

# Hídszerkezetek a tudománytól a megvalósulásig

## BEVEZETŐ

Kollár László P.

az MTA rendes tagja, egyetemi tanár  
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
lkollar@eik.bme.hu

Az építőmérnöki tevékenység látványos eredményei a nagy hídszerkezetek, amelyek jelentősebb folyókat, völgyeket, szorosokat hidalnak át. Az elmúlt évben hazánkban három nagy hídszerkezet építése folyt, illetve folyik: a Pentele híd Dunaújvárosban, a Kőröshegyi völgyhíd és az M0-s körgyűrű északi Duna-hídja, a Megyeri híd. Néhány éve északi szomszédunknál egy fontos Duna-híd épült: az Apollo híd Pozsonyban. A *Magyar Tudomány* ezen száma ezekkel a hídszerkezetekkel, tervezésükkel, kivitelezésükkel, a hidakhoz kapcsolódó tudományos kutatásokkal foglalkozik.

A Kőröshegyi völgyhíd eddig Magyarországon a legnagyobb volumenű hidépítés: a feszített betonhíd teljes hossza 1872 m, a tipikus támaszköz 120 m, a leghosszabb pillérek magassága 80 méter, amely egy 25 emeletes épületnek felel meg. A Pentele híd mederhídja egy kosárfül alakú ívhíd, amelynek támaszköze (azaz a megtámasztások közti távolsága) 308 méter, ez a maga kategóriájában a világon a legnagyobb. A mederhidat a Duna partján

szereztek és a 8700 tonnás szerkezetet úsztatással juttatták el a végső helyére. Ilyen tömegű szerkezetet folyón, tudomásunk szerint még nem szállítottak; a híd úsztatása is világrekord. Az M0-s északi Duna-hídjának legnagyobb támaszköze 300 m, ez az első magyarországi ferdekábeles híd.

### *Mitől függ egy híd kialakítása?*

Egy híd az úthálózat egy eleme. A főbb utak, autóutak és autópályák egyrészt összekötnek településeket, országrészeket, országokat, másrészt *elválasztanak* egymáshoz esetleg igen közel lévő településeket, hiszen egy autópályára csak a kiépített csomópontban lehet ráhajtani, és csak a hidaknál lehet őket keresztezni. Az autóút és az autópálya az átutazóknak kényelmet jelent, a helyben lakóknak esetleg bosszúságot, sőt a közelben lakóknak az ingatlanok értékcsökkenése miatt akár közvetlen anyagi kárt is okozhat. A fentiek miatt egy-egy út (és híd) nyomvonalának kijelölése általában igen sok, egymásnak ellentmondó szem-



1. ábra • A Firth of Forth vasúti híd  
(Baker, Anglia, 1890, támaszköz: L=521 m. Fényképezte Kollár Lajos)

pont figyelembe vétele alapján történhet, és ezeknek csak egyike, hogy ehhez milyen méretű (és költségű) híd kell hogy tartozzék. Így volt ez a három épülő hidunknál is (Molnár, 2007; Domanovszky, 2007).

Az építőmérnöki szerkezetektől természetesen elvárjuk, hogy a megkívánt funkcionálnak eleget tegyenek, és kellő teherbírásúak legyenek, de ezenkívül gyakran *esztétikai igényeket* is támasztunk. A nagy hidaknál, ahol a helyes szerkezeti formától való eltérés nagyon sokba kerülhet, általában a statikai szempontok

alapján döntenek el a híd alakját. Így történt ez például a híres skóciai Firth of Forth vasúti hídnál is (1. ábra). A híd megjelenését elkészülte után sokan támadták, a kritikusok szerint a „híd borzasztóan ronda” (Billington, 1983). Mások (például a híd tervezője) viszont amellett érveltek, hogy a helyes szerkezeti forma a szépség legfontosabb ismérve. Arra, hogy az esztétikai követelmény néha ellentmond a szerkezeti megkívánt formának, jó példa a Szabadság híd. A Szabadság híd középső része egy befüggesztett tartó. (Ha átsétálunk



