

Budapesti Műszaki Egyetem Acélszerkezetek Tanszék

Acélszerkezeti mintapéldák az Eurocode szabványhoz,

angol nyelvű mintapéldák alapján

Fordította: Hegedűs Krisztián

Javította: Dr. Iványi Miklós

1. javított változat

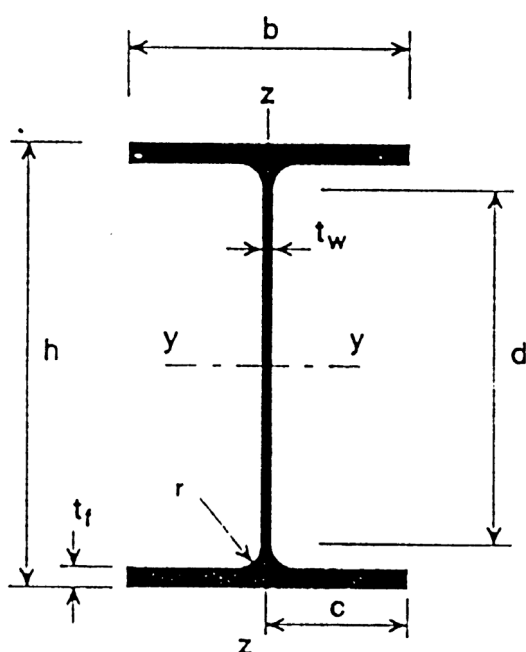
1999. május 25.

## 1. Eurocode acél

### 1.1. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása nyomás alapján

#### 1.1.1. HEA 500-as szelvény

ADATOK:



$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

$$h = 490 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 390 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 150 \text{ mm}$$

1.1. ábra HEA szelvény

Az öv besorolása:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150}{23} = 6,5 < 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerinc besorolása:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32,5 < 33 \times \varepsilon = 33 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

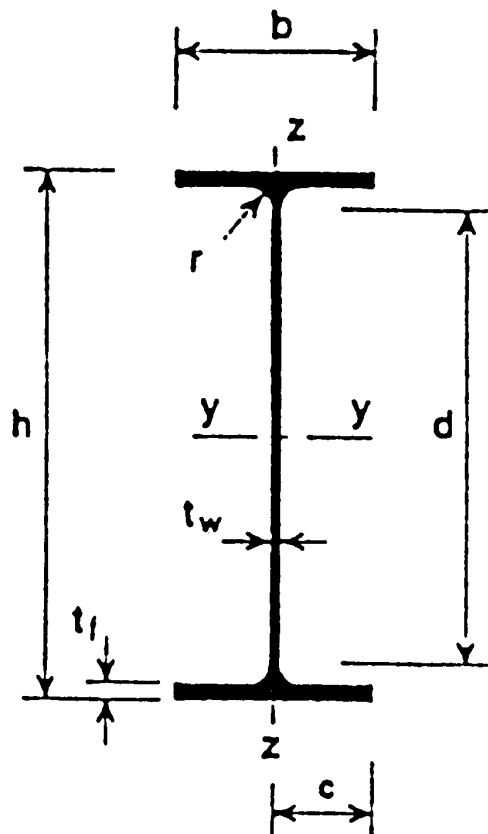
A tartó ennek következtében az 1-es osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.3.1(3)

Tábl.:  
5.3.1(1)

## 1.1.2. IPE 600-as szelvény

ADATOK:



$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,81$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 514 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 110 \text{ mm}$$

1.2. ábra IPE szelvény

Az öv besorolása:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{19} = 5,8 < 10 \times \varepsilon = 8,1 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerinc besorolása:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{514}{12} = 42,8 < 42 \times \varepsilon = 34,0 \rightarrow \text{4-es osztály.}$$

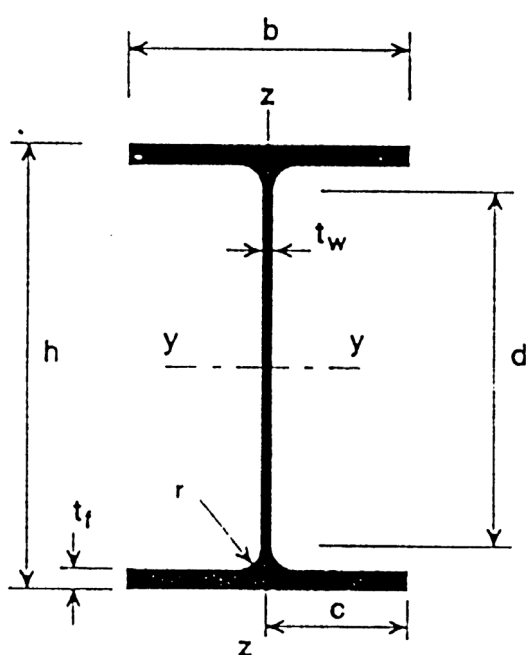
A tartó ennek következtében a 4-es osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.3.1(3)Tábl.:  
5.3.1(1)

## 1.2. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása hajlítás alapján

### 1.2.1. HEA 500-as szelvény

**ADATOK:**



$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

$$h = 490 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 390 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 150 \text{ mm}$$

1.3. ábra HEA szelvény

Két különböző esetet lehet figyelembe venni:

a) Az y-y tengely körüli hajlítást:

Ebben az esetben az öveket egyenletes nyomásra, vagy húzásra kell figyelembe venni. Az övek besorolása tehát:

Tábl.:  
5.3.1(3)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150}{23} = 6,5 < 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerincet pedig hajlításra kell figyelembe venni, a besorolása tehát:

Tábl.:  
5.3.1(1)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32,5 < 72 \times \varepsilon = 72 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A tartó ennek következtében az 1-es osztályba tartozik.

b) A z-z tengely körüli hajlítást:

Tegyük fel, hogy a tiszta hajlítás hatására a keresztmetszet teljesen képlékennyé válik. Ebben az esetben az övekben egyenletesen eloszló feszültségek; a gerinc egyik felén nyomás, a másikon pedig húzás keletkezik. Az övek besorolása tehát:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150}{23} = 6,5 < 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow 1\text{-es osztály.}$$

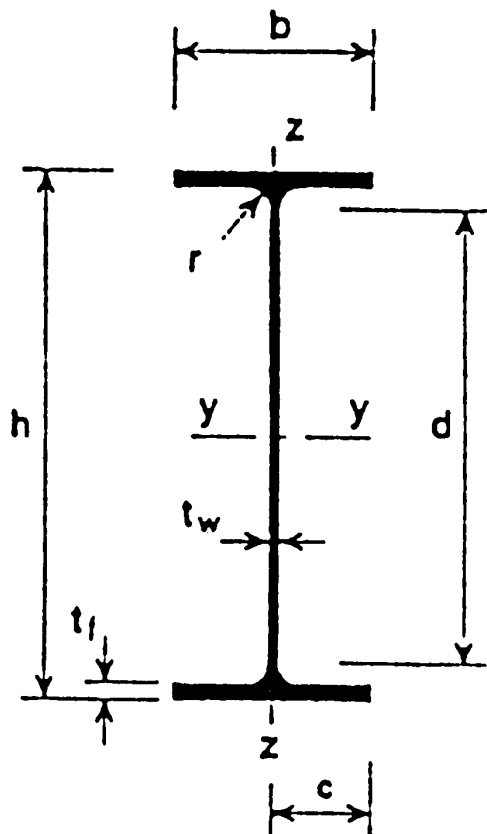
A z-z tengely körüli tiszta hajlítás esetén, a gerinclemez helyi horpadásának lehetősége elhanyagolható, mert a gerinc a semleges tengelyen helyezkedik el.

Így a keresztmetszet az 1-es osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.3.1(3)

### 1.2.2. IPE 600-as szelvény

**ADATOK:**



$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,81$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 514 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 110 \text{ mm}$$

1.4. ábra HEA szelvény

Két különböző esetet lehet figyelembe venni:

a) Az y-y tengely körüli hajlítást:

Ebben az esetben az öveket egyenletes nyomásra, vagy húzásra kell figyelembe venni. Az övek besorolása tehát:

Tábl.:  
5.3.1(3)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{19} = 5,8 < 10 \times \varepsilon = 8,1 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerincet pedig hajlításra kell figyelembe venni, a besorolása tehát:

Tábl.:  
5.3.1(1)

$$\frac{d}{t_w} = \frac{514}{12} = 42,8 < 72 \times \varepsilon = 58,3 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A tartó ennek következtében az 1-es osztályba tartozik.

b) A z-z tengely körüli hajlítást:

Tegyük fel, hogy a tiszta hajlítás hatására a keresztmetszet teljesen képlékennyé válik. Ebben az esetben az övekben egyenletesen eloszló nyomás, vagy húzás keletkezik. Az övek besorolása tehát:

Tábl.:  
5.3.1(3)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{19} = 5,8 < 10 \times \varepsilon = 8,1 \rightarrow 1\text{-es osztály.}$$

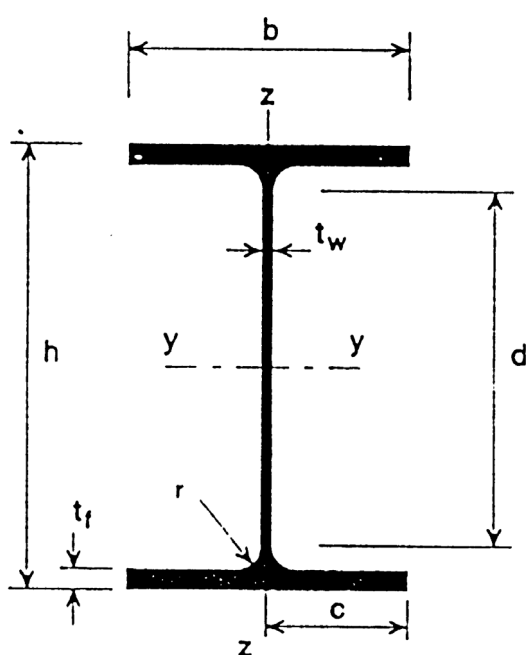
A z-z tengely körüli tiszta hajlítás esetén, a gerinclemez helyi horpadásának lehetősége elhanyagolható, mert a gerinc a semleges tengelyen helyezkedik el.

Így a keresztmetszet az 1-es osztályba tartozik.

### 1.3. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása hajlítás, és nyomás alapján

#### 1.3.1. HEA 500-as szelvény

**ADATOK:**



$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 1$$

$$h = 490 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 27 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 390 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 150 \text{ mm}$$

$$F = 400 \text{ kN}$$

1.5. ábra HEA szelvény

Az osztályba sorolás alapja az y-y tengely körüli hajlítás, valamint egy 400kN nagyságú tengely irányú nyomó erő.

Az öv besorolása:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150}{23} = 6,5 < 10 \times \varepsilon = 10 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerinc besorolása:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32,5 < 33 \times \varepsilon = 33 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

Így a keresztmetszet az 1-es osztályba tartozik.

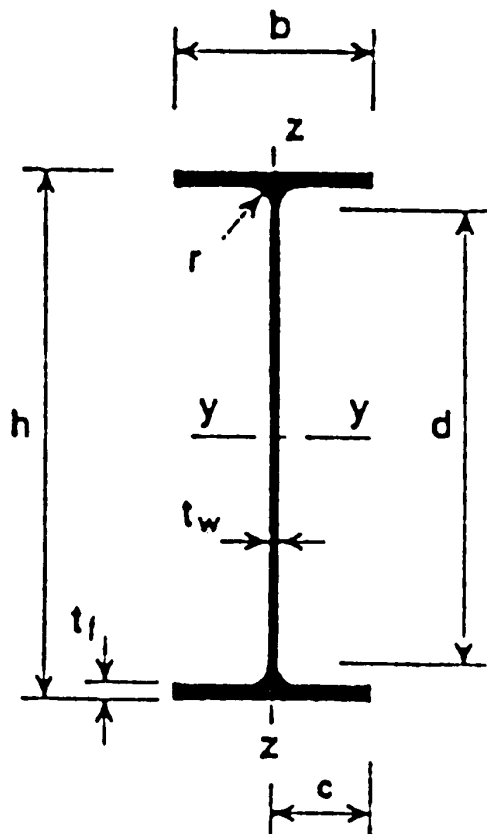
Tábl.:  
5.3.1(3)

Tábl.:  
5.3.1(1)



### 1.3.2. IPE 600-as szelvény

ADATOK:



$$f_y = 335 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,81$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$b = 220 \text{ mm}$$

$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$t_w = 12 \text{ mm}$$

$$r = 24 \text{ mm}$$

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times r = 514 \text{ mm}$$

$$c = 0,5 \times b = 110 \text{ mm}$$

$$F = 1200 \text{ kN}$$

1.6. ábra IPE szelvény

Az osztályba sorolás alapja az y-y tengely körüli hajlítás, valamint egy 1200kN nagyságú tengely irányú nyomó erő.

Az öv besorolása:

$$\frac{c}{t_f} = \frac{110}{19} = 5,8 < 10 \times \varepsilon = 8,1 \rightarrow \text{1-es osztály.}$$

A gerinc besorolása:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{514}{12} = 42,8$$

Ez az érték kisebb a tiszta hajlítás esetén, a gerincre vonatkozó bármely határértéknél ( $72 \times \varepsilon = 58,3$ ), ugyanakkor tiszta nyomás esetén túllépi a 3-as osztályt ( $42 \times \varepsilon = 34$ ). A kérdés tehát: Melyik feszültségi eloszlást - a rugalmast, vagy a képlékenyt - lehet használni?

Tábl.:  
5.3.1(3)

Tábl.:  
5.3.1(1)

Először a teljesen képlékeny állapotot tételezzük fel.

Ekkor:

$$N_{sd} = d_N \times t_w \times f_y$$

$$\alpha \times d = (d + d_N) / 2$$

Ahol:

$$\alpha = \frac{1}{2} \times \left( 1 + \frac{d_N}{d} \right) = \frac{1}{2} \times \left( 1 + \frac{N_{sd}}{t_w \times f_y \times d} \right) = \frac{1}{2} \times \left( 1 + \frac{1200 \times 10^3}{12 \times 355 \times 514} \right) = 0,774$$

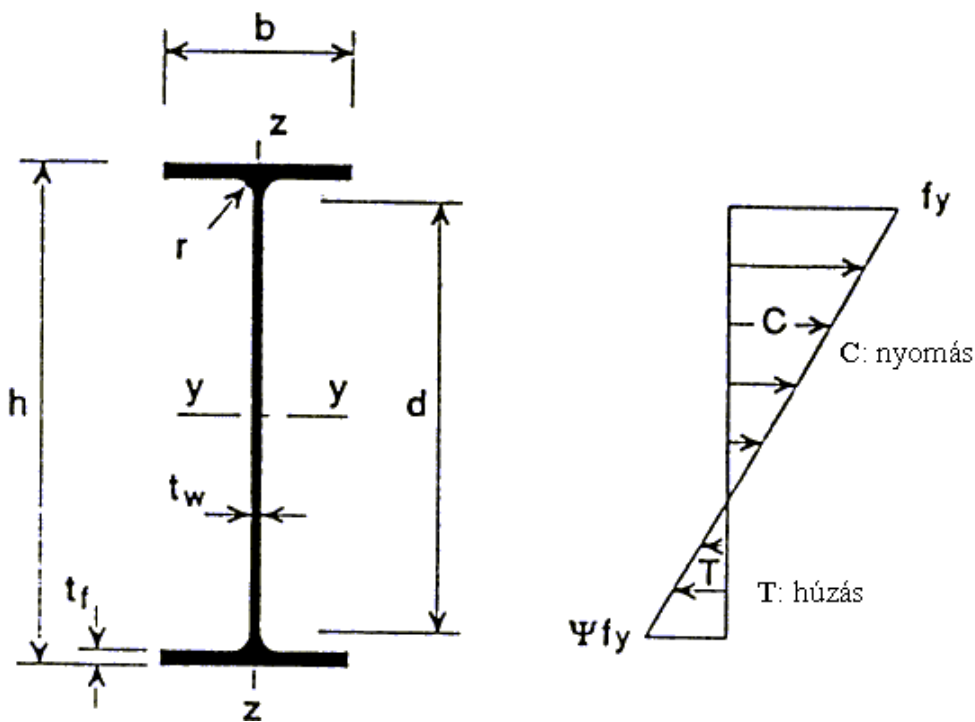
Megfigyelhető, hogy (d/t) arány a 2-es osztályra vonatkozó,

$$\frac{456 \times \varepsilon}{13 \times \alpha - 1} = 40,8$$

határértéket is túllépi.

Ez azt jelenti, hogy rugalmas feszültségi állapot lép fel.

Tábl.:  
5.3.1(1)



1.7. ábra Feszültségeloszlás

A feszültségeloszlást a gerincben úgy kell figyelembe venni, mint a szélső szál megfolyását nyomás hatására.

A feszültség aránya a hajlítási nyomatékhoz, megegyezik  $\sigma_b$ -vel. A gerinc szélső szálában a feszültségek az alábbi kifejezésekkel számítható:

Nyomás hatására:

$$f_y = \sigma_b + N_w / (d \times t_w) = \sigma_b + N_{sd} / A$$

$$\psi \times f_y = -\sigma_b + N_w / (d \times t_w) = -\sigma_b + N_{sd} / A$$

ahol:

$N_w$  - a tengely irányú erőnek a gerinc által felvett része, és

$$N_w = (A_w / A) \times N_{sd}$$

$$A_w = d \times t_w$$

$A$  - a keresztmetszeti terület a metszetben

A fenn említett két összefüggésből:

$$\psi = \frac{1}{f_y} \times \left( \frac{2 \times N_{sd}}{A} - 1 \right)$$

$$\psi = \frac{1}{355} \times \left( \frac{2 \times 1,2 \times 10^6}{15,6 \times 10^3} - 1 \right) = 0,431$$

$$\text{és } d / t_w \text{ (korlát)} = \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33 \times \psi} = \frac{42 \times 0,81}{0,67 + 0,33 \times (0,431)} = 41,9$$

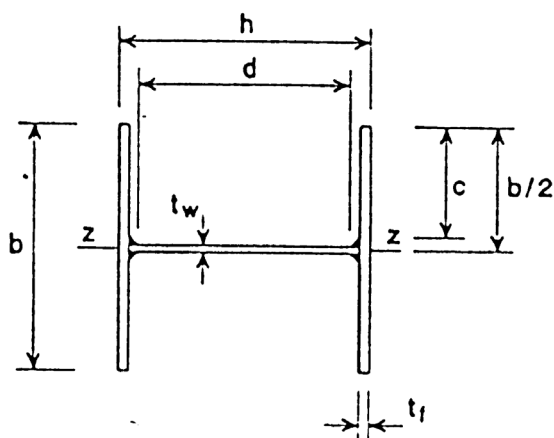
$$\frac{d}{t_w} = 48,8 > 41,9 \rightarrow 4\text{-es osztály.}$$

Így a keresztmetszet a 4-es osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.3.1(1)

### 1.3.3. Hegesztett szelvény

**ADATOK:**



- $f_y = 355 N / mm^2$
- $\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,81$
- $h = 300 mm$
- $b = 300 mm$
- $t_f = 12 mm$
- $t_w = 8 mm$
- $a = 6 mm$
- $c = 150 - \frac{8}{2} - 6 \times \sqrt{2} = 137,5 mm$
- $F = 300 kN$

1.8. ábra Hegesztett szelvény

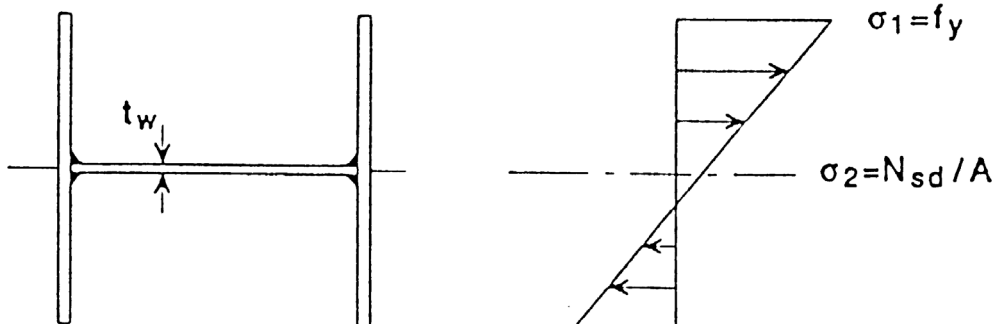
Az osztályba sorolás alapja a z-z tengely körüli hajlítás, valamint egy 300kN nagyságú tengely irányú nyomó erő.

Az öv besorolása:

Képlékeny feszültségi állapotot tételezve fel, az övekben - a nyomott zónában ébredő -  $f_y$ -nal arányos egyenletesen eloszló feszültség keletkezik.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{137,5}{12} = 11,46 > 14 \times \varepsilon = 11,34$$

Ez az érték túllépi a 3-as osztályra jellemző  $c_{lim}$ -t, azaz a  $14 \times \varepsilon = 11,34$ -et. Ez azt jelenti, hogy rugalmas állapotot kell figyelembe venni. Azaz a szélső szál nyomás hatására megfolyik.



1.9. ábra Feszültségeloszlás

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{300.000}{9.408 \times 355} = 0,09$$

$$k_\sigma = 0,57 - 0,21 \times \psi + 0,07 \times \psi^2 = 0,55$$

Az öv karcsúsága:

$$\frac{c}{t_f} = 11,46 < 21 \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma} = 21 \times 0,81 \times \sqrt{0,55} = 12,6 \rightarrow 3\text{-as osztály.}$$

A gerinc besorolása:

A gerinc nyomás alatt áll,

$$d = h - 2 \times t_f - 2 \times a \times \sqrt{2} = 300 - 2 \times 12 - 2 \times 6 \times \sqrt{2} = 259 \text{ mm}$$

és ennek karcsúsága:

$$\frac{d}{t_w} = \frac{259}{8} = 32,4$$

Ez kevesebb a 3-as osztály határértékénél ( $42 \times \varepsilon = 34,02$ ), de túllépi a 2-es osztályét ( $38 \times \varepsilon = 30,78$ ). Így a gerincet a 3-as osztályhoz tartozóként kell figyelembe venni.

A tartó ennek következtében a 3-as osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.3.3

Tábl.:  
5.3.1(3)

## 2. Helyi horpadás

### 2.1. A feladat

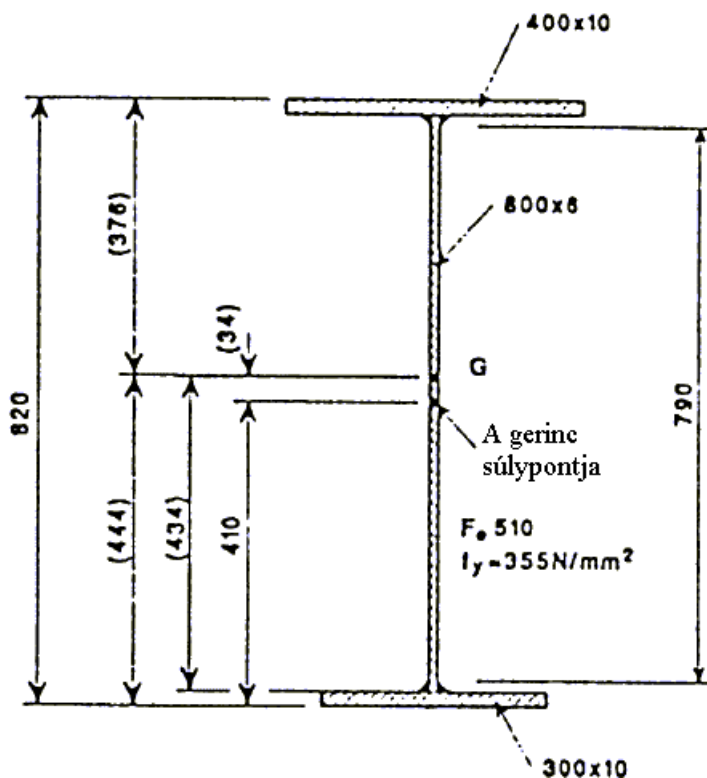
Három acél síklemezt, a gerinclemez tengelye körüli egyszerű szimmetriával összehegesztünk, hogy egy hegesztett I tartót alakíthassunk ki. Így a 2.1-es ábrán látható keresztmetszet fel tud venni az axiális erőt, vagy nyomatékot.

Az acélminőség S355-ös minden lemezre. A tervezési feszültség megegyezik a minimális folyási feszültséggel, azaz:

$$f_y = 355 \text{ N/mm}^2$$

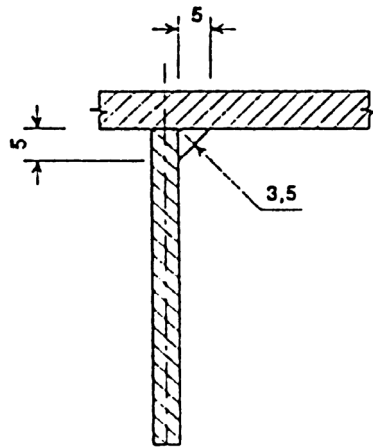
$$\varepsilon = \sqrt{235 / f_y} = 0,813$$

A feladat tehát: meghatározni az effektív (hatékony) keresztmetszeti tényezőkhöz szükséges értékeket, melyekkel az axiális erőhöz, és a nyomatékhoz tartozó ellenállás ellenőrizhető.



2.1. ábra Keresztmetszet

Megjegyzés: A zárójeles számok az 1.3.3-as feladat értékeiből származnak



2.2. ábra Sarokvarrat

## 2.2. Feltételezések

Tételezzük fel az alábbiakat:

- a. A szelvény tulajdonságainak számítása során, úgy mint: keresztmetszeti terület, inercia... a gerincet az övekhez kapcsoló sarokvarratot figyelmen kívül kell hagyni.
- b. Az öv és a gerinc kapcsolatánál lévő sarokvarratot, a 2-es ábrán látható módon egyenlő szárú háromszögekkel idealizáljuk. A gerinc tiszta hossza „d” az alsó, és felső hegesztés csúcsa közti belső távolság, 790mm.
- c. Ha a  $b/t$  arány túllépi a határértéket, akkor az Eurocode 3 [1] használandó.
- d. A tervezési kritérium szerint a tervezési folyási feszültség a legterheltebb öv súlypontjára, és nem a legnagyobb feszültségű szélső szálban keletkezik; így a szelvényre jellemző tényezőt ennek megfelelően kell kiszámítani.

