

# Alsópályás acélhíd szerkezetek általános stabilitási kérdései

## Stability of Trough Steel Bridges

## Stabilitatea generală a tablierelor de poduri metalice cu calea jos

Dr. Moga Petru, Dr. Gutiu Ștefan, Dr. Köllő Gábor, Dr. Sanda Naș, Arsene Cornel

Kolozsvári Műszaki Egyetem

### ABSTRACT

*In this paper the methodology of verification of the resistance to lateral torsional buckling of the flanges of girders in compression, according to EN 1993-2: Design of steel structures. Part 2: Steel Bridges are presented.*

*A working example for a trough steel truss bridge stability checking and some concluding remarks are also presented.*

**Keywords:** Lateral torsional buckling, girders, bridge superstructures.

### ÖSSZEFOGLALÓ

*Ebben a tanulmányban bemutatjuk az acélhíd szerkezetek stabilitási ellenőrzését az SR EN 1993-2. 2007 szabvány szerint, valamint egy gyakorlati alkalmazását mutatjuk be.*

### 1. BEVEZETŐ

Az acélhíd szerkezetek balesetei, részleges vagy teljes tönkremenetelük sok esetben a szerkezet stabilitási kérdéseivel függenek össze (teljes stabilitásvesztés, a nyomott öv kihajlása, stb.). A stabilitásvesztés, mint jelenség megfigyelhető az alsópályás tömör acéltartók esetében (ha a gerinclemezeknek nagy a magassága), de leggyakrabban a rácsos főtartójú alsópályás hidak esetében, ha ezeknél hiányoznak a felső öveket összekötő szélrácsok (az 1-es ábra katasztrófához vezető tönkremenetel).



a)



b)



c)



d)

1. ábra

*Katasztrofális stabilitásvesztések*

A stabilitásvesztés jelensége egy komplex folyamat, ami elég nehezen modellezhető, mind elméleti számításoknál, mind szerkezeti modell szintjén.

A következőkben a stabilitási ellenőrzés módszerét mutatjuk be az SR EN 1993-2: 2007 (EUROCODE 3, part 2.) szabványok és egy gyakorlati példa segítségével.

## 2. STABILITÁSI ELLENŐRZÉS AZ SR EN 1993-2: 2007 SZABVÁNY SZERINT

### *A kritikus erő meghatározása*

Abban az esetben ha a felső övet igénybevevő állandó  $N_{Ed}$  erő a híd teljes nyílásában hat, akkor a kritikus erőt a következőképpen határozzuk meg, feltételezve egy rugalmas megtámasztású nyomott tartót.

$$N_{crit} = m \cdot N_E \quad (1)$$

ahol:

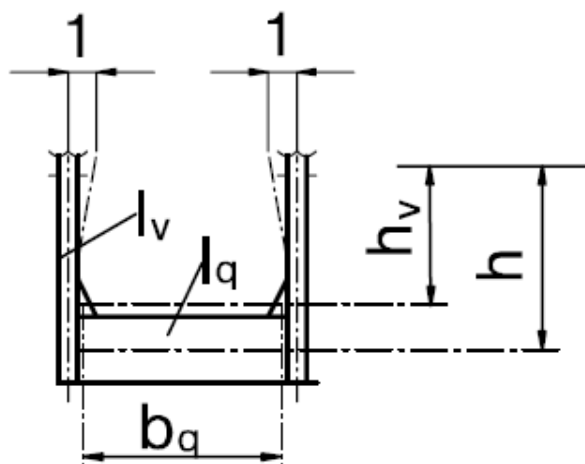
$$N_E = \frac{\pi^2 EI_z}{L^2}; \quad m = \frac{2}{\pi^2} \cdot \sqrt{\gamma} \geq 1; \quad \gamma = \frac{c \cdot L^4}{EI_z}; \quad c = \frac{C_d}{\ell}.$$

$L$  a tartó nyílása,  $\ell$  a megtámasztások távolsága,  $C_d$  a megtámasztások rugóállandója.