2. ábra • Szabadság híd (Feketeházy János, Budapest, 1896, támaszköz: L=171 m)  
A jobb oldali képen látható a befüggesztett rész megtámasztása.

a hídon, akkor megfigyelhetjük a középső nyílásban található csapokat, amelyek a befüggesztett rész csuklós megtámasztását biztosítják. (2. ábra) A Szabadság híd statikailag helyes kialakítása a nyílás közepén (a Firth of Forthhoz hasonlóan) az lett volna, ha a befüggesztett rész szerkezeti magassága a híd közepe felé növekszik. A kialakítás, *esztétikai okokból*, ezzel ellentétes: a befüggesztett rész tartómagassága a híd közepe felé csökken. Esztétikai megfontolások alapján alakították ki a Pentele híd kábelelrendezését és (építész közreműködésével) a pillérek szilvamag alakját.

A híd kialakítása szempontjából elődleges kérdés a rendelkezésre álló *építési technológia*. Ez mind a négy híd esetén fontos szempont volt. A Dunán a teljes beállványozás egyrészt költséges, másrészt a hajóforgalom miatt igen nehezen megvalósítható, a 80 méter magasú Kőröshegyi völgyhíd esetében nehezen kivitelezhető. Az Apollo hidat a parton szerelték, majd beforgatták, a Pentele hidat *beúszatták*, az M0-s hidat pedig 12 m hosszúságú elemekből szerelik össze, amelyeket a ferde kábelekkel támasztanak meg (Windisch, 2007). Ez utóbbi az ún. *szabad szerelési technológia*. A Pentele híd ártéri acélhidjait *betolták*. A kőröshegyi-híd kivitelezéstechnológiája a *szabadbetonozás* volt (az utolsó szakaszban a szabadszerelés), aminek az a lényege, hogy a hidat a pillérektől indulva építik egy segédhíd felhasználásával. A segédhídon helyezkednek el a zsaluzó kocsi, itt történik a betonozás, a beton kötése után elhelyezik a feszítő kábeleket. Ezután a zsaluzó kocsiat áthelyezik, és megkezdik a következő szakasz betonozását. Két egymás melletti pillérről indulva a pályaszerkezetet egymás felé építik, s a nyílások közepén összehátrják (Wellner, 2008).

A kellő építési sebességek és a nagy méretek eléréséhez egyre jobb minőségű *anyagokat*

alkalmaznak. A Pentele híd esetén először alkalmazták hazánkban S460-as acélt, (ennek szilárdsága a szokásosnál 30 %-kal magasabb). A szabad betonozáshoz alkalmazott betonok szilárdsága körülbelül kétszerese a szokványos betonokénak. Ennél még fontosabb, hogy a betonszilárdulás igen gyorsan játszódott le, és így körülbelül tíznaponként lehetett egy-egy új szakaszt elkészíteni.

### Mekkora egy híd biztonsága?

Felmerül a kérdés, hogy mekkora biztonsággal rendelkeznek az építőmérnöki szerkezeteink. A hídépítés hőskorában az építető belátására volt bízva, hogy mekkora biztonságot alkalmaz. A mérnökök általában 3 és 7 közötti *biztonsági tényezőt* alkalmaztak, ami azt jelentette, hogy a szerkezet törését okozó teher mintegy háromszor, hétszer akkora volt, mint a szerkezet várható terhe. A biztonsági tényezőt sokszor gúnyosan „tudatlansági tényezőnek” is nevezték, mivel a mérnök annál nagyobb tényezőt alkalmazott, minél kevésbé volt tisztában a szerkezet viselkedésével. Az elmúlt száz évben a biztonság szintjét az építőipari szabványok írják elő, idehaza korábban a Magyar Szabvány, amelynek szerepét fokozatosan a közös európai szabvány, az Eurocode veszi át. Ezek úgy állapítják meg a figyelembe veendő terheket, az anyagok szilárdságát, hogy kellően kicsiny legyen annak a valószínűsége, hogy a szerkezet a használati idő alatt súlyosan károsodjon, összedőljön. Ez a kicsiny valószínűség mintegy  $10^{-4}$ - $10^{-5}$ , vagyis minden tíz-, százezredik hídnál fordulhat elő, hogy súlyos károsodás, esetleg összedőlés következik be. (Téves tehát az a vélekedés, hogy egy helyesen méretezett szerkezettel nem lehet súlyos probléma; csak annyit mondhatunk, hogy ennek valószínűsége nagyon kicsiny. Az anyagok szilárdsága ingadozik, a

