

# Hagyományos- és feszített öszvérszerkezetű hidak számítása L=45m

## Calculation of conventional- and prestressed composite bridges L = 45m

MOLNÁR Lajos doktorandusz

Kolozsvári Műszaki Egyetem - Közlekedésépítő szak

### ABSTRACT

*The material describes the theoretical approach to the calculation of conventional- and prestressed composite bridge structures and its use through practical examples*

**Keywords:** civil engineering, steel-concrete composite bridges, tensioning

### KIVONAT

*Az anyag ismerteti a hagyományos- és feszített öszvérszerkezetű hidak számításának elméleti megközelítését és ezen felhasználását gyakorlati példákon keresztül*

**Kulcsszavak:** közlekedésépítés, öszvérszerkezetű hidak, feszítések

### 1. BEVEZETÉS

A hagyományos acél-beton öszvérszerkezetű hidak fel-szerkezetének súlyát (ezáltal az alapok méretét) a fel-szerkezet magasságát (ezáltal csökkentve a felhajtók töltés magasságát) csökkenthetjük az öszvérszerkezetbe vezetett (kábel, rúd felhasználásával) feszültségekkel.

A következőkben hagyományos, hengerelt I tartókat felhasználva (minimális gyártási költségekkel) mutatjuk be a várható öko-lábnyom valamint az elemek legyártásával-, a híd építésével kibocsájtott szén-dioxid mennyiség csökkenését az új technológia felhasználásával.

### 2. AZ ÖSZVÉRSZERKEZETŰ TARTÓK SZÁMÍTÁSÁHOZ HASZNÁLT MÓDSZEREK BEMUTATÁSA

A számítási módszerek kialakításakor a következő lépéseket veszik figyelembe:

a / meghatározzuk a karakterisztikus és a számítási hatásokat:

- közvetlen hatások: a karakterisztikus hatások értéke megegyezik a terhelések névleges értékeivel a szabványok figyelembe vételével;
- közvetett hatások: hosszú ideig tartó állandó vagy ideiglenes alakváltozások (a támaszok elmozdulásai, az acélgerenda előhajlításának deformációi, a beton összehúzódása, a beton lassú folyása), illetve ideiglenesen rövid ideig tartó (hőmérsékletváltozások).

b / módszer:

- A Megengedett Szilárdság Módszere (kompozit szerkezetű hidakhoz ajánlott) a felhasznált anyagok rugalmas viselkedésén alapul, és ezt a következő módon hajtják végre:
  - o a normál egység feszültségek ellenőrzése rövid, illetve hosszú távú hatásokra
  - o a tangenciális egység feszültségek ellenőrzése,
  - o ismételt terhelések ellenőrzése,
  - o kiszámítják a hajlítási alakváltozásokat.
- A Határállapot Módszer (polgári és ipari építményekhez ajánlott) a felhasznált anyagok rugalmas-plasztikus viselkedésén alapul, és a következőket végzik:
  - o ellenőrzés a teherbírás határállapotánál (ellenállás, alakstabilitás, fáradtság)
  - o hitelesítés a működési határállapotnál (lehajlás, specifikus kritikus alakváltozás)

### 3. A FESZÍTÉS ALKALMAZÁSA AZ EUROCODE SZERINT

A modern európai tervezési keretben az EUROCODE, nevezetesen az EC4 - öszvér acél / beton kompozit szerkezetek, nem utal az előfeszítés vagy az utófeszítés lehetőségének alkalmazására. Az egyetlen mód az EC3.1.11 - feszítés alatt álló elemekkel ellátott (fém) szerkezetek tervezése - figyelembevétel, ezek a követelmények főleg a feszített kábelekre / rudakra vonatkoznak, amelyeket fém vagy vegyes / kompozit szerkezetű hidakhoz használnak a pályalemez alátámasztására (függesztett vagy ferdekábeles hidak esetében).

A feszített kábeleket a következők szerint ellenőrzik:

#### 3.1. Teherbírési határállapot (ULS)

##### 3.1.1 / Húzott rudas rendszerek

A húzott rudas rendszereket teherbírési határállapotra általában a felhasznált acél típusától függően az EN 1993-1-1 vagy az EN 1993-1-4 szerint kell megtervezni.

##### 3.1.2 / Feszítőrudak, valamint B és C osztályú elemek

(1) P Teherbírési határállapotban a következőt kell igazolni:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} < 1 \quad (3.1)$$

ahol:

$F_{Ed}$  a kötélben fellépő húzóerő tervezési értéke;

$F_{Rd}$  a húzási ellenállás tervezési értéke.