A nyomott öv szélső megtámasztását merevnek tekinthetjük, ha

$$C_d > \frac{4N_E}{L} \quad (2)$$

Az SR EN 1993-2:2007 szabvány D.3 táblázata szerint  $C_d$ -t a 3-as összefüggés és 2-es ábra szerint számíthatjuk.



2. ábra

$$C_d = \frac{E \cdot I_v}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 b_q \cdot I_v}{2 I_q}} \quad (3)$$

A nyomott öv félhullámainak száma,  $n$ , a 4-es összefüggés szerint számítható:

$$(n-1)n \leq \frac{1}{\pi^2} \sqrt{\frac{c \cdot L^4}{EI_z}} \leq n(n+1) \quad (4)$$

ahol:

$$n \cong \frac{1}{\pi} \sqrt[4]{\frac{c \cdot L^4}{EI_z}} \geq 1, \quad n \in Z \quad (5)$$

A tömör keresztmetszetű tartók esetében a nyomott öv oldalirányú kihajlása elhanyagolható, ha a következő feltételek közül az egyik teljesül.

$$\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \text{vagy} \quad \frac{M_{Ed}}{M_{crit}} \leq \bar{\lambda}_{LT,0}^{-2},$$

ahol:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{(A_{eff} + A_{wc}/3) \cdot f_y}{N_{crit}}},$$

$A_{eff}$  – a nyomott öv keresztmetszete (területe)

$A_{wc}$  – a nyomott gerinclemez keresztmetszete (területe)

A 4. osztályú keresztmetszeteknél a tényleges keresztmetszet területét kell figyelembe venni.

A nyomott rudaknál a geometriai irányhibákat és a másodrendű elméletet figyelembe vehetjük az  $F_{Ed}$  számításánál.

$$F_{Ed} = \begin{cases} \frac{N_{Ed}}{100} & - \text{ha } \ell_k \leq 1,2 \cdot \ell \\ \frac{\ell}{\ell_k} \cdot \frac{N_{Ed}}{80} \cdot \frac{1}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{crit}}} & - \text{ha } \ell_k \geq 1,2 \cdot \ell \end{cases} \quad (6)$$

ahol :  $N_{Ed}$  - az övlemez legnagyobb nyomoereje

$$\ell_k = \pi \cdot \sqrt{\frac{EI}{N_{crit}}}, \quad l \text{ a rugalmas támaszok közötti távolság}$$

*A nyomott övlemez kihajlása-kihordulása csavarásra*

A megengedett nyomóerő, amely a rácsstartó felső övében keletkezik:

$$N_{b,Rd} = \chi_{FT} \cdot A \cdot f_y \cdot \frac{1}{\gamma_{M1}} \quad (7)$$

ahol:

$$A = \begin{cases} A_g \\ A_{eff} \end{cases}$$

$A_g$  – 1, 2, 3 osztály keresztmetszet területe

$A_{eff}$  – 4. osztály keresztmetszet területe

Az állandó keresztmetszetű tartó, amely állandó nyomóerőre van igénybevéve, ahol a  $\bar{\lambda}_{FT}$  a csökkentő tényező, amelyet a karcsúsági együttható függvényében határozunk meg:

$$\chi_{FT} = \frac{1}{\phi_{FT} + \sqrt{\phi_{FT}^2 - \bar{\lambda}_{FT}^2}}; \quad \chi_{FT} \leq 1 \quad (8)$$

ahol:

$$\phi_{FT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha (\bar{\lambda}_{FT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{FT}^2 \right]; \quad \alpha - \text{irányhiba szorzó}$$

