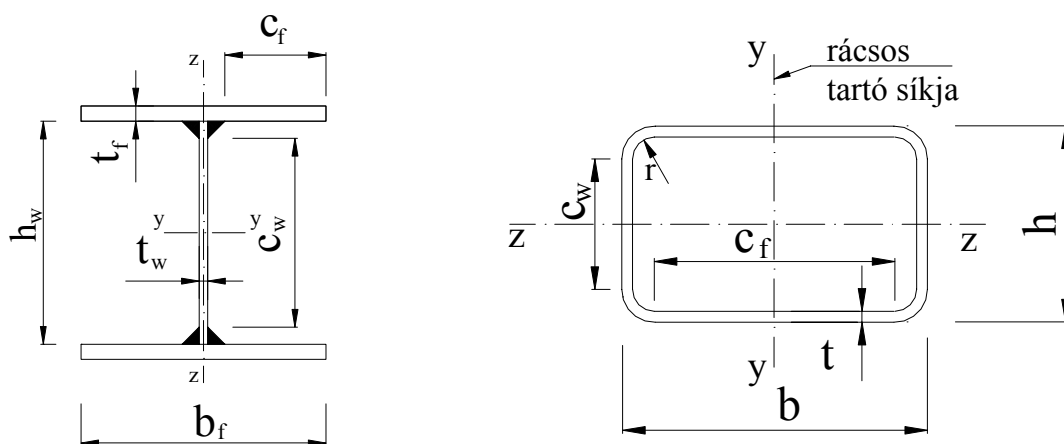


# Acélszerkezetek méretezése Eurocode 3 szerint

## Gyakorlati útmutató



Szerzők:

Dunai László, Horváth László, Kovács Nauzika,  
Verőci Béla, Vigh L. Gergely

Verzió: 2009.09.01.

# Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Az Eurocode 3 szerinti méretezés alapjai.....	4
2.1 Jelölésrendszer.....	4
2.2 A méretezés alapelvei.....	4
2.3 Szerkezeti acélok.....	4
2.4 Acél tartószerkezetek szerkezeti analízise.....	4
3. Szerkezeti elemek méretezése.....	5
3.1 Szerkezeti elemek méretezési elvei.....	5
3.2 Keresztmetszetek ellenállása.....	6
3.2.1 Központosan húzott keresztmetszetek.....	6
Mintapélda: 3.1; 3.2	
3.2.2 Központosan nyomott keresztmetszetek.....	9
Mintapélda: 3.3; 3.4	
3.2.3 Nyírt keresztmetszetek ellenállása.....	13
3.2.4 Hajlított keresztmetszetek.....	13
Mintapélda: 3.5	
3.2.5 Összetett igénybevétellel terhelt keresztmetszetek.....	16
Mintapélda: 3.6; 3.7; 3.8	
3.3 Szerkezeti elemek ellenállásának vizsgálata: stabilitási ellenállás.....	22
3.3.1 Stabilitásvesztési módok.....	22
3.3.2 Központosan nyomott rúd kihajlása.....	30
Mintapélda: 3.9; 3.10; 3.11; 3.12	
3.3.3 Hajlított elemek kifordulása.....	37
Mintapélda: 3.13	
3.3.4 Nyírt lemezek horpadása.....	42
Mintapélda: 3.14	
3.3.6 Külpontosan nyomott rudak ellenállásának vizsgálata.....	44
Mintapélda: 3.15; 3.16	
4. Szerkezeti kapcsolatok méretezése.....	53
4.1 Kapcsolatok kialakítása, csoportosítása és méretezési elvei.....	53
4.2 Csavarozott kapcsolatok ellenállása.....	53
4.2.1 Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai.....	54
Mintapélda: 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5; 4.6; 4.7	
4.2.2 Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolatai.....	77
Mintapélda: 4.8; 4.9; 4.10	
4.3 Hegesztett kapcsolatok ellenállása.....	93
4.3.1 Hegesztési varratok méretezési elvei.....	93
4.3.2 Húzott/nyomott elemek hegesztett kapcsolatai.....	93
Mintapélda: 4.11; 4.12; 4.13; 4.14; 4.15; 4.16; 4.17	

4.4 Rácsos tartók hegesztett csomópontjainak ellenállása.....	105
4.4.1 Szerkezeti kialakítás és méretezési elvek.....	105
Mintapélda: 4.18	
5. Szerkezetek méretezése.....	113
5.1 Magasépítési rácsos tartók szerkezeti kialakítása.....	113
5.2 Tömör gerincű gerendatartók méretezése.....	119
5.2.1 Tömör gerendatartó szerkezeti kialakítása és viselkedése.....	119
5.2.2 Melegen hengerelt gerendatartó.....	124
Mintapélda: 5.1; 5.2	
5.2.3 Hegesztett gerendatartó.....	129
Mintapélda: 5.3; 5.4	
5.3 Osztott szelvényű nyomott oszlop.....	136
Mintapélda: 5.5	
Függelék.....	141
F1 Kihajlási görbék táblázata.....	141
F2 Anyag kiválasztás.....	146

## 1. Bevezetés

Acélszerkezetek Eurocode alapú méretezésével több közelmúltban megjelent könyv, tervezési segédlet, tanfolyami kiadvány foglalkozik. Jelen gyakorlati útmutató célja az Eurocode 3 szabványok alapvető mértezési eljárásainak bemutatása mintapéldákon keresztül. A példatár az Acélszerkezetek I. és Acélszerkezetek II. tantárgyak oktatásához, az Eurocode szabvány szerinti tervezési-mértezési lépések begyakorlására készült.

A gyakorlati útmutató a szükséges elméleti háttérrel nem tárgyalja. Hivatkozik azonban minden példatípusnál az alkalmazott szabvány [1, 2, 3], illetve az Eurocode 3 eljárásait ismertető két szakkönyv megfelelő fejezeteire [4, 5]. Megjegyezzük, hogy az utóbbi két könyv elkészítésében a jelen példatár egyes szerzői is részt vettek, ennek megfelelően a két anyag felépítése és tartalma is összhangolt.

A gyakorlati útmutató felépítése azt a rendszert követi, amely megszokott az acélszerkezetek mértezési eljárásainak ismertetésénél, igazodva a tartószerkezeti Eurocode-okban alkalmazott egységes vázhoz. A második fejezetben hivatkozunk a szabvány, illetve a kapcsolódó szakkönyv [4] azon fejezeteire, amelyek tartalmazzák a jelölésrendszert és a legfontosabb mértezési alapelveket. A harmadik fejezetben az alapvető szerkezeti elemek – húzott, nyomott rudak, hajlított gerendák – mértezésére közlünk mintapéldákat: keresztmetszetek szilárdsági határállapoton alapuló ellenállás számítására, illetve stabilitási határállapotok vizsgálatára összesen 16 példát. Mechanikus és hegesztett acélszerkezeti kapcsolatok mértezésével foglalkozik a negyedik fejezet, amely 18 kidolgozott példát tartalmaz. Az ötödik fejezetben viszonylag egyszerű szerkezetek – rácsos tartók, gerendák, osztott szelvényű oszlopok – mértezésére készült 5 mintapélda található.

A gyakorlati útmutatót folyamatosan bővítjük a szabvány további eljárásait bemutató mintapéldákkal.

### **A gyakorlati útmutatóban alkalmazott szabványok és szakirodalom:**

- [1] MSZ EN 1993-1-1 Acélszerkezetek tervezése: Általános és épületekre vonatkozó szabályok.
- [2] EN 1993-1-5 Acélszerkezetek tervezése: Lemezekből összeállított szerkezetek.
- [3] MSZ EN 1993-1-8 Acélszerkezetek tervezése: Csomópontok tervezése.
- [4] Ádány S.- Dulácska E.- Dunai L.- Fernezelyi S.- Horváth L.: Acélszerkezetek 1 - Általános eljárások. Tervezés az Eurocode alapján. Springer Média, 2006.
- [5] Ádány S.- Dulácska E.- Dunai L.- Fernezelyi S.- Horváth L.: Acélszerkezetek. 2 - Speciális eljárások. Tervezés az Eurocode alapján. Business Média, 2007.
- [6] MSZ EN 1990:2005 A tartószerkezeti tervezés alapjai.
- [7] MSZ EN 1991-1-(1÷6) Tartószerkezeteket érő hatások.
- [8] MSZ EN 10025-(1÷5) Melegen hengerelt termékek szerkezeti acélokból.
- [9] Halász, Platthy: Acélszerkezetek (tankönyv).

## **2. Az Eurocode 3 szerinti méretezés alapjai**

### **2.1. Jelölésrendszer**

Szükséges ismeretek:

- Az Eurocode általános jelölésrendszere (lásd [4] 1.3 pontja)
- Az acélszerkezetek méretezése során alkalmazandó jelölések (lásd [4] 1.3 pontja és [5] 1.3 pontja)

### **2.2. A méretezés alapelvei**

Szükséges ismeretek:

- Tartószerkezetek méretezésének alapjai (lásd [4] 2. fejezete)
- Tartószerkezetek terhei (lásd [4] 2. fejezete)
- Acélszerkezetek anyagai (lásd [4] 3. fejezete)

### **2.3. Szerkezeti acélok**

Szükséges ismeretek:

- Szerkezeti acélok jelölése (lásd [4] 3.1 pontja)
- Szerkezeti acélok jellemzői (lásd [4] 3.2 pontja)
- Kapcsolóelemek anyagának jellemzői (lásd [4] 3.3 pontja)

### **2.4. Acél tartószerkezetek szerkezeti analízise**

Szükséges ismeretek:

- Keresztmetszetek osztályozása (lásd [4] 4.2 pontja)
- Első- illetve másodrendű számítások (lásd [4] 4.4. pontja)
- Imperfekciók (lásd [4] 4.5 pontja)
- Szerkezeti csomópontok modellezése, osztályozása (lásd [4] 4.6 pontja)
- Csomóponti viselkedés visszahatása a szerkezeti analízisre (lásd [4] 4.6 pontja)

### **3. Szerkezeti elemek méretezése**

#### **3.1. Szerkezeti elemek méretezési elvei**

Az Eurocode 3 szerint a teherbírási határállapotok ellenőrzése során az alábbi vizsgálatokat kell elvégezni:

- keresztmetszeti ellenállások vizsgálata, ami az eddigi mérnöki szóhasználatban szilárdsági vizsgálatoknak neveztünk;
- szerkezeti elemek ellenállásának vizsgálata, ami magában foglalja a stabilitásvizsgálatok egy részét;
- valamint a lemezhorpadás ellenőrzése.

Szükséges ismeretek:

- Keresztmetszetek osztályozása (lásd [4] 4.2 pontja);
- 4. osztályú keresztmetszet kezelése, keresztmetszeti jellemzők számítása (lásd [4] 5.1 pontja és [5] 5.2 pontja).

## 3.2. Keresztmetszetek ellenállása

### 3.2.1. Központosan húzott keresztmetszetek

Szükséges ismeretek:

- Keresztmetszeti méretek számítása, furatgyengítések (lásd [4] 5.1.1 pontja);
- Központosan húzott rudak keresztmetszeti ellenállása (lásd [4] 5.1.2 pontja).

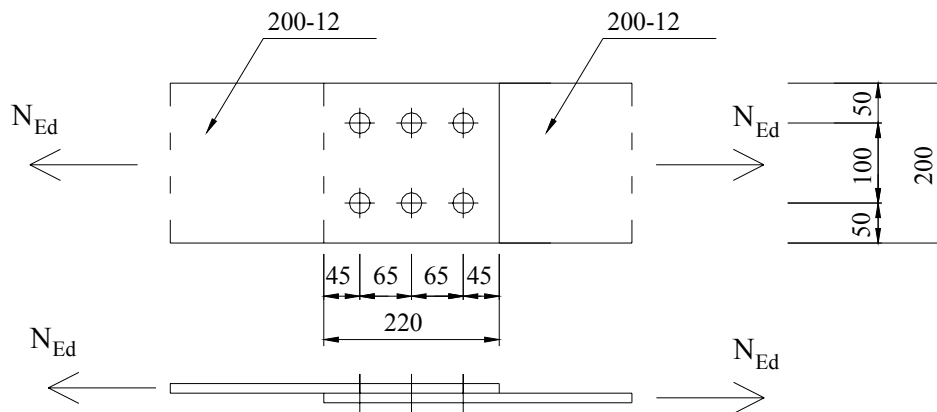
### 3.1 Példa

Ellenőrizze a 3.1. ábrán látható 200-12 méretű, központosan húzott rudat  $N_{Ed} = 450 \text{ kN}$  erőre! A lemezeket egyszer nyírt csavarozott kapcsolattal illesztjük.

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 8.8  $d_0 = 26 \text{ mm}$

**Csavarkiosztás:**



3.1. ábra: Húzott rúd illesztése.

**Központosan húzott keresztmetszet húzási ellenállása:**

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

ahol:

- $N_{pl,Rd}$ : a teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása,
- $N_{u,Rd}$ : a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési ellenállása.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 1,2 \cdot 23,5}{1,0} = 564,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(20 - 2 \cdot 2,6) \cdot 1,2 \cdot 36}{1,25} = 460,3 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 460,3 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 450 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Az egyszer nyírt csavarozott kapcsolat ellenőrzését lásd a 4.2.2 Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai fejezet 4.1. példájában.

### **3.2. Példa**

Határozzuk meg az egyik szárán kapcsolt L70.70.7 szögacél  $N_{t,Rd}$  húzási ellenállását! A kapcsolat kialakítását a 3.2. ábra mutatja.

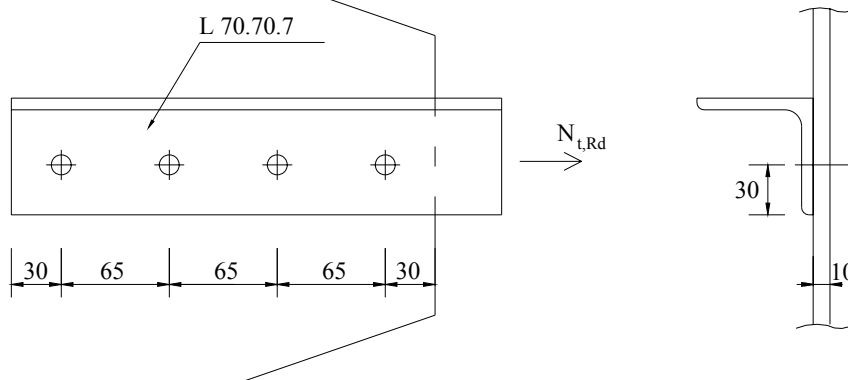
A rúd szelvénye: L70.70.7  $A = 9,4 \text{ cm}^2$

Alapanyag: S275  $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M16, 8.8  $d_0 = 18 \text{ mm}$

#### **Csavarkiosztás:**

Egyik szárán kapcsolt szögacél bekötése esetén a csavarlyuk(ak)kal gyengített szelvény  $N_{u,Rd}$  képlékeny törési ellenállása az erőátadás irányában elhelyezett csavarok számától is függ (lásd a szabvány [3] 3.10.3 pontját illetve [4] 5.1.2 pontjában).



3.2. ábra: Húzott rúd bekötése.

#### **Egyik szárán kapcsolt szögacél húzási ellenállása:**

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

ahol:

-  $N_{pl,Rd}$ : a teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9,4 \cdot 27,5}{1,0} = 258,5 \text{ kN}$$

-  $N_{u,Rd}$ : a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési ellenállása három vagy több csavar esetén:



$$\beta = 0,3 + 0,08 \frac{P_1}{d_0} \quad \text{de} \quad 0,5 \leq \beta \leq 0,7$$

$$\beta = 0,3 + 0,08 \frac{65}{18} = 0,59$$

$$N_{u,Rd} = 0,59 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,59 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} = 165,2 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 165,2 \text{ kN}$$

A csavarozott kapcsolat számítása a következő (4.) fejezetben található példák alapján hajtható végre.

### 3.2.2. Központosan nyomott keresztmetszetek

Szükséges ismeretek:

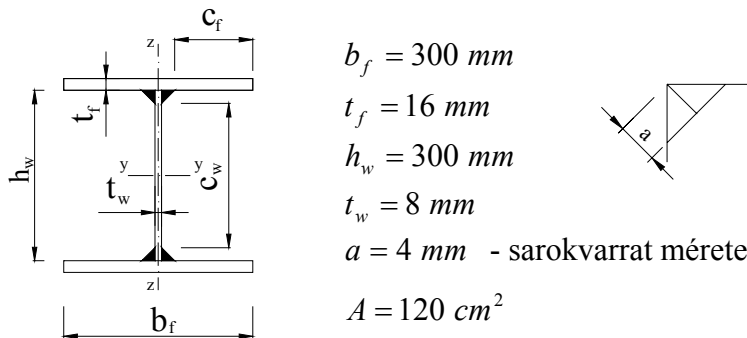
- A központosan nyomott keresztmetszet nyomási ellenállása (lásd [4] 5.1.3 pontja).

### 3.3. Példa

Határozzuk meg a 3.3. ábrán látható hegesztett I-szelvény  $N_{c,Rd}$  nyomási ellenállását!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 1,0$

**A szelvény geometriája:**



3.3. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

A nyomott keresztmetszet nyomási ellenállását a következő összefüggéssel számítjuk: 1., 2. és 3. keresztmetszeti osztályok esetén:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

4. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

**A keresztmetszet osztályozása:**

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 140,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{140,3}{16} = 8,77 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 38 \cdot \varepsilon = 38$$

tehát a gerinc 2. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 2. keresztmetszeti osztályba sorolandó nyomásra. (Megjegyzés: tiszta nyomás esetén nincs különbség az 1-3. osztályok ellenállása között.)

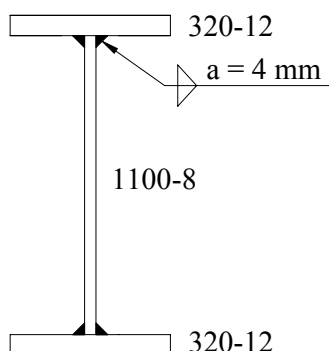
#### A keresztmetszet nyomási ellenállása:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2820,0 \text{ kN}$$

### 3.4. Példa

Határozzuk meg a 3.4. ábrán látható hegesztett I-szelvény nyomási ellenállását!

Alapanyag: S355  $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 0,81$



3.4. ábra: A szelvény geometriai méretei.

#### A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{320}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 150,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{150,3}{12} = 12,53 > 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,3$$

tehát az öv 4. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 1100 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 1088,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{1088,7}{8} = 136,1 > 42 \cdot \varepsilon = 42 \cdot 0,81 = 34,0$$

tehát a gerinc is 4. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet tehát 4. keresztmetszeti osztályú, és mind az övben, mind a gerincben effektív szélességet kell számítani.

#### Az övlemezek vizsgálata:

Szabad szélű elem, egyenletes feszültségeloszlással  $\psi = 1,0 \rightarrow k_\sigma = 0,43$  (lásd szabvány [2] 4.4 pont 4.2 táblázat és [4] 5.1. táblázat).

Övlemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_f/t_f}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{12,53}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{0,43}} = 0,831$$

Effektív szélesség számítása szabad szélű elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{0,831 - 0,188}{0,831^2} = 0,931$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot c_f = 0,931 \cdot 150,3 = 139,95 \text{ mm}$$

Övek effektív szélessége:

$$c_{f,eff} = 2 \cdot b_{eff} + t_w + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 139,95 + 8 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 299,21 \text{ mm}$$

### A gerinclemez vizsgálata:

Belső elem, egyenletes feszültségeloszlással  $\psi = 1,0 \rightarrow k_\sigma = 4$  (lásd szabvány [2] 4.4 pont 4.1 táblázat és [4] 5.1 táblázat).

Gerinclemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_w/t_w}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{136,1}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{4}} = 2,957$$

Effektív szélesség számítása belső elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{2,957 - 0,055 \cdot (3 + 1)}{2,957^2} = 0,313$$

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot c_w = 0,313 \cdot 1088,7 = 340,8 \text{ mm}$$

Gerinc effektív szélességei alul és felül:

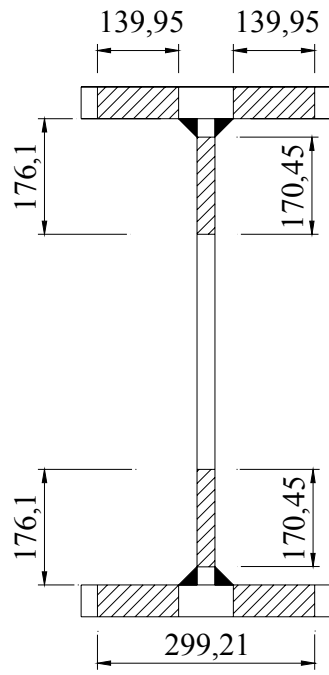
$$c_{w,eff} = \frac{b_{eff}}{2} + a \cdot \sqrt{2} = \frac{340,8}{2} + 4 \cdot \sqrt{2} = 176,1 \text{ mm}$$

Az effektív keresztmetszet a 3.5. ábrán látható.

### Az effektív keresztmetszet nyomási ellenállása:

$$A_{eff} = 2 \cdot c_{f,eff} \cdot t_f + 2 \cdot c_{w,eff} \cdot t_w = 2 \cdot 299,21 \cdot 1,2 + 2 \cdot 176,1 \cdot 0,8 = 99,98 \text{ cm}^2$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{99,98 \cdot 35,5}{1,0} = 3549 \text{ kN}$$



3.5. ábra: Effektív keresztmetszet.

### 3.2.3. Nyírt keresztmetszetek ellenállása

Szükséges ismeretek:

- Keresztmetszetek nyírási ellenállása (lásd [4] 5.1.5 pontja).

Mintaszámításokat lásd az 5. fejezetben, a tömör gerincű gerendatartók méretezése részben, 5.1, 5.2 és 5.4 példák részeként!

### 3.2.4. Hajlított keresztmetszetek ellenállása

Szükséges ismeretek:

- Főtengely körül hajlított keresztmetszetek ellenállása (lásd [4] 5.1.4 pontja).

### 3.5 Példa

Határozzuk meg a 3.4. példában ismertetett, a 3.4. ábrán látható, hegesztett I-szelvény ellenállását tiszta hajlításra!

Alapanyag: S355  $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 0,81$

#### **A keresztmetszet osztályozása:**

Öv:

Lsd. 3.4. példa: 4. keresztmetszeti osztályú.

Mivel az öv 4. keresztmetszeti osztályú, a gerinc vizsgálata nem szükséges; a keresztmetszet 4. osztályú.

#### **A nyomott övlemez vizsgálata:**

A számítás menete megegyezik a tiszta nyomás esetével (lásd 3.4. példa).

Eszerint a nyomott öv effektív szélessége:

$$c_{f,eff} = 2 \cdot b_{eff} + t_w + 2 \cdot a \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 139,95 + 8 + 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 299,21 \text{ mm}$$

#### **A gerinclemez vizsgálata:**

A gerinclemez vizsgálatát a számított effektív felső öv és teljes méretben effektív gerinc feltételezésével kezdjük.

A besoroláshoz szükség van a gerinc megtámasztott alsó ( $\sigma_2$ ) és felső élénél ( $\sigma_1$ ) fellépő feszültségek arányára (3.6. ábra).

A keresztmetszeti terület:

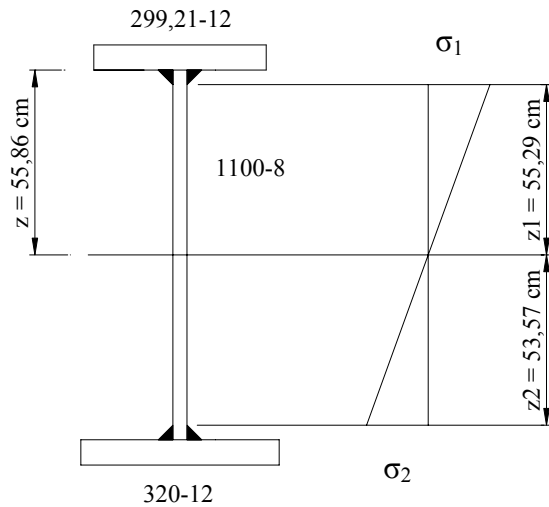
$$A = (29,92 + 32) \cdot 1,2 + 110 \cdot 0,8 = 162,30 \text{ cm}^2$$

A súlypont távolsága a felső öv belső élétől:

$$z = \frac{32 \cdot 1,2 \cdot (110 + 1,2/2) + 110 \cdot 0,8 \cdot 55 - 30 \cdot 1,2 \cdot 0,6}{162,30} = 55,86 \text{ cm}$$

A feszültségek aránya a 3.6. ábra szerint:

$$\psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = -\frac{z_2}{z_1} = \frac{53,57}{55,29} = -0,969$$



3.6. ábra: Feszültségeloszlás a gerincben.

$$c_w = 1100 - 2 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 1088,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{1088,7}{8} = 136,1 > \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi} = \frac{42 \cdot 0,81}{0,67 - 0,33 \cdot 0,969} = 97,14$$

tehát a gerinc is 4. keresztmetszeti osztályú.

Belső elem, változó feszültségeloszlással: (lásd szabvány [2] 4.4 pont 4.1 táblázat és [4] 5.1 táblázat).

$$-1 < \psi < 0 \rightarrow k_\sigma = 7,81 - 6,29 \cdot \psi + 9,78 \cdot \psi^2 = 7,81 + 6,29 \cdot 0,971 + 9,78 \cdot 0,971^2 = 23,09$$

Gerinclemez karcsúsága:

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{c_w/t_w}{28,4\varepsilon \cdot \sqrt{k_\sigma}} = \frac{136,1}{28,4 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{23,09}} = 1,231$$

Effektív szélesség számítása belső elem esetén:

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} = \frac{1,231 - 0,055 \cdot (3 - 0,969)}{1,231^2} = 0,739$$

Hajlított keresztmetszetenél csak a gerinc nyomott szakaszán kell effektív szélességet számítani:

$$b_{eff} = \rho \cdot \bar{b} = \rho \cdot z_1 = 0,739 \cdot 552,9 = 408,6 \text{ mm}$$

A felső öv melletti effektív gerincrézsz:

$$z_f = 0,4 \cdot b_{eff} + a \cdot \sqrt{2} = 0,4 \cdot 408,6 + 4 \cdot \sqrt{2} = 169,1 \text{ mm}$$

A gerinc effektív alsó szakaszának hossza:

$$z_a = z_2 + 0,6 \cdot b_{eff} + a \cdot \sqrt{2} = 535,7 + 0,6 \cdot 408,9 + 4 \cdot \sqrt{2} = 786,7 \text{ mm}$$

Ellenőrzésképpen számítsuk ki a gerinc „nem dolgozó” szakaszának hosszát kétféleképpen:

$$zk = \bar{b} \cdot (1 - \rho) = 552,9 \cdot (1 - 0,739) = 144,2 \text{ mm}$$

$$zk = 1100 - zf - za = 1100 - 169,1 - 786,7 = 144,2 \text{ mm}$$

Az effektív keresztmetszet a 3.7. ábrán látható.

**Az effektív keresztmetszet hajlítási ellenállása:**

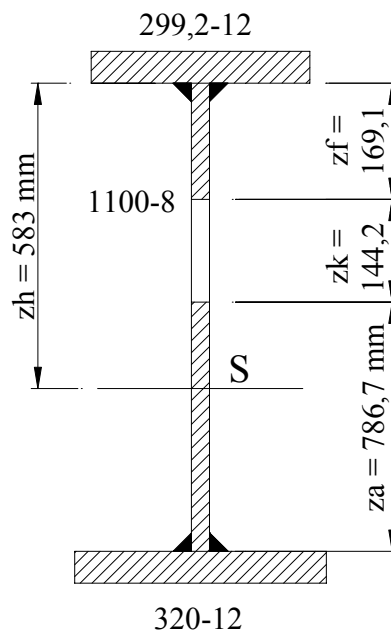
$$A_{eff} = (29,92 + 32) \cdot 1,2 + (16,91 + 78,67) \cdot 0,8 = 150,77 \text{ cm}^2$$

$$zh = \frac{-29,92 \cdot 1,2 \cdot 0,6 + 110 \cdot 0,8 \cdot 55 - 14,43 \cdot 0,8 \cdot (16,91 + 14,43/2) + 32 \cdot 1,2 \cdot 110,6}{150,77} = 58,3 \text{ cm}$$

$$I_{eff} = \frac{29,92 \cdot 1,2^3}{3} + \frac{0,8 \cdot 110^3}{3} - \frac{0,8 \cdot 14,43^3}{12} - 0,8 \cdot 14,43 \cdot (16,91 + 14,43/2)^2 + 32 \cdot 1,2 \cdot 110,6^2 - 150,77 \cdot 58,3^2 = 305303 \text{ cm}^4$$

$$W_{eff} = \frac{I_{eff}}{z_{max}} = \frac{305303}{(58,3 + 1,2)} = 5131 \text{ cm}^3$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5131 \cdot 35,5}{1,0} = 182150 \text{ kNcm} = 1821,5 \text{ kNm}$$



3.7. ábra: Effektív keresztmetszet.



### 3.2.5. Összetett igénybevétellel terhelt keresztmetszetek

Az összetett igénybevételeknek kitett keresztmetszetek vizsgálatára az EC3 ún. kölcsönhatási formulákat használ.

Szükséges ismeretek:

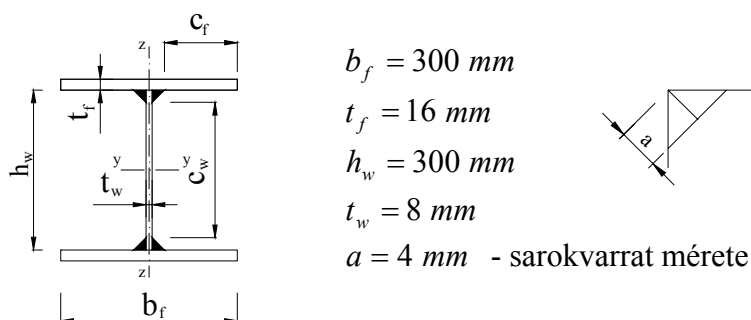
- Hajlítás és nyírás kölcsönhatásának vizsgálata (lásd [4] 5.1.7 pontja);
- Hajlítás és normálerő együttes hatásának vizsgálata (lásd [4] 5.1.8 pontja);
- Hajlítás, normálerő és nyírás kölcsönhatásának vizsgálata (lásd [4] 5.1.9 pontja).

### 3.6 Példa

Ellenőrizzük a 3.3 példában ismertetett hegesztett I-szelvényt  $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$  normálerőre,  $M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$  hajlítónyomatékra, majd a két igénybevétel együttes hatására!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 1,0$

**A szelvény geometriája:**



3.8. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

A keresztmetszeti jellemzők (lásd 3.3. példa):

$$A = 120 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 25786 \text{ cm}^4; W_y = 1553 \text{ cm}^3; W_{pl,y} = 1697 \text{ cm}^3$$

**A keresztmetszet osztályozása tiszta nyomásra:**

Lásd 3.3 példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó nyomásra.

**A keresztmetszet osztályozása tiszta hajlításra:**

Öv:

Az öv osztályozása megegyezik a 3.3 példában szereplővel: 1. keresztmetszeti osztályú

Gerinc:

Tiszta hajlítás esetén:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc is 1. keresztmetszeti osztályú.

Így a szelvény mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

### Ellenőrzés tiszta nyomásra:

A nyomási ellenállás a 3.3 példa alapján:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2820,0 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

a kihasználtság:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = 0,25 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Ellenőrzés tiszta hajlításra:

1. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatéki ellenállás:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1697 \cdot 23,5}{1,0} = 39879,5 \text{ kNcm} = 398,8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,45 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Nyomaték és normálerő kölcsönhatása:

I- és H-szelvény esetén, y-y tengely körüli nyomaték esetén akkor kell a normálerő hatását figyelembe venni, ha a következő feltételek valamelyike teljesül:

$$N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} > \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Esetünkben:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2820 = 705 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 30 \cdot 0,8 \cdot 23,5}{1,0} = 282 \text{ kN} < N_{Ed} = 700 \text{ kN}$$

A második feltétel alapján a normálerő hatását számításba kell venni.

Az interakciós képletbe szükséges segédmenntényiségek:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{700}{2820} = 0,248$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b_f \cdot t_f}{A} = \frac{120 - 2 \cdot 30 \cdot 1,6}{120} = 0,2 < 0,5$$

A módosított nyomatéki ellenállás:

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 398,8 \frac{1-0,248}{1-0,5 \cdot 0,2} = 333 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

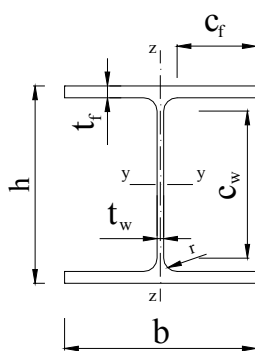
$$M_{N,Rd} = 333 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm} \quad \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,Rd}} = 0,54 \right) \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### 3.7 Példa

Ellenőrizzük a 3.9. ábrán látható hengerelt I-szelvényt  $N_{Ed} = 500 \text{ kN}$  normálerőre,  $M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm}$  hajlítónyomatékra,  $V_{Ed} = 300 \text{ kN}$  nyírőerőre, majd vizsgáljuk meg ezek kölcsönhatását az összetett igénybevételi állapotban!

Alapanyag: S275  $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 0,92$

**Keresztmetszeti adatok:** HEB 200 (táblázatból)



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

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

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

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

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 78,1 \text{ cm}^2$$

$$A_v = 24,83 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5696 \text{ cm}^4$$

$$W_y = 569,6 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 643 \text{ cm}^3$$

3.9. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályozása tiszta nyomásra:**

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{200}{2} - 18 - \frac{9}{2} = 77,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{77,5}{15} = 5,17 < 9 \cdot \varepsilon = 8,28$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 200 - 2 \cdot 18 - 2 \cdot 15 = 134 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{134}{9} = 14,89 < 33 \cdot \varepsilon = 30,36$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet nyomásra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

**A keresztmetszet osztályozása tiszta hajlításra:**

Öv:

Az öv osztályozása megegyezik a tiszta nyomás esetével: 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

Tiszta hajlítás esetén:

$$\frac{c_w}{t_w} = 14,89 < 72 \cdot \varepsilon = 66,24$$

tehát a gerinc is 1. keresztmetszeti osztályú.

Így a szelvény mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

### Ellenőrzés tiszta nyomásra:

1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{78,1 \cdot 27,5}{1,0} = 2148 \text{ kN} > N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = 0,23 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Ellenőrzés tiszta hajlításra:

1. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatéki ellenállás:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{643 \cdot 27,5}{1,0} = 176,8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{c,Rd}} = 0,79 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Nyírási ellenőrzés:

Elsőként meg kell vizsgálni a nyírási lemezhorpadás bekövetkezését:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{170}{9} = 18,89 < \frac{72\varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 0,92}{1,0} = 66,24$$

tehát a nyírási horpadás nem mértékadó.

Így a nyírási ellenállás:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{24,83 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 394,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 300 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,76 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Nyomaték, normálerő és nyíróerő kölcsönhatása:

A nyíróerő és a nyomaték kölcsönhatását figyelembe kell venni, mert

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} = 0,76 > 0,5$$

A redukciós tényező értéke:

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 300}{394,2} - 1 \right)^2 = 0,273$$

A nyírás hatása miatt redukált nyomaték:

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4t_w} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \left( 643 - \frac{0,273 \cdot 24,83^2}{4 \cdot 0,9} \right) \frac{27,5}{1,0} = 16396 \text{ kNcm} = 163,96 \text{ kNm}$$

Megjegyezzük, hogy a fenti képletek csak kétszeresen szimmetrikus, 1. és 2. keresztmetszeti osztályú I- és H-szelvények esetén érvényesek.

I- és H-szelvények és y-y tengely körüli nyomaték esetén akkor kell a normálerő hatását figyelembe venni, ha a következő feltételek valamelyike teljesül:

$$N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} > \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Esetünkben:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2147 = 537 \text{ kN} > N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 0,9 \cdot 27,5}{1,0} = 210,4 \text{ kN} < N_{Ed} = 500 \text{ kN}$$

A második feltétel alapján a normálerő hatását számításba kell venni. Az interakciós képlethez szükséges segédmenyiségek:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{500}{2147} = 0,233$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{78,1 - 2 \cdot 20 \cdot 1,5}{78,1} = 0,232 < 0,5$$

A normálerő miatt tovább redukált nyomatéki ellenállás (hangsúlyozzuk, hogy itt már a nyíróerő miatt redukált nyomatéki ellenállásból indulunk ki):

$$M_{NV,Rd} = M_{V,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 163,87 \frac{1-0,233}{1-0,5 \cdot 0,232} = 142,2 \text{ kNm}$$

Ellenőrzés:

$$M_{NV,Rd} = 142,2 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 140 \text{ kNm} \quad \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{NV,Rd}} = 0,98 \right) \rightarrow \text{Megfelel.}$$

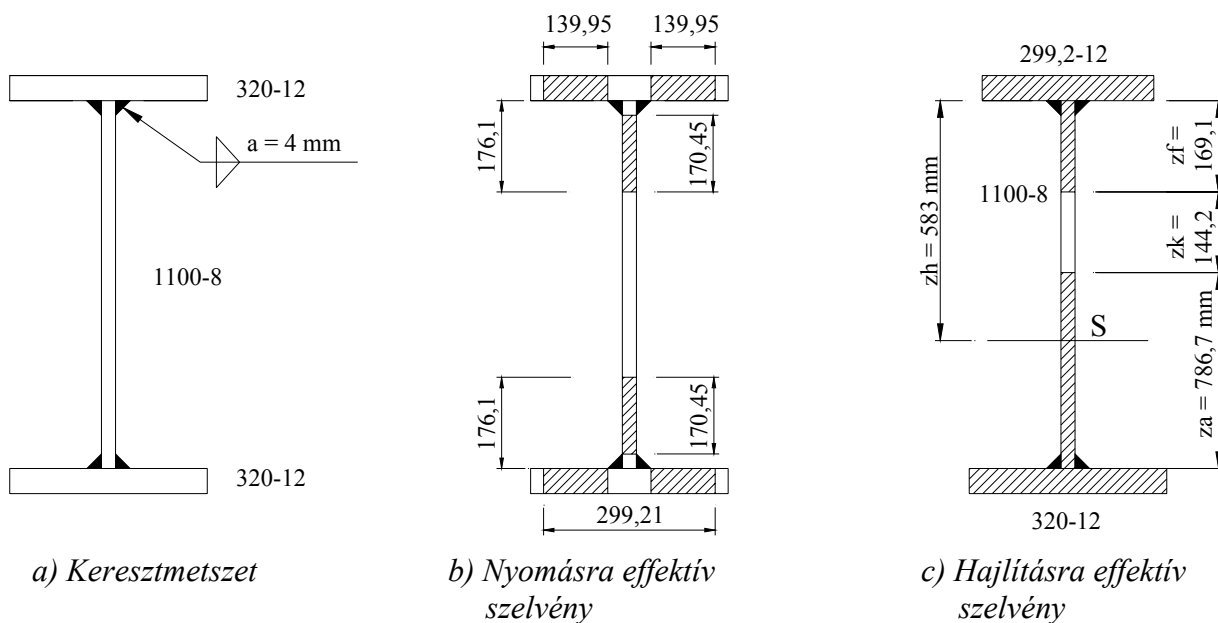
### **3.8 Példa**

Ellenőrizzük a 3.4. és 3.5. példában ismertetett hegesztett I-szelvényt  $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$  normálerőre,  $M_{Ed} = 1300 \text{ kNm}$  hajlítónyomatéokra, majd együttes igénybevételekre!

Alapanyag: S355  $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$

**Ellenőrzés tiszta nyomásra:**

A keresztmetszet ellenállásának számítása a 3.4. példában található. A szelvény tiszta nyomásra 4. osztályú, az effektív keresztmetszetet a 3.10.b) ábra mutatja.



3.10. ábra: Teljes és effektív keresztmetszetek.

A keresztmetszet ellenőrzése:

$$N_{c,Rd} = 3549 \text{ kN} \quad (\text{lsd. 3.4. példa}); \quad \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{700}{3549} = 0,2 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

#### Ellenőrzés tiszta hajlításra:

A keresztmetszet ellenállásának számítását a 3.5. példában találjuk. A szelvény tiszta hajlításra 4. osztályú, az effektív keresztmetszetet a 3.10.c) ábra szerinti.