(2) A húzási ellenállás  $F_{Rd}$  tervezési értékét általában a következőképpen kell felvenni:

$$F_{Rd} = \min \left\{ \frac{F_{uk}}{1,5 \gamma_R}; \frac{F_k}{\gamma_R} \right\} \quad (3.2)$$

ahol:

$F_{uk}$  a szakítóerő karakterisztikus értéke;

$F_k$  a húzott elem névleges folyáshatárához tartozó erő karakterisztikus értéket;

$\gamma_R$  a parciális tényező.

1. MEGJEGYZÉS: Az  $F_{uk}$  a húzószilárdság karakterisztikus értékéhez tartozó erő.
2. MEGJEGYZÉS: Az  $F_k$  figyelembevételével végzett ellenőrzés biztosítja, hogy az elem rugalmas maradjon, ha a hatások elérik a tervezési értéküket. Az olyan elemek (pl. zárt spirális kötelek) esetén, melyekre  $F_k \geq F_{uk}/1,5$ , ezt az ellenőrzést nem szükséges elvégezni.
3. MEGJEGYZÉS: Az átvételi vizsgálatok során azt igazolják, hogy az  $F_{uke}$  és az  $F_{ke}$  mért értékek elégitik-e a következő követelményeket:

$$F_{uke} > F_{uk}, F_{ke} > F_k.$$

4. MEGJEGYZÉS: A  $\gamma_R$  parciális tényező értéke a nemzeti mellékletben írható elő. Az érték attól függ, hogy a kötélvégeknél alkalmaznak-e a kábel elfordulásából származó hajlítónyomatékokat csökkentő be rendezéseket,

(3) Feszítőrudak és C osztályú húzott elemek esetén a szakítóerő karakterisztikus értéke általában a következőképpen határozható meg:

$$F_{uk} = A_m f_{uk} \quad (3.3)$$

ahol:

$A_m$  a fémkeresztmetszet;

$f_{uk}$  a feszítőrúd, a huzal vagy a (feszítő) pászma húzószilárdságának karakterisztikus értéke a vonatkozó szabvány szerint.

(4) A B osztályú húzott elemek esetén az  $F_{uk}$  általában a következőképpen határozható meg:

$$F_{uk} = F_{min} k_e \quad (3.4)$$

ahol:

$F_{min}$  értéke az EN 12385-2 szerint a következő:

$$F_{min} = \frac{K d^2 R_r}{1000} [kN] \quad (3.5)$$

ahol:

$K$  a sodrasi veszteséget figyelembe vevő minimális szakítóerő tényező;

$d$  a kötélnévleges átmérője [mm];

$R_r$  a kötélszilárdsági osztály [ $N/mm^2$ ];

$k_e$  a veszteségtényező.

### 3.2 / Használhatósági határállapot (SLS)

#### 3.2.1. Használhatósági követelmények

(1) A következő használhatósági követelményeket kell figyelembe venni:

1. Alakváltozások vagy rezgések;

2. Rugalmas állapot üzemi körülmények esetén.

1. MEGJEGYZÉS: Az alakváltozásokra és rezgésekre vonatkozó korlátozások egy olyan merevségi követelményt eredményezhetnek, mely a szerkezeti rendszertől, a méretektől, a nagyszilárdságú húzott elemek előterhelésének mértékétől és a csatlakozások megcsúszással szembeni ellenállásától függ.

2. MEGJEGYZÉS: A rugalmas állapot fenntartására és a tartósságra vonatkozó korlátozások a használhatósági teherkombinációkból számított feszültségek legkisebb és legnagyobb értékeivel kapcsolatosak.

(2) A kábel hajlítása miatt a lehorgonyzásban fellépő feszültségek megfelelő eszközökkel (pl. a keresztirányú terhelés felvételére alkalmazott neoprén zsámolyokkal) csökkenthetők.

#### 3.2.2. Feszültségkorlátok

(1) Feszültségkorlátok a karakterisztikus teherkombinációra vonatkozóan írhatók elő a következők okokból:

a feszültségek rugalmas tartományban tartása a vonatkozó tervezési állapotokban az építés vagy az üzemszerű működés során;

az alakváltozások korlátozása olyan mértékűre, hogy túlzott korróziós veszélyeztetettség, pl. védőcsövek, szilárd kitöltő anyagok megrepedése, hézagok megnyílása stb. miatti intézkedésekre ne legyen szükség, továbbá, hogy korlátozza a bizonytalanságok kedvezőtlen hatásait a fáradásra való tervezés során;

rugalmas és rugalmashoz közeli szerkezeti válaszokra vonatkozó igazolások teherbírási határállapotban.