méretek sose pontosak, lehetséges, hogy a szokásosnál sokkal erősebb szél fúj; ha ezek egyszerre következnek be, akkor a híd súlyosan károsodhat.) A tényleges katasztrófák elemzése mégis azt mutatja, hogy ezek akkor következtek be, ha tervezési és/vagy kivitelezési hiba történt, vagy egy olyan jelenség játszott szerepet, amelyet korábban a mérnökök nem ismertek.

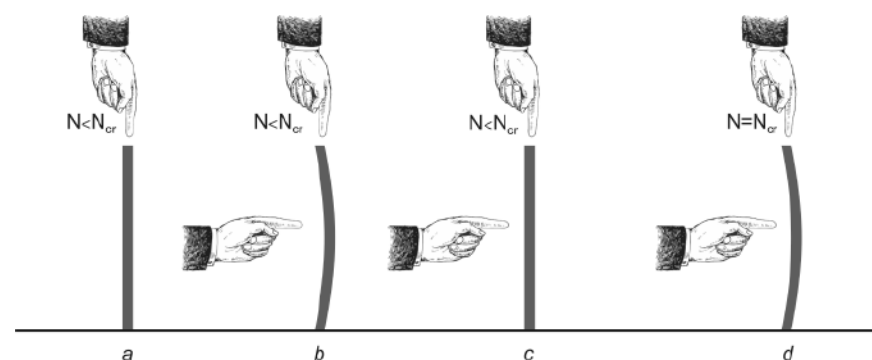
### Milyen hatásokra méretezünk egy hidat?

Előjáróban tisztázzuk, hogy hogyan is mehet tönkre egy szerkezet. Az egyik lehetőség, amit mindenki jól ismer, az ún. *szilárdsági* tönkremenetel. A szerkezet anyagának teherbírását szilárdságnak nevezzük; ha a terhelésből keletkező feszültség meghaladja a szilárdságot, az anyag tönkremegy. A szerkezetek azonban tönkremehetnek *kihajlással* is, ha például egy karcsú rudat nyomunk, akkor a nyomóerő egy bizonyos értékénél a rúd hirtelen meggörbül, és további terhet nem tud felvenni (3. ábra). (Az ív kihajlására példát láthatunk [Dunai et al., 2008] 2. ábráján.) Vékonyfalú szerkezet esetén a szerkezet tönkremehet *horpadással* is. Ezt bárki kipróbálhatja egyszeren

rűen egy fém sörösdoboz megnyomásával, ami a nyomás következtében hirtelen meghulámosodik, azaz horpad. (A kihajlást és a horpadást együttesen stabilitásvesztésnek nevezik, a stabilitásvesztést okozó erőt pedig kritikus erőnek.)

Ezeknek a jelenségeknek a figyelembe vétele – szokványos szerkezetek esetében – ma már rutinfeladat a mérnököknek, és a méretezési módszerek szabványosítva is vannak. A szabványok azonban nem intézkednek minden esetről, és bizonyos esetekben erősen egyszerűsített eljárást tartalmaznak, amelyek nagymértékben a biztonság javára közelítenek (gondoljunk a „tudatlansági tényezőre”). Emiatt néha a szabványoktól eltérő, annál pontosabb vizsgálatokat végzünk. (Ilyen „pontos” vizsgálatok történtek a Pentele híd esetében is (Dunai et al., 2008), és a külföldi ellenőr, aki csupán a szabvány egyszerűsített vizsgálata alapján méretezett, először nem – csak a részletes vizsgálat megismerése után – fogadta el a híd számítását.)

