

A DUNÚJVÁROSI DUNA-HÍD STATIKAI MODELLKÍSÉRLETE

Joó Attila László^{} - Dunai László^{**} - Kálló Miklós^{***} - Kaltenbach László^{****} -
- Köröndi László^{*****}*

RÖVID KIVONAT

A cikk bemutatja a Dunaújvárosi Duna-híd M=1:34-es méretarányú statikai modelljén végrehajtott kísérletsorozatot. Elemezzük a rugalmas kísérletek eredményeit, az ívhíd jellegzetes viselkedési formáit, valamint bemutatunk kétféle globális tönkremeneteli módot és a hozzájuk tartozó teherbírásokat.

I. BEVEZETÉS

Az Dunaújvárosi Duna-híd szerkezeti kialakítása és geometriai mérete (kosárfül alakú, Nielsen-típusú ívhíd, 307,8 méteres támaszköz) alapján a generáltervező FŐMTERV Rt, a tervezésben közreműködő BME Hidak és Szerkezetek Tanszékével egyetértésben úgy döntött, hogy a szerkezeti viselkedés vizsgálatára modellkísérlet végrehajtása szükséges.

A modellkísérlet célja a különböző szabványos méretezési eljárások ellenőrzése, esetleges pontosítása, illetve a biztonság meghatározása volt a lehetséges globális tönkremeneteli módokkal szemben. A hídmodell nyomott íveinek redukált karcsúságát a híd redukált karcsúságával közel azonosra terveztük, így biztosítva az azonos szabványos méretezési elv alkalmazását. A modell tervezéséről részletesen a 2. fejezetben írunk. A tervezést segítette egy 1989-ben az Osaka City University-n végrehajtott hasonló kísérlet [1], [2]. A modellkísérletre a Szerkezetvizsgáló Laboratóriumban került sor, 2004 januárjában. A kísérleti elrendezést a 3. fejezetben mutatjuk be.

A kísérleteket rugalmas vizsgálati programmal kezdtük, hogy megismerjük a modell viselkedését és ellenőrizzük a tervezés során használt numerikus modellek helyességét. A kísérleti programról a 3. fejezetben, míg a rugalmas mérési eredményekről a 4. fejezetben írunk. A körültekintő tervezésnek köszönhetően a modellen két teherbírás-vizsgálatot is végre tudunk hajtani – totális, illetve féloldalas terhelésre – hogy megkapjuk a nyomott ív síkra merőleges, illetve síkbeli kihajlását (5. fejezet). A modellkísérlet tapasztalatait illetve, az ellenőrzött méretezési eljárásokat a híd tervezése során felhasználtuk.

* okl. építőmérnök, egyetemi tanársegéd, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

** okl. építőmérnök, Dr. habil, egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

*** okl. villamosmérnök, Dr. techn, tudományos munkatárs, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

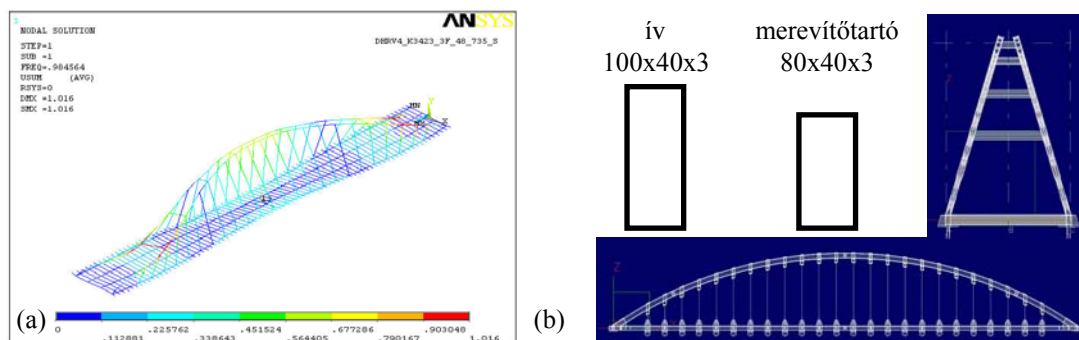
**** okl. gépészmérnök, tudományos munkatárs, BME-MTA Mérnöki Szerkezetek Kutatócsoport

***** okl. építőmérnök, Dr. techn, tudományos munkatárs, BME-MTA Mérnöki Szerkezetek

Kutatócsoport

2. A HÍDMODELL TERVEZÉSE

A híd és a hídmodell közötti kapcsolatot a lépték-független mechanikai jellemző, a nyomott ív relatív karcsúsága teremtette meg. A hídmodell tervezésének folyamata során az egyik cél a közel azonos relatív karcsúság elérése volt, mely feltételt az Ansys [3] végeselemes programban – rúdszerkezeti modellen – végrehajtott stabilitásvizsgálattal ellenőriztünk. Az első, síkra merőleges kihajlási alak, mely a mértékadó tönkremeneteli forma totális terhelés esetén, az 1. (a) ábrán látható. További tervezési szempont volt, hogy a kapott hídmodell elhelyezhető legyen a Szerkezetvizsgáló Laboratórium terhelőfödémén. Ezen a megvastagított födémén méterenként vannak rögzítési pontok, amelyekhez a terhelő berendezést le lehet kötni, ezért a modell méretarányát úgy kellett megválasztani, hogy a lerögzítés és a terhelés különösebb átalakítás nélkül végrehajtható legyen. Ez a körülmény határozta meg a modell $M=1:34.23$ -os méretarányát. Ebben az esetben a kábelek közötti valós 11400 mm-es távolság a modell esetében 333 millimétert eredményezett, a hídmodell hossza pedig 8991 mm-re adódott. A modell Xsteel-ben [4] készült tervei az 1. (b) ábrán láthatók.