(2) A feszültségkorlátokat általában a szakítószilárdság bizonyos hányadában kell megadni, a következők szerint:

$$\sigma_{uk} = \frac{F_{uk}}{A_m} \quad (3.6)$$

lásd a 3.3 összefüggést

1. MEGJEGYZÉS: Az  $f_{const}$  és  $f_{SLS}$  feszültségkorlátok értékeit a nemzeti mellékletben lehet megadni

2. MEGJEGYZÉS: A feszültségkorlát a következő összefüggésből származik:

$$f_{const} = \frac{\sigma_{uk}}{1,5 \gamma_r \gamma_f} = \frac{0,66 \sigma_{uk}}{\gamma_r \gamma_f} \quad (3.7)$$

ahol:

$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,1 = 1,1$  rövid időtartamú esetekre;

$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,2 = 1,2$  hosszú időtartamú esetekre.

3. MEGJEGYZÉS: A feszültségkorlát a következő összefüggésből származik:

$$f_{sls} = \frac{\sigma_{uk}}{1,5 \gamma_r \gamma_f} = \frac{0,66 \sigma_{uk}}{\gamma_r \gamma_f} \quad (3.8)$$

ahol:

$\gamma_R \times \gamma_F = 0,9 \times 1,48 = 1,33$  a hajlításból származó feszültségek figyelembevételével;

$\gamma_R \times \gamma_F = 1,0 \times 1,48 = 1,48$  a hajlításból származó feszültségek figyelmen kívül hagyásával.

$\gamma_F \approx \gamma_Q = 1,50 \approx 1,48$ .

4. MEGJEGYZÉS: Kísérletek végrehajtása során  $f_{SLS} = 0,45 \sigma_{uk}$  feszültségkorlátot alkalmazunk.

### 3.3. Az erőtani követelmények - EC 0 szerint

Az erőtani (teherbírási, használhatósági) követelmény teljesülésének vizsgálatára szolgáló kiinduló adatok

a) a teherbírás ellenőrzéséhez (3.1 ábra)

-- a hatás  $F_k$ , illetve az ellenállás  $R_k$  karakterisztikus értékeiből számítható  $E_d(ME_d, NE_d, VE_d, TE_d)$  igénybevételek, továbbá a szilárdsági, vagy a másodrendű hatásokból származó stabilitásvesztési ellenállás

$R_d(MR_d, NR_d, VR_d, TR_d)$  tervezési értéke,

-- a szerkezet helyzeti állékonyságát (elcsúszását, felborulását, felúszását) destabilizáló ( $E_d, d_{st}$ ), illetve stabilizáló ( $E_d, stb$ ) állapotjellemzők,

-- a fáradás következtében kialakuló törési állapothoz tartozó  $D_d$  tönkrementeli állapotjellemző,

-- a tűzállósággal kapcsolatban a TR ellenállás-megmaradási és TE értékmentési idő.

A teherbírási követelmények teljesülnek, ha az

$$E_d(ME_d, NE_d, VE_d, TE_d) \leq R_d(MR_d, NR_d, VR_d, TR_d), \quad (3.9)$$

$$E_{d, st} \leq E_{d, stb}, \quad (3.10)$$

$$D_d \leq 1,0, \quad (3.11)$$

$$TE \leq TR, \quad (3.12) \text{ feltételek teljesülnek.}$$

Megjegyzés: 1) Az  $MR_d$ ,  $NR_d$ ,  $VR_d$  és  $TR_d$  (hajlító nyomaték, normálerő, nyírási erő, csavaró nyomaték) ellenállások képzésének módját a vonatkozó anyagszabványok tartalmazzák.

2) A helyzeti állékonyságra, a fáradási és tűzállósági vizsgálatokra a továbbiakban nem térünk ki, e feladatokkal más kiadványok és az egyes anyagszabványokkal foglalkozó dolgozatok tárgyalják.

b) a használhatóság ellenőrzéséhez

A tehercsoportosítások szerint számítható hatások:

$\sigma E_{,ser}$  - normál feszültségek,

$y E_{,ser}$  – alakváltozások, eltolódások és

$w E_{,ser}$  - repedésmentességi, repedészáródási vagy repedésmegnyílási állapotjellemzők.