A keresztmetszet ellenőrzése:

$$M_{c,Rd} = 1821,5 \text{ kNm} \quad (\text{lsd. 3.5. példa}); \quad \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1300}{1821,5} = 0,71 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

#### Ellenőrzés egyidejű normálerőre és hajlításra:

A keresztmetszet tiszta nyomásra szimmetrikus maradt, tehát  $e_z=0$ . A keresztmetszet ellenőrzése:

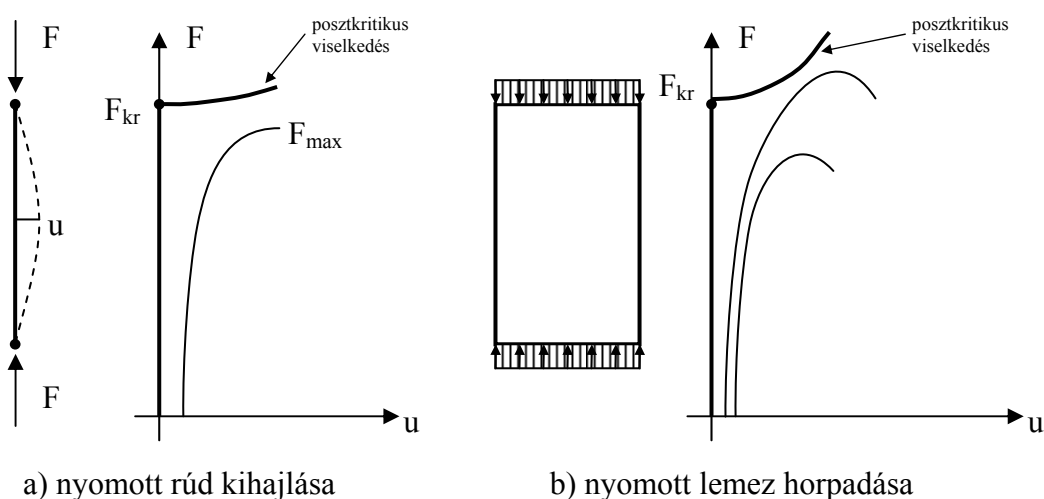
$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot e_z}{W_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} = \frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} + \frac{M_{Ed} + N_{Ed} \cdot 0}{M_{c,Rd}} = \frac{700}{3549} + \frac{1300}{1821,5} = 0,91 < 1,0$$

Megfelel.

### 3.3. Szerkezeti elem ellenállásának vizsgálata: stabilitási ellenállás

#### 3.3.1. Stabilitásvesztési módok

A rugalmasságtan tárgyából ismert, hogy egy központosan nyomott rúd tönkremenetele nem csak szilárdságilag következhet be (a keresztmetszet megfolyásával), hanem ún. stabilitásvesztéssel is: a tökéletes rúd a kritikus erőnél oldalirányban kihajlik, azaz az erő irányára merőleges értelmű deformált alakban veszi fel új egyensúlyi helyzetét (3.11/a ábra). Ezt egyensúly-elágazásnak nevezzük. Nyomott rúd esetében ez gyakorlatilag a teherbírás maximumát is jelenti: az elágazás utáni állapotban (posztkritikus viselkedés) a teher kismértékű növelése a deformáció jelentős növekedésével jár. Ezt illusztrálja a 3.11/a ábra vastag vonallal jelzett erő - elmozdulás (F-u) diagramja.



3.11. ábra: Egyensúly-elágazás.

Stabilitásvesztés nem csak rudaknál és nem csak nyomás esetén jöhet létre. A stabilitásvesztési módokat csoportosíthatjuk aszerint, hogy a teljes elemet érinti-e vagy annak csak egy alkotó elemét. Így egy szerkezeti elem esetében beszélhetünk:

- globális stabilitásvesztésről (ilyen a síkbeli rúdkihajlás, elcsavarodó kihajlás, rúdkifordulás), illetve
- lokális stabilitásvesztésről (ez alatt általában az alkotó lemez horpadását értjük, illetve összetett szelvények esetén az alkotó elemek stabilitásvesztését, rész-szelvény kihajlását).

Hangsúlyozzuk, hogy ez a felosztás nem egyezik meg a későbbi szaktárgyak során alkalmazott csoportosítással: szokás ugyanis egy teljes szerkezet (pl. épület keretszerkezete) globális stabilitásáról (keretstabilitás) és lokális stabilitásáról (egy-egy oszlop vagy gerenda szintek és csomópontok közötti stabilitásvesztéséről) beszélni. Jelen fejezetben egy-egy szerkezeti elemre vonatkozó megállapításokat teszünk csupán, és globális mód alatt egy-egy ilyen elem stabilitásvesztését értjük.

Az egyes stabilitásvesztési módok létrejötte alapvetően függ az elemre ható igénybevételtől is. Így a globális módok közül

- a kihajlás nyomott rudaknál,
  - a kifordulás hajlított tartóknál jön létre,
- míg a lemezhorpadásoknál megkülönböztetünk
- nyomott és/vagy hajlított lemezek horpadását (hosszirányú feszültségek),
  - keresztirányban nyomott lemezek beroppanását (közvetlenül terhelt gerinc) és
  - nyírt lemezek horpadását.

A fenti osztályozást összegzi a 3.1. táblázat.

		központos nyomás	egyenes hajlítás	nyírás	keresztirányú feszültségek (közvetlen teher)
globális	rudak	síkbeli kihajlás térbeli elcsavarodó kihajlás	kifordulás		
lokális	alkotó lemez	lemez-horpadás	nyomott lemezrész horpadása	nyírási lemez-horpadás	beroppanás
	----- összetett szelvényű rúd rész-szelvénye	rész-szelvény kihajlása	-----	-----	-----
kölcsonhatások					

3.1. táblázat: Stabilitásvesztési módok osztályozása

Az egyes stabilitásvesztési módokhoz jellegzetes alakok tartoznak. A fenti táblázat és a 3.12~3.19. ábrák hathatós segítséget nyújtanak a módok elkülönítéséhez, felismeréséhez. A stabilitásvesztési jelenségeket az alábbiakban röviden tárgyaljuk.

Az 3.12. ábrán ábrázolt **síkbeli rúdkihajlás** az előzőek szerint tehát központosan nyomott rudak globális stabilitásvesztése. Vegyük észre, ekkor a teljes rúd oldalirányban meghajlik, a kihajló rúd új alakja síkgörbe, keresztmetszete nem torzul, nem csavarodik. A jelenség így természetesen nagymértékben függ az anyagminőség mellett a hajlítási merevségtől (arra a tengelyre vonatkoztatva, amely körül kihajlik a rúd), a keresztmetszeti területtől, de ahogy az ábrán is mutatott mintapéldából látható, döntő szerepe van a befogási viszonyoknak is. A mintapéldán a rúd két vége különbözőképpen van megtámasztva az egyes irányokban, így a kihajlási alak is más-más lesz a két irányban.

Vékonyfalú, nyitott, egyszeresen szimmetrikus szelvények esetében a központosan nyomott rúd kihajlása nem síkbeli, hanem **térbeli elcsavarodó kihajlás**, amely során nem csak a rúdtengely görbül meg, de a keresztmetszet is elfordul (3.13. ábra). Emiatt a szelvény csavarási jellemzői (csavarási inercia, öblösödési modulus, csavarási középpont helyzete) és a csavarás szempontjából releváns befogási viszonyok is szerepet játszanak a térbeli elcsavarodó kihajlási ellenállás számításakor.

A **gerendakifordulás**, amely tehát szintén globális stabilitási jelenség, hajlított tartó esetén jön létre: a teljes gerenda meghajlik és a keresztmetszet elcsavarodik. A kifordulásnak két változatát ismerjük: az **alaktartó kifordulás** (3.14. ábra), amely során a keresztmetszet elcsavarodik, de nem torzul, míg a **nem alaktartó kifordulás** (3.15. ábra) esetén a keresztmetszet jellegzetes módon torzul. Utóbbi esetben – amely magas gerincű tartókra jellemző – a húzott öv gyakorlatilag helyben marad, a tartó felső öve viszont elmozdul és csavarodik, a gerinc pedig deformálódik (ez a jelenség adja a fizikai alapját a későbbiekben ismertetésre kerülő ún. övmerevség-vizsgálatnak). Hasonlóan a rúdkihajláshoz, a kifordulás is gyakorlatilag az elem tönkremenetelét jelenti, poszt-kritikus állapotban alig képes számottevő többletterhet viselni.

Általában véve lemezes szerkezetek esetén az egyes alkotó lemezekben nyomás, illetve nyírás hatására létrejöhet **lemezhorpadás**. A lemezhorpadás fajtáit a 3.16. ábrán látható kéttámaszú, két koncentrált erővel terhelt gerinclemez tartón mutatjuk be. Az acélszerkezetek körében leggyakrabban előforduló ilyen tartókban (például hegesztett vagy hengerelt I-szelvényű tartók



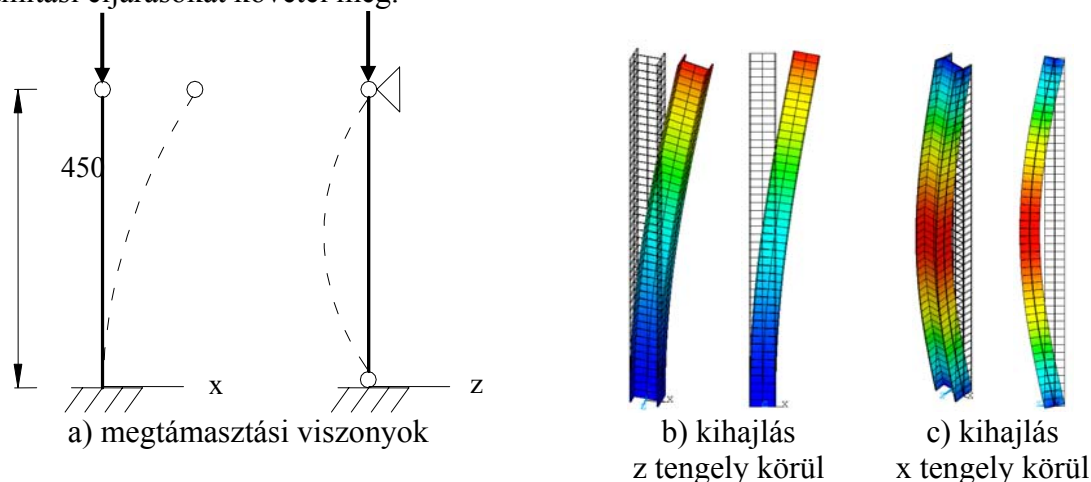
esetén) az övben, illetve a gerinclemezben a nyomásból vagy a hajlításból származó rúdtengely irányú feszültségek hatására a lemezekben a rúdtengellyel párhuzamos hullámok képében jelenik meg a lemezhorpadás. Mintapéldánkban a két koncentrált erő közötti gerinclemezmező tisztán hajlított, a legnagyobb nyomaték itt keletkezik. Ekkor a horpadási alak a 3.17. ábrának megfelelő. A felső öv tisztán nyomott, abban szintén keletkezhet lemezhorpadás. A kritikus feszültség mértéke és a horpadási alak jellege függ a lemez geometriai méreteitől, a lemezvastagságtól, a feszültségeloszlástól (nyomott/hajlított) és a megtámasztási viszonyoktól (hány oldalán van megtámasztva, kapcsolódó elemek, pl. övlemez merevsége, stb.). Ellentétben az előzőekben taglalt stabilitási jelenségekkel, lemezhorpadás esetén a poszt-kritikus tartalék jelentős lehet (3.11/b ábra).

A függőleges értelmű nyírást a gerinclemez veszi fel. A nyírás hatására jellegzetes, ferde hullámok jönnek létre a gerincben. Példánkban a szélső lemezmezőkben van csak nyíróerő, a nyírási horpadás így ott keletkezhet (3.18. ábra).

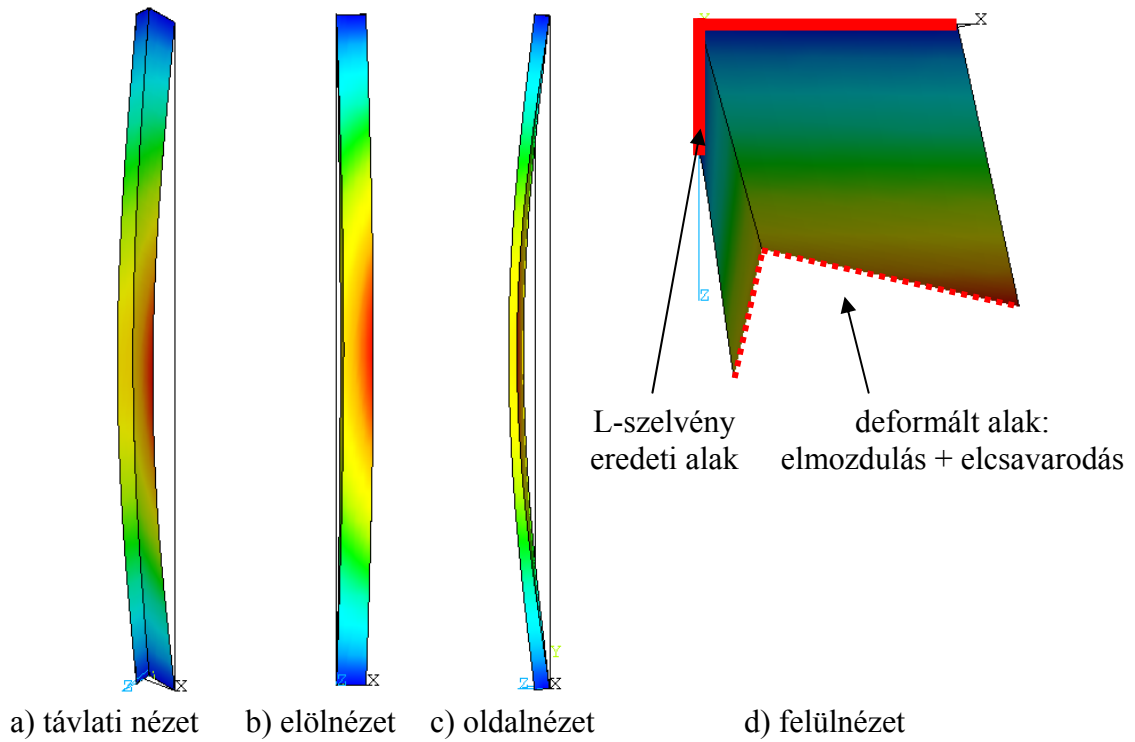
Természetesen előfordulhat olyan eset, amikor nem csak hosszirányú, de arra merőleges értelmű, ún. keresztirányú feszültségek is ébrednek egy-egy lemezben. Ennek egy speciális fajtája a nagy koncentrált (vagy kis hosszon kiterjedő) erők bevezetésének környezete. Ilyen ún. közvetlenül terhelt lemez jellemzően például a támaszok környezetében a gerinclemez, darupályatartóknál a darukerek alatti gerinclemezmező, stb. Ezen koncentrált erő alatt a gerinclemez **beroppanhat** (3.19. ábra), ha nincs függőleges értelemben merevítve.

A lemezhorpadás **merevített lemezek** esetében is létrejöhet, de ekkor kétféleképpen: a teljes merevített lemezben (3.20/b ábra) vagy – amennyiben a merevítőbordák elég merevek – a bordák között (3.20/c ábra). A 3.20. ábra többszörösen merevített lemez horpadási módjait mutatja be tiszta nyomás esetén. Megjegyezzük, hogy éppen azért szoktunk merevítőbordákat elhelyezni a vékony lemezekben – ahol a lemezstabilitás domináns –, mert általuk a lemez vastagítása nélkül érhetünk el nagyobb stabilitási ellenállást. A függőleges bordák tervezésekor mindig arra törekszünk, hogy a lemezhorpadás csak azok között jöhessen létre (lásd előző példa), míg vízszintes merevítéseknél (különösen többszörösen merevített esetben) gyakran megelégszünk nem-merev bordákkal.

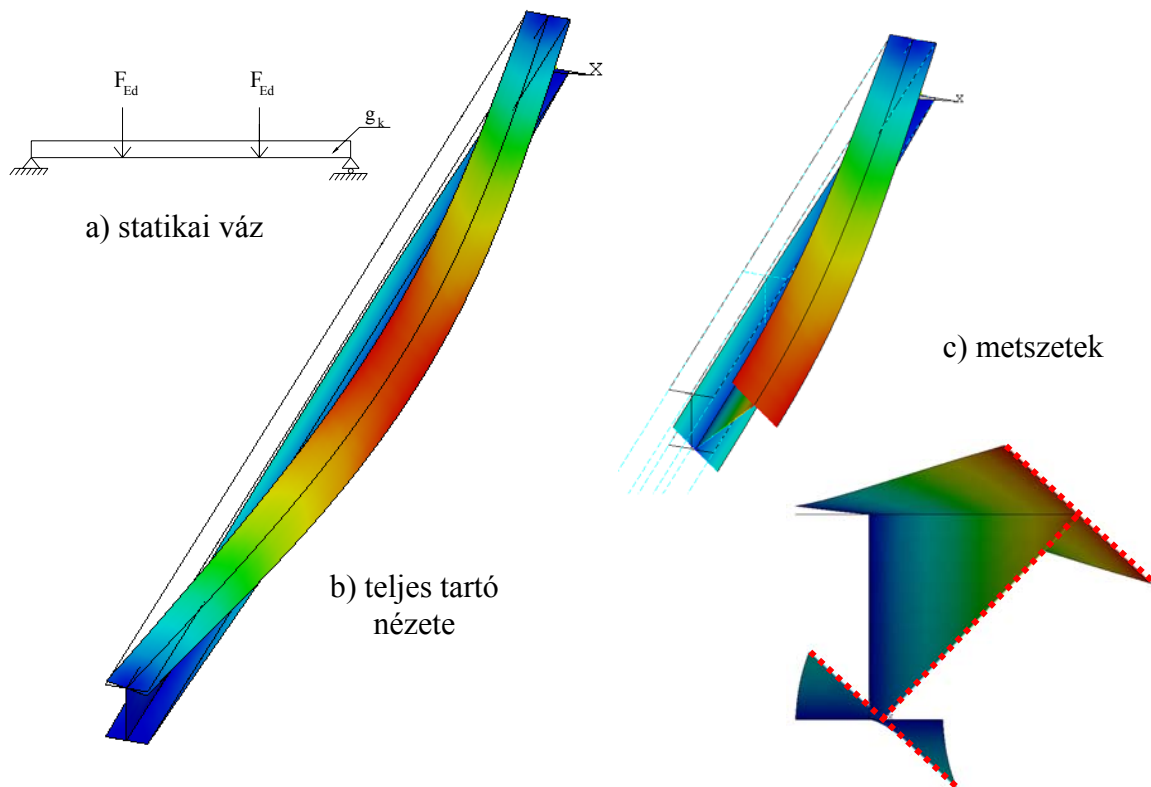
Az egyes stabilitásvesztési módok **kölcsönhatásba** (más szóval interakcióba) is léphetnek egymással. Így például egy gerinclemez tartó lemezhorpadása interakcióba léphet a teljes gerenda globális kifordulásával (3.21/a-b ábra). De lokális módok is kombinálódhatnak, pl. hajlított-nyírt gerinclemez különböző lemezhorpadásai (3.21/c ábra). Némely esetben a kölcsönhatásba lépő módok gyengíthetik egymás hatását (tehát kedvezőbb teherbírást is eredményezhet), vagy éppen semmilyen hatással nincsenek egymásra. Általában azonban erősítik egymást, ezért különösen fontos az interakciók vizsgálata, amely azonban igen bonyolult számítási eljárásokat követel meg.



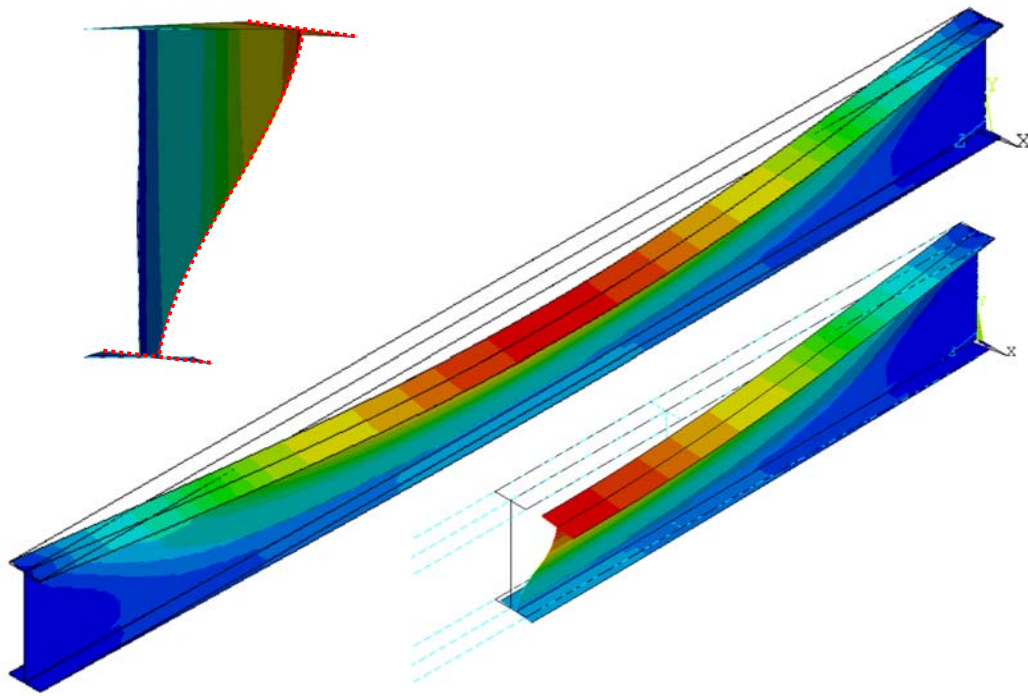
3.12. ábra: Síkbeli rúdkihajlás.



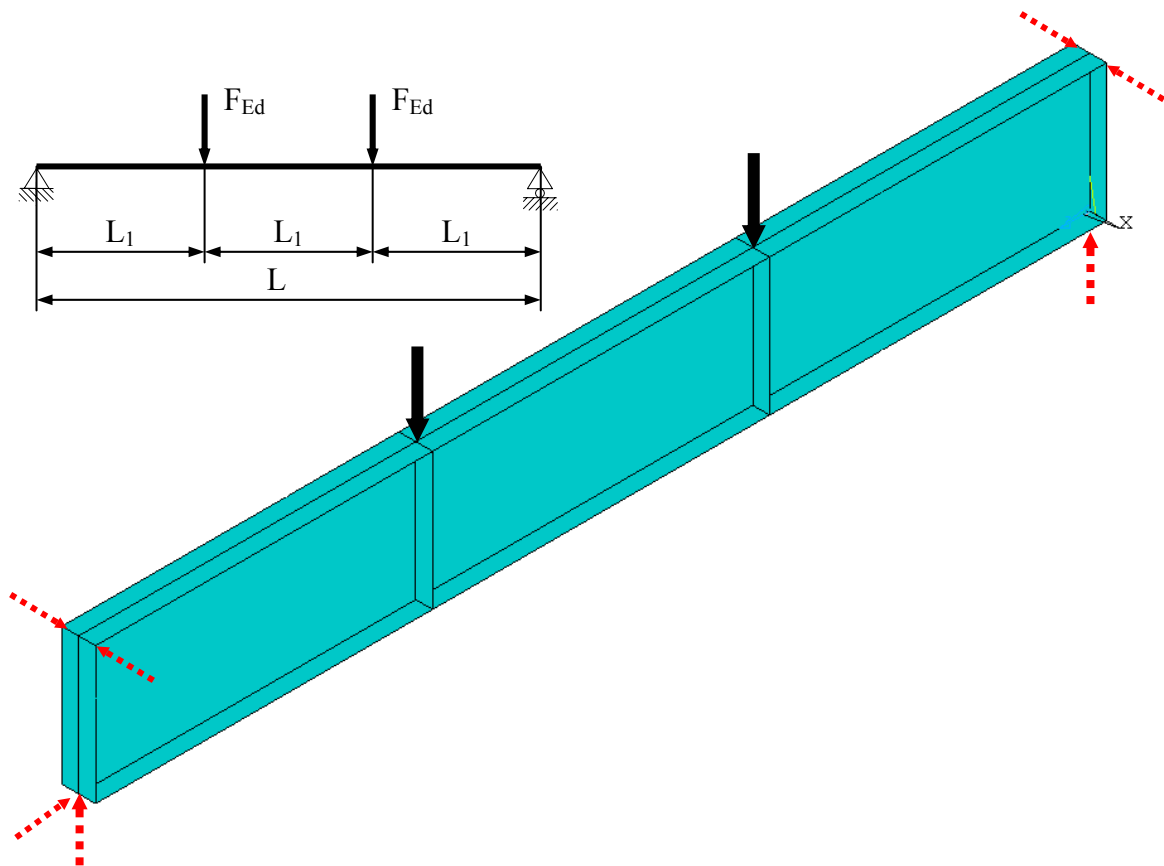
3.13. ábra: Térbeli elcsavarodó kihajlás.



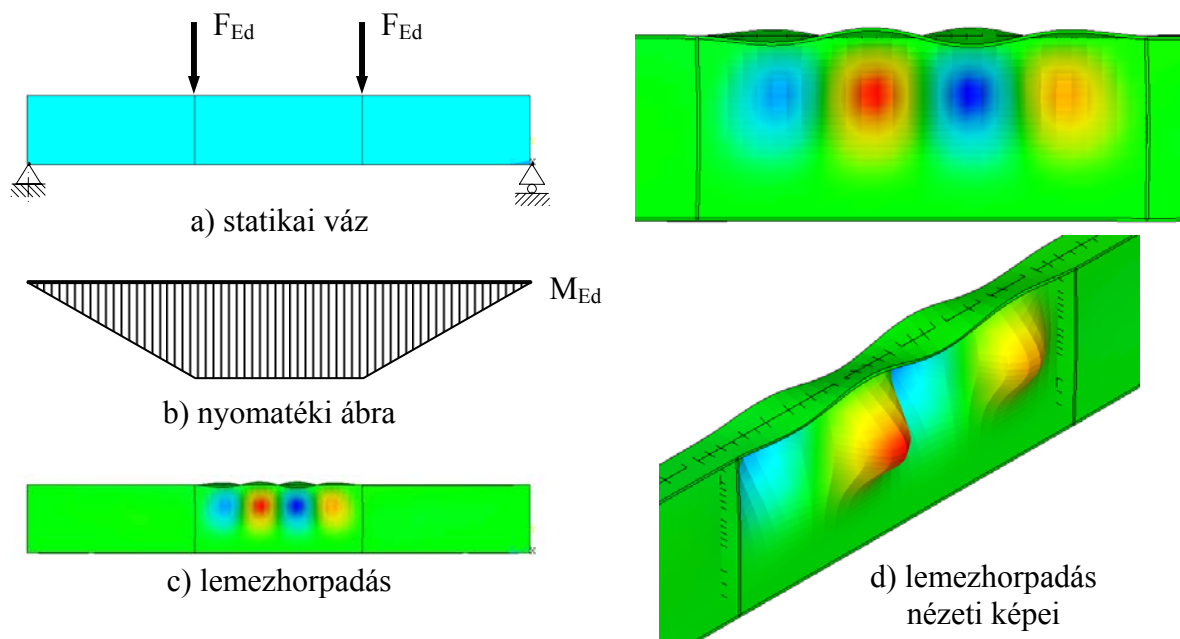
3.14. ábra: Gerendakifordulás – alaktartó keresztmetszet.



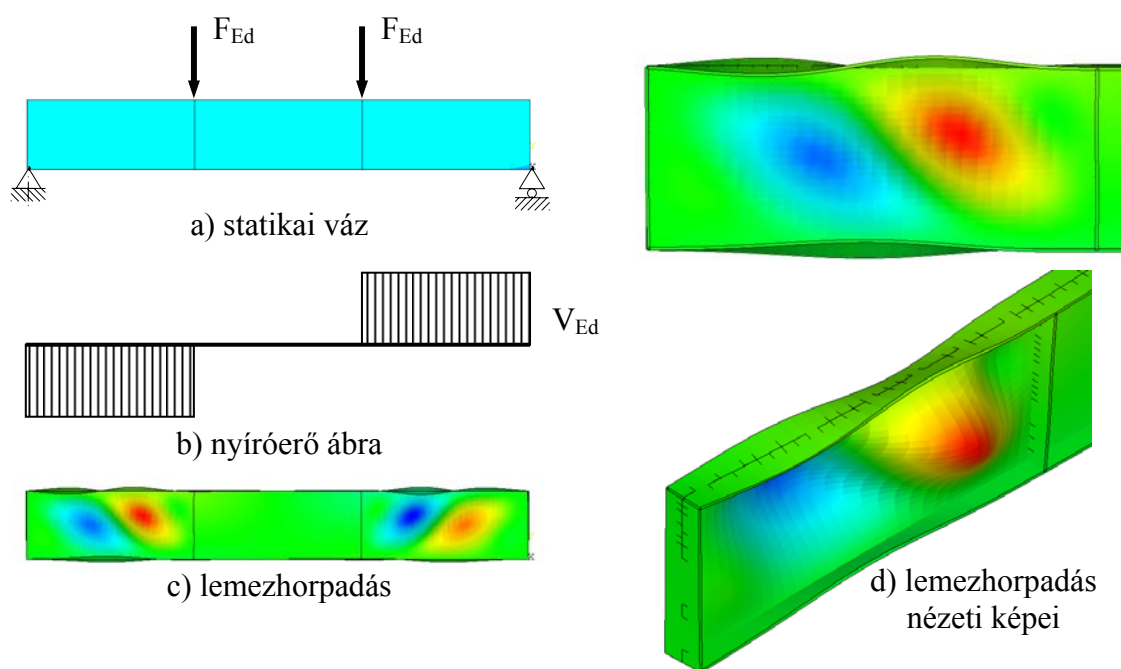
3.15. ábra: Gerendakifordulás – nem alaktartó keresztmetszet.



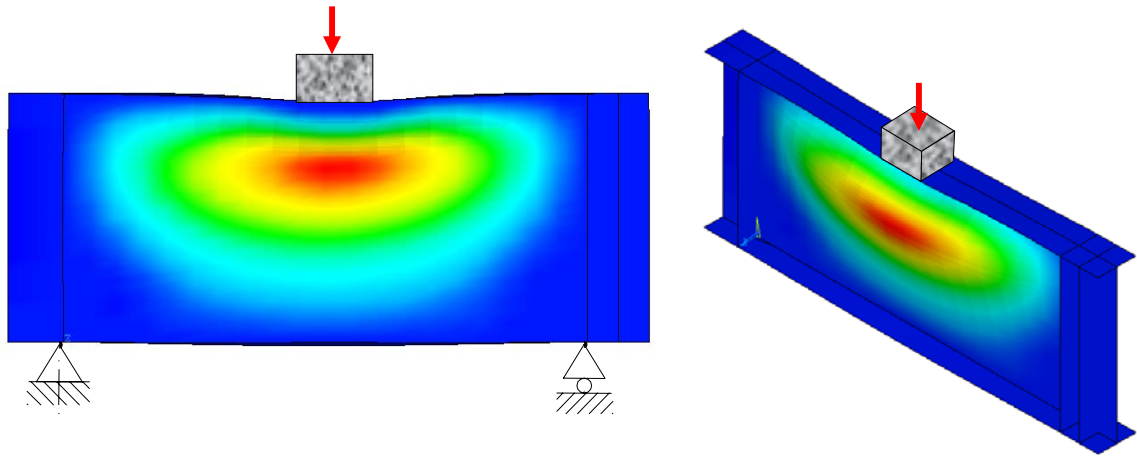
3.16. ábra: Mintapélda – hegesztett gerenda.



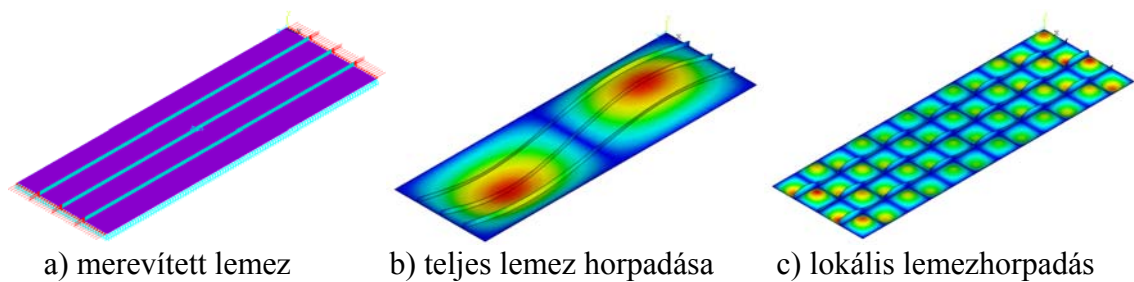
3.17. ábra: Hajlított gerinclemez lemezhorpadása.



3.18. ábra: Nyírt gerinclemez lemezhorpadása.



3.19. ábra: Beroppanás erőbevezetés alatt.

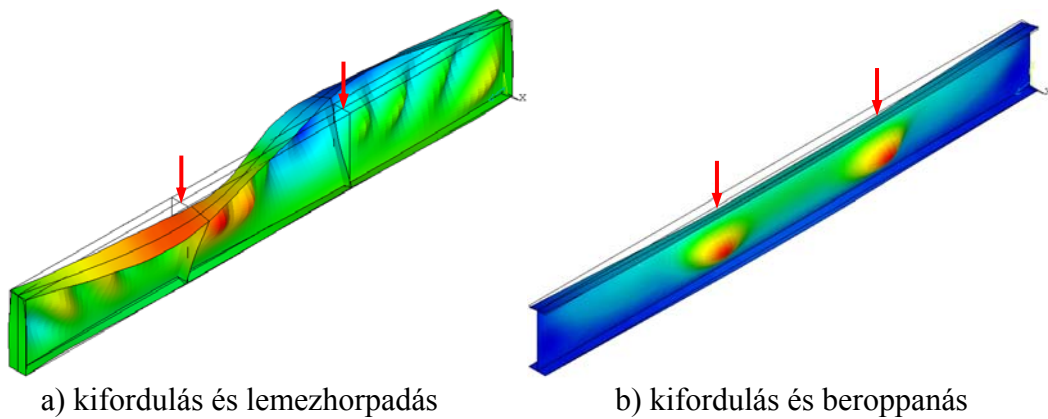


a) merevített lemez

b) teljes lemez horpadása

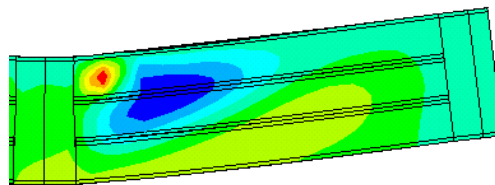
c) lokális lemezhorpadás

3.20. ábra: Négy szélén megtámasztott, merevített lemez teljes és lokális lemezhorpadása egyenletes nyomás esetén.



a) kifordulás és lemezhorpadás

b) kifordulás és beroppanás



c) lokális lemezhorpadás hajlítás hatására és teljes lemez nyírási horpadása

3.21. ábra: Stabilitási jelenségek kölcsönhatása.

A fentiek alapján láthatjuk, hogy a szilárdsági vizsgálatok mellett számos egyéb stabilitási jelenséget is vizsgálni kell a szerkezeti elemek tervezésekor. Az ismertetett jelenségek mindegyike tárgyalható – több-kevesebb nehézség árán – a rugalmas stabilitástan keretein belül. Acélszerkezetek esetén azonban a stabilitásvizsgálat sohasem a rugalmas stabilitástan eszköztárával levezethető kritikus feszültségek, illetőleg igénybevételek alapján történik. Ennek

az az oka, hogy a rugalmas stabilitástan – amellet, hogy tökéletesen rugalmas anyagi viselkedést feltételez – abból indul ki, hogy a vizsgálandó szerkezeti elem tökéletes, imperfekcióktól mentes, azaz: tökéletesen egyenes vagy sík geometriájú, sajátfeszültségektől mentes, tökéletesen központosan terhelt. A valóságban ilyen tökéletes (más szóval ideális) szerkezeti elem nem létezik. Imperfekt esetben viszont már nem egyensúly-elágazással, hanem az ún. **képlékeny instabilitással** van dolgunk. A képlékeny instabilitás az egyensúly-elágazással szemben nem egy határozott teherszinten következik be, hanem egy, számos tényezőtől (pl. kezdeti görbeség nagysága) függő folyamat során. A kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a tökéletlenségek következtében a szerkezeti elemek túlnyomó többségében a tényleges teherbírás kisebb-nagyobb mértékben alatta marad az egyensúly-elágazáshoz tartozó rugalmas (kritikus) értékeknek (kivételt képez vékony lemezek esetén a lemezhorpadás, amely esetben jelentős lehet a posztkritikus tartalék, lásd 3.1/b ábra). Ezért a vizsgálatokat kísérleti alapon kalibrált féltapasztalati összefüggésekkel végezzük; a számításokban helyenként megjelenő kritikus feszültség, erő vagy nyomaték pedig az elem karcsúságának jellemzésére szolgál csak és számítási segédmenyiségnek tekintendő. Hangsúlyozzuk, hogy a korábban bemutatott stabilitásvesztési alakok jellege a tökéletlenségek miatt nem változik, tehát a fejezetben tárgyalt osztályozás továbbra is érvényes.

A lokális stabilitásvesztési módok közül a nyomott/hajlított alkotólemezek horpadását (és a posztkritikus tartalékot) az Eurocode a keresztmetszeti osztályozással és a hatékony keresztmetszet számításával (4. keresztmetszeti osztály) veszi figyelembe, amelyet már korábban tárgyaltunk.

A következő fejezetekben részletesen ismertetjük a síkbeli rúdkihajlás, gerendakifordulás és a nyírás horpadás Eurocode szerinti számítását, de nem foglalkozunk a térbeli elcsavarodó kihajlás és a beroppanás jelenségével (ezt a későbbi szakirányos tárgyak keretében ismertetjük). A fejezet utolsó részében az egyes stabilitásvesztési módok kölcsönhatásával (interakciójával) foglalkozunk.

### 3.3.2. Központosan nyomott rúd kihajlása

Szükséges ismeretek:

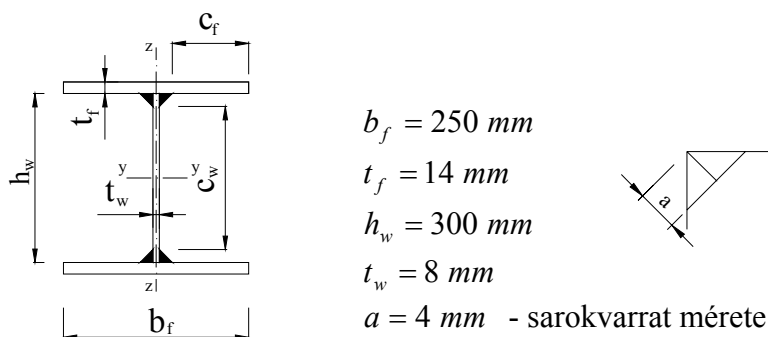
- Központosan nyomott rúd síkbeli kihajlási ellenállása (lásd [4] 5.2.1 – 5.2.2 pontja);
- Rácsos tartók nyomott rúdjaik kihajlási hosszai (lásd [4] 5.2.2 pontja).

### 3.9 Példa

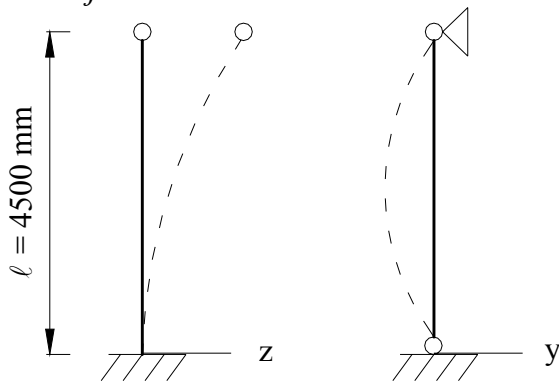
Határozzuk meg, hogy mekkora központos erővel terhelhető a 3.22. és 3.23. ábrákon látható oszlop! Az oszlop geometriai adatait a 3.22. ábra és a befogási viszonyait a 3.23. ábra mutatja.

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\lambda_1 = 93,9$

**Keresztmetszeti adatok:**



3.22. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.



3.23. ábra: Kihajlási hosszak.

$v_y = 2,0$  (y tengely körüli kihajlás);  $v_z = 1,0$  (z tengely körüli kihajlás)

**A keresztmetszet osztályozása:**

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{250}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8,0}{2} = 115,3 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{115,3}{14} = 8,24 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 300 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 288,7 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{288,7}{8} = 36,09 < 38 \cdot \varepsilon = 38$$

tehát a gerinc 2. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 2. keresztmetszeti osztályú.

