

# MEREVÍTETLEN ÉS MEREVÍTETT LEMEZEK STABILITÁSVIZSGÁLATA DUNA-HIDAKON

*Vigh L. Gergely*<sup>\*</sup> - *Kovács Nauzika*<sup>\*\*</sup> - *Dunai László*<sup>\*\*\*</sup> - *Szatmári István*<sup>\*\*\*\*</sup>

## RÖVID KIVONAT

Az M0 Autópálya Északi Duna-híd acél merevítőtartójának, illetve az M0 Autópálya Szentendrei Duna-ág híd acél felszerkezetének ellenőrzésekor az alkotó lemezek lemezstabilitási vizsgálatát is végrehajtottuk. A szabványos számítás alapján egyes lemezmezőket meg kellett volna erősíteni. A szabvány azonban – a biztonság javára történő elhanyagolással – nem veszi figyelembe a csatlakozó elemek által nyújtott megtámasztásokat.

Vizsgálatainkban végeselemes modellek segítségével ezen elemek merevségének hatását elemeztük. A numerikus analízis igazolta a csatlakozó elemek merevségének kedvező hatását a statikai teherbírásra. Az analízis eredményeit alkalmaztuk a szabványos ellenőrzések során és igazoltuk, hogy a szerkezet megerősítés nélkül is megfelel. Jelen cikkben két konkrét példán keresztül mutatjuk be a stabilitásvizsgálatot.

## I. BEVEZETÉS

Az M0 Autópálya Északi Duna-híd ferdekábeles mederhídja (továbbiakban M0 mederhíd) két szekrény-főtartós, egy hosszartós, ortotróp pályalemezes acél merevítőtartóval készül (1. ábra). A híd tengely irányú szerkezeti elemeket keresztartók osztják fel. A hosszartó gerinclemezeinek a keresztartó közötti 4 m-es szakaszai merevítetlenek. A Közúti Hídszabályzat ÚT 2-3.413 [1] előírásai alapján végzett ellenőrzés szerint a merevítetlen gerinclemez lemezhorpadással szembeni ellenállása a maximális igénybevételek környezetében (pilonok környezete és mezőközép) nem elégséges: vagy a gerinclemez vastagságát kell növelni, vagy vízszintes bordát kell alkalmazni. A szabályzat előírásai ugyanakkor a biztonság javára csak csuklós megtámasztású lemezekre vonatkoznak, a kapcsolódó elemek által nyújtott elfordulás elleni megtámasztást nem veszik figyelembe, pedig az növeli a horpadással szembeni ellenállást. A gerinclemez megfelelő ellenállásának igazolása érdekében ezért ezen hatásokat is modellező, fejlett, felületszerkezeti végeselemes numerikus modell segítségével, stabilitásvizsgálat keretében meghatároztuk a kritikus feszültségeket. A numerikus analízis eredményeit beépítettük a szabványos számításba. Jelen cikk első részében ezt a vizsgálatot mutatjuk be.

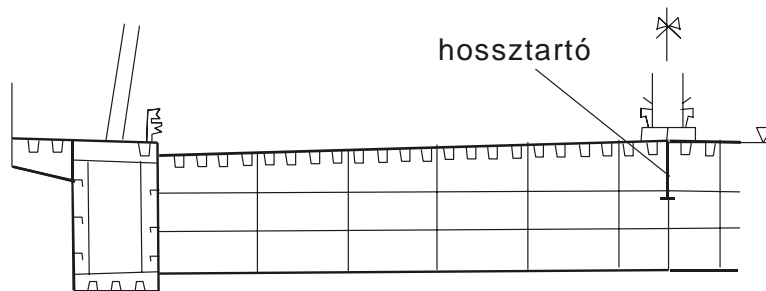
---

\* okl. építőmérnök, doktorandusz, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

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

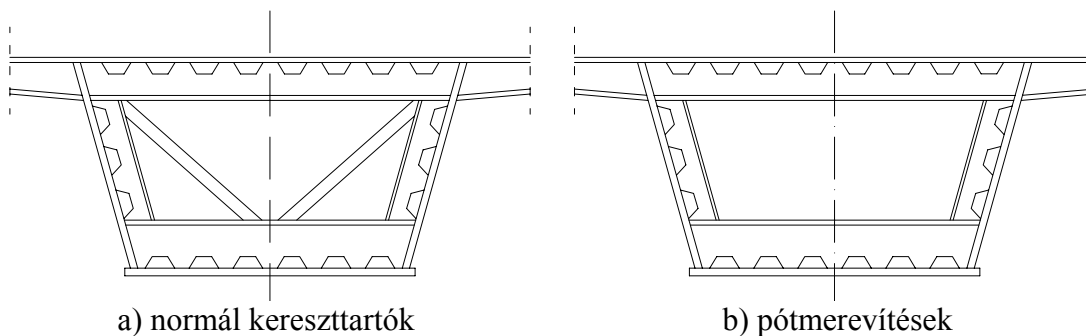
\*\*\* okl. építőmérnök, Dr. habil, egyetemi tanár, BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke

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



1. ábra: M0 Autópálya Északi Duna-híd, mederhíd merevítőtartójának keresztmetszete

Az M0 Autópálya Szentendrei Duna-ág híd felszerkezete acél szekrénytartó (2. ábra). A tartó fenéklemeze hosszirányú trapézbordákkal és keresztbordákkal merevített. A szabvány szerint a keresztbordának olyan merevségűnek kell lennie, hogy fix támaszt nyújtson a hosszbordáknak és együttműködő fenéklemez-sávnak, mint nyomott rúdnak kihajlás ellen. A vizsgálatok során azt találtuk, hogy e merevségi feltételnek bizonyos keresztbordák nem felelnek meg. Ez a modell azonban nem veszi figyelembe a gerinclemez, illetve az abban elhelyezett függőleges merevítőbordák hatását, holott ezek jelentős elfordulási merevséget biztosítanak a keresztborda végein, ami kedvező hatással van a hosszbordákat helyettesítő nyomott rudak kihajlására is. Térbeli rúdmodell alapján stabilitásvizsgálat keretében elemeztük ezen merevség hatását, és erre irányuló vizsgálatainkat a cikk második részében mutatjuk be.



2. ábra: M0 Autópálya Szentendrei Duna-ág híd felszerkezete

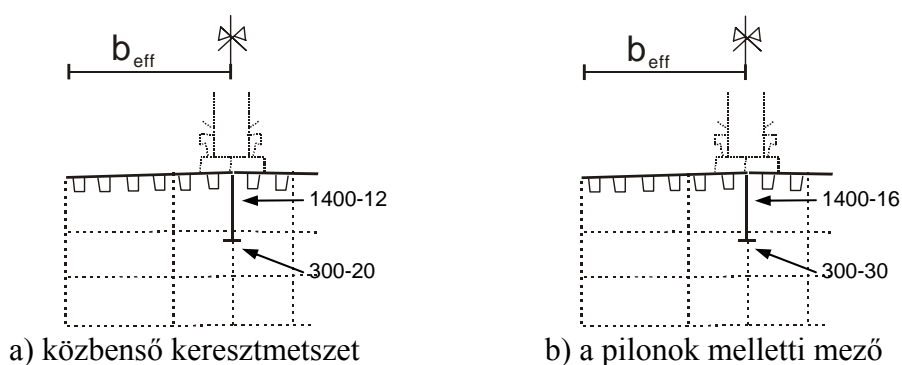
## 2. MEREVÍTETLEN GERINCLEMEZ VIZSGÁLATA

### 2.1. A vizsgálat elve

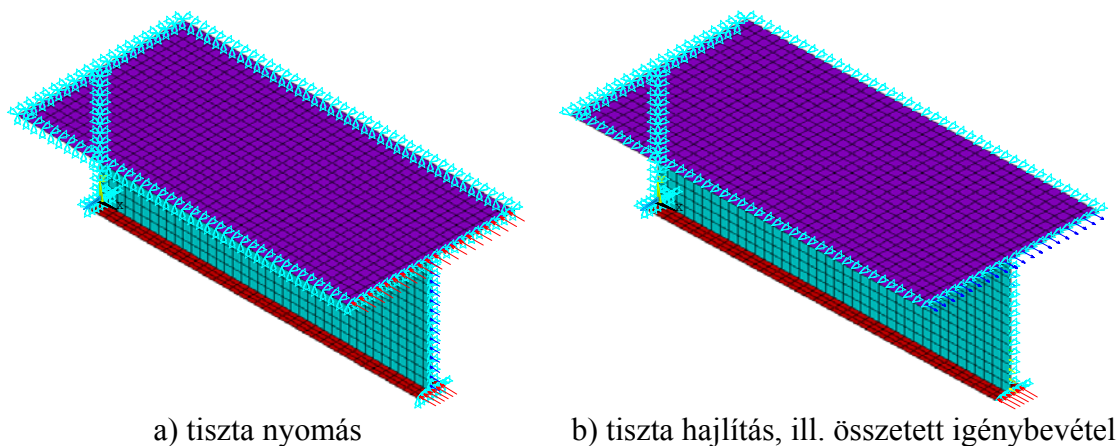
Az M0 mederhíd merevítetlen gerinclemezének horpadásvizsgálatát két mezőben végeztük el: általános hossztartó gerinc és pilonok melletti hossztartó gerinc. A hossztartó geometriáját a 3. ábra mutatja.