1 ábra: A híd első kihajlási alakja (a) és a modell geometriája (b)

A modell globális méreteinek meghatározása után a merevítőtartó és az ív szelvényének keresztmetszetét paraméteres stabilitásvizsgálattal határoztuk meg. Az azonos redukált karcsúság eléréséhez az ívben 100x40x3 mm-es zártszelvényt terveztünk be, ahol a legalább 3 mm-es falvastagságot gyárthatósági szempont határozta meg. Az ív gerincét acéltáblából vágták ki a körív alakjának megfelelően, majd ezekhez hegesztették az öveket, így biztosítva a közel feszültségmentes meggörbült alakot. Az ívátkötések 40x40x3 mm-es, a merevítőtartó 80x40x3 mm-es hidegen hajlított zártszelvényből készült. A merevítőtartókat összekötő keresztartót L 80x30x3 mm-es szögvasból terveztük be, hosszartókat nem építettünk a modellbe. A pályaszerkezet 3 mm-es lemezekből készült. A hídmodellben felhasznált acélok S235 minőségűek voltak.

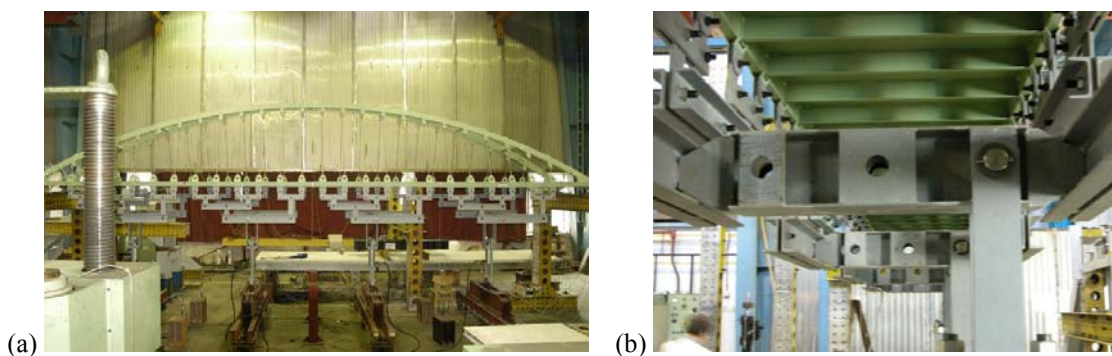
Még tervezési fázisban kísérleteket végeztünk a hídmodellben alkalmazásra kerülő sodronyköteleken, hogy meghatározzuk azok rugalmassági modulusát. Erre azért volt szükség, mert a belőle készült kábelek rugalmassági modulusa hatással volt a stabilitásvizsgálat eredményére. Szintén tervezési fázisban az ív és a merevítőtartó anyagán húzókérdéseket végeztünk el, melyek eredményeit, a folyáshatárokat, a numerikus teherbírási vizsgálatokhoz használtuk.

3. KÍSÉRLETI ELRENDEZÉS

Globális stabilitásvizsgálat során lényeges szempont, hogy a függőleges irányban működtetett terhelő erő hatásvonalára – a szerkezet jelentősebb vízszintes irányú kitérése esetén is – függőleges maradjon, ne legyen tehát a terhelő erőnek stabilizáló hatású vízszintes komponense. Ezt a követelményt gravitációs teher szimulátor alkalmazásával lehet teljesíteni, amely eszközökből 4 db 250 kN teherbírású horgonyoztunk le a kellő teherbírású födémhez. A szimulátorok működési irányát a modellre merőlegesen állítottuk be. Erőkifejtés céljára közös és/vagy egyenkénti tápellátással egyaránt működtethető hidraulikus hengereket alkalmaztunk. A hidraulikus sajtók által kifejtett erőt egy 3 szintű himbarendszer segítségével juttattuk el az oldalanként 24 kábelvégződési ponthoz, 2. (a) és (b) ábrák. A hídmodell hossza mentén egyenletes, vagy a támaszköz negyedeiben változó terhelésen kívül a két ív és a két merevítőtartó eltérő terhelésének lehetősége érdekében a terhelő berendezést keresztirányú aszimmetrikus – csavaró – teher létrehozására is alkalmassá tettük.

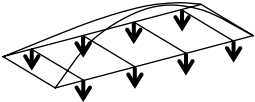
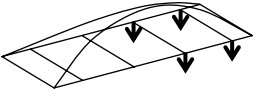
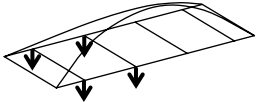
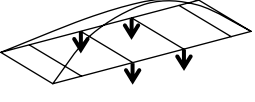
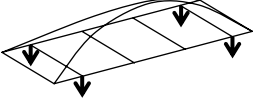
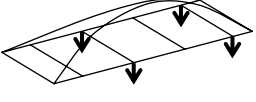
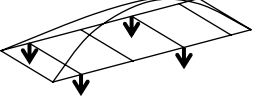
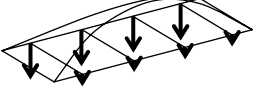
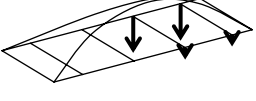
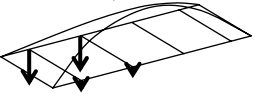
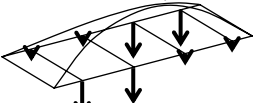
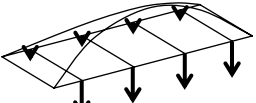

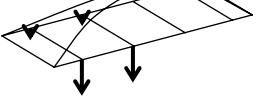

A hídmodellt a merevítőtartók és az ívek metszéspontjai alatt 4 saru támasztotta alá. Az egyik végen elhelyezett két saru csuklós volt, kizárólag a végcsomópont elfordulását engedélyezte. A másik vég sarui csuklós-csúszó kialakításúak voltak, köszörült acél-műanyag anyagpárosítással, lehetővé téve a deformációk okozta hosszváltozások követését.