#### A keresztmetszet adatai:

$$A = 30 \cdot 0,8 + 2 \cdot 25 \cdot 1,4 = 94 \text{ cm}^2$$

$$I_y = \frac{30^3 \cdot 0,8}{12} + \left( \frac{25 \cdot 1,4^3}{12} + 25 \cdot 1,4 \cdot \left( 15 + \frac{1,4}{2} \right)^2 \right) \cdot 2 = 19065,7 \text{ cm}^4$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{19065,7}{94}} = 14,24 \text{ cm}$$

$$I_z = \frac{30 \cdot 0,8^3}{12} + 2 \cdot \frac{25^3 \cdot 1,4}{12} = 3647,1 \text{ cm}^4$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{3647,1}{94}} = 6,23 \text{ cm}$$

#### A karcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{2 \cdot 450}{14,24} = 63,20$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{1 \cdot 450}{6,22} = 72,35$$

#### A viszonyított karcsúságok:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{63,20}{93,9} = 0,67$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{72,35}{93,9} = 0,77$$

#### A $\chi$ csökkentő tényező meghatározása: ([4] (5.39) képlet vagy 5.7. és 5.8. táblázat alapján)

$$\bar{\lambda}_y = 0,67 \rightarrow \mathbf{b} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,8004$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,77 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,6810$$

$$\chi = \chi_z = 0,6810$$

#### A nyomott rúd kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6810 \cdot \frac{94 \cdot 23,5}{1,0} = 1504,3 \text{ kN}$$

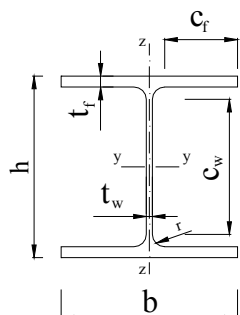


### 3.10 Példa

Határozzuk meg a HE 300 A szelvényű, központosan nyomott oszlop kihajlási ellenállását, a szelvényt az optimális irányba forgatva, ha a rúd hossza 9000 mm! Az oszlop geometriai adatait a 3.24. ábra, a befogási viszonyait a 3.25. ábra mutatja.

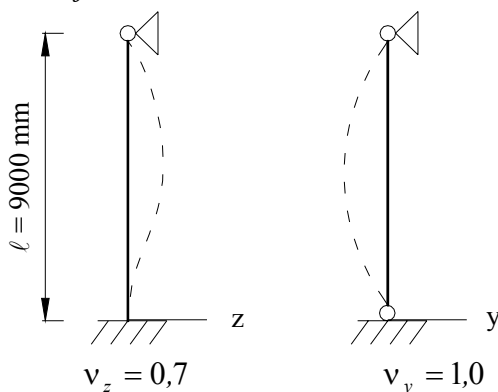
Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\lambda_1 = 93,9$

**Keresztmetszeti adatok:** HEA 300 (táblázatból)



$b = 300 \text{ mm}$	$t_f = 14 \text{ mm}$
$h = 290 \text{ mm}$	$t_w = 8,5 \text{ mm}$
$r = 27 \text{ mm}$	
$A = 113 \text{ cm}^2$	
$W_y = 1260 \text{ cm}^3$	$W_{pl} = 1383 \text{ cm}^3$
$i_y = 12,7 \text{ cm}$	$i_z = 7,49 \text{ cm}$

3.24. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.



3.25. ábra: Kihajlási hosszak.

A szelvény optimális irányba forgatása azt jelenti, hogy a szelvényt, a befogási viszonyokat figyelembe véve, úgy kell elhelyezni, hogy a kihajlási ellenállása a lehetséges legnagyobb legyen. Jelen példában a két eset elemezve belátható, hogy ez akkor teljesül, ha a szelvényt úgy forgatjuk, hogy  $v_y = 1,0$  és  $v_z = 0,7$  legyen.

**A keresztmetszet osztályozása:**

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - 27 - \frac{8,5}{2} = 118,75 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{118,75}{14} = 8,48 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 290 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 14,0 = 208 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{208}{8,5} = 24,47 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

**A karcsúságok:**

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 900}{12,7} = 70,87$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{0,7 \cdot 900}{7,49} = 84,11$$

**A viszonyított karcsúságok:**

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{70,35}{93,9} = 0,75$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{84,11}{93,9} = 0,90$$

**A  $\chi$  csökkentő tényező meghatározása:** ([4] (5.39) képlet vagy 5.7. és 5.8. táblázat alapján)

$$\bar{\lambda}_y = 0,75 \rightarrow \mathbf{b} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,7547$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,90 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,5998$$

$$\chi = \chi_z = 0,5998$$

**A nyomott rúd kihajlási ellenállása:**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,5998 \cdot \frac{113 \cdot 23,5}{1,0} = 1592,8 \text{ kN}$$

**Megjegyzés:**

Ha a szelvényt a másik irányba forgatjuk ( $v_y = 0,7$  és  $v_z = 1,0$ ), akkor a karcsúságok a következőképpen alakulnak:

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{0,7 \cdot 900}{12,7} = 49,61$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{1,0 \cdot 900}{7,49} = 120,16$$

A viszonyított karcsúságok pedig:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{49,61}{93,9} = 0,53$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{120,16}{93,9} = 1,28$$

Ebben az esetben a  $\chi$  tényező értéke kisebbre adódik:  $\chi = 0,3974$ , így kisebb kihajlási ellenállást kapnánk.

### 3.11 Példa

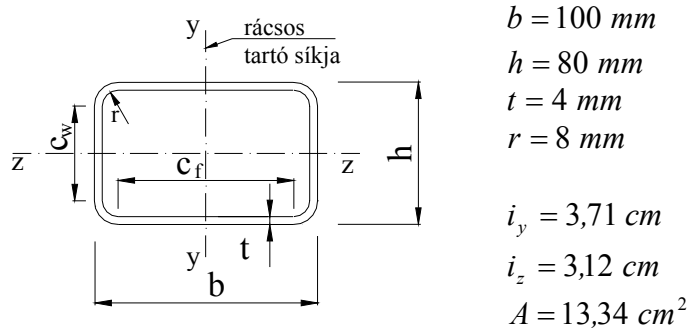
Egy rácsos tartó hegesztett bekötésű nyomott rácsrúdjának hossza 2000 mm, a rácsrúd szelvénye 100x80x4 hidegen hajlított zártszelvény.

Ellenőrizzük a rácsrudat  $S_{Ed} = 200 \text{ kN}$  központos nyomóerőre, ha a rácsrúd szelvénye úgy áll, hogy a rövidebbik oldal párhuzamos a rácsos tartó síkjával (3.26. ábra)!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\lambda_1 = 93,9$

Rácsos tartó rácsrúdjá esetén a kihajlási hosszak a következők (lásd [4] 5.2.2.2. pontja):  
 $v_z = 0,9$  a tartósíkban és  $v_y = 1,0$  a tartósíkra merőleges kihajlás esetén.

**Keresztmetszeti adatok:** 100x80x4



3.26. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályozása:**

Öv:

$$c_f = b - 2 \cdot r - 2 \cdot t = 100 - 2 \cdot 8,0 - 2 \cdot 4,0 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

Könnyen belátható, hogy a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

**A karcsúságok:**

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 200}{3,71} = 53,91$$

$$\lambda_z = \frac{v_z \cdot \ell}{i_z} = \frac{0,9 \cdot 200}{3,12} = 57,69$$

**A viszonyított karcsúságok:**

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{53,91}{93,9} = 0,57$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{57,69}{93,9} = 0,61$$

**A  $\chi$  csökkentő tényező meghatározása:** ([4] (5.39) képlet vagy 5.7. és 5.8. táblázat alapján)

$$\bar{\lambda}_y = 0,57 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,8030$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,61 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_z = 0,7794$$

$$\chi = \chi_z = 0,7794$$

**A nyomott rúd kihajlási ellenállása:**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7794 \cdot \frac{13,34 \cdot 23,5}{1,0} = 244,3 \text{ kN}$$

**Ellenőrzés:**

$$N_{Ed} = 200 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 244,3 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### 3.12 Példa

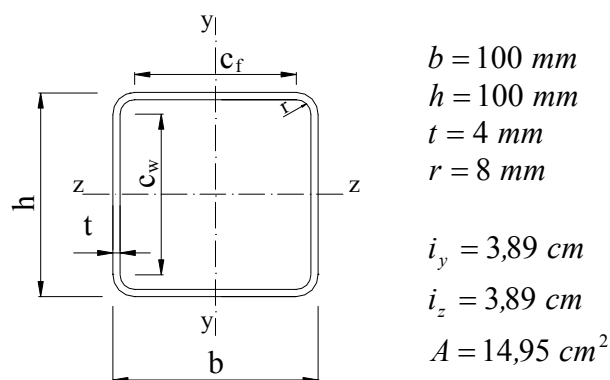
Egy rácsos tartó nyomott övén a csomóponti távolság 3000 mm, a csomópontok keresztirányban meg vannak támasztva. Határozzuk meg a nyomott övrúd kihajlási ellenállását, ha annak szelvénye 100x100x4 hidegen hajlított zártszelvény!

$$\text{Alapanyag: S235} \quad f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad \lambda_1 = 93,9$$

Zártszelvényű rácsos tartó övrúdja esetén a kihajlási hosszak a következők:

$$v_z = 0,9 \text{ a tartósíokban és } v_y = 0,9 \text{ a tartósíkra merőleges kihajlás esetén.}$$

**Keresztmetszeti adatok: 100x100x4**



3.27. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályozása:**

Öv/Gerinc:

$$c_f = b - 2 \cdot r - 2 \cdot t = 100 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát az öv/gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

**A karcsúságok:**

$$\lambda = \lambda_y = \lambda_z = \frac{v_y \cdot \ell}{i_y} = \frac{0,9 \cdot 300}{3,89} = 69,41$$

**A viszonyított karcsúság:**

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{69,41}{93,9} = 0,74$$

**A  $\chi$  csökkentő tényező meghatározása:** ([4] (5.39) képlet vagy 5.7. és 5.8. táblázat alapján)

$$\bar{\lambda} = 0,74 \rightarrow \text{c kihajlási görbe} \quad \chi = 0,6998$$

**A nyomott rúd kihajlási ellenállása:**

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,6998 \cdot \frac{14,95 \cdot 23,5}{1,0} = 245,86 \text{ kN}$$

### 3.3.3. Hajlított elemek kifordulása

Szükséges ismeretek:

Az EC3 a kifordulási ellenállás meghatározására több módszert is kínál:

- Általános módszer (lásd [4] 5.3.1 pontja);
- Általános módszer, melegen hengerelt, illetve ekvivalens hegesztett szelvények (lásd [4] 5.3.2 pontja);
- Egyszerűsített módszer (lásd [4] 5.3.4 pontja).

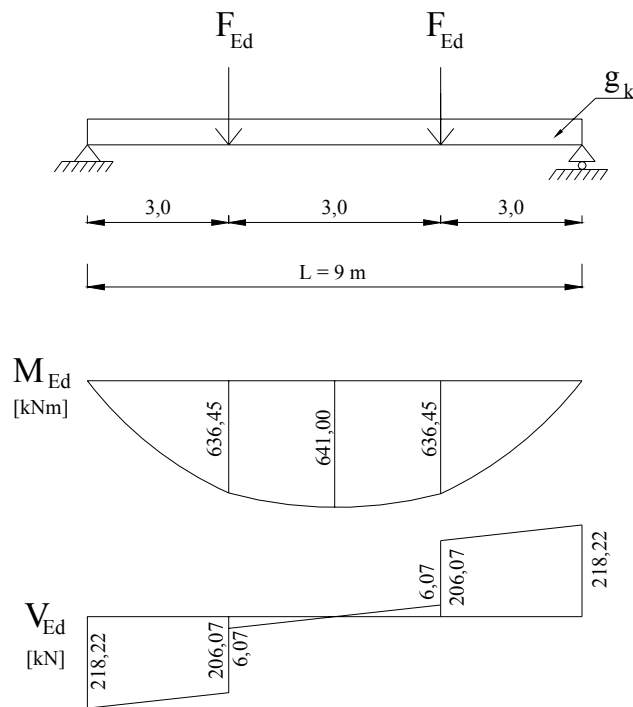
### 3.13 Példa

Ellenőrizzük kifordulásra a 3.28. ábrán látható gerendatartót!

A tartó melegen hengerelt HEA 450 profilból készült, mindkét vége villás megtámasztású.

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$

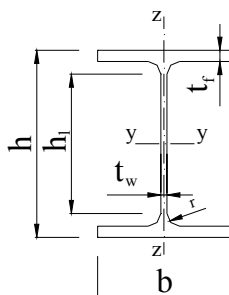
A gerenda terhelését és igénybevételeit a 3.28. ábra mutatja,  $F_{Ed} = 200 \text{ kN}$ ,  $g_k = 4,05 \text{ kN/m}$ .



3.28. ábra: A gerenda terhelése és igénybevételei.

### Keresztmetszeti adatok:

HEA 450 melegen hengerelt szelvény:



$$h = 440 \text{ mm} \quad h_1 = 344 \text{ mm} \quad t_w = 11,5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad t_f = 21 \text{ mm} \quad r = 27 \text{ mm}$$

$$A = 178 \text{ cm}^2 \quad I_y = 63720 \text{ cm}^4 \quad W_{pl,y} = 3220 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 9470 \text{ cm}^4 \quad I_t = 245 \text{ cm}^4 \quad I_w = 4146000 \text{ cm}^6$$

3.29. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

### A keresztmetszet osztályozása hajlításra:

Öv:

$$c_f = \frac{b}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - 27 - \frac{11,5}{2} = 117,25 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{117,25}{21} = 5,58 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 440 - 2 \cdot 27 - 2 \cdot 21 = 344 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{344}{11,5} = 29,91 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

### Keresztmetszet ellenállásának ellenőrzése:

Hajlításra:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3220 \cdot 23,5}{1,0} = 75670 \text{ kNcm} = 756,7 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{641}{756,7} = 0,847 < 1 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Nyírásra:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f = 178 - 2 \cdot 30 \cdot 2,1 + (1,15 + 2 \cdot 2,7) \cdot 2,1 = 65,76 \text{ cm}^2$$

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{65,76 \cdot 23,5}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 892,21 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{218,22}{892,21} = 0,24 < 1 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Nyírás és hajlítás interakciójára:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,25 < 0,5 \rightarrow \text{nem kell vizsgálni!}$$

a) A szerkezeti kialakítás szerint nincs közbülső oldalirányú megtámasztás, tehát a teljes támaszköz a kifordulási hossz.

**A kifordulási kritikus nyomaték:** (közelítő képlettel, lásd pl. [4] 5.3.3. pontja)

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$l = 900 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \quad (\text{mindkét vég szabadon elfordul és torzul})$$

$$z_g = +22,0 \text{ cm} \quad (\text{a teher a gerenda felső övén hat})$$

$$z_j = 0 \quad (\text{kétszeresen szimmetrikus szelvény})$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad G = 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_1 = 1,046; C_2 = 0,43; C_3 = 1,12 \quad (\text{lásd [4] 5.14. táblázat})$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,046 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}{900^2} \left[ \sqrt{\frac{4146 \cdot 10^3}{9470} + \frac{900^2 \cdot 8077 \cdot 245}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470} + (0,43 \cdot 22)^2} - 0,43 \cdot 22 \right]$$

$$M_{cr} = 68941,5 \text{ kNcm} = 689,42 \text{ kNm}$$

**A gerenda kifordulási karcsúsága:**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{M_{c,Rd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{756,7}{689,42}} = 1,048$$

A kifordulási csökkentő tényező (melegen hengerelt szelvény, a görbe alapján)

$$\chi_{LT} = 0,632$$

**A gerenda kifordulási ellenállása:**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{\gamma_{M1}} = 0,632 \cdot \frac{756,7}{1,0} = 478,23 \text{ kNm}$$

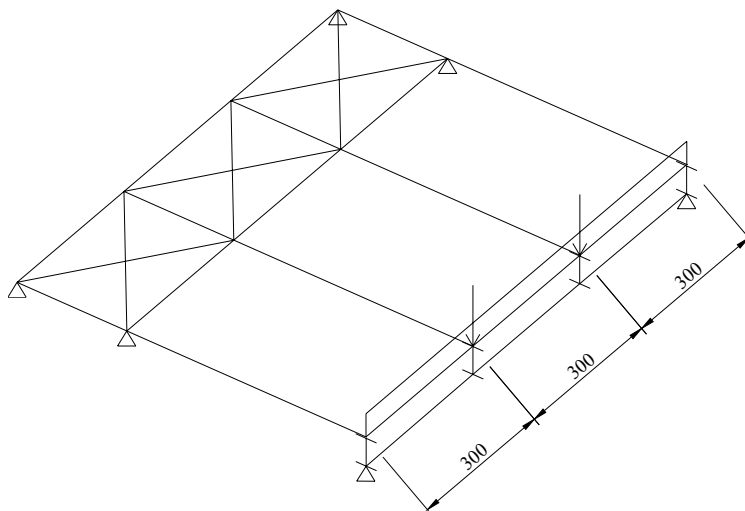
**Gerenda ellenőrzése kifordulásra:**

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{478,23} = 1,34 > 1 \quad \rightarrow \text{Nem felel meg!}$$

A tartó közbülső oldalirányú megtámasztás nélkül nem felel meg kifordulásra!



b) Oldjuk meg a feladatot úgy, hogy a támaszköz harmadában (a koncentrált erők átadási pontjaiban) oldalirányban a 3.30. ábra szerinti hatékony megtámasztásokkal látjuk el:



3.30. ábra: Gerenda oldalirányú megtámasztása.

A középső mezőben a két megtámasztás közötti tartószakasz kifordulását kell ellenőrizni.

A felhasznált képlet ( $M_{cr}$ ) az előző pont szerinti, a tényezők értékei:

$$l = 300 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \quad (\text{a szomszédos tartórészek nem vehetők befogásnak})$$

$$\psi \cong 1,0 \rightarrow C_1 = 1,0; C_2 = 0; C_3 = 1,0$$

**A kifordulási kritikus nyomaték:**

$$M_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}{300^2} \left[ \sqrt{\frac{4146 \cdot 10^3}{9470} + \frac{300^2 \cdot 8077 \cdot 245}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 9470}} \right] = 501379 \text{ kNcm} = 5013,8 \text{ kNm}$$

**A gerendaszakasz kifordulási karcsúsága:**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{756,7}{5013,8}} = 0,39, \text{ az a kihajlási görbéből: } \chi_{LT} = 0,9554$$

**A megtámasztott gerenda kifordulási ellenállása:**

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,9554 \cdot \frac{756,7}{1,0} = 722,95 \text{ kNm}$$

**A gerenda ellenőrzése kifordulásra:**

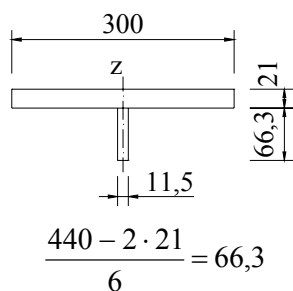
A kifordulási ellenállást összehasonlítva a tartószakaszon fellépő legnagyobb nyomatékkal:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{722,95} = 0,887 < 1 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A gerenda oldalirányú merevítőrendszer alkalmazásával kifordulásra megfelelő.

c) Ellenőrizzük a tartó kifordulását a megtámasztott kialakításban egyszerűsített kifordulásvizsgálati eljárással (övmerevségvizsgálattal)!

A melegen hengerelt szelvény nyomott övrészét a lekerekítések elhanyagolásával két téglalappal helyettesítjük. A nyomott övrész keresztmetszeti jellemzői (3.31. ábra):



$$A_{fz} = 30 \cdot 2,1 + 6,63 \cdot 1,15 = 70,62 \text{ cm}^2$$

$$I_{fz} = 2,1 \cdot \frac{30^3}{12} + 6,63 \cdot \frac{1,15^3}{12} = 4725,84 \text{ cm}^4$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{fz}}{A_{fz}}} = \sqrt{\frac{4725,84}{70,62}} = 8,18 \text{ cm}$$

3.31. ábra: A nyomott övrész keresztmetszeti jellemzői.

**A nyomott öv viszonyított karcsúsága:**

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{fz} \cdot \lambda_1} = \frac{1,0 \cdot 300}{8,18 \cdot 93,9} = 0,39$$

ahol:

$$\lambda_1 = 93,9 \quad (\text{S235 anyag})$$

$$k_c = 1,0$$

$$L_c = 300 \text{ cm} \quad (\text{oldalirányú megtámasztások távolsága})$$

Mivel

$$\bar{\lambda}_{c0} = 0,5$$

$$\bar{\lambda}_f < \bar{\lambda}_{c0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}} = 0,5 \cdot \frac{756,7}{641} = 0,59 \rightarrow \text{a gerenda kifordulási vizsgálat nélkül is megfelel!}$$

Ha mégis elvégezzük a vizsgálatot, akkor a gerenda kifordulási ellenállása az övmerevségvizsgálat során a következők szerint számítható:

$$M_{b,Rd} = k_{fl} \cdot \chi \cdot M_{cr,d} = 1,10 \cdot 0,9026 \cdot 756,7 = 751,29 \text{ kNm}$$

ahol

$$k_{fl} = 1,10 \quad \text{a korrekciós tényező szabvány szerinti ajánlott értéke;}$$

$$\chi = 0,9026 \quad \text{a helyettesítő nyomott öv kihajlási csökkentő tényezője } (\bar{\lambda}_f \text{ függvényében a c kihajlási görbéből}).$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{641}{751,29} = 0,853 < 1 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Tehát a gerenda az egyszerűsített kifordulásvizsgálat alapján kifordulásra megfelel.

### 3.3.4. Nyírt lemezek horpadása

Szükséges ismeretek:

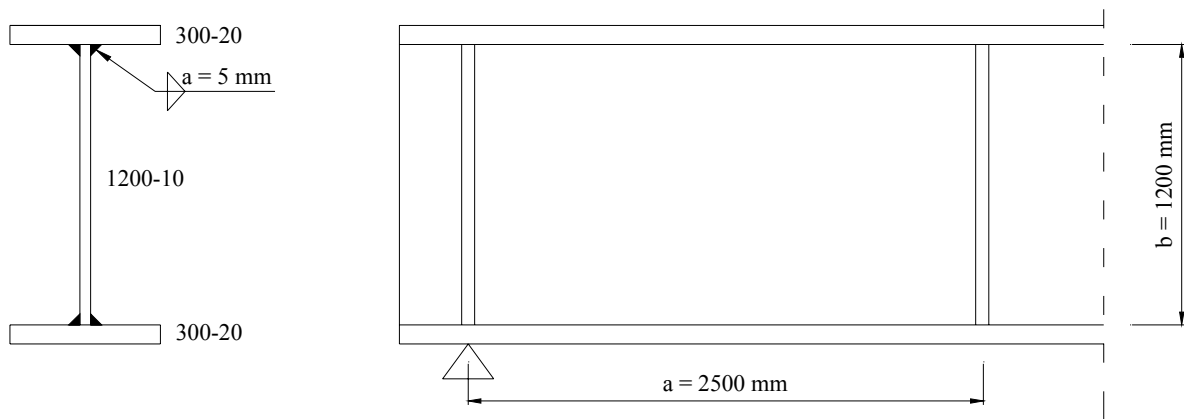
- Nyírási horpadás ellenőrzése (lásd [4] 5.5.1 pontja);
- Keresztbordák méretezése (lásd [4] 5.5.1 pontja).

### 3.14 Példa

Ellenőrizzük az alábbi hegesztett I-szelvényből készült gerenda támasz melletti első mezőjében a gerinclemez nyírási horpadásra, majd vizsgáljuk meg a merevítőbordákat is!

A nyíróerő  $V_{Ed} = 1050 \text{ kN}$ .

Alapanyag: S355  $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 0,81$   $\eta = 1,2$



3.32. ábra: A szelvény keresztmetszete és a gerinclemez-mező méretei.

a) A gerinclemez ellenőrzése nyírási horpadásra:

**A vizsgált mező nyírási horpadási tényezője:**

$$\alpha = a/b = 2500/1200 = 2,08 > 1$$

ezért

$$k_\tau = 5,34 + 4/\alpha^2 = 5,34 + 4/2,08^2 = 6,265$$

A horpadási ellenőrzést el kell végezni, mivel merevített gerinclemez esetén

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1200}{10} = 120 > \frac{31}{\eta} \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau} = \frac{31}{1,2} \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,265} = 52,38$$

**A gerinclemez horpadási karcsúsága:**

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} = \frac{120}{37,4 \cdot 10 \cdot 0,81 \cdot \sqrt{6,265}} = 1,583$$

A gerinclemez nyírási horpadási ellenállásának számításakor az övek hozzájárulását elhanyagoljuk, csak a gerinclemez ellenállását vesszük tekintetbe.

**A  $\chi_w$  nyírási horpadási csökkentő tényező:**

Mivel a tartóvégen nem merev véglezárás van, és  $\bar{\lambda}_w > 0,83/\eta = 0,83/1,2 = 0,692$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{1,583} = 0,524$$

**A gerinclemez ellenállása nyírási horpadással szemben:**

$$V_{b,Rd} = V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,524 \cdot 35,5 \cdot 120 \cdot 1,0}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1288,78 \text{ kN}$$

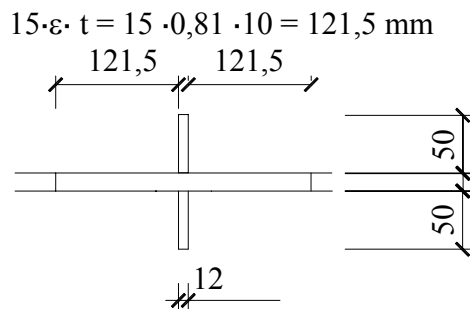
**A gerinclemez ellenőrzése nyírási horpadásra:**

A gerinclemez nyírási horpadással szemben kellő biztonsággal rendelkezik, mivel

$$\frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} = \frac{1050}{1288,78} = 0,815 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

b) *A merevítő bordák ellenőrzése:*

A gerenda gerincén mindkét oldalon 50-12 mm-es keresztirányú merevítő bordák találhatóak a 3.36. ábra szerint.



3.33. ábra: *A merevítőbordák szelvénye.*

**A merevítőbordák szükséges merevsége:**

A mező méreteinek aránya:

$$\frac{a}{h_w} = \frac{2500}{1200} = 2,08 > \sqrt{2},$$

tehát az alábbi feltétel vizsgálandó:

$$I_{St} \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t_w^3 = 0,75 \cdot 120 \cdot 1,0^3 = 90 \text{ cm}^4$$

A bordák inerciája a gerinclemez középvonalára számítva:

$$I_{St} = \frac{1,2 \cdot 11^3}{12} = 133,1 \text{ cm}^4 > 90 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A keresztirányú merevítőbordák a merevségi feltételnek megfelelnek.

A bordákból, valamint a gerinclemeznek a bordákhoz két oldalról csatlakozó  $15 \cdot \varepsilon \cdot t_w$  hosszúságú szakaszaiból álló, a 3.33. ábrán látható szelvény kihajlását is ellenőrizni kellene – ettől azonban most eltekintünk.

### 3.3.5. Külpontosan nyomott rudak ellenállásának vizsgálata

Szükséges ismeretek:

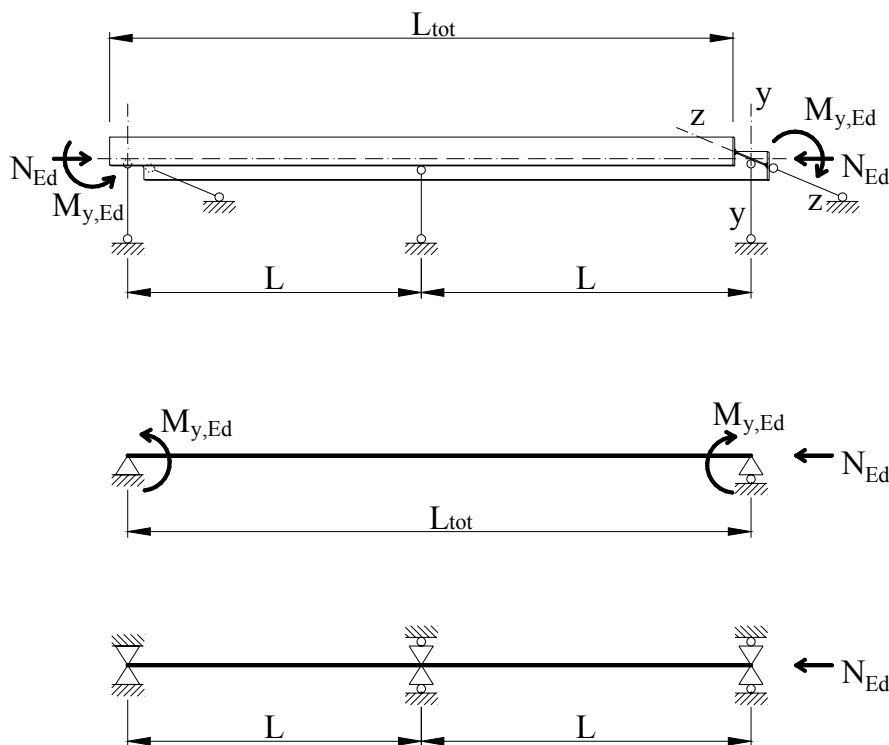
- Külpontosan nyomott rudak stabilitási ellenállása (lásd [4] 5.4 pontja).

#### 3.15 Példa

Ellenőrizzük a 3.34. ábrán látható tartót kihajlásra, kifordulásra és azok interakciójára! A tartó szelvénye megegyezik a 3.6. példában szerepelt hegesztett I-szelvénnel.

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 1,0$   $\lambda_1 = 93,9$

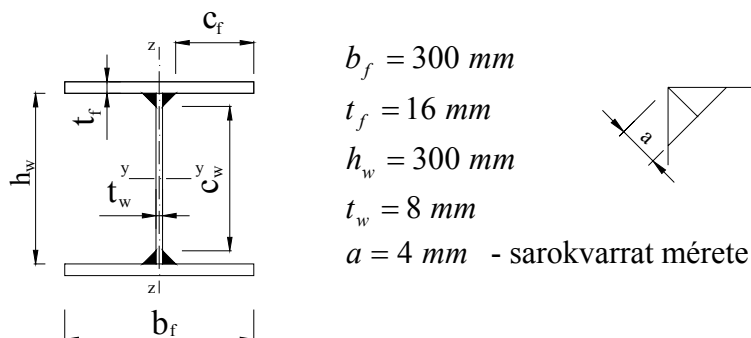
**A tartó geometriája:**



3.34. ábra: A tartó geometriája, megtámasztási és terhelési viszonyai.

A tartó teljes hossza  $L_{tot} = 10 \text{ m}$ , az oldalirányú megtámasztások távolsága  $L = 5 \text{ m}$ .

**A szelvény geometriája:**



3.35. ábra: A szelvény geometriai méretei.

### A keresztmetszeti jellemzők:

$$A = 120 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 25786 \text{ cm}^4; \quad W_y = 1553 \text{ cm}^3; \quad i_y = 146,6 \text{ mm}; \quad W_{pl,y} = 1697 \text{ cm}^3$$

$$I_z = 7201 \text{ cm}^4; \quad W_z = 480 \text{ cm}^3; \quad i_z = 77,5 \text{ mm}; \quad W_{pl,z} = 725 \text{ cm}^3$$

$$I_w = \frac{I_z \cdot (h - t_f)^2}{4} = \frac{7201 \cdot (30 + 2 \cdot 1,6 - 1,6)^2}{4} = 1797657,6 \text{ cm}^6$$

$$I_t = \frac{1}{3} \sum b_i t_i^3 = \frac{1}{3} (2 \cdot 30 \cdot 1,6^3 + 30 \cdot 0,8^3) = 87,0 \text{ cm}^4$$

### A mértékadó igénybevételek:

$$N_{Ed} = 700 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm}$$

### A keresztmetszet osztályozása:

Lásd 3.6. példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra.

### A keresztmetszet ellenállásának ellenőrzése:

A keresztmetszet ellenállásai a 3.6 példában találhatók.

Ellenőrzés tiszta nyomásra:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 2820,0 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Ellenőrzés tiszta hajlításra:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 398,8 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Ellenőrzés nyomás és hajlítás interakciójára:

$$M_{N,Rd} = 333 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### A tartó kihajlási vizsgálata:

A kihajlási hosszak a két irányban:

$$l_y = L_{tot} = 1000 \text{ cm}$$

$$l_z = L = 500 \text{ cm}$$

A rúdkarcsúságok és a viszonyított rúdkarcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{1000}{14,66} = 68,21 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{68,21}{93,9} = 0,726$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{500}{7,75} = 64,52 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{64,52}{93,9} = 0,687$$

Hegesztett I-szelvény és  $t_f \leq 40 \text{ mm}$  esetén:

- az y-y tengely körüli kihajlás esetén a **b** kihajlási görbét,
- míg a z-z tengely körüli kihajlás esetén a **c** kihajlási görbét kell használni.

A kihajlási csökkentő tényezők: ([4] (5.39) képlet vagy 5.7. és 5.8. táblázat alapján)

$$\chi_y = 0,769 \text{ és } \chi_z = 0,733.$$

Látható, hogy a z tengely körüli kihajlás a mértékadó; így a nyomott rúd kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,733 \cdot \frac{120 \cdot 23,5}{1,0} = 2067,1 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### A tartó kifordulási vizsgálata:

Az oldalirányú megtámasztások távolsága  $l = L = 500 \text{ cm}$ .

A kifordulási kritikus nyomaték:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$l = 500 \text{ cm} \quad k = k_w = 1,0 \text{ (mindkét vég szabadon elfordul és torzul)}$$

$$z_g = 0 \text{ (a teher a szelvény súlypontjában)}$$

$$z_j = 0 \text{ (kétszeresen szimmetrikus szelvény)}$$

$$\psi = 1 \text{ (a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik)}$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad G = 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_1 = 1,0; C_2 = 0; C_3 = 1,0$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7201}{500^2} \sqrt{\frac{1797657,6}{7201} + \frac{500^2 \cdot 8077 \cdot 87}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 7201}} = 114421,9 \text{ kNcm} = 1144,2 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = \frac{180}{1144,2} = 0,157 > 0,04$$

és a kifordulási viszonyított karcsúság:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1697 \cdot 23,5}{114422}} = 0,59 > 0,2, \text{ vizsgálni kell a kifordulást.}$$

Hegesztett I-szelvény és  $h/b_f = 33,2/30 = 1,107 \leq 2$  esetén a c görbét kell alkalmazni.

Táblázatból a csökkentő tényező:

$$\chi_{LT} = 0,791$$

A tartó kifordulási ellenállása:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,791 \cdot \frac{1697 \cdot 23,5}{1,0} = 315,5 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 180 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A kihasználtság:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{180}{315,5} = 0,57$$

### A kihajlás és kifordulás interakciója:

A következő interakciós feltételeknek kell eleget tenni:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

A szelvény ellenállásainak karakterisztikus értéke 1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{Rk} = f_y A = 23,5 \cdot 120 = 2820 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y W_{pl,y} = 23,5 \cdot 1697 = 398,8 \text{ kNm}$$

1-3. keresztmetszeti osztály és kétszeresen szimmetrikus szelvény esetén a nyomatóknövekmény zérus:

$$\Delta M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

Az interakciós tényezők meghatározására alkalmazzuk az [1] szabvány „B” függelékében megadott eljárást (vagy lásd [4] 5.4.1 pontban)! Közvetlenül nem terhelt tartó esetében a tényezők a következőképpen alakulnak:

$\psi = 1$  (a vizsgált szakasz két végén a nyomaték értéke megegyezik)

$$C_{my} = C_{mLt} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 = 1,0 > 0,4$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,0 \left( 1 + (0,726 - 0,2) \frac{700}{0,769 \cdot 2820 / 1,0} \right) = 1,17 \leq 1,0 \left( 1 + 0,8 \frac{700}{0,769 \cdot 2820 / 1,0} \right) = 1,26$$

$$k_{yy} = \min(1,17; 1,26) = 1,17$$

Ha  $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ , akkor:

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLt} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLt} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 0,687}{(1,0 - 0,25) 0,733 \cdot 2820 / 1,0} \frac{700}{\gamma_{M1}} \right] = 0,969 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(1,0 - 0,25) 0,733 \cdot 2820 / 1,0} \frac{700}{\gamma_{M1}} \right] = 0,955$$

$$k_{zy} = \max(0,969; 0,955) = 0,969$$

Az interakciós ellenőrzések pedig:



$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{700}{0,769 \cdot \frac{2820}{1,0}} + 1,17 \cdot \frac{180}{0,791 \cdot \frac{398,8}{1,0}} = 0,990 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{700}{0,733 \cdot \frac{2820}{1,0}} + 0,969 \cdot \frac{180}{0,791 \cdot \frac{398,8}{1,0}} = 0,892 \leq 1$$

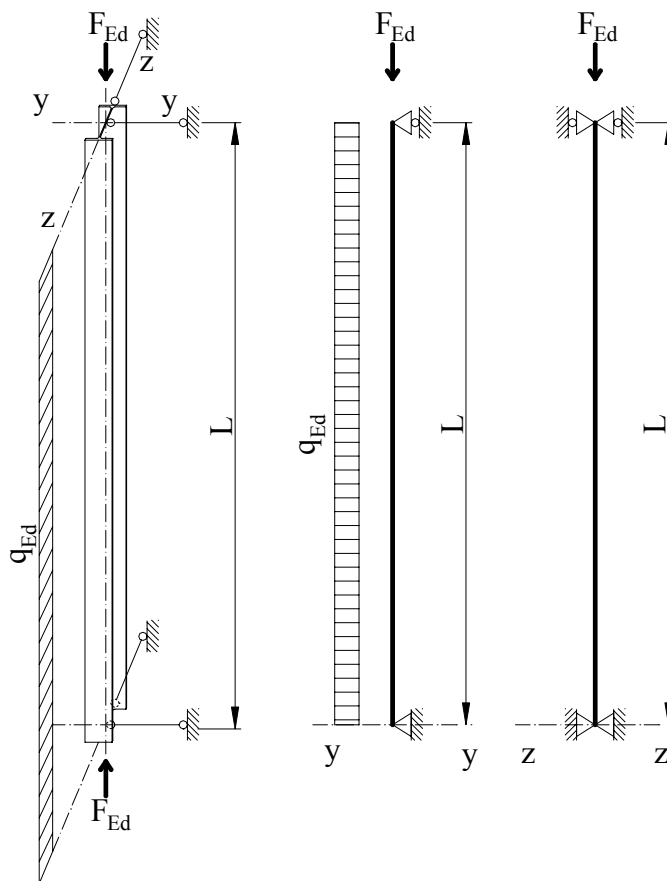
→ Megfelel.

### 3.16 Példa

Ellenőrizzük a 3.36. ábrán látható falvázartót kihajlásra, kifordulásra és azok interakciójára! A tartó szelvénye megegyezik a 3.7. példában szerepelt hengerelt szelvényvel. A tartóra az ábra szerinti  $q_{Ed} = 6 \text{ kN/m}$  megoszló és normálirányú  $F_{Ed} = 450 \text{ kN}$  koncentrált erő hat.

Alapanyag: S275       $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$        $\varepsilon = 0,924$        $\lambda_1 = 86,82$

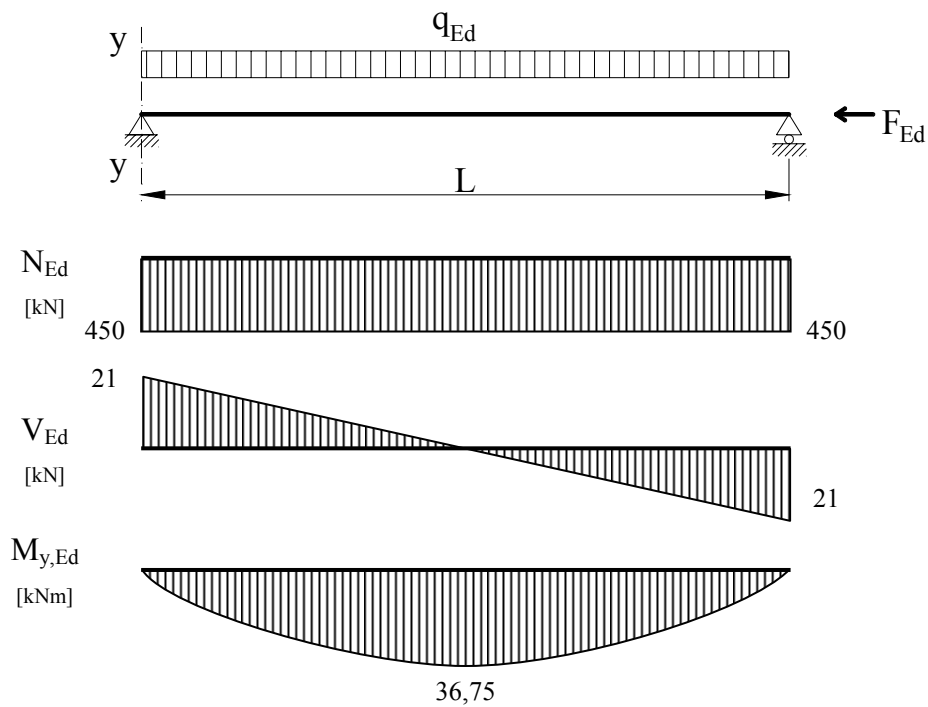
**A tartó geometriája és mértékadó igénybevételei:**



3.36. ábra: A tartó geometriája, megtámasztási és terhelési viszonyai.

A tartó teljes hossza  $L = 7 \text{ m}$ , oldalirányú megtámasztás csak a tartóvégeken van.

Az igénybevételek eloszlását mutatja a 3.37. ábra.



3.37. ábra: Igénybevételek eloszlása.

