonatkozó elképzelések? Hogyan dönthetnek a tervezők arról, hogy mi lenne az épülethez a legmegfelelőbb szerkezet?

A kettéválasztott feladatkör eredményeként a mérnök valósággal „kisámfázza” az építész által megfogalmazottakat, majd az építész mintegy felöltözteti a mérnök által betervezett tartószerkezetet. Így a mérnök főleg a firmitasért (tartósság, állékonyság) lett a felelős, az építésznek pedig a venustus (szépség, esztétika) maradt, igaz ez a látható, csodálható. A utilitasért (hasznosság, funkció) próbál mindkét fél küzdeni, de csak úgy, hogy a másik két cél rovására ne menjen, azaz csak óvatosan és csak mértékkel. Tehát az építész és a mérnök kettéválasztását, mint külön foglalkozási ágak tükrözik, és már kimondottan is az elsöben az érzelem, a másodikban az értelem a domináns.

A mérnöki alkotások művészete jelentősen elkülönül az építészek gyakorlatától, mivel a mérnöki alkotások esetében a feltételrendszerek betartása sokkal szigorúbb követelmény, min az építészeti tervezést meghatározó feltételek esetében. Miközben a szerkezettervező mérnök elegáns szerkezet kialakítására törekszik, nem hagyhatja figyelmen kívül, hogy szerkezetének minden körülmények között meg kell felelnie a biztonsági, a használhatósági és a gazdaságossági követelményeknek! Az építész ennél sokkal szabadabban tervezhet, mivel őt – ugyan korlátozzák a felhasználási igények, mégis – igazából oly mereven semmi sem köti, s a cél érdekében még a feltételrendszerén is lazíthat.

A szerkezettervező kötöttségeit az anyagi tulajdonságok és erőtan kérdések által meghatározott korlátok adják, így azok rutinszerű ismerete, gyors meghatározása elengedhetetlen feltétele a hatékony konstruktóri munkának, a koncepcionális tervezésnek! A konstrukciós tervezés során első lépésben mindig egy idealizált és közelítő megoldást képzelünk el és írunk le a legkülönbözőbb közelítő eljárások és eszközök segítségével. A tervezés sajátosságainak megfelelően szinte soha nem sikerül elsőre minden előzetesen megállapított követelményt teljesíteni, de, hogy minél közelebb kerüljünk hozzá, az a közelítő eljárásaink szükséges és elégséges pontosságán múlik. És itt a hangsúly nem a szükséges, hanem inkább az elégséges pontosságon van! Mert a kiindulási adatok pontatlansága által meghatározott pontosságnál is pontosabb számítási elmélet alkalmazása értelmetlen! A túl „pontos” modell egyébként is szakmai vakságot okoz, könnyen elhisszük, hogy

a drága és bonyolult program és elmélet nem hibázhat. A számítógépben feltétel nélkül megbízó tervező több esetben éppen a szerkezeti rendszert, a statikai vázat nem gondolja át, pedig azt nem találja ki magától a számítógép. Kevés veszélyesebb dolog van, mint egy bonyolult gépi számítás alapján elkészíteni egy tervet anélkül, hogy közelítően, józan mérnöki szemlélettel követnénk az erőjátékát, és legalább durván ellenőriznénk az eredmények helyességét.

Egy szerkezeti terv elkészítése kétféle tudású mérnöki gondolkodást kíván: az egyik a konstruktóri, a másik a tervezői. Mindkettő nagyon fontos, egyik sem képes a másik nélkül egységes, jót alkotni. A konstruktórként gondolkodó mérnök dolga megálmodni a szerkezetet, annak főbb funkcióját, tartalmát, formáját és költségeit, üzemeltetési-fenntartási előnyeit-hátrányait (az észszerűséget) szem előtt tartva. A konstruktőr legyen nagyon járatos a tervezés dolgaiban is, de ne számolgasson méteres hosszú képletekkel, ne huzigáljon vonalakat, stb..., hanem álmodjon, skicceljen, de a realitások szem előtt tartásával. Míg a tervezői szemlélettel alaposan át kell gondolni a jó konstrukciót, annak a gazdaságos kivitelezhetőségét szem előtt tartva kell elkészíteni a legjobb tervet.