A terhelőrendszer valamennyi elemének a hídmodell alatt kellett elhelyezkednie, ezért ezek szerkezeti magassága megszabta a modell elhelyezési magasságát. Emiatt az alátámasztó állványoknak a terhelő födém szintjétől 2400 mm magasban kellett lenniük, a teherbírásuk el kellett, hogy érje a terhelő hengerek által kifejtendő, állványonkénti maximum 500 kN erőt.



2. ábra: A hídmodell a laboratóriumban (a) és a terhelőberendezés részlete (b)

A terhelőrendszer segítségével 15 különféle terhelési módot alkalmaztunk a szerkezetre. Ezeket a 3. ábrán tüntettük fel a kísérletek során használt jelölésükkel együtt. A terhelési módok három csoportba oszthatók: totális teher (K1-3), parciális terhek (K4-9) és csavaró jellegű terhek (K10-17). Rugalmas méréseket minden terhelési módra végrehajtottunk, a teherbírású kísérletekhez totális (K1) és egy féloldalas (K4) terhelést alkalmaztunk.

K1-3: totális 	K4: féloldalas 	K5: féloldalas 2 
K6: parciális, középén 	K7: parciális, szélein 	K8: parciális, első, harmadik 
K9: parciális, második, negyedik 	K10: hátul 	K11: hátul, féloldalas 1 
K12: hátul, féloldalas 2 	K13: hátul, elől 	K14: elől 
K15: elől, féloldalas 1 	K16: elől, féloldalas 2 	K17: elől, hátul 

3. ábra: A terhelési módok és jelölésük

A hídmodellen nyúlásokat, az ív oldalirányú elmozdulásait valamint a lehajlásokat mértük – kétféle módszerrel. A mérőhelyek jelöléseit lásd a 4. (a) ábrán.

Összesen 95 pontban mértünk nyúlásokat nyúlásmérő bélyegek segítségével. Ezeket a bélyegeket ötösével csoportokba rendeztük, az öt bélyeg közül négy volt aktív és egy kompenzáló, lásd 4. (e) ábra. Egy-egy ilyen bélyegcsoport egy keresztmetszetnek felelt meg az íven. A bélyegeket a zárt szelvény övein helyeztük el, a lehető legközelebb az övek széleihez, ahogy ez a 4. (b) ábrán is látható, az egyik íven 9, míg a másikon 5 keresztmetszetben. A hídmodell végeihez közelebb eső, első ívátkötéseket is elláttuk bélyegekkel, a hátsó ívhez közelebbi egy-egy keresztmetszetben, a bélyegeket hasonló módon elhelyezve, mint az íven, 4. (c) ábra. Ezeken kívül a merevítőtartó alsó övein is mértünk nyúlásokat. Mindkét szelvény alsó övén két-két aktív és egy kompenzáló bélyeggel, a híd közepén és a két végén, 4. (d) ábra.

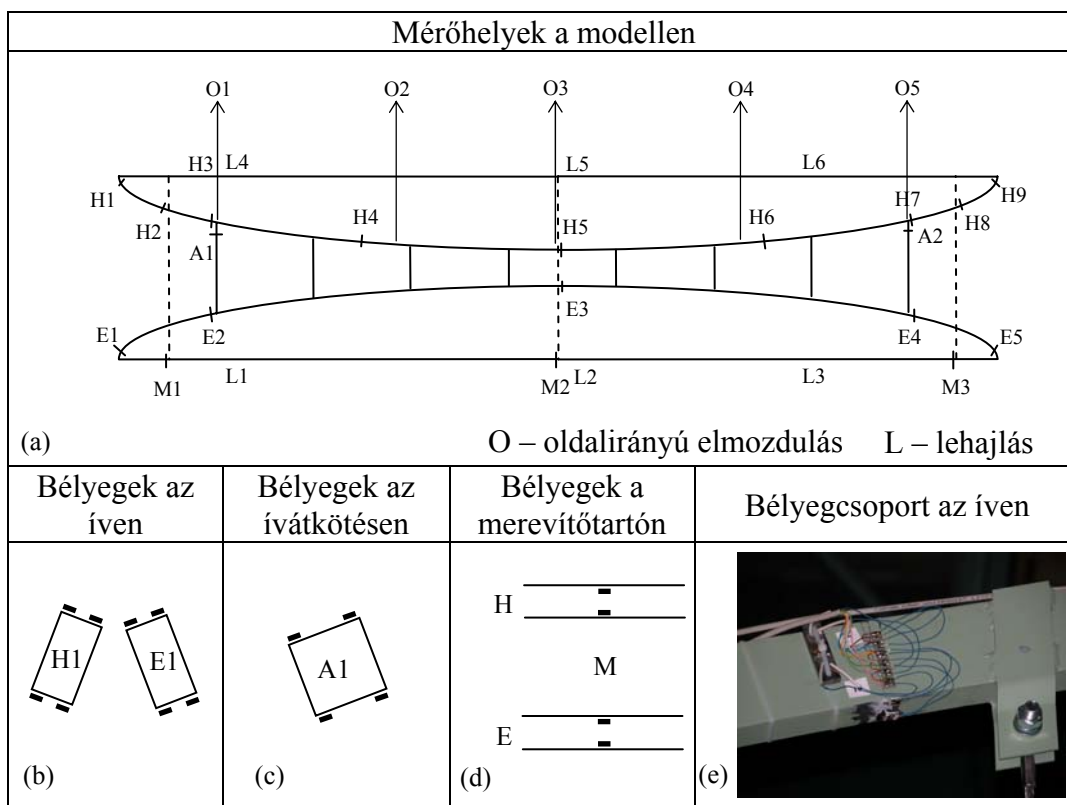
Az egyik ív oldalirányú elmozdulásait öt helyen – jelölésük O1-O5-ig – mértük induktív út-adók segítségével. Két mérési pontot (O1 és O5) az első ívátkötésnél helyeztünk el, mert ezeken a helyeken vártuk a síkra merőleges kihajláshoz tartozó legnagyobb elmozdulást és tönkremenetelt. Az induktív út-adókat a laboratórium hátsó falához rögzítettük, az ívekhez való kapcsolódást damil segítségével oldottuk meg.