A hossztartó gerinclemezének vizsgálatában figyelembe vettük a pályalemez és az alsó övlemez által nyújtott befogási merevséget. Ennek meghatározásához egy hossztartó panelre (két kereszttartó közötti 4 méteres szakasz) készítettünk egy végeelemes felületszerkezeti modellt az ANSYS végeelemes program alkalmazásával,

melyet a 4. ábrán mutatunk be. A hossztartó gerinclemezét, teljes alsó övlemezét, illetőleg egy együttdolgozó pályalemez részt (2000 mm szélességben) modelleztük. A pályalemez vastagságának meghatározásakor a tényleges vastagsághoz a hosszbordák (3. ábra) „szétkenéséből” adódó vastagságot adtuk hozzá (így a helyettesítő lemezvastagság értéke 20 mm). Tiszta nyomás (4. (a) ábra) esetén a kezdeti és végkeresztmetszetet keresztirányban és függőleges értelemben eltolódás ellen megfogtuk, de – a biztonság javára – befogási merevséget nem tételeztünk fel. A felső öv széleit keresztirányban megtámasztottuk, hiszen a valóságban az folytatódik. Ezen kívül a felső övlemez horpadásának kizárása érdekében azt függőleges értelemben is megtámasztottuk. Tiszta hajlítás (4. (b) ábra), illetve összetett igénybevétel esetén nem alkalmazhattunk függőleges megtámasztást, sem a végső (terhelt) keresztmetszetben, sem a felső öv szélein, mert a hajlított alak nem tudott volna létrejönni. Ez azonban azzal járt, hogy a felső öv horpadását nem tudtuk kizárni.



3. ábra: A hossztartó geometriája



4. ábra: Hossztartó gerinclemez numerikus modellje – peremfeltételek

A gerinclemez stabilitási ellenállását kétféle eljárás keretében határoztuk meg. Ezek az összetett igénybevételhez tartozó horpadási tényező meghatározásában különböznek. Mindkét esetben lineáris stabilitásvizsgálatot hajtottunk végre.

Az első esetben (1. eljárás) a befogási merevséget is figyelembevevő numerikus modell segítségével meghatároztuk a gerinclemez kritikus feszültségeit külön-külön

tiszta nyomás és tiszta hajlítás esetére. Ezek alapján meghatároztuk a – lemezszélek befogási merevségeit is tartalmazó –  $k_A^{bef}$  tiszta nyomáshoz tartozó és  $k_B^{bef}$  tiszta hajlításhoz tartozó horpadási tényezőket:

$$k_A^{bef} = k_A^{cs} \frac{\sigma_{cr,N}^{bef}}{\sigma_{cr,N}^{cs}}, \text{ illetve } k_B^{bef} = k_B^{cs} \frac{\sigma_{cr,M}^{bef}}{\sigma_{cr,M}^{M,cs}} \quad (1)$$

ahol  $k_A^{cs}$ , illetve  $\sigma_{cr,N}^{cs}$  a csuklós megtámasztás és tiszta nyomás esetéhez tartozó horpadási tényező (=4), illetve kritikus feszültség,  $\sigma_{cr,N}^{bef}$  a befogási merevség figyelembevételével kapott tiszta nyomási kritikus feszültség a numerikus analízis alapján. Hasonlóan,  $k_B^{cs}$  (= 23,9),  $\sigma_{cr,M}^{cs}$  és  $\sigma_{cr,M}^{bef}$  a tiszta hajlítás esetéhez tartozó hasonló értékek. Ezek alapján az összetett igénybevételhez tartozó horpadási tényezőt az ÚT 2-3.413 interakciós formulája alapján kapjuk meg:

$$k_{red}^{(1)} = \frac{\sigma_{red}}{\frac{\sigma_A}{2 \cdot k_A^{bef}} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{2 \cdot k_A^{bef}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_B}{k_B^{bef}}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{k_\tau}\right)^2}} \quad (2)$$

ahol  $\sigma_A$ ,  $\sigma_B$ ,  $\tau$  a mértékadó nyomó-, hajlító- és nyírófeszültség. A tiszta nyíráshoz tartozó  $k_\tau$  horpadási tényezőt az ÚT 2-3.413 szerint számítottuk. Mivel a nyírófeszültségek értéke a normálfeszültségekhez képest kicsi, a  $k_\tau$  értékének esetleges pontosabb figyelembevétele elhanyagolható mértékben befolyásolja a  $k_{red}$  tényező értékét.

A 2. eljárás során a statikai számításból adódó tényleges feszültségi arányoknak megfelelő összetett igénybevételre közvetlenül határoztuk meg a  $\sigma_{cr,össz}^{bef}$  kritikus feszültséget és a  $k_{red}^{(2)}$  horpadási tényezőt a numerikus analízissel.

$$k_{red}^{(2)} = k_A^{cs} \frac{\sigma_{cr,össz}^{bef}}{\sigma_{cr,N}^{cs}} \quad (3)$$

Mindkét eljárás végeredményeként a  $b - t_g$  geometriai méretű gerinclemezek az összetett igénybevételre, illetve a csak nyomásra vonatkozó karcsúságait számíthatjuk:

$$\lambda_0 = \frac{3,3}{\sqrt{k_{red}}} \frac{b}{t_g}, \text{ illetve } \lambda_0' = \frac{3,3}{\sqrt{k_A}} \frac{b}{t_g}, \quad (4)$$

amelyek alapján a horpadási csökkentő tényező és a megengedett feszültség az ÚT 2-3.413 szerint számítható.