[1] Eurocode 3: „Acélszerkezetek tervezése”: ENV 1993-1-1: 1.1-es rész: Általános szabályok, és építményekre vonatkozó szabályok, CEN, 1992



## 2.3. A teljes szelvény keresztmetszeti adatai

A teljes keresztmetszeti szelvényekhez tartozó lemezeket, azok névleges méreteivel kell figyelembe venni. A megfelelő számítások a 2.1-es ábrán bemutatott keresztmetszeti szelvényre vonatkoznak, és a következő szelvény adatokat tartalmazzák:

### 2.3.1. $A_g$ keresztmetszeti terület

$$A_g = (400 \times 10) + (300 \times 10) + (800 \times 6) = 11800 \text{ mm}^2$$

### 2.3.2. $z_g$ súlyponti távolság meghatározása

A súlypont helyzete a legszélső alsó szál helyzetének figyelembe vételével határozható meg.

$$z_g = \frac{[(4000 \times 815) + (4800 \times 410) + (3000 \times 5)]}{11800} = 444 \text{ mm}$$

### 2.3.3. Inercianyomaték az y-y tengelyre

$$I_{yy} = \left\{ \frac{[(400 \times 10^3) + (6 \times 800^3) + (300 \times 10^3)]}{12} + [4000 \times (376 - 5)^2] + \right. \\ \left. + [4800 \times (444 - 410)^2] + [3000 \times (444 - 5)^2] \right\} \times 10^{-4} = \\ = 139033 \text{ cm}^4$$

### 2.3.4. Keresztmetszeti tényező

A felső öv súlypontjára vonatkozó:

$$W_u = \frac{139033}{37,1} = 3747 \text{ cm}^3$$

Az alsó öv súlypontjára vonatkozó:

$$W_l = \frac{139033}{43,9} = 3167 \text{ cm}^3$$

## 2.4. Az effektív (hatékony) szelvény, axiális nyomásra

### 2.4.1. A szelvény keresztmetszeti osztályának meghatározása

A lemezelemek  $b/t$  arányai, az öv fél „ $c$ ” szélességének, valamint a gerinc alsó és felső nyakvarratai közötti „ $d$ ” tiszta hosszának a figyelembe vételével határozhatók meg. Tábl.: 5.3.1(3)

A felső övre:

$$c = 0,5 \times 400 = 200 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{200}{10} = 20$$

Az alsó övre:

$$c = 0,5 \times 300 = 150 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{150}{10} = 15$$

A gerincre:

$$d = 800 - 5 - 5 = 790 \text{ mm}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{790}{6} = 131,7$$

A  $b/t$  arányok határértékei a 3-as keresztmetszeti osztályra:

$$\text{Az övekre: } (c/t)_{\text{lim}} = 15 \times \varepsilon = 12,2$$

$$\text{A gerincre: } (d/t)_{\text{lim}} = 42 \times \varepsilon = 34,2$$

A lemezelemekre vonatkozó határértékeket minden lemezelemre vonatkozó érték meghaladja. Emiatt a szelvény a 4-es keresztmetszeti osztályba tartozik, és minden lemez keresztmetszeti szelvényét redukálni kell. Tábl.: 5.3.1(1)

### 2.4.2. Az effektív (hatékony) szélesség meghatározása

A lemezek nyomott zónáinak  $\rho$  hatékonysága kiszámítható: 5.3.5(3)

$$\rho = \frac{(\bar{\lambda}_p - 0,22)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1$$

ahol a lemez  $\bar{\lambda}_p$  normalizált karcsúságának számítása: 5.3.5(3)

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\left(\frac{c}{t}\right)}{28,4 \times \varepsilon \times \sqrt{k_\sigma}}$$

A felső övre:

$$\frac{c}{t} = 20; k_\sigma = 0,43 \rightarrow \bar{\lambda}_p = 1,32$$

$$\rho = 0,631$$

$$b_{eff} = 0,631 \times 400 = 253mm$$

Az alsó övre:

$$\frac{c}{t} = 15; k_\sigma = 0,43 \rightarrow \bar{\lambda}_p = 0,99$$

$$\rho = 0,786$$

$$b_{eff} = 0,786 \times 300 = 236mm$$

A gerincre:

$$\frac{d}{t} = 131; k_\sigma = 4 \rightarrow \bar{\lambda}_p = 2,84$$

$$\rho = 0,325$$

$$h_{eff} = (0,325 \times 790) + 5 + 5 = 268mm$$

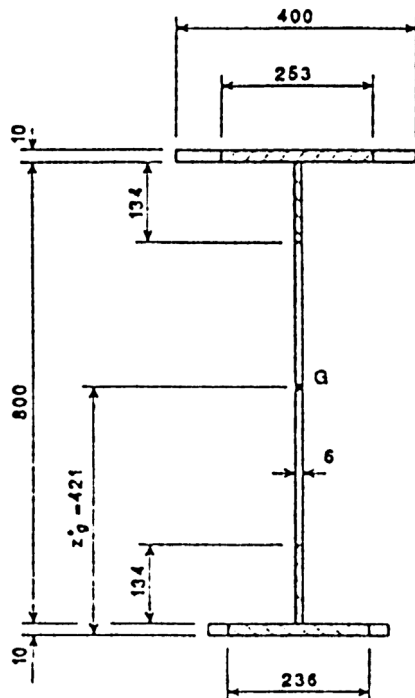
(Mindkét övnél 134mm-es, egyenlő részeket figyelembe véve.)

Tábl.:  
5.3.3

Tábl.:  
5.3.2

### 2.4.3. Keresztmetszeti adatok

Az effektív (hatékony) keresztmetszet a 2.3-as ábrán szerepel, az adatok megegyeznek a 2.4.2-es fejezetben ismerttetettekkel.



2.3. ábra Az effektív (hatékony) keresztmetszet axiális nyomásra

### 2.4.4. $A_{\text{eff},N}$ keresztmetszeti terület

$$A_{\text{eff},N} = (253 \times 10) + (268 \times 6) + (236 \times 10) = 6498 \text{ mm}^2$$

### 2.4.5. $z_g$ súlyponti távolság meghatározása

$$z_{g,N} = \frac{[(2530 \times 815) + (1608 \times 410) + (2360 \times 5)]}{6498} = 421 \text{ mm}$$

### 2.4.6. A súlypont eltolódása

$$e_N = z_g - z_{g,N} = 444 - 421 = 23 \text{ mm}$$

Ez az eltolódás egy másodlagos hajlítási nyomatékot okoz:

$$\Delta M = N_{sd} \times e_N$$

ami az  $M_{sd}$  értékét növeli.

## 2.5. Effektív (hatékony) szelvény hajlításra

### 2.5.1. A szelvény osztályának meghatározása

A lemez  $b/t$  arányát a 2.4.1-es fejezet mutatja

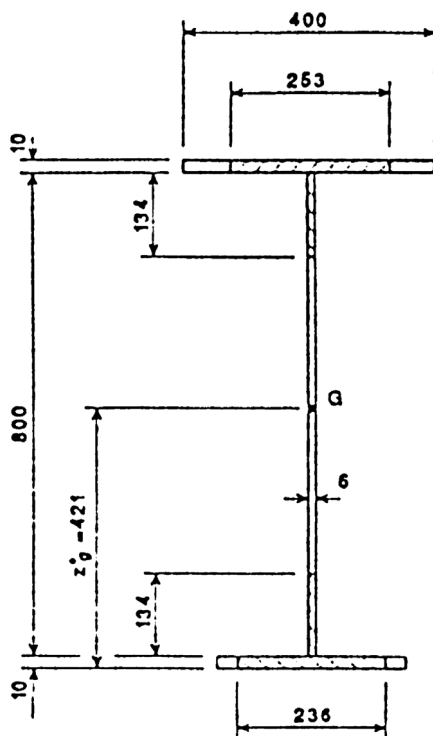
A 3-as osztályú nyomott övre vonatkozó határérték:

$$\left(\frac{c}{t}\right)_{\text{lim}} = 15 \times \varepsilon = 12,2$$

amit az öv lemezaránya meghalad. Az övszelvény így a 4-es osztályba tartozik, mert a hajlító merevséget legnagyobb mértékben az övek adják. Ajánlott először - a szelvény magassága menti feszültségeloszlás számítása előtt - redukálni a nyomott övet, és különös képen a feszültségarányt a gerincben, melynek  $(d/t)_{\text{lim}}$  határértéke a gerinctől függ.

A nyomott öv effektív (hatékony) szélességét a 2.4.2-es fejezet mutatja.

$$b_{\text{eff}} = 253\text{mm}$$



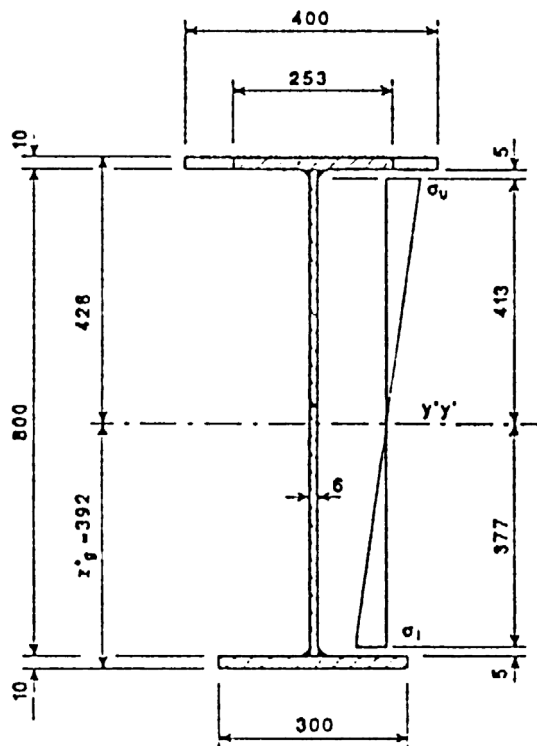
2.4. ábra Keresztmetszet a gerinc feszültség arányának megállapításához

A keresztmetszetet a 2.4-es ábrán meghatározott gerinc feszültség arálynak megfelelően kell figyelembe venni. A keresztmetszet területe  $10330\text{mm}^2$ , és a súlypontja az alsó szélő száltól  $392\text{mm}$ -re helyezkedik el. Az ábrán látható  $\sigma_1$ ,

Tábl.:  
5.3.1(3)

és  $\sigma_u$  feszültségek arányosak a súlyponttól mért távolságokkal. Így a gerinc  $\Psi$  feszültség aránya a következő:

$$\Psi = \frac{\sigma_l}{\sigma_u} = -\frac{377}{413} = -0,913$$



2.5. ábra A gerinc feszültség arányának megállapításához alkalmazott keresztmetszet

A 3-as keresztmetszeti osztály gerinchez tartozó  $(d/t)_{lim}$  határértéke az alkalmazott  $\Psi$  értékre:

Tábl.:  
5.3.1(1)

$$\frac{42 \times \varepsilon}{0,64 + 0,33 \times \Psi} = 93$$

Ezt a határértéket jelentősen meghaladja a  $(d/t)=131,7$  értéket, így a szelvény tehát a 4-es keresztmetszeti osztályba tartozik, és a gerincet is redukálni kell.

### 2.5.2. Az effektív (hatékony) szélességek meghatározása

A nyomott öv effektív (hatékony) szélességeit a 2.4.2-es fejezetben már kiszámítottuk. A húzott öv teljes mértékben hatékony (a nyírófeszültség hatása elhanyagolható). Így figyelembe véve a gerincre ható nyomás, és hajlítás kombinációját,  $\Psi$  feszültségi aránnyal jellemezhető, első közelítésként  $\Psi=-0,913$ .

A gerinclemezre vonatkozó horpadási együttható:

Tábl.:  
5.3.2

$$k_{\sigma} = 7,81 - 6,29 \times \Psi + 9,78 \times \Psi^2 = 21,7$$

amiből a gerinc normalizált karcsúsága:

5.3.5(3)

$$\bar{\lambda} = 1,22$$

valamint a gerinc hatékonysági tényezője:

5.3.5(3)

$$\rho = \frac{(1,22 - 0,22)}{1,22^2} = 0,672$$

Ez a hatékonysági tényező nyomófeszültség esetén érvényes a  $d_c$  magasság  $d_c$  részére. A nyomott zóna következésképpen az alábbi magasság esetén hatékony:

$$(d_c)_{eff} = 0,672 \times 413 = 278mm \quad (A \text{ veszteség} = 413 - 278 = 135mm.)$$

amit szétosztunk a legjobban, és legkevésbé nyomott szálakra:

Tábl.:  
5.3.2

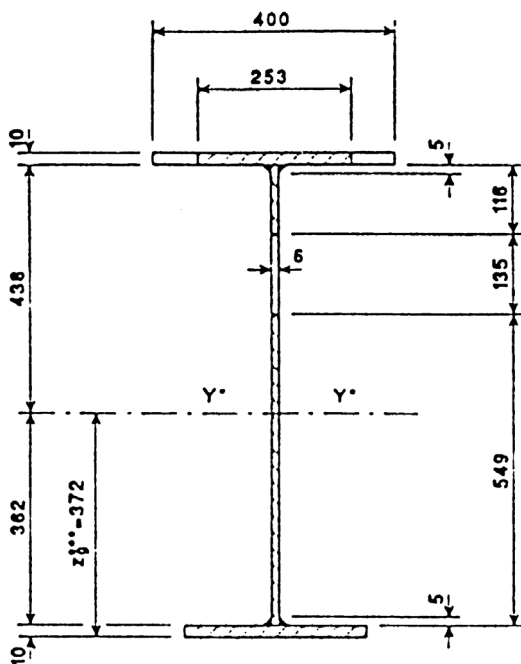
$$(d_c)_{eff,u} = 0,4 \times 278 = 111mm$$

$$(d_c)_{eff,l} = 0,6 \times 278 = 167mm$$

A  $(d_c)_{eff,u}$  távolság a felső nyakvarrattól csúcsától mérendő.

### 2.5.3. Szelvény adatok

Az effektív (hatékony) keresztmetszet a 2.6-os ábrán szerepel, megegyezve a 2.5.2-es fejezet adataival.



2.6. ábra Effektív (hatékony) keresztmetszet hajlításra

**2.5.4.  $A_{\text{eff},M}$  keresztmetszeti terület**

$$A_{\text{eff},M} = (253 \times 10) + [(116 + 549) \times 6] + (300 \times 10) = 9520 \text{ mm}^2$$

**2.5.5.  $z_{g,M}$  súlyponti távolság meghatározása**

$$z_{g,M} = \frac{[(2530 \times 815) + (696 \times 752) + (3294 \times 284,5) + (3000 \times 5)]}{9520} = 372 \text{ mm}$$

**2.5.6. Az inercianyomaték az y-y tengelyre**

$$I_{y,y''} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{[(253 \times 10^3) + (6 \times 116^3) + (6 \times 549^3) + (300 \times 10^3)]}{12} + \\ + [2530 \times 443^2] + [696 \times (438 - 58)^2] + \\ + [3294 \times (362 - 274,5)^2] + [3000 \times 367^2] \end{array} \right\} \times 10^{-4} =$$

$$= 110986 \text{ cm}^4$$

**2.5.7. Keresztmetszeti tényező**

A felső öv súlypontjától számítva.

$$W_u = \frac{110986}{44,3} = 2505 \text{ cm}^3$$

Az alsó öv súlypontjától számítva.

$$W_l = \frac{11986}{36,7} = 3024 \text{ cm}^3$$

**2.5.8. További lehetséges javítás**

A 2.5.3-as fejezetben meghatározott effektív (hatékony) szelvényhez alkalmazható egy második  $\Psi$  feszültség arány is.

$$\Psi = \frac{362 - 5}{438 - 5} = 0,82$$

A feszültség arány javított értékeivel:

$$k_\sigma = 19,7$$

$$\bar{\lambda} = 1,28$$

$$\rho = 0,647$$

$$(d_c)_{\text{eff}} = 0,647 \times 433 = 280 \text{ mm}$$

Tábl.:  
5.3.2  
5.3.5(3)



Az előbbi értéktől (278mm) való eltérés, a további számítások folyamán nem jelent számottevő különbséget.

### **3. Húzott szerkezeti elemek I.**

#### **BEVEZETŐ MEGJEGYZÉSEK**

Minden számítás igazodik az Eurocode 3-hoz [1].

A húzott szerkezeti elemek általában a szerkezet részeihez nyírt kapcsolattal kapcsolódnak, a következő tönkremeneteli lehetőségek figyelembe vételével:

- a. a csavarok nyírási ellenállása;
- b. a súrlódási ellenállás a kapcsolat síkjában;
- c. a kapcsolódó elemek palástnyomási ellenállása.

A csavarlyukak elhelyezése alkalmazkodik az Eurocode 3 [1] 6.5.1-es fejezetéhez.

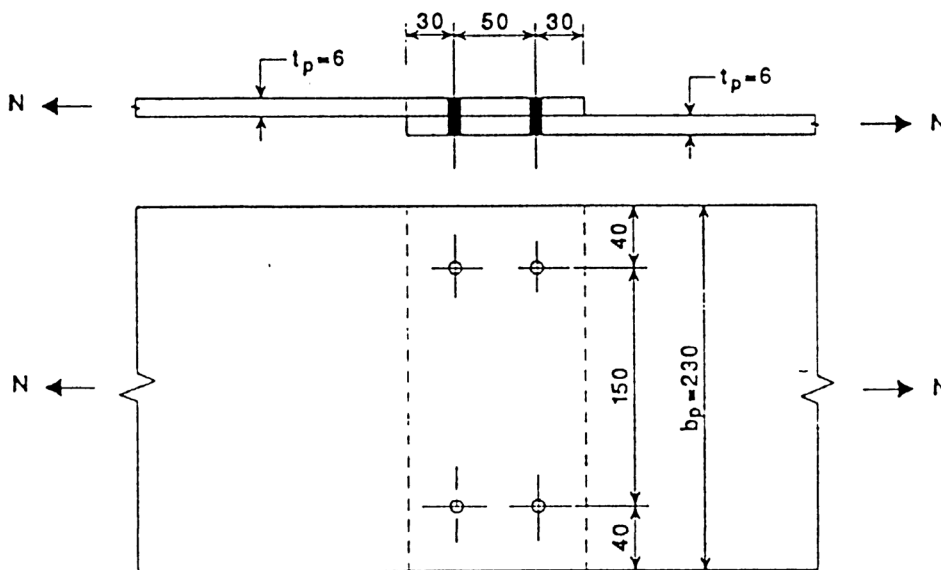
[1] Eurocode 3: „Acélszerkezetek tervezése”: ENV 1993-1-1: 1.1-es rész: Általános szabályok, és építményekre vonatkozó szabályok, CEN, 1992

### 3.1. Lemezek nyírt kapcsolatainak vizsgálata merőleges lyukkiosztás, valamint A, B és C kategóriájú csavarozott kapcsolatok szerint

#### 3.1.1. A feladat

A következő elemek tervezési húzási ellenállásának kiszámítása az alábbiak alapján:

- a. 10.9-es előteher nélküli csavarok („A” kategóriához kapcsolódó palástnyomásra működő nyírási kapcsolat.) 6.5.3.1
- b. 10.9-es előterhelt csavarok ellenőrzött előfeszítéssel („B” kategóriához kapcsolódó, használati határállapotban megcsúszásmentes nyírási kapcsolat.)
- c. 10.9-es előterhelt csavarok ellenőrzött előfeszítéssel („C” kategóriához kapcsolódó, használati határállapotban megcsúszásmentes nyírási kapcsolat.)



3.1. ábra Csavarozott kapcsolat

**3.1.2. Adatok**

- Fe 360-as acél
- Csavarok névleges átmérője:  $d_b = 16\text{mm}$
- Csavarlyukak névleges átmérője:  $d_0 = 18\text{mm}$

**3.1.3. Megoldás**

Az egyes részekben a húzóerő tervezési értéke  $N_{Sd}$  nem lehet nagyobb a teljes (gyengítetlen) keresztmetszetre vonatkozó tervezési húzási ellenállásnál  $N_{t,Rd}$ .

- a. Az „A” kategóriához tartozó nyírási kapcsolat esetén  $N_{t,Rd}$  értéke 5.4.3(1) megegyezik,  $N_{pl,Rd}$ , és  $N_{u,Rd}$  értékek közül a kisebbikkel.

A teljes (gyengítetlen) szelvények  $N_{pl,Rd}$  tervezési képlékeny ellenállásának 5.4.3(1) számítása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol a teljes (gyengítetlen) keresztmetszet: 5.4.2.1

$$A = b_p \times t_p = 230 \times 6 = 1380\text{mm}^2$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{1380 \times 235}{1,1} = 294,8 \times 10^3 \text{ N} = 294,8\text{kN}$$

A hasznos (gyengített) keresztmetszet  $N_{u,Rd}$  tervezési teherbírási 5.4.3(1) ellenállásának számítása:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

ahol a hasznos (gyengített) keresztmetszet: 5.4.2.1

$$A_{net} = (b_p - 2 \times d_0) \times t_p = (230 - 2 \times 18) \times 6 = 1164 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times 1164 \times 360}{1,25} = 301,7 \times 10^3 \text{ N} = 301,7 \text{ kN}$$

Eszerint a keresztmetszet  $N_{t,Rd}$  tervezési húzási ellenállása megegyezik:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = 294,8 \text{ kN}$$

Ha megfelelő nyúlóképesség szükséges, akkor az  $N_{pl,Rd}$  tervezési képlékeny ellenállásnak kisebbnek kell lennie a hasznos keresztmetszet  $N_{u,Rd}$  tervezési teherbírási ellenállásnál. 5.4.3(4)

$$N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$$

Jelen esetben ez a feltétel teljesül.

- b. „B” kategóriába tartozó nyírási kapcsolat esetén a csúszás utáni teherbírési határállapot maradó súrlódási ellenállása korlátozott, és a gyakorlatban elhanyagolható. A szerkezeti elemek tervezési húzási ellenállásának számítása megegyezik az „A” kategóriába sorolható nyírt kapcsolatok számításaival.

Így  $N_{t,Rd}$  :

$$N_{t,Rd} = 294,8 \text{ kN}$$

A megfelelő nyúlóképességű viselkedés követelményei megegyeznek az „A” kategóriájú nyírási kapcsolatével.

- c. „C” kategóriába tartozó nyírási kapcsolat esetén a csúszási ellenállást a teherbírési határállapokra kell tervezni, s a hasznos (gyengített) keresztmetszetet az alábbi módon kell figyelembe venni: 5.4.3(2)

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol:

$$A_{net} = 1164 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$N_{Net,Rd} = \frac{1164 \times 235}{1,1} = 248,7 \times 10^3 \text{ N} = 248,7 \text{ kN}$$

A szerkezeti elem teherbírási ellenállása:

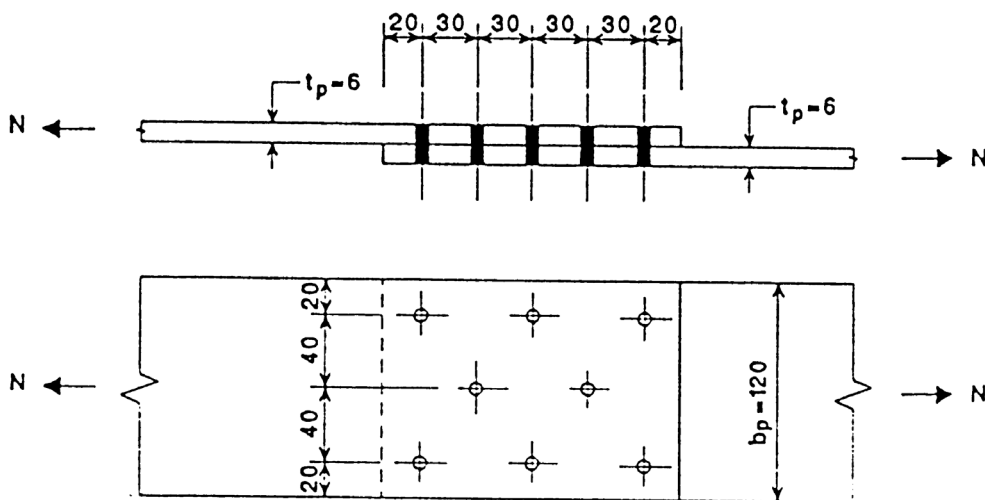
$$N_{t,Rd} = N_{Net,Rd} = 248,7 \text{ kN}$$

Minden tönkremeneteli forma megfelelő nyúlóképességű.

### 3.2. Lemezek átlósan eltolts csavarkiosztással

#### 3.2.1. A feladat

Kiszámítandó az alábbi feszítetlen, 8.8-as csavarokkal összekötött kapcsolat tervezési húzási ellenállása.



3.2. ábra Átlósan eltolts kiosztású csavarozott kapcsolat

#### 3.2.2. Adatok

- S355-ös acél
- Csavarok névleges átmérője  $d_b = 12\text{mm}$
- Csavarlyukak névleges átmérője  $d_0 = 13\text{mm}$

#### 3.2.3. Megoldás

Az egyes részeken az  $N_{sd}$  tervezési húzóerő nem lehet nagyobb a teljes keresztmetszetre vonatkozó  $N_{t,Rd}$  tervezési húzási ellenállásnál.

Az „A” kategóriához tartozó nyírási kapcsolat esetén  $N_{t,Rd}$  értéke megegyezik,  $N_{pl,Rd}$ , és  $N_{u,Rd}$  értékek közül a kisebbikkel.