Az egyes jelenségek ismertté sajnós sokszor építési katasztrófák kapcsán váltak, és ezek után dolgozták ki a tudósok és a mérnökök



3. ábra • A kihajlás illusztrálása egy „vonalzón”. Ha a kritikus erőnél kisebb erővel nyomjuk a rudat (vonalzót), akkor a rúd tengelye egyenes marad (a), egy vízszintes erő hatására meggörbül (b), de az erő elvétele után visszanyeri az egyenes alakot (c). Ha a nyomóerő elér egy bizonyos értéket (ez a kritikus erő), akkor a rúd hirtelen meggörbül, „kihajlik” (d)

azokat a méretezési módszereket, amelyekkel a jelenségeket vizsgálni tudták (Petroski, 1992, 1994; Medved, 2001). A kihajlás jelensége például (noha azt matematikailag már Leonhard Euler vizsgálta) a hidépítők számára akkor vált ismertté, amikor az 1846-ban épített Dee-híd egy évvel az átadás után leszakadt; az emberi lépés okozta rezonanciára akkor figyeltek fel, amikor 1850-ben Angers-nél ötszáz katonai lépést tartva haladt át a hídon, amely a katonák felének halálát okozva összedőlt; és a fáradás jelenségére (vagyis arra, hogy az ismételt terhelés alacsony teherszinten is az anyag törését okozhatja) akkor figyeltek fel, amikor az USA-ban több vasúti híd is leszakadt. (Ennek hatására 1850-ben a pennsylvaniai hatóság úgy rendelkezett, hogy minden acélhidat fára kell cserélni.) Folytathatnánk a példák sorát. A tervezők az elkövetett hibák alapján sokat tanultak, a szerkezetek kialakítását, a méretezési módszereket korrigálták. Robert Stephenson például, a Dee-híd tervezője (a gőzgép feltalálójának fia), kora egyik legnagyobb hidépítője a Britannia hidat téglalap keresztmetszetű tartóként alakította ki, amelynek belsejében haladt a vonat (4. ábra). A tervezés során azt találták, hogy a tartó legveszélyesebb tönkremeneteli formája a felső (nyomott) övek horpadása. Ezt számítással nem tudták vizsgálni, ezért kísérleteket végeztek, és a szerkezeten az alsó és felső övet (hogy a horpadási tönkremenetelt elkerüljék) cellásra alakították ki.

Ma részben a károkból tanulva, részben az elvégzett kutatómunkának köszönhetően, a fenti jelenségeket megnyugtatóan figyelembe vehetjük egy-egy hídszerkezet méretezésében. A hidakat az önsúly, a járműteher, a meteorológiai hatások, a földrengés együttes hatására kell méretezni és kialakítani, ami igen sokszor innovatív megoldásokat követel. Erre

egy példa, hogy mivel egy híd hosszirányban a hőmérséklet hatására jelentős mozgásokat végez, ezért hosszirányban általában egy pillérenél rögzítik, és a többinél megengedik a híd mozgását. Földrengés esetén viszont a teljes földrengésteher egy ponton való levezetése nehézséget jelenthet, emiatt célszerű lenne a felszerkezetet több ponton rögzíteni. Ezt a dilemmát úgy lehet feloldani, hogy a szerkezetet hidraulikus berendezésekkel támasztják meg, melyek a lassú (hőmérsékleti) mozgásokat megengedik, a gyors (földrengés) mozgással szemben viszont ellenállást fejtenek ki (Kisbán, 2008). Egy másik probléma a kábe-



4. ábra • A Britannia híd keresztmetszete (Robert Stephenson, Anglia, 1850, támaszköz:  $L=140$  m)

lek táncolása a szél hatására. Érdekes módon előfordul, hogy ugyan maga a száraz kábel nem táncol a szélben, de a kábelen lefolyó esővíz esetén a kábel és víz együttese igen (Kisbán, 2008, Dunai et al., 2008), amit a kábel kialakított bordázattal lehet elkerülni.