A mértékadó igénybevételek:

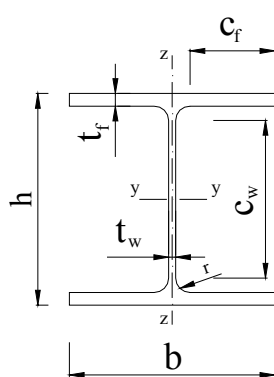
- maximális normálerő és nyomaték, egyidejű nyíróerő:

$$N_{Ed} = 450 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm}; \quad V_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

- maximális nyíróerő, egyidejű normálerő és nyomaték:

$$V_{Ed} = 21 \text{ kN}; \quad N_{Ed} = 450 \text{ kN}; \quad M_{y,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

**Keresztmetszeti adatok: HEB 200**



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

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

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

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

$$r = 18 \text{ mm}$$

$$A = 78,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{vz} = 24,83 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5696 \text{ cm}^4$$

$$I_z = 2003 \text{ cm}^4$$

$$I_w = 171130 \text{ cm}^6$$

$$W_y = 569,6 \text{ cm}^3$$

$$W_z = 200,3 \text{ cm}^3$$

$$I_t = 59,28 \text{ cm}^4$$

$$i_y = 8,54 \text{ cm}$$

$$i_z = 5,07 \text{ cm}$$

$$W_{pl,y} = 643 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 305,8 \text{ cm}^3$$

3.38. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályozása:**

Lásd 3.7. példa: a keresztmetszet 1. osztályba sorolandó mind tiszta nyomásra, mind tiszta hajlításra.

**A keresztmetszeti ellenállások ellenőrzése:**

A keresztmetszet ellenállásai a 3.7. példában találhatóak.

Ellenőrzés nyomásra:

$$N_{c,Rd} = N_{pl,Rd} = 2147 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Ellenőrzés hajlításra (középső keresztmetszetben):

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = 176,7 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Ellenőrzés nyírásra (támasznál):

Nyírási horpadással nem kell számolni, így

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = 394,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 21 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Ellenőrzés nyomás, hajlítás és nyírás interakciójára:

A tartó minden keresztmetszetére  $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} < 0,5$  teljesül, tehát nyíróerő miatti redukciónak sehol

sem kell alkalmazni. A továbbiakban elegendő a középső – mértékadó – keresztmetszetet vizsgálni hajlítás és nyomás interakciójára:

$$0,25 \cdot N_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 2147 = 537 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

$$\frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \cdot 17 \cdot 0,9 \cdot 27,5}{1,0} = 210,4 \text{ kN} < N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{450}{2147} = 0,21$$

$$a = \frac{A - 2 \cdot b \cdot t_f}{A} = \frac{78,1 - 2 \cdot 20 \cdot 1,5}{78,1} = 0,232 < 0,5$$

$$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \frac{1-n}{1-0,5a} = 176,7 \frac{1-0,21}{1-0,5 \cdot 0,232} = 157,9 \text{ kNm}$$

$$M_{N,Rd} = 157,9 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### A tartó kihajlási vizsgálata:

A kihajlási hosszak a két irányban:

$$l_y = l_z = L = 700 \text{ cm}$$

A rúdkarcsúságok és a viszonyított rúdkarcsúságok:

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{700}{8,54} = 81,97 \quad \bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{81,97}{86,82} = 0,944$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{700}{5,07} = 138,07 \quad \bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{138,07}{86,82} = 1,59$$

Hengerelt I-szelvénynél  $h/b_f \leq 1,2$  és  $t_f \leq 100 \text{ mm}$  esetén:

- az y-y tengely körüli kihajlás esetén a **b** kihajlási görbét,
- míg a z-z tengely körüli kihajlás esetén a **c** kihajlási görbét kell használni.

Ez alapján táblázatból a kihajlási csökkentő tényezők:

$$\chi_y = 0,633 \text{ és } \chi_z = 0,287.$$

Látható, hogy a z tengely körüli kihajlás a mértékadó; így a nyomott rúd kihajlási ellenállása:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,287 \cdot \frac{78,1 \cdot 27,5}{1,0} = 616,4 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### A tartó kifordulási vizsgálata:

Az oldalirányú megtámasztások távolsága  $l = L = 700 \text{ cm}$ .

A kifordulási kritikus nyomaték:

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{(k \cdot l)^2} \left[ \sqrt{\left( \frac{k}{k_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{(k \cdot l)^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j)^2} - (C_2 \cdot z_g - C_3 \cdot z_j) \right]$$

ahol:

$$k = k_w = 1,0 \quad (\text{mindkét vég szabadon elfordul és torzul})$$

$$z_g = h/2 = +10 \text{ cm} \quad (\text{a teher a felső övön hat})$$

$$z_j = 0 \quad (\text{kétszeresen szimmetrikus szelvény})$$

$$E = 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad G = 8077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$C_1 = 1,132; C_2 = 0,459; C_3 = 0,525 \quad (\text{lásd [4] 5.14. táblázat})$$

Behelyettesítve:

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2003}{700^2} \left[ \sqrt{\frac{171130}{2003} + \frac{700^2 \cdot 8077 \cdot 59,28}{\pi^2 \cdot 21000 \cdot 2003} + (0,459 \cdot 10)^2} - 0,459 \cdot 10 \right] =$$

$$= 20453 \text{ kNcm} = 204,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{cr}} = \frac{36,75}{204,5} = 0,18 > 0,04,$$

és a kifordulási viszonyított karcsúság:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{643 \cdot 27,5}{20450}} = 0,930 > 0,2, \text{ tehát vizsgálni kell a kifordulást.}$$

Hengerelt I-szelvény és  $h/b_f = 20/20 = 1,0 \leq 2$  esetén az **a** görbét kell alkalmazni.

Táblázatból a csökkentő tényező:

$$\chi_{LT} = 0,714$$

A tartó kifordulási ellenállása:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M1}} = 0,714 \cdot \frac{643 \cdot 27,5}{1,0} = 126,3 \text{ kNm} > M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A kihasználtság:

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{36,75}{126,3} = 0,29$$

## A kihajlás és kifordulás interakciója:

A szelvény ellenállásainak karakterisztikus értéke 1. keresztmetszeti osztály esetén:

$$N_{Rk} = f_y A = 27,5 \cdot 78,1 = 2148 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = f_y W_{pl,y} = 27,5 \cdot 643 = 176,8 \text{ kNm}$$

1-3. keresztmetszeti osztály esetén a nyomatóknövekmény zérus:

$$\Delta M_{y,Ed} = 0$$

Az interakciós tényezők meghatározására alkalmazzuk az [1] „B” függelékében megadott eljárást! Közvetlenül terhelt tartó esetében a tényezők a következőképpen alakulnak (B függelék B3 táblázat, vagy lásd [4] 5.4.1 pontban):

$$M_h = 0; \quad M_s = M_{y,Ed} = 36,75 \text{ kNm} \text{ (a vizsgált szakasz végén és közepén a nyomatók)}$$

$$\psi = 1 \text{ (a vizsgált szakasz két végén a nyomatók értéke megegyezik = 0)}$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{36,75} = 0$$

$$C_{my} = C_{mLt} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 0,95 > 0,4 \text{ (megoszló teher és a fenti tényezők esetén)}$$

$$k_{yy} = C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \left( 1 + (0,944 - 0,2) \frac{450}{0,633 \cdot 2148 / 1,0} \right) = 1,184 \leq 0,95 \left( 1 + 0,8 \frac{450}{0,633 \cdot 2148 / 1,0} \right) = 1,202$$

$$k_{yy} = \min(1,184; 1,202) = 1,184$$

Ha  $\bar{\lambda}_z \geq 0,4$ , akkor:

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLt} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right] \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLt} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$$

$$k_{zy} = \left[ 1 - \frac{0,1 \cdot 1,59}{(0,95 - 0,25)} \frac{450}{0,287 \cdot 2148 / 1,0} \right] = 0,834 \geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \frac{450}{0,287 \cdot 2148 / 1,0} \right] = 0,896$$

$$k_{zy} = \max(0,834; 0,896) = 0,896$$

Az interakciós ellenőrzések pedig:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{450}{0,633 \cdot \frac{2148}{1,0}} + 1,184 \cdot \frac{36,75}{0,714 \cdot \frac{176,7}{1,0}} = 0,676 \leq 1$$

→ Megfelel.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{450}{0,287 \cdot \frac{2148}{1,0}} + 0,896 \cdot \frac{36,75}{0,714 \cdot \frac{176,7}{1,0}} = 0,991 \leq 1$$

## **4. Szerkezeti kapcsolatok méretezése**

### **4.1. Kapcsolatok kialakítása, csoportosítása és méretezési elvei**

Az EC3-1-8 kötete [3] foglalkozik a szerkezeti csomópontok méretezésével. A csomópontok viselkedés szerinti kategorizálását, ennek visszahatását a szerkezeti analízisre már a 2. fejezetben említettük, kialakításuk és méretezésük részleteivel kapcsolatban lásd [5]. A következőkben először egyszerű kapcsolatok méretezési példáit mutatjuk be, majd egyszerűbb csomópontok mintapéldái következnek.

Szükséges ismeretek:

- Szerkezeti csomópontok modellezése és osztályozása (lásd [4] 4.6 pontja);
- Kapcsolatok méretezésének alapelvei (lásd [4] 6.1 pontja).

### **4.2. Csavarozott kapcsolatok ellenállása**

Szükséges ismeretek:

- Csavarozott kötések típus szerinti osztályozása (lásd [4] 6.2.1 pontja);
- Csavarméretek, furatok (lásd [4] 6.2.2 pontja);
- Csavarkép szerkesztési szabályai (lásd [4] 6.2.3 pontja);
- Csavar ellenállásának számítása, típusonként (lásd [4] 6.2.4 pontja).

#### 4.2.1. Húzott/nyomott elemek csavarozott kapcsolatai

Példák: átlapolt és hevederezett egyszer-, illetve kétszernyírt kapcsolatok, rúdszelvény bekötése csomólemezhöz, I-szelvény illesztése.

#### 4.1 Példa

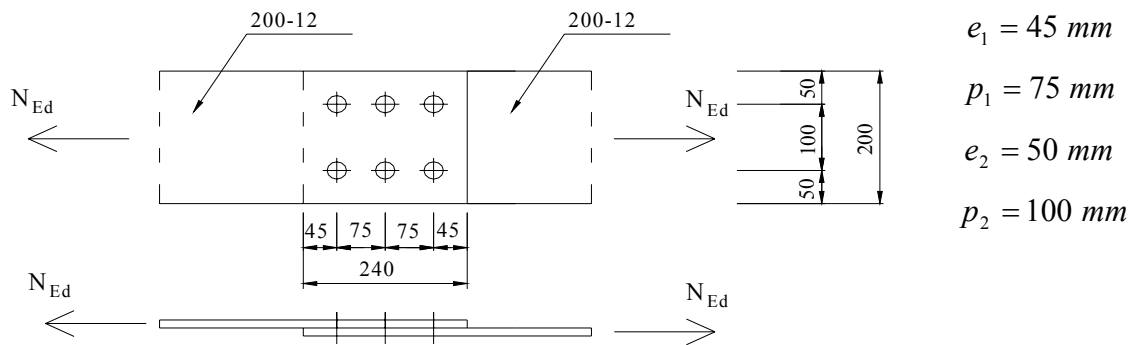
Ellenőrizzük a 4.1. ábrán látható 200-12 méretű központosan húzott laposacél rúd egyszer nyírt csavarozott illesztését  $N_{Ed} = 450 \text{ kN}$  erőre!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 8.8  $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$

$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$   $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

#### Csavar kiosztás:



4.1. ábra: A húzott rúd illesztése.

#### A húzott rúd ellenállása:

feltétel:  $N_{Ed} \leq N_{t,Rd}$

$N_{t,Rd}$  számítása a 3.2.1 Központosan húzott keresztmetszet 3.1. példa szerint:

$N_{t,Rd} = 460,34 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN} \rightarrow$  Megfelel.

#### A csavarok ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át ( $\alpha_v = 0,6$ ), a nyírási ellenállás nyírt felületenként:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 173,72 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar: a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz

Megjegyzés: ellenőrzés  $k_1$ -re:

$$\text{ha } e_2 \geq 1,5d_0 \text{ és } p_2 \geq 3,0d_0, \text{ akkor } k_1 = 2,5$$

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,58$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,71 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,71$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,58$$

- erő irányában közbenső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 0,71$$

A palástnyomási ellenállás:

- erő irányában szélső csavar, erő irányára merőlegesen szélső csavar:



$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,2}{1,25} = 120,27 \text{ kN}$$

- erő irányában közbelső csavar, erő irányára merőlegesen szélső csavar:

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 1,2}{1,25} = 147,22 \text{ kN}$$

Mind a hat csavar esetén a palástnyomási ellenállás a mértékadó.

### A kapcsolat ellenállása:

Mivel az  $F_{v,Rd}$  nyírási ellenállás minden esetben nagyobb a csavar  $F_{b,Rd,i}$  palástnyomási ellenállásánál, így a kapcsolat ellenállását a palástnyomási ellenállások összegzéséből kapjuk. A palástnyomási ellenállás szempontjából 4 db szélső és 2 db közbelső csavart tartalmaz a kapcsolat, melyek összegezve.

$$\Sigma F_{Rd} = \Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} + 2 \cdot F_{b,Rd,2} = 4 \cdot 120,27 + 2 \cdot 147,22 = 775,52 \text{ kN}$$

### Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 450 \text{ kN} < \Sigma F_{b,Rd} = 775,52 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

### Megjegyzés:

- A kapcsolat 4 csavarral is megfelelne:

$$\Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} = 481,08 \text{ kN} > N_{Ed} = 450 \text{ kN}$$

- A fentebb leírt kapcsolat ellenőrzése során a csavarok ellenállásánál a palástnyomási ellenállás volt a mértékadó. Előfordulhat, hogy egy kapcsolaton belül bizonyos csavarokra a palástnyomási, másokra a nyírási ellenállás a mértékadó (lásd 4.2. példa).
- A biztonság javára tett közelítésként a kapcsolat ellenállása a csavar legkisebb palástnyomási ellenállásából is számítható.

## 4.2 Példa

Ellenőrizzünk a 4.2. ábrán látható, 220-16 méretű húzott laposacél rúd átlapolts csavarozott kapcsolatát! A kapcsolatot  $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$  húzóerő terheli. Figyeljük meg a palástnyomási ellenállás számításának menetét!

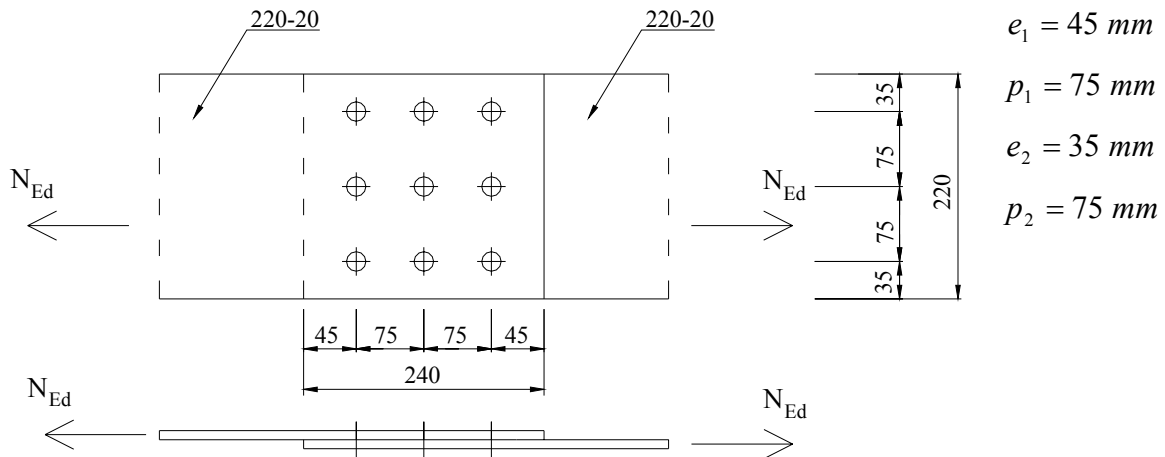
$$\text{Alapanyag: S235} \quad f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Csavarok: M24, 8.8} \rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$$

Tételezzük fel, hogy a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át!

### Csavarkiosztás:



4.2. ábra: A kapcsolat kialakítása.

### A húzott rúd ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

ahol:

- $N_{pl,Rd}$  : a teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása,
- $N_{u,Rd}$  : a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása,

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{22 \cdot 2,0 \cdot 23,5}{1,0} = 1034,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(22 - 3 \cdot 2,6) \cdot 2,0 \cdot 36}{1,25} = 736,13 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 736,13 \text{ kN} > N_{Ed} = 700 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### A csavarok ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át ( $\alpha_v = 0,6$ ), a nyírási ellenállás nyírt felületenként:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 173,72 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

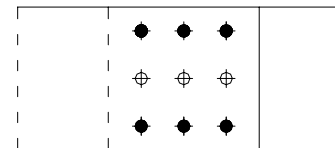
$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{26} - 1,7 = 2,07 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,07$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{75}{26} - 1,7 = 2,34 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,34$$

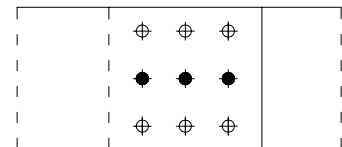
- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,07$$



- erő irányára merőlegesen közbenső csavar:  $k_1$  értéke csak a  $p_2$  távolságtól függ, tehát:

$$k_1 = k_{1,p} = 2,34$$



$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

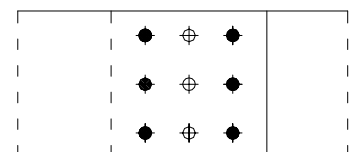
$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,58$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,71 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,71$$

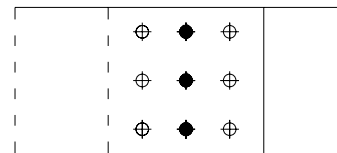
- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,58$$



- erő irányában közbelső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 0,71$$

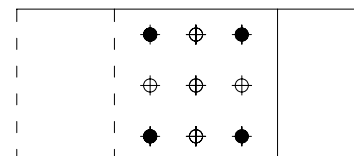


A palástnyomási ellenállás:

A csavarok elhelyezkedéséből adódóan négyféle palástnyomási ellenállás számítható:

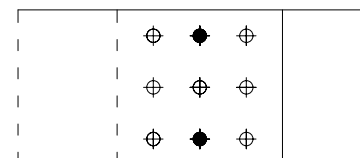
- 1. eset:  $k_1 = 2,07$  és  $\alpha_b = 0,58$  (4 db csavar)

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,07 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 165,97 \text{ kN}$$



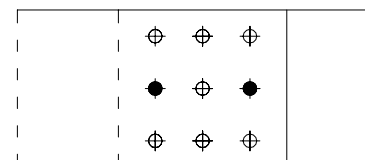
- 2. eset:  $k_1 = 2,07$  és  $\alpha_b = 0,71$  (2 db csavar)

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,07 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 203,17 \text{ kN}$$



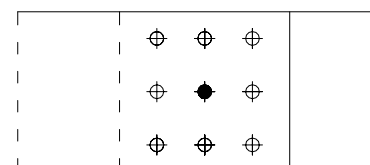
- 3. eset:  $k_1 = 2,34$  és  $\alpha_b = 0,58$  (2 db csavar)

$$F_{b,Rd,3} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,34 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 187,62 \text{ kN}$$



- 4. eset:  $k_1 = 2,34$  és  $\alpha_b = 0,71$  (1 db csavar)

$$F_{b,Rd,4} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,34 \cdot 0,71 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 229,67 \text{ kN}$$



### A kapcsolat ellenállása:

Mivel az  $F_{b,Rd,i}$  palástnyomási ellenállás nem minden esetben nagyobb a csavar  $F_{v,Rd}$  nyírási ellenállásánál, a kapcsolat ellenállását a fenti ellenállások közül a legkisebből kell számítani:

$$\Sigma F_{Rd} = 9 \cdot F_{b,Rd,1} = 9 \cdot 165,97 = 1493,73 \text{ kN}$$

### Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 700 \text{ kN} < \Sigma F_{Rd} = 1493,73 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

### 4.3 Példa

Tervezzük meg egy 200-12 méretű húzott laposacél rúd egyszer nyírt csavarozott átlapolt illesztését! Alkalmazzunk M20, 8.8-as csavarokat az egyenteherbírású kapcsolat kialakítására (4.3. ábra)!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M20, 8.8  $\rightarrow d_0 = 22 \text{ mm}$

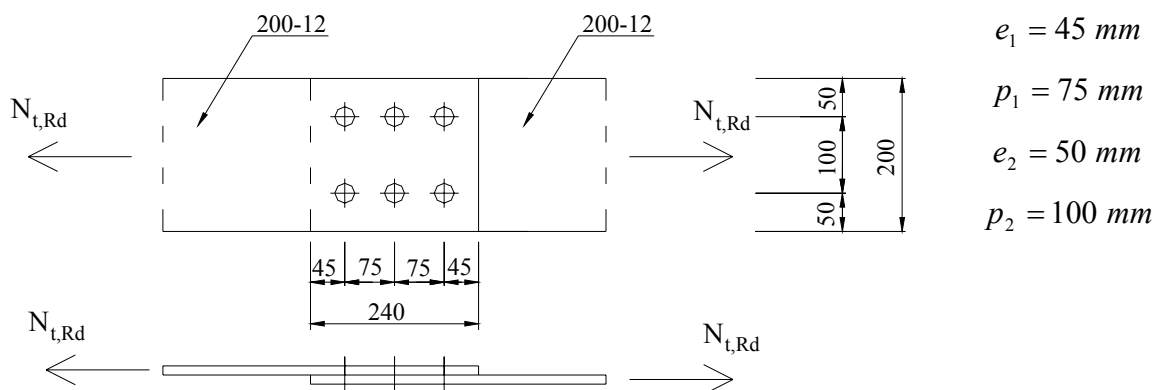
$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$   $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

A kapcsolatot egyenteherbírásúnak nevezzük, ha a kapcsoló elemek teherbírása legalább akkora, mint a húzott rúd teherbírása.

Tételezzük fel, hogy a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át!

#### A csavarkiosztás felvétele:

A szerkesztési szabályoknak megfelelően egy keresztmetszetben 2 vagy 3 csavar helyezhető el. Alkalmazzunk 2 csavart egy keresztmetszetben.



4.3. ábra: A kapcsolat kialakítása.

#### A keresztmetszet húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

ahol:

- $N_{pl,Rd}$  : a teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása,
- $N_{u,Rd}$  : a csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása.

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{20 \cdot 1,2 \cdot 23,5}{1,0} = 564,0 \text{ kN}$$

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(20 - 2 \cdot 2,2) \cdot 1,2 \cdot 36}{1,25} = 485,22 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 485,22 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd}$  erő felvételére kell meghatározni a szükséges csavarszámot.

### A csavarok ellenállása:

A nyírési ellenállás:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,0^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 120,64 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{22} - 1,7 = 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{22} - 1,7 = 4,66 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar: a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz.

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,68 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,68$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,89 \right) \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,89$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,68$$

- erő irányában közbenső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 0,89$$

A palástnyomási ellenállás:

- erő irányában szélső csavar, erő irányára merőlegesen szélső csavar:

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 36 \cdot 2,0 \cdot 1,2}{1,25} = 117,50 \text{ kN}$$

- erő irányában közbenső csavar, erő irányára merőlegesen szélső csavar:

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,89 \cdot 36 \cdot 2,0 \cdot 1,2}{1,25} = 153,79 \text{ kN}$$

#### A szükséges és alkalmazott csavarszám:

Mivel a kisebb palástnyomási ellenállás kisebb, mint a csavar nyírási ellenállása, a szükséges csavarszámot a kisebb palástnyomási ellenállás felhasználásával kell számítani.

A szükséges csavarszám:

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{485,22}{117,50} = 4,13 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám:

$$n_{alk} = 6 \text{ db} \rightarrow 3 \times 2 \text{ db}$$

#### 4.4 Példa

Tervezzük meg egy 320-20 méretű húzott laposacél rúd kétszer nyírt csavarozott illesztését! Alkalmazzunk M24, 5.6-os csavarokat az egyenteherbírású kapcsolat kialakítására (4.4. ábra)!

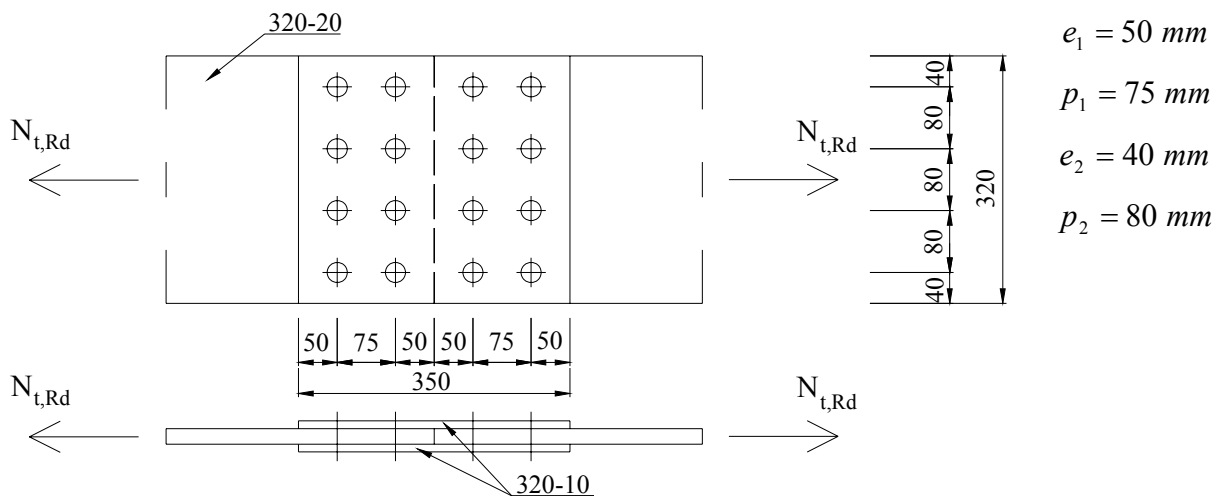
$$\text{Alapanyag: S275} \quad f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{Csavarok: M24, 5.6} \rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$$

$$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

### A csavarkiosztás felvétele:

A szerkesztési szabályokat figyelembe véve egy keresztmetszetben 4 csavart helyezünk el.



4.4. ábra: A kapcsolat kialakítása.

### A húzott rúd és a hevederek húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

A teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{32 \cdot 2,0 \cdot 27,5}{1,0} = 1760,0 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(32 - 4 \cdot 2,6) \cdot 2,0 \cdot 43}{1,25} = 1337,47 \text{ kN}$$

$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1337,47 \text{ kN}$  erő felvételére kell meghatározni a szükséges csavarszámot.

Mivel a hevederek anyagminősége és együttes hasznos keresztmetszeti területe megegyezik a kapcsolt lemezekével, nem kell külön vizsgálnunk az ellenállásukat.

### A csavarok ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Kétszer nyírt csavar nyírási ellenállása, ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 217,15 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:



$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{26} - 1,7 = 2,61 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{80}{26} - 1,7 = 2,61 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar:  $k_1$  értéke csak a  $p_2$  távolságtól függ, tehát:

$$k_1 = k_{1,p} = 2,5$$

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 26} = 0,64 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{43} = 1,16 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,64$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,71 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{43} = 1,16 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,71$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,64$$

- erő irányában közbenső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 0,71 \text{ (feltételezzük, hogy lesz ilyen)}$$

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,64 \cdot 43 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 264,19 \text{ kN}$$

Tehát a nyírási ellenállás a mértékadó.

#### A szükséges és alkalmazott csavarszám:

A szükséges csavarszám:

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{1337,47}{217,15} = 6,16 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám:

$$n_{alk} = 8 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 2 \times 4 \text{ db}$$

#### Alternatív csavarminőség alkalmazása (8.8. minőségű csavarok): $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$

A nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot \frac{2,4^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 347,44 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$F_{b,Rd}$  értéke nem változik, és ebben az esetben ez lesz a mértékadó.

A szükséges csavarszám

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{1337,47}{264,19} = 5,06 \text{ db}$$

Az alkalmazott csavarszám

$$n_{alk} = 8 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 2 \times 4 \text{ db, azaz az alkalmazott csavarok száma nem csökkenthető.}$$

### 4.5 Példa

Tervezzük meg a két szögacélból álló húzott rúd bekötését csavarozott kapcsolattal (4.5. ábra)!

A rúd szelvénye: 2x(70.70.7)  $A = 9,4 \text{ cm}^2$  (1 db szögacél)

A csomólemez vastagsága: 15 mm

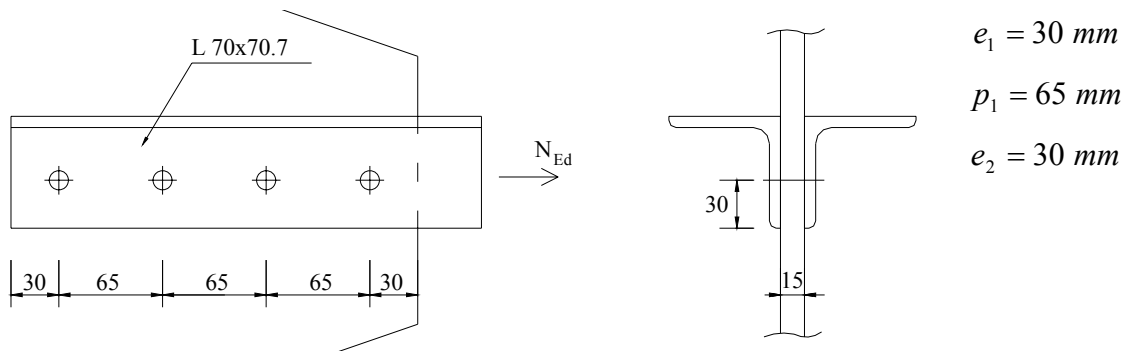
Alapanyag: S275  $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M16, 8.8  $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

$$f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$$

Feltételezzük, hogy a nyírt felület a csavar menetes részén halad át.

## Csavarkiosztás:



4.5. ábra: A kapcsolat kialakítása.

## A szögacélok húzási ellenállása, ha 2 csavart feltételezzük:

A  $\beta$  tényező meghatározása (lásd szabvány [3] 3.10.3 pontja és [4] 5.1.2 pont):

$$\left. \begin{array}{l} 2,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,4 \\ 5 \cdot d_0 = 90 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,7 \end{array} \right\} \text{ Ebből lineáris interpolációval a 65 mm-es csavartávolsághoz tartozó érték } \beta = 0,533$$

A teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot 2 = \frac{9,4 \cdot 27,5}{1,0} \cdot 2 = 517,0 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = 0,533 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} \cdot 2 = 298,50 \text{ kN}$$

A két szögacélból álló rúd húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 298,50 \text{ kN}$$

## A csavarok ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Ha a nyírt felület a csavar menetes részén halad át, akkor  $A_s$  feszültség-keresztmetszettel számolunk és  $\alpha_v$  értéke a következők szerint alakul:

$$\alpha_v = 0,6 \quad - 4.6; 5.6 \text{ és } 8.8 \text{ csavar esetén}$$

$$\alpha_v = 0,5 \quad - 10.9 \text{ csavar esetén}$$

$$A_s = 157 \text{ mm}^2 \quad (\text{M16 csavar})$$

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 1,57}{1,25} = 120,58 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolság nincs

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = k_{1,e} = 2,5$$

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0,56 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{43} = 1,86 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,56$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{65}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,95 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{43} = 1,86 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,95$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,56$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A minimális palástnyomási ellenállás számított értéke:

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,7}{1,25} = 107,88 \text{ kN} - \text{ ez a mértékadó.}$$

**A szükséges csavarszám:**

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{298,50}{107,88} = 2,77 \text{ db} \rightarrow \text{több csavart kell alkalmazni.}$$

**A szögacélok húzási ellenállása három vagy több csavar feltételezésével:**

$\beta$  tényező:

$$2,5 \cdot d_0 = 45 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,5$$

$$5 \cdot d_0 = 90 \text{ mm} \rightarrow \beta = 0,7$$

Ebből lineáris interpolációval a 65 mm-es csavartávolsághoz tartozó érték  $\beta = 0,588$ .

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

$$N'_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = 0,588 \cdot \frac{(9,4 - 1,8 \cdot 0,7) \cdot 43}{1,25} \cdot 2 = 329,3 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N'_{u,Rd}) = 329,3 \text{ kN}$$

A csavar nyírási ellenállását már kiszámítottuk.

A palástnyomási ellenállás számítása az erő irányában közbelső csavar ellenállásával bővül:

- erő irányában közbelső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 0,95$$

A palástnyomási ellenállás kettőnél több csavar esetén:

$$F_{b,Rd,1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,56 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,7}{1,25} = 107,88 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd,2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,95 \cdot 43 \cdot 1,6 \cdot 2 \cdot 0,7}{1,25} = 183,01 \text{ kN}$$

#### **A szükséges és alkalmazott csavarszám:**

Mivel van olyan csavar (a közbelső), amelynek nyírási ellenállása kisebb a palástnyomási ellenállásánál, ezért a legkisebb ellenállási érték a mértékadó.

A szükséges csavarszám:

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd,1}} = \frac{329,3}{107,88} = 3,1 \text{ db}$$

Alkalmazott csavarszám:

$$n_{alk} = 4 \text{ db}$$

#### **4.6 Példa**

Tervezzük meg egy 200-20 méretű húzott laposacél rúd átlapolt illesztését C kategóriájú feszített csavarozott kapcsolattal (4.6. ábra)! Vizsgáljunk kétféle felület-előkészítést:

a) "A" felületi osztály (szemcsefűjt festetlen felület)  $\rightarrow \mu = 0,5$

b) "D" felületi osztály (kezeletlen felület)  $\rightarrow \mu = 0,2$

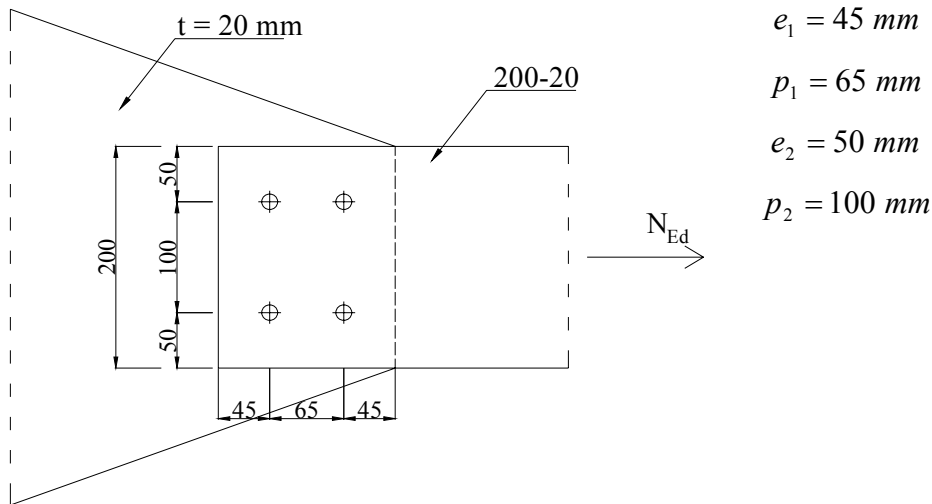
Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 10.9  $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$

$$A_s = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$f_{yb} = 90,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 100,0 \text{ kN/cm}^2$$

#### **Csavarkiosztás:**



4.6. ábra: A kapcsolat kialakítása.

### A húzott rúd ellenállása:

Feszített csavaros kapcsolatok esetén az alapanyag ellenállása:

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

$$N_{net,Rd} = \frac{A_{net} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(20 - 2 \cdot 2,6) \cdot 2 \cdot 23,5}{1,0} = 695,6 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{net,Rd} = 695,6 \text{ kN}$$

### A csavarok ellenállása:

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{100}{26} - 1,7 = 3,68 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 26} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,58$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{65}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,58 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,58$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,58$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,58 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,0}{1,25} = 200,45 \text{ kN}$$

Egy csavar megcsúszási ellenállása:

- egy csavar feszítőereje

$$F_{p,C} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s = 0,7 \cdot 100 \cdot 3,53 = 247,1 \text{ kN}$$

- a megcsúszási ellenállások a két esetre

$$\text{a) } F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,5}{1,1} \cdot 247,1 = 112,32 \text{ kN}$$

$$\text{b) } F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,C} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 0,2}{1,1} \cdot 247,1 = 44,93 \text{ kN}$$

A csavarok ellenállásai közül a csavar megcsúszási ellenállása a mértékadó.

**Szükséges és alkalmazott csavarszámok:**

$$\text{a) } n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{s,Rd}} = \frac{695,6}{112,32} = 6,2 \text{ db} \quad n_{alk} = 8 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 4 \times 2 \text{ db}$$

A 4.6. ábrán feltételezett 4 db csavar kevés, 8 db csavart alkalmazunk; 4 sorban 2-2 db csavart. Ellenőrzés nem szükséges, ha a szerkesztési szabályokat betartjuk.

$$b) \quad n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{s,Rd}} = \frac{695,6}{44,93} = 15,5 \text{ db} \quad n_{alk} = 16 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 8 \times 2 \text{ db}$$

Ebben az esetben a 4.6. ábrán feltételezett 4 db csavar kevés, a D felületi osztály miatt 16 db csavarra lenne szükség, amely 8 sorban helyezhető el. Azonban a szerkesztési szabályok szerint max. 6 sorban lehet a csavarokat elhelyezni, tehát a kapcsolat kezeletlen felülettel nem alakítható ki.

#### 4.7 Példa

Tervezzük meg egy HEB 400-as szelvényű húzott rúd 4.7. ábra szerinti csavarozott illesztését központos húzásra!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M27, 5.6  $\rightarrow d_o = 30 \text{ mm}$  az övekben

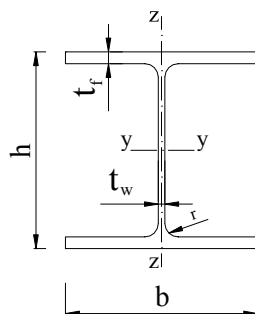
M16, 5.6  $\rightarrow d_o = 18 \text{ mm}$  a gerincben

$$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

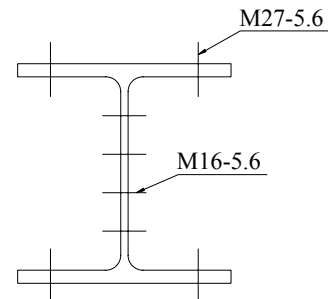
Húzóerő:  $F_{Ek,g} = 900 \text{ kN}$   $\gamma_g = 1,35$  (állandó teher)

$F_{Ek,q} = 1600 \text{ kN}$   $\gamma_q = 1,5$  (hasznos teher)

**Keresztmetszeti adatok:** HEB 400 (táblázatból)



$$\begin{aligned} b &= 300 \text{ mm} \\ t_f &= 24,0 \text{ mm} \\ h &= 400 \text{ mm} \\ t_w &= 13,5 \text{ mm} \\ A &= 198 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



4.7. ábra: Keresztmetszeti jellemzők és a kapcsolat geometriája.