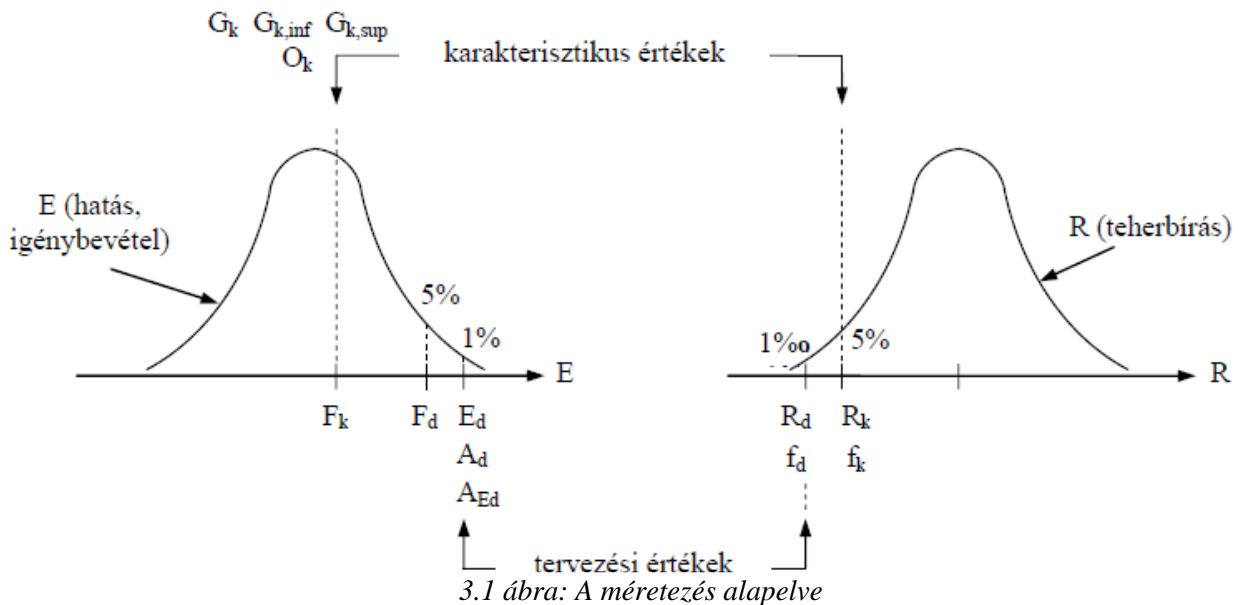
A használhatósági követelmények teljesülnek, ha az állapotjellemzők nem nagyobbak, mint a vonatkozó előírásokban található esztétikai, üzemeltetési, vagy korrózióvédelmi szempontból előírt, a tartós használhatóságot biztosító vonatkozó ( $\sigma_{adm}$ ,  $y_{adm}$ ,  $w_{adm}$ ) korlátértékek, azaz

$$\sigma E_{,ser} \leq \sigma_{adm}, \quad (3.13)$$

$$y E_{,ser} \leq y_{adm}, \quad (3.14)$$

$$w E_{,ser} \leq w_{adm}, \quad (3.15) \text{ feltételek, teljesülnek.}$$

Megjegyzés: A  $\sigma E_{,ser}$ ,  $y E_{,ser}$  és  $w E_{,ser}$  (a normál feszültség, alakváltozás, repedéstágasság)



Az ábrában, a fentiekben nem szereplőkön kívüli jelölések:

$G_k$ , - az állandó teher karakterisztikus értéke (50%-os valószínűségi (átlag) érték),

$Q_k$  - a esetleges teher karakterisztikus értéke (adott referencia időszakra vonatkoztatott adott %-os küszöbérték),

$F_k$  - az egyedi hatás karakterisztikus értéke,

$F_d$  ( $G_d$ ,  $Q_d$ ) – az egyedi hatás tervezési értéke ( $\approx 5\%$ ),

$E_d$  - a hatás-, vagy teher-csoport tervezési értéke ( $\approx 99\%$ ),

$A_d$  - a rendkívüli hatás (pl. ütközés, rendkívüli meteorológiai hatás (pl. hóteher) tervezési értéke,

$A_{Ed}$  - a földrendezési hatás tervezési értéke,

$R_k$ ,  $f_k$  - a teherbírás, a szilárdság karakterisztikus értéke (5%)

$R_d$ ,  $f_d$  - a teherbírás, a szilárdság tervezési értéke ( $\approx 1\%$ )