Az olvasóban felmerülhet a kérdés: nem fordulhat-e elő, hogy ma épülő hídjainknál is van olyan jelenség, amelyre a tervező nem gondolt, és így esetleg a híd nem biztonságos, összedől? A válasz erre, hogy ez nagyon kevés valószínű, de teljes bizonyossággal nem zárható ki. Az elmúlt kétszáz évben hatalmas mennyiségű tudás halmozódott fel, az egyes jelenségek figyelembevételére kipróbált és sokszorosan igazolt méretezési módszerek vannak. A tervező számításait mindig független ellenőr kontrollálja. A számításban egyrészt használnak egyszerű, közelítő modelleket, másrészt összetett numerikus számításokat. Ez utóbbi ma szinte mindig az ún. véges elemes számítás (Horváth – Nagy, 2008), amely kiterjed a szerkezet minden kényes csomóponti részletére is. Ennek ellenére, újszerű kialakítás vagy új anyag esetén érhetik az építetöt meglepetések. Emiatt ilyen esetekben célszerű lehet *modellkísérletet* végrehajtani, amely az esetleges nem várt jelenségeket is megmutat(hat)ja. Így vizsgálták a Pentele híd kihajlását, és a hídra ható szélterhet is (Dunai et al., 2008). Az olvasó megnyugodhat, hogy hídjaink mai tudásszintünk szerint jól vannak megtervezve.

Egy nemrég történt fiaskóról mégis be kell számolnunk: 2000-ben adták át a londoni, Temzén átívelő Millennium hidat, amelyet a nagy tapasztalattal rendelkező, nemzetközileg elismert Arup vállalat tervezett. Ennek ellenére az átadás napján a hidat le kellett zárni, mert a hídon lévő tömeg alatt a híd jelentős vízszintes (periodikus) mozgásokat végzett,

ami általános riadalmat keltett (<http://www.arup.com/MillenniumBridge/challenge/>). A híd egy szokatlanul karcsú szerkezet, de a kor (korunk!) ismeretei szerint korrektil volt megtervezve. A mérnökök először értetlenül álltak a jelenség előtt. A későbbi vizsgálat azt mutatta, hogy a híd vízszintes rezgésére az emberek mozgása úgy szinkronizálódott, hogy a lépésekből származó vízszintes erők egyre nagyobb mozgásokat okoztak. (A fenti webcímen található videón meg lehet figyelni, ahogy az emberek testüket a haladási irányukra merőlegesen, vízszintesen is mozgatva, mintegy „táncolva” léptek.) Ez a szinkronizáció eddig teljesen ismeretlen volt. (A későbbiekben hidraulikus csillapítókat építettek be a hídba, amelyek ezt a jelenséget megszüntették.) Ez arra figyelmeztet bennünket, hogy újszerű szerkezet esetén fokozott gondossággal kell eljárni.

#### *Mi a tudomány szerepe?*

Fel kell tennünk a kérdést, miért játszik fontos szerepet a tudomány a mérnöki tevékenységben? Három főbb területet emelek ki:

- a tudományos eredmények közvetlen felhasználása,
- az ismeretek gyűjtése – újszerű feladatok megoldása,
- a mérnökképzés.