**A húzóerő:**

$$F_{Ed} = F_{Ek,g} \cdot \gamma_g + F_{Ek,q} \cdot \gamma_q = 900 \cdot 1,35 + 1600 \cdot 1,5 = 3615 \text{ kN}$$

A húzóerő szétosztása az övekre és a gerincre a felületek arányában.

$$A_{öv} = 2,4 \cdot 30 = 72 \text{ cm}^2$$

$$A_{gerinc} = A - 2 \cdot A_{öv} = 198 - 2 \cdot 72 = 54 \text{ cm}^2$$

Egy övre jutó húzóerő:

$$F_{Ed,f} = \frac{A_{öv} \cdot F_{Ed}}{A} = \frac{72 \cdot 3615}{198} = 1314,5 \text{ kN}$$

A gerincre jutó húzóerő:



$$F_{Ed,w} = \frac{A_{gerinc} \cdot F_{Ed}}{A} = \frac{54 \cdot 3615}{198} = 985,9 \text{ kN}$$

**A szelvény húzási ellenállásának értéke:**

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

A teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{198 \cdot 23,5}{1,0} = 4653 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

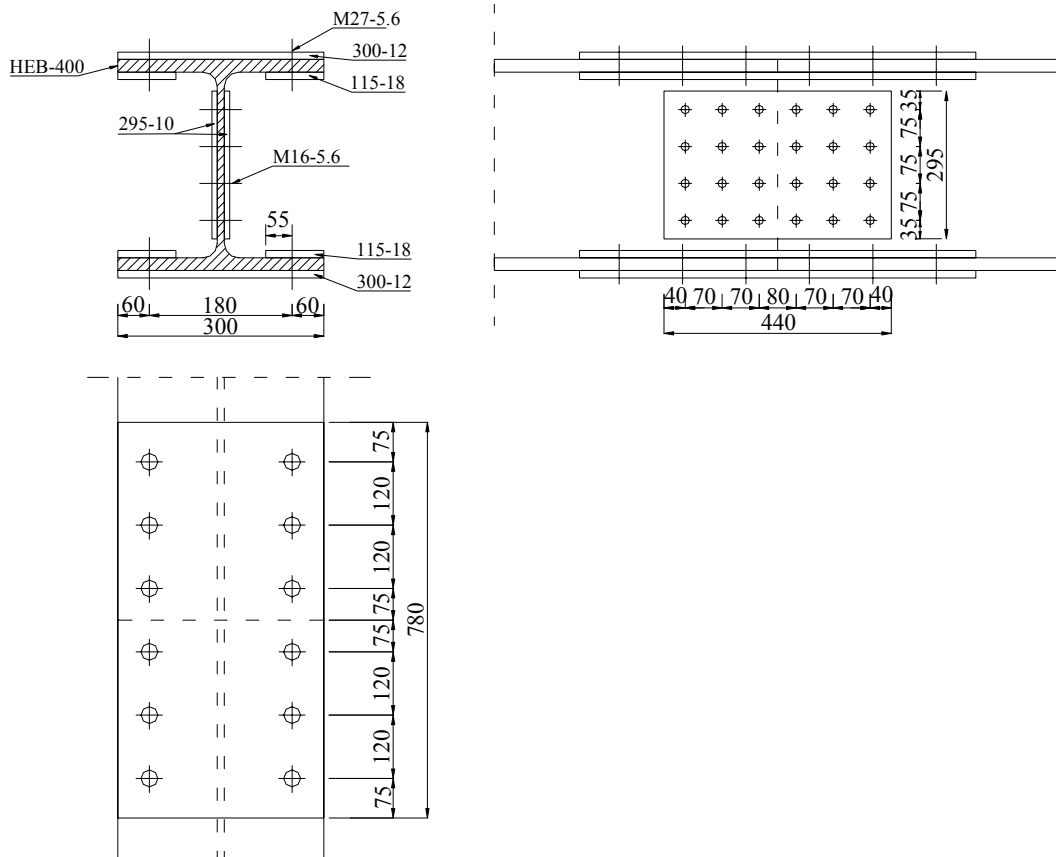
$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(198 - 4 \cdot 3,0 \cdot 2,4 - 4 \cdot 1,8 \cdot 1,35) \cdot 36}{1,25} = 4133,72 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 4133,72 \text{ kN}$$

**A szelvény ellenőrzése húzásra:**

$$N_{t,Rd} = 4133,72 \text{ kN} > F_{Ed} = 3615 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

**A kapcsolat kialakítása:**



4.8. ábra: A kapcsolat kialakítása.

## A csavarok ellenállása:

Nyírási ellenállás (menet nélküli részen):

$$F_{v,Rd}^{16} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 96,5 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd}^{27} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{2,7^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 274,83 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

- M16-os csavarok:

$$e_1 = 40 \text{ mm} \quad e_2 = 35 \text{ mm}$$

$$p_1 = 70 \text{ mm} \quad p_2 = 75 \text{ mm}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7 = 3,74 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{75}{18} - 1,7 = 4,13 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar:  $k_1$  értéke csak a  $p_2$  távolságtól függ, tehát:

$$k_1 = k_{1,p} = 2,5$$

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,74$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \left( \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \right) \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 1,0$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,74$$

- erő irányában közbenső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 1,0$$

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd}^{16} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,35}{1,25} = 115,08 \text{ kN}$$

- M27-es csavarok:

$$e_1 = 75 \text{ mm} \quad e_2 = 55 \text{ mm}$$

$$p_1 = 120 \text{ mm} \quad p_2 = 180 \text{ mm}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} \left( 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{55}{30} - 1,7 = 3,43 \right) \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} \left( 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{180}{30} - 1,7 = 6,70 \right) \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 30} = 0,83 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,83$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{120}{3 \cdot 30} - \frac{1}{4} = 1,08 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 1,08$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,83$$

- erő irányában közbenső csavar:  $\alpha_b$  értéke csak a  $p_1$  távolságtól függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,p} = 1,08$$

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd}^{30} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 36 \cdot 2,7 \cdot 2,4}{1,25} = 387,24 \text{ kN}$$

A csavarok ellenállásai közül mindkét csavar esetén a nyírási ellenállás a mértékadó.

**A szükséges és alkalmazott csavarszám:**

Egy övbe:

$$n_{sz,\text{öv}} = \frac{F_{Ed,f}}{F_{v,Rd}^{27}} = \frac{1314,5}{274,83} = 4,78 \text{ db} \quad n_{alk} = 6 \text{ db} \rightarrow 3 \times 2 \text{ db}$$

A gerincbe:

$$n_{sz,g} = \frac{F_{Ed,w}}{F_{v,Rd}^{16}} = \frac{985,9}{96,5} = 10,2 \text{ db} \quad n_{alk} = 12 \text{ db} \rightarrow 3 \times 4 \text{ db}$$

**A hevederek húzási ellenállása és ellenőrzése:**

$$N_{t,Rd} = \min \left( \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right)$$

Öv:

$$A_{net,hev} = (30 - 3,0 \cdot 2) \cdot 1,2 + 2 \cdot (11,5 - 3,0) \cdot 1,8 = 59,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,\ddot{o}v} = (30 - 3,0 \cdot 2) \cdot 2,4 = 57,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,hev} = 59,4 \text{ cm}^2 > A_{net,\ddot{o}v} = 57,6 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^f = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(30 \cdot 1,2 + 2 \cdot 11,5 \cdot 1,8) \cdot 23,5}{1,0} = 1818,9 \text{ kN}$$

A heveder csavarlyukakkal gyengített szelvényének törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd}^f = 0,9 \cdot \frac{A_{net,hev} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 0,9 \cdot \frac{59,4 \cdot 36}{1,25} = 1539,65 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^f = N_{u,Rd}^f = 1539,65 \text{ kN} > F_{Ed,f} = 1314,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

Gerinc:

$$A_{net,hev} = (29,5 - 4 \cdot 1,8) \cdot 1,0 \cdot 2 = 44,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,g} = A_{gerinc} - 4 \cdot 1,35 \cdot 1,8 = 44,28 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,hev} = 44,6 \text{ cm}^2 > A_{net,g} = 44,28 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd}^w = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{29,5 \cdot 1,0 \cdot 2 \cdot 23,5}{1,0} = 1386,5 \text{ kN}$$

A heveder csavarlyukakkal gyengített szelvényének törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd}^w = 0,9 \cdot \frac{A_{net,hev} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 0,9 \cdot \frac{44,6 \cdot 36}{1,25} = 1156,0 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^w = N_{u,Rd}^w = 1156,0 \text{ kN} > F_{Ed,w} = 985,9 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

#### 4.2.2. Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolatai

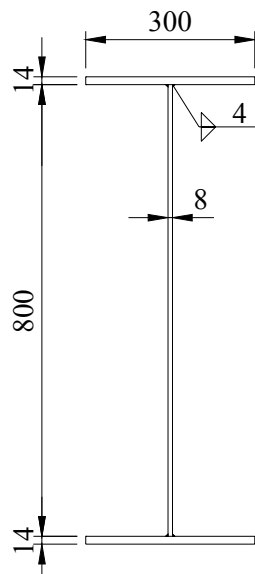
A következőkben hegesztett gerenda hevederezett illesztésére, majd csuklós, illetve nyomatékíró homloklemez csomópontokra mutatunk példát.

#### 4.8 Példa

Tervezzük meg a 4.9. ábrán látható hegesztett I-szelvényű hajlított gerendatartó illesztését hevederezett kapcsolattal! A terhelésből számított nyíróerő az illesztés keresztmetszetében  $V_{Ed} = 256 \text{ kN}$ . Az illesztés legyen egyenszilárdságú.

Alapanyag: S355       $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$        $f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$        $\varepsilon = 0,81$

Csavarok: 8.8       $f_{yb} = 64,0 \text{ kN/cm}^2$        $f_{ub} = 80,0 \text{ kN/cm}^2$



4.9. ábra: A gerendatartó keresztmetszete.

#### A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{300}{2} - \sqrt{2} \cdot 4 - \frac{8}{2} = 140,3 \text{ mm}$$

$$10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1 < \frac{c_f}{t_f} = \frac{140,3}{14} = 10,02 < 14 \cdot \varepsilon = 14 \cdot 0,81 = 11,34$$

tehát az öv 3. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 800 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 4 = 788,7 \text{ mm}$$

$$83 \cdot \varepsilon = 83 \cdot 0,81 = 67 < \frac{c_w}{t_w} = \frac{788,7}{8} = 98,58 < 124 \cdot \varepsilon = 124 \cdot 0,81 = 100,44$$

tehát a gerinc is 3. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 3. keresztmetszeti osztályú.

### A keresztmetszet hajlítási ellenállása:

$$I_{y,el} = \frac{0,8 \cdot 80^3}{12} + 2 \cdot 30 \cdot 1,4 \cdot 40,7^2 = 173278 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,el} = \frac{I_{y,el}}{z_{\max}} = \frac{173278}{41,4} = 4185 \text{ cm}^3$$

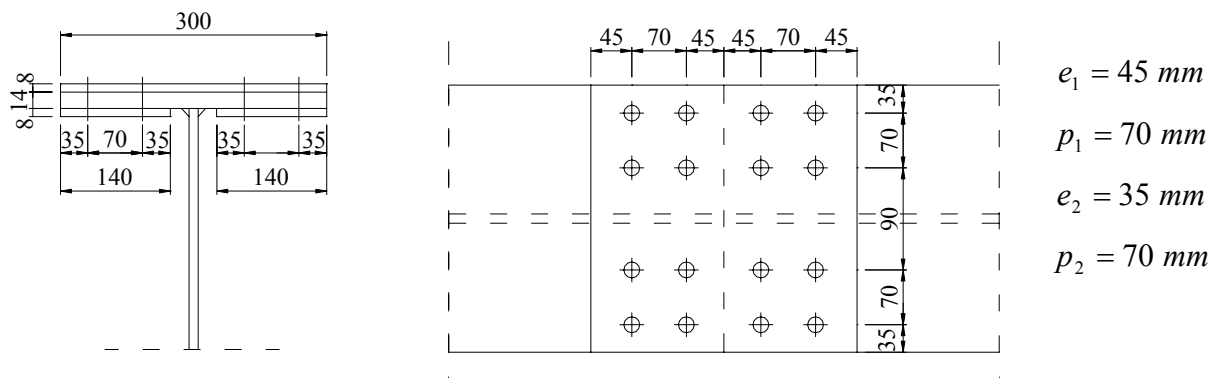
$$M_{b,Rd} = \frac{4185 \cdot 35,5}{1,0} = 148584 \text{ kNcm} = 1486 \text{ kNm}$$

### Övlemezek illesztése:

Az övlemezeket a húzási ellenállásukra illesztjük (a kapcsolat teherbírása tehát legalább ekkora kell legyen). A kapcsolatot külső-belső hevederekkel, kétszer nyírt csavarokkal alakítjuk ki. A 14 mm lemezvastagsághoz illő M20 csavart alkalmazunk.

Csavar adatok:  $A = 3,14 \text{ cm}^2$   $d = 20 \text{ mm}$   $d_0 = 22 \text{ mm}$

Csavarok elhelyezése: A belső heveder szélessége legfeljebb 140 mm lehet. Ez elegendő ahhoz, hogy a gerinc két oldalán 2-2 csavart helyezünk el az övbe. Tétélezzük fel, hogy egymás mögött 2 csavarsor elegendő (lásd 4.10. ábra).



4.10. ábra: A kapcsolat kialakítása az övben.

### A szelvény húzási ellenállása:

A teljes keresztmetszet képlékeny ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{30 \cdot 1,4 \cdot 35,5}{1,0} = 1491 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 1,4 \cdot 51}{1,25} = 1089,85 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 1089,85 \text{ kN}$$

### A csavarok ellenállása:

Egy csavar nyírási ellenállása (menet nélküli részen):

$$F_{v,Rd} = n \cdot \alpha_v \cdot \frac{A \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{3,14 \cdot 80}{1,25} = 241,15 \text{ kN}$$

Egy csavar palástnyomási ellenállása:

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{70}{22} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,68 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,68$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,81 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 0,81$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,68$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 51 \cdot 2,0 \cdot 1,4}{1,25} = 194,2 \text{ kN} \rightarrow \text{ez a mértékadó.}$$



### Egy csavarra jutó nyíróerő:

$$F_{Ed} = \frac{N_{t,Rd}}{m} = \frac{1089,85}{8} = 136,23 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 194,8 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Övhevederek méretei:

$$\text{Külső hevederek: } 300 - 8 \quad A_{n,k} = (30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 0,8 = 16,96 \text{ cm}^2$$

$$\text{Belső hevederek: } 2 \times 140 - 8 \quad A_{n,b} = 2 \cdot (14 - 2 \cdot 2,2) \cdot 0,8 = 15,36 \text{ cm}^2$$

$$\sum A_{n,hev} = 16,96 + 15,36 = 32,32 \text{ cm}^2 > A_{n,lem} = (30 - 4 \cdot 2,2) \cdot 1,4 = 29,68 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Gerinclemez illesztése:

Gerinc illesztésére működő igénybevételek:

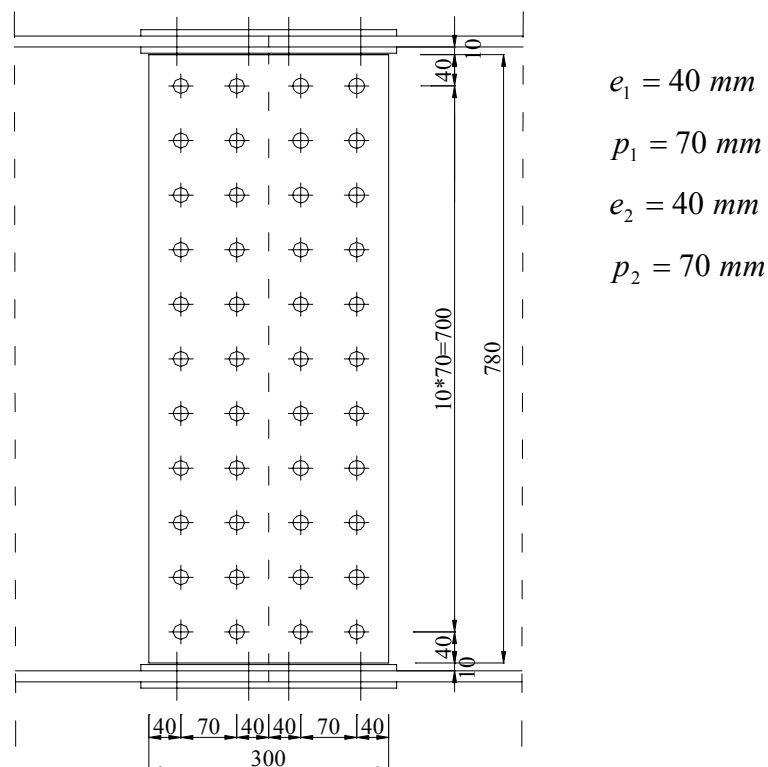
A gerinc viseli a teljes nyíróerőt és a hajlítási ellenállásból a gerincre eső részt. Ez utóbbit közelítőleg a gerinc inerciája arányában oszthatjuk rá.

$$V_{Ed} = 256 \text{ kN}$$

$$M_{G,b,Rd} = M_{b,Rd} \cdot \frac{I_{y,ger}}{I_y} = 1486 \cdot \frac{34133}{173278} = 292,7 \text{ kNm}$$

A gerinc csavarképenek felvétele:

Javasolható két csavaroszlop, egymás alatt a lehető legtöbb csavart elhelyezve, kétoldali hevederezéssel (lásd 4.11. ábra). Csavarok a gerincvastagságához illő M16 ( $A = 2,01 \text{ cm}^2$ ), a csavarok száma  $m = 22 \text{ db}$ .



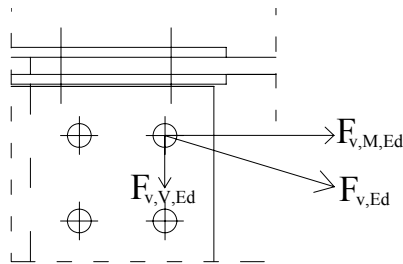
4.11. ábra: A kapcsolat kialakítása a gerincben.

### A legjobban igénybevett csavar kiválasztása, igénybevételei:

A nyíróerőből minden csavar azonos erőt kap, a hajlításból pedig a csavarkép súlypontjától legtávolabbi csavarok kapják a legnagyobb igénybevételt. A kapcsolatban a jobb felső csavarra jutó erőket a 4.12. ábra mutatja.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyírásból (egyenletes erőeloszlást feltételezve):

$$F_{v,V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{256}{22} = 11,64 \text{ kN}$$



4.12. ábra: Egy csavarra jutó erők.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyomatékból (rugalmas erőeloszlást feltételezve):

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{r_{\max}}{\sum r_i^2}$$

A magas csavarkép miatt feltételezhető, hogy:  $r \cong z$  ezért:

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2} = 29270 \cdot \frac{35}{4 \cdot (7^2 + 14^2 + 21^2 + 28^2 + 35^2)} = 95,03 \text{ kN}$$

Az eredő nyíróerő:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{v,V,Ed}^2 + F_{v,M,Ed}^2} = 95,74 \text{ kN}$$

### A legjobban igénybevett csavar ellenállása:

Nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot n \cdot \frac{f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{80 \cdot 2,01}{1,25} = 154,4 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállás:

A vizsgált csavar erőirányban és merőlegesen is szélső csavar.

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 = 4,5 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{70}{18} - 1,7 = 3,74 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar:  $k_1$  értéke csak a  $p_2$  távolságtól függ, tehát:

$$k_1 = k_{1,p} = 2,5$$

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,74$$

- erő irányában közbenső távolságra

$$\alpha_{b,p} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,p} = 1,0$$

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \min(\alpha_{b,e}, \alpha_{b,p}) = 0,74$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 51 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{1,25} = 96,61 \text{ kN} \rightarrow \text{ez a mértékadó.}$$

**Ellenőrzés:**

$$F_{v,Ed} = 95,74 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 96,61 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

**Hevederek választása:**

Mindkét oldalon  $t_{hev} = 6 \text{ mm}$  vastagságú hevedert alkalmazunk.

$$I_{hev} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 78^3}{12} = 47455 \text{ cm}^4 > I_{y,ger} = 34133 \text{ cm}^4 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

## 4.9 Példa

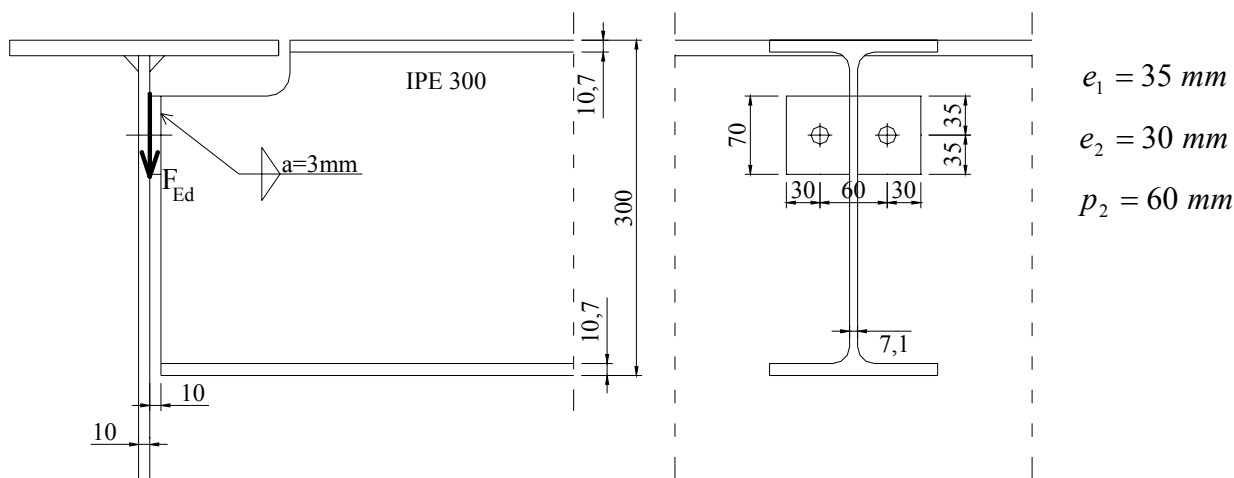
Ellenőrizzük a 4.13. ábrán látható hajlékony homloklemez-es gerenda-gerenda csomópontot! Feltételezzük, hogy a kapcsolat merevség és szilárdság szempontjából egyaránt csuklós. A fióktartó szelvénye IPE-300, reakcióereje  $F_{Ed} = 60 \text{ kN}$ .

Vizsgáljuk meg a csomópont egyes alkotóelemeinek teherbírását, majd határozzuk meg a csomópont ellenállását!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$   $\alpha_v = 0,6$

Csavarok: M16, 5.6  $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

$f_{yb} = 30,0 \text{ kN/cm}^2$   $f_{ub} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$



4.13. ábra: A csomópont kialakítása.

### Csavarok vizsgálata:

Nyírási ellenállás:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 48,25 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,65 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,65$$

- erő irányában közbenső távolság nincs

- erő irányában szélső csavar:  $\alpha_b$  értéke az  $e_1$  és  $p_1$  távolságtól is függ, tehát:

$$\alpha_b = \alpha_{b,e} = 0,65$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,0}{1,25} = 74,88 \text{ kN}$$

Mértékadó tehát a csavarszár nyírása, a csavarok teherbírása:

$$F_{A,Rd,1} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 48,25 = 96,5 \text{ kN}$$

### Hegesztési varratok ellenállása:

A gerinc varrataiban csak  $\tau_{II}$  ébred.

$$A_w = 2 \cdot a \cdot 7,0 = 2 \cdot 0,3 \cdot 7,0 = 4,2 \text{ cm}^2$$

$$F_{A,Rd,2} = F_{w,Rd} = A_w \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{4,2 \cdot 36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 87,29 \text{ kN}$$

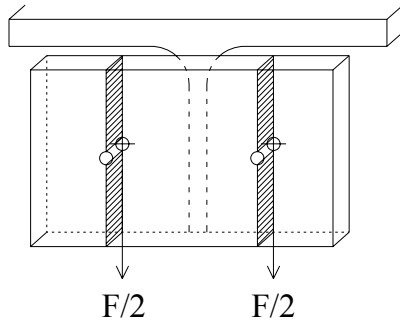
### Fióktartó ellenállása:

Gerinc nyírasi ellenállása: a hegesztési varrat hossza mentén közvetíti a nyíróerőt

$$F_{A,Rd,3} = V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,71 \cdot 7,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 67,43 \text{ kN}$$

## Homloklemez teherbírása:

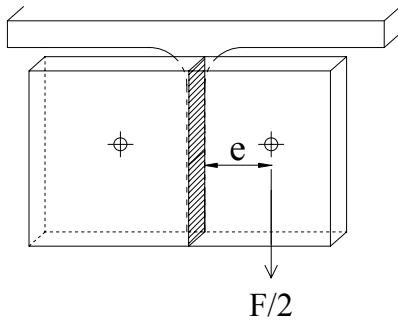
- Homloklemez nyírása



$$F_{A,Rd,4} = 2 \cdot V_{c,Rd,h} = 2 \cdot (7,0 - 1,8) \cdot 1,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 141,10 \text{ kN}$$

4.14. ábra: Nyírt keresztmetszet.

- Homloklemez hajlítása



Közelítésképpen 3. keresztmetszeti osztályú homloklemezt feltételezünk

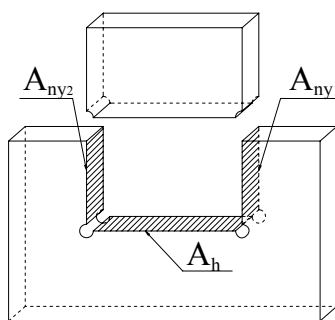
$$e = \frac{6,0}{2} - \frac{0,71}{2} = 2,645 \text{ cm}$$

$$W = W_{el} = 1,0 \cdot \frac{7,0^2}{6} = 8,17 \text{ cm}^3$$

$$F_{A,Rd,5} = 2 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{e \cdot \gamma_{M0}} = 2 \cdot 8,17 \cdot \frac{23,5}{2,645 \cdot 1,0} = 145,17 \text{ kN}$$

4.15. ábra: Hajlított keresztmetszet.

- Homloklemez csoportos kiszakadása



$A_{ny,1} = A_{ny,2} = (3,5 - 0,9) \cdot 1,0 = 2,6 \text{ cm}^2$  nyírt szakaszok

$A_h = (6,0 - 1,8) \cdot 1,0 = 4,2 \text{ cm}^2$  húzott szakasz

$$F_{A,Rd,6} = V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_h}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{ny} =$$

$$= \frac{36 \cdot 4,2}{1,25} + \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 2 \cdot 2,6 = 191,51 \text{ kN}$$

4.16. ábra: Nyírt és húzott keresztmetszetek.

## A csomópont ellenállása:

Az összes tönkremeneteli módot tekintetbe véve a csomópont ellenállását a fióktartó gerincének nyírási ellenállása szabja meg:

$$F_{A,Rd} = F_{A,Rd,\min} = 67,43 \text{ kN}$$

A csomópont megfelelő, mert

$$F_{Ed} = 60 \text{ kN} < F_{A,Rd} = 67,43 \text{ kN}$$

Megjegyzés: A kivágott gerenda gerinclemezét is ellenőrizni kell.

#### **4. 10 Példa**

Határozzuk meg a 4.18. ábrán látható homloklemezes oszlop-gerenda csomópont nyomatéki és nyírási ellenállását! Feltételezzük, hogy a csomópont merev, részleges szilárdságú. A felső csavarsor csak a hajlítási ellenállásban vesz részt, nyíróerőt nem visz át. Az alsó 2 csavar csak a nyírási ellenállásban dolgozik, a hajlításban nem.

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$

Csavarok: M24, 10.9  $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$   $d_m = 38,8 \text{ mm}$

$$A = 4,52 \text{ cm}^2 \quad A_s = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$f_{yb} = 90,0 \text{ kN/cm}^2 \quad f_{ub} = 100,0 \text{ kN/cm}^2$$

Homloklemez geometriai adatai:

$$b_p = 300 \text{ mm} \quad t_p = 25 \text{ mm} \quad e_1 = 74 \text{ mm} \quad w = 150 \text{ mm}$$

Oszlop adatai: HEB 500 melegen hengerelt szelvény

gerinc magasság:  $b_{wc} = 444 \text{ mm}$  gerincvastagság:  $t_{wc} = 14,5 \text{ mm}$

öv szélesség:  $b_{fc} = 300 \text{ mm}$  övvastagság:  $t_{fc} = 28 \text{ mm}$

lekerekítési sugár:  $r_c = 27 \text{ mm}$  km. terület:  $A = 239 \text{ cm}^2$

nyírt km. területe:  $A_{vc} = 90,18 \text{ cm}^2$

Gerenda adatai: HEA 300 melegen hengerelt szelvény

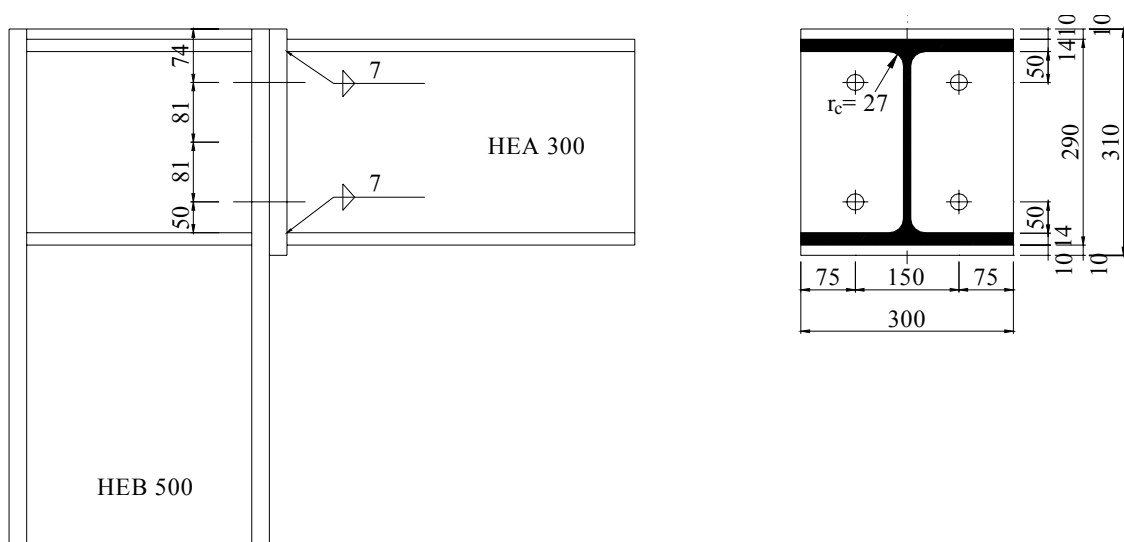
gerinc magasság:  $b_{wb} = 262 \text{ mm}$  gerincvastagság:  $t_{wb} = 8,5 \text{ mm}$

öv szélesség:  $b_{fb} = 300 \text{ mm}$  övvastagság:  $t_{fb} = 14 \text{ mm}$

lekerekítési sugár:  $r_c = 27 \text{ mm}$  km. modulus:  $W_{pl,y,b} = 1384 \text{ cm}^3$

Varratok:

gerenda gerincén  $a_w = 4 \text{ mm}$  másutt  $a_f = 7 \text{ mm}$  kétoldali sarokvarratok.



4.18. ábra: A csomópont oldalnézete és a homloklemez nézete a gerenda felől.

#### Oszlop gerinclemeze nyírásra:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_{vc}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 23,5 \cdot 90,18}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 1101 \text{ kN}$$

#### Oszlop gerinclemeze nyomásra:

A merevítő borda mérete megegyezik a gerenda övének méreteivel, az oszlop gerincének vastagsága nagyobb mint a gerendáé, ezért nem lehet mértékadó.

#### Oszlop gerinclemeze húzásra:

A merevítő borda mérete megegyezik a gerenda övének méreteivel, az oszlop gerincének vastagsága nagyobb mint a gerendáé, ezért nem lehet mértékadó.

#### Oszlop hajlított övlemeze:

$\ell_{\text{effektív}}$  hosszak meghatározása egyedi csavartönkretenetel esetére

-Segédmenyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \cdot r_c = \frac{150}{2} - \frac{14,5}{2} - 0,8 \cdot 27 = 46,15 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m; e) = \min(1,25 \cdot 46,15 = 57,69 ; 75) = 57,69 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,15}{46,15 + 75} = 0,381$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{46,15 + 75} = 0,347$$

$\alpha$  értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben  $\alpha = 6,8$  (lásd 4.19. ábra grafikonját).

-  $\ell_{\text{effektív}}$  számítása:

nem kör alakú töréskép esetén:  $l_{\text{eff},nc} = \alpha \cdot m = 6,8 \cdot 46,15 = 314 \text{ mm}$



kör alakú töréskép esetén:

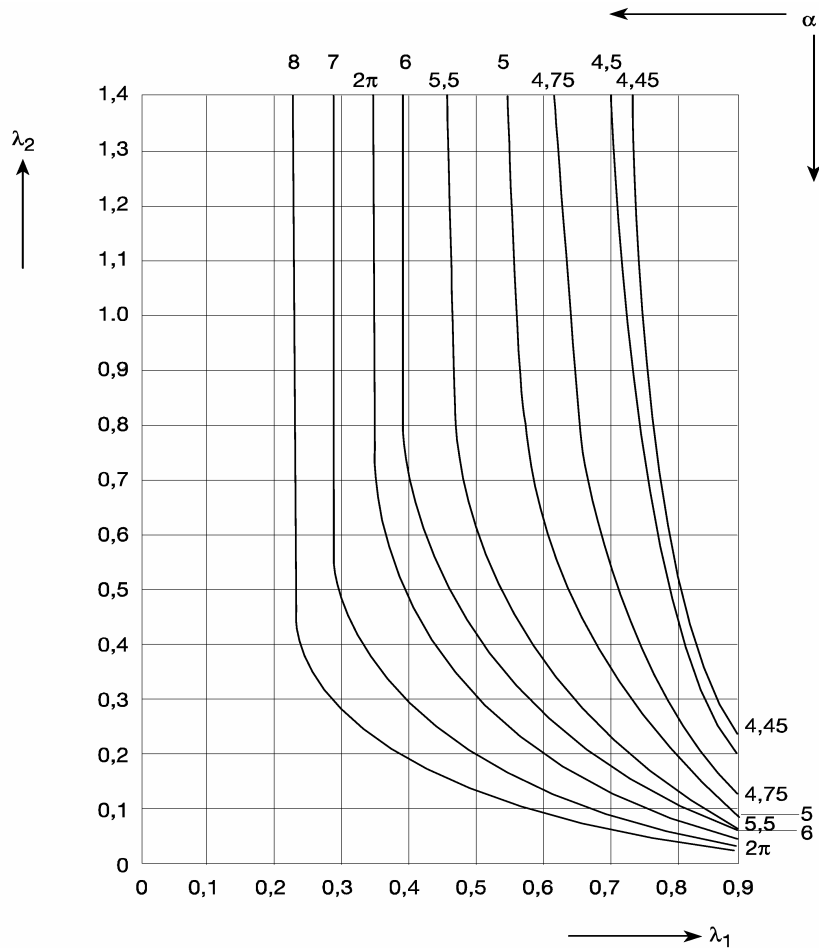
$$l_{eff,cp} = 2\pi \cdot m = 290 \text{ mm}$$

-  $l_{effektív}$  számítása T- kapcsolat 1. tönkremeneteli módjához:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc} ; l_{eff,cp}) = 290 \text{ mm}$$

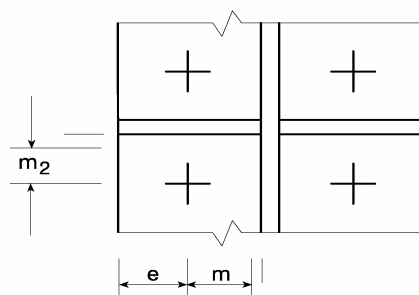
-  $l_{effektív}$  számítása T- kapcsolat 2. tönkremeneteli módjához:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 314 \text{ mm}$$



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e}$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e}$$



4.19. ábra:  $\alpha$  tényező merevített T-kapcsolatok effektív hosszának számításához.

Húzott csavarok ellenállásának számítása:

- 1 csavar húzásra:

$$F_{t,z,Rd} = 0,9 \frac{A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{3,53 \cdot 100}{1,25} = 254,16 \text{ kN}$$

- 1 csavar kigombolódásra:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot \min(t_{fc}; t_p) \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 3,88 \cdot \min(2,8; 2,5) \cdot 36}{1,25} = 526,6 \text{ kN}$$

- Felső csavarsor húzási ellenállása:

$$F_{t,Rd} = 2 \cdot \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 2 \cdot \min(254,16; 526,6) = 508,32 \text{ kN}$$

Oszlop övének mint T-kapcsolatnak az ellenállása:

- Övlemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 29 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1336 \text{ kNcm} = 13,36 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 31,4 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1446 \text{ kNcm} = 14,46 \text{ kNm}$$

- T-kapcsolat 1. tönkremeneteli módja (övlemez teljes megfolyása):

$$F_{t1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{1335}{4,615} = 1158 \text{ kN}$$

- T-kapcsolat 2. tönkremeneteli módja (övlemez és csavarok együttes tönkremenetele):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1446 + 5,769 \cdot 508,32}{4,615 + 5,769} = 560,9 \text{ kN}$$

- T-kapcsolat 3. tönkremeneteli módja: (csavarok szakadása):

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Oszlop övének hajlítási ellenállása:

$$F_{fc,b,Rd} = \min(F_{t1,Rd}; F_{t2,Rd}; F_{t3,Rd}) = 508,32 \text{ kN}$$

### Homloklemez hajlítási ellenállása:

$\ell_{effektív}$  hosszak meghatározása egyedi csavartönkremenetel esetére

- Segédmenyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = \frac{150}{2} - \frac{8,5}{2} - 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 66,22 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m; e) = \min(1,25 \cdot 66,25; 75) = 82,81; 75) = 75 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{66,25}{66,25 + 75} = 0,469$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{66,25 + 75} = 0,298$$

$\alpha$  értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben  $\alpha = 6,5$  (lásd 4.3219. ábra grafikonját)

-  $\ell_{effektív}$  számítása:

$$\text{nem kör alakú töréskép esetén: } l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6,5 \cdot 66,25 = 431 \text{ mm}$$

kör alakú töréskép esetén:  $l_{eff,cp} = 2\pi \cdot m = 416 \text{ mm}$

-  $l_{effektív}$  számítása T-kapcsolat 1. tönkrementeli módjához:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}; l_{eff,cp}) = 416 \text{ mm}$$

-  $l_{effektív}$  számítása T-kapcsolat 2. tönkrementeli módjához:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 431 \text{ mm}$$

Húzott csavarok ellenállásának számítása:

- Felső csavarsor húzási ellenállása (lásd oszlop övénél):

$$F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemeznek mint T-kapcsolatnak az ellenállása:

- Homloklemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 416 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1528 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 431 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1583 \text{ kNcm}$$

- T-kapcsolat 1. tönkrementeli módja (homloklemez teljes megfolyása):

$$F_{t1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{1528}{6,62} = 923,3 \text{ kN}$$

- T-kapcsolat 2. tönkrementeli módja (homloklemez és csavarok együttes tönkrementele):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1583 + 7,5 \cdot 508,32}{6,62 + 7,5} = 494,2 \text{ kN}$$

- T-kapcsolat 3. tönkrementeli módja: (csavarok szakadása):

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemez hajlítási ellenállása:

$$F_{p,b,Rd} = \min(F_{t1,Rd}; F_{t2,Rd}; F_{t3,Rd}) = 493,8 \text{ kN}$$

**Gerenda öve és gerince nyomásban:**

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1384 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 32524 \text{ kNcm}$$

$$F_{c,b,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}} = \frac{32524}{29 - 1,4} = 1178 \text{ kN}$$

**Gerenda gerince húzásban:**

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff,1} = 416 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{416 \cdot 0,85 \cdot 23,5}{1,0} = 831 \text{ kN}$$

### Csavarok húzásban:

A csavarok húzási ellenállását a homloklemezek és oszlopöv ellenállásának számításakor már figyelembe vettük, ezért ezen komponens vizsgálata ki is hagyható.

### A csomópont nyomatéki ellenállása:

A felső csavarsor határereje

$$F_{t,Rd,1} = \min(V_{wp,Rd}; F_{b,fc,Rd}; F_{p,b,Rd}; F_{c,b,Rd}; F_{t,wb,Rd}) = 493,8 \text{ kN}$$

a csavarsor erőkarja

$$h_{r1} = h_b - t_{fb} - e_x - \frac{t_{fb}}{2} = 29 - 1,4 - 5 - \frac{1,4}{2} = 21,9 \text{ cm}$$

A csomópont nyomatéki ellenállása:

$$M_{Rd} = \sum F_{t,Rd,i} \cdot h_{ri} = 493,8 \cdot 21,9 = 10814 \text{ kNcm} = 108,14 \text{ kNm}$$

### A csomópont nyírási ellenállása:

Alsó csavarsor nyírási ellenállása, feltételezve, hogy a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át:

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 100 \cdot 2,4^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{1,25} = 434,3 \text{ kN}$$

Alsó csavarsor palástnyomási ellenállása:

Mindkét csavar mind erőirányban, mind arra merőlegesen szélső csavar.

$k_1$  számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső távolságra

$$k_{1,e} = \min \left( \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{75}{26} - 1,7 = 6,4 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,e} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső távolságra

$$k_{1,p} = \min \left( \begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{150}{26} - 1,7 = 6,37 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_{1,p} = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:  $k_1$  értéke az  $e_2$  és  $p_2$  távolságtól is függ, tehát:

$$k_1 = \min(k_{1,e}, k_{1,p}) = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs

$\alpha_b$  számítása:

- erő irányában szélső távolságra

$$\alpha_{b,e} = \min \left( \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{74}{3 \cdot 26} = 0,95 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_{b,e} = 0,95$$

- erő irányában közbenső távolságra

Azt feltételezzük, hogy a nyíróerőt csak az alsó két csavar veszi fel, ezért úgy számítjuk, mintha a felső kettő ott se lenne.

- erő irányában szélső csavar:

$$\alpha_b = \alpha_{b,e} = 0,95$$

- erő irányában közbenső csavar nincs

A palástnyomási ellenállás

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,95 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,5}{1,25} = 821 \text{ kN}$$

Csomópont ellenállása nyírásra:

$$V_{Rd} = \min(F_{V,Rd}; F_{b,Rd}) = 434,3 \text{ kN}$$

### 4.3. Hegesztett kapcsolatok ellenállása

#### 4.3.1. Hegesztési varratok méretezési elvei

A hegesztett kapcsolatok méretezéséhez az EC3-1-8 [3] két módszert is bemutat.

