



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem  
Szilárdságtani és Tartószerkezeti Tanszék**

# **HÍDSZERKEZETEK KÖZELÍTŐ SZÁMÍTÁSA ÚTVONAL-ENGEDÉLYEZÉSHEZ**

**doktori értekezés összefoglalója és tézisei**

**VIGH ATTILA**  
**okleveles építőmérnök**

**Témavezető: Kollár László, egyetemi tanár**

**Budapest**  
**2007**

## 1. BEVEZETÉS

A közúti forgalomban, egyre gyakrabban találkozhatunk tekintélyes méretű kamionokkal és speciális szállítójárművekkel. Minden országban, így Magyarországon is meghatározták, hogy mekkora maximális össztömeget, tengelyterhet, magassági és szélességi méretet engednek meg a közúthálózatot használó járműveknek. Szabályozzák a fenti paramétereket túllépő járművek közúti közlekedését, a közútkezelői és hatósági eljárást, valamint a díjfizetés feltételeit.

Ezen szabályozás ismeretében kettéválaszthatjuk a teherforgalomban résztvevő járműveket: (1) a korlátozást nem meghaladó (nem engedélyköteles), illetve (2) túlsúlyos, túlméretes járművekre. Magyarországon minden túlméretes és/vagy túlsúlyos jármű útvonalengedély köteles. Ahhoz, hogy egy túlméretes és/vagy túlsúlyos jármű A-ból B pontba eljuthasson, útvonalengedély iránti kérelmet kell benyújtania. Az útvonalengedély tartalmazza a kijelölt útvonalat, amely természetesen áthalad a közúthálózat részét képező hidakon is.

Nem foglalkozunk az optimális útvonal kijelölésével, hiszen erre jól működő útvonal-optimalizáló szoftverek állnak rendelkezésre, a dolgozatban kizárólag a hídszerkezetek teherbírását vizsgáljuk. Nem foglalkozunk a túlméretes járművek engedélyezésével sem, hiszen ez esetben csupán geometriai ellenőrzést kell végrehajtani, meg kell tisztítani az útvonalat az akadályozó objektumoktól, illetve ellenőrizni kell, hogy a jármű méretei ne haladják meg az úrszelvény szélességi és magassági méreteit. A túlméretes jármű előtt és után kísérőautók haladnak, esetleg teljes útzárat is elrendelnek, amennyiben az egyidejű forgalom közlekedését zavarja a szállítás.

Évről évre egyre több útvonalengedély iránti kérelmet nyújtanak be, ami egyre jobban leterheli az engedélyt kiadó szervezetet, ugyanakkor a fuvarozók minél gyorsabban szeretnének az engedélyhez hozzájutni. Az engedélyezési eljárás időigényes és költséges, hiszen minden egyes jármű esetén ki kell jelölni egy olyan útvonalat, amelyen a hidak teherbírása megfelelő. Egy híd teherbírásának pontos kiértékeléséhez számos híd- és járműadat ismerete szükséges. Ezen okoknál fogva, általában a közútkezelő hídosztályára továbbítják az igénylést, akik gyakran tervező céget vonnak be. Annak érdekében, hogy minimálisra lehessen csökkenteni az időigényes vizsgálatok számát, az összsúly függvényében különböző egyszerűsített kiértékelési módszereket alkalmaznak.

Az útvonal-engedélyezési eljárás során a túlsúlyos járműveket két csoportba lehet sorolni: (1) a *túlsúlyos járművek*, amelyek a súlykorlátozást csak kis mértékben lépik túl. A teherforgalom jelentős részét az ebbe a csoportba sorolt járművek teszik ki, számukra általában éves engedélyt adnak ki. Az engedélykiadás folyamata néhány óra alatt lezajlik. (2) a *különleges járművek* a súlykorlátozást jelentős mértékben túllépik. Az ide tartozó járművek száma kicsi, körülbelül az engedélyköteles járművek 10%-a, és kizárólag egyszeri útvonalengedélyt kaphatnak. Az engedélyezés több napig, esetleg egy hétig is eltarthat.

A közúthálózat részét képező hídszerkezeteket a szabványban rögzített módon és elvek szerint tervezik a szabályzati terhek, a biztonsági és dinamikus tényezők figyelembevételével. A hidak főbb adatait adatbázisban tárolják.

Túlsúlyos járművek esetén nem végeznek részletes statikai számítást, kizárólag a vizsgált híd szabályzati járművének összsúlyával és tengelyterheivel vetik össze a kérdéses jármű adatait. Nagyságrendileg a túlsúlyos jármű a szabályzati jármű összsúlyának a fele, ugyanez az arány érvényes a tengelyterhekre is.

A különleges járművek esetén más a helyzet, tengelyterhei elérhetik a szabályzati jármű tengelyterhét, összsúlya pedig többszörösen meg is haladhatja a szabályzati jármű összsúlyát. Ilyen esetben igénybevétel-összehasonlításon alapuló közelítő számítást szoktak alkalmazni, melynek segítségével tovább szűkíthető azon feladatok köre, amelyekre részletes statikai számítást kell végezni.

A mindenre kiterjedő, részletes statikai számítás általában valamelyik végeselemes szoftver felhasználásával történik. Ez a megoldás a legidőigényesebb, és nagyon sok adat ismeretét feltételezi. A híd terveit be kell szerezni, vagy a hidat fel kell mérni a helyszínen. Ezt követően meghatározzák a híd „megfelelőségi tényezőjét” az állandó és az esetleges terhek figyelembevételével.

Az igénybevétel-összehasonlításra alapuló számításokban azt feltételezzük, hogy a híd képes viselni a szabályzati járműteherből keletkező igénybevételeket, és részletes ellenőrzés helyett a szabályzati és a különleges járműteher hatására keletkező igénybevételeket hasonlítják össze.

Ezt utóbbi módszeren több közelítő megoldási mód is alapszik. A dolgozatban egy ilyen, a fiktív hatásbrák leterhelésén alapuló közelítő számítást mutatunk be, amely egyszerű, gyors, kevés adatot igényel és elegendően pontos. A módszer alkalmazható a magyar hídállományra is, minden engedélyköteles jármű esetén használható, tehát a túlsúlyos és a különleges járművekre egyaránt.

A magyar állami közúthálózaton 6900 db hídszerkezet található. Hídtípusokra lebontva megállapítható, hogy a gerendahidak alkotják a teljes hídállomány 83%-át.