Az elsőre, vagyis a tudományos eredmények közvetlen felhasználására egy híd megvalósításához, nagyon sok példát lehet hozni. A méretezés teljes rendszere a tudományos kutatás eredményeképpen jött létre. Erről beszámolunk e számban *A dunaiújvárosi Pentele híd erőtani méretezéséhez kapcsolódó elméleti és kísérleti vizsgálatok* (Dunai et al., 2008) című cikkben is, és kiemelném, hogy a cikk első szerzője akadémiai doktori értekezésében tézist is megfogalmazott a Pentele híd mérete-

zésével kapcsolatban. A híd beúsztatási állapotának ellenőrzése során egy jelenleg is folyamatban lévő alap kutatási projekt (OTKA To49305) eredményeit alkalmazták, amelynek tárgya acélszerkezetek méretezése számítógépi szimuláció (más néven „virtuálisan végrehajtott kísérletek”) alapján. Egy apró, de tanulságos példát ismertetünk az alábbiakban. A Kőröshegyi völgyhíd pilléreinek alján a falvastagság 45 centiméter (Mátyássy, 2008), amely tekintélyes méret, de ha a pillér keresztmetszetéhez viszonyítjuk, ez egy vékonyfalú rúd, hiszen a pillér szélessége 13 méter. A pillérnek mint vékonyfalú rúdnak kell viselnie a nehéz (feszített beton) felszerkezet súlyát és a földrengésből keletkező terheket is. Mivel a pillér vékonyfalú szerkezet, így egyik veszélyes tönkremeneteli formája a *horpadás*, (hasonlóképpen, mint az előbbiekben említett sörösdoboznál). Egy érdekessége az elvégzett vizsgálatoknak, hogy a pillér horpadásvizsgálatához alap kutatási eredményt lehetett felhasználni (OTKA To32053), mégpedig olyan eredményt, amelyeket műanyag (kompozit) rudak vizsgálatához fejlesztettek ki. A viselkedés szempontjából ugyanis mindegy, hogy mekkora szerkezetről van szó: a mechanika és a matematika egyenletei egyaránt használhatók egy 80 m hosszú pillérre és egy másfél méteres rúdra. A vizsgálatok végeredménye az volt, hogy célszerűen úgy kell kialakítani a keresztmetszetet, hogy a pillérben középen egy diafragma (azaz keresztfal) legyen, amely meggátolja a fal horpadását.

Nagyon fontos az is, hogy a tudomány művelése során olyan ismeretek gyűlnek össze, olyan tudás halmozódik fel, amelyik képessé teszi a mérnököt arra, hogy újszerű kérdésekre választ tudjon adni. Ennek egyik példája a földrengési méretezés, amely Magyarországon eddig nem volt kötelező, és így

nem is volt szokásos. Ezen a területen korábban többen végeztek kutatómunkát. A kutatómunka eredményeit ugyan nem használták a hidak tervezésénél, de a kutatómunka kapcsán felhalmozódó ismeretek tették a szakértőket képessé arra, hogy a numerikus számítások eredményeit kontrollálják, és a számítási modelleket megfelelően módosítsák (Vigh et al., 2006).

A harmadik, ami lehet, hogy fontosabb, mint az első kettő, hogy a tudósoknak és a tudományos gondolkodásnak alapvető szerepük van a mérnökképzésben. A félreértés elkerülésére hangsúlyoznunk kell: nem az a célja a mérnökképzésnek, hogy tudósok kerüljenek ki a hallgatók közül (bár azok is kikerülnek), hanem az, hogy gondolkodó mérnökökké váljanak, akik képesek az új, innovatív feladatok megoldására, a jó szerkezetek megvalósítására. Ennek hátterét adja a tudományos kutatás. Az új anyagokat, új méretezési módszereket, innovatív megoldásokat általában először a kutatásokban vizsgálják, így ezek csak akkor tudnak kicsiny késéssel beépülni az oktatásba, ha az oktatók a kutatási, fejlesztési munkákban részt vesznek.