Szükséges ismeretek:

- Hegesztési varratok kiképzése és szerkesztési szabályai (lásd [4] 6.3.1 pontja);
- Hegesztett kapcsolatok ellenállásának számítása általános módszerrel (lásd [4] 6.3.3 pontja);
- Hegesztett kapcsolatok ellenállásának számítása egyszerűsített módszerrel (lásd [4] 6.3.3 pontja).

#### 4.3.2. Húzott/nyomott elemek hegesztett kapcsolatai

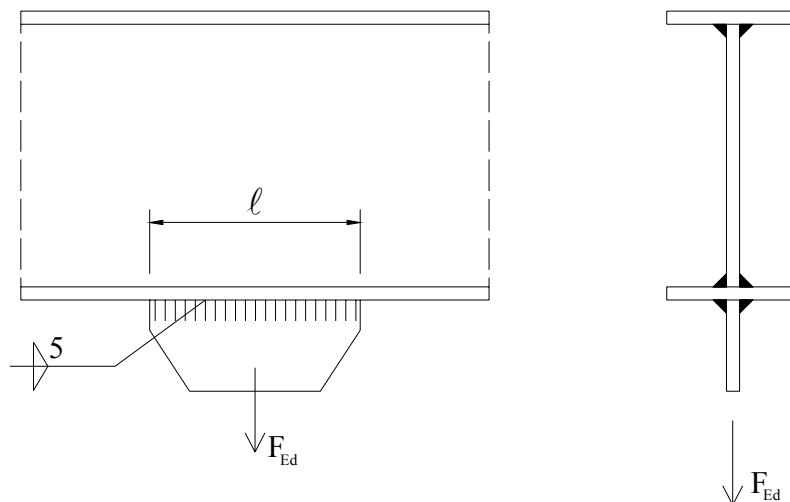
A következő példatípusokat mutatjuk be sarok-, illetve tompavarratos kialakítás esetén: csomólemezt felhegesztése; átlapolt illesztések; rúdszelvény bekötése csomólemezhez.

### 4.11 Példa

Egy gerenda alsó övére  $t = 10 \text{ mm}$  vastagságú csomólemezt hegesztünk  $a = 5 \text{ mm}$  méretű kétoldali sarokvarratokkal (4.20. ábra). A csomólemezre  $F_{Ed} = 150 \text{ kN}$  központos erő hat. Állapítsuk meg a szükséges varrathosszúságot!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

**A kapcsolat kialakítása:**



4.20. ábra: A kapcsolat kialakítása.

**Egyszerűsített eljárás:**

A varrat nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A sarokvarrat fajlagos (egységnyi hosszra jutó) ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

**A varratra működő fajlagos erő tervezési értéke:**

$$F_{w,Ed} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell}$$

Megjegyzés: A sarokvarratok nem hagyhatók abba az elem sarkainál, hanem vissza kell fordulniuk a sarok körül. Ezzel a többlethosszal azonban nem számolunk.

**A varrathossz meghatározása:**

A varrat megfelel, ha  $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$ , tehát:

$$\frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell} \leq 10,39$$

$$\frac{150}{2 \cdot \ell} \leq 10,39$$

$$\ell \geq \frac{150}{2 \cdot 10,39}$$

$$\ell \geq 7,22 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 80 \text{ mm}$$

**Általános eljárás:**

Varrat keresztmetszeti területe:

$$A_w = 2 \cdot a \cdot \ell = 2 \cdot 0,5 \cdot \ell$$

Varrat feszültségek:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A_w} \cos 45^\circ = \frac{150}{2 \cdot 0,5 \cdot \ell} \frac{\sqrt{2}}{2}; \quad \tau_{\parallel} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2}\right)^2 + 3\left(\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2}\right)^2} \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$2 \cdot \frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2} \leq 36$$

$$\ell \geq 5,89 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 60 \text{ mm}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\frac{150 \cdot \sqrt{2}}{1,0 \cdot \ell \cdot 2} \leq 0,9 \frac{36}{1,25} = 25,92$$

$$\ell \geq 4,09 \text{ cm}$$

A szükséges varrathosszt az 1. feltételből kapjuk.

### Megjegyzés:

A feladatban nincs szükség a ellenállás redukálására, mivel a varrat hossza kisebb, mint  $150 a$ .

### 4.12 Példa

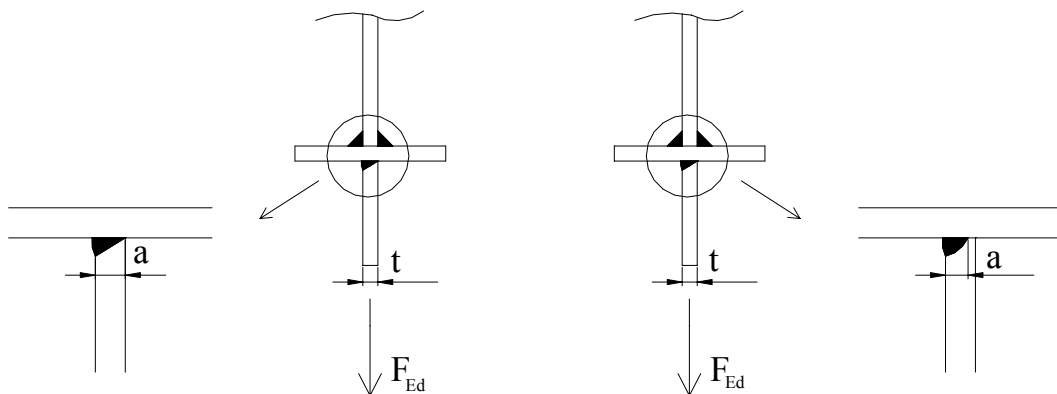
Egy gerenda alsó övére  $t = 8 \text{ mm}$  vastagságú csomólemezt hegesztünk fél-V varrattal (4.21. ábra). A csomólemezt  $F_{Ed} = 150 \text{ kN}$  nagyságú erővel terhelve mekkora varrathosszra van szükség, ha a varrat

a) teljes beolvadású tompavarrat ( $a = t$ )?

b) részleges beolvadású tompavarrat ( $a = 5 \text{ mm}$ )?

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

### A kapcsolat kialakítása:



4.21. ábra: A kapcsolat kialakítása.

### a) eset:

Teljes beolvadású tompavarrat esetén az alapanyag szilárdsági vizsgálata a mértékadó! Ezt az ellenőrzést most nem végezzük el.

### b) eset:

### Egyszerűsített eljárás:

A részleges beolvadás következtében a varratméret  $a = 5 \text{ mm}$ .

A varrat nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$



A tompavarrat fajlagos ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

**A szükséges varrathossz:**

A varrat megfelel, ha  $F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$ , tehát:

$$\frac{150}{\ell} \leq 10,39$$

$$\ell \geq 14,44 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 150 \text{ mm}$$

**Általános eljárás – a szükséges varrathossz:**

Varrat keresztmetszeti területe:

$$A_w = a \cdot \ell = 0,5 \cdot \ell$$

Varrat feszültségek:

$$\sigma_{\perp} = \frac{F_{Ed}}{A_w} = \frac{150}{0,5 \cdot \ell}; \quad \tau_{\perp} = \tau_{\parallel} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{150}{0,5 \cdot \ell}\right)^2} \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$\frac{150}{0,5 \cdot \ell} \leq 36$$

$$\ell \geq 8,33 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 90 \text{ mm}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\frac{150}{0,5 \cdot \ell} \leq 0,92 \frac{36}{1,25} = 25,92$$

$$\ell \geq 11,57 \text{ cm} \rightarrow \ell_{alk} = 120 \text{ mm}$$

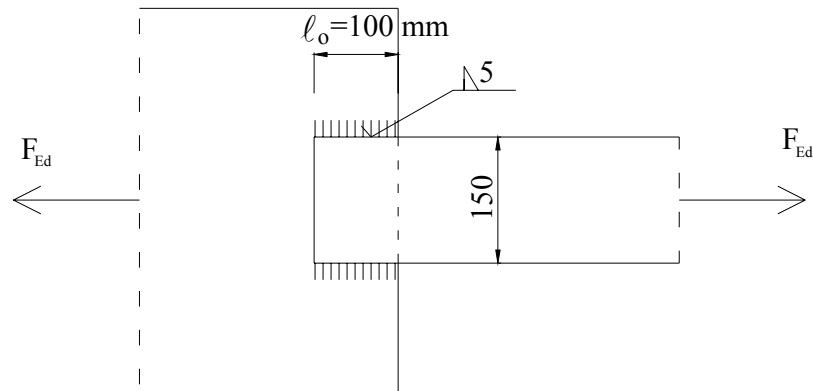
A szükséges varrathosszt ez esetben a 2. feltételből kapjuk.

### 4.13 Példa

Vizsgáljuk meg, hogy megfelel-e a 4.22. ábra szerinti oldalsarokvarratos rálapolás  $F_{Ed} = 260 \text{ kN}$  erő esetén! A varrat mérete  $a = 5 \text{ mm}$ .

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

**A kapcsolat kialakítása:**



4.22. ábra: A kapcsolat kialakítása.

**Egyszerűsített eljárás:**

A varrat nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varrat fajlagos ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varrat ellenállása:

$$F_{Rd} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma \ell = 10,39 \cdot 2 \cdot 10 = 207,8 \text{ kN}$$

**Ellenőrzés:**

A varrat megfelel, ha  $F_{Ed} \leq F_{Rd}$ , ami ebben az esetben nem teljesül, a kihasználtság 125%.

**Általános eljárás:**

Varrat feszültségek:

$$\tau_{II} = \frac{F_{Ed}}{2 \cdot \ell \cdot a} = \frac{260}{2 \cdot 10 \cdot 0,5} = 26,0 \text{ kN/cm}^2; \quad \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 0$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{II} = \sqrt{3} \cdot 26,0 = 45,0 \text{ kN/cm}^2 > \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 36 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Nem felel meg.}$$

**Megjegyzés:** Mivel csak  $\tau_{II}$  feszültség lép fel, a két módszer azonos eredményt ad.

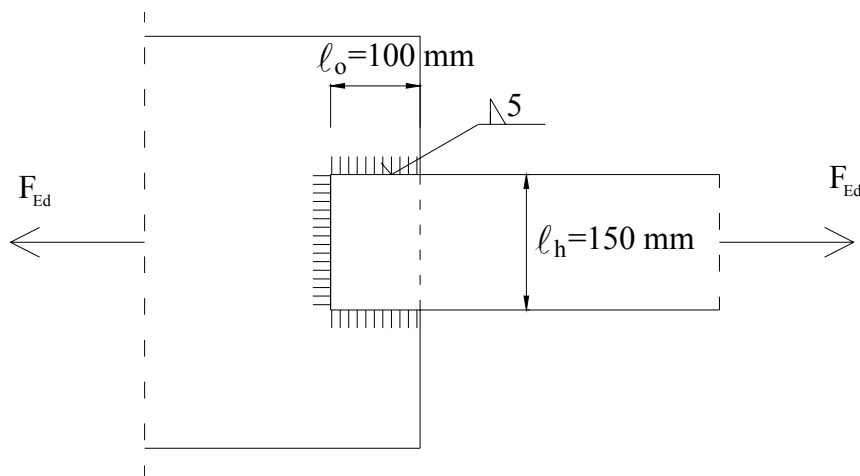
#### 4.14 Példa

Vizsgáljuk meg a 4.23. ábra szerinti oldal- és homlokvarratos rálapolást  $F_{Ed} = 260 \text{ kN}$  erő esetén! A varrat mérete  $a = 5 \text{ mm}$ .

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

Az oldal- és homlokvarratok teherbírása összegezhető, amennyiben kielégítik a szerkesztési követelményeket.

#### A kapcsolat kialakítása:



4.23. ábra: A kapcsolat kialakítása.

#### Egyszerűsített eljárás:

A varrat nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varrat fajlagos ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 20,78 \cdot 0,5 = 10,39 \text{ kN/cm}$$

A varrat ellenállása:

$$F_{Rd} = F_{w,Rd} \cdot \Sigma \ell = 10,39 \cdot (2 \cdot 10 + 15) = 363,65 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

#### Általános eljárás:

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Határozzuk meg az oldalsarokvarrat ellenállását:

Az oldalvarratban csak  $\tau_{\parallel}$  feszültség lép fel.

$$\sqrt{3} \cdot \tau_{\parallel} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\tau_{II} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = f_{vw,d} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A oldalsarokvarrat ellenállása:

$$F_{w,Rd}^o = f_{vw,d} \cdot a \cdot \Sigma \ell = 20,78 \cdot 0,5 \cdot (10 + 10) = 207,8 \text{ kN}$$

A homlokvarratra hárítandó erő:

$$F_h = F_{Ed} - F_{w,Rd}^o = 260 - 207,8 = 52,2 \text{ kN}$$

A homlokvarrat ellenőrzése:

A homlokvarratban  $\sigma_{\perp}$  és  $\tau_{\perp}$  feszültség lép fel.

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{F_h}{\Sigma a \cdot \ell_h} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{52,2}{0,5 \cdot 15} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 4,92 \text{ kN/cm}^2; \quad \tau_{II} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{4,92^2 + 3 \cdot 4,92^2} = 9,84 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36,0 \text{ kN/cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

2. feltétel:

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$4,92 \leq 0,9 \frac{36}{1,25} = 25,92 \text{ kN/cm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

A hegesztett kapcsolat tehát mindkét eljárás alapján megfelel.

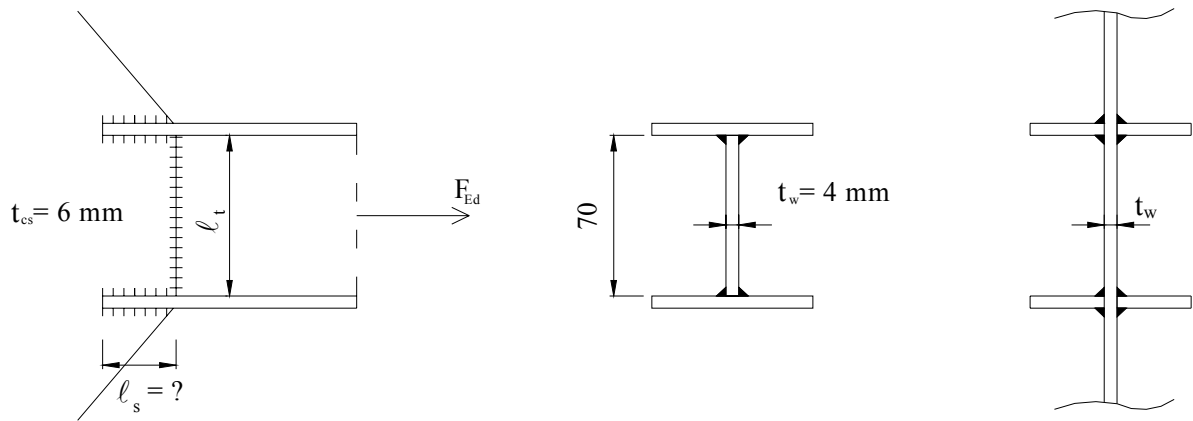
#### **4.15 Példa**

Egy csomólemmezhez hegesztett I-szelvényt kapcsolunk együttdolgozó tompa- és oldalvarratokkal (4.24. ábra). Az I-szelvényre  $F_{Ed} = 170 \text{ kN}$  központos húzóerő hat. Állapítsuk meg az  $a = 3 \text{ mm}$  hasznos méretű sarokvarratok szükséges hosszát!

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

A feladatot az egyszerűsített méretezési módszerrel oldjuk meg.

**A kapcsolat kialakítása:**



4.24. ábra: A kapcsolat kialakítása.

### A varratok fajlagos ellenállása:

A varratok nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

A varratok fajlagos ellenállása:

- Sarokvarratok

$$F_{w,Rd}^s = f_{vw,d} \cdot a_s = 20,78 \cdot 0,3 = 6,23 \text{ kN/cm}$$

- Tompavarrat

$$F_{w,Rd}^t = f_{vw,d} \cdot a_t = 20,78 \cdot 0,4 = 8,31 \text{ kN/cm}$$

### A tompavarrat ellenállása:

$$F_{Rd}^t = F_{w,Rd}^t \cdot \ell_t = 8,31 \cdot 7,0 = 58,17 \text{ kN}$$

A sarokvarratoknak az  $F_{Ed}$  erő és a tompavarrat ellenállásának különbségét kell felvenniük.

$$F_{Ed}^s = F_{Ed} - F_{Rd}^t = 170 - 58,17 = 111,83 \text{ kN}$$

### Sarokvarrat szükséges hossza:

A varrat megfelel, ha  $F_{Ed}^s \leq F_{Rd}^s$ , tehát:

$$F_{w,Rd}^s \cdot 2 \cdot 4 \cdot \ell_s \cdot a_s \geq F_{Ed}^s$$

$$6,23 \cdot 8 \cdot \ell_s \cdot 0,3 \geq 111,83$$

$$\ell_s \geq \frac{111,83}{6,23 \cdot 8 \cdot 0,3} = 7,48 \text{ cm}$$

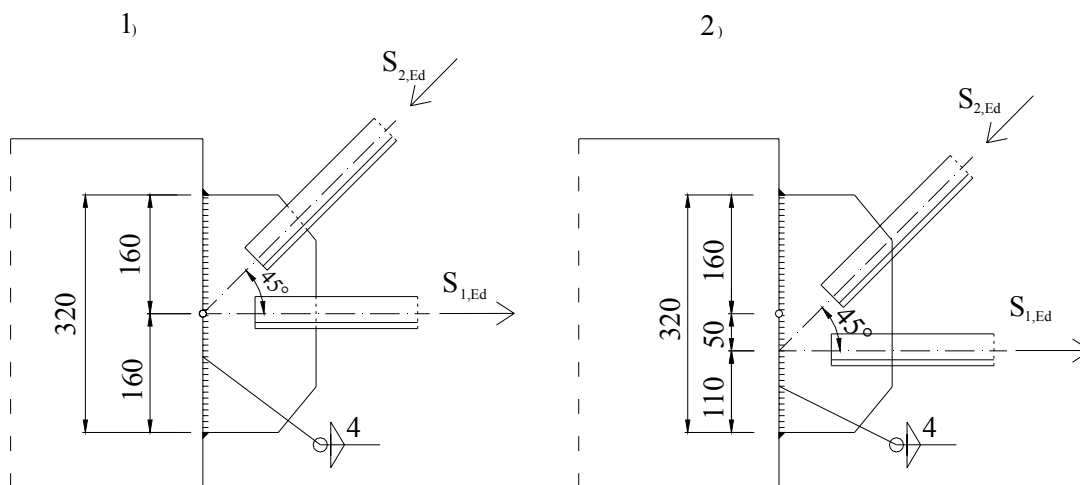
$$\ell_{alk} = 80 \text{ mm}$$

## 4.16 Példa

Ellenőrizzük a rácsos tartó csomólemezt bekötő kétoldali sarokvarratot ( $a = 4 \text{ mm}$ ,  $\ell = 320 \text{ mm}$  a 4.25. ábra szerint), ha  $S_{1,Ed} = 288 \text{ kN}$  és  $S_{2,Ed} = 143 \text{ kN}$ !

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

### A kapcsolat kialakítása:



4.25. ábra: A kapcsolat kialakítása.

Az ábrán vázolt esetek között az a különbség, hogy az első esetben a bekötés központos, a második esetben pedig külpontos, emiatt a két esetben eltérő lesz a feszültségeloszlás a varrat keresztmetszetben.

1) eset:

### A varratokra ható igénybevételek:

- Normálerő:  $N_a = S_{1,Ed} - S_{2,Ed} \cdot \cos 45^\circ = 288 - \frac{143}{\sqrt{2}} = 186,9 \text{ kN}$
- Nyíróerő:  $V_a = S_{2,Ed} \cdot \sin 45^\circ = \frac{143}{\sqrt{2}} = 101,1 \text{ kN}$
- Nyomaték:  $M_a = 0$

### Egyszerűsített eljárás:

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 0,4 \cdot \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 8,314 \text{ kN/cm} = 831,4 \text{ kN/m}$$

### Ellenőrzés:

$$F_{w,Ed} = \frac{\sqrt{N_a^2 + V_a^2}}{2 \cdot \ell} = \frac{\sqrt{186,9^2 + 101,1^2}}{2 \cdot 0,32} = 332,0 \text{ kN/m} \leq F_{w,Rd} = 831,4 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Általános eljárás:

A varrat keresztmetszeti területe:

$$A_w = 2 \cdot 0,4 \cdot 32 = 25,6 \text{ cm}^2$$

A varratfeszültségek:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{N_a}{\sqrt{2} \cdot A_w} = \frac{186,9}{\sqrt{2} \cdot 25,6} = 5,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_a}{A_w} = \frac{101,1}{25,6} = 3,95 \text{ kN/cm}^2$$

1. feltétel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{5,16^2 + 3 \cdot (5,16^2 + 3,95^2)} = 12,38 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} = 5,16 \text{ kN/cm}^2 \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = 25,92 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Megjegyzés:

A feladatban nincs szükség a ellenállás redukálására, mivel a varrat hossza kisebb, mint  $150 a$ .

2) eset:

### A varratokra ható igénybevételek:

A nyomaték felvétele szempontjából a  $W = 2\ell^2/6$  keresztmetszeti modulust használjuk.

- Normálerő:  $N_b = N_a = 186,9 \text{ kN}$
- Nyíróerő:  $V_b = V_a = 101,1 \text{ kN}$
- Nyomaték:  $M_b = N_b \cdot e = 186,9 \cdot 5 = 934,5 \text{ kNcm} = 9,345 \text{ kNm}$

### Egyszerűsített eljárás:

A varrat nyírási szilárdsága és fajlagos ellenállása ugyanaz, mint az 1) esetben.

### Ellenőrzés:

$$F_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{N_b}{2 \cdot \ell} + \frac{6 \cdot M_b}{2 \cdot \ell^2}\right)^2 + \left(\frac{V_b}{2 \cdot \ell}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{186,9}{2 \cdot 32} + \frac{6 \cdot 934,5}{2 \cdot 32^2}\right)^2 + \left(\frac{101,1}{2 \cdot 32}\right)^2} = 5,875 \text{ kN/cm} = 587,5 \text{ kN/m}$$

$$F_{w,Ed} = 587,5 \text{ kN/m} < F_{w,Rd} = 831,4 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Általános eljárás:

$$A_w = 2 \cdot 0,4 \cdot 32 = 25,6 \text{ cm}^2$$

A varratfeszültségek (lásd 1) eset):

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 5,16 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_{\parallel} = 3,95 \text{ kN/cm}^2$$

Az előbbi feszültségeken túl még a külpontosságból is keletkeznek feszültségek:

Nyomatékból származó feszültségek:

$$\tau'_{\perp} = \sigma'_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{6 \cdot M_b}{2 \cdot a \cdot \ell^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{6 \cdot 934,5}{2 \cdot 0,4 \cdot 32^2} = 4,84 \text{ kN/cm}^2$$

1.feltétel

$$\sqrt{(\sigma_{\perp} + \sigma'_{\perp})^2 + 3[(\tau_{\perp} + \tau'_{\perp})^2 + \tau_{\parallel}^2]} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{(5,16 + 4,84)^2 + 3[(5,16 + 4,84)^2 + 3,95^2]} = 21,14 \text{ kN/cm}^2 < \frac{36}{0,8 \cdot 1,25} = 36 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

2. feltétel

$$\sigma_{\perp} + \sigma'_{\perp} = 5,16 + 4,84 = 10,0 \text{ kN/cm}^2 < 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 25,92 \text{ kN/cm}^2 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

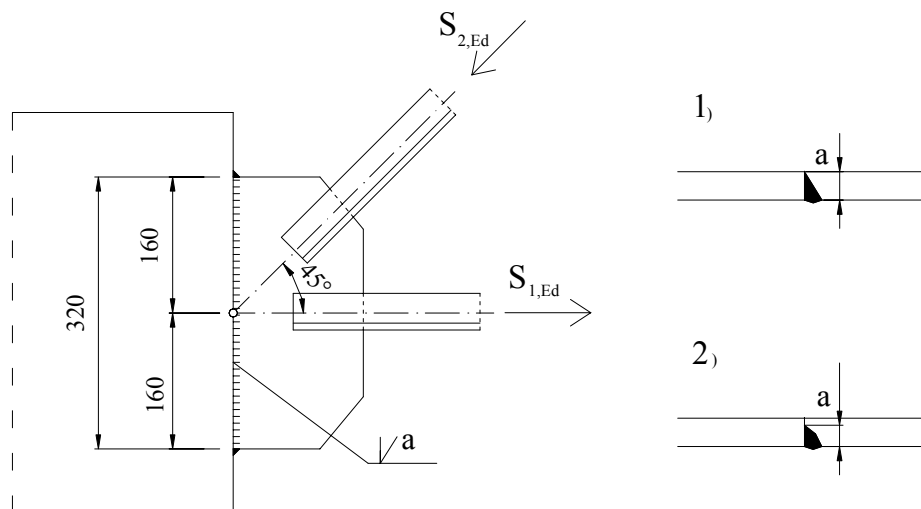
#### **4.17 Példa**

Ellenőrizzük a rácsos tartó csomólemezt bekötő tompavarratos kapcsolatot ( $t = 8 \text{ mm}$ ,  $\ell = 320 \text{ mm}$ , lásd 4.26. ábra), ha  $S_{1,Ed} = 288 \text{ kN}$  és  $S_{2,Ed} = 143 \text{ kN}$ !

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,8$

A vázolt esetek között az a különbség, hogy az első esetben teljes beolvadású ( $a = t$ ), míg a második esetben részleges beolvadású ( $a = 0,8 \cdot t$ ) tompavarratot alkalmazunk.

**A kapcsolat kialakítása:**



4.26. ábra: A kapcsolat kialakítása.



1) eset:

Teljes beolvadású tompavarrat esetén az alapanyag szilárdsági vizsgálata a mértékadó, amit most nem végzünk el.

2) eset:

**A varratokra ható igénybevételek:**

A varratokra ható igénybevételek megegyeznek a 4.16. példa 1) esetében számítottakkal, tehát:

- Normálerő:  $N_a = 186,9 \text{ kN}$
- Nyíróerő:  $V_a = 101,1 \text{ kN}$
- Nyomaték:  $M_a = 0$

**Egyszerűsített eljárás:**

$$F_{w,Rd} = a \cdot \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = 0,8 \cdot 0,8 \cdot \frac{36}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 13,302 \text{ kN/cm} = 1330,2 \text{ kN/m}$$

**Ellenőrzés:**

$$F_{w,Ed} = \frac{\sqrt{N_b^2 + V_b^2}}{\ell} = \frac{\sqrt{186,9^2 + 101,1^2}}{32} = 664,0 \text{ kN/m} \leq F_{w,Rd} = 1330,22 \text{ kN/m} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

#### 4.4. Rácsos tartók hegesztett csomópontjainak ellenállása

Az EC3-1-8 [3] 7. fejezete foglalkozik hegesztett rácsos tartók csomóponti kialakításának és méretezésének kérdéseivel. A rácsos tartók övrúdjai zárt szelvényekből, melegen hengerelt I- és H-profilokból, valamint nyitott szelvényekből készülhetnek, a rácsrudak zárt szelvényűek lehetnek.

##### 4.4.1. Szerkezeti kialakítás és méretezési elvek

Szükséges ismeretek:

- Hegesztett rácsos tartók csomópontjainak szerkezeti kialakítása, csoportosítás (lásd [5] 3.2 pontja);
- Hegesztett rácsos tartók csomópontjainak méretezése, csomópontok ellenállása típusonként (lásd [5] 3.5 pontja).

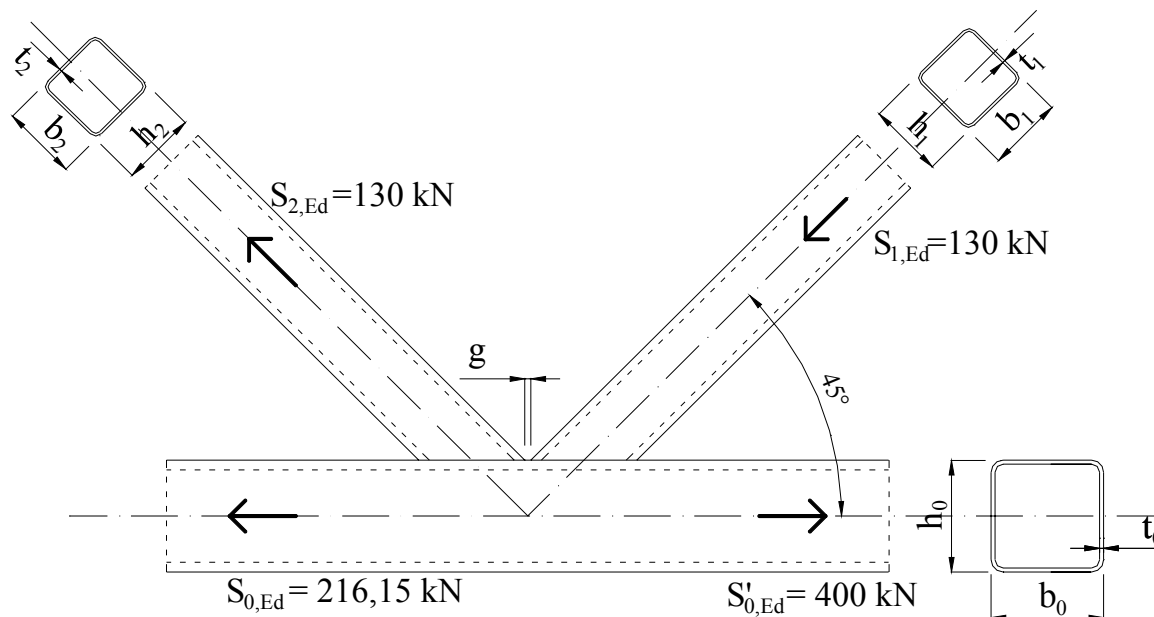
#### 4.18 Példa

A 4.27. ábra szerinti K csomópont egy rácsos tartó alsó övének van kialakítva és hidegen hajlított zárt szelvények alkotják: az övrúd 100x100x4-es, a rácsrudak 80x80x4-es szelvényűek és 45°-os szögben csatlakoznak az övrúddal.

- Határozzuk meg a K csomópont ellenállását!
- Ellenőrizzük a rácsrudak bekötő varratok ellenállását, ha azok  $a = 4 \text{ mm}$  gyökméretű sarokvarratok!

Alapanyag: S275  $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$   $\beta_w = 0,85$

A csomópont kialakítása:



4.27. ábra: K csomópont kialakítása és terhei.

### a) K csomópont ellenállásának meghatározása

övrúd: 100x100x4    nyomott rácsrúd: 80x80x4    húzott rácsrúd: 80x80x4

$$b_0 = 100 \text{ mm}$$

$$b_1 = 80 \text{ mm}$$

$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

$$h_0 = 100 \text{ mm}$$

$$h_1 = 80 \text{ mm}$$

$$h_2 = 80 \text{ mm}$$

$$t_0 = 4 \text{ mm}$$

$$t_1 = 4 \text{ mm}$$

$$t_2 = 4 \text{ mm}$$

A rácsrudak bekötése közötti hézag mérete:  $g = 20 \text{ mm}$ .

### A szerkesztési szabályok ellenőrzése:

A szerkesztési szabályok ellenőrzésére azért van szükség, hogy eldöntsük, hogy az EC szabvány által javasolt méretezési módszer alkalmazható-e. (Négyzet alakú szelvényeknél bizonyos vizsgálatok összevonhatók, ettől most eltekintünk.)

- nyomott rácsrúd:

$$1. \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$2. \quad \frac{h_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$3. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$4. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

5. Keresztmetszet osztálya: a szelvénynek legalább 2. keresztmetszeti osztályúnak kell lennie.

$$c_f = h_1 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_1 = 80 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_1} = \frac{56}{4} = 14,0 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú     $\rightarrow$     Ok

- húzott rácsrúd:

$$6. \quad \frac{b_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$7. \quad \frac{h_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$8. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$9. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- övrúd:

$$10. \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$11. \frac{h_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$12. \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \geq 15 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$13. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$14. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

15. Keresztmetszet osztálya: a szelvénynek legalább 2. keresztmetszeti osztályúnak kell lennie.

$$c_f = h_0 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_0 = 100 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_0} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú  $\rightarrow$  Ok

- övrúd és nyomott rácsrúd:

$$16. \frac{b_1}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$17. \frac{b_1}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \frac{100}{4} = 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- övrúd és húzott rácsrúd:

$$18. \frac{b_2}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$19. \frac{b_2}{b_0} = \frac{80}{100} = 0,8 \geq 0,1 + 0,01 \frac{b_0}{t_0} = 0,1 + 0,01 \frac{100}{4} = 0,35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- húzott és nyomott rácsrúd:

$$20. \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 80} = 1,0 \geq 0,6 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$21. \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_1} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 80} = 1,0 \leq 1,3 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

- rácsrudak bekötése közti hézag:

$$22. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \geq 0,5 \cdot (1 - \beta) = 0,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,1 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 100} = 0,8$$

$$23. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \leq 1,5 \cdot (1 - \beta) = 1,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,3 \rightarrow \text{Ok}$$

$$24. g = 20 \geq t_1 + t_2 = 4 + 4 = 8 \rightarrow \text{Ok}$$

Ha a K csomópont szelvényei az összes szerkesztési szabálynak megfelelnek, akkor feltételezhetjük, hogy a tönkremeneteli módok közül csak az övrúd felületének képlékeny törése és a rácsrúd szakadása következhet be (a többi tönkremeneteli módot a szerkesztési szabályok betartásával kizártuk). E két tönkremeneteli mód szerint meg kell határoznunk a kapcsolat  $N_{i,Rd}$  ellenállását és össze kell hasonlítanunk a kapcsolatra jutó  $N_{i,Ed}$  rúderőkkel.

### A csomópont ellenállása:

- az övrúd felületének képlékeny törése:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \left( \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right)}{\sin \theta_i} / \gamma_{M5}$$

ahol:

$$\gamma = \frac{b_0}{2 \cdot t_0} = \frac{100}{2 \cdot 4} = 12,5$$

$k_n = 1,0$  húzott öv esetén (a feladatban húzott öv szerepel)

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta}; \text{ de } k_n \leq 1,0 \text{ nyomott öv esetén}$$

$$\text{ahol: } n = \frac{\sigma_{0,Ed}}{f_{y0}} :$$

$\sigma_{0,Ed}$ : az övben a normálerőből keletkező legnagyobb nyomófeszültség a csomópontnál

$f_{y0}$ : az öv anyagának folyáshatára

$\theta_i = 45^\circ$ : a nyomott rácsrúd hajlásszöge

$$\gamma_{M5} = 1,0$$

Behelyettesítve:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{12,5} \cdot 1,0 \cdot 275 \cdot 4^2 \left( \frac{80 + 80}{2 \cdot 100} \right)}{\sin 45^\circ} / 1,0 = 156640 \text{ N} = 156,64 \text{ kN}$$

- a rácsrúd szakadása:

Ezt a tönkremeneteli módot átlapolt kapcsolatnál kell vizsgálni. A feladatban  $g = 20 \text{ mm}$  hézag van a két rácsrúd között, nem átlapolt a kapcsolat, tehát ez a vizsgálat nem mértékadó.

### Ellenőrzés:

A csomópontra ható legnagyobb rúderő  $N_{i,Ed} = S_{1,Ed} = 130 \text{ kN}$

A csomópont ellenállása:  $N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN}$

$$N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN} > N_{i,Ed} = 130 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

### b) A rácsrudakat bekötő varratok ellenállásának ellenőrzése

A hegesztett kapcsolat akkor megfelelő, ha  $a \leq t$  varratmérettel számolva a varrat fajlagos ellenállása  $F_{w,Rd}$  legalább akkora, mint a szelvény ellenállásának ( $N_{t,Rd}$  vagy  $N_{b,Rd}$ ) a varrat területével osztott fajlagos értéke.

- a varrat fajlagos ellenállása:

$$a = 4 \text{ mm sarokvarrat.}$$

A varrat nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{43}{0,85 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 23,37 \text{ kN/cm}^2$$

A sarokvarrat fajlagos ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 0,4 \cdot 23,37 = 9,35 \text{ kN/cm}$$

- a varratot terhelő fajlagos erő:

A rácsrúd húzási ellenállásából számolva.

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11,74 \cdot 27,5}{1,0} = 322,85 \text{ kN}$$

A húzási ellenállás fajlagos értéke:

A szelvény kerülete

$$K = 2 \cdot \left( b_2 + \frac{h_2}{\cos 45^\circ} \right) = 2 \cdot (80 + 80 \cdot \sqrt{2}) = 386,3 \text{ mm}$$

$$\frac{N_{t,Rd}}{K} = \frac{322,85}{38,63} = 8,36 \text{ kN/cm}$$

- a varrat ellenőrzése:

$$F_{w,Rd} = 9,35 \text{ kN/cm} > \frac{N_{t,Rd}}{K} = 8,36 \text{ kN/cm} \quad \rightarrow \quad \text{Megfelel.}$$

## **4.19. Példa**

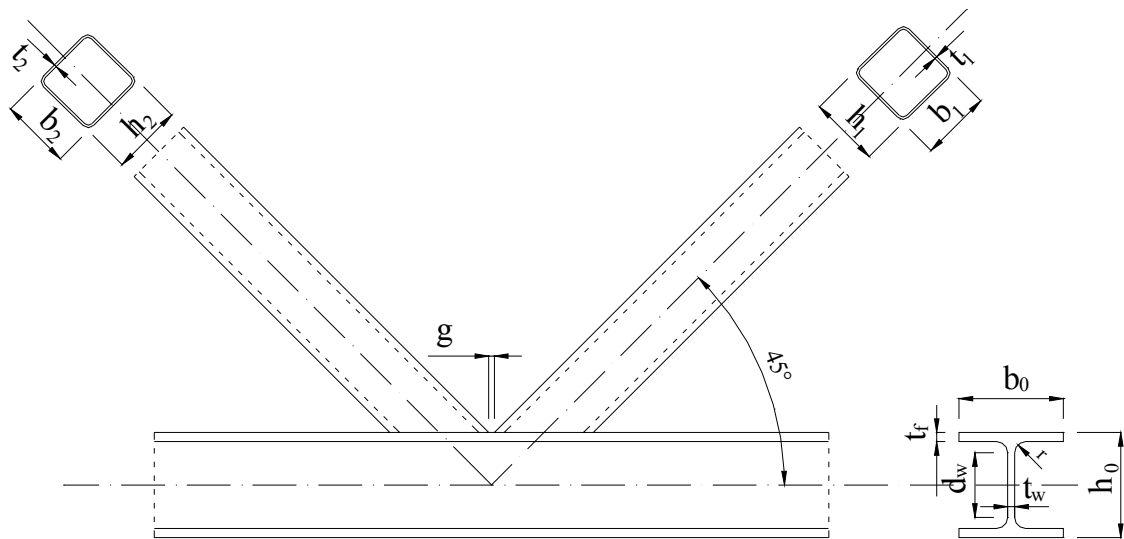
A 4.28. ábra szerinti K csomópont egy rácsos tartó alsó övén van kialakítva. Az övrúd szelvénye HE-AA 120 melegen hengerelt I-szelvény, a rácsrudak 80x80x4-es szelvényűek és 45°-os szögben csatlakoznak az övrúdhoz.

a) Határozzuk meg a K csomópont ellenállását!

b) Ellenőrizzük a rácsrudakat bekötő varratok ellenállását, ha azok  $a = 4 \text{ mm}$  gyökméretű sarokvarratok!

$$\text{Alapanyag: S275} \quad f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2 \quad f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2 \quad \beta_w = 0,85$$

## A csomópont kialakítása:



4.28. ábra: A K csomópont I-szelvényű övrúddal.

övrúd: HE-AA120	nyomott rácsrúd: 80x80x4	húzott rácsrúd: 80x80x4
$b_0 = 120 \text{ mm}$	$b_1 = 80 \text{ mm}$	$b_2 = 80 \text{ mm}$
$t_f = 5,5 \text{ mm}$	$h_1 = 80 \text{ mm}$	$h_2 = 80 \text{ mm}$
$h_0 = 109 \text{ mm}$	$t_1 = 4 \text{ mm}$	$t_2 = 4 \text{ mm}$
$t_w = 4,2 \text{ mm}$		
$r = 12 \text{ mm}$		
$A_0 = 18,6 \text{ cm}^2$		

A rácsrudak bekötése közötti hézag mérete:  $g = 20 \text{ mm}$ .