### 3.4/ Lehajlások

#### a) Követelmények

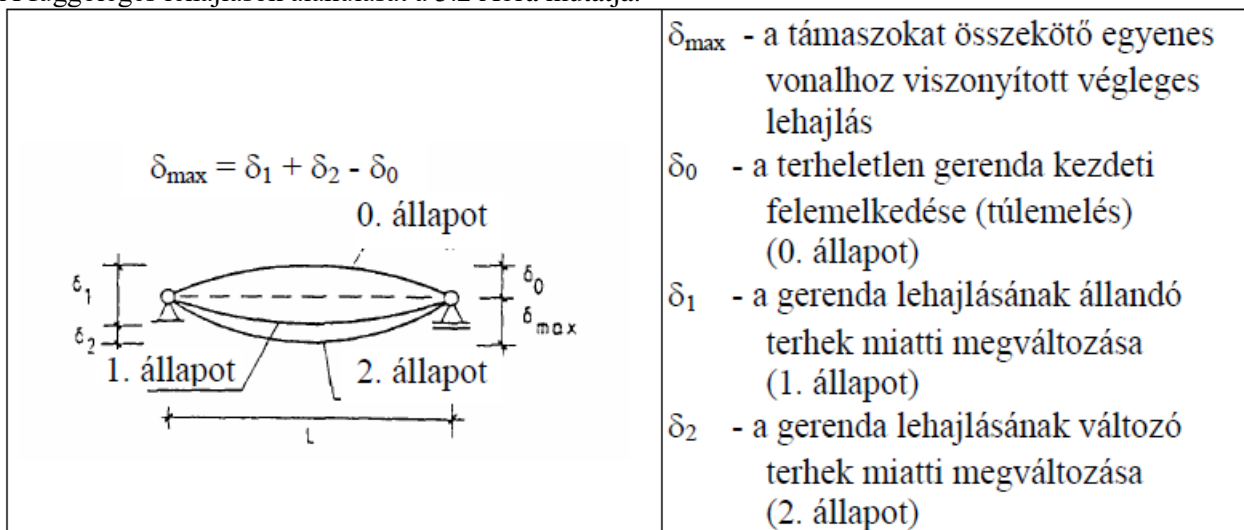
(1) Az acélszerkezeteket és alkotóelemeiket úgy kell kialakítani, hogy a lehajlások azon határon belül legyenek, amelyben a megbízó, a tervező és az illetékes hatóságmegegyezett, és amely megfelel az épület tervezett használatának és használóinak, továbbá az alátámasztott anyagok természetének.

(2) A szabályzatban lévő adatok tapasztalati értékek. Ezek a számítási eredményekkel való összevetés céljára alkalmazandók, így nem értelmezhetők erőtani követelményként.

(3) A lehajlásokat a másodrendű hatásokra és a lehetséges képlékeny alakváltozásokra vonatkozóan tett megfelelő közelítésekkel kell számolni.

#### b) Határértékek

A függőleges lehajlások alakulását a 3.2 Ábra mutatja.



3.2 ábra: Figyelembe vett függőleges lehajlások

### 3.5 / Kiegyenlítési tényezők / együtthatók

A kiegyenlítési (ekvivalencia) együtthatók megállapításához az EUROCODE 0-ban megadott variációs együtthatókat és variabilitási indexeket kell használni valószínűségi megfogalmazásban.

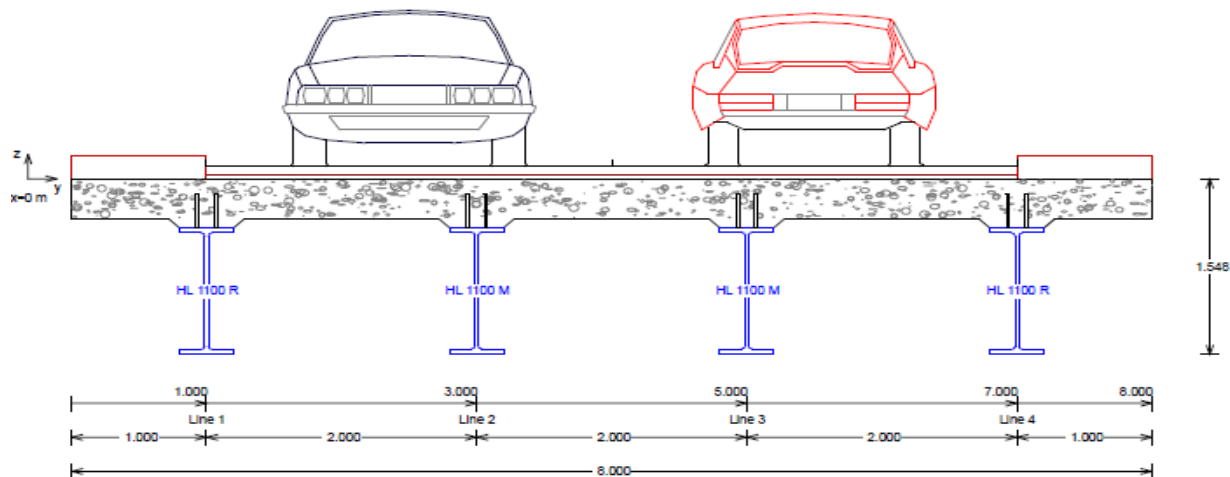
Biztonsági ellenőrzésekre van szükség ahhoz, hogy jelenteni lehessen a cselekvések teljes hatását (amely magában foglalja az állandó tevékenységeket is). A biztonsági ellenőrzéseket a következő hipotézisek elfogadásával lehet végrehajtani:

- Gauss eloszlás az ellenálló képesség esetében;
- Gauss eloszlás az állandó terhek esetében;
- Gumble-Max eloszlás változó (hasznos) terhek esetében;
- Ellenálló képesség változási együtthatói 15%
- Szerkezeti súly változási együttható: 10%
- A nem szerkezeti súly változási együttható: 15%;
- Hasznos terhek variációs együtthatója: 25%;
- Biztonsági modell: különbségmodell;
- Megbízhatósági index  $\beta = 3,80$  az Eurocode-ban;
- A meghibásodás valószínűsége (Eurocode 0),  $P_f = 10^{-4}$ .

## 4 / Öszvérszerkezetű hidak felszerkezetének igénybevétele

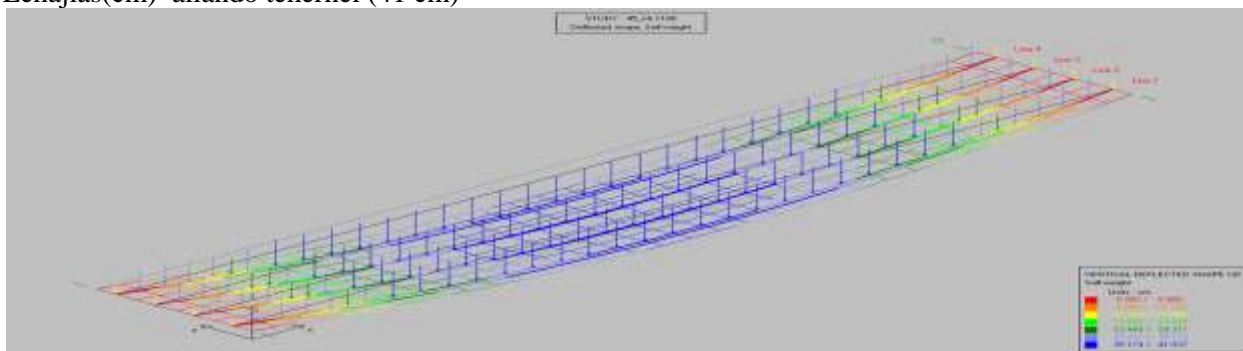
### 4.1 / 4 acéltartós hagyományos öszvérszerkezetű híd

Az -  $L=45,0$  m  $B= 8,0$  m, 2x HL1100R(külső) + 2x HL1100M(belső) tartó,  $L=35$  m, 380x45 mm acél alsó talp vastagítással Histar S460 (ArcelorMittal) minőséggel ( $\varnothing 22 \times 250$  mm függőleges csapolással) valamint C40/50, 35 cm vastag ( $\varnothing 20$ mm vasalással) öntött beton lemez 8 cm ékeléssel - felszerkezetű híd méretezéséhez az ACOBRI 5.08 előméretező programot használtuk.:



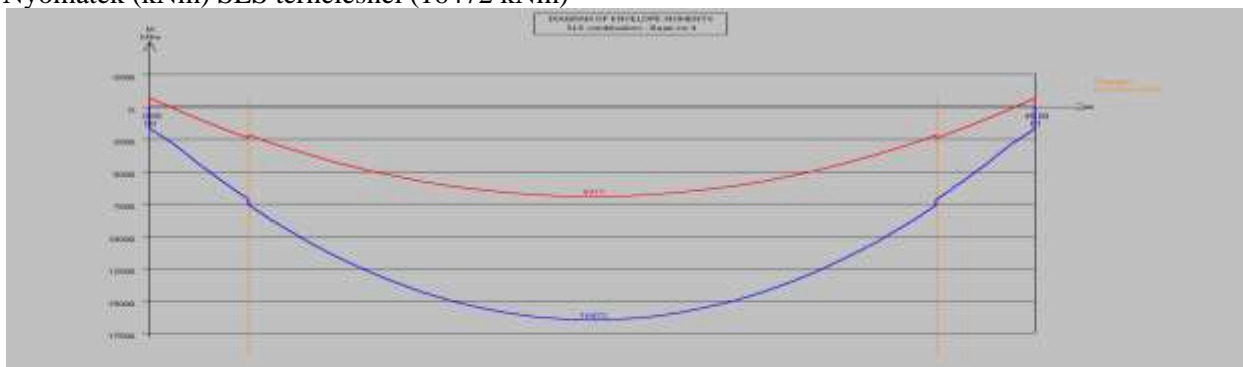
4.1 ábra: ACOBRI program felület, szerkezet keresztmetszet