A hídmodell lehajlásait 6 induktív út-adó segítségével mértük, a mérőhelyeket a 4. (a) ábrán L1-L6-ig jelöltük. Az elektronikus lehajlás mérésen kívül mind a rugalmas

mérések, mind pedig a teherbírás-vizsgálatok során szintezéssel is meghatároztuk a hídmodell lehajlásait, mindkét merevítőtartó alsó övében 26-26 pontban. A mért pontok szimmetrikusan helyezkedtek el a szerkezeten. A hídmodellen kívül mértünk egy-egy pontot a két támasz mindkét oldalán, valamint a görgős támaszként kialakított végen, az alátámasztásként szolgáló gerendán is, hogy meg tudjuk határozni az acél-műanyag saru összenyomódását. Egy oldalon két műszerrel mértünk, egyikkel a hídon lévő pontokat, a másikkal pedig a támaszoknál lévő három pontot.

A mérőhelyekről befutó jeleket kétféleképpen rögzítettük. Először egy adott teher szinten tartva a szerkezetet lekérdeztük az összes mért adatot egy statikus adatgyűjtő program segítségével. Ezután dinamikus adatrögzítés céljára kiválasztottuk 6 elmozdulásmérő jeleit, valamint a teher értékét, melyek változásait folyamatosan nyomon tudtuk követni a számítógép kijelzőjén. A rugalmas mérések során ezek az L1-L6 jelű lehajlásmérők voltak, a teherbírás vizsgálatok során viszont két lehajlásmérőt kicseréltünk az O1 és O5 jelű oldalirányú elmozdulásmérőkre. (Megjegyzés: a szövegben említett „statikus” és „dinamikus” mérések a mérés technikára vonatkoznak!)

A mérési eredményeket Matlab-ban [5] fejlesztett kiértékelő programmal dolgoztuk fel, mely lehetővé tette az eredmények azonnali elemzését. A nyúlásmérő bélyegek eredményeit átszámítva kaptuk az ív igénybevételei ábráit.



4. ábra: Nyúlásmérő bélyegek és elmozdulásmérők helye a modellen

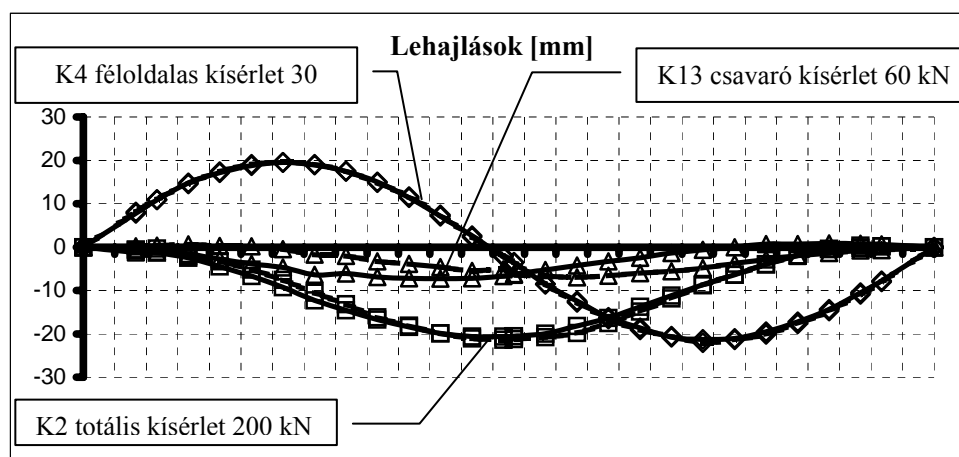
4. RUGALMAS KÍSÉRLETEK

A hídmodellén első lépésként rugalmas kísérleteket végeztünk el, melyek során a szerkezet mindvégig rugalmas állapotban maradt. A kísérletek célja, hogy megismerjük a hídmodell viselkedését, meghatározzuk a modell viselkedési jellegzetességeit különböző terhelési viszonyok esetén, teszteljük a mérőrendszer működését, és elemezzük a numerikus modell pontosságát. A mérések során a 3. fejezetben bemutatott 15 különböző terhelési módot alkalmaztuk a hídmodellre, minden esetben több teherlépcsőben. Ebben a fejezetben a K2, K4 és K13 jelű totális, féloldalas és csavaró kísérletek eredményeit elemezzük 200, 30 és 60 kN-os teherszinten.