A mértékadó feszültségeket, illetve feszültségeloszlást a globális rúdmodell alapján határoztuk meg (a modellről részletesen lásd [2]). A stabilitásvizsgálatban a lemezmezők közepén értelmezett átlagfeszültségekkel számoltunk. A hossztartó S355 anyagból készül.

## 2.2. A vizsgálat eredményei

A továbbiakban a pilonok környezetében levő mező esetére végzett számításainkon keresztül szemléltetjük, illetve hasonlítjuk össze a szabványos számítás és a numerikus analízis eredményeit.

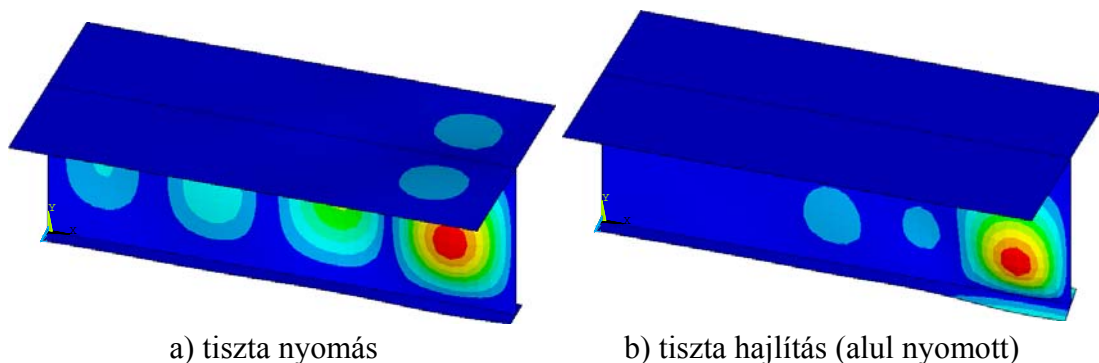
Az 1. táblázat mutatja a mezőben mértékadó feszültségek értékeit.

1. táblázat: Mértékadó gerinclemez-feszültségek a pilonok környezetében

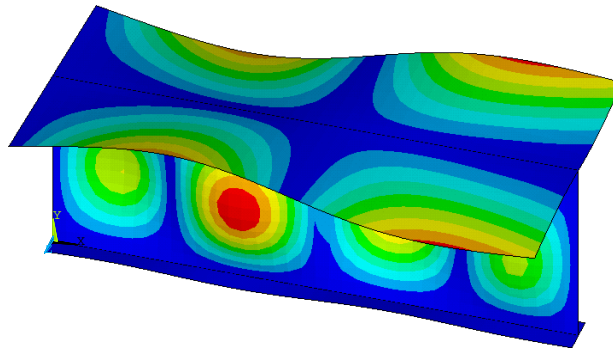
tiszta nyomás	$\sigma_A = 93.94$
tiszta hajlítás	$\sigma_B = 67.87$
tiszta nyírás	$\tau = 8.07$
összetett igbv.	$\sigma_{red} = 162.14$

A numerikus analízisből nyert, a tiszta nyomás és tiszta hajlítás esetén kialakuló első horpadási alakot láthatjuk az 5. ábrán, míg az összetett igénybevétel esetén kialakuló első sajátalakot a 6. ábra mutatja. Megjegyezzük, hogy az utóbbi esetben a felső övlemez horpadásával együtt következett be a gerinclemez horpadása. Ez a horpadási tényező szempontjából kedvezőtlenebb esetet jelent, mintha a gerinclemez önálló horpadása jelenne meg, így a számítás a biztonság oldalán marad.

A mezőben a szabvány szerint és a numerikus modell alapján számított kritikus feszültségeket és az azokból származtatott horpadási tényezőket hasonlítja össze a 2. táblázat. Megfigyelhető, hogy tiszta igénybevételek esetén a szabványos értékek (csuklós megtámasztás esete) és az övlemezek megtámasztó hatását figyelembevevő végeelemes analízishez (VEM #1) tartozó kritikus feszültségek között jelentős a különbség: tiszta nyomás, illetve tiszta hajlítás esetén 53%, illetve 36% a növekedés mértéke. A redukált feszültségre vonatkoztatva (összetett igénybevétel) ez 52% növekedést jelent a horpadási tényezőben. A numerikus modelltől közvetlenül meghatározott, az összetett igénybevételhez tartozó horpadási tényező (2. eljárás, VEM #2) értéke alig különbözik az 1. eljárás (tiszta esetek analízise + szabványos interakció) során nyert értéktől.