Lehajlás(cm) állandó tehernél (41 cm)



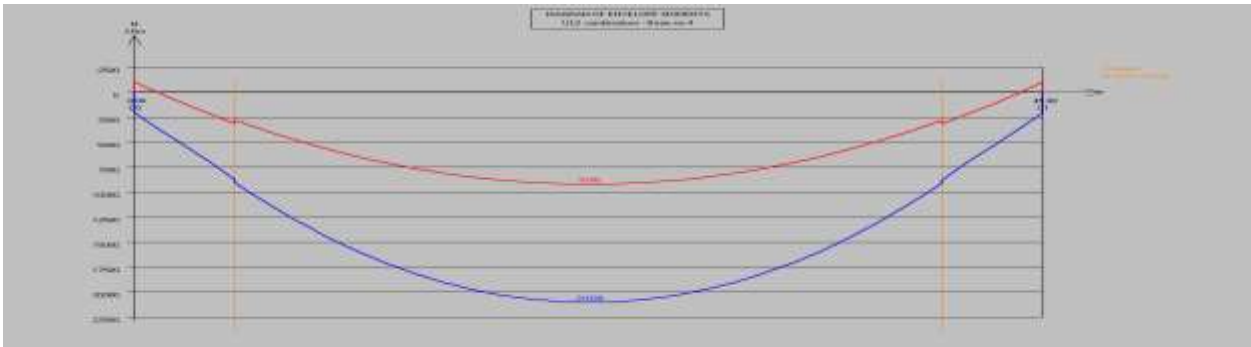
4.2 ábra

Nyomaték (kNm) SLS terhelésnél (16472 kNm)



4.3 Ábra

Nyomaték (kNm) ULS terhelésnél ( 21039 kNm)



4.4 Ábra

#### 4.2 / 4 acéltartós feszített öszvérszerkezetű híd

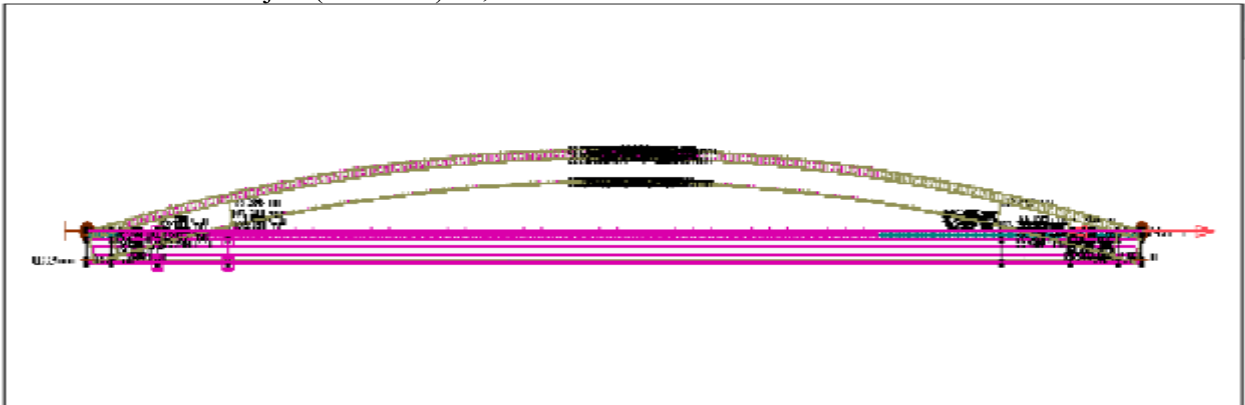
A következő paraméterekkel felszerkezetű híd -  $L=45,0$  m  $B= 8,0$  m, 4x HL800M tartó,  $L=35$  m, 250x40 mm acél alsó talp vastagítással Histar S460 (ArcelorMittal) minőséggel ( $\varnothing 22 \times 250$  mm függőleges csapolással) valamint C40/50, 35 cm vastag ( $\varnothing 20$  mm vasalással) öntött beton lemez 8 cm ékeléssel, feszítéshez BBR-VT CONA 24T15S pászmákat (CME n016-150 kábelekkel) - méretezéséhez az InterCad Kft AXIS VM X5 végelem méretező programot használtuk. Az alábbiakban néhány kiemelt adat grafikus ábrázolása