- A teljes szelvények  $N_{pl,Rd}$  tervezési képlékeny ellenállásának számítása: 5.4.3(1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol a teljes (gyengítetlen) keresztmetszet:

5.4.2.1

$$A = b_p \times t_p = 120 \times 6 = 720 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{720 \times 355}{1,1} = 2323,6 \times 10^3 \text{ N} = 2324 \text{ kN}$$

- A hasznos (gyengített) keresztmetszet  $N_{u,Rd}$  tervezési teherbírási ellenállásának számítása: 5.4.3(1)

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

ahol:

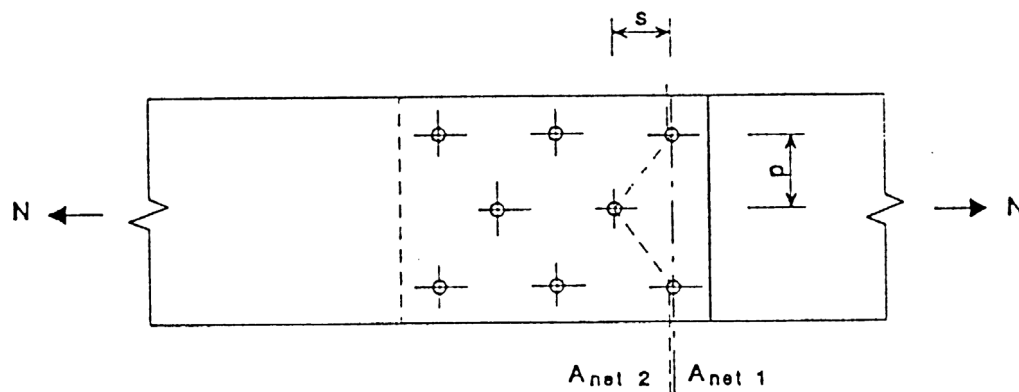
$A_{net}$  : a hasznos keresztmetszet területe

5.4.2.2

$$f_u = 510 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Ebben az esetben két kritikus hasznos keresztmetszetet különböztethetünk meg (lásd a 3.3-as ábrán), s mind a kettő viseli a teljes N húzóerőt



3.3 ábra Átlósan eltolt kiosztású csavarozott kapcsolat hasznos keresztmetszetei



$$A_{net,1} = (b_p - 2 \times d_0) \times t_p = (120 - 2 \times 13) \times 6 = 654 \text{ mm}^2$$

5.4.2.2(4)

$$A_{net,2} = \left( b_p - 3 \times d_0 + \frac{2 \times s^2 \times t_p}{4 \times p} \right) \times t_p =$$

$$= \left( 120 - 3 \times 13 + \frac{2 \times 30^2 \times 6}{4 \times 40} \right) \times 6 = 891 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = \min(A_{net,1}; A_{net,2}) = A_{net,1} = 564 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \times 564 \times 510}{1,25} = 207,1 \times 10^3 \text{ N} = 207,1 \text{ kN}$$

- Eszerint a keresztmetszet  $N_{t,Rd}$  tervezési húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 207,1 \text{ kN}$$

Megfelelő nyúlóképességű viselkedés esetén:

5.4.3(4)

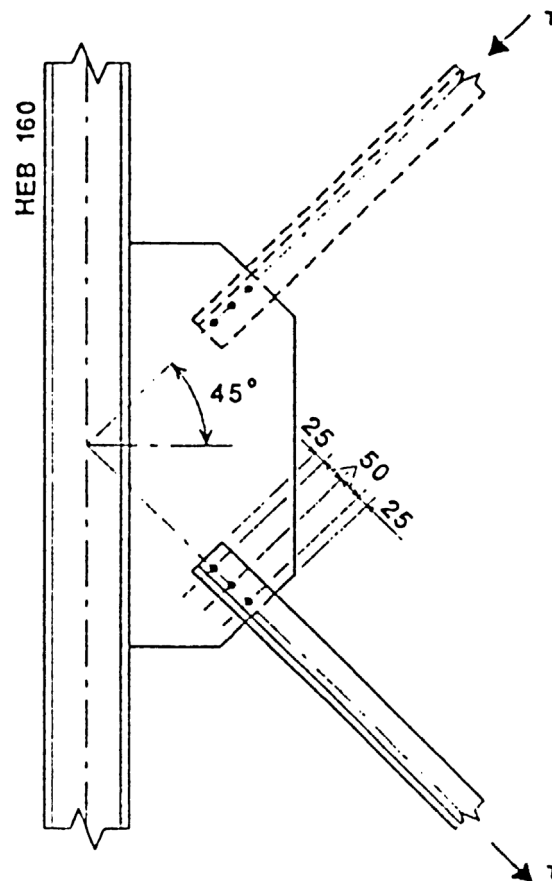
$$N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$$

Jelen esetben ez a feltétel nem teljesül.

### 3.3. Szögacél bekötése egyik szárán

#### 3.3.1. A feladat

Az alábbi elemek tervezési húzási ellenállásának kiszámítása a feladat:



3.4. ábra Szögacél bekötése

**3.3.2. Adatok**

- Fe 360-as acél
- 50x50x6-os szögacél
- Csavarok névleges átmérője  $d_b = 12\text{mm}$
- Csavarlyukak névleges átmérője  $d_0 = 13\text{mm}$
- Nem előterhelt 8.8-as csavarok

**3.3.3. Megoldás**

Az egyes szerkezeti elemekben a húzóerő tervezési értéke  $N_{sd}$  nem lehet nagyobb a teljes keresztmetszetre vonatkozó  $N_{t,Rd}$  tervezési húzási ellenállásnál.

Az „A” kategóriához tartozó nyírási kapcsolat esetén  $N_{t,Rd}$  értéke 5.4.3(1) megegyezik,  $N_{pl,Rd}$ , és  $N_{u,Rd}$  értékek közül a kisebbikkel.

- A teljes szelvény  $N_{pl,Rd}$  tervezési képlékeny ellenállásának számítása: 5.4.3(1)

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol:

$$f_y = 235 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M0} = 1,1$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{569 \times 235}{1,1} = 121,6 \times 10^3 \text{ N} = 121,6 \text{ kN}$$

$A = 569 \text{ mm}^2$  a teljes keresztmetszet területe 5.4.2.1  
6.6.10

- A hasznos keresztmetszet  $N_{u,Rd}$  tervezési teherbírás ellenállásának számítása: 5.4.3(1)  
6.5.2.3  
6.6.10

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \times A_{net} \times f_u}{\gamma_{M2}}$$

ahol:

Tábl.:  
6.5.1

$$\beta_3 = 0,5 + \frac{0,7 - 0,5}{5,0 - 2,5} \times \left( \frac{p_1}{d} - 2,5 \right) = 0,5 + \frac{0,7 - 0,5}{5,0 - 2,5} \times \left( \frac{50}{13} - 2,5 \right) = 0,608$$

$$A_{net} = A - d_0 \times t_a = 569 - 13 \times 6 = 491 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,608 \times 491 \times 360}{1,25} = 86,0 \times 10^3 \text{ N} = 86 \text{ kN}$$

- Eszerint a keresztmetszet  $N_{t,Rd}$  tervezési húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 86 \text{ kN}$$

Megfelelő nyúlóképességű viselkedés esetén:

$$N_{pl,Rd} < N_{u,Rd}$$

Jelen esetben ez a feltétel nem teljesül.

5.4.3(4)

## 4. Húzott szerkezeti elemek II.

### BEVEZETŐ MEGJEGYZÉSEK

A kötél teherbírásának ellenőrzése megegyezik a tervezési gyakorlattal, a kötélben ébredő - használati terhek esetén, a húzási szilárdság (szakító erő) biztonsági tényezővel csökkentett értékével azonos - húzó erő korlátozásával.

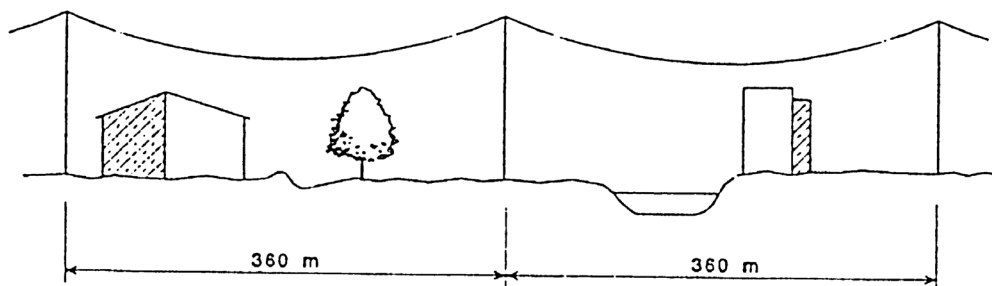
### 4.1. Elektromos távvezeték vezető kábelének vizsgálata

#### 4.1.1. A feladat

Az elektromos kábel egy nyitott spirális fonású kábel, a névleges átmérője 12mm, a tartóoszlopok távolsága 360m. A kábel alatt található házak miatt, a kábelbelógás maximális értéke 17m.

A kábelt a szerelés során ( $t=15^{\circ}\text{C}$ ) 15m-es belógással rögzítik. Ellenőrzendő a belógás, és a kábel teherviselése az alábbi két tervezési állapotban:

- Téli időszak: A kábel önsúllyal, és a kábelt körülvevő jéggel terhelve. ( $t=-5^{\circ}\text{C}$ ).
- Nyári időszak: A kábel önsúllyal terhelt, magas hőmérséklet mellett. ( $t=15^{\circ}\text{C}$ ).



4.1. ábra Elektromos távvezeték

**4.1.2. Adatok**Kábel:

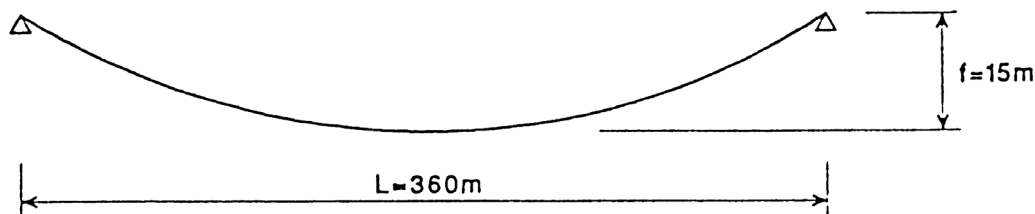
- Névleges kábelátmérő: 12mm
- Fémes keresztmetszeti terület:  $A_m = 84,1\text{mm}^2$
- Rugalmassági modulus:  $E = 150 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$
- Egységnyi hossza vonatkoztatott önsúly:  $q_w = 0,698 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- $1570 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  szilárdságú kábel esetén, a sodrony szakítóereje:  $F_u = 119\text{kN}$
- $\alpha$  hőtágulási együttható:  $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} \frac{1}{^\circ\text{C}}$

Jég:

- Egységnyi hossza vonatkoztatott önsúly:  $q_{ice} = 1,206 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- (2cm jég  $-5^\circ\text{C}$  -on; 180 Pa -os szél, és a jég sűrűsége  $0,6 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$ )

Az ellenállás ellenőrzésének biztonsági tényezői:

- $s=3$  nyári időszakban
- $s=2$  téli időszakban

**4.1.3. Megoldás**

4.2. ábra A kábel

Ebben a feladatban egy tartóoszlop csak a rajta folyamatosan átfutó egy-egy kábel okozta függőleges erőket veszi fel, (tehát nincsenek transzverzálisan horizontális erők).

Következésképp a szélső kábeleket horizontális irányban rögzítettként kell figyelembe venni.

A lelógás, és a húzóerő az alábbi egyenletek segítségével számíthatóak:

$$\frac{\sigma}{E} + \alpha \times t - \frac{L^2 \times \gamma^2}{24 \times \sigma^2} = \text{állandó}$$

ahol:

- $t$  : a hőmérséklet
- $E$  : rugalmassági modulus
- $\alpha$  : a kábel hőtágulási együtthatója
- $\gamma$  : a kábel fajlagos súlya, téli időszakban ez tartalmazza a jeget is.

A fenti egyenletben szereplő „állandó” a 15°C-os referencia állapot tanulmányozásával határozható meg.

#### a. A 15°C-os referencia állapot vizsgálata

##### A szélső kábel H húzóerejének meghatározása



4.3. ábra A kábel húzóereje

$$\frac{f}{L} = \frac{1}{24} < \frac{1}{20} \rightarrow \text{használható a parabola egyenlet (a láncgörbe helyett)}$$

$$H = \frac{q \times L^2}{8 \times f} = \frac{0,698 \times 10^{-3} \times 9,81 \times (360 \times 10^3)^2}{8 \times 15 \times 10^3} = 7,4 \times 10^3 \text{ N} = 7,4 \text{ kN}$$

##### A kábel $\sigma$ feszültségének számítása

$$\sigma = \frac{H}{A_m} = \frac{7,4 \times 10^3}{84,1} = 87,9 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

##### A kábel ellenállásának ellenőrzése

Az ellenállás elégséges feltétele:

$$H < \frac{F_u}{S}$$

Jelen esetben:

$$H = 7,4kN$$

$$\frac{F_u}{s} = \frac{119}{3} = 39,7kN \rightarrow \text{a feltétel kielégített}$$

A „konstans” meghatározása

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{E} + \alpha \times t - \frac{L^2 \times \gamma^2}{24 \times \sigma^2} &= \\ &= \frac{87,9}{150 \times 10^3} + 1,2 \times 10^{-5} \times 15 - \frac{\left(360 \times 10^3 \times 0,698 \times 10^{-3} \times \frac{9,81}{84,1}\right)^2}{24 \times 87,9^2} = \\ &= -3,864 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

**b. A 40°C-os nyári állapot vizsgálata**

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{E} + \alpha \times t - \frac{L^2 \times \gamma^2}{24 \times \sigma^2} &= \\ &= \frac{\sigma}{150 \times 10^3} + 1,2 \times 10^{-5} \times 40 - \frac{\left(360 \times 10^3 \times 0,698 \times 10^{-3} \times \frac{9,81}{84,1}\right)^2}{24 \times \sigma^2} = \\ &= \frac{\sigma}{150 \times 10^3} + 4,8 \times 10^{-4} - \frac{35,8}{\sigma^2} \end{aligned}$$

Nyári állapotban a kábel  $\sigma$  feszültségének számítása

$$\frac{\sigma}{150 \times 10^3} + 4,8 \times 10^{-4} - \frac{35,8}{\sigma^2} = -3,864 \times 10^{-3}$$

Ebből  $\sigma = 85,4 \frac{N}{mm^2}$ , azaz a hőmérséklet emelkedésével a feszültség csökken.

A kábel ellenállásának ellenőrzése

$$H = \sigma \times A_m = 85,4 \times 84,1 = 7,2 \times 10^3 N = 7,2kN < \frac{F_u}{s} = \frac{119}{3} = 39,7kN$$

→OK.

A kábel belógásának ellenőrzése



$$f = \frac{q \times L^2}{8 \times H} = \frac{0,698 \times 10^{-3} \times 9,81 \times (360 \times 10^3)^2}{8 \times 7,2 \times 10^3} = 15,407 \times 10^3 \text{ mm} = 15,41 \text{ m}$$

azaz a hőmérséklet emelkedésével a kábelbelógás is nő.

$$f < f_{\max}(17 \text{ m}) \rightarrow \text{OK.}$$

$$\frac{f}{L} = \frac{15,41}{360} = \frac{1}{23,4} < \frac{1}{20} \rightarrow \text{parabola OK.}$$

### c. A -5°C-os téli állapot vizsgálata

$$\gamma = \gamma_w + \gamma_{ice}$$

$$\begin{aligned} \frac{\sigma}{E} + \alpha \times t - \frac{L^2 \times \gamma^2}{24 \times \sigma^2} &= \\ &= \frac{\sigma}{150 \times 10^3} + 1,2 \times 10^{-5} \times (-5) - \frac{\left(360 \times 10^3 \times (0,698 + 1,206) \times 10^{-3} \times \frac{9,81}{84,1}\right)^2}{24 \times \sigma^2} = \\ &= \frac{\sigma}{150 \times 10^3} - 6 \times 10^{-5} - \frac{266,5}{\sigma^2} \end{aligned}$$

Téli állapotban a kábel  $\sigma$  feszültségének számítása

$$\frac{\sigma}{150 \times 10^3} - 6 \times 10^{-5} - \frac{266,5}{\sigma^2} = -3,864 \times 10^{-3}$$

Ebből  $\sigma = 223,1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ , azaz a hőmérséklet csökkenésével, valamint a jég súlyának a hozzáadásából a feszültség nő.

A kábel ellenállásának ellenőrzése

$$H = \sigma \times A_m = 223,1 \times 84,1 = 18,8 \times 10^3 \text{ N} = 18,8 \text{ kN} < \frac{F_u}{s} = \frac{119}{2} = 59,5 \text{ kN}$$

$\rightarrow$ OK

A kábel belógásának ellenőrzése

$$\begin{aligned} f &= \frac{q \times L^2}{8 \times H} = \frac{(0,698 + 1,206) \times 10^{-3} \times 9,81 \times (360 \times 10^3)^2}{8 \times 18,8 \times 10^3} = \\ &= 16,1 \times 10^3 \text{ mm} = 16,1 \text{ m} \end{aligned}$$

azaz a hőmérséklet csökkenésével, valamint a jég súlyának hozzáadásával a

kábelbelógás nő.

$$f < f_{\max}(17m) \rightarrow \text{OK.}$$

$$\frac{f}{L} = \frac{16,1}{360} = \frac{1}{22,4} < \frac{1}{20} \rightarrow \text{parabola OK.}$$

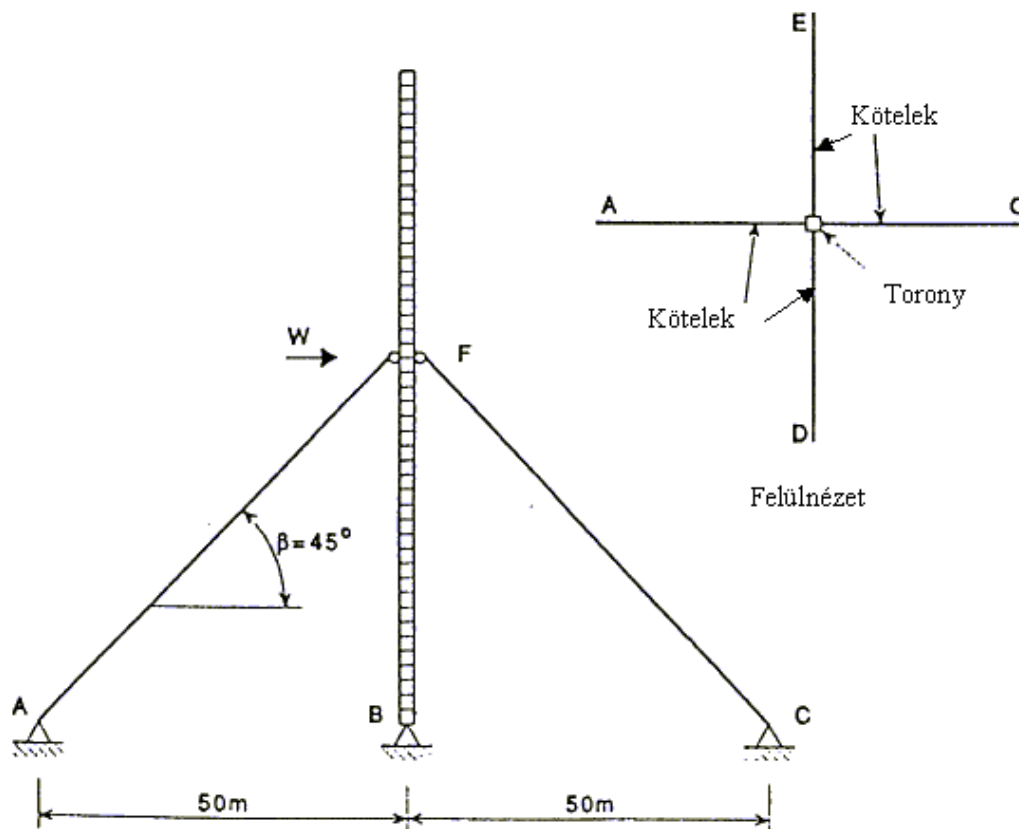
## 4.2. Kikötött torony vizsgálata

### 4.2.1. A feladat

Az alábbi antennatorony négy megfeszített sodronykötéllal van kikötve. Meghatározandó az antennatorony keresztirányú elmozdulása szél hatására a sodronyok végeinél.

Egyszerűsítő feltételek:

- Csak egy irányú szelet vegyük figyelembe. (Lásd az ábrán.)
- A szél hatását az antennatoronyra merőlegesen, a sodrony végénél, egy  $W=80\text{kN}$ -os erővel kell figyelembe venni.



4.4. ábra Kikötött torony

### 4.2.2. Adatok

Kábel:

- Névleges kábelátmérő: 30mm
- Fémes keresztmetszeti terület:  $A_m = 524\text{mm}^2$
- Rugalmassági modulus:  $E = 160 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}$
- Egységnyi hossza vonatkoztatott önsúly:  $q = 4,35 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$
- $1770 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  szilárdságú kábel esetén, a sodrony szakítóereje:  $F_u = 817\text{kN}$
- Kezdeti feszítőszilárdság:  $\sigma_0 = 200 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

A teherviselés ellenőrzésének biztonsági tényezője:

- $s=3$

### 4.2.3. Megoldás

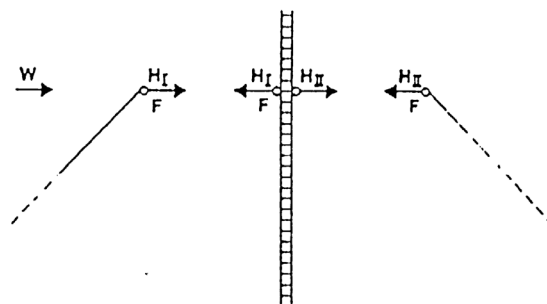
Amikor az antennatoronyra a W szélró hat.

- Az AF sodrony túlfeszített:  $\sigma_0 \rightarrow \sigma_I > \sigma_0$
- A CF sodrony kevésbé feszített:  $\sigma_0 \rightarrow \sigma_{II} < \sigma_0$

$\sigma_0$  a sodrony feszültsége a kezdeti megfeszítés hatására

$\sigma_I$  és  $\sigma_{II}$  az AF, és CF sodronyokban ébredő feszültség a W szélterhelés után

Vízszintes egyensúly



4.5. ábra *Vízszintes egyensúly*

$$W + H_I - H_{II} = 0$$

$$H = F_r \times \cos \alpha$$

$$\sigma = \frac{F_r}{A_m}$$

( $F_r$  a kábelben ébredő erő.)

$$\sigma_I - \sigma_{II} = \frac{W}{A_m \times \cos \beta} = \frac{80000}{524 \times \cos 45^\circ} = 215,9 \frac{N}{mm^2} \quad (1)$$

Az elmozdulások összefüggései



$v$  : az antennatorony keresztirányú elmozdulása

$\Delta S_{I,vagyII}$  : a sodronykötél hosszváltozása

$\Delta S_I > 0$  mert megnyúlik

$\Delta S_{II} < 0$  mert megrövidül

4.6. ábra Elmozdulások

$$v = \frac{\Delta S_I}{\cos 45^\circ} = \frac{-\Delta S_{II}}{\sin 45^\circ}$$

$$\sin 45^\circ = \cos 45^\circ$$

$$\Delta S_I = -\Delta S_{II} \quad (2)$$

A sodronykötél hosszának változása

$$\frac{\Delta S_{I,vagyII}}{S} = \left( \frac{\sigma}{E \times A_m} + \alpha \times t - \frac{\gamma^2 \times S^2 \times \cos^2 \beta}{24 \times \sigma^2} \right) - \left( \frac{\sigma_0}{E \times A_m} + \alpha \times t_0 - \frac{\gamma_0^2 \times S^2 \times \cos^2 \beta}{24 \times \sigma_0^2} \right)$$

ahol:

$$\gamma_{I,vagyII} = \gamma_0 = \frac{q}{A_m} = \frac{4,35 \times 10^{-3} \times 9,81}{524} = 8,144 \times 10^{-5} \frac{N}{mm^3}$$

$$t = t_0$$

$S = 70,71$  a sodronykötél hossza

$\alpha$ : hőtágulási együttható

$$\sigma_0 = 200 \frac{N}{mm^2}$$

$$E = 160 \frac{kN}{mm^2}$$

$$\Delta S_{I,vagyII} = \frac{-48850,4}{(\sigma_{I,vagyII})^2} + 0,442 \times \sigma_{I,vagyII} - 87,167 \quad (3)$$

A sodronykötelek feszültségei az (1), (2) és (3) kifejezések kombinálásával:

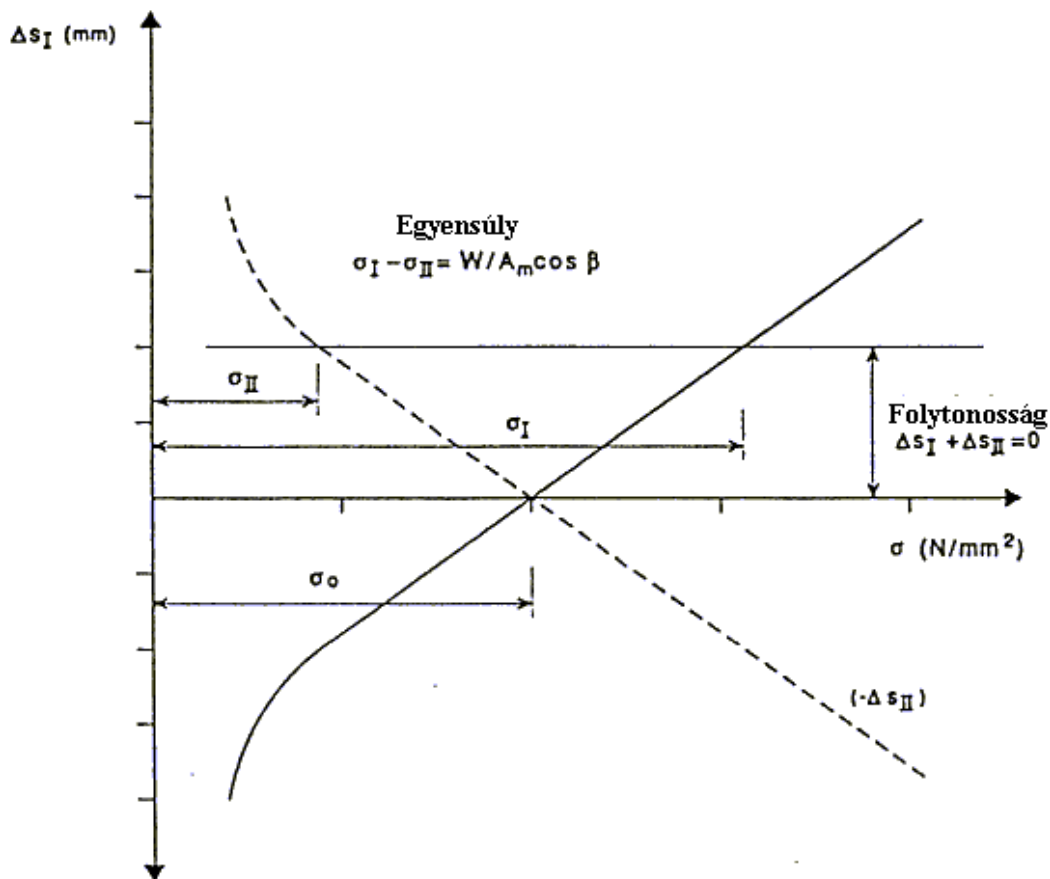
$$\sigma_I = 311,88 \frac{N}{mm^2} \quad \left( S_I = 163,4kN < \frac{F_u}{s} \right)$$

$$\sigma_{II} = 95,8 \frac{N}{mm^2} \quad \left( S_{II} = 50,2kN < \frac{F_u}{s} \right)$$

valamint a (3)-ból:

$$\Delta S_I = -\Delta S_{II} = 50,1mm$$

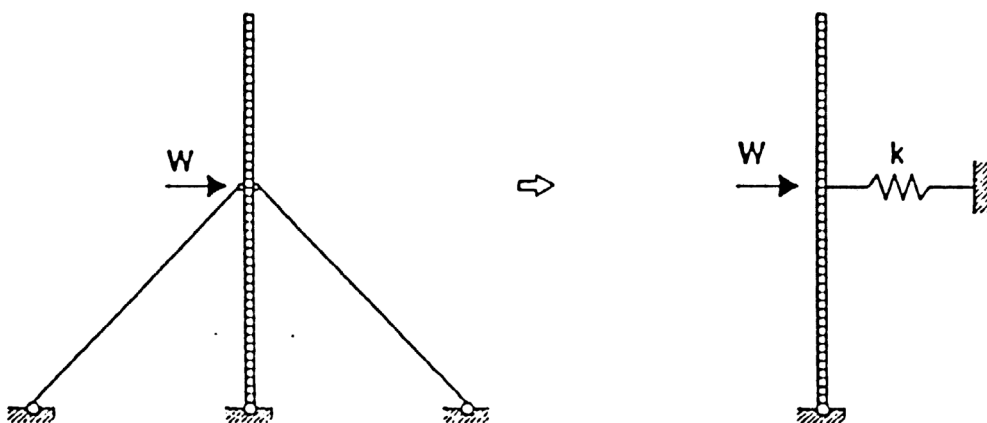
$$v = \frac{\Delta S_I}{\cos \beta} = 70,9mm$$



4.7. ábra A sodronykötél feszültségei

v meghatározása, lineáris közelítéssel

A sodronykötél hatása egy axiális rugóval helyettesíthető, melynek  $k$  rugalmassági merevsége, az ERNST formulával határozható meg.