5. ábra: Hossztartó gerinclemezének horpadása tiszta igénybevételek esetén



6. ábra: Első sajátalak összetett igénybevétel esetén

1. táblázat: Kritikus feszültség és horpadási tényező

		Kritikus feszültség [MPa]			Horpadási tényező [-]			
		csuklós	befogott		csuklós	befogott		
			ÚT 2-3.413	VEM #1		VEM #2	ÚT 2-3.413	VEM #1
tiszta nyomás	$\sigma_{cr,N} =$	99.1	151.5	---	$k_A =$	4.00	6.12	---
tiszta hajlítás	$\sigma_{cr,M} =$	592.1	808.1	---	$k_B =$	23.90	32.62	
tiszta nyírás	$\tau_{cr} =$	144.4	---	---	$k_\tau =$	5.83	---	
összetett igbv.	$\sigma_{cr,össz} =$	---		264.4	$k_{red} =$	<b>6.78</b>	<b>10.29</b>	<b>10.68</b>

A mező stabilitási ellenőrzését mutatja a 3. táblázat. A szabvány előírja a tiszta nyomáshoz tartozó feszültség és a redukált feszültség külön ellenőrzését is. Tiszta nyomás esetén a csuklós esetben a kihasználtság 168%-os, míg a peremfeltételek pontosabb figyelembevételével ez 109%-ra csökken. Az összetett igénybevételekre a kihasználtság a csuklós eset 144%-áról 92-96%-ra csökken.

Az általános hossztartó vizsgálatát teljesen azonos módon hajtottuk végre. Az eredmények hasonló tendenciát mutatnak (részletesen lásd [3]).

3. táblázat: Stabilitási ellenőrzés

		csuklós	befogott				csuklós	befogott	
		ÚT 2-3.413	VEM #1	VEM #1			ÚT 2-3.413	VEM #1	VEM #1
lemezkarcsúság [-]	$\lambda'_o =$	144.38	116.72		lemezkarcsúság [-]	$\lambda_o =$	110.89	90.01	88.36
csökk. tényező [-]	$\phi'_b =$	0.27	0.42		csökk. tényező [-]	$\phi_b =$	0.47	0.71	0.7336
megeng. fesz. [MPa]	$\sigma'_e =$	56.04	85.80		megeng. fesz. [MPa]	$\sigma_e =$	112.80	169.78	176.06
kihasználtság [%]	$\sigma_A/\sigma'_e =$	<b>168</b>	<b>109</b>		kihasználtság [%]	$\sigma_{red}/\sigma_e =$	<b>144</b>	<b>96</b>	<b>92</b>

A fenti példákön látható, hogy a csuklós esethez képest a csatlakozó elemek figyelembevételével jelentősen nagyobb gerinclemez horpadási ellenállást kapunk.

### 3. HOSSZ- ÉS KERESZTBORDÁKKAL MEREVÍTETT LEMEZ VIZSGÁLATA

#### 3.1. A probléma felvetése

A Szentendrei Duna-ág híd szekrénytartójának keresztmetszeti kialakítását a 2. ábra mutatja. A normál keresztartók egymástól 4000 mm-re helyezkednek el, a fenéklemesz keresztirányú merevítő bordáit ferde merevítő rudak támasztják meg (ld. 2. (a) ábra). A támasz környezetében a 2. (b) ábra szerinti pótmerevítések kerültek a normál keresztartók közötti 4000 mm-es szakaszok felébe. A pótmerevítések esetén, a fenéklemezen elhelyezkedő 300-20 (öv) és 650-10 (gerinc) méretű, keresztirányú merevítő bordát ferde merevítőrudak nem támasztják meg. A fenéklemesz keresztbordájának szükséges merevségét az [1] számítási módszerét alkalmazva a (5) képlettel határozhatjuk meg.

$$I_{sz} = 2,4 \cdot (n + 1) \cdot \frac{B^3}{L^3} \cdot I_{b,x} \quad (5)$$

ahol:

- $I_{b,x}$  hosszbordák inerciája az együttdolgozó lemezszélességgel,
- $n$  két merevítőborda közötti hosszbordák száma,
- $B$  hídtengely és a főtartó közötti távolság,
- $L$  a keresztbordák távolsága:  $L = 2$  m.