## 2. ELŐZMÉNYEK, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Összefoglalva elmondható, hogy a tengelyterhek összehasonlításán alapuló számítási módszerek pontatlanok lehetnek, nem alkalmazhatók bármilyen szabályzati járműteher esetén, jól alkalmazhatók viszont az engedélyköteles járművek kiszűrésére.

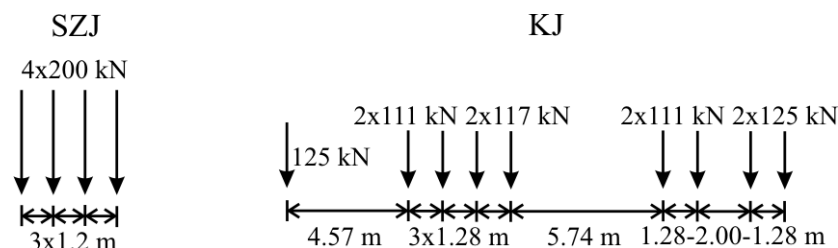
Az igénybevétel-összehasonlításra alapuló módszer alkalmas különleges járművek vizsgálatára is. A térbeli hatást a kereszteloszlás segítségével lehet figyelembe venni. Az előző módszerhez képest nagyobb az adatigénye, lassabban ugyan, de pontosabb eredményt szolgáltat.

A részletes statikai számítás kívánja meg a legtöbb bemenő adatot, a legtöbb futásidőt követeli, de ez a módszer bizonyul a legpontosabbnak. Mivel az ilyen számításokat csak egy hídtervező szakcég mérnökei képesek elvégezni, ezért az útvonal-engedélyezési eljárás során ezt a megoldást csak a legszükségesebb esetekben választják.

## 3. A FELADAT MEGFOGALMAZÁSA

A feladatunk egy gyors kiértékelést lehetővé tevő, kevés hídadat esetén is megbízhatóan működő módszer kidolgozása, amely a térbeli hatásokat is képes figyelembe venni és alkalmazható a közúthálózaton található főbb hídtípusokra: két- vagy többtámaszú gerendahidakra, rácsos tartókra, ív- vagy kerethidakra illetve boltozatokra.

Megoldásként egy az igénybevétel-összehasonlításra alapuló módszert fejlesztünk ki, amelynek lépéseit az alábbiakban ismertetjük.



1. ábra – Példa a szabályzati és a különleges járműteherre

A hidat a szabványban előírt járműteherre tervezzük, a továbbiakban ezt a járművet szabályzati járműtehernek nevezzük, és SZJ-vel jelöljük. Ezen a hídon halad át egy olyan (engedélyköteles) különleges járműteher, továbbiakban KJ, amelynek tengelytávjait és tengelyterheit szintén ismerjük (1. ábra). Határozzuk meg a híd megfelelőségi tényezőjét, amit az alábbi módon definiálunk:

$$n = \min\left(\frac{E^{SZJ}}{E^{KJ}}\right) \quad (1)$$

ahol  $E$  jelöli az igénybevételeket, például a nyomatékot, nyíróerőt, normálerőt vagy reakcióerőt, amely – a felső index szerint – az SZJ-ből vagy a KJ-ből keletkezik. Az összes igénybevétel-hányadost előállítjuk, ezek közül a legkisebb adja meg a híd megfelelőségét, amit  $n$ -nel jelölünk. Abban az esetben, ha  $n$  nagyobb 1-nél, a KJ áthaladhat a hídon.

Feladatunkat úgy is megfogalmazhatjuk, hogy egy olyan *gyors* és *kevés adatot* igénylő módszert kívánunk kifejleszteni, amely az (1) összefüggéssel definiált megfelelőséget *megbízhatóan* szolgáltatja.

## 4. HIDAK HOSSZIRÁNYÚ VIZSGÁLATA

A hosszirányú vizsgálataink során azzal a feltételezéssel élünk, hogy SZJ és KJ szélessége megegyezik, tehát a kereszteloszlás hatása egyformán érvényesül mindkét jármű esetében, az (1) képletben megismert hányados értéke nem változik. A különböző járműszélességek okozta hatásokat az 5. pontban (Hidak keresztirányú vizsgálata) elemezzük.

### 4.1 Számítás rúdszerkezeti modellel

Egy tetszőleges hídszerkezet igénybevételeinek „pontos” meghatározásához egy rúdszerkezeti programot írtunk, amit MATLAB környezetben készítettünk el. A program segítségével – mozgó járműteher hatására – bármely igénybevétel kiszámítható.

Első lépésben a híd geometriáját és a megtámasztási kényszereket adjuk meg. Előállítjuk a szerkezet merevségi mátrixát a rudak hajlítási- és összenyomódási merevségének ismeretében (ez utóbbi, gerendahidak esetén nem befolyásolja a számítást). A járműteher tengelytávjainak és tengelyterheinek ismeretében lépésekben végigtoljuk a terhet a hídon, balról-jobbra majd jobbról-balra. Minden egyes lépésben kiszámítjuk az igénybevételeket.

Gerendahidak esetén a nyomatékot, a nyíróerőt és a reakcióerőt határozzuk meg. Statikailag határozatlan, többtámaszú gerendahidak számításakor az igénybevételeket az inercianyomatékok eloszlása is befolyásolja.

Rácsos tartók vizsgálatakor határozott rácsolású, alsópályás, egyenes illetve íves felső övű tartókat definiálunk. A pontos geometria felvételéhez szükséges adat még a tartó magassága és a cellaszám. A tartó rúdjai két végén csuklós rudak, tehát csak a normálerőt, támaszoknál pedig a reakcióerőt számítjuk. Feltételezzük, a járműteher hatására az alsó övben nem keletkezik hajlítás és nyírás; ezeket az igénybevételeket a másodlagos teherhordó szerkezetek veszik fel és továbbítják a rácsos tartó csomópontjaihoz.

Ívhidak modellezése során statikailag határozatlan (megtámasztási viszonyait tekintve külsőleg statikailag határozott), alsópályás hidakat vizsgálunk. A híd geometriájához további bemenő paraméter a nyílmagasság ( $f$ ), a felfüggesztő rudak száma valamint a rudak merevségei. A felfüggesztő rudak csuklósan kapcsolódnak az ívhez és a gerendához.

Kerethidak számításánál statikailag határozatlan, felsőpályás szerkezeteket vizsgálunk. A tartó geometriájának megadásához szükséges a keretláb magassága, a szélső támasz és a keretláb közötti távolság, a keretlábak közötti távolság és merevségeik. Ebben az esetben is számoljuk a nyomatékot, a nyíróerőt, a normálerőt és a reakcióerőt.