4.8. ábra Sodronykötél hatásának helyettesítése rugóval

Az ERNST formula:

$$E^* = \frac{E}{1 + \frac{(\gamma \times S \times \cos \beta)^2}{12 \times \sigma_0^3} \times E} =$$

$$= \frac{160000}{1 + \frac{(8,144 \times 10^{-5} \times 50000)^2}{12 \times 200^3} \times 160000} = 155697,5 \text{ MPa}$$

A formula két irányú (előre megfeszített) sodronyra alkalmazható.

Ezek szerint:

$$W = \frac{2 \times E^* \times A_m \times \cos^2 45^\circ}{S} \times \nu$$

$$k = \frac{2 \times E^* \times A_m \times \cos^2 45^\circ}{S} = \frac{2 \times 155697,5 \times 524 \times 0,5}{70710} = 1153,8 \frac{N}{mm}$$

$$\nu = \frac{W}{k} = \frac{80000}{1153,8} = 69,3 \text{ mm}$$

(A 70,9mm helyett)



## 5. Oszlop tervezése

### 5.1. A keresztmetszeti alak hatása az oszlop súlyára

#### 5.1.1. A feladat

Keressük meg a különböző alakú keresztmetszetek közül a legkisebb súlyú keresztmetszetet, két végén csuklós megtámasztás, és állandó keresztmetszetű oszlop esetén. Az oszlop hossza 4,5m; a tengelyirányú nyomóerő 550kN (lásd az 5.1-es ábrán).

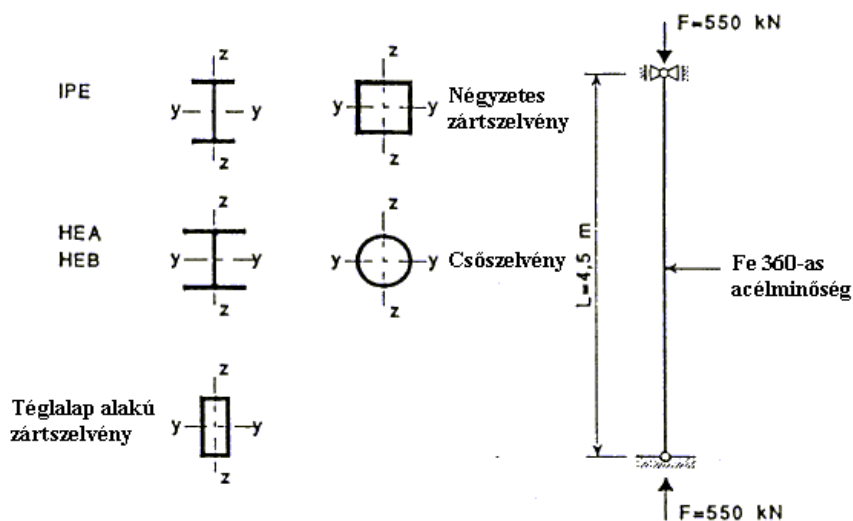
A tanulmányozandó keresztmetszetek:

- IPE
- HEA, HEB
- négyzetes zártszelvény
- téglalap alakú zártszelvény ( $h=2b$ )
- csőszelvény

Az összes keresztmetszet melegen hengerelt, és Fe360-as anyagminőségű acélból készült.

Két esetet különböztetünk meg:

- minden irányban bekövetkező kihajlás, és
- csak az erősebb tengely körüli kihajlás.



5.1. ábra Keresztmetszetek, és az oszlop elhelyezkedése

### 5.1.2. Általános szempontok

Az oszlop megtámasztásai minden irányban csuklósnak tekinthetők, így az  $l_y$  és  $l_z$  kihajlási hosszok megegyeznek a valós  $L$  hosszal, azaz:  $l_y = l_z = L = 4,5m$ .

A Fe360-as anyagminőségű acél folyási határának névleges értéke  $f_y = 235MPa$ , ha a lemezvastagság  $t \leq 40mm$ . A rugalmas modulus  $E = 210 \times 10^3 MPa$ .

Egy melegen hengerelt szelvény nyomott részének vizsgálata során, amennyiben  $N_{Sd}$  a normálerő tervezési értéke (jelen esetben  $N_{Sd} = 550kN$ ), akkor elegendő ellenőrizni, hogy:

$$N_{Sd} \leq N_{c.Rd} \quad 5.4.4(1)$$

ahol  $N_{c.Rd}$  a nyomott keresztmetszet tervezési értéke, ami a teljes szelvény kisebbik képlékeny tervezési ellenállása.

$$N_{pl.Rd} = \frac{A \times f_y}{\gamma_{M0}} \quad 5.4.4(1)$$

és a tervezési stabilitási ellenállása

$$N_{b.Rd} = \frac{\chi \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} \quad 5.5.1.1(1)$$

ahol:

$\beta_A = 1$  az 1-es, 2-es, és 3-as keresztmetszeti osztályokra

$\chi$  a megfelelő kihajlási csökkentő tényező.

Amennyiben  $\chi \leq 1$ ,  $\beta_A = 1$ ,  $\gamma_{M0} = 1$  és  $\gamma_{M1} = 1,1$ , felléphet a kihajlás, valamint  $N_{pl.Rd}$ -re mindig igaz, hogy:

$$N_{pl.Rd} \geq N_{b.Rd}$$

Mértékadó a kihajlás, amennyiben:

$$\chi \leq 1 \text{ amikor } \bar{\lambda} > 0,2.$$

Amennyiben a központosan nyomott szelvény melegen hengerelt, a megfelelő kihajlási mód hajlítás jellegű. 5.5.1.1(2)

Mivel a tagok állandó értékűek, így a  $\chi$  csökkentő tényező számítása:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1$$

5.5.1.2(1)

ahol:

$$\phi = 0,5 \times \left[ 1 + \alpha \times (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\beta_A \times A \times f_y}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{\frac{\beta_A \times f_y}{E}}$$

$$\lambda = \frac{l}{i}$$

$\alpha$  egy imperfekciós tényező, ami a kihajlási görbétől, a keresztmetszet és a hajlítási tengely elhelyezkedéstől, valamint a h/b aránytól függ.

Tábl.:  
5.5.1

Kihajlási görbe	a	b	c	d
$\alpha$ imperfekciós tényező	0,21	0,34	0,49	0,76

5.1. táblázat

### 5.1.3. A gyenge tengely körüli kihajlás

Amikor a z gyenge tengely körüli kihajlás nincs megakadályozva, és a kihajlási hosszak minden irányban egyenlők, akkor az oszlopot a z gyenge tengely körül kell vizsgálni.

#### IPE, vagy HPE keresztmetszetek

Az általános melegen hengerelt IPE, vagy HPE szelvények övvastagsága általában:  $t_f \leq 40mm$ . Ebből a feltételezésből, amikor a gyenge tengely körüli kihajlás kisebb, és

- $\frac{h}{b} > 1,2$  akkor a „b” jelű kihajlási görbe használandó,
- $\frac{h}{b} \leq 1,2$  akkor a „c” jelű kihajlási görbe használandó.

#### Zárt keresztmetszet

Melegen hengerelt zárt keresztmetszetű szelvények esetén, minden esetben az „a” jelű kihajlási görbe használandó.

Tábl.:  
5.5.3

#### Eredmények

Tábl.:  
5.5.3

A további táblázatok a számítások közbenső, egymástól eltérő eredményeit mutatják. Az első eredmény a h/b arány, az alkalmazható kihajlási görbe,

valamint az  $\alpha$  imperfekciós tényező meghatározása, a második a  $d/t_w$  és  $c/t_f$  arány meghatározása, amivel kizárható, hogy a szelvény nem tartozik a 4-es keresztmetszeti osztályba, a harmadik, a  $\chi$  csökkentő tényező kiszámítása, az utolsó pedig az  $N_{b,Rd}$  tervezési kihajlási ellenállás.

Minden esetben adott a megkívánt alak, és a következő.

Profil	h (mm)	b (mm)	h/b	$\alpha$	$d/t_w$	$c/t_f$	Osztály
IPE 330	330	160	2,06	0,34	36,1	6,9	2
IPE 360	360	170	2,12	0,34	37,4	6,7	2
HEA 180	171	180	0,95	0,49	20,3	8,4	1
HEA 200	180	200	0,95	0,49	20,6	10,00	1
HEB 160	160	160	1,00	0,49	13,0	6,1	1
HEB 180	180	180	1,00	0,49	14,4	6,4	1

Tábl.:

5.5.3

5.5.1

5.3.1

5.2. táblázat Gyenge tengely körüli kihajlás: geometriai jellegzetességek

1-es keresztmetszeti osztályról van szó, ha:  $d/t_w = 33\varepsilon$ , és ha  $c/t_f \leq 10\varepsilon$ .

2-es keresztmetszeti osztályról van szó, ha:  $d/t_w \leq 38\varepsilon$ , és ha  $c/t_f \leq 11\varepsilon$ .

Tábl.:

5.3.1

Profil	$i_z$ (mm)	$\bar{\lambda}_z$	$\phi$	$\chi_z$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)
IPE 330	35,5	1,350	1,606	0,404	62,6	540
IPE 360	37,9	1,264	1,480	0,444	72,7	690
HEA 180	45,2	1,060	1,273	0,506	45,3	490
HEA 200	49,8	0,962	1,150	0,562	53,8	646
HEB 160	40,5	1,183	1,441	0,442	54,3	513
HEB 180	45,7	1,049	1,258	0,512	65,3	715
200x100x8	40,5	1,185	1,305	0,540	43,5	501
200x100x10	39,5	1,212	1,341	0,522	59,9	590

Tábl.:

5.5.1.1(1)

5.3 táblázat Gyenge tengely körüli kihajlás: számítási eredmények

A téglalap alakú 200x100x10-es zárt szelvény az 1-es osztályba tartozik,

Tábl.:

5.3.1(1)

mert  $\frac{h - 3t_f}{t_w} = 17 < 33\varepsilon$ , és  $\frac{b - 3t_w}{t_f} = 7 < 33\varepsilon$  ( $\varepsilon = 1$ , ha  $f_y = 235\text{MPa}$ ).

Figyelembe véve a fajlagos ellenállást (ellenállás osztva a keresztmetszeti területtel), látható hogy az IPE szelvények a legkevésbé hatékonyak, amikor a gyenge tengely körüli kihajlás nincs korlátozva.

Ellentétben a 200x8 RHS-es szelvény a leghatékonyabb.

#### 5.1.4. Kihajlás az erős tengely körül

Tételezzük fel, hogy a megfelelő megtámasztás a gyenge tengely körüli kihajlást megakadályozza.

##### IPE, vagy HE keresztmetszetek

Az erős tengely körüli kihajlás esetén ha:

- $\frac{h}{b} > 1,2$  akkor a „b” jelű kihajlási görbe használandó,
- $\frac{h}{b} \leq 1,2$  akkor a „c” jelű kihajlási görbe használandó.

##### Zárt keresztmetszetek

Ezen szelvények esetén, mindig az „a” jelű kihajlási görbe használandó.

##### Eredmények

Az alábbi táblázatok - mint az előbb -, a számítások közbenső, valamint egymástól eltérő eredményeit mutatják.

Profil	h (mm)	b (mm)	h/b	$\alpha$	d/t <sub>w</sub>	c/t <sub>f</sub>	Osztály
IPE 200	200	100	2,00	0,21	28,4	5,9	1
IPE 220	220	110	2,00	0,21	30,1	6,0	1
HEA 140	133	140	0,95	0,34	16,7	8,2	1
HEA 160	152	160	0,95	0,34	17,3	8,8	1
HEB 120	120	120	1,00	0,34	11,4	5,5	1
HEB 140	140	140	1,00	0,34	13,1	5,8	1

5.4. táblázat Erős tengely körüli kihajlás: geometriai jellegzetességek

Tábl.:  
5.5.3

Tábl.:  
5.5.3

Tábl.:  
5.5.3

5.5.1

5.3.1

Profil	$i_y$ (mm)	$\bar{\lambda}_y$	$\phi$	$\chi_y$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)	5.5.1.1(1)
IPE 200	82,6	0,580	0,708	0,897	28,5	546	
IPE 220	91,1	0,526	0,673	0,916	33,4	654	
HEA 140	57,3	0,836	0,958	0,702	31,4	471	
HEA 160	65,7	0,729	0,856	0,767	38,8	636	
HEB 120	50,4	0,951	1,080	0,629	34,0	457	
HEB 140	59,3	0,808	0,930	0,719	43,0	661	
200x100x5	71,6	0,669	0,773	0,862	28,2	520	
200x100x6	71,0	0,675	0,778	0,859	33,4	614	

*5.5 táblázat Erős tengely körüli kihajlás: számítási eredmények*

A téglalap alakú 200x100x6-os zárt szelvény az 1-es osztályba tartozik, mert  $\frac{d}{t_w} = 30,3$  és  $\frac{b - 3t_f}{t_f} = 13,7$ .

Ebben az esetben, amikor a kihajlás csak az erős tengely körül lehetséges, látható, hogy a HEB szelvények a legkevésbé hatékonyak.

### 5.1.5. Kétszeresen szimmetrikus szelvények

A kétszeresen szimmetrikus szelvényekre, a négyzetes zártszelvényekhez, vagy a kör keresztmetszetűekhez hasonlóan, a gyenge tengely körüli kihajlás nem jellemző. A számítások eredményei az alábbi táblázatban olvashatók.

Profil	i (mm)	$\bar{\lambda}$	$\phi$	$\chi$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)	5.5.1.1(1)
140x140x6,3	54,0	0,887	0,965	0,743	32,5	515	
150x150x6	95,8,3	0,822	0,904	0,783	33,4	559	
168,3x6,3	77,3	0,836	0,916	0,775	32,1	530	
168,3x7,1	57,0	0,840	0,920	0,772	36,0	593	

*5.6 táblázat Kétszeresen szimmetrikus szelvények kihajlása*

A 150x150x6-os négyzet alakú zárt szelvény az 1-es osztályba tartozik, mert  $\frac{d}{t_w} = 22$  és  $\frac{b - 3t_f}{t_f} = 13,7$ . A  $\Phi$  168,3x7,1-es csőszelvény szintén az 1-es

Tábl.:  
5.3.1

osztályba tartozik, mert  $\frac{d}{t_w} = 23,7 < 50\varepsilon^2$ .

### 5.1.6. Következtetés

Összehasonlítva az előbbi keresztmetszeteket, a folyóméterenkénti tömegek megtalálhatóak az alábbi táblázatokban. Amennyiben az ellenállás pontosan nem egyenlő a tengely irányú  $N_{sd} = 550kN$  tervezési erővel, akkor a

$$W_{550} = \frac{\text{folyóméterenkénti tömeg} \times 550kN}{N_{b,Rd}}$$

aránnal, egy kedvezőbb osztályba sorolás érhető el.

	IPE 360	HEA 200	HEB 180	HS200x200x10
tömeg (kg/m)	57,1	42,3	51,2	41,5
$W_{550}$ (kg/m)	45,5	36,0	39,4	38,7

5.7. táblázat Gyenge tengely körüli kihajlás

	IPE 220	HEA 160	HEB 140	HS200x200x6
tömeg (kg/m)	26,2	30,4	33,7	26,3
$W_{550}$ (kg/m)	22,0	26,3	28,0	23,6

5.8. táblázat Erős tengely körüli kihajlás

	HS150x150x6	Cső 168,3x7,1
tömeg (kg/m)	26,3	28,2
$W_{550}$ (kg/m)	25,9	26,1

5.9. táblázat Kettősen szimmetrikus szelvények kihajlása

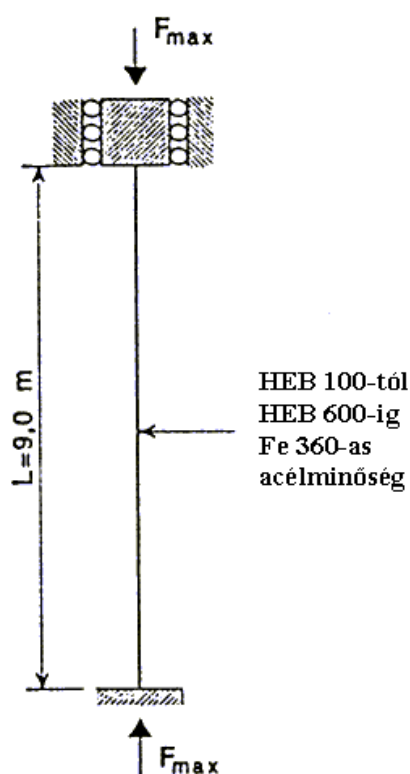
Ezek a táblázatok jól mutatják, hogy a keresztmetszet választása milyen nagy súlykülönbségekhez vezet. Amennyiben a kihajlás minden irányban felléphet, akkor a négyzetes, vagy a kör alakú keresztmetszeti szelvények minden esetben kedvezőbbek a HEA, téglalap keresztmetszetű cső, HEB, és IPE szelvényekkel szemben. Amennyiben csak az erős tengely körüli kihajlás lehetséges, akkor az IPE szelvény a legkedvezőbb a zárt szelvényekkel szemben, s ebben az esetben a HE szelvények a legkevésbé hatékonyak. Mindazonáltal fontos megjegyezni, hogy figyelembe véve az elemek más szerkezeti elemekkel való kapcsolatát gyakran esik a választás a már alkalmazott szelvényekre, mert az IPE, HE szelvények kapcsolatait önmagukkal olcsóbb elkészíteni, mint egyéb szelvények kapcsolatait.

## 5.2. A karcsúság hatása az oszlop teherviselésére.

### 5.2.1. A feladat

Kiszámítandó hogy egy meghatározott hosszúságú oszlop, mekkora maximális tengely irányú erőt képes elviselni a keresztmetszeti alak függvényében. Az oszlop az erős tengelye körül befogott, és a kihajlás a gyenge tengely körül nem lehetséges.

Az oszlop hossza: 9m, anyaga: melegen hengerelt HEB szelvény (HEB100-tól, HEB600-ig).



5.2. ábra Befogott oszlop

Mivel az oszlop befogott, a kihajlási hossz a teljes hossz fele:

E.2.1 ábra

$$l_y = \frac{L}{2} = 4,5m$$

A számítások különböző lépései az 5.10 és 5.11-es táblázatokban találhatóak.

Meg kell jegyezni, hogy az 5.10-es táblázat adatai a tengely irányú erő nagyságától, és a kihajlási hosszától függetlenek.

Ugyanakkor a legnagyobb (HEB600-as) keresztmetszet esetén nem lép fel kihajlás, mert  $\chi = 1$ .



Profil	h (mm)	b (mm)	h/b	$\alpha$	d/t <sub>w</sub>	c/t <sub>f</sub>	Osztály	Tábl.:
HEB100	100	100	1,00	0,34	9,3	5,0	1	5.5.3
HEB120	120	120	1,00	0,34	11,4	5,5	1	5.5.1
HEB140	140	140	1,00	0,34	13,1	5,8	1	5.3.1
HEB160	160	160	1,00	0,34	13,5	6,2	1	
HEB180	180	180	1,00	0,34	14,3	6,4	1	
HEB200	200	200	1,00	0,34	14,9	6,7	1	
HEB220	220	220	1,00	0,34	16,0	6,9	1	
HEB240	240	240	1,00	0,34	16,4	7,1	1	
HEB260	260	260	1,00	0,34	17,7	7,4	1	
HEB280	280	280	1,00	0,34	18,7	7,8	1	
HEB300	300	300	1,00	0,34	18,9	7,9	1	
HEB320	320	300	1,07	0,34	19,6	7,3	1	
HEB340	340	300	1,13	0,34	20,2	7,0	1	
HEB360	360	300	1,20	0,34	29,9	6,7	1	
HEB400	400	300	1,33	0,21	22,1	6,2	1	
HEB450	450	300	1,50	0,21	24,6	5,8	1	
HEB500	500	300	1,67	0,21	26,9	5,3	1	
HEB550	550	300	1,83	0,21	29,2	5,2	1	
HEB600	600	300	2,00	0,21	31,3	5,0	1	

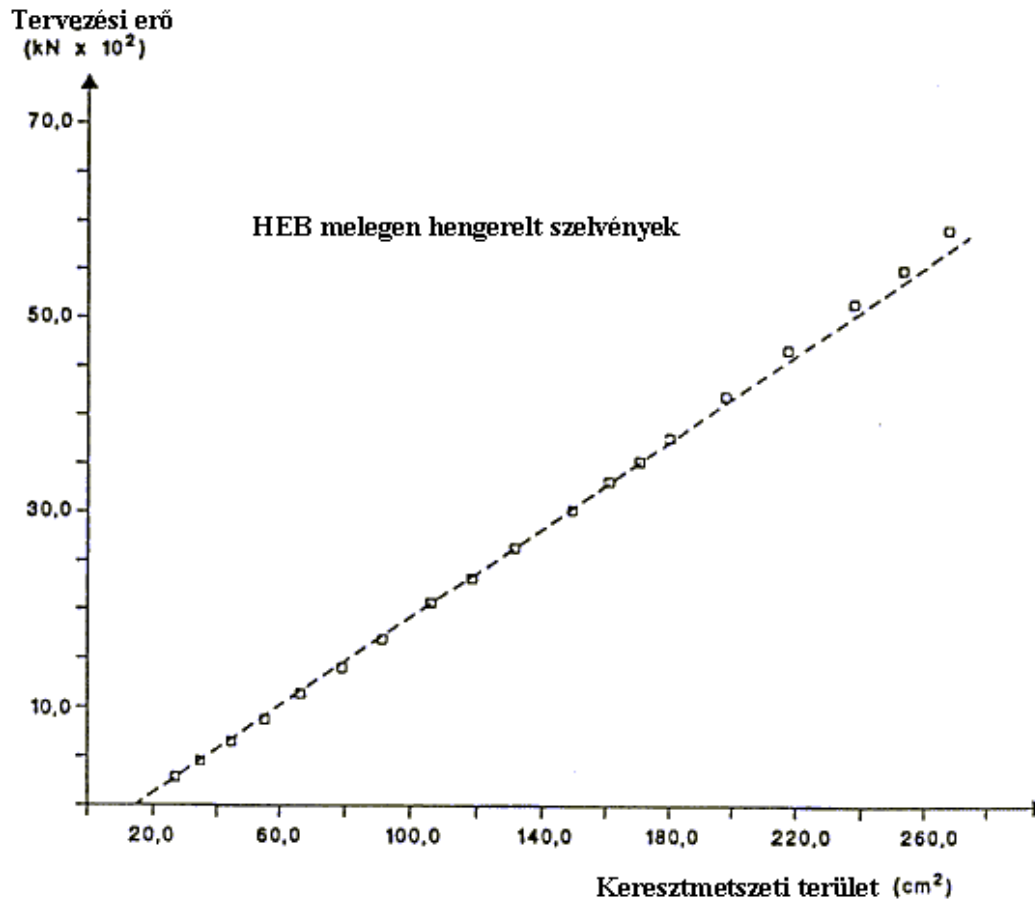
5.10. táblázat HEB keresztmetszetek geometriai jellemzői

Profil	$i_y$ (mm)	$\bar{\lambda}_y$	$\phi$	$\chi_y$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)
HEB100	41,6	1,152	1,325	0,5,5	26,0	280
HEB120	50,4	0,951	1,080	0,629	34,0	457
HEB140	59,3	0,808	0,930	0,710	43,0	661
HEB160	67,8	0,707	0,836	0,780	54,3	905
HEB180	76,6	0,626	0,768	0,824	65,3	1149
HEB200	85,4	0,561	0,719	0,856	78,1	1428
HEB220	94,3	0,508	0,681	0,881	91,0	1712
HEB240	103	0,465	0,653	0,889	106,0	2037
HEB260	112	0,428	0,630	0,915	118,4	2314
HEB280	121	0,396	0,612	0,928	131,4	2604
HEB300	130	0,369	0,597	0,938	149,1	2989
HEB320	138	0,347	0,585	0,947	161,3	3262
HEB340	146	0,328	0,576	0,954	170,9	3482
HEB360	155	0,309	0,566	0,961	180,6	3707
HEB400	171	0,280	0,548	0,982	197,8	4150
HEB450	191	0,251	0,537	0,989	218,0	4605
HEB500	212	0,226	0,528	0,994	238,6	5068
HEB550	232	0,207	0,522	0,999	254,1	5421
HEB600	252	0,190	0,517	1,00	270,0	5768

5.5.1.1(1)

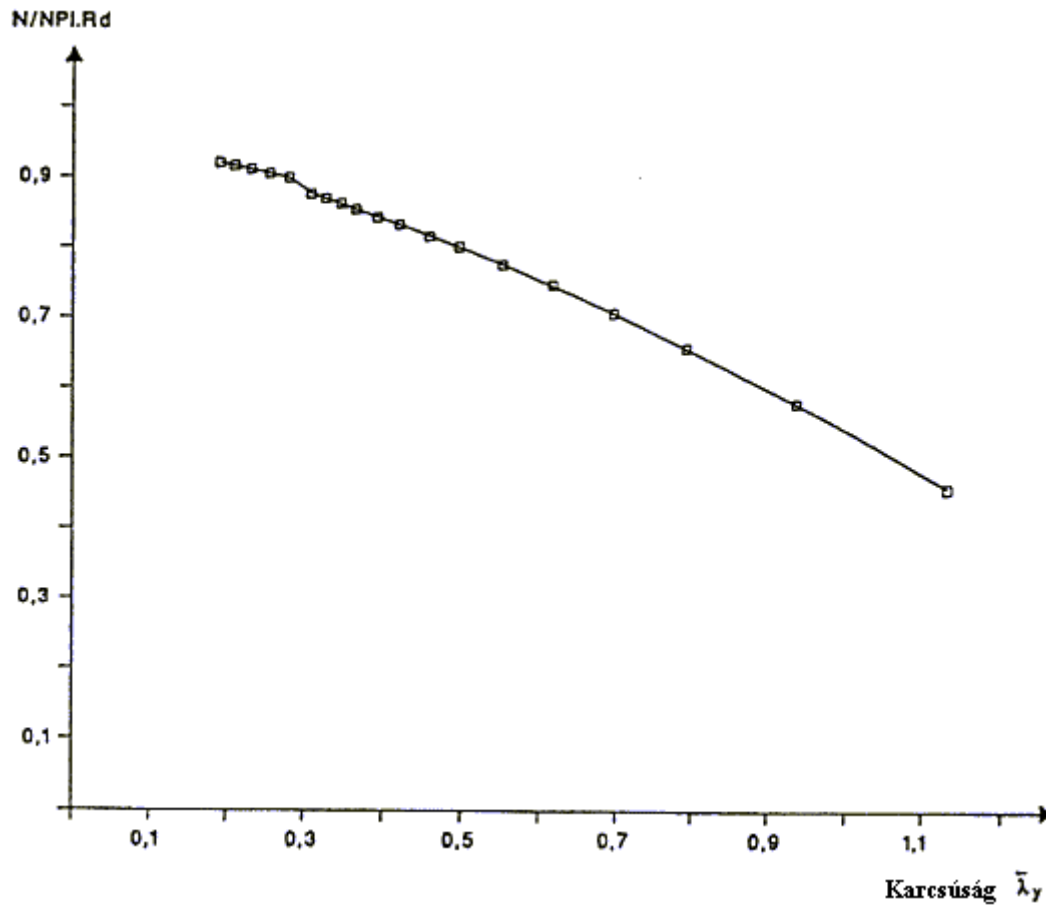
5.11. táblázat HEB keresztmetszetek számítási eredményei

Az 5.3-as ábrán az „N” tervezési erő, és az oszlop „A” keresztmetszeti területi aránya látható. A pontozott vonal az „A”, és „N” közötti lineáris összefüggést mutatja. A pontok, melyek elválnak ettől az egyenestől, az oszlop teherviselésében a kihajlás csökkentő hatással szerepel.