A koncepcionális tervezés a konstruktőr gondolkodású mérnököt kívánja. Aki rendelkezik az ehhez szükséges intellektualitással, és maximálisan eligazodik az „ökölszabályok” és közelítő számítások rengetegében, valamint tisztában van azok alkalmazhatósági feltételeivel és eredményeik pontosságával. Ebből következik, hogy a jó konstruktőr egyszerű és gyors számítási eljárásokkal igyekszik minél pontosabb eredménnyel megközelíteni a végleges állapotot, illetve a valóságot. Már csak azért is, mert pl. a mechanikában ugyan már léteznek teljesen pontos számítások, de azok is csak egy mechanikai modellre vonatkoznak, nem pedig a valóságra. Arról pedig már nem is beszélve, hogy a valóságban fellépő terheket is csak közelítően tudjuk leírni. A pontosabb számítás a tervezés későbbi folyamatában válhat szükségessé, a szerkezet optimalizálása során, de a már elmondottak alapján, ekkor is csak a józan ész által korlátozott mértékben! Vannak esetek, ahol ugyan megkövetelik a ma elméletileg elérhető pontosságot, de ez sok esetben jelentős többletmunkát és költséget jelent, annak jelentős haszna nélkül. Általában ilyen esetekben az előíró nem gyakorlati ember, aki nem látja át, hogy sok esetben ez áttekinthetlenségig bonyolítja a számítást, és a számítás terjedelmének növekedése sem áll arányban a pontosság fokozásával, vagy épp a kiindulási paraméterek pontosságával. Vagyis pl. az építőanyagok mechanikai jellemzőit sohasem ismerjük teljes pontossággal, csupán statisztikus átlagértékeket és szórásukat, így a számítás sohasem tükrözheti teljesen pontosan a valóságos szerkezet viselkedését. Éppen ezek miatt a mérnöki gyakorlatban sohasem merül fel a teljes pontosság igénye! Ha a pontosabb számítással (elsősorban az építési anyagokban) elérhető megtakarítás kisebb, mint a magára a számításra fordított idő és költség, akkor a józan gazdasági megfontolás teszi indokolatlanná a pontosabb számítás elvégzését. Így azt mondhatjuk, hogy ma nem elvi, hanem gyakorlati okai vannak a közelítő módszerek alkalmazásának.

A pontos, illetve pontosabb módszereket általában az ellenőrző számításoknál alkalmazzák annak vizsgálatára, hogy a közelítő számítások alapján kialakított szerkezet valóban megfelelő-e.

Az ökölszabályokra és közelítő számításokra jellemző, hogy kisebb-nagyobb elhanyagolásokon alapulnak, ezért pontosíthatóságuk korlátozott, vagy egyáltalán nem is pontosíthatók, ezért érvényességi tartományuk — ahol tehát pontosságuk a gyakorlat számára kielégítő — általában korlátozott.

A közelítő módszerek elsősorban a konstrukciós tervezés során jelentenek nagy előnyt, különösen áttekinthetőségük és egyszerűségük folytán alkalmasak arra, hogy segítségükkel ki tudjuk választani a legmegfelelőbb szerkezetet és meg tudjuk határozni a fő méreteit.

Az ökölszabályok és közelítő számítások fontossága:

- A koncepcionális tervezéshez, gyors és egyszerű eljárások kellenek.
- A közelítő számítások egyszerű áttekinthetőséget biztosítanak.
- Lehetővé teszik az erőjáték szemléletes követését, s ezzel a megvalósíthatóság megítélését.
- Segítségét nyújtanak a tartószerkezetek főbb szerkezeti elemeinek méretfelvételéhez.
- A pontos számítás gyors tesztelésének elengedhetetlen eleme, a „nagyságrendi” hibák kiszűrésére alkalmas módszer.

A közelítő számítások jellemzői:

- Az ökölszabályok és közelítő módszerek elsősorban egyszerűek, még a korlátozott pontatlanság árán is.
- Egyszerűségük miatt sokszor fejben tarthatók.
- Megadják a statikai működést átlátó mérnöki szemléletet.
- Alapesetben pontosak, csupán a statikai váz egyszerűsítésével válik közelítővé.