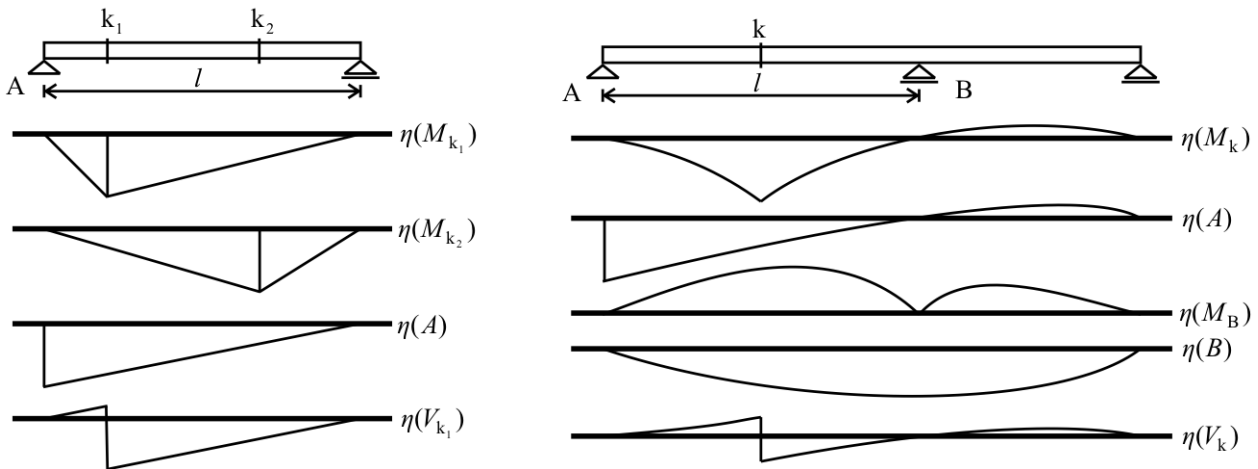
Boltozatok vizsgálata több szempontból is különbözik a fent bemutatott eljárástól, ezeket a dolgotat 7. fejezetében közöljük.

Elsőként a SZJ-ből származó maximális igénybevételeket és reakcióerőket határozzuk meg, majd a KJ-ből származó igénybevételeket számítjuk ki. A híd megfelelőségi tényezőjét az alábbi módon adhatjuk meg:

$$n^{\text{pontos}} = \min \left( \frac{E_i^{\text{SZJ}}}{E_i^{\text{KJ}}} \right) \quad (2)$$

## 4.2 Számítás fiktív hatásábrák segítségével

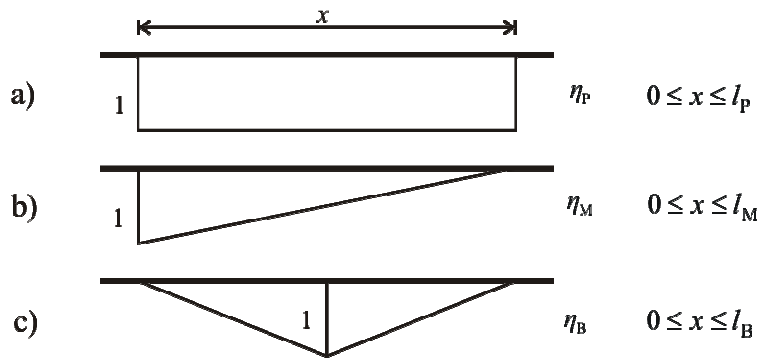
Az igénybevételeket hatásábrák segítségével is meg lehet határozni. A 2. ábrán, példaképpen egy kéttámaszú és egy többtámaszú híd jellemző hatásábráit rajzoltuk fel.



2. ábra – Két- és többtámaszú gerendahidak tipikus hatásábrái.  $\eta(M)$ ,  $\eta(A)$  (vagy  $\eta(B)$ ) és  $\eta(V)$  rövidítések a nyomatéki, reakcióerő és nyíróerő hatásábrákra utalnak.

Fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy kizárólag a hatásábra alakja lényeges, az ordinátáik értéke nem, hiszen mindig két érték hányadosát számítjuk ki ( $n$ ), a tényleges ordináta érték ismerete így nem szükséges. (Ha az igénybevétel pontos értékére lennénk kíváncsiak, akkor szükség lenne az ordinátaértékek meghatározására.)

Megfigyelhetjük, hogy a hatásábrák alakja hasonló, ez adja a módszer alap gondolatát: a tényleges hatásábrákat helyettesítsük ún. „fiktív” hatásábrákkal.