5.3. ábra Az „N” tervezési erő az „A” keresztmetszeti terület függvényében

Az 5.4-es ábrán az „N” tervezési erő, és az  $N_{pl.Rd} = A \times f_y$  képlékeny határerő hányadosának, valamint a dimenziómentes  $\bar{\lambda}_y$  karcsúsági tényezőnek az aránya látható.



5.4. ábra A tervezési és képlékeny határerő, valamint a karcsúsági tényező aránya

Meg kell jegyezni, hogy ezek az eredmények a 4,5m-es kihajlási hosszhoz tartoznak, és nem alkalmazhatóak más hosszokra.

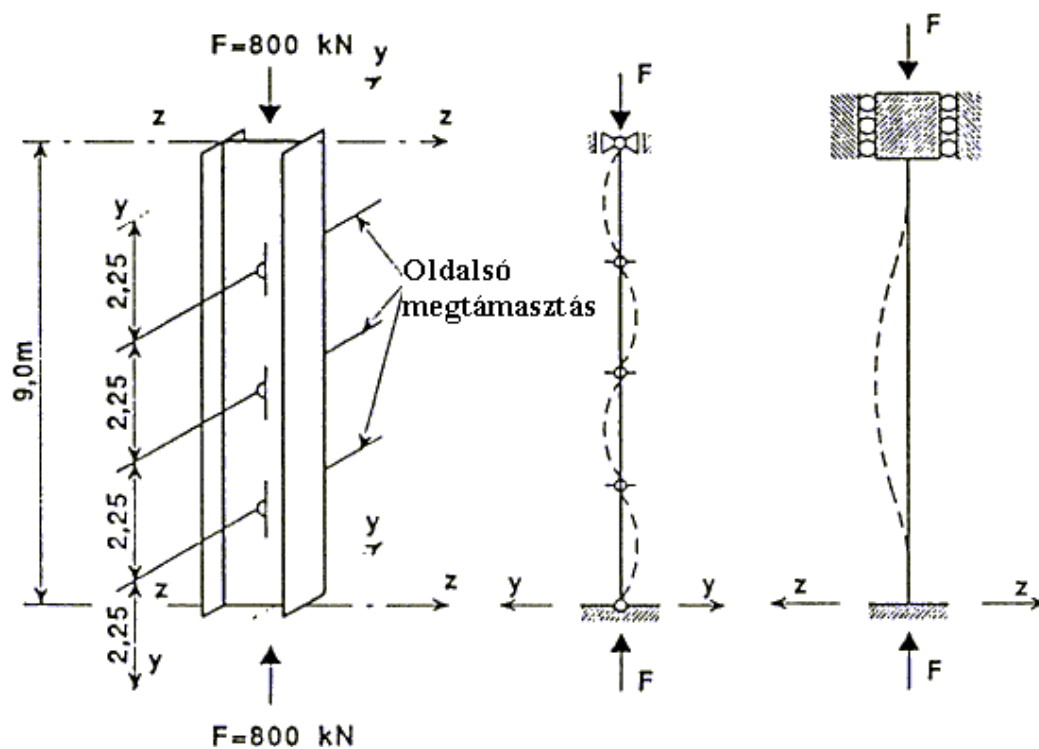
### 5.3. A gyenge, és az erős tengely kihajlási hosszának hatása az oszlop teherviselésére.

#### 5.3.1. A feladat

Kiszámítandó hogy mi az erős, ill. a gyenge tengelyek különböző kihajlási hosszainak hatása nem kilengő állapotban.

A tengely irányú tervezési erő 800kN. Az oszlop az erős tengelye körül befogott, gyenge tengelye körül csuklós, de a három helyen elhelyezett oldalsó megtámasztáshoz tartozó kihajlási hosszat kell vizsgálni.

Az oszlop IPE szelvényű, Fe360-as anyagminőségű acélból készül.



5.5. ábra Az oldaltámaszok elhelyezkedései

A kihajlási hosszak:

- Az y tengely körül:  $l_y = \frac{9}{2} = 4,5m$
- A z tengely körül:  $l_z = \frac{9}{4} = 2,5m$

A tervezés megkezdéséhez, az Euler féle kritikus erőhöz először ki kell számítani az inercianyomatékokot.

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E \times I}{l^2}$$

A biztonsági tényezővel figyelembe vett érték az y erős tengely körül:

$$I_y = \gamma_{M1} \times \frac{F \times l_y^2}{\pi^2 \times E} = 1,1 \times \frac{800 \times 10^3 \times 4,500^2}{\pi^2 \times 210000} = 859,8 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Valamint az x gyenge tengely körül:

$$I_z = \gamma_{M1} \times \frac{F \times l_z^2}{\pi^2 \times E} = 1,1 \times \frac{800 \times 10^3 \times 2,250^2}{\pi^2 \times 210000} = 214,9 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

A keresztmetszeti területnek nagyobbak kell lenni  $F/f_y$ -nál, vagy:

$$\frac{800 \times 10^3}{235} = 3,404 \text{ mm}^2$$

Tekintettel erre a három feltételre az első vizsgálandó IPE szelvény, az IPE240-es, amit kezdő elemként vehetünk figyelembe. A számítások a következő táblázatokban találhatóak, s ebből látható, hogy az IPE240-es az 1-es keresztmetszeti osztályba az IPE270-es, és az IPE300-as pedig a 2-es keresztmetszeti osztályba tartozik, így a  $\beta_A = 1$  érték helyes.

Profil	$i_y$ (mm)	$\bar{\lambda}_y$	$\phi$	$\chi_y$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)	5.5.1.1(1)
IPE240	9,97	0,961	1,042	0,693	39,1	579	
IPE270	11,2	0,856	0,935	0,762	45,9	747	
IPE300	12,5	0,767	0,853	0,814	53,8	936	

5.12. táblázat Erős tengely körüli kihajlás

Profil	$i_z$ (mm)	$\bar{\lambda}_z$	$\phi$	$\chi_z$	A (cm <sup>2</sup> )	$N_{b,Rd}$ (kN)	5.5.1.1(1)
IPE240	2,69	0,891	1,014	0,667	39,1	557	
IPE270	3,02	0,793	0,916	0,729	45,9	714	
IPE300	3,35	0,715	0,843	0,775	53,8	891	

5.13. táblázat Gyenge tengely körüli kihajlás

A legkisebb IPE, amire  $N_{b,z,Rd}$ , és  $N_{b,y,Rd} > 800 \text{ kN}$ , az az IPE300-as. Hangsúlyozandó, hogy az éppen szükséges Euler kritikus erőre megfelelő szelvénynél; a geometriai, és anyagi imperfekciók miatt, erősebbet kell

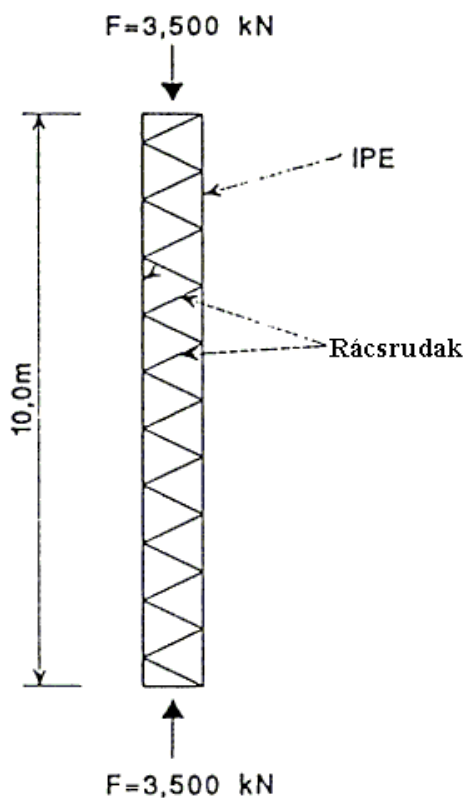
alkalmazni. Az Euler kritikus erőn alapuló számítások csak előzetes  
eredményeket jelenthetnek.

## 6. Osztott szelvényű oszlop tervezése

### 6.1. A feladat

Megtervezendő egy osztott szelvényű oszlop, ami két melegen hengerelt összekötött IPE szelvényből áll.

A szerkezet a 6.1-es ábrán látható. A tartó elemek IPE szelvények, amelyek merevítő elemekkel vannak összekapcsolva. A merevítő elemek az ábrán látható módon az oszlop mindkét oldalát összekötik. A tengely irányú „F” erő 3500kN, az oszlop hossza 10,00m, megtámasztása csuklós, anyaga pedig Fe360-as minőségű acél.



6.1.ábra Osztott szelvényű oszlop

#### A SZERKEZETI ELEMEN KIVÁLASZTÁSA

Tiszta nyomást feltételezve, az „A” teljes keresztmetszeti területre:

$$\frac{N_{Sd}}{A} \leq f_y$$

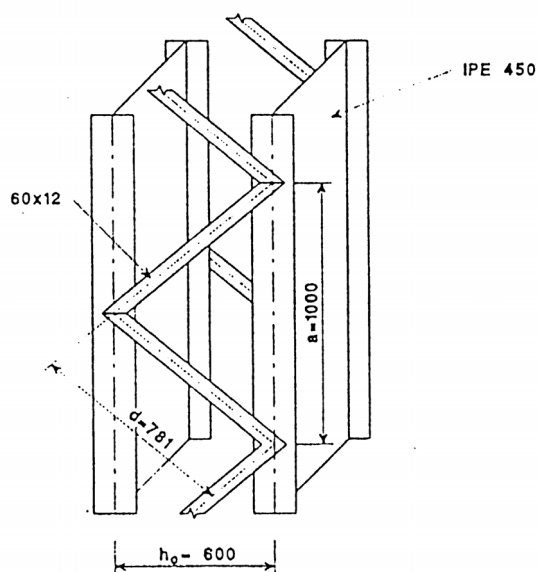
vagy:



$$A \geq \frac{N_{Sd}}{f_y} = \frac{3,500 \times 10^3}{235} = 148,9 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

A melegen hengerelt IPE400-as megfelelő lenne, de a kihajlásra való tekintettel a következő IPE450-est vegyük. Két szelvény keresztmetszeti területe:  $A = 2 \times 98,8 = 197,6 \text{ cm}^2$ , és a képlékeny ellenállás határértéke:  $N_{pl.Rd} = 19,760 \times 235 = 4,644 \times 10^3 \text{ kN}$ .

A merevítő rendszer 60x12-es lemezekből készült, ami az ábrán látható módon a két IPE450-es övére varrattal  $a=1000\text{mm}$ -es, és  $h_0=600\text{mm}$ -es távolságokban vannak felhegesztve.



6.2. ábra Rácsos osztott szelvényű rúd

### INERCIANYOMATÉK

A másodrendű nyomaték:

5.9.2.3(1)

$$I_{eff} = 0,5 \times h_0^2 \times A_f$$

ahol:

$A_f$ : Az oszlop övének területe. (itt  $A_f = 98,8 \text{ cm}^2$ )

$h_0$ : Az oszlop öveinek súlypontjai közötti távolság (itt  $h_0 = 600 \text{ mm}$ )

Ezekből:

$$I_{eff} = 0,5 \times 600^2 \times 9,880 = 1778,4 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

### A BELSŐ ERŐK SZÁMÍTÁSA

**ÖVERŐK:**

A merevítők  $S_u$  nyírási merevsége az alábbi összefüggésből számítható:

5.9.3. ábra

$$S_v = \frac{n \times E \times A_d \times a \times h_0^2}{2 \times d^3} = \frac{2 \times 210 \times 720 \times 1000 \times 600^2}{2 \times 781^3} = 114262 \frac{kN}{mm}$$

Az egyik övben ébredő  $N_{f.Sd}$  erő megkapható:

$$N_{f.Sd} = 0,5 \times N_{Sd} + \frac{M_s}{h_0}$$

5.9.2.4(1)

ahol:

$$M_s = \frac{N_{Sd} \times e_0}{1 - \frac{N_{Sd}}{N_{cr}} - \frac{N_{Sd}}{S_y}}$$

$$e_0 = \frac{l}{500} = \frac{10000}{500} = 20mm$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E \times I_{eff}}{l^2} = \frac{\pi^2 \times 210 \times 1778,4 \times 10^6}{10000^2} = 36859kN$$

Így:

$$M_s = \frac{3500 \times 20}{1 - \frac{3500}{36859} - \frac{3500}{114262}} = 80054kNmm$$

$$N_{f.Sd} = 0,5 \times 3500 + \frac{80054}{600} = 1883kN$$

**FERDE RUDAK ERŐI**

Az átlós rúd  $N_d$  ereje az alábbi összefüggésből számítható:

$$V_s = \frac{\pi \times M_s}{l} = \frac{\pi \times 80054}{10000} = 25,1kN$$

5.9.2.6(1)

$$N_d = \frac{V_s \times d}{n \times h_0} = \frac{25,1 \times 781}{2 \times 600} = 16,3kN$$

**SZERKEZETI ELEMEN KIHAJLÁSI ELLENÁLLÁSA****AZ ÖVEK KIHAJLÁSI ELLENÁLLÁSA**

Az erős tengely körül

Az erős tengely körül az övek  $l_y$  kihajlási hossza megegyezik az oszlop

hosszával, azaz 10m-rel. Így szükséges ellenőrizni:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{l_y}{i_y \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{10000}{185 \times \pi} \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0,576 \quad 5.5.1.2(1)$$

A számítás  $\chi_y = 0,889$ -et ad ( $\alpha = 0,21$ -gyel), és a kihajlási ellenállás:

$$N_{b,y.Rd} = \frac{\chi_y \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,889 \times 1 \times 9880 \times 235}{1,1} = 1,898kN$$

Tábl.:  
5.5.3

és 5.5.1.

5.5.1.1(1)

A gyenge tengely körül

A gyenge tengely körül az  $l_z$  kihajlási hossz csak  $a=1m$ , így:

$$\bar{\lambda}_z = \frac{l_z}{i_z \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{1000}{41,2 \times \pi} \sqrt{\frac{235}{210000}} = 0,258 \quad 5.9.2.5(1)$$

A számítás  $\chi_z = 0,979$ -et ad ( $\alpha = 0,34$ -gyel), és a kihajlási ellenállás:

$$N_{b,z.Rd} = \frac{\chi_z \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,979 \times 1 \times 9880 \times 235}{1,1} = 2,067kN$$

Tábl.:  
5.5.3

és 5.5.1.

5.5.1.1(1)

Az övek ellenőrzése.

Az IPE450-es öveket el lehet fogadni, mert az  $N_{b,y.Rd} = 1898kN$ , és az  $N_{b,z.Rd} = 2067kN$  egyaránt nagyobb az  $N_{f.Sd} = 1893kN$ -nál.

### AZ ÁTLÓK KIHAJLÁSI ELLENÁLLÁSA

Csak a gyenge tengely körüli kihajlást kell vizsgálni.

Az átlós merevítők kihajlási hossza  $d = 781mm$ . Az inercia sugár a gyenge tengelyre:

$$i_{d,z} = \sqrt{\frac{I_{d,z}}{A_d}} = \sqrt{\frac{b \times h^3}{12 \times b \times h}} = \frac{h}{\sqrt{12}} = \frac{12}{\sqrt{12}} = 3,46mm$$

A négyszög keresztmetszetű rúd elemre a megfelelő „c” jelű görbét ( $\alpha = 0,49$ ) használva:

Tábl.:  
5.5.3

$$\bar{\lambda}_z = \frac{l_z}{i_{d,z} \times \pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{781}{3,46 \times \pi} \sqrt{\frac{235}{210000}} = 2,40$$

5.5.1.

$$\chi_z = 0,1425$$

5.5.1.2(1)

$$N_{b.z.Rd} = \frac{\chi_z \times \beta_A \times A \times f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,1425 \times 1 \times 720 \times 235}{1,1} = 21,9kN$$

Ez az  $N_{b.z.Rd} = 21,9kN$  érték nagyobb az  $N_d = 16,3kN$  -nál.

Az oszlop tehát megfelelő.

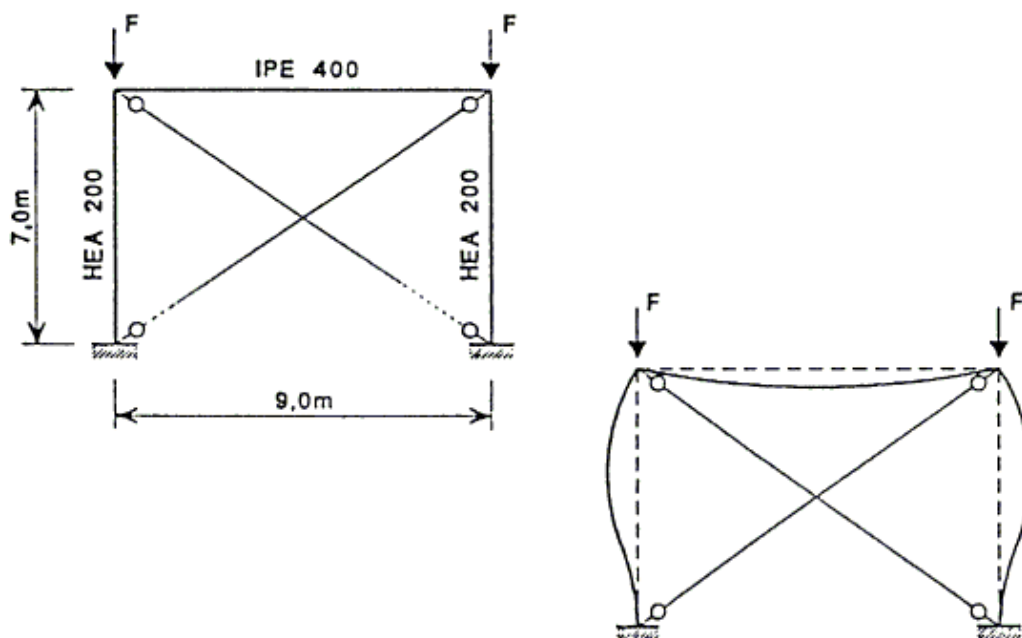
## 7. Effektív kihajlási hosszak

### 7.1. Nem kilengő keretek kihajlási hosszának számítása

#### 7.1.1. A feladat

Kiszámítandó egy nem kilengő keret oszlopának kihajlási hossza, ahol a megfelelő merevséget az átlós merevítők biztosítják.

A szerkezet a 7.1-es ábrán látható. Ez egy keretet alkot, ahol az oszlopvégek vízszintes mozgását egy átlós merevítő rendszer korlátozza. Meghatározandó a síkban kihajló oszlopok, és az átlós merevítők kihajlási hosszai.



7.1. ábra Merevített keret

#### MEGOSZLÁSI TÉNYEZŐK

A szerkezeti elemek geometriai adatai a 7.1-es táblázatban olvashatók:

Szelvény	Típus	I	L	$K = I/L$
HEA200	Oszlop	$3692\text{cm}^4$	7m	$5,274\text{cm}^3$
IPE400	Gerenda	$23130\text{cm}^4$	9m	$25,700\text{cm}^3$

7.1. táblázat Merevségi együtthatók

Az  $\eta_1, \eta_2$  megoszlási tényezők az alábbi módon számíthatóak:

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_c}{K_c + K_{21} + K_{22}}$$

ahol  $K_c$  a vizsgált oszlop merevségi együtthatója, és  $K_{ij}$  a kiválasztott csomópontba futó gerendák effektív (hatékony) merevségi együtthatója.

A gerenda nem terhelt normálerővel. Mindkét végén rögzített, és a lehajlása egyszeri görbület mentén jöhet létre. Így a  $K_{ij}$  effektív (hatékony) merevségi együtthatóját  $K_{ij} = 0,5 \times K_{ij}$ -re kell módosítani. A  $K_c$  merevségi együtthatót nem kell módosítani.

$$\eta_1 = \frac{5,274}{5,274 + 0,5 \times 25,7} = 0,291$$

$$\eta_2 = 0 \text{ (Az oszloptalp befogott)}$$

### KIHAJLÁSI HOSSZAK

Ezek az értékek a kihajlási hossz arányára hozzávetőlegesen 0,54-et adnak.

Ezt az alábbi összefüggésekből is számítható:

$$\begin{aligned} \frac{l}{L} &= 0,5 + 0,14 \times (\eta_1 + \eta_2) + 0,055 \times (\eta_1 + \eta_2)^2 = \\ &= 0,5 + 0,14 \times 0,291 + 0,055 \times 0,291^2 = 0,545 \end{aligned}$$

vagy:

$$\frac{l}{L} = \frac{1 + 0,145 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,265 \times \eta_1 \times \eta_2}{2 - 0,364 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,247 \times \eta_1 \times \eta_2} = \frac{1 + 0,145 \times 0,291}{2 - 0,364 \times 0,291} = 0,550$$

Így az oszlop kihajlási hosszának számítása:

$$l = 0,545 \times L = 0,545 \times 7 = 3,82m$$

Az átlós merevítők mindkét végén csuklósak. Amennyiben középen nincsen köztük kapcsolat, akkor:

$$l = L = \sqrt{7^2 + 9^2} = 11,4m$$

Amennyiben pedig középen össze vannak kapcsolva (a kihajlási hosszat csökkenteni kell):

$$l = \frac{L}{2} = \frac{11,4}{2} = 5,7m .$$

E mellékl.:  
E.2(3)

E mellékl.:  
E.1. tábl.

E mellékl.:  
E.2.1. ábra

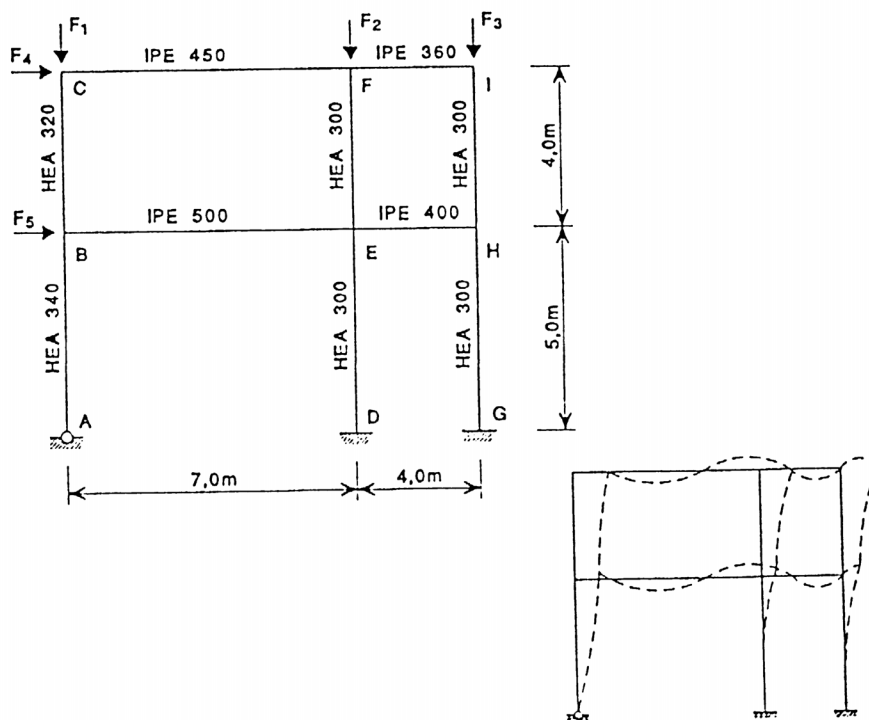
E mellékl.:  
E.2.(12)(a)

## 7.2. Kilengő keretek kihajlási hosszának számítása

### 7.2.1. A feladat

Kiszámítandó egy kilengő keret oszlopának kihajlási hossza.

A szerkezet a 7.2-es ábrán látható. Ez egy több emeletes IPE szelvényű gerendákból, és HEA szelvényű oszlopokból álló szerkezet. Az „A” jelű kapcsolaton kívül, amelyek csuklós, az összes kapcsolatot merevnek tételezzük fel.



7.2. ábra Kilengő keret

**MEGOSZLÁSI TÉNYEZŐK**

Az elemek (gerendák, és oszlopok) geometriai jellemzői az alábbi táblázatban találhatóak.