Példák a konstruktóri munkára és erőtani modellezésre

Az 1990-es évek elején dr. Kollár Lajos szervezésében és vezetésével a Tartószerkezet-tervezők Mesteriskolája keretében Stuttgartban jártunk, ahol Jörg Schlaich tanszéke mellett, Otto Frey műhelyét is meglátogattuk, látván ott több egyszerű kísérleti modellt a boltozattól a függőtetőig. Így többek között a müncheni olimpiai stadion gézből kialakított tetőszerkezeti modelljét, mely az önsúlyra beállt geometriával csupa húzott elemből állt. Hasonlóan állapította meg a szerkezeti konstrukció optimális geometriáját – láncokból súlyokkal terhelve – Gaudi is, csupán „fordítva”, azaz a modellt vízszintes síkra tükrözve csupa nyomott elemből álló konstrukció jött létre. Kicsit hasonló kísérletezés eredményének tartom Kazinczy Gábor befogott végű acélgerendákon szerzett tapasztalatait is, vagyis hogy a befogási nyomatók nem nőnek a teherrel arányosan, és mint egy csuklóban valamiféle elfordulások jönnek létre a befogásnál. Majd a középpontban is megjelenő harmadik csuklóval létrejön a képlékeny mechanizmus.

A ma elterjedt szemlélet szerint a konstrukcionális tervezés során nem szokás konkrét gyártó technológiában gondolkodni. Nem is igen lehet, hiszen a rossz példa alapján elterjedt megrendelői szokások, így pl. a titoktartás intézménye ezt nem is engedi, illetve ellehetetleníti. A Debreceni Nagyerdei Stadion sikere épp a széleskörű egyeztetésen alapuló konstrukciós tervezésben rejlik. Azaz a tervezés első fázisa, a konstrukciós tervezési folyamat kezdete adatgyűjtéssel, a tervezői stáb szoros együtt töltött idejével, közösen szerzett élményekkel és információ cserével telt, nem kis időt fordítva erre. Közben egymást és egymás gondolatait mélységeiben is megismerve.

Az intellektuális teljesítmény tehát fontos jellemzője a tervezésnek, amely lehetővé teszi az épületek kultúrája szempontjából is értékes, minőséget hozó tartószerkezeti tervezést. Így az előbbiekből úgy tűnik, hogy a mi szakmánkban a megfelelő **természetes intelligencia még egy jó ideig biztosan veri a mesterséges intelligenciát**, ezért érdemes azt fejleszteni!

3. KINEK SZÓL AZ ELŐADÁS?

Prof Dr Ing Fritz Leonhardt mondta, hogy: ma jóval több és részletesebb statikai számításokat készítünk, miközben a konstruálás iránti vágy egyre inkább visszaszorult. Pedig a mérnöki tevékenység az építmények megvalósítása során a tervezés, kivitelezési és gazdasági mérlegelések, számítások mentén a konstruktóri munkában testesül meg, tehát sok olyan munkafolyamatban, melyek a különböző tudásokat követelő területeket ölelik fel. A statikai számítás ezen belül egy fontos elem, hogy a méretek helyesek legyenek és a tartószerkezet a megfelelő biztonságot nyújtsa. De a legjobb statikai számítás is kevés, ha nem volt sikeres konstruktóri munka, vagy a számítás eredményeit nem sikerül egy jó konstrukcióban megtestesíteni. Egyszerű statikával is megvalósítható egy jó tartószerkezet, ha a tervezője egy tapasztalt mérnök, de a legkomplikáltabb és legtudományosabb témék „statika” is értéktelen, ha az alapja nem egy jó terv és a statikai számítást nem egészíti ki egy tapasztalt konstruktőr által elvégzett, fáradságos apró részletmunka. A statikai számítást természetesen nem szabad leértékelni, a jó statikai ismeretek nélkülözhetetlenek az építőmérnök számára, aki szépet és maradandót szeretne alkotni.

Egy koncepcionális tervezésről szóló konferencián, előadásában Schlaich kijelentette, hogy: „A kreatív koncepcionális tervezés csak a természettudományok és a technológia ismereteinek intuícióval történő kombinációjából származhat. A tudás és a szorgalom, valamint az intuíció és a gondoskodás, valamint az együttműködés és tanácsadás iránti nyitottság határozza meg az eredményt. További megnevezett követelmények a tapasztalat, az analitikai készség és a találékonyság”.