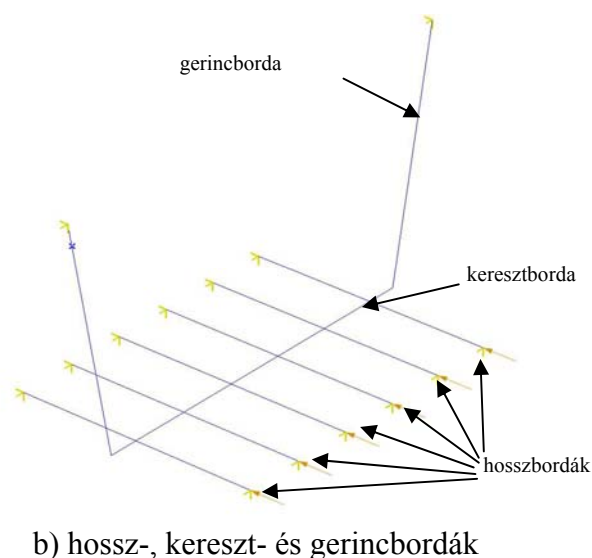
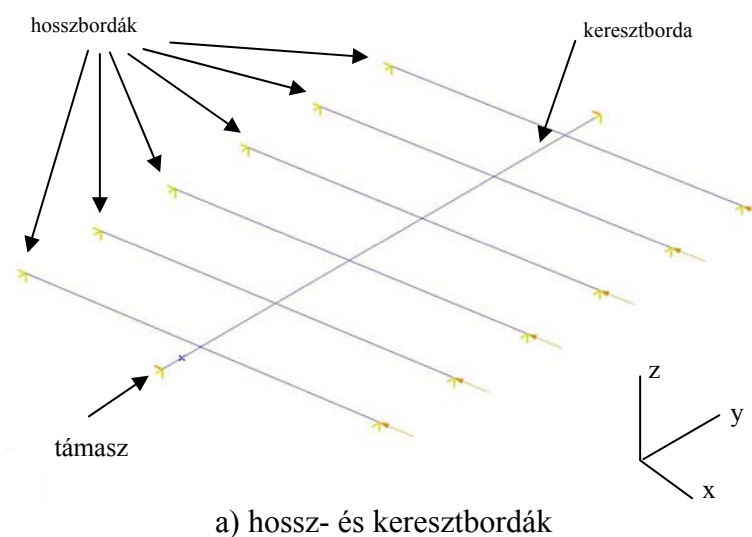
A keresztborda szükséges merevsége:  $I_{sz} = 2206820 \text{ cm}^4$

A keresztborda inerciája az együttdolgozó lemezszélességgel együtt a borda talpvonalára  $I_x = 318470 \text{ cm}^4$ . Mivel  $I_x < I_{sz}$ , a keresztborda az [1] számítási módszerét alkalmazva nem rendelkezik kellő merevséggel. Ezért a szekrény keresztmetszetű híd fenéklemezen a hosszbordák kiegészítő stabilitásvizsgálatát végeztük el rúdszerkezeti modell alkalmazásával.

#### 3.2. A vizsgálat elve

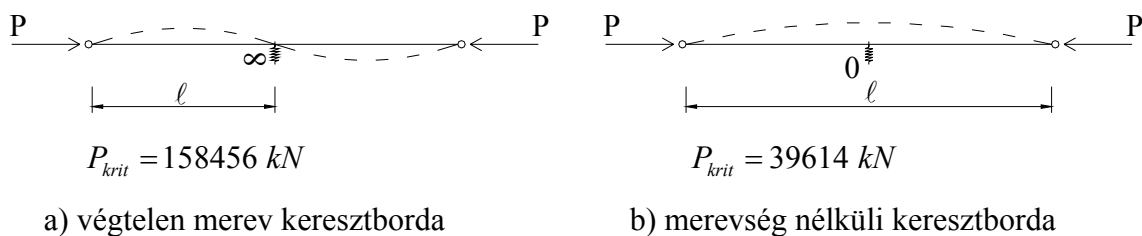
A keresztborda merevségének elemzésére pontosabb vizsgálati modellt alkalmaztunk; a hossz- és keresztbordákból álló rúdszerkezet stabilitási viselkedését vizsgáltuk. A modellben a rudak a fenéklemesz hosszbordákat és a fenéklemesz keresztbordát helyettesítik, az együttdolgozó lemezszélességekkel számított hajlítómerevséggel figyelembe véve azokat (7. ábra). A hosszbordák egyik vége csuklós megtámasztású, másik végén, az erőbevezetésnél csuklós, a borda tengelyével párhuzamos eltolódás megengedett.

A modellben a keresztborda merevségének a hatását, illetve a gerinc merevítő bordák figyelembe vételének módját elemeztük. A 7. a) ábrán látható modellben a gerinclemez hatását a keresztbordák két végén beiktatott támaszokkal vettük figyelembe, a 7. (b) ábra modelljén, a keresztborda mindkét végéhez gerincbordák csatlakoznak.



7. ábra: Rúdmodell

A hosszbordák kihajlott alakját a keresztborda merevségének a két szélső értékével (végtelen merev, illetve merevség nélküli rugóval modellezve), valamint az elméleti kritikus erőket ( $P_{krit} = \pi^2 EI / \ell^2$ ) a 8. ábra mutatja.