4.1. Merevségek

A színtezéssel mért lehajlási eredményeket az 5. ábrán tüntettük fel a vizsgált terhelési módokra és teherszintekre. A totális terheléshez tartozó lehajlási ábrát elemezve jól látható, hogy a modell mind hosszirányban, mind keresztirányban szimmetrikusan viselkedett. A merevítőtartó deformált alakja közel vízszintes érintővel indul, azaz jellegében úgy, mint egy befogott tartó, és nem a klasszikus kéttámaszú kialakításnak megfelelően. A féloldalas terheléshez tartozó diagramon azonban ez a lehajlási jellegzetesség megszűnik, azaz a gerendavég el is fordul. Ennek oka az, hogy totális terhelésnél az ívben ébredő nagy normálerő, és a merevítő gerendához való merev kapcsolódás révén kialakuló negatív nyomaték meggátolja annak elfordulását, míg féloldalas terhelésnél – ahol a normálerő nem domináns az ívben – ez a hatás nem jelentkezik. Csavaró jellegű terhelésénél ez a két jelenség egyszerre tapasztalható, annak megfelelően, hogy totális és féloldalas jellege is van.

A lehajlások számszerű összehasonlításából kiderül, hogy totális és féloldalas terhelésre közel azonos maximális lehajlást kaptuk a megadott teherszinteken. Azaz a modell alakváltozási képessége jóval nagyobb féloldalas terhelésre.

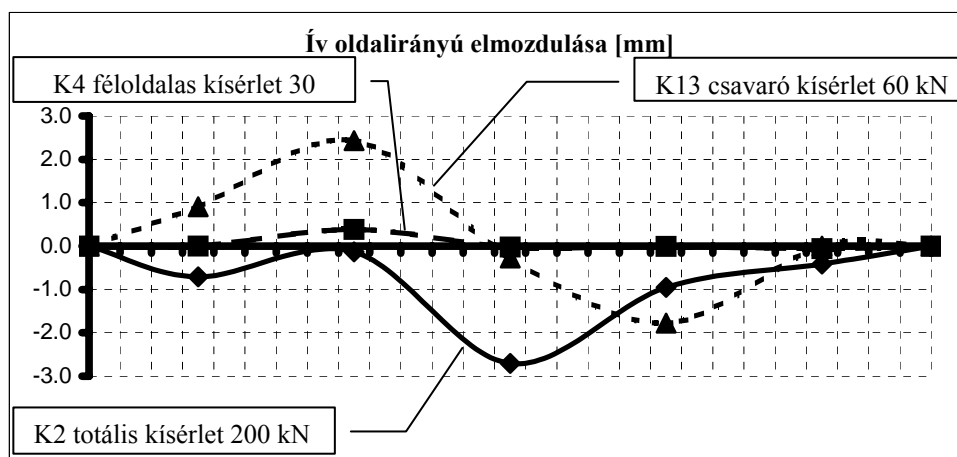


5. ábra: Lehajlások különböző terhelési módokra

A színtezések során a lehajláson kívül a saru összenyomódását is mértük, melynek legnagyobb értéke 0,3 mm volt, azaz a saru összenyomódás olyan kis mértékű volt, hogy alig befolyásolta a színtezési eredményeket.

A színtezési eredményekből meghatároztuk a szerkezet maradó lehajlásait is, melyek minden esetben 1 mm alatt maradtak a rugalmas kísérletek során.

A vizsgálatok során mértük az ív oldalirányú elmozdulásait is. Ezeket a három kiemelt terhelésetre a 6. ábrán tüntettük fel. Megfigyelhető, hogy a K2 jelű totális és a K13 jelű csavaró terhelésnél volt a legnagyobb az ív oldalirányú elmozdulása, ~2,5-3 mm, azonban jellegében a két elmozdulás különbözik. A csavaró jellegű terhelésnél az ív két irányban mozdult el, a híd egyik oldalán előre, míg a másikon hátrafelé. Totális terhelésnél azonban az ív közepén nagyobb (~3 mm), míg az ív végeinél kisebb (~1 mm) elmozdulás jelent meg, ami megfelel az első kihajlási alaknak. A K4 jelű féloldalas terhelésnél csak ~0,5 mm nagyságú elmozdulást tapasztaltunk, ami a kisebb normálerővel magyarázható. Ezen elmozdulások jellege és mértéke iránymutatásul szolgált a numerikus modell fejlesztésekor, hogy milyen és mekkora imperfekciót alkalmazzunk a numerikus teherbírás-vizsgálatokhoz.