Látható hát, hogy nem csak a mérnök által megfogalmazott, – mondjuk – művészi alkotáshoz, hanem a konstruktóri munkához, azaz a koncepcionális tervezéshez, vagyis a szerkezeti koncepció kidolgozásához is kiterjedt intellektuális háttér, tudományok sorának mélyreható gyakorlati ismerete is szükséges. De igazán, leginkább ezen ismertek tudáshálózatának komplex, a hálózati elemek összefüggéseinek ismerete, a hálózati elemek összekapcsolásának képessége az, ami a legszükségesebb elem az alkotó mérnöki munka vázát képező konstruktóri munkához, kiváltképpen annak művészi szintű kibontakozásához. Csakis ez biztosítja, hogy a mérnöki alkotás optimálisan megfeleljék az elvárt követelményeknek biztonságos és maradandóan szerves részévé váljon környezetének, akár még művészi elemként is.

A konstruktóri munkához mély ismeretek, kemény munka és mesterségbeli tudás szükséges. Nem lehet megtervezni egy szerkezetet anélkül, hogy a mérnöknek ne lenne alapos ismerete a szerkezeti viselkedésről, a különféle anyagok lehetőségeiről, az építési folyamatokról stb. A rendelkezésre álló számítási eszközök hamis elképzelést hozhatnak létre, miszerint az alapos ismeretek helyettesíthetők hatékony számítási eszközökkel. A mérnöki munkában a jó tervezés alapvetően a kemény munka és az idővel megszerzett mesterségbeli tudás eredménye. A szerkezettervezés fontos alkotóeleme a permeabilitás is, mely során a sok információ figyelembevételével kell tudni kiválasztani az adott objektumra legkedvezőbb hatású szerkezetet, mind

anyagában, mind geometriáját tekintve. Végül, de nem utolsósorban, a jó tervezés nem hagyhatja figyelmen kívül a társadalmat, annak történelmét és kultúráját sem.

A mély ismeretek átadása során azonban nem foglalkoznak az alapvető egyszerűsítésekkel kapcsolatos témákkal, amelyek pedig minden erőfeszítés és a javasolt megoldások jelenlegi szerkezeti igényeinek egyértelmű és átlátható értelmezéséhez vezethetnek.

Így hát, mindamelllett, hogy az egyetemeknek egyértelműen szilárd és mély elméleti ismereteket kell nyújtaniuk – amelyekkel a mérnöknek rendelkeznie kell – ugyanakkor a mérnöki és kulturális ismeretek széles körű áttekintését is biztosítaniuk szükséges. Ezek szerint a szerkezetépítő mérnöknek is meg kell tanulnia az építészmérnök valamilyen fokú mesterségét, amelyet régebben nem az egyetemen szereztek meg, hanem inkább szakmai tapasztalattal. Ehhez kellett egy mesterként szolgáló vezető a fiatalabb mérnökök számára, aki gondoskodott arról, hogy a fiatalabb mérnökök tanulhassanak és sikerrel sajátíthassák el a konstruktóri munkához szükséges képességeket. De ez a folyamat úgy a rendszerváltás ideje körül, a nagy tervezőirodák széthullásával megszűnt, jelenleg megfelelő formájában – ritka kivétellel – gyakorlatilag nem működik, és mindenki autodidakta módon próbálja megfejteni a tervezés menetét, saját magától próbál gyakorlati ismereteket szerezni. De ez is nehezebb, mint régen, hiszen az alapismereteket megalapozó és készségfejlesztő tárgyak is szűkösebbek lettek, vagy éppen meg is szűntek (művészettörténet, rajz, ábrázológeometria, matematika, ...). Így, mint ismeretes, nagyon kevés kivételtől eltekintve a mérnökök humanista oktatásához az egyetemek ilyen szintű hozzájárulása sem létezik. E közben több a tudományos kutatás a koncepcionális tervezési folyamatok körül, mint a hallgatók, illetve a leendő mérnökök felkészítésére tett javaslat vagy a szükséges gyakorlati lépések megtételére való törekvés. Pedig már felnőtt nem is egy generáció, mely ilyen képességekkel nem rendelkezik.

Ilyen helyzetben még fontosabb, sőt nélkülözhetetlen, hogy az oktatásban is végre megjelenjen a szerkezeti tervezéssel párhuzamosan, a koncepcionális tervezés tanítása is, az elmélettel párhuzamosan, mind az összes anyagra vonatkozóan, szerves részeként az egyetemi szerkezetépítő mérnöki oktatásnak. Ennek ellenére úgy tűnik, hogy az oktatásban továbbra is a hangsúly gyakran az anyagorientált elméletre fókuszál, így megfosztva a hallgatókat kreatív képességeik fejlesztésétől. Túl gyakran tapasztaljuk, hogy nincs kapcsolat, nincs híd a keletkező ismeretek és a szakmai gyakorlat között. Nyilvánvaló, hogy a kutatás világa messze van a tervezés világától, a nyelvek különbözőek, és olyan érdekeket szolgálnak, amelyek nem általánosak, sőt egyértelműen eltérők, érintkezési pontok nélkül.