### a) K csomópont ellenállásának meghatározása, ha az övrúd I-szelvényű

#### A szerkesztési szabályok ellenőrzése:

- övrúd:

$$1. \quad d_w = h_0 - 2t_f - 2r = 109 - 2 \cdot 5,5 - 2 \cdot 12 = 74 \text{ mm} < 400 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

2. A gerinc legalább 2. keresztmetszeti osztályú

$$c_w = h_0 - 2r - 2t_f = 109 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 5,5 = 74 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{74}{4,2} = 17,62 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú  $\rightarrow$  Ok

- nyomott rácsrúd:

$$3. \quad \frac{b_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$4. \quad \frac{h_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$5. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$6. \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

7. Keresztmetszet osztálya:

$$c_f = h_1 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_1 = 80 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_1} = \frac{56}{4} = 14,0 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

Tehát a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú  $\rightarrow$  Ok

- húzott rácsrúd:

$$8. \frac{b_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$9. \frac{h_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$10. \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$11. \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

**Az övrúd gerincének ellenállása:**

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 0,42 \cdot 18,30}{\sin 45 \cdot 1,0} = 298,92 \text{ kN}$$

ahol:

$$b_w = \min \left[ \frac{h_i}{\sin \theta_i} + 5(t_f + r); \quad 2t_i + 10(t_f + r) \right]$$

$$b_w = \min[200,64; 183,0] = 183,0 \text{ mm}$$

**A rácsrúd ellenállása:**

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5} = 2 \cdot 27,5 \cdot 0,4 \cdot 6,67 / 1,0 = 146,74 \text{ kN} \quad (\text{a rácsrúdra ez a mértékadó})$$

ahol:

$$p_{eff} = \min [t_w + 2r + 7t_f f_{y0} / f_{yi}; \quad b_i + h_i - 2t_i]$$

$$p_{eff} = \min[66,7; 152] = 66,7 \text{ mm}$$

**Az öv nyírési ellenállása:**

1. feltétel a rácsrúderőkre:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 8,52}{\sqrt{3} \sin 45 \cdot 1,0} = 191,30 \text{ kN}$$

ahol:



$$A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f$$

$$A_v = 18,6 - (2 - 0,238) \cdot 12,0 \cdot 0,55 + (0,42 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,55 = 8,52 \text{ cm}^2$$

és

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 4 \cdot 20^2 / 3 \cdot 5,5^2}} = 0,238$$

2. feltétel az övrúderőre:

$$N_{0,Rd} = \frac{(A_0 - A_v) f_{y0} + A_v f_{y0} \sqrt{1 - (V_{Ed} / V_{pl,Rd})^2}}{\gamma_{M5}}$$

ahol:

$V_{Ed}$  : a rácsrúderőnek az övrúd tengelyvonalára merőleges komponense:

$$V_{Ed} = S_{1,Ed} \sin 45 = 130 \cdot \sin 45 = 91,92 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{y0}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8,48 \cdot 27,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 134,64 \text{ kN}$$

behelyettesítve:

$$N_{0,Rd} = \frac{(18,6 - 8,48) \cdot 27,5 + 8,48 \cdot 27,5 \sqrt{1 - (91,92 / 134,64)^2}}{1,0} = 448,69 \text{ kN}$$

**Ellenőrzés:**

$$N_{i,Rd} = \min [298,92 \text{ kN}; 146,74 \text{ kN}; 191,30 \text{ kN}]$$

$$N_{i,Rd} = 146,74 \text{ kN} > S_{1,Ed} = 130 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{A rácsrúd megfelel.}$$

$$N_{0,Rd} = 448,69 \text{ kN} > S'_{0,Ed} = 400 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Az övrúd megfelel.}$$

**b) A rácsrudakat bekötő varratok ellenállásának ellenőrzése**

A rácsrúd varratainak vizsgálata megegyezik a 4.18. példa b) részében szereplő vizsgálattal.

## 5. Szerkezetek méretezése

### 5.1. Magasépítési rácsos tartók szerkezeti kialakítása

A rácsos tartókat a legkülönbözőbb funkciójú magasépítési szerkezetekben használjuk nyílások áthidalására. A tervező gyakran hoz döntést arról, hogy egy földem, vagy egy tetőszerkezet fő tartószerkezeti elemeként hengerelt vagy hegesztett tömör szelvényt (más kifejezéssel gerinclemezes tartót, lásd jelen útmutató 5.2. fejezetét), avagy rácsos tartót alkalmazzon-e.

A két szerkezettípus között szilárdságtani szempontból abban van a fő különbség, hogy a tömör gerendák a rájuk ható – hossztengegyükre merőleges vagy közel merőleges - terheket döntően hajlítás és nyírás útján egyensúlyozzák, míg a rácsos tartók rúdjaiban elsődlegesen normálerők (nyomás és húzás) keletkeznek. Ezt az állítást árnyalhatja, ha csavarás is jelen van, illetve ha speciális esetekben egy rácsos tartóban a valójában nem csuklós csomóponti kapcsolatok miatt hajlításból és nyírásból származó másodlagos igénybevételekkel is foglalkozunk.

A teljesség kedvéért meg lehet említeni, hogy gerenda jellegű áthidalásként használhatunk ún. Vierendeel-tartókat is, amely a rácsos tartó olyan „elfajulásaként” is felfogható, amely nem tartalmaz ferde rudakat, és az egymásra merőleges rudak között kifejezetten merev (nyomatékbíró) kapcsolatokat kell kialakítani. A Vierendeel-tartók jellemző hálózatát a két másik tartótípussal együtt az *5.1. ábra* mutatja.

A hagyományos mérnöki szóhasználat különbséget tesz magasépítési (könnyű) és hídépítési (nehéz) rácsos tartók között. Az elhatárolás manapság nem feltétlenül egyszerű, hiszen egy funkciója alapján magasépítésinek minősülő szerkezetet a támaszköz és a terhek nagyságrendje miatt esetleg a hídépítési tartóknál alkalmazott szelvényekkel kell megépíteni. Erre a közelmúltból vehető példa az új Budapest Aréna, amelynek övei nagyméretű H szelvényekből készültek. Lerögzítjük, hogy ennek a tárgynak a keretében néhány tíz méter fesztávolságú, kéttámaszú, tipikusan könnyűnek nevezhető rácsos tartók tervezési és megvalósítási kérdéseivel kívánunk foglalkozni.

Már korábban utaltunk rá, hogy gyakran rácsos tartó és tömör tartó alkalmazása között választ a tervező. Számos szempont létezik, ami a választást befolyásolja, nézzünk ezek közül néhány kézenfekvőt:

- Azonos fesztáv, terhelés, anyagminőség, stb. esetén a rácsos tartó könnyebb, esetenként lényegesen könnyebb, azaz kisebb acélfelhasználású lesz, mint egy tömör szelvényű tartó. Ennek oka az, hogy nincs benne nagy tömegű gerinclemez, és a hajlítás felvételére az anyag túlnyomó része az övekben koncentrálnak.
- Ennek ellentétéként a rácsos tartó általában lényegesen munkaigényesebb, különösen a hengerelt I-szelvényekhez képest, mert sok vágást tartalmaz, és a csomópontok kialakítása sok kézi munkát igényel.
- Általánosságban megfogalmazható, hogy a fesztávolság növekedésével a rácsos tartók egyre gazdaságosabbá, sőt egy határon túl szinte kizárólagossá válhatnak a gerinclemezes tartókhöz képest. Ennek illusztrálására lássuk a hídépítésből vett rekord értékeket, amelyek szerint a világ legnagyobb fesztávolságú tömörgerincű acél gerendahídja a Ponte Costa e Silva közötti híd (300 m nyílás, 1974, Rio de Janeiro, Brazília), míg rácsos szerkezettel a Szent Lőrinc folyó vasúti hídja (549 m, 1917, Québec, Kanada).
- Jelenlegi szemléletünk szerint – hacsak valamilyen funkcionális, esztétikai stb. szempont nem indokolja egyértelműen valamelyik tartótípus alkalmazását – a gazdaságosabb, tehát az anyag- és munkabérből együttesen figyelembe véve kedvezőbb megoldást kell választani.
- Az imént említett funkcionális szempont lehet például, hogy i) a rácsos tartók szerkezeti magassága általában nagyobb, ezért a ki nem használható, de fűtött tér nagyobb lehet, de ii) gépészeti szempontból komplikáltabb épületeknél a rácsrudak közötti sok szabad tér kiváló lehetőséget nyújt a csövek vezetésére.

## Alkalmazás

A rácsos tartókat többféle módon lehet egy építményben alkalmazni. Kerülhet hagyományos, pl. téglafalás épületbe, amikor a vasbeton koszorúhoz célszerű lekötni. Előfordulhat, hogy egy egyébként vasbeton vázas épület tetőszerkezetét alakítják ki acél rácsos tartókkal. Része lehet acél keretszerkezetnek is, amelyben az oszlopokat tömör acélszelvények adják, de az oszlopok is lehetnek rácsosak. Acélszerkezetek térbeli merevségének biztosításában fontos szerep jut az ún. szélrácsoknak (tömör vagy rácsos gerendák között alkalmazzuk őket) és a többnyire függőleges hosszalkötéseknek.

## Hálózati kialakítás

Már a korábbi tanulmányokból is ismert, hogy a rácsos tartókban többféle rúdhálózat alkalmazható. Utalunk a tankönyv [9] 13.1. ábrájára, de több példát mutat be az 5.2. ábra is. Leggyakrabban az ún. szimmetrikus és az oszlopos rácsos fordulat elő. A szimmetrikus rácsosást esztétikai szempontból általában kedvezőbbnek tartják, de elvitathatatlan az oszlopos rácsos Szabadság híd különleges szépsége. A szimmetrikus rácsos tartókat (az első rácsrúd legyen húzott) készítik függőleges elemek (összekötő rudak) nélkül (5.2. a ábra), felül szabad végű (5.2. b ábra) vagy alul szabad végű (5.2. c ábra) összekötő rudakkal. Nincs szükség összekötő rudakra, ha nem indokolt a csomópontok sűrítése, de egy magasépítési tartóban célszerű lehet felül szabad végű összekötő rudak alkalmazása szelemenek alátámasztására, és egyben a tartósíkban való kihajlási hossz csökkentésére. Alul szabad végű összekötő rudakat inkább a hídépítésben használnak (alsópályás rácsos híd).

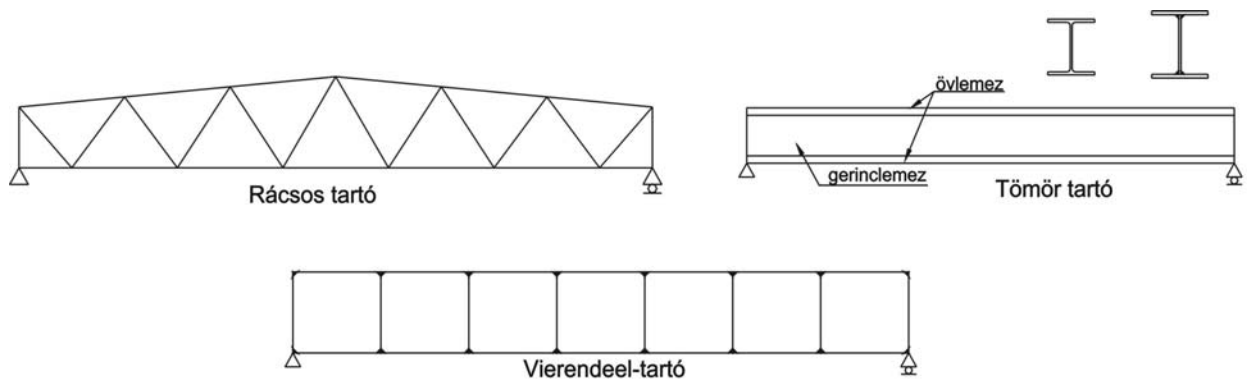
X- és K-rácsos (5.2. d és e ábra) napjainkban tervezett szerkezetekben elsősorban merevítésekben fordul elő. A rombuszos rácsos (5.2. f ábra) ugyancsak ritka, szép hazai példája a dunaföldvári híd. Meredek hajlású tetőknél célszerű lehet a Polonceau-tető (5.2. g ábra) alkalmazása.

## Szelvények

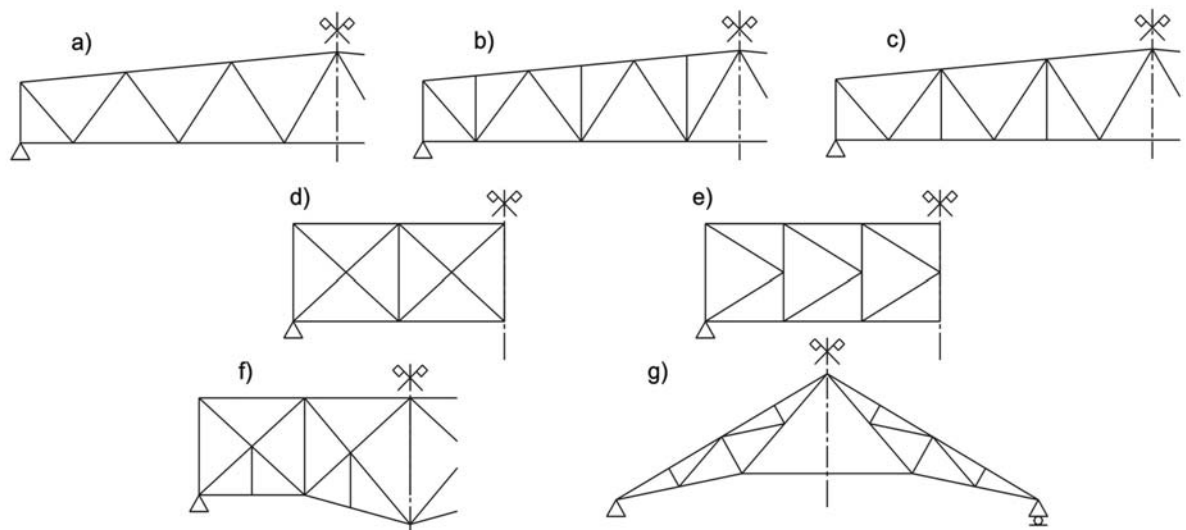
Magasépítési rácsos tartókban sokféle szelvényt lehet alkalmazni, ezekre példákat az 5.3. ábra mutat (lásd még a tankönyv [9] 13.3. ábráját).

A XIX. század végén és a XX. század első felében hazánkban nagyon sok szögecselt rácsos tartó épült ipari épületekben, amelyek nem kis része ma is létező szerkezet. Az ilyen rácsos tartók jellemző öv- és rácsrúd keresztmetszeteit az 5.3. a ábra mutatja, amelyeket természetesen hegesztett rácsos tartókban is lehet alkalmazni. Ezek a rudak ún. osztott szelvényűek, az alkotó részszelvények közötti hevederek maximális távolságát szerkesztési szabályok írják elő, méretezésük során speciális eljárást kell követni. A részszelvények csomólemezes vastagságnyi távolságra (8-12 mm) vannak egymástól, ami mai felfogásunk szerint korrózióvédelmi szempontból nem jó megoldás, hiszen a kis rés miatt az egymásnak háttal lévő szelvények nem vizsgálhatók, és festésük nem újítható fel. Feltétlenül jobbnak kell minősítenünk az ún. kétfalú övet (5.3. b ábra és tankönyv), amelynél a rácsrúd a két szelvény közé futnak be, és a karbantartás egyszerűen megoldható. Ilyen típusú övnél a tervezés során ügyelni kell arra, hogy a azonos távolságot kell tartani a részszelvények között a tartó teljes hossza mentén, és a szokásos tervezési sorrend helyett a rácsrúd tervezésével célszerű először foglalkozni.

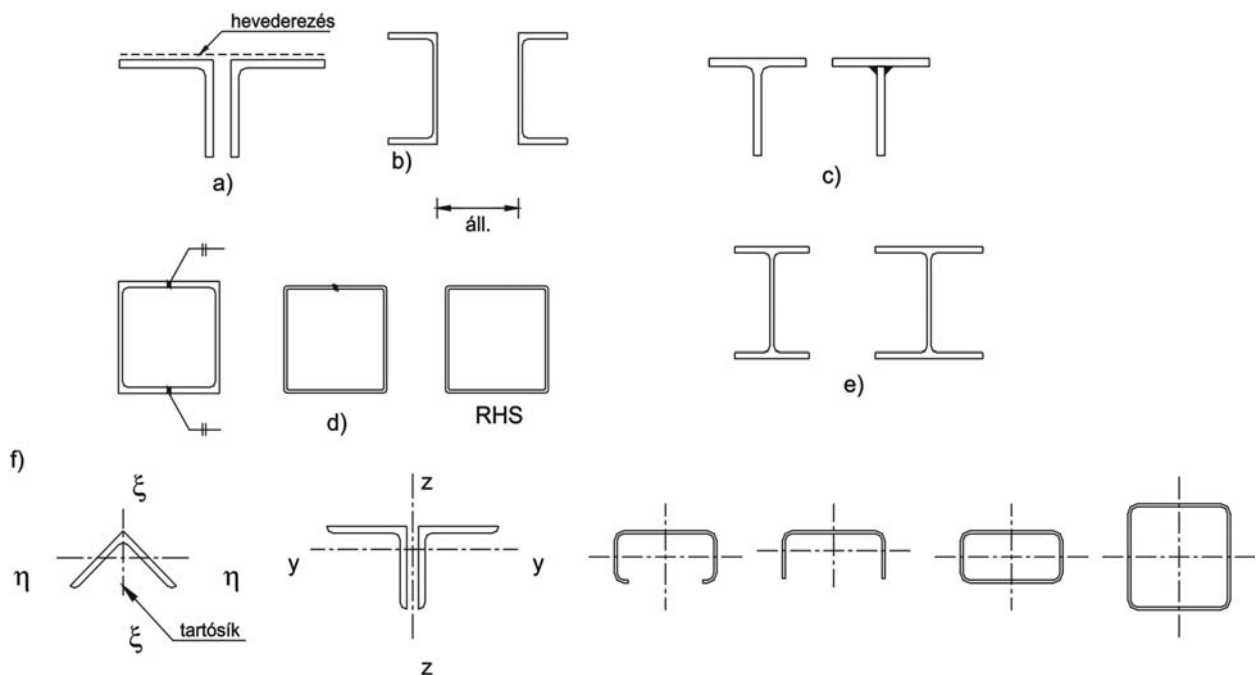
Rácsos tartók öveit célszerűen lehet T szelvényekből is készíteni. A 90-es évek előtt két lemezből összehegesztett szelvény vagy hosszában félbevágott hazai (MSZ 325 szerinti) I-szelvény jöhetett szóba. Megfelelő méretű hengerelt T szelvény ma sem áll rendelkezésünkre, de IPE és H szelvények lánggal való hosszanti elvágásával a korábbiaknál alkalmasabb szelvények adódhatnak (5.3. c ábra).



5.1. ábra: Nyílásáthidalások típusai.



5.2. ábra: Hálózatok.



5.3. ábra: Öv- és rácsrúd szelvények.

HE-B és HE-A (sőt HE-AA) szelvények kombinálásával a rúderök változásához is lehet alkalmazkodni (amennyiben az minden szempontból célszerű megoldást ad). A T szelvények előnye, hogy a gerinc a rúd része, és egyben lehetővé teszi a csomóponti bekötések elkészítését is, legfeljebb a legnagyobb rácsrúderök helyén lehet szükség hozzáhegesztett csomólemezek alkalmazására. Nyomott rudak esetében kétségtelen hátrány, hogy a felülethez viszonyított tehetetlenségi sugár elég kicsi pl. a zárt szelvényekhez képest, ugyanakkor a szelvény kg-ra vetített ára a vágással együtt is kisebb lehet a zárt szelvényekénél. Tervezési szempontból többletmunkát jelent, hogy gondolni kell a térbeli elcsavarodó kihajlás lehetőségére is.

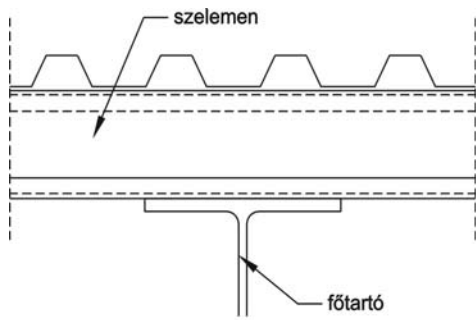
A 90-es évek a zárt szelvények hazai piacán is jelentős változást hoztak. A Dunai Vasmű (később DUNAFERR) addigi zártszelvény-választéka kis méretű szelvényekből állt, és ezekből általában nem lehetett a rácsostartó- öveket kialakítani. Ha zárt szelvényű öveket kívántunk alkalmazni, akkor például két U-szelvényt kellett hosszú varratokkal összehegeszteni. Manapság rendelkezésre állnak az importból származó ún. RHS (rectangular hollow section) szelvények (négyzet és téglalap keresztmetszettel), amelyek nagy méretválasztékot biztosítanak (5.3. d ábra). Ezek a szelvények gyakran hidegen hajlítottak és hegesztettek, de az utólagos hőkezelés nagy lemeztvastagság esetén is kiváló szerkezeti viselkedésüket biztosítja, de készülnek meleg hengerléssel is. Adott esetben mérlegelést érdemelhet az áruk, ami kg-ra vetítve szokványos rúdacélok árának kétszerese körül lehet. Nyomott rudak esetében a felületre vetítve ezek a szelvények adnak optimális tehetetlenségi sugarat. A továbbiakban RHS szelvénynek csak az említett import szelvényeket fogjuk nevezni, noha fogalmilag, alakjuknál fogva a DUNAFERR szelvények is annak lennének nevezhetők.

Viszonylag újabb tendencia, hogy rácsos tartók öveként álló helyzetű IPE vagy H szelvényeket használnak (5.3. e ábra), bár ez elsősorban nagyobb fesztávolságú és/vagy terhelésű tartóknál fordul elő.

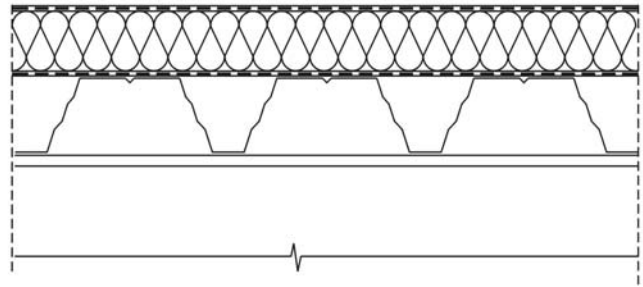
### **A szerkezeti kialakítás elvei**

Fontos kérdés a tartómagasság helyes megválasztása. Meredek hajlású tetőknél a legnagyobb tartómagasság a geometriából adódik, itt következő megfontolásaink elsősorban kis hajlású tetőkre vonatkoznak. A megbízható vízvezetés érdekében teljesen vízszintes felső övvel nem készítünk tetőket: célszerű kb. 3%-os hajlást alkalmazni. Ebben az esetben a többnyire trapézlemez héjazaton van a lépésálló hőszigetelés és a vízszigetelés. Trapézlemez külső héjazatot hőszigetelés nélküli és hőszigetelt kéthéjú tetőnél alkalmaznak: ebben az esetben, különösen ha az egy tetősíkon lévő trapézlemez hosszirányban toldani kell, legalább 6 fokos (kb. 10%-os) hajlást kell választani. A héjazat lehetséges kialakítására az 5.4. ábra mutat példákat.

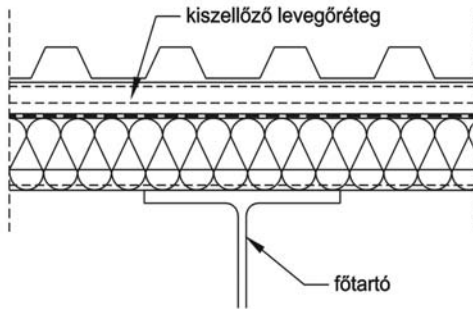
A tartómagasság helyes megválasztása alapvetően befolyásolja az egész tervezési folyamatot. Jelentős többletmunka származna abból, ha a számítás végén az derülne ki, hogy nem tudjuk kielégíteni a méretezési szabványban szereplő korlátot. A javasolható tartómagasság függvénye az anyagminőségnek is, ugyanis azonos tartómagasság és nagyobb szilárdság esetén az övekbe kevesebb anyag kerül, ami csökkenti a tartó tehetetlenségi nyomatékát (rácsos tartónál virtuális fogalom), és így növeli a lehajlást (az acél rugalmassági modulusa független a szilárdságtól). Ha azt akarjuk, hogy a számítás végén ne legyen probléma a lehajlással, kéttámaszú tartóknál S235 acélminőség (37-es szilárdsági csoport) esetén  $L / 18$ , S355 acélminőségénél (52-es szilárdsági csoport) pedig  $L / 15$  körüli tartómagasság felvétele ajánlható. Trapéz alakú rácsos tartóknál nem célszerű a javasolt minimális tartómagassághoz közeli értéket felvenni, ha ez a választás a tartóvégen kedvezőtlenül lapos rácsrudakat eredményezne (optimálisnak a 45 fok körüli hajlású rácsrudakat szoktuk tekinteni). Gondolni kell arra is, hogy a közúti szállítási úrszelvény 2550 mm széles és az útfelülettől mérve 4000 mm magas: amennyiben ezt meghaladó méretű tartót tervezünk, költséges útvonalengedélyt kell beszerezni.



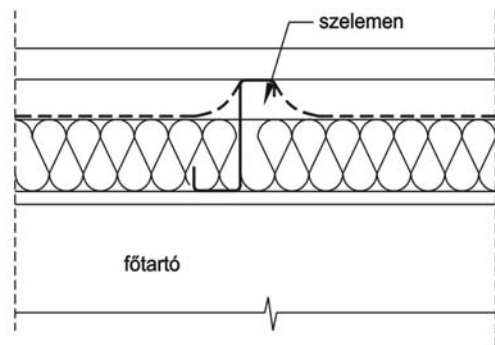
a) Hőszigetelés nélküli tető



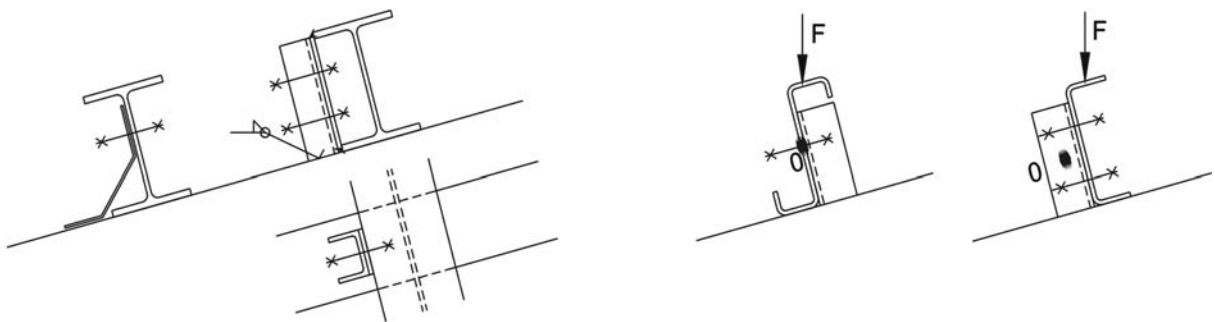
c) Hőszigetelt melegtető



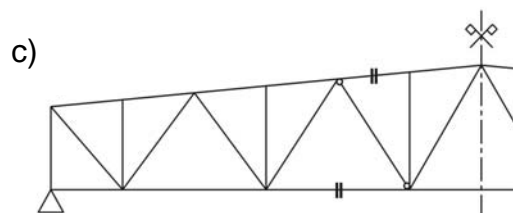
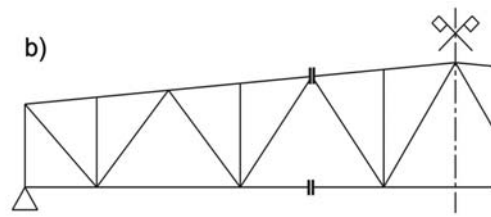
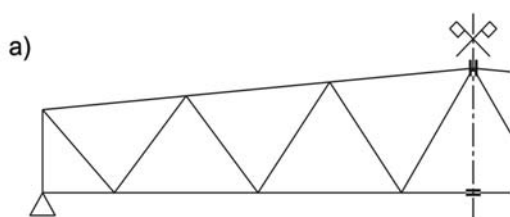
b) Hőszigetelt hidegtető



5.4. ábra: Héjazati megoldások.



5.5. ábra: Szelemenek és leerősítésük.



5.6. ábra: Illesztési helyek.

A tartómagasság felvétele jelentős hatással van a rácsos tartók szelvényezésére. Nagyobb tartómagasság esetén az övekbe kevesebb anyag kerül (kisebb szelvények alkalmazhatók), viszont a rácsrudak hosszabbak lesznek, ami a nagyobb kihajlási hossz miatt a nyomott rácsrudak keresztmetszetét is növeli.

Rácsos tartók hálózatát úgy szokás kialakítani, hogy csomópontjaikon legyenek terhelve. A tetőszerkezetek rácsos főtartóira rendszerint keresztirányban futó gerendák (szelemenek) támaszkodnak, amelyek a héjazat teherhordó elemét (pl. trapézlemez) támasztják alá. Az 5.5. *ábra* néhány szelemen keresztmetszetet és azok rácsos tartóra való rögzítését mutatja (tömör tartóknál hasonló megoldásokat alkalmazunk). A szelvények elhelyezésénél ügyelni kell arra, hogy egy tetőszerkezet esetén a domináns függőleges teher (hóteher) lehetőleg ne, vagy minél kisebb csavarást okozzon. A probléma érzékeltetésére feltüntettük a szelvények csavarási középpontját, amelyhez minél közelebb kell működnie a teher hatásvonalának.

Elvileg nem lehet kizárni azt a lehetőséget sem, hogy nem alkalmazunk szelemeneket, és a rácsos tartóra merőleges szerkezet (pl. magas szelvényű trapézlemez) folyamatosan a rácsos tartó felső övére támaszkodik. Ilyen esetben a méretezéskor természetesen figyelembe kell venni, hogy a felső öv közvetlen hajlítást is kap.

A kéttámaszú rácsos tartók számításakor az egyik tartóvégen fix csuklót, a másikon pedig görgős támaszt szoktunk felvenni. Meg kell mondani, hogy ennek a feltételezésnek tökéletesen megfelelő támaszokat a jelen útmutató körébe tartozó tartóknál általában nem szoktunk kialakítani: a tartóvégek gyakran fixen vannak rögzítve az aljzathoz, ami miatt valós viselkedésük eltérhet a számítottól. Acéloszlopokhoz csatlakozó rácsos tartónál, ha nem akarunk keretszerű működést lehetővé tenni, az alsó öv csatlakozhat vízszintes irányú ovális furattal a bekötőlemezhez. Nagyobb fesztávolságú és terhelésű tartóknál törekedni kell arra, hogy a támaszok lehetőleg a tartó középvonala körül legyenek, és a húzóerő hatására megnyúló öv alakváltozását ne gátoljuk.

Már a tervezés korai stádiumában ügyelni kell arra, hogy a rácsos tartókat hosszmeretükből adódóan gyakran nem lehet egy darabban gyártani és a helyszínre szállítani. Problémákat okozhatnak az üzemi adottságok, a rendelkezésre álló szállító járművek, a szállítási útvonal stb. A helyszíni illesztések helyének és típusának kiválasztása már a vázlattevések készítésekor figyelmet érdemel, mert az illesztések az acélszerkezetek legdrágább részei.

Az 5.6. *ábra* néhány illesztési koncepciót mutat. Az 5.6. *a ábrán* az illesztés középen van, aminek révén a tartó két azonos darabból tehető össze (gyártás szempontjából kedvező megoldás). A felső öv célszerűen homloklemes kötással készülhet, a húzott övben lévő csavaros hevederes kötés viszont a legnagyobb rúderő helyén okoz gyengítést a rúdban. Az 5.6. *b ábrán* feltehetően egy nagyobb nyílású tartónál az illesztés nem középen van, ami viszont azt eredményezi, hogy egy helyett két illesztést alkalmazunk. Az 5.6. *c ábra* egy olyan erőltetett megoldást mutat, amikor egy rácsrúd egyik vége az egyik, a másik pedig egy másik gyártási egységhez tartozik, ami miatt a rácsrúd csak helyszíni kapcsolattal illeszthető be a tartóba.

## 5.2. Tömör gerincű gerendatartó

### 5.2.1. Tömör gerendatartó szerkezeti kialakítása és viselkedése

A gerendatartók általában egyenes tengelyű, két- vagy többtámaszú tartók, leggyakrabban csak a hossz tengelyükre merőleges irányú terheket viselnek. Keresztmetszetük alakja jellegzetesen I-hez hasonlít, melynek gerince tömör kialakítású. A tömör gerendákban az igénybevételek (hajlítónyomaték, nyíróerő, ritkábban csavarónyomaték) hatására normál- és nyírófeszültségek keletkeznek. A feszültségek keresztmetszeten belüli eloszlása alapján a tartó övei veszik fel a hajlítónyomaték legnagyobb részét, míg a nyírás szinte teljes mértékben a gerincre hárul. A tömör tartók keresztmetszeti kialakítása ennek felel meg, a gerinclemezek általában vékonyabb, az övek erőteljesebbek, vastagabbak. A továbbiakban azt a szerkezeti elemet tekintjük gerendának, amelyben normálerő egyáltalán nem működik, vagy hatása elhanyagolható mértékű.

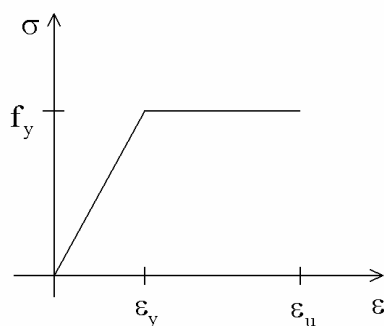
A legegyszerűbb gerendatartót a kereskedelemben beszerezhető késztermékekből (melegen hengerelt vagy hidegen alakított profilacélok) kiválasztott egy darab szelvény beépítésével alakíthatjuk ki. Acéllemezekből is összeállíthatunk I-keresztmetszetet, ekkor összetett szelvényű (más szóval gerinclemezes) tartóról beszélünk. Az alkotólemezek összekapcsolására régebben szegecselést használtak, ma kizárólag hegesztéssel állítják össze a tartókat.

A tömör gerincű tartók szerkezeti kialakításával, típusaival, előnyeivel és hátrányaival a tankönyv [9] 11. fejezete foglalkozik részletesen.

### Tömör tartó tönkremeneteli folyamata

A tömör gerendák tönkremeneteli folyamatát kétnyílású, a nyílásközepeken azonos nagyságú koncentrált erővel terhelt gerenda példáján vizsgáljuk meg (5.9. ábra). A terhelő  $F_d$  erőket egy alacsony kezdeti értékről fokozatosan növeljük, és közben megfigyeljük a tartó viselkedését.

A gerenda keresztmetszete legyen kétszeresen szimmetrikus I-szelvény. A keresztmetszet besorolása 1. osztályú, és kellő képlékeny alakváltozóképeséggel rendelkezik. A tartó kifordulását oldalirányú megtámasztások gátolják meg, a horpadási jelenségeket pedig merevítésekkel küszöböltük ki. Feltételezzük, hogy a nyírás nem befolyásolja a tartó hajlítási teherbírását, így most csak a hajlítással foglalkozunk. A tartó anyagát ideálisan rugalmas-képlékenynek tekintjük, a  $\sigma - \varepsilon$  diagramot az 5.7. ábra mutatja. A vizsgálat során a tényleges tönkremeneteli folyamatot vizsgáljuk, a fizikailag elérhető teherbírást kívánjuk tekintetbe venni, tehát nem használjuk az anyagi ellenállás oldalán előírt  $\gamma_{M0}$  biztonsági tényezőt.



5.7. ábra:  $\sigma$ - $\varepsilon$  diagram.

A gerenda igénybevételei az 5.9.a ábra szerint alakulnak, a nyomatékok:

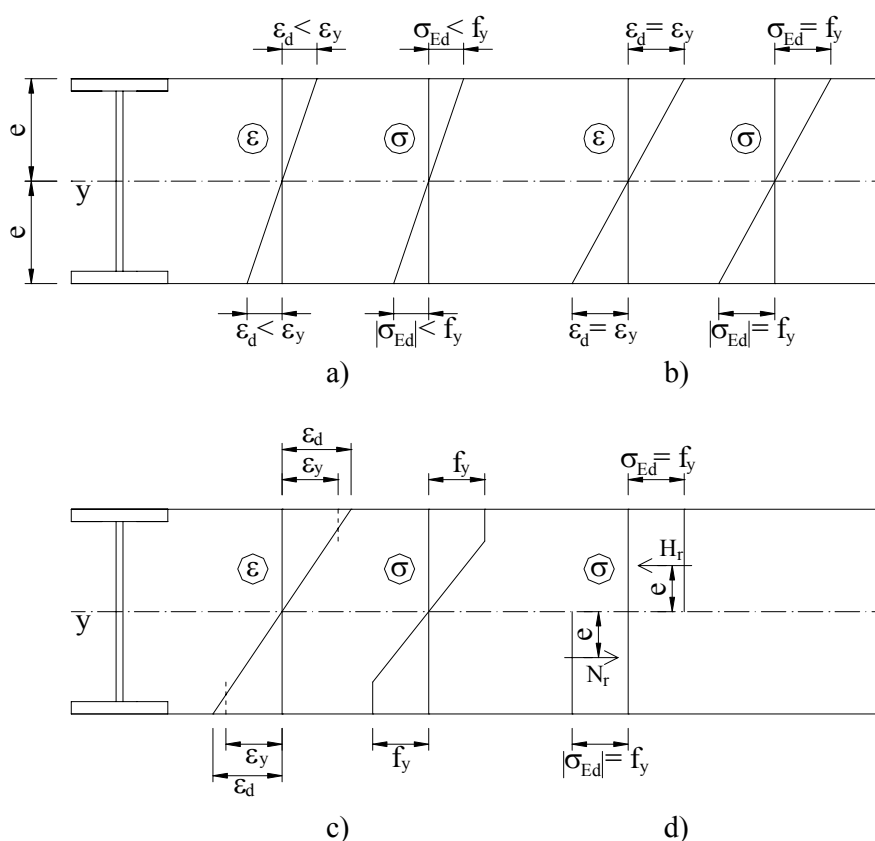
$$\begin{aligned} M_{1d} &= 0,156 \cdot F_d \cdot L \\ M_{2d} &= -0,188 \cdot F_d \cdot L \end{aligned} \quad (5.2.1)$$



A legnagyobb igénybevétel a támaszkeresztmetszetben lép fel. A tartó vizsgált keresztmetszetében létrejövő  $\varepsilon_d$  megnyúlások mindenütt a folyáshoz tartó  $\varepsilon_y$  érték alattiak, a  $\sigma_{Ed}$  feszültségek ennek megfelelően mindenütt kisebbek, mint  $f_y$  (5.8. a ábra). A feszültségek rugalmas elven számíthatók, a legnagyobb normálfeszültség a szélső szálban ébred:

$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{2d}}{W_{el,y}} \quad \text{ahol} \quad W_{el,y} = \frac{I_y}{e} \quad (5.2.2)$$

A teher növelésével (5.9. b ábra) a támasz feletti  $M_{2d}$  nyomaték nő, a legnagyobb  $\varepsilon_d$  nyúlások elérik az  $\varepsilon_y$  értékét, azaz a támasz feletti keresztmetszet szélső szálaiban a  $\sigma_{Ed}$  normálfeszültség eléri a folyáshatárt (5.8. b ábra).



5.8. ábra: Tömörtartó tönkremeneteli folyamata – alakváltozások és feszültségek.