6. ábra: Az ív oldalirányú elmozdulásai

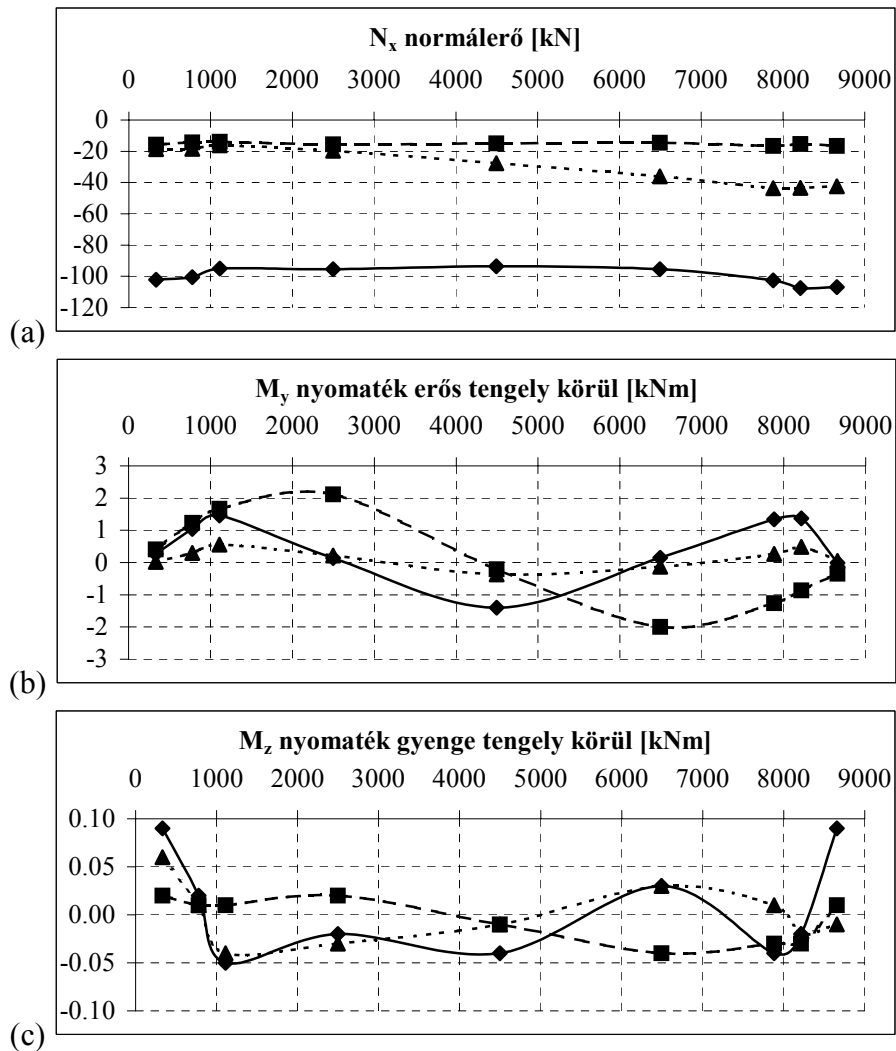
4.2. Feszültségek és igénybevételek

A rugalmas kísérletek során az ívben, a merevítőtartóban, illetve az ívátvételekben mért legnagyobb és legkisebb feszültségeket az 1. táblázatban tüntettük fel a 4. ábrának megfelelő keresztmetszeti jelölésekkel együtt. Itt látható, hogy totális terhelésnél a végig nyomott ívben közvetlenül az első ívátvételek alatt mértük a legnagyobb nyomófeszültséget, míg féloldalas terhelésnél a hajlítás dominált az ív negyedében lévő keresztmetszetben. Csavaró jellegű terhelésnél a teher totális jellege miatt nagyobb a nyomás és kisebb a hajlítás az ívben, mint féloldalas terhelésnél. A feszültségek alakulása a merevítőtartóban megfelelt a várakozásainknak. Az ívátvételekben csak csavaró, illetve totális terhelésnél jelent meg érdekes feszültség, féloldalas terhelésnél pedig ennek csak töredéke.

1. táblázat: Feszültségek a 3 különböző terhelési mód esetén

Teher	Ív $[N/mm^2]$				Merevítőtartó $[N/mm^2]$				Ívátkötés $[N/mm^2]$			
	min.	hely	max.	hely	min.	hely	max.	hely	min.	hely	max.	hely
K2-200 kN	-215.8	E4	0.0	H2	-46.6	M3	163.2	M2	-28.5	A1	38.8	A1
K4-30 kN	-131.0	H4	93.9	H4	-54.3	M1	45.1	M3	-4.8	A1	11.9	A1
K13-60 kN	-82.7	H8	28.2	H3	-11.9	M1	47.9	M2	-31.3	A1	36.8	A2

A feszültségmérési eredményekből az ív mentén minden keresztmetszetben visszszámítottuk az igénybevételeket. Ezeket a három terhelési módra a 7. ábrán mutatjuk be az ív mentén, az igénybevételek szerint csoportosítva. Folytonos vonallal jelöltük a totális, szaggatott vonallal a féloldalas és pontozott vonallal a csavaró terhelésből keletkező igénybevételeket. Totális terhelésnél kis hajlítás mellett domináns a normálerő, míg féloldalas terhelésnél jelentősen kisebb normálerő keletkezik a nagy hajlításhoz képest.



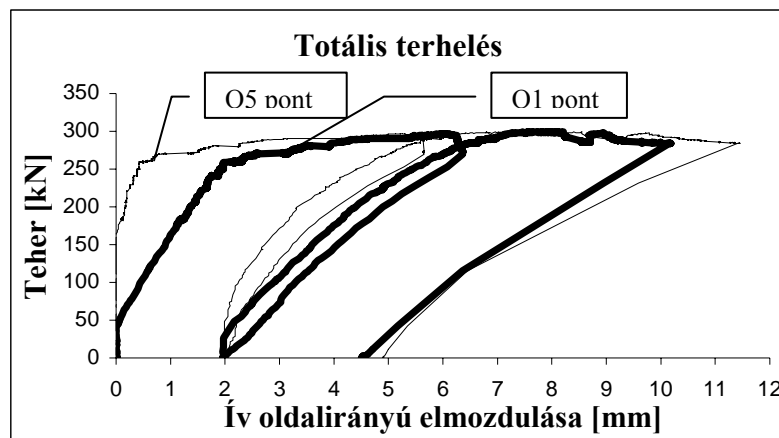
7. ábra: Igénybevételek az ív mentén

5. TEHERBÍRÁSI KÍSÉRLETEK

A hídmodell teherbírasi vizsgálatának célja az volt, hogy megtudjuk a szabványos méretezési eljárás megfelelő biztonsággal jellemzi-e a szerkezet teherbírasi határállapotát. A teherbírasi kísérleteket két különböző terhelési módra végeztük el, hogy két különböző tönkremenetelt kapjunk. Totális terhelés esetén a domináns normálerő az ívben síkra merőleges kihajlást, féloldalas terhelés esetén pedig a domináns nyomaték síkba eső tönkremenetelt okoz. Először totális teherre hajtottuk végre a kísérletet, melynek során nem tettük teljesen tönkre a szerkezetet. A maradó lehajlásokon kívül az ívben megjelenő képlékeny horpadás továbbterjedését meg tudtuk akadályozni a terhelés visszavételével a szerkezetről. A második kísérletben féloldalas teherre is megvizsgáltuk a hídmodell teherbírását.