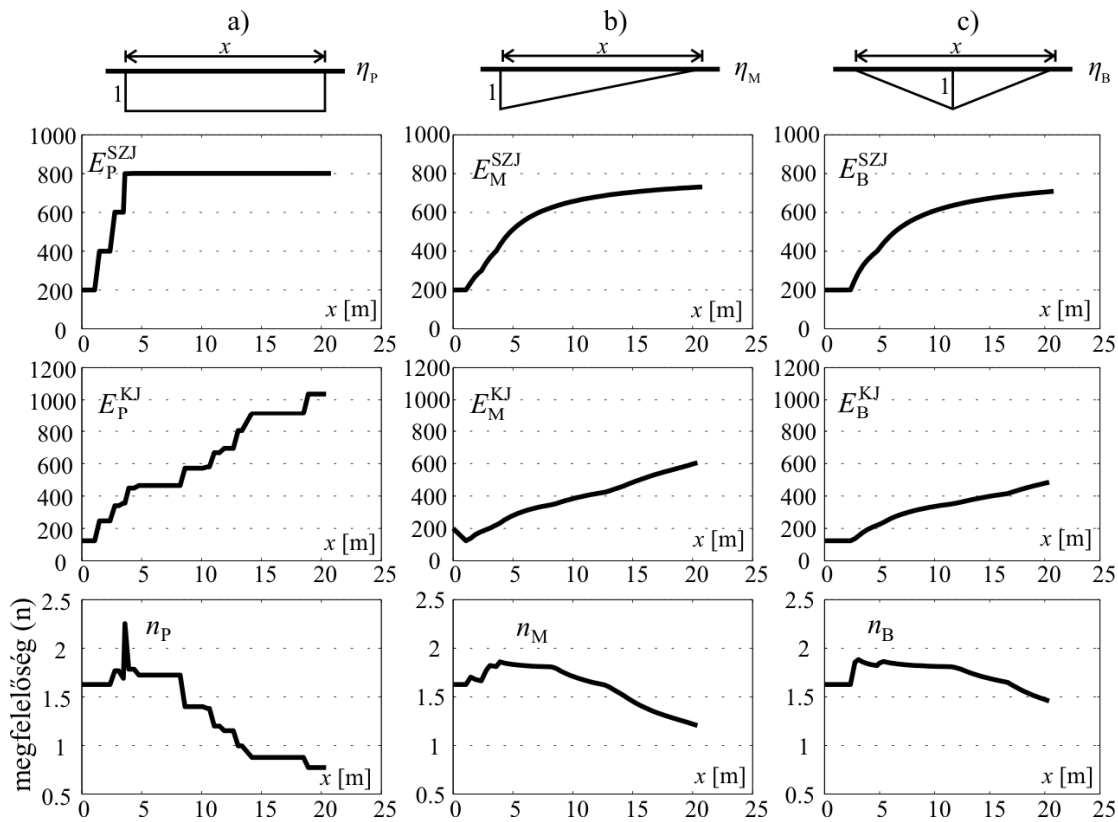
3. ábra – A javasolt fiktív hatásábrák

A megfelelőségi tényező meghatározásának céljára három fiktív hatásábra alkalmazását javasoljuk, amelyeket  $\eta_P$ ,  $\eta_M$  és  $\eta_B$ -vel jelölünk és a 3. ábrán láthatunk. A hatásábrák maximális ordinátája egységnyi. A hatásábrák hossza 0-tól egy maximális értékig terjed, például kéttámaszú gerendahidak esetén a támaszköz hosszáig, tehát  $0 \leq x \leq l$ . Az előbb említett maximális értékeket az 1. táblázatban, híd típusonként ismertetjük. Egy kéttámaszú gerendahíd esetén  $\eta_M$  hatásábra alakja megegyezik ugyanezen tartó, bal támaszának reakcióerő hatásábrájával,  $\eta_B$  hatásábra pedig a középső keresztmetszet nyomatéki hatásábrájával azonos, ha a hatásábrák hossza egyenlő a támaszköz hosszával. Többszámszű gerendahidak esetén a tényleges hatásábrák ívesek, ezért a 3. ábrán bemutatott fiktív hatásábrák nem pontosan egyeznek meg ezekkel.

A fiktív hatásábrák módszerének használatát a 4. ábra mutatja be. A középső felső grafikon pl. a  $\eta_M$  hatásábra mértékadó leterhelését mutatja a hatásábra hosszának függvényében, ha SZJ-vel terheljük le (1. ábra). Kéttámaszú gerendahidakra, ez a bal támasz maximális reakcióit szolgáltatja ( $E_M^{SZJ} = A^{SZJ}$ ).  $A^{KJ}$  hasonlóképpen számítható. A megfelelőségi tényező a középső alsó ábrán látható és az alábbi módon számítható:

$$n_M = \frac{E_M^{SZJ}}{E_M^{KJ}} = \frac{A^{SZJ}}{A^{KJ}} \quad (3)$$

Az ábrán jól látható, hogy a híd teljes hosszán az SZJ-ből származó reakciók nagyobbak, mint a KJ-ből származó reakciók, tehát a megfelelőségi tényező értéke végig egy felett van. A jobb oszlop az  $\eta_B$ , míg a baloldali oszlop a  $\eta_P$  hatásábra leterhelését mutatja, először SZJ-vel, majd KJ-vel. Az alsó sor pedig a megfelelőségi tényezők értékét mutatja, szintén a hossz függvényében.



4. ábra – A három fiktív hatásábra leterhelése SZJ-vel, valamint KJ-vel (1. ábra). Az eredményeket a hatásábra hosszának függvényében ábrázoltuk.

#### 4.2.1 Lokális vizsgálatok

Hídszerkezeteink általában főtartókból, hossz- és keresztartókból, pályalemezből, stb. épülnek fel. A főtartók vagy a támaszok tönkremenetelére, mint globális tönkremenetelre fogunk hivatkozni, a másodlagos tartószerkezeti elemek tönkremenetelét pedig lokális tönkremenetelnek nevezük.

A pályalemez (lokális) tönkremenetele bekövetkezhet egy nagyobb kerékterhelés alatti beszakadás során, amit a tengelyterhek összehasonlításával ki lehet szűrni. Ez gyakorlatilag az  $\eta_P$  hatásábra  $x = 0$ -nál történő kiértékelésével is elvégezhető (3a ábra). A pályalemez beszakadása bekövetkezhet két, egymáshoz közeli tengelyterhelés esetén is, ezt az együttes hatást mutatja az  $\eta_P$  hatásábra,

ha a hossza ( $x$ ) meghaladja két tengely távolságát. Mindebből megállapítható, hogy  $\eta_p$  hatására használható a lokális tönkremenetel vizsgálatára, ahol  $x$  lényegesen rövidebb hossz, mint a híd támaszköze, pl.  $0 \leq x \leq 0.2l$ . A kereszttartóra jutó terhelés az erő helyétől és a kereszttartó merevségétől is függ. A kereszttartók hatásábrái különböző alakúak lehetnek, pozitív és negatív ábrarészekkel is rendelkezhet, hosszuk pedig lényegesen rövidebb, mint a híd hossza. Javasoljuk, hogy a lokális vizsgálatok során a korábban bemutatott mindhárom fiktív hatásábrát alkalmazzuk. A lokális megfelelőségi tényező az alábbi módon számítható:

$$n^{\text{lok}} = \min(n_p, n_M, n_B), \quad 0 \leq x \leq l^{\text{lok}} \quad (4)$$

ahol  $l^{\text{lok}}$  = egy a támaszköznél rövidebb hossz.

### 4.3 Numerikus vizsgálatok

A fiktív hatásábrák módszerét alkalmazzuk két- és többtámaszú gerendahidakra, rácsos tartókra, ív- és kerethidakra, boltozatokra. A módszer pontosságát oly módon vizsgáltuk, hogy az  $n^{\text{pontos}}$  (rúdszerkezeti modellel) számított igénybevétel összehasonlításból nyerhető megfelelőségi tényezőt összehasonlítottuk a fiktív hatásábrák leterhelésével kapott  $n$  megfelelőségi tényezővel.

A fiktív hatásábrák módszerével nyerhető megfelelőségi tényező:

$$n^{\text{fiktív}} = \min(n_p, n_M, n_B) \quad (5)$$

ahol  $n_p, n_M$  és  $n_B$  az alábbi hatásábra hosszakkal számítható:

$$n_p : 0 \leq x \leq l_p; \quad n_M : 0 \leq x \leq l_M; \quad n_B : 0 \leq x \leq l_B \quad (6)$$

A módszer pontosságát az alábbi módon határozhatjuk meg:

$$\beta = \frac{n^{\text{pontos}}}{n^{\text{fiktív}}} \quad (7)$$

Ha  $\beta = 1$ , az eredmény pontos, ha  $\beta > 1$  a módszer a biztonság javára közelít, ha  $\beta < 1$  a számítás a biztonság kárára tér el.