8. ábra: A hosszborda kihajlása



### 3.3. A vizsgálat eredményei

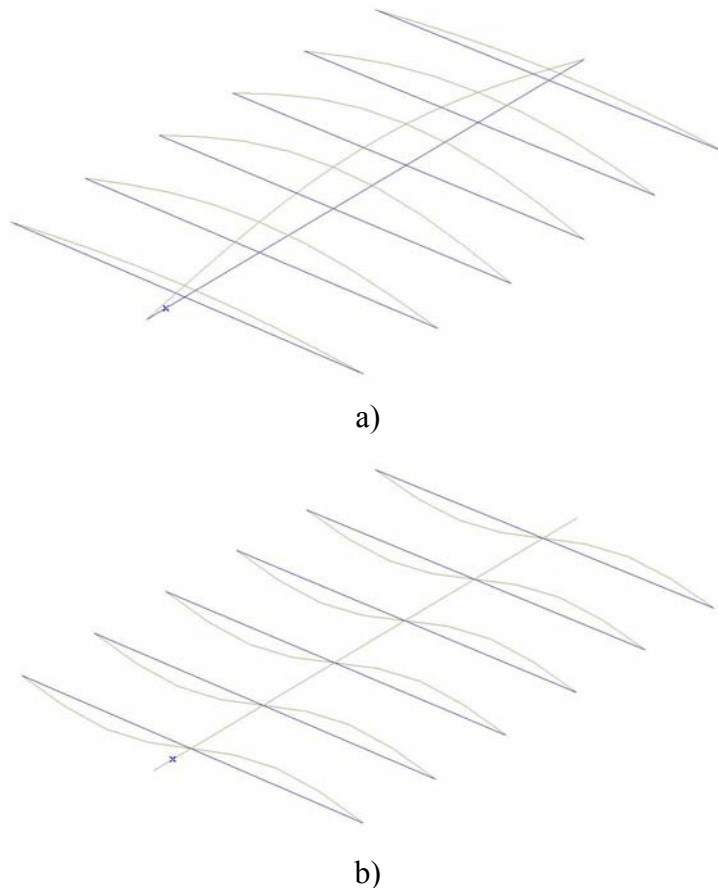
A keresztborda merevségének a vizsgálatához a 7. (a) ábrán látható modellt használtuk. A keresztborda mindkét vége z irányban (lásd 7. ábra) megtámasztott, de az elfordulás megengedett, így azt feltételezzük, hogy a gerinc csak a keresztbordák végeinek függőleges irányú eltolódásait gátolja meg. A következő eseteket vizsgáltuk:

1. A keresztborda hajlítási merevsége az [1] szabvány szerinti szükséges merevséggel egyenlő:  $I_{sz}$  lásd (5) képlet.
2. A hosszbordát középen nem támasztja meg a keresztborda:  $I_x \approx 0$ .
3. A keresztborda merevsége a borda tényleges geometriai méretei (lsd. 3.1 pont) alapján számított.

A lineáris stabilitásból kapott kritikus erőket a 4. táblázatban foglaltuk össze.

Az 1. és 2. eset eredményeivel verifikáltuk a modellt, az elméleti kritikus erő 98%-át kaptuk a rúdmodellből a 9. a) és b) ábrán látható kihajlási alakok mellett.

A tényleges keresztborda merevséget alkalmazva (3. eset) a kihajlási alak a 9. a) ábra szerint alakul a számított kritikus erő ( $N_{krit}$ ) pedig ~50%-a 1. esethez tartozó kritikus erőnek (lásd 4. táblázat).



9. ábra: Kihajlási alakok

A gerinc hatásának vizsgálatát a keresztborda megtámasztási viszonyainak a módosításával, illetve a gerincbordát modellező rúd alkalmazásával végeztük el. Ezekben az esetekben mindig a keresztborda tényleges hajlítási merevségével számoltunk. A keresztborda mindkét végének z irányú megtámasztása mellett a csomópont elfordulási merevségét is figyelembe vettük az alábbiak szerint:

4. A keresztborda mindkét megtámasztási pontjaiban az x tengely körüli elfordulást meggátoltuk.
5. A keresztborda végein az x tengely körüli elforduláshoz rugót definiáltunk, amelyet a gerincborda hajlítási merevségéből számítottuk.
6. A gerincen lévő függőleges merevítőbordát és a vele együtt dolgozó lemezt rúddal modelleztük.

Ezen vizsgálatok eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

A 4. esetben a keresztborda végpontjainak elfordulását meggátolva a 8. a) ábrán látható alapesethez tartozó kritikus erőt kaptuk, a kihajlott alak a 9. (b) ábra szerint alakult. Azonban ez a modell a biztonság kárára közelít, hiszen a szerkezetben a keresztborda nem rendelkezik kellő merevséggel, ahhoz, hogy meggátolja a hosszbordák kihajlását.