Lehajlás önsúlyból 19,7 cm



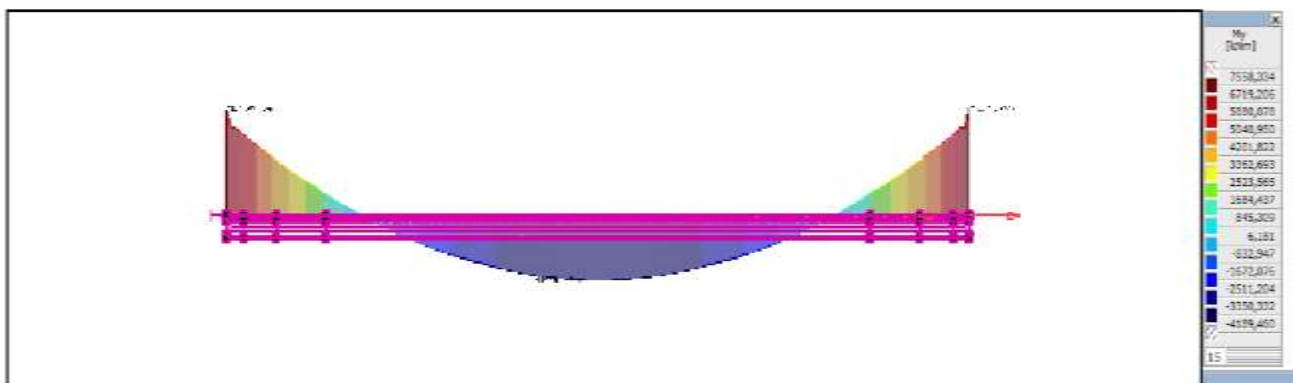
4.5 Ábra

Feszítésből adódó kihajlás (túlemelés) 22,5 cm



4.6 Ábra

Nyomaték ( - 4168,4 KNm / 7743 KNm)



4.7 Ábra

### 4.3/ Adatok elemzése

A fenti példából nyert adatok alapján megállapíthatjuk, hogy feszítéssel, külső erő bevezetésével a rendszerbe, megváltoztatható a szerkezet mérete, súlya, időbeni viselkedése

	<b>HL1100 R/M</b>	<b>HE800 M</b>	<b>HE/HL %</b>
Szerkezet magassága (mm) – ebből acél tartók (mm)	1703 (1158)	1394 (854)	82 (74)
Szerkezet súlya (to) – ebből acél tartók (to)	487,3 (103,1)	463,6 (79,3)	95 (77)
Szerkezet lehajlás SLS terhelésnél (mm)	89	87,1	97

4.1 Táblázat Összehasonlító adatok

Az első lépésben végzett számításokból nyert eredmények alapján sikerült elérni egy 18 % felszerkezet magasság csökkentést (309 mm) az acél tartók, egyenként, 2x3700 kN megfeszítésével. SLS terhelés alatt a tartók 89/87 mm függőleges elmozdulással teljesítették a max. L/500 (90 mm) lehajlási korlátot – az acéltartók gyártása közben, túlelemeléssel, kiküszöbölhető az önsúly által okozott lehajlást.

A HL 1100 R/M tartókat HE800M tartókkal helyettesítve a felszerkezet súlyát sikerült 5%-al míg a szerkezeti acél súlyát 23%-al csökkenteni. A tervezett ökológiai lábnyom csökkentés elérése érdekében további számításokat tervezünk végezni.

### Szakirodalom

1. Structuri compuse otel-beton, Stefan I. Gutiu, Catalin Moga - Editura UT Press 2014,
2. Metodologie de evaluare a aptitudinii de exploatare a podurilor rutiere corespunzatoare cerintelor clasei „E” de incarcare conform Eurocod-ului - Redactarea II / Betarmex 2017
3. Hidak utófeszítése csúszópásmás kábelekkel – tervezési elvek -dr. Kovács Tamás BME, Tatabánya, 2017
4. Acélszerkezetek tervezése az EUROCODE szerint, Dr. Iványi Miklós 1
5. A Tartószerkezeti tervezés alapjai az EUROCODE szerint, Farkas György, Lovas Anta, Szalai Kálmán
6. ArcelorMittal - Long Carbon Europe - Sections and Merchant Bars – Bridges with rolled sections, Dennis Rademacher, bridge development leader
7. ArcelorMittal - Acobri 5.08 – User Manual, 2020,
8. InterCAD Kft – AxisVM Statikai méretező és számító programrendszer, Deim Tamás, ügyvezető
9. Inter-CAD Kft – Axis VM X5 R3 e2 – Felhasználói Kézikönyv, 2020
10. EUROCODE EC0, EC3, EC4