A futtatásokban 22db SZJ-vet és 26db KJ-vet használtunk. Ebből 15 darab olyan fiktív járműteher, amelyeket mind SZJ-ként, mind KJ-ként figyelembe vettünk. A futtatások során a  $\beta$  paraméter legnagyobb és legkisebb értékét is meghatároztuk, amit az 1. táblázat tartalmaz.

Fontos hangsúlyozni, hogy a fenti számításokban – a rúdszerkezetiben ( $n^{\text{pontos}}$ ) és a fiktív hatásábrák módszerében ( $n^{\text{fiktív}}$ ) – a keresztirányú hatás nem kapott szerepet.

| HÍDSZERKEZETEK |             |                |             |             |             |               |
|----------------|-------------|----------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| SZJ            | kéttámaszú  | többtámaszú    | rácsos      | ív          | keret       | boltozat      |
| USA            | 0.96 / 1.19 | 0.85 / 1.50    | 1.00 / 1.94 | 0.95 / 1.71 | 0.96 / 1.48 | 1.00 / 5.70   |
| HUN            | 0.98 / 1.03 | 0.98 / 1.47    | 1.00 / 1.43 | 0.87 / 1.45 | 0.86 / 1.77 | 0.98 / 2.53   |
| ÖSSZES         | 0.88 / 1.19 | 0.85 / 1.51    | 0.99 / 2.13 | 0.87 / 1.82 | 0.86 / 1.96 | 0.92 / 5.70   |
| $l_M = l_B$    | $l$         | $l$            | $l$         | $l$         | $l$         | $l + 2f + 2h$ |
| $l_p$          | $0.2l$      | $l_1 + 0.6l_2$ | $0.2l$      | $0.7l$      | $l$         | $0.2l$        |

**1. táblázat** – Az új módszer pontossága ( $\beta_{\text{min}} / \beta_{\text{max}}$ ) különböző híd típusok esetén. Az ajánlott paramétereket  $l_p, l_M$  és  $l_B$  értékét a táblázat utolsó két sora tartalmazza. Számításainkban az összes (26 db) KJ-t figyelembe vettük. Az első sornál az „USA” szabályzati járműterhekre méreteztük a hidakat, a második sor esetében a magyar „A” jelű járműteherre méreteztünk, a harmadik sorban pedig az összes SZJ-t.

#### 4.4 Az eredmények statisztikai elemzése

A 4.3 pontban ismertetett numerikus vizsgálatok elvégzése után híd típusonként meghatároztuk, hogy a fiktív hatásábrák módszere a rúdszerkezeti számításhoz viszonyítva milyen pontossággal rendelkezik. Meghatároztuk a biztonság kárára és javára történő eltérések mértékét.

Felmerült az a kérdés, hogy vajon ezek a maximális eltérések az esetek hány százalékában fordulnak elő. A numerikus eloszlásfüggvény meghatározásával választ kaphatunk a fenti kérdésre.

Híd típusonként elemeztük a biztonság kárára és javára történő eltérések eloszlását, úgy hogy a  $\beta$  tényező értéke szerint kategóriákat hoztunk létre. Az összes járművet figyelembe vettük. Jól látható, hogy az esetek 1%-ában mutatkozik 10%-nál nagyobb eltérés a biztonság kárára (2. táblázat).

| HÍDTÍPUS    | CSAK A HATÁST NÖVELŐ TENGELYEK |                   |                  |               |                |               |               |               |
|-------------|--------------------------------|-------------------|------------------|---------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
|             | $\beta \leq 0.9$               | $\beta \leq 0.95$ | $\beta \leq 1.0$ | $\beta > 1.0$ | $\beta > 1.05$ | $\beta > 1.1$ | $\beta > 1.2$ | $\beta > 1.5$ |
| kéttámaszú  | 0%                             | 0%                | 45%              | 55%           | 8%             | 1%            | 0%            | 0%            |
| töbttámaszú | 1%                             | 5%                | 18%              | 82%           | 49%            | 32%           | 13%           | 0%            |
| rácsos      | -                              | -                 | -                | -             | -              | -             | -             | -             |
| ívhidak     | 1%                             | 1%                | 7%               | 93%           | 68%            | 52%           | 29%           | 5%            |
| kerethidak  | 0%                             | 0%                | 6%               | 94%           | 61%            | 45%           | 24%           | 3%            |
| boltozatok  | 0%                             | 0%                | 2%               | 98%           | 86%            | 73%           | 58%           | 33%           |

2. táblázat – Összefoglaló táblázat a biztonság kárára és javára történő eltérések eloszlásáról

### 5. HIDAK KERESZTIRÁNYÚ VIZSGÁLATA

Hídszerkezeteink mértékadó leterhelése során figyelemmel kell lennünk a járműteher térbeli elhelyezkedésére. A híd pályalemezét keresztirányban forgalmi sávokra osztják fel. A magyar Közúti Hídszabályzat előírásai szerint a koncentrált járműterhet mértékadó helyen kell elhelyezni, a megoszló járműterhet a fennmaradó, azaz a koncentrált teherrel nem terhelt területen kell működtetni. Külföldi szabványok általában a sávós leterhelést alkalmazzák, ilyen például az Eurocode is. Sávós leterhelés esetén minden forgalmi sávot mértékadó módon kell leterhelni koncentrált és megoszló járműteherrel egyaránt.