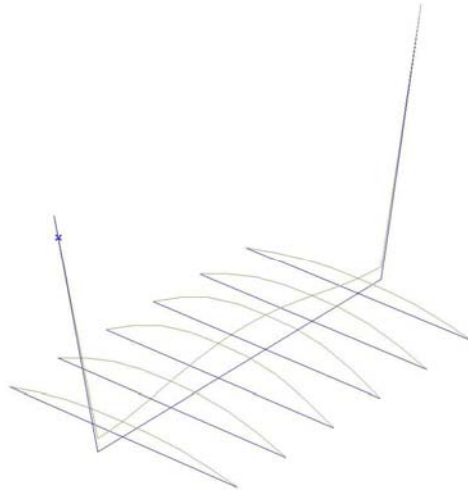
A vizsgált 5. esetben a számított kritikus erő értéke a 8. (a) ábra alapesetéhez közelít, annak 95%-át éri el, de a stabilitás vizsgálat eredményeként kapott kihajlott alak a 9. (a) ábra szerinti.

A 6. esetben a gerincbordát rúdként vizsgálva figyelembe tudtuk venni a rúd hajlítási merevsége mellett a normálmerevségét is. A modell a kihajlás után a 10. ábra szerinti alakot veszi fel, amelyben megjelenik a gerincet modellező rúd összenyomódása is. Mint látható a számított kritikus erő értéke alapján a gerincet modellező rúd összenyomódásának kis hatása van a stabilitási viselkedésre.

4. táblázat: A lineáris stabilitásvizsgálat eredményei

	Keresztborda inercia [cm <sup>4</sup> ]	Megtámasztás		Kihajlási alak	N <sub>krit</sub> [kN]
		eltolódás	elfordulás [kNm/rad]		
1	2206820	fix	0	9. (b) ábra	155675
2	0	fix	0	9. (a) ábra	38900
3	318470	fix	0	9. (a) ábra	79404
4	318470	fix	fix	9. (b) ábra	155675
5	318470	fix	számított	9. (a) ábra	151552
6	318470	rúd	rúd	10. ábra	151278

A hosszbordák kihajlásvizsgálatát az 5. és 6. esetekben meghatározott  $N_{krit}$  erőből számítható  $\lambda = \sqrt{\pi^2 EA / N_{krit}}$  karcsúság alapján hajtottuk végre az [1] szabvány előírásai alapján.



10. ábra: Kihajlási alak

#### 4. ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS

Elvégeztük a ferdekábeles mederhíd hossztartó gerinclemezőnek a horpadásvizsgálatát. A vizsgálathoz végeleemes felületszerkezeti modellt készítettünk, mellyel figyelembe vettük a pályalemez és az alsó övlemez megtámasztó hatását. Lineáris stabilitásvizsgálat keretében meghatároztuk a horpadási tényezőket tiszta, illetve összetett igénybevételi esetekre. A számított horpadási tényezőkkel az [1] szabvány számítási módszerét használtuk. Megállapítottuk, hogy a gerinclemez szélein megjelenő befogási merevség hatása jelentős, annak figyelembevételével lényegesen nagyobb horpadási ellenállást kapunk. Az elvégzett számítások alapján a hossztartó gerinclemezőnek mindkét mezője horpadással szemben kellő teherbírással rendelkezik, megerősítésük nem szükséges.

A Szentendrei Duna-ág híd szekrénytartójának fenéklemezén, megvizsgáltuk a támasz környezetében kialakított pótmerevítések keresztirányú merevítőbordáit, melyek az [1] szabvány szerint nem rendelkeznek kellő merevséggel. A merevség elemzésére pontosabb, a hosszbordákból és a keresztbordákból álló rúdszerkezeti modellt alkalmaztunk. A modellben a hosszbordák stabilitási viselkedését vizsgáltuk, a keresztborda különböző hajlítási merevségei és megtámasztási viszonyai mellett. Megállapítottuk, hogy a gerinc hajlításából származó megtámasztó hatás jelentős, míg a normálmerevsége kis hatással van a hosszbordák kritikus erejére. A lineáris stabilitásvizsgálatból kapott kritikus erő alapján elvégeztük a hosszbordák szabványos kihajlásvizsgálatát, mely alapján a hosszborda kihajlásra a növelt kihajlási hosszal megfelel.

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Közúti Hídszabályzat, ÚT 2-3.413.
- [2] Vigh L. G. - Hunyadi M. - Honfi D. - Dunai L.: Az M0 Autópálya Északi Duna-híd statikai modellezése és igénybevétel-számítása, *BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke Tudományos Közleményei*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, (2005).
- [3] M0 Autópálya Északi Duna-híd. Kiegészítő független statikai vizsgálatok, Jelentés, *BME Hidak és Szerkezetek Tanszéke*, 2004. november.