A szerkezetépítő mérnöki Koncepcionális Tervezés tanítása során világosan át kell adnia azt az elképzelést, hogy egy szerkezet a koncepcionális tervezés szakaszában születik meg, és az elemzés, a méretezés vagy a konstrukció későbbi nehézségei gyakran egy gondatlan koncepcionális tervezés eredménye. Az építőmérnöknek kulturális és társadalmi felelőssége van a szerkezetért, és hogy az épület tervezésében az építész partnere, és nem méretezője, szerkezeti ellenőre.

A tervezés folyamatában a koncepcionális tervezés az első, de mivel a koncepcionális tervezés és gondolkodás megalapozott tudományos ismereteket igényel, így a megfelelően párhuzamban állított tananyag mellett az „elmélet” és a „gyakorlat” egyidejű tanítása az egyetlen elfogadható út! A hallgatók könnyebben elsajátítják a matematikai és mechanikai ismereteket, ha a Koncepcionális Tervezés tanulása során meglátják azt, hogy nekik miért van szükségük ezekre a tantárgyakra. A helyesen felépített parallel oktatási program olyan tudáshálózatot épít, mely a különböző tárgyak közötti összefüggésekre és kapcsolódásokra a hallgatók, tanulmányaik kezdetétől támaszkodhatnak.

Mind ezek keretében fontos megtanulni, hogyan lehet jó szerkezetet kidolgozni, de meg kell tanulnunk azt is, hogy „hogyan kell eladni”, hogyan lehet meggyőzni az építészt vagy az ügyfelet a megoldásainkról. A mérnöki művészet történetének oktatása pedig azért elengedhetetlen, mert jelenleg a végzős hallgatók sora még csak nem is hallottak Röblingről, Telfordról, Eiffelről, Maillartól, Suchovról, Torrojaról vagy Leonhardtról, hogy csak néhányat említsünk. Ez olyan, mintha zenész akarna lenni, és nem hallana Mozartól, Beethovenról vagy Bachról.

A Koncepcionális Szerkezettervezésben minden anyag egyidejű használatát kell megtanítanunk, így a modern építőanyagokat is (pl.: az üveget, a PTFE membránokat és a különböző kompozitokat egyaránt), egységes formában nem úgy, mint ma, a közös vonások nélkül. Mert olyan stabilitási problémákat, mint a kihajlás, vagy a dinamikus problémákat, rezgéseket, mind az acél, mind a beton szerkezetek esetében tanítják, ugyanakkor annyira másképp, hogy az alapul szolgáló tervezési koncepciók és az anyagok jellemzői elvesznek és összezavarják a hallgatókat.

Olyan oktatásra kell törekednünk, amely fiatal mérnökeink számára lehetővé teszi a legmodernebb, legmagasabb színvonalú szerkezetek tervezését. Az ügyfél nem "rendel" acél vagy beton hidat, nincs betonváz vagy acéltartós sokemeletes épület, hanem jó hidakat és jó épületeket. Az anyagok megfelelő keveréke

(beleértve az újakat is) és az összetett cselekvésre késztetés gyakran a legjobb eredményekhez vezet. Kizárólag az a mérnök tud kreatívan tervezni, aki minden építőanyagot szabadon fel tud használni.

A számítógépes lehetőségek mind a geometriai, mind a matematikai modellezés terén első pillantásra jelentős előrelépést jelentenek, valójában csapdákká válhatnak, amelyek bebörtönözik a mérnökök elméjét, akik csak a puszta modellek által kínált korlátozott és torz világot látják, amelyek korlátozzák a gondolkodást, így a fiatal tervezők összekeverve inspirációnak tekintik azokat a puszta munkaeszközöket, amelyek célja csupán a számítási rutin elvégzése. Csak a tudás képes azonosítani az ötletek korlátait, és ezért a számítógépes programok korlátait.

Az új technológiákat a tervezőknek ellenőrizniük kell, legalább olyan mértékben, hogy elegendő ellenőrzés garantálható legyen felettük. Az új anyagokat, új eszközöket, új technológiai találmányokat a tervezőknek be kell vonniuk az optimális felhasználásuk garantálása érdekében.