5.1. Totális terhelés – síkra merőleges kihajlás

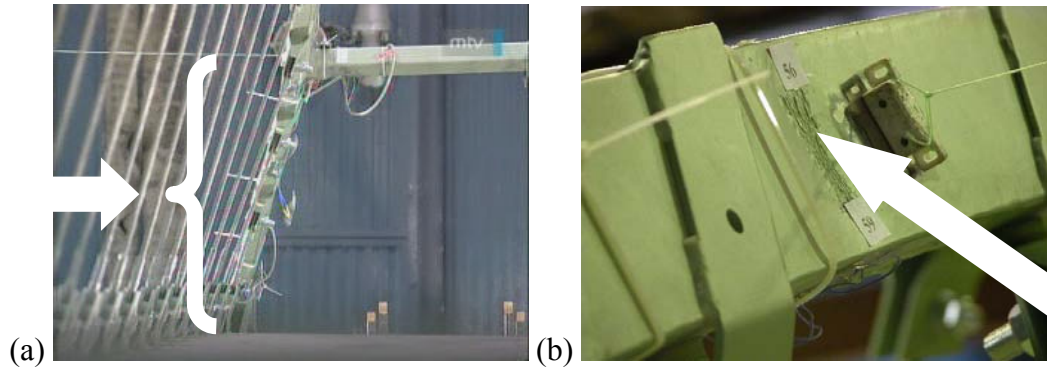
A totális terhelést fokozatosan növeltük egészen 240 kN-ig, amikor a görbének egy kisebb platóját értük el. A szerkezet mozgásai nem nőttek meg hirtelen, kontrolálható volt a viselkedése. Ezután visszaterheltünk, és újból feljöttünk erre a teherszintre. A szerkezet terhét egészen 300 kN-ig tudtuk növelni, amikor a hátsó ív jobboldali első ívszakaszán – a végcsomópont és az első ívátkötés között – megjelent a kihajlás. A tönkremenetelről készült kép a 9. (a) ábrán látható. Egy újabb vissza- és felterhelés után ugyanezen a teherszinten hirtelen megnőtt az ív oldalirányú elmozdulása az alsó ívátkötésnél, ekkor alakult ki a 9. (b) ábrán látható képlékeny lemezhorpadás az ív gerincén, a külső oldalon, közvetlenül az alsó ívátkötés alatt. A hídmodell teherbírása tehát a terhelő-berendezés ~10 kN-os súlya, a modell ~10 kN-os önsúlya és a sajtókban mért 300 kN összegeként adódik ~320 kN-ra.



8. ábra: Teher – ív oldalirányú elmozdulás diagramm totális teherre

A teher – elmozdulás diagramon (8. ábra) jól nyomon követhető a két ív vég viselkedésének különbözősége. Az O1 pontban a szerkezeten jelen lévő imperfekciók hatására nagyobb elmozdulás keletkezett, ennek megfelelően a viselkedése lágyabb

jelleget mutat, ugyanakkor az O5 pontban kisebb elmozdulás után határozottabb törés figyelhető meg a grafikonon. A következő felterheléskor az ív viselkedése már plató nélküli, fokozatos képlékenyedést mutat. A tönkremenetel képlékeny instabilitás volt, az ív a síkjára merőlegesen hajlott ki. Későbbi újratelheléskor a leszálló ág kezdetén alakult ki a 9. (b) ábrán bemutatott képlékeny lemezhorpadás.



9. ábra: Tönkremenetel az alsó ívszakaszon (a) és képlékeny lemezhorpadás (b)

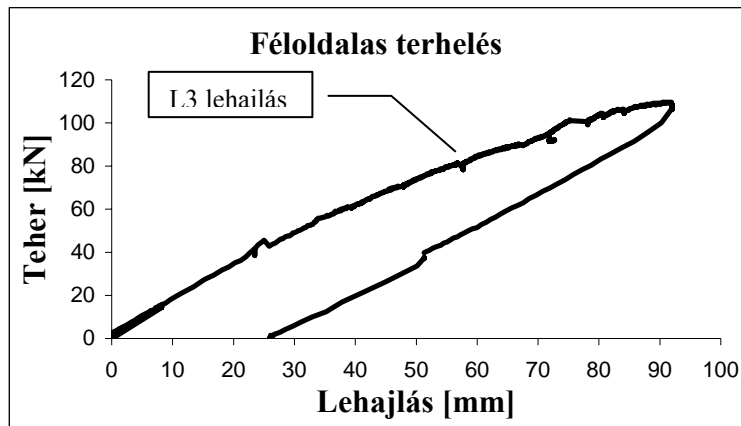
Az első, síkra merőleges kihajlási alaknak megfelelő ív elmozdulás hatására a pályaszerkezet lehajlása is annak megfelelően alakult. A hátrafelé elmozduló ív a kábelek segítségével csökkentette az első merevítőtartó lehajlásait, így a teher visszavétele után a hátsó merevítőtartóban ~ 5 mm, míg az elsőben ~ 2 mm lehajlás maradt.

5.2. Féloldalas terhelés – síkba eső tönkremenetel

Féloldalas terhelés végrehajtására azért volt lehetőségünk, mert megőriztük az ív épségét az előző kísérlet során, valamint az esetlegesen kialakult maradó alakváltozások, mint imperfekciók nem befolyásolták az ív viselkedését. Amint azt a rugalmas kísérleteknél is láthattuk a normálerő elhanyagolható volt az ívben féloldalas terhelésnél, így hatására nem indult be a síkra merőleges kihajlás. A tönkremenetel ebben az esetben a domináns hajlítónyomaték hatására bekövetkező síkba eső képlékeny instabilitás volt. A terhelés során a 10. ábrán látható deformált alakot kaptuk.