Tagok	Szelvény	Típus	I	L	$K^3=I/L$
AB	HEA340	Oszlop	27690cm <sup>4</sup>	5m	55,40cm <sup>3</sup>
BC	HEA320	Oszlop	22930cm <sup>4</sup>	4m	57,32cm <sup>3</sup>
DE	HEA300	Oszlop	18260cm <sup>4</sup>	5m	36,52cm <sup>3</sup>
EF	HEA300	Oszlop	18260cm <sup>4</sup>	4m	45,65cm <sup>3</sup>
GH	HEA300	Oszlop	18260cm <sup>4</sup>	5m	36,52cm <sup>3</sup>
HI	HEA300	Oszlop	18260cm <sup>4</sup>	4m	45,65cm <sup>3</sup>
BE	IPE500	Gerenda	48200cm <sup>4</sup>	7m	68,486cm <sup>3</sup>
CF	IPE500	Gerenda	33740cm <sup>4</sup>	7m	48,20cm <sup>3</sup>
EH	IPE500	Gerenda	23130cm <sup>4</sup>	3m	77,10cm <sup>3</sup>
FI	IPE500	Gerenda	16270cm <sup>4</sup>	3m	54,23cm <sup>3</sup>

*7.2. táblázat Merevségi együtthatók*

Az  $\eta_1, \eta_2$  megoszlási tényezők az alábbi módon számíthatóak:

$$\eta_1 = \frac{K_c}{K_c + K_1 + K_{11} + K_{12}}$$

$$\eta_2 = \frac{K_c}{K_c + K_2 + K_{21} + K_{22}}$$

Ahol  $K_c$  a vizsgált oszlop merevségi együtthatója,  $K_1$  és  $K_2$  a szomszédos oszlopok merevségi együtthatója,  $K_{i,j}$  pedig a kiválasztott csomópontba futó gerendák effektív (hatékony) merevségi együtthatója.

A gerenda nem terhelt normálerővel. Mindkét végén befogott, és a lehajlása kétszeri görbület mentén jöhet létre. Így a  $K_{ij}$  effektív (hatékony) merevségi együtthatóját  $K_{ij} = 1,5 \times K_{ij}$ -re kell növelni.

Az  $\eta_1$  és  $\eta_2$ -re vonatkozó számítási eredmények a 7.3-as táblázatban találhatóak:

E mellékl.:  
E.2(5)

E mellékl.:  
E.1. tábl



Szerkezeti elemek (Csomp.)	$K_c$	$K_1$	$K_{11}$	$K_{12}$	$\eta_1$
		$K_2$	$K_{21}$	$K_{22}$	$\eta_2$
AB (B)	55,40cm <sup>3</sup>	57,32cm <sup>3</sup>		103,3cm <sup>3</sup>	0,52
AB (A)					1,00
BC (C)	57,32cm <sup>3</sup>			72,30cm <sup>3</sup>	0,44
BC (B)	57,32cm <sup>3</sup>	55,40cm <sup>3</sup>		103,3cm <sup>3</sup>	0,52
DE (E)	36,52cm <sup>3</sup>	45,65cm <sup>3</sup>	103,3cm <sup>3</sup>	115,6cm <sup>3</sup>	0,27
DE (D)					0,00
EF (F)	45,65cm <sup>3</sup>		72,30cm <sup>3</sup>	81,34cm <sup>3</sup>	0,23
EF (E)	45,65cm <sup>3</sup>	36,52cm <sup>3</sup>	103,3cm <sup>3</sup>	115,6cm <sup>3</sup>	0,27
GH (H)	36,52cm <sup>3</sup>	45,65cm <sup>3</sup>	115,6cm <sup>3</sup>		0,42
GH (G)					0,00
HI (I)	45,65cm <sup>3</sup>		81,34cm <sup>3</sup>		0,36
HI (I)	45,65cm <sup>3</sup>	36,52cm <sup>3</sup>	1155,6cm <sup>3</sup>		0,42

7.3. táblázat Merevségi együtthatók

**KIHAJLÁSI HOSSZAK**

Az EC3 (E.2.2. ábra) szerint az  $l/L$  arány az  $\eta_1$ , és  $\eta_2$  értékekből számítható. Az alábbi összefüggésből:

$$\frac{l}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \times (\eta_1 + \eta_2) - 0,12 \times \eta_1 \times \eta_2}{1 - 0,8 \times (\eta_1 + \eta_2) + 0,6 \times \eta_1 \times \eta_2}}$$

Az eredmények a 7.4-es táblázatban láthatóak:

E mellékl.:  
E.2(12)(b)

Szerkezeti elemek	$\eta_1$	$\eta_2$	$l/L$ (E.2.2)	$l/L$ számított	$l$
AB	0,52	1,00	2,50	2,57	12,9m
BC	0,44	0,52	1,42	1,45	5,80m
DE	0,27	0,00	1,09	1,10	5,50m
EF	0,23	0,27	1,16	1,18	4,72m
GH	0,42	0,00	1,17	1,17	5,85m
HI	0,36	0,42	1,30	1,33	5,32m

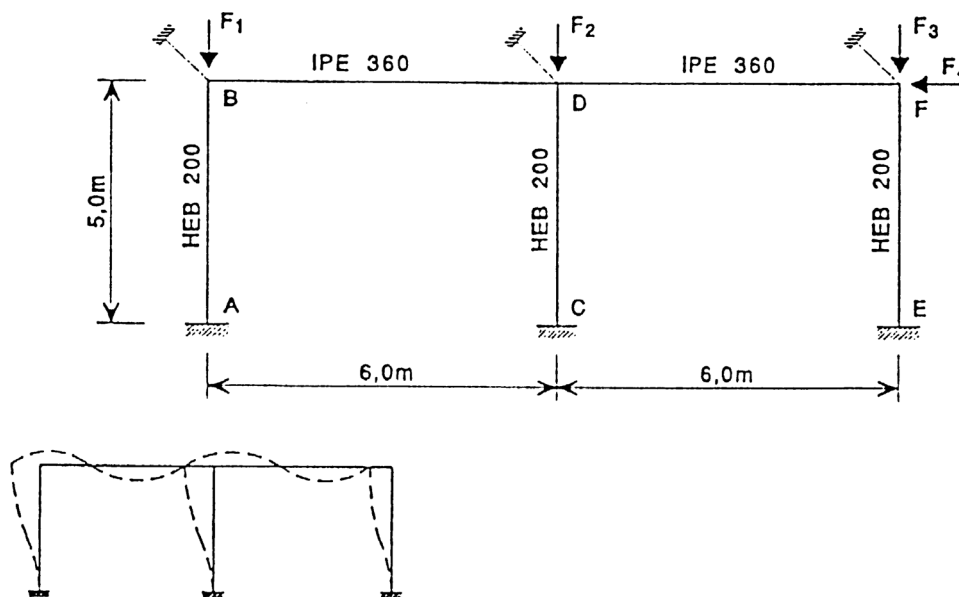
7.4. táblázat *Merevségi együtthatók, és kihajlási hosszak*

### 7.3. Síkbeli, és síkból kitérő kihajlási hosszak számítása

#### 7.3.1. A feladat

Kiszámítandóak az oszlopok kihajlási hosszai egy szerkezetben, ahol a síkbeli, és síkból kitérő kihajlások is fellépnek.

A szerkezet a 7.3-as ábrán látható. A keret síkjában ez egy kilengő keret, de arra merőlegesen meg van támasztva.



7.3. ábra Keret

#### MEGOSZLÁSI TÉNYEZŐK

A geometriai jellemzők, és a merevségi együtthatók az alábbi táblázatban találhatóak:

Szerkezeti elemek	L	$I_y$	$I_z$	$K_y = \frac{I_y}{L}$	$K_z = \frac{I_z}{L}$
AB, CD, EF HEB200	5m	5696cm <sup>4</sup>	2003cm <sup>4</sup>	11,39cm <sup>3</sup>	4,006 cm <sup>3</sup>
BD, DF IPE360	6m	16270cm <sup>4</sup>	1043 cm <sup>4</sup>	27,12 cm <sup>3</sup>	1,738 cm <sup>3</sup>

7.5. táblázat Merevségi együtthatók

A gerendák effektív (hatékony) merevségi együtthatóinak számításához (a kétszeri görbület miatt) ismét szükséges az 1,5-tel való felszorzás. Az  $\eta_1, \eta_2$  megoszlási tényezők az alábbi módon számíthatóak:

$$\eta_{AB} = \eta_{EF} = \frac{K_{AB}}{K_{AB} + 1,5 \times K'_{BD}}$$

$$\eta_{CD} = \frac{K_{CD}}{K_{CD} + 1,5 \times K'_{BD} + 1,5 \times K'_{DF}}$$

**KIHAJLÁSI HOSSZAK**

A keret síkjában, az  $l_y$  kihajlási hosszak a 7.6-os táblázatban találhatóak. Amennyiben  $\eta_2 = 0$ , akkor az  $l/L$  hányados az alábbi összefüggésből számítható:

$$\frac{l}{L} = \sqrt{\frac{1 - 0,2 \times \eta_1}{1 - 0,8 \times \eta_1}}$$

Tagok	$\eta_1$	$\eta_2$	$l_y/L$	$l_y$
AB (y)	0,22	0,0	1,08	5,4m
CD (y)	0,12	0,0	1,04	5,2m
EF (y)	0,22	0,0	1,08	5,4m

7.6. táblázat Merevségi együtthatók

A keret síkjára merőlegesen az oszlop teteje csuklós ( $\eta_2 = 0$ ), az alsó keresztmetszet pedig befogott ( $\eta_1 = 1$ ). Ebben az esetben:

$$\frac{l_z}{L} = 0,5 + 0,14 \times 1 + 0,055 \times 1^2 = 0,695$$

$$l_z = 3,475m$$

E mellékl.:  
E.1. tábl.

E mellékl.:  
E.2(5)

E mellékl.:  
E.2.2. ábra

E mellékl.:  
E.2(12)(b)

E mellékl.:  
E.2(12)(a)

## 8. Oldalirányban megtámasztott gerendák

### MEGJEGYZÉSEK

$f_y$  = Névleges folyási határ

$f_{yd}$  = Tervezési folyási határ

$\gamma_M$  = Parciális biztonsági tényező

$M_{Sd}$  = Hajlítónyomaték tervezési értéke

$M_{c,Rd}$  = A keresztmetszetek tervezési képlékeny nyomatéka

$M_{pl,Rd}$  = A teljes keresztmetszet tervezési képlékeny nyomatéki ellenállása

$W_{pl}$  = Képlékeny keresztmetszeti tényező

$V_{Sd}$  = Nyíróerő tervezési értéke minden keresztmetszetben

$V_{pl,Rd}$  = Tervezési képlékeny nyírási ellenállás

$A_v$  = Nyírási terület

$M_{Ny,Rd}$  = Az erősebb tengelyre, normálerővel redukált képlékeny nyomaték

$M_{Nz,Rd}$  = A gyengébb tengelyre, normálerővel redukált képlékeny nyomaték

### 8.1. Kéttámaszú, I szelvényű gerenda vizsgálata hajlításra, nyírásra, és lehajlásra

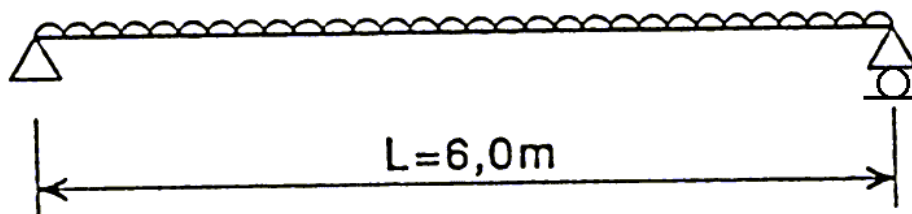
#### 8.1.1. A Feladat

Válasszunk egy IPE szelvényt, amin a 245kN-os terhelés, a 6m-es fesztávon egyenletesen oszlik meg.

A gerenda önsúlyát vegyük 5kN-nak.

Az acél Fe360-as minőségi osztályba tartozik.

2.2.3.2



8.1.ábra Kéttámaszú gerenda

A teljes teher biztonsági tényező nélkül: 250kN.

Az anyagi szilárdság tervezési értéke:

feltételezve:

$$t \leq 40mm$$

$$\gamma_M = 1,1$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{235}{1,1} = 213,5 \frac{N}{mm^2}$$

A szerkezetre ható hatások karakterisztikus értékei:

Állandó:  $G_k=5kN$

Változó:  $Q_k=245kN$

A teherbírási határállapot megállapításához ezeket az értékeket megfelelően kombinálva megkapható a tervezési érték.

$$\begin{aligned} F_d = G_d + Q_d &= \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times Q_k = 1,35 \times G_k + 1,5 \times Q_k = \\ &= 1,35 \times 5 + 1,5 \times 245 = 375kN \end{aligned}$$

### 8.1.2. Hajlítás

Egyenletesen megoszló terhelés.

$$M_{sd} = \frac{F_d \times L}{8} = \frac{375 \times 6}{8} = 281,25kNm$$

A nyomaték tervezési értékéhez szükséges feltétel:

$$M_{c.Rd} \geq M_{sd}$$

Feltételezve, hogy a szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik:

$$M_{c.Rd} = M_{pl.Rd} = W_{pl.y} \times f_{yd}$$

$$W_{pl.y} = \frac{281,25 \times 10^3}{213,5} = 1317,3cm^3$$

Válasszuk a 404x182x75,7 (IPE 400 O), ahol  $W_{pl} = 1502cm^3$ .

Keresztmetszeti adatok:

Tábl.:  
3.1

5.1.1

2.3.2.2

2.3.3.1

Tábl.:  
2.2

5.4.5.1

$$h = 404\text{mm}$$

$$b = 182\text{mm}$$

$$d = 331\text{mm}$$

$$t_f = 15,5\text{mm}$$

$$t_w = 9,7\text{mm}$$

$$r = 21\text{mm}$$

$$I_{yy} = 1564\text{cm}^4$$

$$I_{xx} = 26750\text{cm}^4$$

$$A = 96,4\text{cm}^2$$

Az önsúly ellenőrzése:

$$G_k = 96,4 \times 10^{-4} \times 78,5 \times 6 = 4,54\text{kN}$$

Az előzőekben számított  $G_k = 5\text{kN} \rightarrow \text{OK}$ .

A keresztmetszeti osztályba sorolás:

$$f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{-hez tartozó } \varepsilon = 1.$$

$$\text{Az övre: } \frac{c}{t_f} = \frac{182/2}{15,5} = 5,87 \leq 10\varepsilon$$

$$\text{Az gerincre: } \frac{d}{t_w} = \frac{331}{9,7} = 34,12 \leq 72\varepsilon$$

A szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik, és a keresztmetszet nyomatéki ellenállása megfelelő.

$$\text{Valamint: } t_f < 40\text{mm} \cdot \left( f_y = 235 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right).$$

### 8.1.3. Nyírás

A nyíróerő tervezési értéke az alátámasztásnál:

$$V_{sd} = \frac{375}{2} = 187,5\text{kN}$$

A tervezési képlékeny nyírási ellenállás szükséges feltétele:

Tábl.:  
5.3.1

$$V_{pl.Rd} \geq V_{Sd}$$

5.4.6

$$V_{pl.Rd} = \frac{A_v \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_M} = \frac{[A - 2 \times b \times t_f + (t_w + 2 \times r) \times t_f] \times \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_M} =$$

$$= \frac{[96,4 \times 10^2 - 2 \times 182 \times 15,5 + (9,7 + 2 \times 21) \times 15,5] \times \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1,1} =$$

$$= 592 \times 10^3 \text{ N} = 592 \text{ kN}$$

→ A szelvény nyírásra OK.

### 8.1.4. Lehajlás

Ellenőrzendő a lehajlás a használhatósági terhelésre:

$$\gamma_f = 1,0$$

2.3.4(6)

$$E = 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

3.2.5

A lehajlás maximális értéke:

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0$$

4.2.2

ahol:

$\delta_0$  előzetes felhajlás

$\delta_1$  lehajlás az állandó terheléshez

$\delta_2$  lehajlás a változó terheléshez

Jelen esetben  $\delta_0 = 0$ .

Az Eurocode 3 határértékei:

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300}$$

Tábl.:  
4.1

$$\delta_{\max} \leq \frac{L}{250}$$

(Megjegyzés: Ha  $\delta_{\max} \leq \frac{L}{300}$ , akkor mindkét feltétel kielégített.)

$\delta_{\max}$  számításához a szerkezet hatásainak tervezési értéke:



$$F_d = G_k + Q_k = 250kN$$

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} \times \frac{F_d \times L^3}{E \times I} = \frac{5}{384} \times \frac{250 \times 6^3 \times 10^{12}}{2,1 \times 10^5 \times 26750 \times 10^9} = 12,5mm$$

$$\frac{L}{300} = \frac{6 \times 10^3}{300} = 20mm$$

$$\delta_{\max} \leq \frac{L}{250}$$

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300}$$

→ A szelvény lehajlásra OK.

Alkalmazandó szelvény 404x182x75,7 (IPE 400 O)

2.3.4(5)

Egyenlet:  
2.17

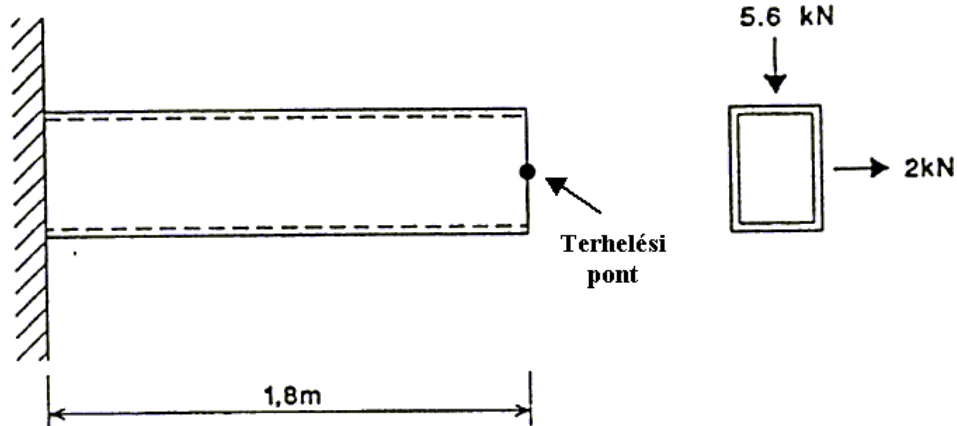
## 8.2. Téglalap keresztmetszetű konzol tartó ellenőrzése kéttengelyű hajlításra, nyírásra, és lehajlásra

### 8.2.1. A feladat

Válasszunk egy RHS konzolos tartógerendát 1,8m-es konzollal, aminek a végén 5,6kN-os vízszintes, és 2,0kN-os függőleges koncentrált erők hatnak.

A gerenda önsúlyát vegyük 0,4kN-nak.

Az acél Fe360-as minőségi osztályba tartozik.



8.2. ábra Konzol

Az anyagszilárdság tervezési értéke:

feltételezve:

$$t \leq 40 \text{ mm}$$

$$\gamma_M = 1,1$$

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_M} = \frac{235}{1,1} = 213,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A szerkezetre ható hatások karakterisztikus értékei:

Állandó:  $G_k=0,4\text{kN}$  (megoszló)

Változó: Függőleges:  $Q_k=5,6\text{kN}$  (kocentrált)

Vízszintes:  $Q_k=2,0\text{kN}$  (kocentrált)

Az előző feladatban használt parciális biztonsági tényezőkhöz hasonlóan, a teherbírási határállapot megállapításának tervezési értékéhez az alábbi kombinációkat kell elvégezni.

2.2.3.2

Tábl.:  
3.1

5.1.1

$$G_d = \gamma_G \times G_k = 1,35 \times G_k = 1,35 \times 0,4 = 0,54kN$$

$$Q_d = \gamma_Q \times Q_k = 1,5 \times Q_k = 1,5 \times 5,6 = 8,4kN$$

$$Q_d = \gamma_Q \times Q_k = 1,5 \times Q_k = 1,5 \times 2,0 = 3,0kN$$

### 8.2.2. Hajlítás

$$M_{y.Sd} = 0,54 \times \frac{1,8}{2} + 8,4 \times 1,8 = 0,486 + 15,2 = 15,6kNm$$

$$M_{z.Sd} = 3 \times 1,8 = 5,4kNm$$

$$V_{y.Sd} = 0,54 \times 1,8 + 8,4 = 9,372kN$$

Mivel a szelvénynek ki kell elégítenie az interakciós feltételt, válasszunk egy próbaszelvényt, és vizsgáljuk ennek az ellenállását: 5.4.8.1

Próbáljuk a 120x80x6,3 RHS (EN 10210-2)

Keresztmetszeti adatok:

$$W_{pl.y} = 91,3cm^3$$

$$h = 120mm$$

$$W_{pl.z} = 68,2cm^3$$

$$b = 80mm$$

$$t = 6,3mm$$

$$I_y = 440cm^4$$

$$A = 23,2cm^2$$

Vizsgáljuk az önsúlyt:

$$G_k = 23,2 \times 10^{-4} \times 78,5 \times 1,8 = 0,33kN$$

A szelvény keresztmetszeti osztályba sorolása:

$$f_y = 235 \frac{N}{mm^2} \text{-hez tartozó } \varepsilon = 1.$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{h - 3 \times t}{t} = \frac{120 - 3 \times 6,3}{6,3} = 16 \leq 72\varepsilon$$

$$\frac{b - 3 \times t}{t} = \frac{80 - 3 \times 6,3}{6,3} = 9,7 \leq 33\varepsilon$$

A szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik.

Mivel nyírásra a  $V_{Sd} \leq 50\%$  -a a  $V_{pl.Rd}$  lehetséges nyírási ellenállásnak, ezért 5.4.7

Tábl.:  
5.3.1

$M_{c.Rd}$  teljes értékével kell számolni.

Vizsgálandó:

$$\left[ \frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}} \right]^\beta \leq 1 \quad 5.4.8.1(11)$$

ahol

$$\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,13 \times n^2} \leq 6$$

Amennyiben nincs tengely irányú erő:

$n = 0$ , és

$\alpha = \beta = 1,66$

$$\begin{aligned} & \left[ \frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}} \right]^\beta = \\ & = \left[ \frac{15,6 \times 10^6}{91,3 \times 10^3 \times 235/1,1} \right]^{1,66} + \left[ \frac{5,4 \times 10^6}{68,2 \times 10^3 \times 235/1,1} \right]^{1,66} = \\ & = 0,690 + 0,192 = 0,882 \leq 1 \end{aligned}$$

→ A szelvény hajlításra OK, amennyiben a nyíróerő értéke a fenti feltételezés szerint alacsony.

Ezt most ellenőrizzük.

### 8.2.3. Nyírás

A függőleges teherre:

$$V_{pl.Rd} = \frac{A \times h}{b + h} \times \frac{f_y / \sqrt{3}}{\gamma_M} = \frac{23,2 \times 10^2 \times 120}{80 + 120} \times \frac{235 / \sqrt{3}}{1,1} = 173,7 \text{ kN} \quad 5.4.6$$

Mindkét -vízszintes, ill. függőleges- teherre  $V_{Sd} \leq V_{pl.Rd}$

### 8.2.4. Lehajlás

Ezt csak a függőleges terhekre vizsgáljuk.

$$\delta_{\max} = \delta_1 + \delta_2$$

$$\delta_1 = \frac{G_k \times L^3}{8 \times E \times I} = \frac{0,4}{8} \times \frac{1,8^3 \times 10^{12}}{2,1 \times 440 \times 10^9} = 0,3 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = \frac{Q_k \times L^3}{3 \times E \times I} = \frac{5,6}{3} \times \frac{1,8^3 \times 10^{12}}{2,1 \times 440 \times 10^9} = 11,8 \text{ mm}$$

$$\delta_{\max} = 0,3 + 11,8 = 12,1 \text{ mm}$$

A konzolos tartóra, L-et vegyük a tervezett hossz kétszeresének, így az EC3 4.1-es táblázatából az elfogadható értékek:

$$\delta_{\max} = \frac{2 \times 1,8 \times 10^3}{250} = 14,4 \text{ mm}$$

$$\delta_2 = \frac{2 \times 1,8 \times 10^3}{300} = 12,0 \text{ mm}$$

→ A szelvény lehajlásra OK.

Tábl.:

4.1

4.2.2(2)

### 8.3. Egyszeresen szimmetrikus darupályatartó vizsgálata

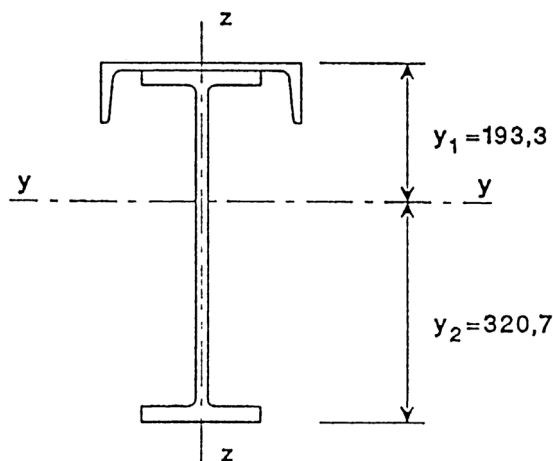
#### 8.3.1. A feladat

Vizsgáljuk meg a teherbírását egy összetett darupályatartónak, ami egy 500x200x90,7 IPE-ből, és egy a felső övére erősített 260x90x37,9-es U szelvényből áll. Ez a szelvény egy 267kNm-es függőleges nyomatékkal, valamint a felső övben egy 20,6kNm-es vízszintes nyomatékkal van terhelve.

Az acél Fe360-as minőségi osztályba tartozik.

#### Megjegyzés:

A valóságban ezt a gerendát, az effektív (hatékony) oldalsó- és csavarási befogás pontjai között, oldalról megtámasztás nélkül tervezték. Jelen esetben az egyszeresen szimmetrikus keresztmetszetekre alkalmazott nyomatéki ellenállás meghatározásának folyamatát mutatja be. Az elcsavarodó kihajlást figyelembe vevő szükséges számítások a 9.2-es mintapéldában találhatóak.