Útvonalengedély kiadása során több lehetőséget kell megvizsgálni:

- a különleges jármű része az egyidejű forgalomnak
- csak KJ haladhat át a hídon, az egyidejű forgalom áthaladása tilos
- a KJ a híd tengelyében halad át egyedül forgalmi sávoktól függetlenül, az egyidejű forgalom áthaladása tilos

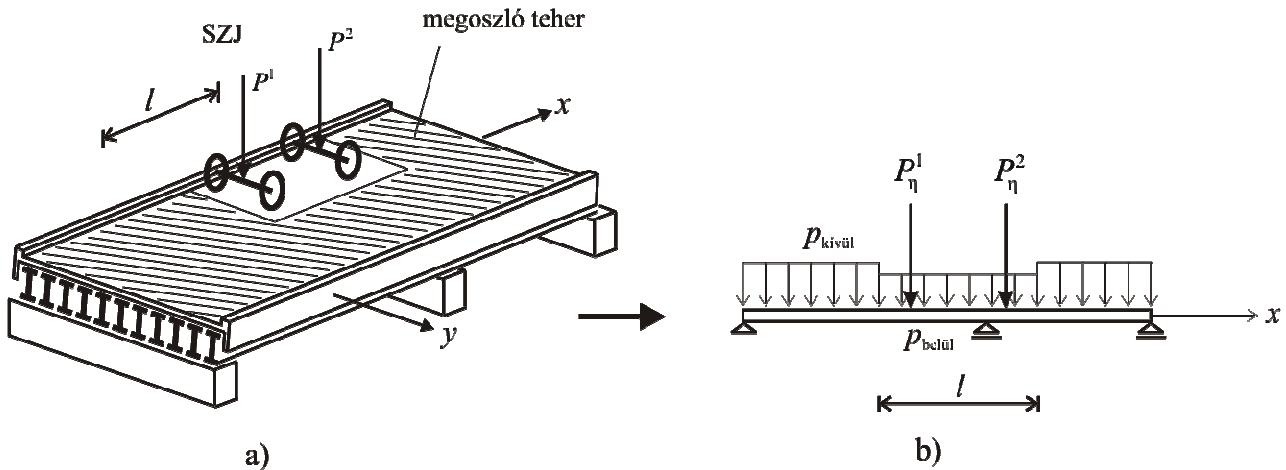
#### 5.1 Kereszteloszlási hatásábrák

Annak érdekében, hogy a körülményesebb térbeli vizsgálatot elkerülhessük kereszteloszlási hatásábrákat alkalmazunk. A kereszteloszlás segítségével a térbeli teherelrendezést síkbelivé tudjuk alakítani (5b ábra). A híd felszerkezetének típusától függően, a híd főtartói különböző mértékben viselik a jármű terhet. A legjobban igénybevett főtartó terhet a kereszteloszlási hatásábrák segítségével határozhatjuk meg.

Az általunk alkalmazott eljárásban a térbeli teherelrendezést a kereszteloszlási hatásábrák segítségével vesszük figyelembe. Ahhoz, hogy a pontos kereszteloszlási hatásábrákat meghatározzuk, ismernünk kell a híd felszerkezetének típusát, a pontos geometriai adatokat valamint a fő- és a keresztartók merevségét. Ezek az adatok általában nem állnak rendelkezésre. Az útvonalengedélyező eljárásunk szükséges bemenő adatai a híd támaszköze, szélessége és a felszerkezet tí-



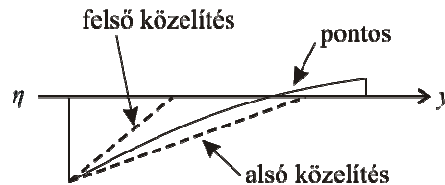
pusa. Ezen alapvető adatoknak a birtokában a valós kereszteloszlási hatásábrákat becsülni tudjuk, közelítő kereszteloszlási hatásábrákat veszünk fel.



5. ábra – Terhek a híd térbeli modelljén (a) és a terhek helyettesítése a síkbeli modellen (b).

A közelítő kereszteloszlási hatásábrák alkalmazása kapcsán két lényeges kijelentést kell tennünk:

- csak a hatására alakja lényeges, hiszen az eljárásunk az összehasonlításon alapszik, így lényegtelen a hatásábrák ordináta értékei
- mivel a pontos hatásábrát nem ismerjük, ezért két közelítő kereszteloszlási hatásábrával fogjuk közre a tényleges kereszteloszlási hatásábrát. Az alsó és a felső közelítő hatásábra (6. ábra) közül az egyik (előre nem tudjuk melyik) a biztonság javára közelít, ha mindkét járműteherrel leterhelve összehasonlítást végzünk



6. ábra – A kereszteloszlási hatásábra alulról illetve felülről való közelítése

Ha a híd felszerkezete nem ismert, akkor az alulról illetve felülről közelítő hatásábrák nagyon különbözőek lehetnek, ami esetleg túlságosan a biztonság javára közelítő megoldást eredményez.

## 5.2 Közelítő kereszteloszlási hatásábrák leterhelése

Ahogy azt már korábban említettük, útvonal-engedélyezési szempontból több leterhelési esetet kell megvizsgálni, ami természetesen a keresztirányú viselkedésre is kihat. A közelítő kereszteloszlási hatásábrák leterhelése során négy esetet vizsgálunk meg.

### *Egyidejű forgalom nélküli leterhelés (1. eset)*

A hidat csak a koncentrált SZJ-re és KJ-re vizsgáljuk meg. Ez a vizsgálat csak közelítésként alkalmazható, hiszen a szabványok szerint a hidakat együttesen a koncentrált és a megoszló járműteherre tervezik. Azért lényeges mégis ez az eset, mert a koncentrált terhekre a vizsgálat nagyon

gyorsan elvégezhető és a biztonság javára közelítünk vele. Ezt a leterhelést alkalmazzuk a lokális vizsgálatok során is. A járművek bármelyik forgalmi sávban elhelyezhetők.

A híd hosszirányú kétdimenziós gerendamodelljén (5b ábra) az alábbi helyettesítő terheket határozhatjuk meg:

$$P_{\eta}^{SZJ} = \frac{P^{SZJ}}{2} (\eta_1^{SZJ} + \eta_2^{SZJ}), \quad P_{\eta}^{KJ} = \frac{P^{KJ}}{2} (\eta_1^{KJ} + \eta_2^{KJ}) \quad (8)$$

A számítást összesen négy hatásábrán kell elvégezni: az alsó és felső korlátot jelentő hatásábrán a szélső és a középső főtartóra. A középső főtartó leterhelésének két lehetséges módja van, az egyik kerék vagy a hatásábra csúcsán áll, vagy a pályalemez szélén. A kettő közül az a mértékadó, amelyik a nagyobb eredményt adja.

A négy hatásábra közül az lesz a mértékadó, amelyiknél a  $P_{\eta}^{SZJ} / P_{\eta}^{KJ}$  arány a legkisebb:

$$P_{\eta}^{SZJ} / P_{\eta}^{KJ} \rightarrow \text{minimum} \quad (9)$$

Ha a KJ nyomtávja szélesebb a SZJ nyomtávjánál, akkor a laposabb, fordított esetben pedig a meredekebb hatásábra a mértékadó. Ha két jármű nyomtávja megegyezik, akkor a kereszteloszlásnak nincs jelentősége, hiszen  $P^{SZJ} / P^{KJ} = P_{\eta}^{SZJ} / P_{\eta}^{KJ}$ .