$b_a / b$  – Karcsúsági együttható

### 3. SZÁMPÉLDA

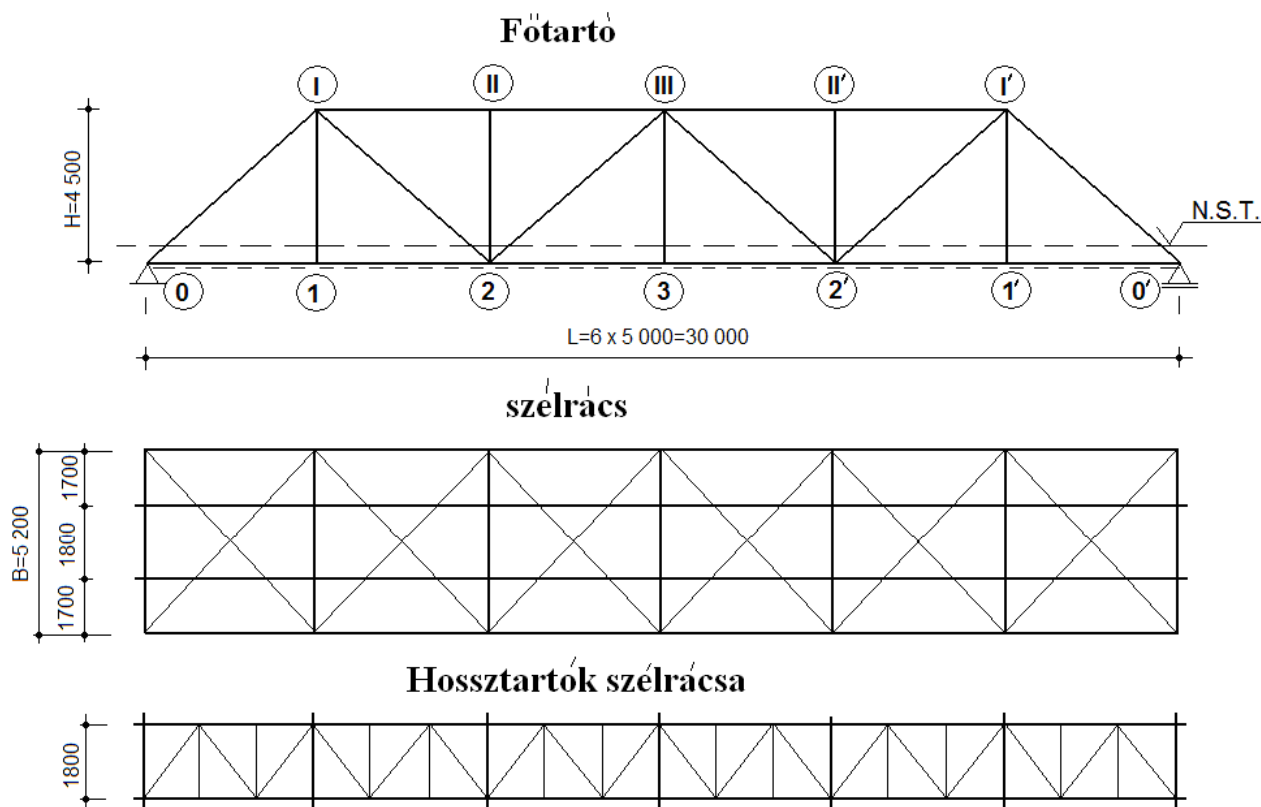
Ellenőrizzük a rácsszerkezetű alsópályás hídszerkezet nyomott övét.

a legnagyobb nyomóerő:

$$S_{I-II} = S_{II-III} = -2\,621 \text{ kN};$$

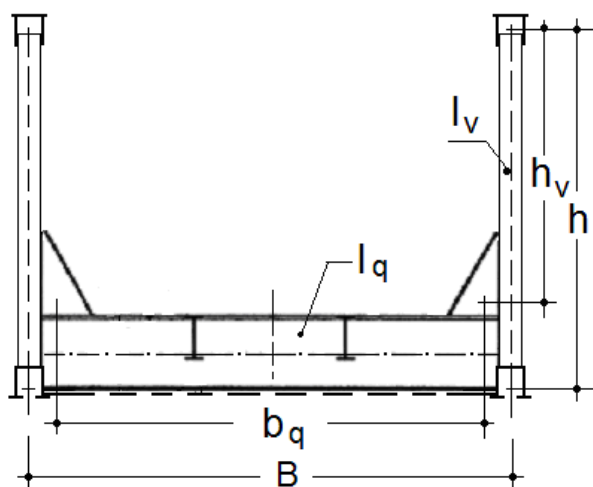
a tartók anyaga S355ML/NL – EN 10025 – 4:2004 acél