8.3. ábra Darupályatartó

Az U szelvény, és az IPE 500-as KB szelvények adatai:

$h_c = 260\text{mm}$	$h_B = 500\text{mm}$
$t_{fc} = 10\text{mm}$	$b = 200\text{mm}$
$t_{wc} = 14\text{mm}$	$t_{wB} = 10,2\text{mm}$
$y_c = 2,36\text{cm}$	$t_{fB} = 16\text{mm}$
$A_c = 48,3\text{cm}^2$	$A_B = 116\text{cm}^2$
$I_{z_c} = 317\text{cm}^4$	$I_{yyB} = 48200\text{cm}^4$
$I_{yy_c} = 4820\text{cm}^4$	$I_{z_B} = 2142\text{cm}^4$

$$f_y = 235$$

$$\gamma_M = 1,1$$

$$\bar{y} = \frac{A_c \times y_c + A_B \times \left( t_{wc} + \frac{h_B}{2} \right)}{A_c + A_B} =$$

$$= \frac{48,3 \times 2,36 + 116 \times \left( 14 \times 10^{-1} + \frac{500 \times 10^{-1}}{2} \right)}{48,3 + 116} = 19,33 \text{ cm} = 193,3 \text{ mm}$$

$$I_{yy} = I_{zzc} + A_c \times (\bar{y} - y_c)^2 + I_{yyB} + A_B \times \left( t_{wc} + \frac{h_B}{2} - \bar{y} \right)^2 =$$

$$= 317 + 48,3 \times (19,33 - 2,36)^2 + 48200 + 116 \times \left( 1,4 + \frac{50}{2} - 19,33 \right)^2 =$$

$$= 68225 \text{ cm}^4$$

$$W_{el.yc} = \frac{I_{yy}}{\bar{y}} = \frac{68225}{19,33} = 3529 \text{ cm}^3$$

$$W_{el.yt} = \frac{I_{yy}}{h_B + t_{wc} - \bar{y}} = \frac{53460,34}{514 \times 10^{-1} - 19,33} = 2127 \text{ cm}^3$$

$$W_{el.z(fent)} = \frac{I_{yyc} + \frac{1}{2} \times I_{zzB}}{\left( \frac{h_c}{2} \right)} = \frac{4820 + \frac{2142}{2}}{\left( \frac{260 \times 10^{-10}}{2} \right)} = 453,15 \text{ cm}^3$$

A hajlító nyomaték:

$$M_{c.Rd} = \frac{W_{el} \times f_y}{\gamma_M}$$

A nyomott övre:

$$M_{cy.Rd} = \frac{3,529 \times 235}{1,1 \times 10^3} = 754 \text{ kNm}$$

A húzott övre:

$$M_{cy.Rd} = \frac{2127 \times 235}{1,1 \times 10^3} = 454 \text{ kNm}$$

A nyomott öv vízszintes nyomatékára:

$$M_{cz.Rd} = \frac{453,15 \times 235}{1,1 \times 10^3} = 96,8 \text{ kNm}$$

3.2.21

5.1.1(1)

5.4.5.1

Hajlításra a felső övben:

$$\frac{M_{y.Sd}}{W_{el.y} \times f_{yd}} + \frac{M_{z.Sd}}{W_{el.z} \times f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{267 \times 10^6}{3,529 \times 10^3 \times 235/1,1} + \frac{20,6 \times 10^6}{453 \times 10^3 \times 235/1,1} = 0,354 + 0,213 = 0,567 \leq 1$$

Függőleges kihajlásra az egyedüli  $M_{Sd} = 267kNm$  kevesebb mint a húzott öv  $454kNm$  -es nyomatéki ellenállása.

A választott keresztmetszet OK.

5.4.8.2

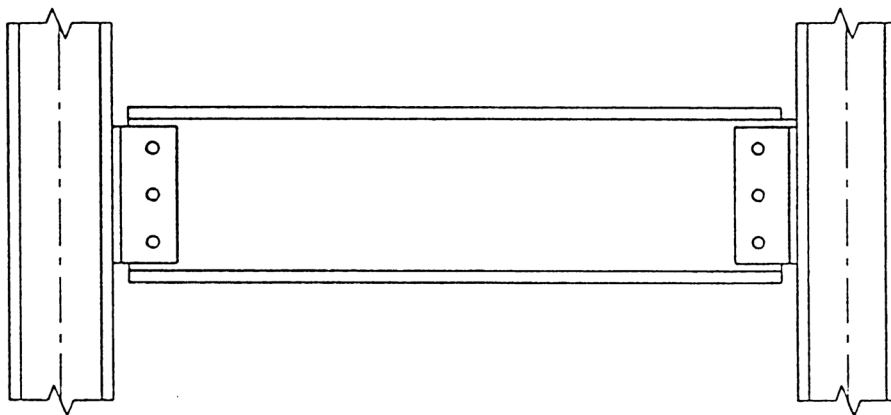


## 9. Oldalirányban megtámasztás nélküli gerendák

### 9.1. Kéttámaszú I gerenda

#### 9.1.1. A feladat

Vizsgáljuk meg a Fe360-as minőségi osztályú acélból készült 500x200x90,7 (IPE) gerenda teherbírását. Ezt a gerendát egy 24kN/m-es egyenletesen megoszló teherrel terheljük. A gerenda fesztávja 6m, s mindkét vége szögacélokkal az oszlopok öveihez van rögzítve.



9.1. ábra Kéttámaszú gerenda

A gerenda végeinek ilyen jellegű kapcsolata esetén, a függőleges síkban értelem szerűen egyszerű alátámasztást feltételezhetünk, oldal irányban teljesen korlátozott az eltolódás, valamint az elfordulás. Egyszerűsítésként ebben az első feladatban tegyük fel, hogy a teher a nyírési középpontban hat. A felső öv terhelése  $\lambda_{LT}$  meghatározása esetén lehetséges.

A szelvény keresztmetszeti osztályba sorolása:

$$f_y = 235 \frac{N}{mm^2} \text{-hez tartozó } \varepsilon = 1.$$

$$\text{Az övre: } \frac{c}{t_f} = \frac{200/2}{16} = 6,25 \leq 10\varepsilon$$

$$\text{Az gerincre: } \frac{d}{t_w} = \frac{426}{10,2} = 41,76 \leq 72\varepsilon$$

A szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik.

Tábl.:  
5.31

$$h = 500\text{mm}$$

$$b = 200\text{mm}$$

$$d = 426\text{mm}$$

$$t_f = 16\text{mm}$$

$$t_w = 10,2\text{mm}$$

$$W_{pl,y} = 2194\text{cm}^3$$

$$i_z = 4,31\text{cm}$$

Karcsúság:

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times \frac{L}{i_z}}{(C_1)^{\frac{1}{2}} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{L/i_z}{h/t_f} \right)^2 \right]^{\frac{1}{4}}}$$

F mellékl.:  
2.2(5)

Az F.1.2-es táblázatból megoszló terhelésre, és egyik végén sem befogott esetre a  $k=1,0$ .

Tábl.:  
F.1.2

$$C_1 = 1,132$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times \frac{6 \times 10^3}{43,1}}{(1,132)^{\frac{1}{2}} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{(6 \times 10^3)/43,1}{500/16} \right)^2 \right]^{\frac{1}{4}}} = 99,1$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times (\beta_w)^{\frac{1}{2}}$$

Tábl.:  
5.5.2

ahol:

$$\lambda_1 = 93,0 \times \left( \frac{235}{f_y} \right)^{\frac{1}{2}} = 93,9$$

$$\beta_w = 1 \text{ (1-es, és 2-es keresztmetszeti osztály esetén.)}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{99,1}{93,9} = 1,05$$

Az „a” jelű görbe alkalmazandó.

5.5.2(4)

$$\chi_{LT} = 0,640$$

Tábl.:  
5.5.2

valamint

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_M} =$$
$$= 0,64 \times 1 \times \frac{2194 \times 10^3 \times 235}{1,1} = 299979 Nm = 300 kNm$$

Egyszerű megtámasztás esetén 6m-es fesztávolságra:

$$M_{sd} = \frac{24 \times 6^2}{8} = 108 kNm < 300 kNm$$

Mivel a nyomatéki ellenállás meghaladja ezt az értéket, így a szelvény megfelelő.

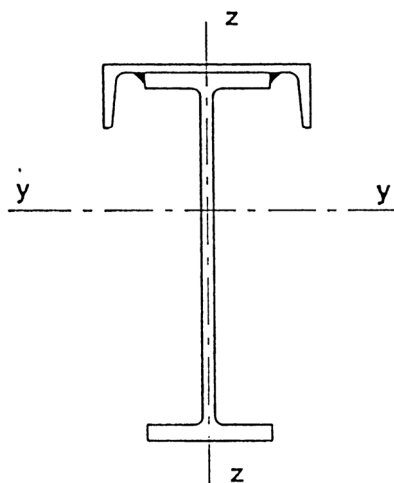
## 9.2. Egyszeresen szimmetrikus darupályatartó

### 9.2.1. A feladat

Állapítsuk meg a kifordulási stabilitását egy portáldaru összetett darupálya tartójának, ami egy 750x222x222 IPE-ből, és egy a felső övére erősített 400x110x71,8-as U szelvényből áll.

Az effektív (hatékony) oldalsó- és csavarási befogás pontok 10m-es távolságokban helyezkednek el. A teherbírési tervezési nyomaték 2000kNm.

Az acél Fe360-as minőségi osztályba tartozik.



9.2. ábra Darupálya tartó

Az U szelvény, és az IPE szelvény adatai:

	$h = 778mm$
$h = 400mm$	$b = 269mm$
$t_f = 18mm$	$t_f = 29,5mm$
$t_w = 14mm$	$t_w = 17mm$
$b = 110mm$	$A = 283cm^2$
$A = 91,5cm^2$	$I_z = 9604cm^4$
$I_z = 20350cm^4$	$I_t = 605cm^4$
$I_t = 81,6cm^4$	$g_y = 2,65cm$
	$W_{pl,y} = 8225cm^2$

Az egyesített szelvény adatai:

$$A = 283 + 91,5 = 374,5 \text{ cm}^2$$

$$I_z = 9604 + 20350 = 29954 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \left( \frac{29954}{374,5} \right)^{0,5} = 8,94 \text{ cm}$$

$$I_{fc} = 20350 + \frac{2,95 \times 26,9^3}{12} = 25135,1 \text{ cm}^4$$

$$I_{ft} = \frac{2,95 \times 26,9^3}{12} = 4785,17 \text{ cm}^4$$

$$\beta_f = \frac{I_{fc}}{I_{fc} + I_{ft}} = 0,84$$

$$I_w = \beta_f \times (1 - \beta_f) \times I_z \times h_s^2 =$$

$$= 0,84 \times (1 - 0,84) \times 29954 \times (778 + 14 - 29,5)^2 = 2341 \times 10^6 \text{ cm}^6$$

$$Z_j = 0,8 \times (2 \times \beta_f - 1) \times \left( 1 + \frac{h_c}{h} \right) \times \frac{h_s}{2} =$$

$$= 0,8 \times (2 \times 0,84 - 1) \times \left( 1 + \frac{110}{792} \right) \times \frac{762}{2} = 236,2 \text{ mm}$$

$$I_t = I_{tc} + I_{tt} = 81,6 + 605 = 686,6 \text{ cm}^4$$

$\lambda_{LT}$  számításához először szükséges kiszámolni az  $M_{cr}$  rugalmas kritikus nyomatékot. Ehhez az értékek:  $k_w=1,0$  és  $k=1$ .

$$C_1 = 1,365$$

$$C_3 = 1,730$$

(Megjegyzendő, hogy  $C_2$  értékre nincs szükségünk.)

F mellékl.:

1.4

F mellékl.:

1.2

2.2

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= C_1 \times \frac{\pi^2 \times E \times I_z}{(k \times L)^2} \times \left\{ \left[ \left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \times \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \times L)^2 \times G \times I_t}{\pi^2 \times E \times I_z} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (0 - C_3 \times Z_j)^2 \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - (0 - C_3 \times Z_j) \right. \right. \left. \right\}^{0,5} = \\
 &= 1,365 \times \frac{\pi^2 \times 210 \times 10^3 \times 29954 \times 10^4}{(12000)^2} \times \\
 &\quad \times \left\{ \left[ \left( \frac{1}{1} \right)^2 \times \frac{2340,6 \times 10^{12}}{29954 \times 10^4} + \frac{(12000)^2 \times 81000 \times 686,6 \times 10^4}{\pi^2 \times 21000 \times 29954 \times 10^4} + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. + (0 - 1,73 \times 236,2)^2 \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. - (0 - 1,73 \times 236,2) \right. \right. \left. \right\}^{0,5} = \\
 &= 5884966,9 \times \{ [7813981,4 + 128996,35 + 166975,2]^{0,5} + 408,626 \} = \\
 &= 1,9164 \times 10^{10} \text{ Nmm} = 19164 \text{ kNm} \\
 \\
 \bar{y} &= \frac{A_c \times g_y + A_B \times \left( t_{wc} + \frac{h_B}{2} \right)}{A_c + A_B} = \\
 &= \frac{91,5 \times 2,65 + 283 \times \left( 1,4 + \frac{77,8}{2} \right)}{91,5 + 283} = 31,1 \text{ cm} = 311 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Mivel a képlékeny semleges tengely (PNA) a gerendában található, így a gerendatartó képlékeny keresztmetszeti tényezője az alábbi módon számítható:

A teljes terület:

$$A_B + A_C = 283 + 91,5 = 374,5 \text{ cm}^2$$

A képlékeny semleges tengely (PNA) alatti terület:

$$\frac{A_B + A_C}{2} = \frac{283 + 91,5}{2} = 187,25 \text{ cm}^2$$

A középvonal alatti terület:

$$\frac{A_B}{2} = \frac{283}{2} = 141,5 \text{ cm}^2$$

A vonalkázott diagramm területe (lásd a diagrammot) = „PNA alatti terület” - „a középvonal alatti terület” =  $187,25 - 141,5 = 45,75 \text{ cm}^2$

Ahol:

$$\chi = \frac{45,75 \times 100}{17} = 269,2mm$$

A portáldaru összetett darupálya tartójának képlékeny keresztmetszeti tényezője:

$$L_a = \frac{h_B}{2} + t_{wc} - g_y = \frac{778}{2} + 14 - 26,5 = 37,65cm$$

$$W_{pl,y} = W_{pl,y,B} - \chi^2 \times t_{w,B} + A_c \times L_a =$$

$$= 8225 - 26,92^2 \times 1,7 + 91,5 \times 37,65 = 10438cm^3$$

$$\lambda_{LT} = \left( \frac{\pi^2 \times E \times W_{pl,y}}{M_{cr}} \right)^{0,5} = \left( \frac{\pi^2 \times 210000 \times 10,438 \times 10^6}{19164 \times 10^6} \right)^{0,5} = 33,6$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times (\beta_w)^{0,5} = \frac{33,6}{93,9} = 0,357$$

F.2.1

Az „a” jelű görbe alkalmazandó.

Tábl.:  
5.5.2

$$\chi_{LT} = 0,965$$

valamint

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \times \beta_w \times \frac{W_{pl,y} \times f_y}{\gamma_M} =$$

$$= 0,965 \times 1 \times \frac{10,438 \times 235}{1,1} = 2151,9kNm$$

Ez meghaladja az  $M_{sd} = 2000kNm$  -es értéket.

A választott szelvény OK.

### 9.3. Oldalirányban megtámasztott folytatólagos gerenda

#### 9.3.1. A feladat

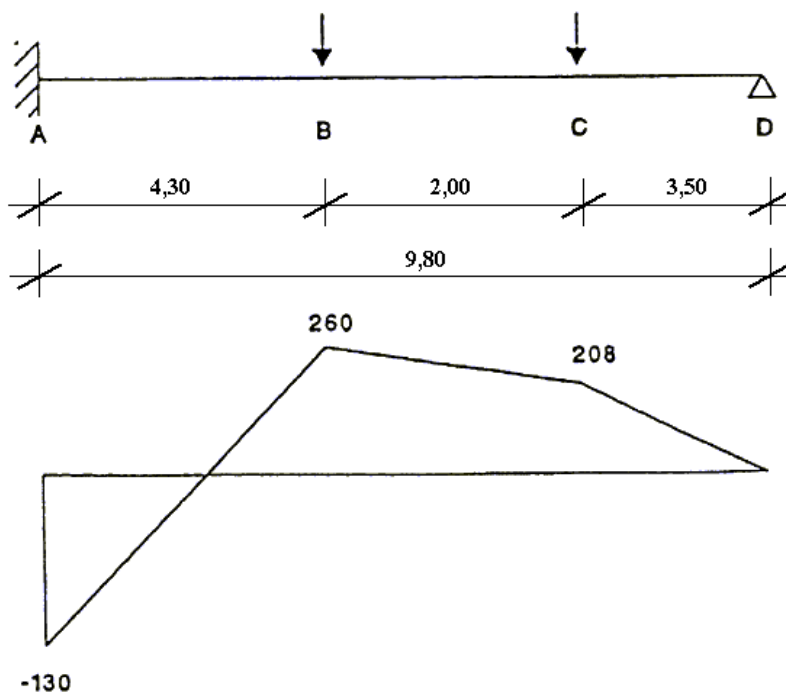
Egy 9,8m-es fesztávolságú gerendára a bal oldali végétől számítva 4,30 valamint 6,30m-es távolságokban egy-egy keresztgerenda támaszkodik. Az oszlopgerenda mindkét végét, és a terhelési pontokat is oldalirányú kitérésre, valamint csavarásra teljesen merevnek tekinthetjük.

A gerenda nyomatéki eloszlása:

A	bal vég	-130kNm
B	1. keresztgerenda	260kNm
C	1. keresztgerenda	208kNm
D	jobb vég	0kNm

Megvizsgálandó, hogy vajon egy Fe360-as minőségi osztályú acélból készült 500x200x90,7 (IPE) szelvény megfelel-e.

A gerenda, és a nyomatéki ábra alább látható. Az összes szakaszt AB, BC, és CD-t, az arra vonatkozó nyomatéki ábra alapján oldalirányú stabilitásra kell megvizsgálni.



9.3. ábra Folytatólagos gerenda



Keresztmetszeti jellemzők:

$$h = 500\text{mm} \quad W_{pl,y} = 2194\text{cm}^3$$

$$t_f = 16\text{mm} \quad i_z = 4,31\text{cm}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \times \left( \frac{235}{f_y} \right)^{0,5} = 93,9$$

Az EC3 F.1-es táblázatból,  $k=1$  esetén

$$\text{AB} \quad \psi = \frac{-130}{260} = -0,5 \quad C_1 = 2,704$$

$$\text{BC} \quad \psi = \frac{208}{260} = 0,8 \quad C_1 = 1,112$$

$$\text{CD} \quad \psi = \frac{0}{260} = 0,0 \quad C_1 = 1,879$$

AB-re:

$$\lambda_{LT} = \frac{L/i_z}{(C_1)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{L/i_z}{h/t_f} \right)^2 \right]^{0,25}} =$$

$$= \frac{4,3 \times 10^3 / 43,1}{(2,704)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{4,3 \times 10^3 / 43,1}{500/16} \right)^2 \right]^{0,25}} = 54,73$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{54,73}{93,9} = 0,5828$$

Az „a” jelű görbét használva

$$\chi_{LT} = 0,8968$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,8968 \times 1 \times 2194 \times 10^3 \times 235}{1,1 \times 10^6} = 420,35\text{kNm}$$

BC-re:

F.2.2(5)

Tábl.:  
5.5.2

$$\lambda_{LT} = \frac{2,3 \times 10^3 / 43,1}{(1,112)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{2,3 \times 10^3 / 43,1}{500/16} \right)^2 \right]^{0,25}} = 48,91$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{48,91}{93,9} = 0,52$$

$$\chi_{LT} = 0,9174$$

$$M_{b.Rd} = \frac{0,9174 \times 1 \times 2194 \times 10^3 \times 235}{1,1 \times 10^6} = 430 \text{ kNm}$$

CD-re:

$$\lambda_{LT} = \frac{3,2 \times 10^3 / 43,1}{(1,879)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{2,3 \times 10^3 / 43,1}{500/16} \right)^2 \right]^{0,25}} = 50,9$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{50,9}{93,9} = 0,542$$

$$\chi_{LT} = 0,91$$

$$M_{b.Rd} = \frac{0,91 \times 1 \times 2194 \times 10^3 \times 235}{1,1 \times 10^6} = 426,53 \text{ kNm}$$

Szakasz	M <sub>Sd</sub> [kNm]	M <sub>b.Rd</sub> [kNm]
AB	260	420,35
BC	260	430,00
CD	208	426,53

9.1. táblázat

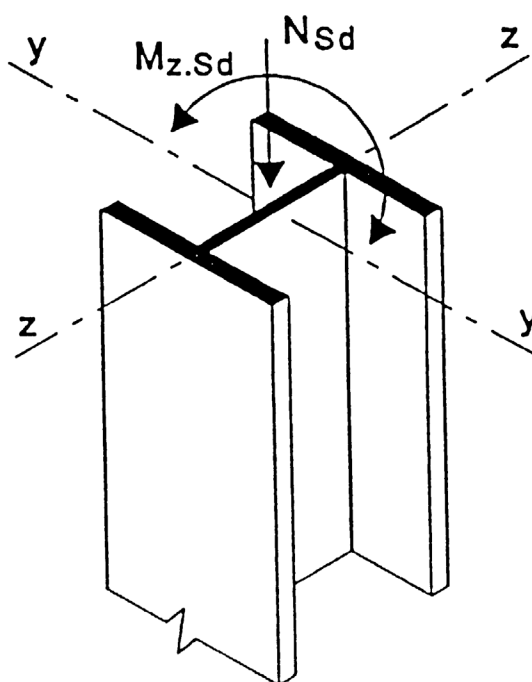
Mivel a kihajlási ellenállás nagyobb mint a szakaszokra jutó alkalmazott nyomaték, így megfelel az 500x200x90,7-es IPE.

## 10. Gerenda- oszlop nyomása és egy-, ill. kéttengelyű hajlítása

### 10.1. H szelvény nyomása, és gyenge tengelye körüli kihajlása

#### 10.1.1. A feladat

Vizsgáljuk meg, hogy ha az alábbi keresztmetszetet 4m hosszú oszlopként használjuk, és egy tengely irányú  $N_{Sd}=250\text{kN}$ -os normálerővel terheljük, akkor a gyengébb tengelye körüli 6kNm-es nyomatékot biztonságosan elviseli. Tegyük fel, hogy ez a nyomaték egy szabályos, egyszeresen görbült kihajlást eredményez. Az acél az Fe360-as minőségi osztályba tartozik. Az oszlopvégek úgy vannak megtámasztva, hogy relatív elfordulás nem jöhet létre, de a forgás nincs korlátozva.



10.1. ábra Nyomás, és gyenge tengely körüli hajlítás

Keresztmetszeti jellemzők HE160A (Euronorm 53-62):

$$\begin{array}{lll}
 h = 152\text{mm} & i_y = 6,57\text{cm} & \\
 b = 166\text{mm} & i_z = 3,98\text{cm} & W_{pl,y} = 245\text{cm}^3 \\
 t_f = 9\text{mm} & W_y = 220\text{cm}^3 & W_{pl,z} = 118\text{cm}^3 \\
 t_w = 6\text{mm} & W_z = 76,9\text{cm}^3 & \\
 A = 38,8\text{cm}^2 & & 
 \end{array}$$

Mivel a kihajlás a gyenge tengely síkjában jelentkezik, így nem lép fel kifordulás.

Az oszlop karcsúságának megfelelően, a kifordulás a tervezést is befolyásolja, és ezért a teherviselés számításához az EC3 5.5.4-es pontot kell alkalmazni.

Mivel  $M_{y.Sd}$  egyenlő 0-val:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y} + \frac{k_z \times M_{z.Sd}}{W_{pl.z} \times f_y} + 0 \leq 1 \quad 5.5.4(1)$$

Ezt feltételezve az EC3 5.3-assal megegyezően a keresztmetszet az 1-es, vagy a 2-es osztályba tartozik. A vizsgálat során kiderül, hogy a legszigorúbb feszültségeloszlásra, az egyenletes nyomásra, a szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik. 5.3

Az osztályba sorolás:

Tábl.:  
5.3.1

$$f_y = 235 \frac{N}{mm^2} \text{-hez tartozó } \varepsilon = 1.$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{80}{9} = 8,88 \leq 10\varepsilon$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{104}{6} = 17,3 \leq 33\varepsilon$$

A szelvény az 1-es keresztmetszeti osztályba tartozik.

Mivel  $i_z < i_y$ , így  $\chi_{\min} = \chi_z$ .

5.5.1.1

$$\beta_A = 1$$

$$\lambda_1 = 93,9 \in = 93,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} \times 1^{0,5} = \frac{4000/39,8}{93,9} = 1,0703$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 \leq 1,2$$

$$t_f \leq 40mm$$

5.5.3

A gyengébb tengely körüli kihajláshoz a „c” jelű görbét kell használni.

$$\chi_z = 0,5$$

Tábl.:  
5.5.2

Mivel ez egy szabályos, egyszeresen görbült kihajlás, így:

$$\psi = 1,0$$

$$\beta_{M\lambda} = 1,1$$

$$\mu_z = 1,0703 \times (2 \times 1,1 - 4) + \left( \frac{118 - 76,9}{76,9} \right) = -1,392 \leq 0,9$$

$$k_z = 1 - \left( \frac{-1,392 \times 250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 1,763$$

de mivel

$$k_z \leq 1,5$$

így:

$$k_z = 1,5$$

Behelyettesítve az értékeket:

$$\frac{N_{sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y} + \frac{k_z \times M_{z,sd}}{W_{pl,z} \times f_y} + 0 \leq 1$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{1,5 \times 6 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} + 0 \leq 1$$

$$0,548 + 0,324 \leq 1$$

$$0,873 \leq 1$$

→OK.

HE 160 A szelvényt alkalmazunk.

5.5.3 ábra

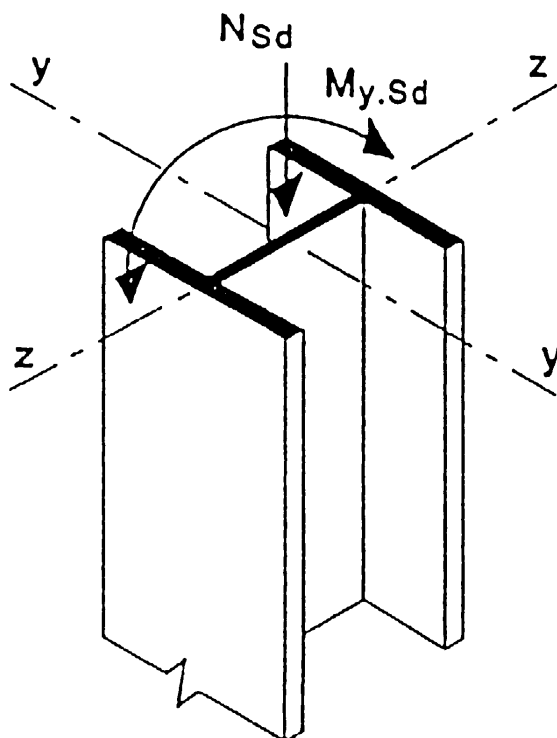
5.5.4(1)

## 10.2. H szelvény nyomása, és erős tengelye körüli kihajlása

### 10.2.1. A feladat

Vizsgáljuk meg, hogy az előbbi feladatban szereplő szelvény, az erős tengelye körüli 15kNm-es nyomatékot is biztonságosan elbírja. Tegyük fel, hogy a 4m-es fesztávon ez a nyomaték az előbbiekhöz hasonlóan egy szabályos, egyszeresen görbült kihajlást eredményez.