#### *Egyidejű forgalom figyelembevétele (2. eset)*

Ez egy valós terhelési eset, hiszen a híd méretezésekor a szabályzati megoszló járműterhet is figyelembe kell venni. A különleges jármű áthaladásakor megengedhetjük az egyidejű forgalmat, amit egyenletesen megoszló teherrel modellezhetünk és  $p$ -vel jelölhetünk. A koncentrált terhek hatását az 1. esetben megismert módon számíthatjuk (8. egyenlet). A járművek bármelyik forgalmi sávban elhelyezhetők.

A helyettesítő megoszló terheket szintén hatásábrák segítségével határozhatjuk meg, miután az ordináta értékeket is kiszámoltuk:

$$p_{\text{belül}}^{SZJ} = pb^{SZJ} \frac{\eta_{SZJ,1}^p + \eta_{SZJ,2}^p}{2}, \quad p_{\text{kívül}}^{SZJ} = pb \frac{1 + \eta_{SZJ,2}^p}{2} \quad (10)$$

$$p_{\text{belül}}^{KJ} = pb^{KJ} \frac{\eta_{KJ,1}^p + \eta_{KJ,2}^p}{2}, \quad p_{\text{kívül}}^{KJ} = pb \frac{1 + \eta_{KJ,2}^p}{2} \quad (11)$$

Az alsó indexben található „belül” és „kívül” szavak arra utalnak, hogy hosszirányban a jármű mellett vagy azon kívül (előtte vagy mögötte) áll-e a teher (5b ábra).

A négy hatásábra közül az a mértékadó, amelyiknél az alábbi arány a legkisebb:

$$\frac{\sum P_{\eta}^{SZJ} + p_{\text{belül}}^{SZJ} L_{\text{belül}}^{SZJ} + p_{\text{kívül}}^{SZJ} L_{\text{kívül}}^{SZJ}}{\sum P_{\eta}^{KJ} + p_{\text{belül}}^{KJ} L_{\text{belül}}^{KJ} + p_{\text{kívül}}^{KJ} L_{\text{kívül}}^{KJ}} \rightarrow \text{minimum} \quad (12)$$

Az összegzésben az összes tengely hatását meg kell vizsgálni a jármű teljes hosszában.  $L_{\text{belül}}^{SZJ}$ ,  $L_{\text{kívül}}^{SZJ}$ ,  $L_{\text{belül}}^{KJ}$  és  $L_{\text{kívül}}^{KJ}$  a megoszló terhelés hosszát jelölik.

#### *Egyidejű forgalom figyelembevétele csak SZJ-vel (3. eset)*

Ha a KJ áthaladásával egyidőben a forgalmat leiltjuk, akkor ezt a valós leterhelési esetet kell megvizsgálnunk. Két a esetet is megkülönböztethetünk: (1) KJ a hídpálya közepén halad végig, (2) KJ bármelyik forgalmi sávban áthaladhat.

A koncentrált helyettesítő terheket a 8. egyenlet szerint számíthatjuk. A SZJ-vel egyidejű megoszló terhet a 10. egyenlet szerint számíthatjuk.

A mértékadó hatásábrát az 12. egyenlethez hasonlóan választhatjuk ki, azzal a különbséggel, hogy  $p_{\text{belül}}^{\text{KJ}}$  és  $p_{\text{kívül}}^{\text{KJ}}$  értéke nulla:

$$\frac{\sum P_{\eta}^{\text{SZJ}} + p_{\text{belül}}^{\text{SZJ}} L_{\text{belül}}^{\text{SZJ}} + p_{\text{kívül}}^{\text{SZJ}} L_{\text{kívül}}^{\text{SZJ}}}{\sum P_{\eta}^{\text{KJ}}} \rightarrow \text{minimum} \quad (13)$$

*Egyidejű forgalom figyelembevétele csak SZJ-vel, hosszú hidak esetén (4. eset)*

Hosszú hidak esetén a megoszló teher hatása nagyobb szerepet tölt be, mivel a hídpálya területe jelentős, valamint a KJ hossza sokkal rövidebb a híd hosszánál. Az a hatására lesz a mértékadó, amelyiknek a megoszló teher alatti területe a legkisebb:

$$\frac{p_{\text{kívül}}^{\text{SZJ}}}{\sum P_{\eta}^{\text{KJ}}} \rightarrow \text{minimum} \quad (14)$$

Hangsúlyozzuk, hogy a (9), (12), (13) és (14) egyenlet arra szolgál, hogy a biztonság javára közelítő kereszteloszlási hatásábrát kiválasszuk.

## 6. AZ EC TERHEINEK HATÁSA A MAGYARORSZÁGI HÍDÁLLOMÁNYRA

Néhány év múlva a közös európai szabványrendszer Magyarországon is teljeskörűvé válik. A magyar hídállományt azonban a magyar Közúti Hídszabályzatban (KH) foglalt szabályzati járműterhekre méretezték, így jogosan merül fel a kérdés, hogy az EC járműterheiből származó igénybevételek milyen mértékben térnek a magyar szabályzati járműteherből keletkező igénybevételektől. A továbbiakban kizárólag a teheroldallal foglalkozunk, a hídszerkezetek teherbírásával nem.

Erre a kérdésre lehetetlen egyetlen számértékkel válaszolni, hiszen számos paramétertől függ. Többen végeztek konkrét hidakon összehasonlító számításokat. Az előző fejezetekben bemutatásra került közelítő módszert alkalmazzuk a kérdés megválaszolására, mégpedig úgy, hogy a szabályzati járműteher (SZJ) a magyar KH-ban szereplő szabályzati járműteher lesz, a különleges járműteher pedig az EC-ben leírt járműteher. A magyar hídállomány túlnyomó részét gerendahidak teszik ki, ezért két- és többtámaszú gerendahidak esetére korlátozzuk vizsgálatainkat.

Kéttámaszú hidak esetén  $\eta_{\text{M}}$  és  $\eta_{\text{B}}$  fiktív hatásábrák létező hatásábrák, ezzel szemben  $\eta_{\text{P}}$  hatására csak a lokális vizsgálatban tölt be szerepet. Vizsgálatainkban a globális teherbírás-vizsgálatra helyezzük a hangsúlyt; a lokális vizsgálattal kapcsolatban kijelenthető, hogy a KH legalább 33%-os deficittel rendelkezik a koncentrált járműteher tengelyterhe miatt (és ez az érték növekszik, ha a megoszló teher is szerephez jut). Megállapíthatjuk, hogy keskeny útpálya és meredek kereszteloszlási hatására esetén az EC 25m támaszköz fölött válik mértékadóvá, míg széles útpálya és lapos hatására esetén az EC rövid és hosszú hidakra egyaránt mértékadó, a KH 20% körüli deficittel rendelkezik.