10. ábra: Az igen erősen deformálódott alak a féloldalas terhelésnél



11. ábra: Teher - lehajlás diagramm

A teher – lehajlás grafikonon, a 11. ábrán, a merevítőtartó negyedében keletkező lehajlást ábrázoltuk a teher függvényében. Az ábra fokozatos nemlineáris viselkedést mutat. Az első folyás az ívben ~65 kN-nál jelent meg a felemelkedő oldalon a hídmodellnek az ív egynegyedében, míg ~80 kN-nál a lefelé mozgó oldalon szintén az ív egynegyedében. A modell teherbírása féloldalas terhelésre 110 kN volt, amihez még hozzáadódik a ~10 kN súlyú terhelőberendezés és a ~10 kN súlyú hídmodell. Visszaterhelés után ~25 mm lehajlás maradt a szerkezetben, szintén a modell negyedében.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

A BME Hidak és Szerkezetek Tanszékén megterveztük és végrehajtottuk a Dunaújvárosi Duna-híd modellkísérletét. A kísérlet eredményeit kutatási jelentésekben foglaltuk össze: a hídmodell tervezéséről [6], a kísérleti eredményekről [7], valamint szabványos méretezési eljárásokkal való összehasonlításról [8].

A rugalmas kísérleti vizsgálatok igazolták a számítási modellek alapján előzetesen meghatározott tipikus viselkedési jellegzetességeket. Ezek közül legjelentősebb a nagyarányú különbség az alakváltozási képességekben totális és féloldalas teher hatására, az igénybevételi mód megváltozása következtében (domináns ívbéli nyomóerő merevítő hatása). A csavaró jellegű teherre végrehajtott kísérletek eredményei a szerkezet csavarólendésre való érzékenységét mutatták; a mért merevségi értékek ellenőrzésül szolgáltak a rezgésvizsgálatokhoz. A rugalmas mérésekkel párhuzamosan alkalmazott numerikus analízis eredményei a gyakorlati méretezés szempontjából igen jó egyezést mutattak.

A hídmodell kísérletek legfontosabb célja a tipikus teherbírasi mód – az ív síkra merőleges kihajlásának – elemzése volt. Totális teher hatására a síkra merőleges tönkremenetel az előzetes várakozásoknak és számításoknak megfelelően következett be: az első ívátkötés alatti ívlábak kihajoltak, a tönkremenetel képlékeny instabilitás volt. A további elmozdulásnövelés hatására a leszálló ágban képlékeny lemezhorpadás következett be (ha a terhelő mozgást nem vettük volna le a modelltől a teljes tönkremenetelt a lemezhorpadás hatására kialakuló képlékeny csuklók által létrejött

mechanizmus okozta volna). Féloldalas teher hatására az ív síkbeli domináns hajlítása okozta a teherbírási határállapotot. Ebben az esetben a másodrendű hatás igen nagy képlékeny deformációkat okozott, amely az ív síkjában bekövetkező határpontos stabilitásvesztést eredményezett (képlékeny instabilitás).

Mind a rugalmas méréseket, mind pedig a tönkremeneteli módokat numerikusan is szimuláltuk. A felépített numerikus modellt, valamint különböző szabványos méretezési eljárásokkal való összevetést és a biztonsági szintek meghatározását bővebben a jelen kiadvány egy másik cikke tárgyalja [9].

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kísérlet a FŐMTERV Rt. és a Nemzeti Autópálya Rt. támogatásával jött létre. A hídmodellt a Barabás Mérnökiroda Kft. gyártotta. A szerzők köszönik H. Nakai Professzor Emeritusnak és T. Kitada Professzornak, hogy megosztották tapasztalataikat az általuk végzett hasonló kísérletről.

HIVATKOZÁSOK

- [1] Kitada T. - Nakai H. - Sugiyama I. - Kurimoto H. - Sakano M.: An Experimental Study on Ultimate Strength of Arch Ribs in Nielsen-Lohse Bridge with Basket-Handle Type, *J. of Structural Engineering*, Vol. 35 A, JSCE, (1989), pp 155-164.
- [2] Nakai H. - Kitada T. - Kuhiniro M. - Kitazawa M. - Hasino F.: Proposition of Methods for Checking the Ultimate Strength of Arch Ribs in Steel Nielsen-Lohse Bridges, *Stahlbau 64*, Heft 5, Ernst und Sohn, (Berlin), (1995), pp 129-136.
- [3] Ansys Documentation, Ansys, Inc.
- [4] Xsteel 9.1.1 Verzió, Tekla Corp.
- [5] Matlab 6.1 Release 12.1, The MathWorks, Inc.
- [6] Dunai L. - Joó A. L. - Kaltenbach L. - Kálló M. - Futó T. - Honfi D. - Hegedűs I. - Szatmári I.: Dunaújvárosi Duna-híd: Hídmodell kísérlet. Kutatási jelentés 1, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Budapest, 2003. december.
- [7] Dunai L. - Joó A. L. - Kaltenbach L. - Kálló M. - Köröndi L. - Kovács N. - Honfi D. - Kachichian M. - Futó T. - Hegedűs I. - Szatmári I.: Dunaújvárosi Duna-híd: Hídmodell kísérlet. Kutatási jelentés 2, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Budapest, 2004. február.
- [8] Dunai L. - Joó A. L. - Futó T. - Hegedűs I. - Szatmári I.: Dunaújvárosi Duna-híd: Hídmodell kísérlet. Kutatási jelentés 3, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Budapest, 2004. február.
- [9] Dunai L. - Joó A. L.: Ívhídmodell teherbírása: kísérleti, numerikus és szabványos eredmények, *BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke, Tudományos Közlemények*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, (2005).