Mivel az alkalmazott nyomatékok az erős tengely körüliek, így a rúdrészek vagy meghajlanak a síkban, vagy kihajlanak abból, esetleg mindkét jelenség egyszerre lép fel. Így mindhárom esetet meg kell vizsgálni. 5.5.4



10.2. ábra Nyomás, és erős tengely körüli hajlítás

Az erősebb tengely körüli, a síkban létrejövő kihajlás esetén a gyengébb tengely körül nem lép fel nyomaték, így:  $\chi_y = \chi_{\min}$ . 5.51  
Egyenlet

Mivel  $M_{z.Sd}$  egyenlő 0-val:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times A \times \frac{f_y}{\gamma_1}} + \frac{k_z \times M_{z.Sd}}{W_{pl.z} \times \frac{f_y}{\gamma_1}} + 0 \leq 1 \quad 5.5.4(1)$$

$$\beta_A = 1$$

5.5.1.1

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9$$

5.5.1.2

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{l_y}{i_y \times \lambda_1} = \frac{4000}{67,5 \times 93,9} = 0,631$$

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 \leq 1,2$$

Az y-y erősebb tengely körüli kihajláshoz a „b” jelű görbét kell használni.

$$\chi_y = 0,8204$$

Tábl.:

$$\beta_{M,y} = 1,1$$

5.5.3

$$\mu_y = 0,631 \times (2 \times 1,1 - 4) + \left( \frac{245 - 220}{220} \right) = -1,022 \leq 0,9$$

Tábl.:

5.5.2

$$k_y = 1 - \left( \frac{-1,022 \times 250 \times 10^3}{0,8204 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 1,34$$

9.5.3 ábra

5.5.4(1)

$$\frac{250 \times 10^3}{0,8204 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{1,34 \times 15 \times 10^6}{245 \times 10^3 \times 235/1} + 0 \leq 1$$

$$0,334 + 0,349 \leq 1$$

$$0,683 \leq 1$$

A szelvény a síkban létrejövő kihajlásra megfelelő, ezek után meg kell vizsgálni a síkból való kihajlást, és a kifordulást.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times W_{pl,y} \times f_y / \gamma_{M1}} + 0 \leq 1$$

5.5.4(2)

$$\lambda_1 = 93,9$$

5.5.2(5)

$$\beta_w = 1,0$$

Amennyiben  $\psi = 1$  és  $k = 1$ . Az elem csuklós végű. Így:

Tábl.:

F.1.1

$$C_1 = 1,0$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times L/i_z}{(C_1)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{L/i_z}{h/t_f} \right)^2 \right]^{0,25}} =$$

$$= \frac{0,9 \times 4,0 \times 10^3 / 39,8}{(2,704)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{4,0 \times 10^3 / 39,8}{152/9} \right)^2 \right]^{0,25}} = 70,109$$

F.2.2.4

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \times \beta_w^{0,5} = \frac{70,109}{93,9} \times 1^{0,5} = 0,7466$$

5.5.2.(5)

A hengerekt szelvényekre az „a” jelű görbét kell használni.

5.5.2.(4)

$$\chi_{LT} = 0,8234$$

Tábl.:

$$\mu_{LT} = 0,15 \times \bar{\lambda}_z \times \beta_{M,LT} - 0,15 = 0,15 \times 1,0703 \times 1,1 - 0,15 = 0,0266 \leq 0,9$$

5.5.2

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} \times N_{sd}}{\chi_z \times A \times f_y} = 1 - \frac{0,0266 \times 250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235} = 0,985$$

5.5.4(2)

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{0,985 \times 15 \times 10^6}{0,8234 \times 245 \times 10^3 \times 235/1} + 0 \leq 1$$

$$0,548 + 0,312 \leq 1$$

$$0,86 \leq 1$$

→OK.

HE 160 A szelvényt alkalmazunk.

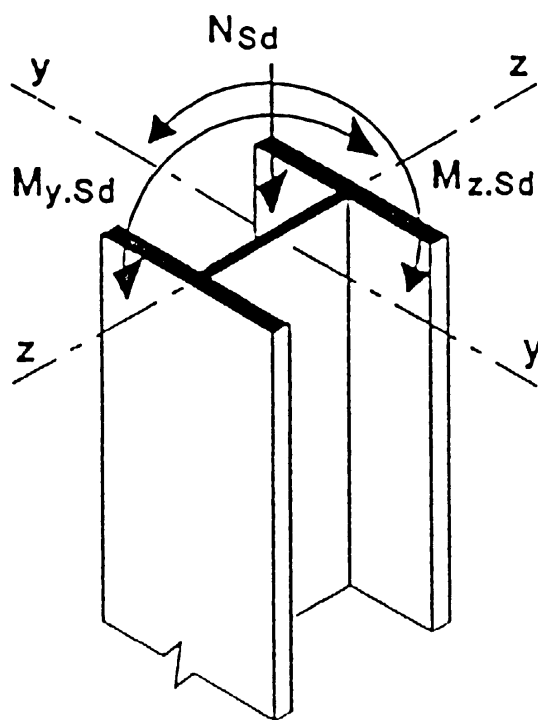


### 10.3. H szelvény nyomása, és mindkét tengelye körüli kihajlása

#### 10.3.1. A feladat

Vizsgáljuk meg, hogy az előbbi feladatban szereplő szelvény, az  $N_{Sd}=250\text{kN}$  normálerőt, a gyenge tengelye körüli  $M_{y,Sd}=10\text{kNm}$ -es nyomatékkal, és az erős tengelye körüli  $M_{z,Sd}=2,7\text{kNm}$ -es nyomatékkal együtt is biztonságosan elbírja. Tegyük fel, hogy a 4m-es fesztávon mindkét nyomaték az előbbiekhöz hasonlóan egy szabályos, egyszeresen görbült kihajlást eredményez.

Az EC3 5.5.4(1)-es, és az 5.5.4(2)-es feltételeket is ki kell elégíteni. A szükséges adatok megtalálhatóak az előbbi két feladatban.



10.3. ábra Nyomás, és mindkét tengely körüli hajlítás

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{pl,y} \times f_y} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{W_{pl,z} \times f_y} \leq 1 \quad 5.5.4(1)$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{1,35 \times 10 \times 10^6}{245 \times 10^3 \times 235/1} + \frac{1,5 \times 2,7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,548 + 0,234 + 0,146 \leq 1$$

$$0,928 \leq 1$$

→OK.

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y} + \frac{k_{LT} \times M_{y.Sd}}{\chi_{LT} \times W_{pl.y} \times f_y} + \frac{k_{LT} \times M_{z.Sd}}{W_{pl.z} \times f_y} \leq 1$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,50 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{0,985 \times 10 \times 10^6}{0,8234 \times 245 \times 10^3 \times 235/1} +$$

$$+ \frac{1,5 \times 2,7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,548 + 0,208 + 0,146 \leq 1$$

$$0,902 \leq 1$$

→OK.

Vizsgáljuk meg a keresztmetszetet teherbírását az EC3 5.4.8 felhasználásával is.

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

$$n = \frac{N_{Sd}}{N_{pl.Rd}} = \frac{250}{235 \times 3,88} = 0,274$$

$$5n = 5 \times 0,274 = 1,371$$

$$5n := 1,0$$

$$M_{N.y} = 1,11 \times M_{pl.y} \times (1 - n) = 1,11 \times 245 \times 235 \times (1 - 0,274) / 10^3 = 46,4 \text{ kNm}$$

$$M_{N.z} = 1,56 \times M_{pl.z} \times (1 - n) \times (n + 0,6) =$$

$$= 1,56 \times 118 \times 235 \times (1 - 0,274) \times (0,274 + 0,6) / 10^3 = 27,45 \text{ kNm}$$

$$\left( \frac{10}{46,4} \right)^2 + \left( \frac{2,7}{27,45} \right)^1 \leq 1$$

$$0,046 + 0,0984 \leq 1$$

$$0,144 \leq 1$$

Mivel kihajlásra, és helyi teherbírásra megfelelő, ezért ez a szelvény alkalmazható.

Tábl.:  
5.5.4(2)

5.4.8(11)

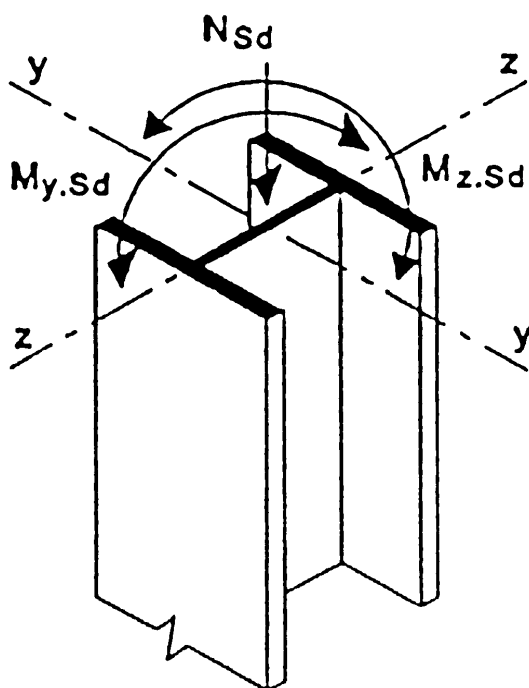
## 11. Gerenda- oszlop nyomása, kéttengelyű kihajlása

### 11.1. H szelvény nyomása, és mindkét tengelye körüli kihajlása, változó nyomatékkal

#### 11.1.1. A feladat

Vizsgáljuk meg, hogy az előbbi feladatban szereplő szelvény, az  $N_{Sd}=250\text{kN}$  normálerőt, a gyenge tengelye körüli  $M_{y,Sd}=20\text{kNm}$ -es nyomatékkal, és az erős tengelye körüli  $M_{z,Sd}=7\text{kNm}$ -es nyomatékkal együtt is biztonságosan elbírja. Tegyük fel, hogy a 4m-es fesztávon mindkét nyomaték egy szabályos, kétszeresen görbült hajlítást eredményez.

Az EC3 5.5.4(1)-es, és az 5.5.4(2)-es feltételeket is ki kell elégíteni. Mivel ezeket a kihajlási vizsgálatokat, az alkalmazott nyomatékok teljes értékénél alacsonyabb értékekkel végezzük, így az előbbi feladatokhoz képest a keresztmetszeti szilárdság kritikusabb. A szükséges adatok megtalálhatóak az előbbi három feladatban.



11.1. ábra Nyomás, és mindkét tengely körüli hajlítás

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{\min} \times A \times f_y} + \frac{k_y \times M_{y,Sd}}{W_{pl,y} \times f_y} + \frac{k_y \times M_{z,Sd}}{W_{pl,z} \times f_y} \leq 1 \quad 5.5.4(1)$$

$$\beta_{M,y} = 2,5$$

$$\psi = -1,0, \text{ és } \beta_{M,z} = 2,5$$

$$\beta_{M,LT} = 2,5$$

5.5.3. ábra

$$\mu_z = 1,0703 \times (2 \times 2,5 - 4) + \left( \frac{118 - 76,9}{76,9} \right) = 1,605, de \leq 0,9$$

5.5.4.1

$$\mu_z = 0,9$$

$$k_z = 1 - \left( \frac{0,9 \times 250 \times 10^3}{0,50 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 0,506 \leq 1,5$$

$$k_z = 0,506$$

$$\mu_y = 0,631 \times (2 \times 2,5 - 4) + \left( \frac{245 - 220}{220} \right) = 0,745 \leq 0,9$$

$$\mu_z = 0,745$$

$$k_y = 1 - \left( \frac{0,745 \times 250 \times 10^3}{0,81 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 0,748 \leq 1,5$$

$$k_y = 0,748$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{0,748 \times 20 \times 10^6}{245 \times 10^3 \times 235/1} + \frac{0,506 \times 7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,548 + 0,260 + 0,127 \leq 1$$

$$0,935 \leq 1$$

→OK.

Vizsgáljuk a kifordulást:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_z \times A \times f_y} + \frac{k_{LT} \times M_{y,Sd}}{\chi_{LT} \times W_{pl,y} \times f_y} + \frac{k_z \times M_{z,Sd}}{W_{pl,z} \times f_y} \leq 1$$

5.5.4.(2)

$$\mu_{LT} = 0,15 \times 1,0703 \times 2,5 - 0,15 = 0,251 \leq 0,9$$

$$\mu_{LT} = 0,251$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{0,251 \times 250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235} = 0,862 \leq 1,0$$

$$k_{LT} = 0,862$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

$$\beta_w = 1,0$$

5.5.2.(5)

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times L/i_z}{(C_1)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{L/i_z}{h/t_f} \right)^2 \right]^{0,25}}$$

F.2.2.(4)

Amennyiben  $\psi = 1$ , és  $k = 1$ . Az elem csuklós végű.

Tábl.:  
F.1.1

Így:  $C_1 = 2,752$

$$\lambda_{LT} = \frac{70,109}{(C_1)^{0,5}} = \frac{70,109}{2,752^{0,5}} = 42,26$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \left( \frac{\lambda_{LT}}{\lambda_1} \right) \times (\beta_w)^{0,5} = \left( \frac{42,262}{93,9} \right) \times 1 = 0,45$$

5.5.2(5)

A hengerelt szelvényekre az „a” jelű görbét kell használni.

5.5.2(4)

$$\chi_{LT} = 0,9386$$

Tábl.:  
5.5.2

$$\frac{250 \times 10^3}{0,5 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{0,8621 \times 20 \times 10^6}{0,9386 \times 245 \times 10^3 \times 235/1} + \frac{0,506 \times 7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,548 + 0,319 + 0,127 \leq 1$$

$$0,994 \leq 1$$

→OK.

$$\left( \frac{M_{y.Sd}}{M_{Ny.Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z.Sd}}{M_{Nz.Rd}} \right)^{5n} \leq 1$$

5.2.8(11)

$$\left( \frac{20}{46,4} \right)^2 + \left( \frac{7}{27,4} \right)^{5n} \leq 1$$

$$0,186 + 0,255 \leq 1$$

$$0,44 \leq 1$$

→OK.

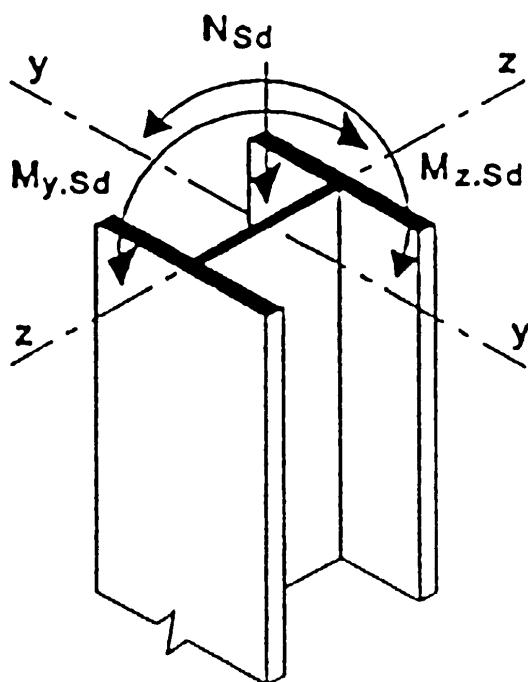
Mivel kihajlásra, és helyi teherbírásra megfelelő, ezért ez a szelvény alkalmazható.

## 11.2. H szelvény nyomása, és mindkét tengely körüli hajlítása, az erős és a gyenge tengely körüli különböző nyomatékkal

### 11.2.1. A feladat

Vizsgáljunk meg, egy 7,2m-es alul csuklós végű oszlopot, ami a felső végén az erős, ill. a gyenge tengely körül, valamint a közepén a gyenge tengely körül egy-egy gerendával van megtámasztva. Vizsgáljuk meg, hogy a szelvény, az  $N_{Sd}=250\text{kN}$  normálerőt, a gyenge tengely körüli  $M_{y,Sd}=15\text{kNm}$ -es nyomatékkal, és az erős tengely körüli  $M_{z,Sd}=2,7\text{kNm}$ -es nyomatékkal együtt is biztonságosan elbírja.

Meg kell vizsgálni az erős tengely határállapotát a teljes magasságra, valamint a gyenge tengely határállapotát a felső részre.



11.2. ábra Nyomás, és mindkét tengely körüli hajlítás

Figyelembe véve az oszlop teherbírását:

5.5.1

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} \times (\beta_A)^{0,5} = \frac{7200/65,7}{93,9} \times 1 = 1,167$$

5.5.1.2

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} \times (\beta_A)^{0,5} = \frac{3600/39,8}{93,9} \times 1 = 0,963$$

$\frac{h}{b} = 0,93 \leq 1,2$  A kihajláshoz a „b”, és „c” jelű görbét kell használni.

Tábl.:  
5.5.3

$$\chi_y = 0,4969$$

5.5.1

$$\chi_z = 0,562$$

Az erős tengelyre:

5.5.3

$$\psi_y = 0 \quad \beta_{M,y} = 1,8$$

A gyenge tengelyre:

$$\text{A felső részre: } \psi_z = 0,5 \quad \beta_{M,y} = 1,45$$

Az alsó részre:  $\psi_z = 0$

$$\mu_z = 0,9632 \times (2 \times 1,45 - 4) + \left( \frac{118 - 76,9}{76,9} \right) = -0,525 \leq 0,9$$

5.5.4(1)

$$\mu_z = -0,525$$

$$k_z = 1 + \left( \frac{0,525 \times 250 \times 10^3}{0,562 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 1,256 \leq 1,5$$

$$k_z = 0,256$$

$$\mu_y = 0,167 \times (2 \times 1,8 - 4) + \left( \frac{245 - 220}{220} \right) = -0,353 \leq 0,9$$

$$\mu_y = -0,353$$

$$k_y = 1 + \left( \frac{0,353 \times 250 \times 10^3}{0,4969 \times 38,8 \times 100 \times 235} \right) = 1,195 \leq 1,5$$

$$k_y = 1,195$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,49 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{1,195 \times 15 \times 10^6}{245 \times 10^3 \times 235/1} + \frac{1,526 \times 2,7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,560 + 0,311 + 0,122 \leq 1$$

$$0,993 \leq 1$$

→OK.

Vizsgáljuk a kifordulást:

$$\text{A felső részre: } \beta_{M,LT} = 1,45$$

5.5.3. ábra

5.5.4(2)

$$\mu_{LT} = 0,15 \times 0,9632 \times 1,45 - 0,15 = 0,059 \leq 0,9$$

$$\mu_{LT} = 0,059$$

$$k_{LT} = 1 - \frac{0,059 \times 250 \times 10^3}{0,55 \times 38,8 \times 10^2 \times 235} = 0,97 \leq 1,0$$

$$k_{LT} = 0,97$$

Amennyiben  $\psi = 0,5$  és  $k = 1$ . Az elem csuklós végű. Így:

$$C_1 = 1,323$$

$$\lambda_{LT} = \frac{0,9 \times 3600/39,8}{(1,323)^{0,5} \times \left[ 1 + \frac{1}{20} \times \left( \frac{3600/39,8}{152/9} \right)^2 \right]^{0,25}} = 56,662$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \frac{56,662}{93,9} \times 1 = 0,603$$

A kihajláshoz az „a” jelű görbét kell használni.

$$\chi_{LT} = 0,89$$

$$\frac{250 \times 10^3}{0,55 \times 38,8 \times 10^2 \times 235/1} + \frac{1,97 \times 15 \times 10^6}{0,89 \times 245 \times 10^3 \times 235/1} + \frac{1,262 \times 2,7 \times 10^6}{118 \times 10^3 \times 235/1} \leq 1$$

$$0,449 + 0,284 + 0,123 \leq 1$$

$$0,906 \leq 1$$

→OK.

$$\left( \frac{25}{46,4} \right)^2 + \left( \frac{2,7}{27,4} \right)^1 \leq 1$$

$$0,290 + 0,099 \leq 1$$

$$0,39 \leq 1$$

→OK.

Mivel kihajlásra, és helyi teherbírásra megfelelő, ezért ez a szelvény alkalmazható.

Tábl.:  
F.1.1

F.2.1(4)

5.5.2(4)

Tábl.:  
5.5(2)

F.5.4.8.  
(11)



**Tartalomjegyzék**

<b>1. Eurocode acél</b>	<b>2</b>
<b>1.1. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása nyomás alapján</b>	<b>2</b>
1.1.1. HEA 500-as szelvény	2
1.1.2. IPE 600-as szelvény	3
<b>1.2. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása hajlítás alapján</b>	<b>4</b>
1.2.1. HEA 500-as szelvény	4
1.2.2. IPE 600-as szelvény	6
<b>1.3. A keresztmetszeti szelvény osztályba sorolása hajlítás, és nyomás alapján</b>	<b>8</b>
1.3.1. HEA 500-as szelvény	8
1.3.2. IPE 600-as szelvény	9
1.3.3. Hegesztett szelvény	12
<b>2. Helyi horpadás</b>	<b>14</b>
<b>2.1. A feladat</b>	<b>14</b>
<b>2.2. Feltételezések</b>	<b>16</b>
<b>2.3. A teljes szelvény keresztmetszeti adatai</b>	<b>17</b>
2.3.1. $A_g$ keresztmetszeti terület	17
2.3.2. $z_g$ súlyponti távolság meghatározása	17
2.3.3. Inercianyomaték az y-y tengelyre	17
2.3.4. Keresztmetszeti tényező	17
<b>2.4. Az effektív (hatékony) szelvény, axiális nyomásra</b>	<b>18</b>
2.4.1. A szelvény keresztmetszeti osztályának meghatározása	18
2.4.2. Az effektív (hatékony) szélesség meghatározása	18
2.4.3. Keresztmetszeti adatok	20
2.4.4. $A_{eff,N}$ keresztmetszeti terület	20
2.4.5. $z_g$ súlyponti távolság meghatározása	20
2.4.6. A súlypont eltolódása	20
<b>2.5. Effektív (hatékony) szelvény hajlításra</b>	<b>21</b>
2.5.1. A szelvény osztályának meghatározása	21
2.5.2. Az effektív (hatékony) szélességek meghatározása	22
2.5.3. Szelvény adatok	23
2.5.4. $A_{eff,M}$ keresztmetszeti terület	24
2.5.5. $z_{g,M}$ súlyponti távolság meghatározása	24
2.5.6. Az inercianyomaték az y-y tengelyre	24
2.5.7. Keresztmetszeti tényező	24
2.5.8. További lehetséges javítás	24
<b>3. Húzott szerkezeti elemek I.</b>	<b>26</b>
<b>3.1. Lemezek nyírt kapcsolatainak vizsgálata merőleges lyukkiosztás, valamint A, B és C kategóriájú csavarozott kapcsolatok szerint</b>	<b>27</b>
3.1.1. A feladat	27
3.1.2. Adatok	28
3.1.3. Megoldás	28
<b>3.2. Lemezek átlósan eltolt csavarkiosztással</b>	<b>31</b>
3.2.1. A feladat	31
3.2.2. Adatok	31
3.2.3. Megoldás	31
<b>3.3. Szögacél bekötése egyik szárán</b>	<b>34</b>
3.3.1. A feladat	34

3.3.2. Adatok	35
3.3.3. Megoldás	35
<b>4. Húzott szerkezeti elemek II.</b>	<b>37</b>
<b>4.1. Elektromos távvezeték vezető kábelének vizsgálata</b>	<b>37</b>
4.1.1. A feladat	37
4.1.2. Adatok	38
4.1.3. Megoldás	38
<b>4.2. Kikötött torony vizsgálata</b>	<b>43</b>
4.2.1. A feladat	43
4.2.2. Adatok	44
4.2.3. Megoldás	44
<b>5. Oszlop tervezése</b>	<b>49</b>
<b>5.1. A keresztmetszeti alak hatása az oszlop súlyára</b>	<b>49</b>
5.1.1. A feladat	49
5.1.2. Általános szempontok	50
5.1.3. A gyenge tengely körüli kihajlás	51
5.1.4. Kihajlás az erős tengely körül	53
5.1.5. Kétszeresen szimmetrikus szelvények	54
5.1.6. Következtetés	55
<b>5.2. A karcsúság hatása az oszlop teherviselésére.</b>	<b>56</b>
5.2.1. A feladat	56
<b>5.3. A gyenge, és az erős tengely kihajlási hosszának hatása az oszlop teherviselésére.</b>	<b>61</b>
5.3.1. A feladat	61
<b>6. Osztott szelvényű oszlop tervezése</b>	<b>64</b>
<b>6.1. A feladat</b>	<b>64</b>
<b>7. Effektív kihajlási hosszak</b>	<b>69</b>
<b>7.1. Nem kilengő keretek kihajlási hosszának számítása</b>	<b>69</b>
7.1.1. A feladat	69
<b>7.2. Kilengő keretek kihajlási hosszának számítása</b>	<b>71</b>
7.2.1. A feladat	71
<b>7.3. Síkbeli, és síkból kitérő kihajlási hosszak számítása</b>	<b>75</b>
7.3.1. A feladat	75
<b>8. Oldalirányban megtámasztott gerendák</b>	<b>77</b>
<b>8.1. Kéttámaszú, I szelvényű gerenda vizsgálata hajlításra, nyírásra, és lehajlásra</b>	<b>77</b>
8.1.1. A Feladat	77
8.1.2. Hajlítás	78
8.1.3. Nyírás	79
8.1.4. Lehajlás	80
<b>8.2. Téglalap keresztmetszetű konzol tartó ellenőrzése kéttengelyű hajlításra, nyírásra, és lehajlásra</b>	<b>82</b>
8.2.1. A feladat	82
8.2.2. Hajlítás	83
8.2.3. Nyírás	84
8.2.4. Lehajlás	84
<b>8.3. Egyszeresen szimmetrikus darupályatartó vizsgálata</b>	<b>86</b>
8.3.1. A feladat	86
<b>9. Oldalirányban megtámasztás nélküli gerendák</b>	<b>89</b>
<b>9.1. Kéttámaszú I gerenda</b>	<b>89</b>

---

9.1.1. A feladat _____	89
<b>9.2. Egyszeresen szimmetrikus darupályatartó _____</b>	<b>92</b>
9.2.1. A feladat _____	92
<b>9.3. Oldalirányban megtámasztott folytatólagos gerenda _____</b>	<b>96</b>
9.3.1. A feladat _____	96
<b>10. Gerenda- oszlop nyomása és egy-, ill. kéttengelyű hajlítása _____</b>	<b>99</b>
<b>10.1. H szelvény nyomása, és gyenge tengelye körüli kihajlása _____</b>	<b>99</b>
10.1.1. A feladat _____	99
<b>10.2. H szelvény nyomása, és erős tengelye körüli kihajlása _____</b>	<b>102</b>
10.2.1. A feladat _____	102
<b>10.3. H szelvény nyomása, és mindkét tengelye körüli kihajlása _____</b>	<b>105</b>
10.3.1. A feladat _____	105
<b>11. Gerenda- oszlop nyomása, kéttengelyű kihajlása _____</b>	<b>107</b>
<b>11.1. H szelvény nyomása, és mindkét tengelye körüli kihajlása, változó nyomatékkal__</b>	<b>107</b>
11.1.1. A feladat _____	107
<b>11.2. H szelvény nyomása, és mindkét tengelye körüli hajlítása, az erős és a gyenge tengely körüli különböző nyomatékkal _____</b>	<b>110</b>
11.2.1. A feladat _____	110