Többtámaszú hidak esetén a vizsgálat hasonló eredményre vezet, az alábbi eltérésekkel. A kéttámaszú hidaktól eltérően,  $\eta_{\text{P}}$  hatására a globális vizsgálatban is fontos szerepet tölt be, hiszen például a közbelső támaszerő vizsgálatára ez a hatására a legalkalmasabb. Megállapíthatjuk, hogy EC az egész tartományon (10-50m) mértékadó, a KH alapján méretezett hidak keskeny útpálya és meredek kereszteloszlási hatására esetén 35%, széles útpálya és lapos kereszteloszlási hatására esetén pedig 20% teherbíráshiánnyal rendelkeznek.

## TÉZISEK

**1. TÉZIS:** *A fiktív hatásábrák alkalmazásán alapuló módszert adtam hidak teherbírásának közelítő vizsgálatára, amely ötvözi az irodalomban található módszerek előnyeit: az igénybevétel összehasonlításán alapuló módszer pontosságát és a tengelyterhek összehasonlításán alapuló módszer csekély adatigényét és egyszerű használatát.*

**1.1 ALTÉZIS:** *Nagyszámú numerikus összehasonlítás segítségével beállítottam a módszer paramétereit és kimutattam, hogy a módszer eltérése a pontos megoldáshoz képest a legfontosabb hídtípusok esetén a biztonság kárára kicsiny, a biztonság javára pedig elfogadható mértékű (lásd a 1. táblázatot).*

**1.2 ALTÉZIS:** *Összehasonlító számítással kimutattam, hogy a módszer pontossága további fiktív hatásábrák segítségével alig növelhető és az így nyert pontosítás nincs arányban a megnövekvő számításigénnyel. Kimutattam, hogy a matematikailag „legveszélyesebb” hatásábra meghatározása irreális hatásábrákhoz vezethet, amelyek használata elfogadhatatlanul nagy eltéréseket ad a biztonság javára, ezért ezen hatásábrák meghatározása a gyakorlat számára értelmetlen.*

**2. TÉZIS:** *Módszert adtam a hidak térbeli viselkedésének figyelembevételére, amely a középső és a szélső keresztmetszet lehetséges „legmeredekebb” és „leglaposabb” kereszteloszlási hatásábráin alapul. Az irodalomban található módszerek vagy nem veszik figyelembe vagy csak egyetlen közelítő kereszteloszlási hatásábrát tartalmaznak, amelyek nagymértékben a biztonság kárára közelíthetnek.*

**3. TÉZIS:** *Egy algoritmust készítettem, amelyik az 1. és 2. tézisben megfogalmazott módszerek alapján hidak ellenőrzését végzi tetszőleges hídadatok, szabályzati és különleges járműterhek esetén. Az algoritmust felkészítettem a magyarországi közúti adatbankban található hidak vizsgálatára: megoldottam az együtt kezelt hidak szétválasztását, a változó biztonsági és dinamikus tényező figyelembevételét és módszert adtam a hiányzó adatok felvételére úgy, hogy a számítás a biztonság javára szolgáljon.*

**4. TÉZIS:** *Módszert adtam a közúthálózaton található boltozatok és csövek teherbírásának közelítő meghatározására.*

**5. TÉZIS:** *A 48 járműteher és hatféle hídszerkezet numerikus elemzése alapján megállapítottam, hogy a „fiktív hatásábrák” módszerével a biztonság kárára való, 5%-ot meghaladó eltérés az esetek maximum 5%-ában jön létre. A 20%-ot meghaladó, a biztonság javára való közelítés az esetek maximum 30%-ára adódik (a boltozatokat kivéve). Javaslom a „fiktív hatásábrákon” alapuló módszert a magyar hídállomány esetén az útvonal-engedélyező eljárás során alkalmazni.*

**6. TÉZIS:** *A „fiktív hatásábrák” módszerével (kétféle hídszélesség és háromféle kereszteloszlás figyelembevétele esetén) közelítően meghatároztam az EC járműterheire a magyarországi „A” jelű járműteherre tervezett hidakban keletkező igénybevételek maximumát. A rövid, keskeny kocsipálya szélességű és meredek kereszteloszlási hatásábrával jellemezhető hidak kivételével minden esetben az EC terhei a mértékadók, kéttámaszú hidak esetén maximum 20%, többtámaszú hidak esetén akár 35% is lehet az eltérés az EC javára.*

**6.1 ALTÉZIS:** *Megállapítottam, hogy az EC járműterheire a magyarországi „A” jelű járműteherre tervezett hidak lokális igénybevételei akár a kétszeresére is növekedhetnek.*

## PUBLIKÁCIÓK

### Nemzetközi folyóiratcikk

- Vigh, A., Kollár, L.P. (2006): *Approximate analysis of bridges for the routing and permitting procedures of overweight vehicle*. Journal of Bridge Engineering Vol. 11, No. 3. 282-292.
- Vigh, A., Kollár, L.P. (2007): *Bridge permitting techniques for overweight vehicles*. Journal of Bridge Engineering (megjelenés alatt)

### Magyar folyóiratcikk

- Fernezelyi S., Hegyi D., Vigh A. (2005): *Közelítő számítás melegen hengerelt acél szelvények kifordulási teherbírására*. Acélszerkezetek, 2. évf., 4. szám, 26-30.
- Vigh, A., Kollár, L.P. (2007): *Egyszerűsített hídteherbírás vizsgálat túlsúlyos jármű esetén*. Közúti és Mélyépítési Szemle, 57. évf., 3. szám, 7-13.

### Nemzetközi konferenciaticikk

- Vigh, A., Kollár, L.P. (2004): *An approximate method for calculating the routing and permitting of overweight vehicles over bridges*. 5th International Ph.D. Symposium in Civil Engineering, Delft 2004 - Balkea Publishers 921-928.
- Fernezelyi S., Hegyi D., Vigh A. (2005): *Approximation for the critical moment for lateral-torsional buckling of rolled sections*. Proceedings of 4th European Conference of Steel Structures, Maastricht 2005 - Edited by B. Hoffmeister and O. Hechler, 151-158.
- Vigh, A., Kollár, L.P. (2006): *Comparison of the axle loads for evaluating overweight vehicle permits*. IABSE Symposium Budapest 2006 - Report, Vol. 92., 9 oldal (CD kiadvány).