#### *Mekkora munka egy híd tervezése és építése?*

Harminc évvel ezelőtt az az ökölszabály volt ismert, hogy egy híd statikai számítása körülbelül annyi oldal, ahány méter a híd támaszköze. Vagyis egy húszméteres hídé húsz oldal, egy háromszáz méteres Duna-hídé háromszáz oldal. Ez a szabály ma már egyáltalán nem érvényes. A Pentele híd esetében például a kiadott iratok össz mennyisége mintegy tízezer(!) oldal. Csak a Főmterv Zrt. által kiadott tervek területe kb. 1500 m<sup>2</sup>. Tálán a fenti számok is érzékeltetik, hogy milyen elképesztő munka, mekkora mérnöki teljesítmény ezeknek a nagy hidaknak a létrehozása. Csak úgy

jöhettek létre, hogy a hazai hídtervező és hídépítő cégek és az elméleti háttérrel adó egyetem példásan együttműködött. Büszkék lehetünk rájuk. Az összes együttműködő felSOROLÁSÁRA NINCIS LEHETŐSÉGÜNK, AZ ALÁBBIKBAN CSAK A HIDAK TERVEZŐIT ADJUK MEG:

**Apollo híd** Pozsonyban • Felelős tervező: Miroslav Mat' aščík, Alfa 04 Tervezőhivatal. Társtervezők: Agócs Zoltán, Eugen Chladný, Szlovák Műszaki Egyetem

**Pentele híd** Dunaújvárosban • Felelős tervező: Horváth Adrián, Főmterv Zrt. Felszerkezet tervezője: Nagy Zsolt, Főmterv

#### IRODALOM

- Billington, David P. (1983): *The Tower and the Bridge. The New Art of Structural Engineering*. Princeton University Press, Princeton
- Domanovszky Sándor (szerk.) (2007): *A dunaiújvárosi Duna-híd megvalósítása 2004–2007*. Vegyépszerv Zrt.–Hídépítő Zrt., Budapest
- Dunai László – Hegedűs I. – Lajos T. – Kollár L. (2008): A dunaiújvárosi Pentele Duna-híd erőtan méretezéséhez kapcsolódó elméleti és kísérleti vizsgálatok. Magyar Tudomány. 4.
- Horváth Adrián – Nagy Zsolt (2008): A dunaiújvárosi Pentele Duna-híd tervezése. Magyar Tudomány. 4
- Kisbán Sándor (2008): Az M0-s Északi Duna-híd. Magyar Tudomány. 4.
- Mátyássy László (2008): Nyolcvan méterrel a föld felett (A kőröshegyi völgyhíd tervezése). Magyar Tudomány. 4.
- Medved Gábor (2001): *Történetek a világ hidjairól*. Terc, Budapest

Zrt. Alépitmény tervezője: Nagy István, Főmterv Zrt.

**Kőröshegyi völgyhíd** • Felelős tervező: Wellner Péter, Hídépítő Zrt. A híd társtervezője: Mátyássy László, Pontterv Zrt.

**Megyeri híd** (M0-s északi Duna-híd) • Felelős tervező: Hunyadi Mátyás, Céh Zrt. Ferdekábeles híd tervezője: Kisbán Sándor, Céh Zrt.

Kulcsszavak: *híd, méretezés, tervezés, kivitelezés, tudomány, Apollo híd, Pentele híd, Megyeri híd, Kőröshegyi völgyhíd*

Molnár László (2007): *Magyarország úthálózatának távlati fejlesztése*. Elhangzott az MTA-n, 2007. május 10-én, a *Híd szerkezetek (A tudománytól a megvalósulásig)* című tudományos ülésen

Petroski, Henry (1992): *To Engineer is Human. The Role of Failure in Successful Design*. Vintage, New York

Petroski, Henry (1994): *Design Paradigms. Case Histories of Error and Judgement in Engineering*. Cambridge University Press, Cambridge

Vigh Gergely – Dunai L. – Kollár L. (2006): Numerical And Design Considerations Of Earthquake Resistant Design of Two Danube Bridges, *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Geneva, Sept. 3-8, 1420. 1–10.*

Wellner Péter (2008): A kőröshegyi völgyhíd felszerkezetének tervezése és építése. Magyar Tudomány. 4.

Windisch László (2007): *Az M0-s északi Duna-hídja, kivitelezési kérdések*. Elhangzott az MTA-n, 2007. május 10-én, a *Híd szerkezetek (A tudománytól a megvalósulásig)* című tudományos ülésen