A rácstartók geometriája a 3-as ábrán található



3 ábra

A keresztmetszeti elemek a 4-es ábrán láthatók



$$h = 450 \text{ cm}$$

$$I_v = I_{y.\text{mont.}} = 9035 \text{ cm}^4$$

$$h_v \approx 320 \text{ cm}$$

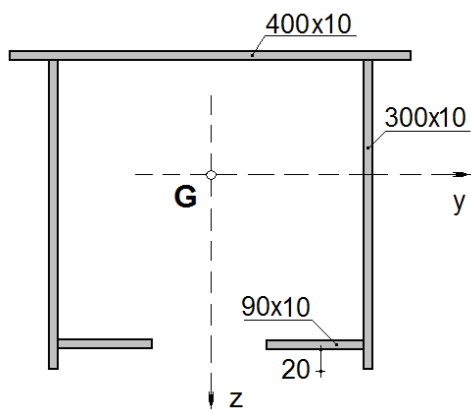
$$I_q = I_{\text{ant.}} = 3.65 \cdot 10^5 \text{ cm}^4$$

$$b_q \approx 470 \text{ cm}$$

4. ábra.

## A nyomott öv ellenőrzése

A nyomott öv keresztmetszete az 5. ábrán látható.



$$\begin{aligned}
 A &= 118 \text{ cm} \\
 I_y &= 1.561 \cdot 10^4 \text{ cm}^4 \\
 I_z &= 2.186 \cdot 10^4 \text{ cm}^4 \\
 i_y &= 11.5 \text{ cm} \\
 i_z &= 13.6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

5. ábra

## Keresztmetszeti osztály

Felső övlemez

– központi lemez:

$$\frac{c}{t} = \frac{300}{10} = 30 < 38 \cdot \varepsilon = 30.8 \Rightarrow 2. \text{ osztály}$$

– konzol

$$\frac{c}{t} = \frac{40}{10} = 4 < 9 \cdot \varepsilon = 7.3 \Rightarrow 1 \text{ osztály}$$

– A függőleges gerinclemezek: 2. osztály

Mivel 2-es osztályú keresztmetszetről van szó, a tényleges területtel számolunk.

## A y-y tengelyű kihajlás

Kihajlási hossz:

$$L_{cr,y} = 0.8 \cdot \ell_{I-J} = 0.8 \cdot 500 = 400 \text{ cm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{400}{11.5} = 34.8$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{34.8}{76} = 0.46 \Rightarrow \chi = 0.9 \text{ (b görbe)}$$

$$N_{c,Rd} = \chi \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0.9 \frac{118 \cdot 3550}{1.1} \cdot 10^{-2} = 3427 \text{ kN} > N_{Ed} = 2621 \text{ kN}$$

## A felső öv általános stabilitása

A keret merevsége:

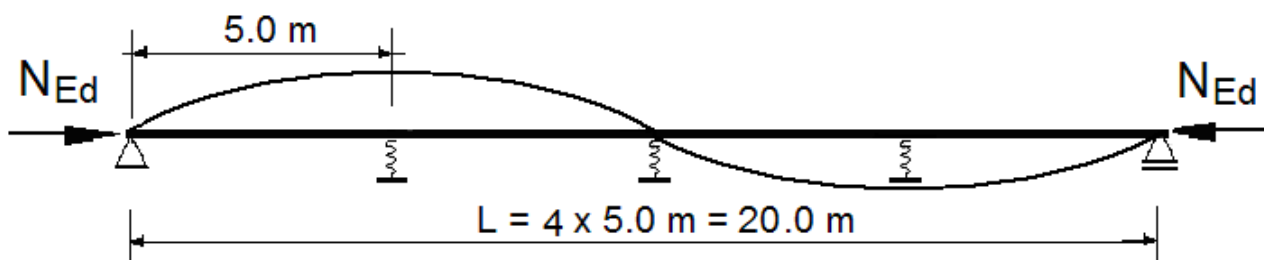
$$C_d = \frac{E \cdot I_y}{\frac{h_v^3}{3} + \frac{h^2 \cdot b_q \cdot I_v}{2 I_q}} = \frac{2.1 \cdot 10^6 \cdot 9035}{\frac{320^3}{3} + \frac{450^2 \cdot 470 \cdot 9035}{2 \cdot 3.65 \cdot 10^5}} = 1568 \text{ daN/cm}$$

$$c = \frac{C_d}{\ell} = \frac{1568}{500} = 3.1 \text{ daN/cm}^2; \quad \gamma = \frac{cL^4}{EI_z} = \frac{3.1 \cdot 2000^4}{2.1 \cdot 10^6 \cdot 2.186 \cdot 10^4} = 1080$$

Félhullámok száma:

$$n \cong \frac{1}{\pi} \sqrt[4]{\frac{c \cdot L^4}{EI_z}} = \frac{1}{\pi} \sqrt[4]{\gamma} = \frac{1}{\pi} \sqrt[4]{1080} = 1.82 > 1$$

A felső övlemez alakváltozása a 6. ábrán látható.



6. ábra  
deformálódott övlemez

A kritikus stabilitási nyomóerő:

$$\left. \begin{aligned} m &= \frac{2}{\pi^2} \cdot \sqrt{\gamma} = 2 \cdot n^2 = 8 \\ N_E &= \frac{\pi^2 EI_z}{L^2} = 1132 \text{ kN} \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_{crit} = m \cdot N_E = 9056 \text{ kN}$$

Ellenőrzés vízszintes síkban kihajlásra:

$$\bar{\lambda}_{FT} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{crit}}} = \sqrt{\frac{118 \cdot 3350}{9 \cdot 10^5}} = 0,68 \Rightarrow \chi_{FT} = 0,8$$

$$N_{b,Rd} = \chi_{FT} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1} = (0,8 \cdot 118 \cdot 3350 / 1,1) \cdot 10^{-2} = 3047 \text{ kN} > N_{Ed} = 2621 \text{ kN}$$

#### 4. KÖVETKEZTETÉSEK

A hídszerkezetek biztonságos üzemeltetése érdekében a stabilitási vizsgálatok fontossága megkérdőjelezhetetlen. Stabilitásvesztés miatt sok hídszerkezet ment tönkre. A stabilitásvesztés az alsópályás rácsszerkezetű hidak esetében a legveszélyesebb, ha hiányoznak a felső övlemezeket összekötő szélrácok. Az az energiamódszer, amelyet az EC 3/2 használ fel, nem veszi figyelembe a felső öv keresztmetszetének változásait, valamint a nyomóerőváltozást az öv hosszában.

#### IRODALOM

- [1.] SR EN 1993-1-1/2006. Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 1-1: Reguli generale și reguli pentru clădiri
- [2.] SR EN 1993-2/2007. Eurocod 3: Proiectarea structurilor de oțel. Partea 2: Poduri de oțel
- [3.] MOGA,P., PĂCURAR,V., GUȚIU,ȘT., MOGA,C.: Calculul elementelor metalice. Norme române - Eurocode 3. U.T.PRESS. 2006
- [4.] MOGA,P.,PĂCURAR,V.,GUȚIU,ȘT.,MOGA,C.: Construcții și poduri metalice. Aplicare euronorme. U.T.PRESS. 2007
- [5.] MOGA,P.,GUȚIU,ȘT.,MOGA,C.: Structuri metalice. Aplicare euronorme. U.T.PRESS. 2009