Végül, a tudás manapság csapatokat igényel, mivel olyan hatalmasá vált, hogy nem fér bele az olyan egyéni figurák elméjébe sem, akik nem is olyan régen még hatalmasak voltak a múltban, de akik ma már nem lennének képesek ezen információhalmazból kiemelni a részleteket. Fontos, hogy diákjainkat arra ösztönözzük, hogy motiváltak legyenek erre a kreatív folyamatra, és rendelkezzenek eszközökkel, alapos ismeretekkel a szerkezeti koncepciókat és a történelemet tekintve, valamint motivációval, hogy szakmánkat kreatívan, hatékonyan és büszkén végezzék. Nagyon fontos a csapatokban történő munkaképesség. Igaz, hogy a kreatív folyamat egyedi, de a csapatok nélkülözhetetlenek, a saját csapataink, a külső csapatok, az interdiszciplináris csapatok, az összes csapat.

Eduardo Torroja gondolata szerint: *a komplex és homályos matematikai számítások egyedül nem elegendők, a megfelelő koncepcióhoz vagy, hogy irányítsák a kezünket a szerkezeti morfológia felkutatásához, ahhoz az intim és intuitív munkavégzési formák ismeretére is szükség van. A főiskolákon, egyetemeken kezdettől fogva tanítani kell a tervezést, mert a betöltött tudás által (amire természetesen szükség van) elnyomott kreativitást szabadabbá kell tenniünk.*

Nagyon fontos, hogy a statika rangját a helyére tegyük, mert a statikát egyre több tudományosnak mondott glóriákkal veszik körül, miközben a tervezés és konstruálás művészetének a tudományos rangját lebecsülik. Nagyon fontos, hogy újra felértékelődjön a konstruktóri munka értéke, fontos, hogy a mérnöki iskolákban, ne több és még több „statikus” tenyesszenek ki, miközben a konstruktóri utánpótlás gyakorlatilag kimerült.

Az elmélet és gyakorlat úgy tűnik, hogy igen távol áll egymástól – néha talán így is van –, hiszen az elmélet szinte minden esetben az ideális állapot feltételezéséből kiindulva határozza meg a paramétereiket, a valóságban ideális állapot azonban sohasem létezik! Mégis, a mérnöki munka sikere a mérnök felkészültségében rejlik, az pedig e kettő minél jobb közeledése, illetve átfedése révén állhat elő!

A jó mérnöknek legyen reális képe képességeiről és bízjon tudásában, de a bátorság és merészség nem mérnöki fogalmak. Ahogyan azt a tartószerkezet-tervezők sokaságának mestere dr. Kollár Lajos mondta: „Ha valaki azt mondja magáról, hogy mérész statikus, az csak tapasztalatlan.”

4. FELHASZNÁLT IRODALOM

- Kollár Lajos: *Mérnöki Tudomány, Mérnöki Közelítés* – MTA, Budapest, 1991.
 Vámos Miklós: *Gondolatok a gondolkodásról – a rácsodálkozás után* – Fizikai Szemle, Budapest, 1992.
 Eduardo Torroja: *Philosophy of Structures* – University of California Press, 1958.
 Jörg Schlaich: *A mérnöki műtárgyak kultúrája* – Konvent der Baukultur, 2003.
 Stefan Polónyi: *A tudomány értelmezésének felülvizsgálata* – Kasseli Egyetem, 1985.
 Hugo Corres: *Koncepcionális tervezés a Model Code 2020 szerint új és meglévő szerkezetekre* – FIB anket, Budapest, 2018.
 Mike Schlaich: *Koncepcionális tervezés* – IABSA Konferencia Budapest, 2006.
 Hajtó Zoltán: *A közelítő és részletes erőtan számítás összehasonlítása* – Ea., 2003.
 David P. Billington: *The Tower and the Bridge: The New Art of Structural Engineering* – Princeton University Press, 1985.
 Dezső Zsigmond: *Tudomány vagy művészet?* – Debreceni Szemle, 2014.
 Massimiliano Savorra – Giovanni Fabbrocino: *Félix Candela between philosophy and engineering: the meaning of shape* – Conferencia: Structures and Architecture, At: Guimaraes, 2013.
 Olga Popovic Larsen – Andy Tyas: *Conceptual structural design: bridging the gap between architects and engineers* – Thomas Telford Publishing, 2003.