Ez az *első folyás határállapota*, ami a *rugalmas méretezés* határa. Ekkor mind az igénybevételeket, mind az ellenállást rugalmas alapon számoljuk:

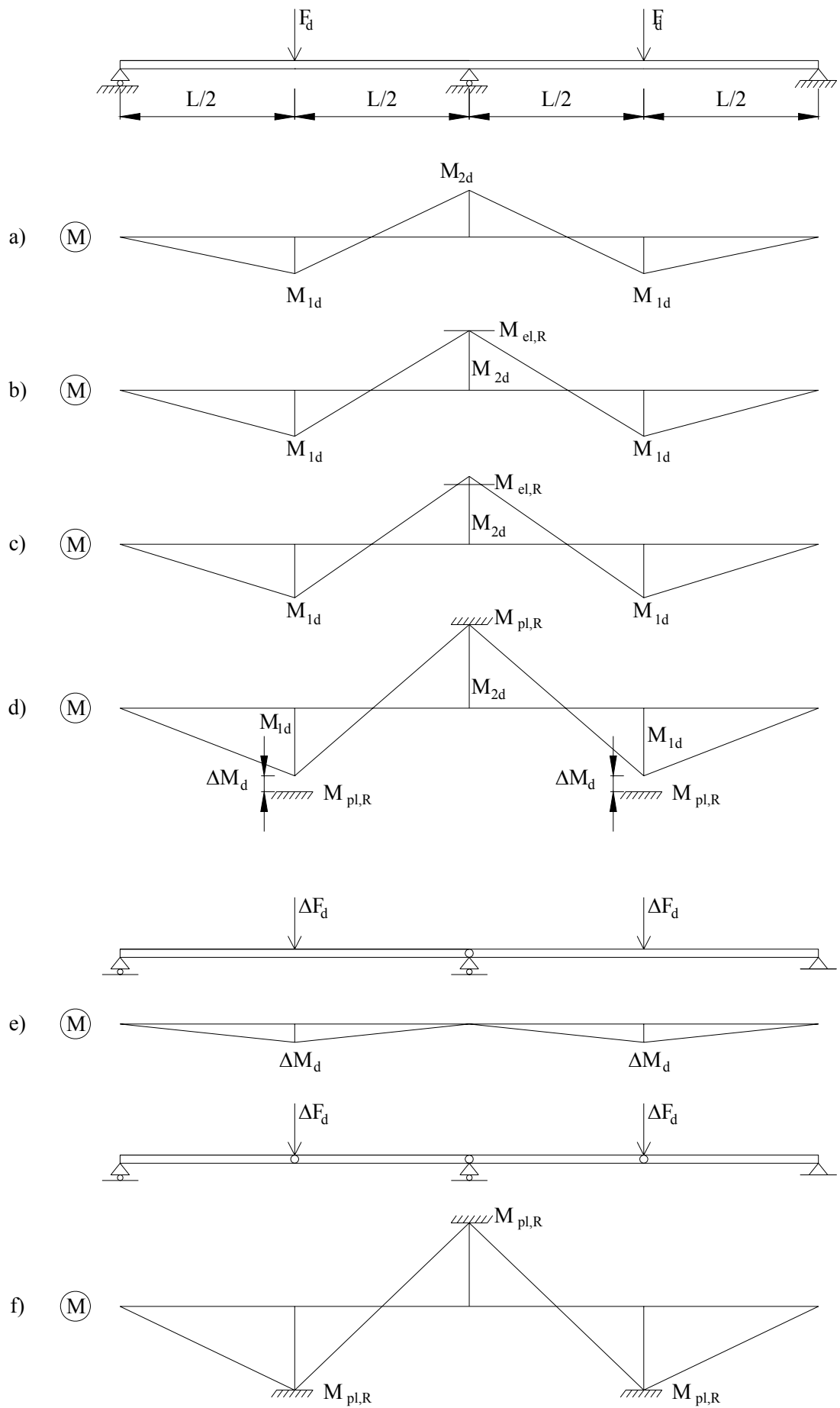
$$\sigma_{Ed} = \frac{M_{2d}}{W_{el,y}} = f_y \quad (5.2.3)$$

amiből kiszámítható a keresztmetszet rugalmas ellenállása:

$$M_{el,R} = W_{el,y} \cdot f_y \quad (5.2.4)$$

és a tartó rugalmas teherbírása is:

$$F_{el,R} = \frac{M_{el,R}}{0,188 \cdot L} \quad (5.2.5)$$



5.9. ábra: Tömörtartó tönkremeneteli folyamata – igénybevételek.

Ha a teher tovább nő (5.9. c ábra), akkor a támaszkeresztmetszetben a szélső szálakban az  $\varepsilon_d$  nyúlás meghaladja az  $\varepsilon_y$ -t, míg a keresztmetszet középső részén alatta marad. A  $\sigma_{Ed}$  feszültségek azonban az 5.7. ábra értelmében sehol nem lépik túl az  $f_y$ -t (5.8. c ábra). A keresztmetszet elfordulása tovább nő, mindaddig, amíg a keresztmetszet teljesen képlékennyé válik (5.8. d ábra), a felső félszelvényben  $f_y$  nagyságú húzó-, míg az alsó félszelvényben ugyanakkora nyomófeszültség van jelen. Az egyensúlyi feltételekből meghatározható a *keresztmetszet képlékeny ellenállása*:

$$N_r = -H_r = \frac{A}{2} \cdot f_y \quad (5.2.6)$$

illetve

$$M_{pl,R} = N_r \cdot e + H_r \cdot (-e) = 2 \cdot N_r \cdot e = 2 \cdot f_y \cdot \frac{A}{2} \cdot e = f_y \cdot 2 \cdot S_0 = W_{pl,y} \cdot f_y \quad (5.2.7)$$

ahol a  $W_{el,y}$  rugalmas keresztmetszeti modulushoz hasonlóan bevezettük a  $W_{pl,y}$  képlékeny keresztmetszeti modulus fogalmát, ami a keresztmetszeti terület felét kitevő szelvényrésznek a semleges tengelyre vett statikai nyomatéka kétszeresével egyenlő (5.10. ábra).

$$W_{pl,y} = 2 \cdot S_0 \quad (5.2.8)$$

A tartó igénybevételeit rugalmas alapon határoztuk meg, az ellenállás számításakor kihasználtuk a keresztmetszet képlékeny (többlet)teherbírását, a tartó rugalmas-képlékeny állapotban van. A legjobban igénybevett keresztmetszet teljesen képlékennyé válik, és kialakul a tartóban az első *képlékeny csukló*. A *tartó képlékeny teherbírása* az első képlékeny csukló kialakulásakor:

$$F_{pl,R_1} = \frac{M_{pl,R}}{0,188 \cdot L} \quad (5.2.9)$$

Kérdéses, hogy elértük-e már a tartó teljes tönkremenetelét?

A támasz feletti keresztmetszetben  $M_{pl,R}$  nagyságú nyomaték ébred, a mezők közepén ennél  $\Delta M_d$  értékkel kisebb (5.9. d ábra). A tartó statikai váza a támasz felett keletkezett képlékeny csuklóval átalakul két darab kéttámaszú tartóvá (5.9. e ábra), amelyek ezután egymástól függetlenül működnek. Mindaddig képesek további  $\Delta F_d$  terhek felvételére, amíg a  $\Delta F_d$  teherből keletkező nyomaték eléri a  $\Delta M_d$  értékét.

$$\Delta F_d = \frac{4 \cdot \Delta M_d}{L} \quad (5.2.10)$$

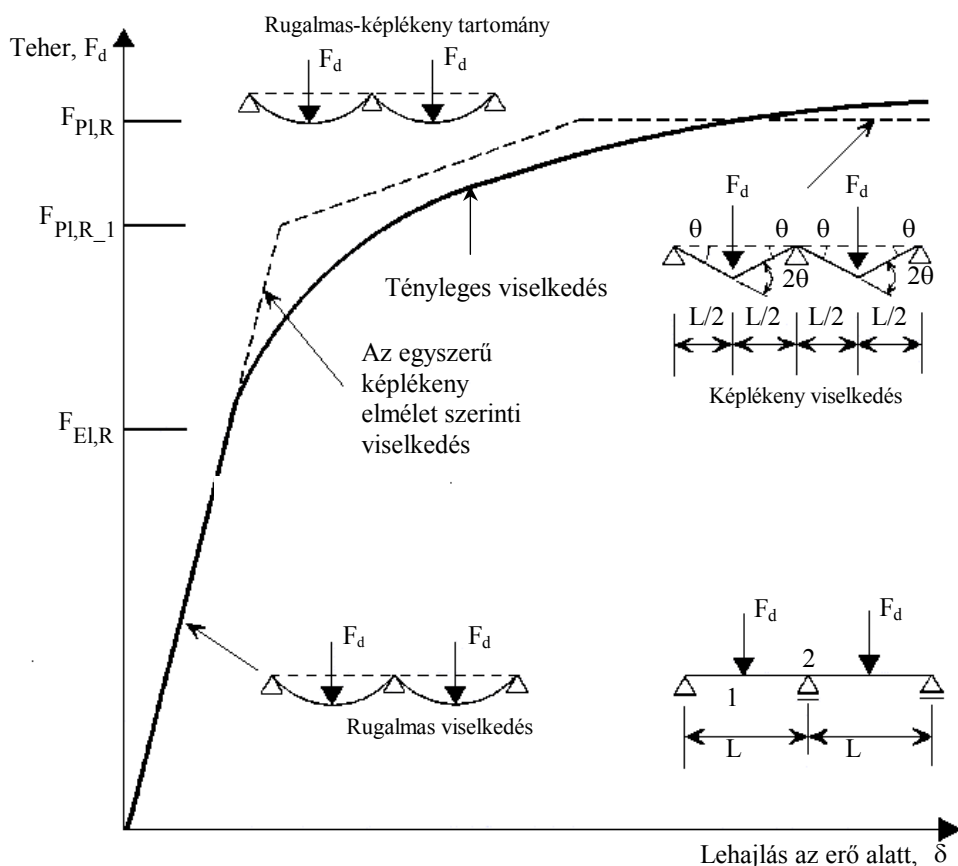
Ekkor a nyílások közepén is kialakulnak a képlékeny csuklók, a tartó ún. *folyási mechanizmussá* alakul (5.9. f ábra), további terhek felvételére képtelenné válik. Ekkor érjük el a *tartó teljes képlékeny teherbírását*, ami magába foglalja a keresztmetszetek képlékeny ellenállásának valamint a tartó képlékeny tartalékainak kihasználását is:

$$F_{pl,R} = F_{pl,R_1} + \Delta F_d \quad (5.2.11)$$

A tartó 5.9. f ábrán látható képlékeny igénybevételei ábráját közvetlenül, *képlékeny globális analízissel* is meg lehet határozni, ennek részleteit mellőzzük.

A tartó tönkremeneteli folyamatát jól jellemzi az erő alatti lehajlások alakulása (5.10. ábra). A kezdeti rugalmas viselkedés során a terheléssel arányosan növekszenek a lehajlások, amíg az első folyás határállapotához nem érkezzük. A keresztmetszet képlékennyé válásának során folyamatosan csökken a merevség. Az első képlékeny csukló kialakulása után, a rugalmas-képlékeny zónában egy kisebb merevséggel, de ismét közel lineárisak a lehajlások. A mezők

közepén kialakuló képlékeny csuklók a teherbírás kimerülését jelentik, a lehajlások a tartó képlékeny viselkedési tartományában elvileg további teher nélkül a törésig nőnek. A „valódi” tartó képlékeny viselkedése a felkeményedés hatása miatt eltérő.



5.10. ábra: A tartó lehajlása az erő alatt [SSEDTA nyomán].

Példánk alapján megállapítható, hogy a tartó *rugalmas méretezése*, amely az igénybevételek rugalmas módon történő meghatározása után, a rugalmas keresztmetszeti ellenállás és rugalmas teherbírás kiszámításával történik, a legalacsonyabb teherbírási határértéket szolgáltatja. A keresztmetszet képlékeny ellenállásának kihasználása – amit általában *képlékeny méretezésnek* hívunk – szokványos kétszeresen szimmetrikus I-szelvények esetében általában 10-15% körüli teherbírási többletet eredményez. Statikailag határozott tartóknál a keresztmetszet képlékeny ellenállásának elérése egyben a tartó képlékeny határteherbírásának elérését is jelenti. Statikailag határozatlan tartók esetén további teherbírasi többlet juthatunk a szerkezet képlékeny többletteherbírásának bevonásával, amihez már az igénybevételeket is képlékeny eljárással kell kiszámítanunk. Ennek a *képlékeny analízisnek* az alkalmazását a szabályzatok csak speciális esetekben és további szigorú feltételek betartásával engedik meg.

Az Eurocode szabvány szerinti méretezési folyamat részleteit jelen útmutató 3. fejezete tartalmazza.

### 5.2.2. Melegen hengerelt gerendatartó

A melegen hengerelt termékek választékából gerendatartók számára a legalkalmasabbak az IPE szelvények, szükség esetén (nagyobb igénybevételek ill. kis magasság igénye) használhatók a HEA profilok, az ennél vastagabb övű szelvények (HEB, HEM) már kevésbé gazdaságosak. A melegen hengerelt szelvények keresztmetszetét általában úgy alakították ki, hogy hajlításra első vagy második, nagyon ritkán (magasabb szilárdsági csoportú HEA profilok közül néhány) harmadik keresztmetszeti osztályúak legyenek. A gerincük vastagsága is általában elegendő ahhoz, hogy merevítések nélkül is beépíthetők legyenek. Mindezen tulajdonságaik miatt keresztmetszeti méretezésüknél a hajlítási teherbírás vizsgálata szokott a mértékadó lenni.

Tervezési feladat esetén a gerenda szelvényének felvételét egyszerűen a legnagyobb igénybevétel helyén szükséges keresztmetszeti modulus kiszámítása, majd a profiltáblázatban egy legalább ekkora keresztmetszeti modulusú profil kiválasztása útján végezhetjük el. Ezután következhet a kiválasztott szelvény részletes ellenőrzése.

A melegen hengerelt szelvényekből készült gerendatartók lehajlásainak ellenőrzését minden esetben el kell végezni. Többtámaszú szerkezeti kialakítás esetén gyakran előfordul, hogy az alakváltozási határállapot lesz a méretezés szempontjából mértékadó.

Az alábbi mintapéldáknál feltételezzük, hogy a gerendatartók nyomott öve oldalirányban kellő sűrűen meg van támasztva, tehát stabilitási tönkremenetellel nem kell számolnunk.

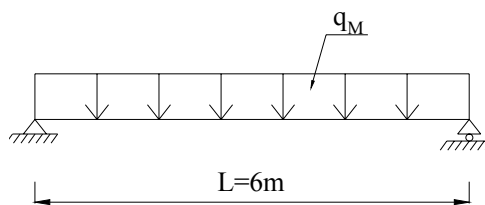
### 5.1 Példa

Vizsgáljuk meg egy földem acélszerkezetű gerendáját! A gerenda kéttámaszú tartó (5.11. ábra), egyenletesen megoszló terheléssel terhelve, támaszköze 6 méter. A tartó anyagának minősége S235, profilja IPE 270 (5.12. ábra).

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 1,0$

Terhek:  $g_k = 4,0 \text{ kN/m}$   $\gamma_g = 1,35$  (állandó teher)

$q_k = 10,0 \text{ kN/m}$   $\gamma_Q = 1,5$  (hasznos teher)



5.11. ábra: Kéttámaszú földem gerenda.

#### Mértékadó teherkombináció:

A terhek tervezési értéke:

$$q_d = g_k \cdot \gamma_g + q_k \cdot \gamma_Q = 4,0 \cdot 1,35 + 10,0 \cdot 1,5 = 20,4 \text{ kN/m}$$

A terhek alapértéke:

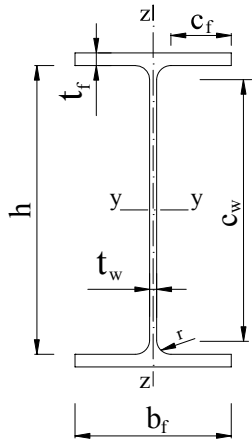
$$q_{d,SLS} = g_k + q_k = 4,0 + 10,0 = 14,0 \text{ kN/m}$$

**A nyomaték és nyíróerő tervezési értéke:**

$$M_{Ed} = \frac{q_d \cdot L^2}{8} = \frac{20,4 \cdot 6^2}{8} = 91,8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{q_d \cdot L}{2} = \frac{20,4 \cdot 6}{2} = 61,2 \text{ kNm}$$

**Keresztmetszeti adatok: IPE 270 (táblázatból)**



$$b_f = 135 \text{ mm} \quad t_f = 10,2 \text{ mm}$$

$$h = 270 \text{ mm} \quad t_w = 6,6 \text{ mm}$$

$$r = 15 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 484 \text{ cm}^3$$

$$A_{v,z} = 22,14 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 5789,8 \text{ cm}^4$$

5.12. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályba sorolása:**

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{135}{2} - 15 - \frac{6,6}{2} = 49,2 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{49,2}{10,2} = 4,82 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 270 - 2 \cdot 15 - 2 \cdot 10,2 = 219,6 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{219,6}{6,6} = 33,27 < 72 \cdot \varepsilon = 72$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

**Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése hajlításra:**

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 23,5}{1,0} = 11374 \text{ kNcm} = 113,74 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{91,8}{113,74} = 0,807 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése nyírásra:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{22,14 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3}}}{1,0} = 300,39 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{61,2}{300,39} = 0,204 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Hajlítás és nyírás interakciójának ellenőrzése:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,204 < 0,5 \rightarrow \text{a nyírás és hajlítás interakcióját nem kell figyelembe venni.}$$

### Használhatósági határállapot ellenőrzése:

(a lehajlási határértékeket a [4] 7.2. táblázatból átvéve)

- lehajlás a hasznos teherből:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10 \cdot 600^4 \cdot 10^{-2}}{21000 \cdot 5789,8} = 1,39 \text{ cm} < \frac{L}{300} = 2 \text{ cm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

- lehajlás a teljes terhelésből:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^{-2}}{21000 \cdot 5789,8} = 1,94 \text{ cm} < \frac{L}{250} = 2,4 \text{ cm} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

## 5.2. Példa

Tervezzük meg az előző feladat szerinti gerendát S355 anyagminőségű IPE szelvényből!

Alapanyag: S355  $f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$   $f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 0,81$

**Mértékadó igénybevételek:** (lsd. az előző példát)

$$M_{Ed} = 91,8 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 61,2 \text{ kNm}$$

### Szükséges keresztmetszeti modulus:

Melegen hengerelt szelvényt alkalmazunk, így feltételezhetjük, hogy a szelvény legalább 2. keresztmetszeti osztályú, vagyis a keresztmetszet nyomatéki ellenállása képlékeny módszerrel számítható.

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

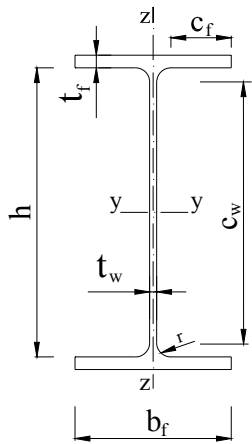
A szükséges keresztmetszeti modulus a  $M_{Ed} \leq M_{c,Rd}$  feltételből kapjuk.

$$W_{pl,y,szüks} = \frac{M_{Ed}}{f_y} \cdot \gamma_{M0} = \frac{91,8 \cdot 100}{35,5} \cdot 1,0 = 258,59 \text{ cm}^3$$

Alkalmazott szelvény:

$$\text{IPE 220} \quad \text{mert } W_{pl,y} = 285,41 \text{ cm}^3 > W_{pl,y,szüks} = 258,59 \text{ cm}^3$$

**Keresztmetszeti adatok: IPE 220**



$$b_f = 110 \text{ mm} \quad t_f = 9,2 \text{ mm}$$

$$h = 220 \text{ mm} \quad t_w = 5,9 \text{ mm}$$

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

$$W_{pl,y} = 285,4 \text{ cm}^3$$

$$A_{v,z} = 15,88 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 2772 \text{ cm}^4$$

5.13. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

**A keresztmetszet osztályba sorolása:**

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - r - \frac{t_w}{2} = \frac{110}{2} - 12 - \frac{5,9}{2} = 40,05 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{40,05}{9,2} = 4,35 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú

Gerinc:

$$c_w = h - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 220 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 9,2 = 177,6 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{177,6}{5,9} = 30,1 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályba sorolandó.

**Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése hajlításra:**

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{285,4 \cdot 35,5}{1,0} = 10132 \text{ kNcm} = 101,32 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{91,8}{101,32} = 0,906 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

**Keresztmetszet teherbírásának ellenőrzése nyírásra:**

$$V_{c,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}}{\gamma_{M0}} = \frac{15,88 \cdot \frac{35,5}{\sqrt{3}}}{1,0} = 325,48 \text{ kN}$$



$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{61,2}{325,48} = 0,188 < 1,0 \rightarrow \text{Megfelel.}$$

### Hajlítás és nyírás interakciójának ellenőrzése:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = 0,188 < 0,5 \rightarrow \text{a nyírás és hajlítás interakcióját nem kell figyelembe venni.}$$

### Használhatósági határállapot ellenőrzése:

(a lehajlási határértékeket a [4] 7.2. táblázatból átvéve)

- lehajlás a hasznos teherből:

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{10 \cdot 600^4 \cdot 10^{-2}}{21000 \cdot 2772} = 2,9 \text{ cm} > \frac{L}{300} = 2 \text{ cm} \rightarrow \text{Nem felel meg.}$$

- lehajlás a teljes terhelésből:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^{-2}}{21000 \cdot 2772} = 4,06 \text{ cm} > \frac{L}{250} = 2,4 \text{ cm} \rightarrow \text{Nem felel meg.}$$

### Szelvényfelvétel a lehajlási feltétel alapján:

$$I_{y,szüks} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{d,SLS} \cdot L^4}{E \cdot \delta} = \frac{5}{384} \cdot \frac{14 \cdot 600^4 \cdot 10^{-2}}{21000 \cdot 2,4} = 4687,5 \text{ cm}^4$$

IPE 270 választandó, mert  $I_y = 5790 \text{ cm}^4 > I_{y,szüks} = 4687,5 \text{ cm}^4$  !

Az S355-ös minőségű IPE 270 szelvény ellenőrzése a 5.1. példa szerint elvégezhető.

### 5.2.3. Hegesztett gerendatartó

Hegesztett kivitelű tömör tartóknál lehetőségünk van a keresztmetszetet mindenütt a tartó erőjátékát és igénybevételeit messzemenően figyelembe véve kialakítani. Az övlemezek elsősorban a hajlítónyomatékot, míg a gerinclemez a nyíróerőket veszi fel, ennek megfelelően vékony, magas gerincet és erőteljesebb öveket használunk.

A tartó magasságának megválasztása alapvető fontosságú mind a teherbírási, mind a használhatósági határállapot szempontjából. A tartó magasságának növelése hatékonyan növeli a teherbírást és csökkenti a lehajlást, ugyanakkor nagyobb helyigényű szerkezetet eredményez. A javasolható tartómagasság függ az anyagminőségtől is, nagyobb szilárdságú acélfajta alkalmazása csökkenti a szelvény méreteit, ami végső soron nagyobb lehajlásokat eredményez. A rácsos tartóknál az 5.1.1 pontban leírt megfontolások a hegesztett gerendatartónál is alkalmazandók. Magasépítési tartóknál, kéttámaszú kialakítás esetén az L támaszköz 1/15-e és 1/20-a közötti gerincmagasság felvétele ajánlható. Keretszerkezeteknél L/25 és L/40 közötti tartómagasság lehet megfelelő. Természetesen fenti értékek csak irányadónak tekinthetők, S235 anyagminőség és viszonylag kisebb teher esetén az alacsonyabb gerincmagasság, nagyobb terhelés és magasabb szilárdságú acélfajta esetén a magasabb szelvény lehet lehajlásra is megfelelő.

Mind a gerincvastagság, mind az övlemez méreteinek felvételét a lemezhorpadás jelentősen befolyásolja. Hegesztett tartóknál a felhasznált anyag mennyiségének minimalizálására – és ezzel alacsony önsúlyra – törekedve vékony lemezeket igyekszünk alkalmazni. A korróziós veszély miatt általában 6 mm-nél, horganyzott szerkezetekben esetleg 4-5 mm-nél vékonyabb lemezeket nem szoktunk használni. A lemezvastagság viszont a lemezhorpadáson keresztül meghatározza a keresztmetszet besorolását. Magasépítési tartókhoz célszerű legalább a 3. keresztmetszeti osztályba sorolható szelvényt kialakítani, hacsak nincsenek extrém igények az önsúlycsökkentésre. (Más mérnöki szerkezetek, pl. hidak, vékonyfalú tartók stb. esetében gyakran használunk 4. osztályú szelvényeket is). Az alábbi táblázat (5.1 táblázat) segítségével gyorsan ellenőrizhetők szelvényünk méretei. A táblázat a besorolási határokat mutatja az öv-és gerinclemezeken esetén a három acélminőségre.

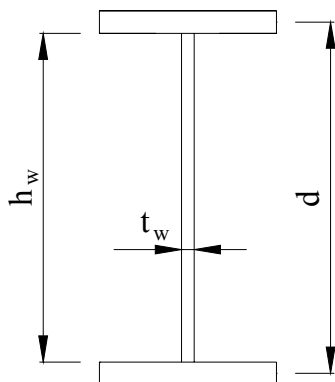
		Határérték	S235	S275	S355
			$\epsilon=1,00$	$\epsilon=0,92$	$\epsilon=0,81$
övlemezek $\frac{c_f}{t_f}$	1. km. osztály	9 $\epsilon$	9	8,28	7,29
	2. km. osztály	10 $\epsilon$	10	9,20	8,10
	3. km. osztály	14 $\epsilon$	14	12,88	11,34
gerinclemez $\frac{c_w}{t_w}$	1. km. osztály	72 $\epsilon$	72	66,24	58,32
	2. km. osztály	83 $\epsilon$	83	76,36	67,23
	3. km. osztály	124 $\epsilon$	124	114,08	100,44

5.1 táblázat: Keresztmetszeti osztályok határai.

A tartómagasság felvétele után a gerinclemez vastagságának megállapítása következhet, a táblázat segítségével. Természetesen csak olyan lemezvastagságokat alkalmazhatunk, amelyeket gyártanak is. Különösen nagy nyíróerők esetén javasolt a gerincméretek gyors ellenőrzése pl. a képlékeny nyírásvizsgálat elvégzésével.

Az övlemez méreteinek felvételét a horpadás mellett teherbírási és szerkezeti szempontok is befolyásolják. Teherbírási feltételből az alábbi egyszerű közelítő számítás alapján kiszámíthatjuk

egy övlemez szükséges területét ( $A_{\text{öv}}$ ). Tekintsünk egy kétszeresen szimmetrikus I-szelvényt, melynek gerincvastagságát ( $t_w$ ) és gerincmagasságát ( $h_w$ ) ismerjük (5.14. ábra).



5.14. ábra: I-szelvény.

Az övlemezek vastagságát felvéve megkaphatjuk az övek középvonalának távolságát ( $d$ ) (vagy további egyszerűsítésként  $d = h_w$  is vehető). Ha a méretezési nyomaték ( $M_{Ed}$ ) ismert, akkor a szelvény szükséges keresztmetszeti modulusa meghatározható:

$$W_{szüks} = \frac{M_{Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \quad (5.2.20)$$

A keresztmetszeti modulus a gerincre és az övre jutó részből tehető össze, amiből a gerincre jutó rész ismert.

Gerinc, rugalmas méretezés esetén 
$$W_{ger} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{6} \quad (5.2.21)$$

Gerinc, képlékeny méretezés esetén 
$$W_{ger} = \frac{t_w \cdot h_w^2}{4} \quad (5.2.22)$$

Öv, mindkét esetben 
$$W_{öv} = A_{öv} \cdot d \quad (5.2.23)$$

Az öv szükséges „hozzájárulása” és ebből a szükséges övterület számítható:

$$A_{öv} = \frac{W_{szüks} - W_{ger}}{d} \quad (5.2.24)$$

Az övlemez vastagságát a gyártható lemezmeretek közül kell kiválasztani. Hegesztési szempontok miatt nem célszerű a gerincvastagság 3-szorosát meghaladó övvastagságot választani. 40 mm-nél vastagabb lemezek alkalmazása esetén speciális számítási szabályok lépnek életbe (pl.  $f_y$  és  $f_u$  csökkenhet, más kihajlási görbék stb.). Nagyon vastag (80-100 mm) övlemezeket csak speciális felkészültségű gyártók képesek elkészíteni, különleges minőségű acél szükséges hozzá. Mindezen szempontok nem túl vastag övlemezt kívánnak.

Az övlemezt célszerű a lehetőségek szerint szélesre kialakítani. Egyrészt a tartó kisebbik tengelyre vett inerciája így lesz a legnagyobb, ami az oldalirányú stabilitást (kihajlás, kifordulás) kedvezően befolyásolja. Másrészt a gerinclemezes tartókban a gyárthatóság és szállíthatóság szempontjait érvényesítve 12-14 m hossz felett helyszíni illesztéseket kell kialakítani, amelyet általában csavarozva oldunk meg. Az övlemez csavarjainak elhelyezéséhez szintén szélesebb lemezre van szükség. Ha lehetőségeink engedik, akkor az övben 4 csavarsort tegyünk egy keresztmetszetbe, így rövidebb kapcsolatot készíthetünk.

Láthatjuk, hogy sok, részben egymásnak is ellentmondó szempont szerint kell a hegesztett tartó szelvényét kialakítani. Az is lehetséges, hogy a felvett szelvény a későbbiekben valamilyen vizsgálatra nem felel meg. Ennek elkerülésére célszerű a szelvényfelvétel során néhány gyors vizsgálatot kontrollálni a felvett méreteket. Ezek közé tartozik a tartó lehajlásának azonnali ellenőrzése is, amely különösen magasabb szilárdságú acéloknál lehet mértékadó, és megkövetelheti a szelvény átalakítását.

A hegesztett tartók egyik legfontosabb előnye az igénybevételekhez illeszkedő keresztmetszeti kialakítás lehetősége. A tartó teherbírását az igénybevételek változásához illeszteni változó keresztmetszettel lehet. Magasépítési gerendatartóknál a tartómagasság változtatása nem célszerű, ám hidak esetében gyakoribb megoldás. A magasépítési gerinclemezes tartót szakaszokra osztva, az egyes szakaszokon belüli legnagyobb tervezési nyomatokra kell megfelelő ellenállású szelvényt kialakítanunk az övlemezek vastagságának ill. szélességének módosításával. A szakaszok számát gazdaságossági szempontokból is mérlegelnünk kell, hiszen minden szelvényváltás hegesztést és esetleg újabb vastagságú lemezek beszerzését igényli. A váltások helyét gondosan kell kiválasztani, lehetőleg elkerülve a varrathalmazódásokat és szerkezeti problémákat. Ugyanakkor esztétikailag is kellemes benyomást keltő tartót kell kialakítanunk. Minden arra mutat, hogy csak a feltétlenül szükséges számú szelvényváltást használjunk.

Hegesztett tartóknál a viszonylag vékony gerinclemez nemcsak normálfeszültségek, hanem nyírófeszültségek és keresztirányú terhelések hatására is horpadhat. A gerinclemezre szükség szerint hossz- és keresztirányú merevítőbordákat hegeszthetünk. Természetesen az a legegyszerűbb eset, ha nincs szükség semelyikre sem – azonban ez viszonylag vastag gerinclemez igényel, amint az alábbi táblázatból kiderül (5.2. táblázat). A gerinchorpadás vizsgálatát abban az esetben nem szükséges elvégezni, ha a gerinclemez teljes magasságának és vastagságának hányadosa ( $h_w / t_w$ ) nem haladja meg a táblázatban szereplő értékeket. Az első sorban gerincmerevítés nélküli, a második sorban a gerincmagasság háromszorosának megfelelő távolságban csak keresztirányú merevítőbordákkal merevített eset, a harmadik sorban a gerincmagassággal egyező távolságban elhelyezett keresztirányú merevítőbordákkal ellátott gerinc szerepel.

Gerinclemez $h_w / t_w$ aránya	S235	S275	S355
Merevítés nélküli gerinclemez	60	55,2	48,6
Merevített, a merevítések távolsága $3 \cdot h_w$	62,10	57,13	50,3
Merevített, a merevítések távolsága $h_w$	78,95	72,63	63,95

5.2 táblázat:  $h_w / t_w$  határok gerinclemez horpadásvizsgálathoz.

Az 5.1. táblázattal egybevetve megállapítható, hogy a nyírési horpadás vizsgálata még 1. osztályú gerinclemezeknél sem mindig kerülhető el, 3. osztályú gerinclemeznél a gyakorlati esetekben mindig el kell végezni.

A gerinclemezre csak a legszükségesebb esetben hegesztünk bordákat. A keresztirányban ható terhek, erőbevezetések helye kritikus keresztmetszetnek számít. Itt vagy külön vizsgálatokkal ellenőrizzük a tartó teherbírását (közvetlen teher hatása, gerinc beroppanási ellenőrzése stb.) - ez 1. és 2. keresztmetszeti osztály esetén elegendő lehet – vagy pedig keresztbordákat helyezünk el. Természetesen a keresztező fióktartók mellett a támaszok is erőbevezetésnek számítanak. A merevítőbordákat csak akkor sűrítjük, ha azt a horpadásvizsgálat megköveteli. 3. és 4. km. osztálynál gyakran van szükség hosszirányú bordákra, a számítás egyszerűsége érdekében azonban ameddig lehetséges, célszerű elkerülni őket. Merevítőbordák alkalmazása esetén azok teherbírását és merevségét is vizsgálni kell.

### 5.3 Példa

Határozzuk meg a 5.15. ábrán látható hegesztett I-szelvény  $M_{c,Rd}$  hajlítási ellenállását, ha anyaga a) S235, b) S275 és c) S355 minőségű!

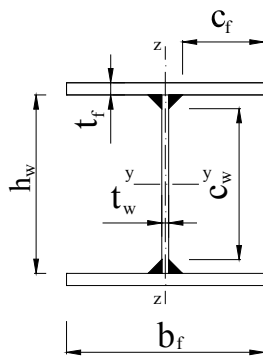
Alapanyag: S235	$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 1,0$
S275	$f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 0,92$
S355	$f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$	$f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$	$\varepsilon = 0,81$

#### A szelvény geometriája:

öv: 260-14

gerinc: 230-10

nyakvarrat:  $a = 5 \text{ mm}$  kétoldali sarokvarrat



$$b_f = 260 \text{ mm} \quad t_f = 14 \text{ mm}$$

$$h_w = 230 \text{ mm} \quad t_w = 10 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

5.15. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

#### A keresztmetszet osztályozása:

Gerinc:

A gerincről könnyen látható, hogy mindhárom minőség esetén 1. osztályú.

$$c_w = h_w - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot a = 230 - 2 \cdot \sqrt{2} \cdot 5 = 215,9 \text{ mm}$$

$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{215,9}{10} = 21,59 < 72 \cdot \varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Öv:

$$c_f = \frac{b_f}{2} - \sqrt{2} \cdot a - \frac{t_w}{2} = \frac{260}{2} - \sqrt{2} \cdot 5 - \frac{10,0}{2} = 117,9 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{117,9}{14} = 8,42$$

Az 1., 2. és 3. osztályú öv  $c_f / t_f$  határértékei a három acélminőség esetén a 5.3. táblázatban található.

	Határérték	S235	S275	S355
1. km. osztály	9ε	9	8,28	7,29
2. km. osztály	10ε	10	9,20	8,10
3. km. osztály	14ε	14	12,88	11,34

5.3. táblázat: Keresztmetszeti osztályok határai.

Az osztályba sorolást a vastagon keretezett értékek határozzák meg, mivel azok nagyobbak az aktuális  $c_f / t_f = 8,42$  értéknél. Az öv, és így az egész keresztmetszet is, az S235, S275 és S355 anyagminőség esetén tehát 1., 2., illetve 3. keresztmetszeti osztályú.

#### Keresztmetszeti jellemzők számítása:

$$I_y = \frac{h_w^3 \cdot t_w}{12} + 2 \cdot b_f \cdot t_f \cdot \left( \frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right)^2$$

$$I_y = \frac{230^3 \cdot 10}{12} + 2 \cdot 260 \cdot 14 \cdot \left( \frac{230}{2} + \frac{14}{2} \right)^2 = 118494686,7 \text{ mm}^4 = 11849,47 \text{ cm}^4$$

$$W_{el,y} = \frac{I_y}{\frac{h_w}{2} + t_f} = \frac{11849,47}{\frac{230}{2} + 1,4} = 918,56 \text{ cm}^3$$

$$S_{y,max} = b_f \cdot t_f \left( \frac{h_w}{2} + \frac{t_f}{2} \right) + \frac{h_w}{2} \cdot t_w \cdot \frac{h_w}{4}$$

$$S_{y,max} = 260 \cdot 14 \cdot \left( \frac{230}{2} + \frac{14}{2} \right) + \frac{230}{2} \cdot 10 \cdot \frac{230}{4} = 510205 \text{ mm}^3 = 510,21 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot S_{y,max} = 2 \cdot 510,21 = 1020,42 \text{ cm}^3$$

#### Hajlítási ellenállás:

S235 és S275 acélminőség esetén a hajlítási ellenállást a képlékeny keresztmetszeti modulussal számítjuk, mert ez esetekben a szelvény 1., illetve 2. keresztmetszeti osztályú.

S235:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1020,41 \cdot 23,5}{1,0} = 23979,6 \text{ kNcm} = 239,80 \text{ kNm}$$

S275:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1020,41 \cdot 27,5}{1,0} = 28061,3 \text{ kNcm} = 280,61 \text{ kNm}$$

S355 acélminőség esetén a hajlítási ellenállást a rugalmas keresztmetszeti modulussal számítjuk, mert ez esetben a szelvény 3. keresztmetszeti osztályú.

S355:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{918,56 \cdot 35,5}{1,0} = 32608,9 \text{ kNcm} = 326,09 \text{ kNm}$$

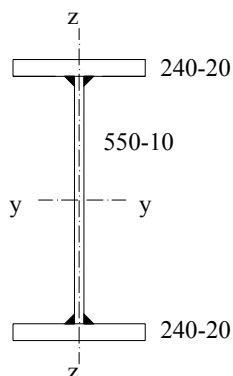
## 5.4 Példa

Egy 6 m támaszközű, kéttámaszú, hegesztett I-szelvényű, S235 acélminőségű gerendára a 5.17. ábra szerinti elrendezésben  $F_{Ed} = 540 \text{ kN}$  nagyságú koncentrált erők működnek.

A gerenda önsúlya:  $1,22 \text{ kN/m}$ , a biztonsági tényező  $\gamma_g = 1,35$ .

Ellenőrizzük a gerendát, ha a kifordulás és a gerinchorpadás nem következhet be!

**A tartó szelvénye:**



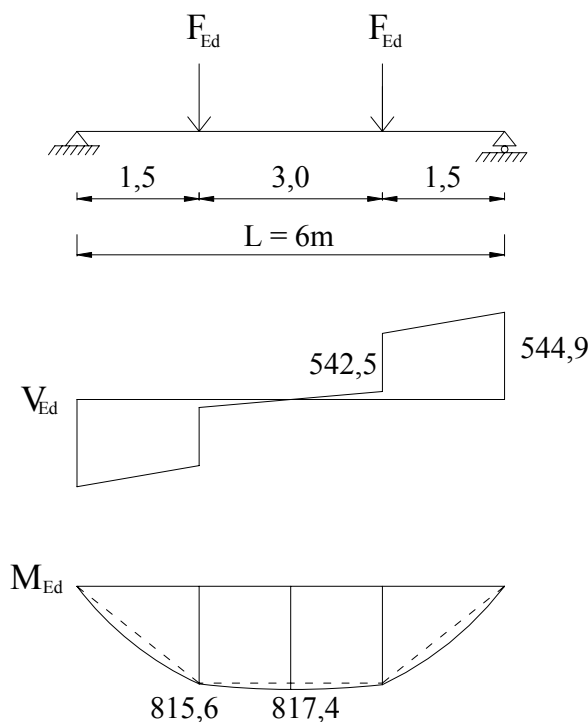
5.16. ábra: A tartó keresztmetszete.

Az előző példában ismertetett módon kimutatható, hogy a szelvény 1. keresztmetszeti osztályú.

**Keresztmetszeti modulus számítása:**

$$W_{pl,y} = \left( 24 \cdot 2 \cdot 28,5 + \frac{27,5^2 \cdot 1}{2} \right) \cdot 2 = 3492,3 \text{ cm}^3$$

**Igénybevételek:**



5.17. ábra: Igénybevételi ábrák.

### Ellenőrzés hajlításra:

A mértékadó nyomaték:

$$M_{Ed} = 817,4 \text{ kNm}$$

Az 1. keresztmetszeti osztályba tartozó keresztmetszet megfelel, mert:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3492,3 \cdot 23,5}{1,0} = 82069 \text{ kNcm}$$

$$M_{c,Rd} = 820,69 \text{ kNm} > M_{Ed} = 817,4 \text{ kNm}$$

### Nyírásvizsgálat:

A keresztmetszet nyírásra megfelel, mert:

$$A_v = h_w \cdot t_w = 55,0 \cdot 1,0 = 55 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{55 \cdot 1,0 \cdot 23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 746,2 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 746,2 \text{ kN} > V_{Ed} = 544,9 \text{ kN}$$

### A nyírás és nyomaték interakciója:

A terhelés sajátosságából adódik, hogy a koncentrált erőktől kifelé kis távolságra lévő keresztmetszetben egyidejűleg majdnem maximális nagyságú nyomaték és nyíróerő működik.

A nyomaték redukálására akkor van szükség, ha  $V_{Ed} \geq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ . Esetünkben:

$$V_{Ed} = 542,5 \text{ kN} > 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 746,2 = 373,1 \text{ kN}$$

Tehát a hajlítási ellenállást redukálni kell; kétszeresen szimmetrikus I- és zárt- szelvényekre a redukált nyomatéki teherbírás:

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl} - \frac{\rho \cdot A_v^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

ahol:

$$\rho = \left( \frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 542,5}{746,2} - 1 \right)^2 = 0,206$$

$$M_{V,Rd} = \left( 3492,2 - \frac{0,206 \cdot 55^2}{4 \cdot 1,0} \right) \cdot \frac{23,5}{1,0} = 78406 \text{ kNcm} = 784,06 \text{ kNm}$$

A hajlítási ellenállás 94,8%-ára csökkent, és mivel  $M_{Ed} > M_{v,Rd}$ , a tartó hajlítás és nyírás interakciójára nem felel meg!



### 5.3. Osztott szelvényű nyomott oszlop

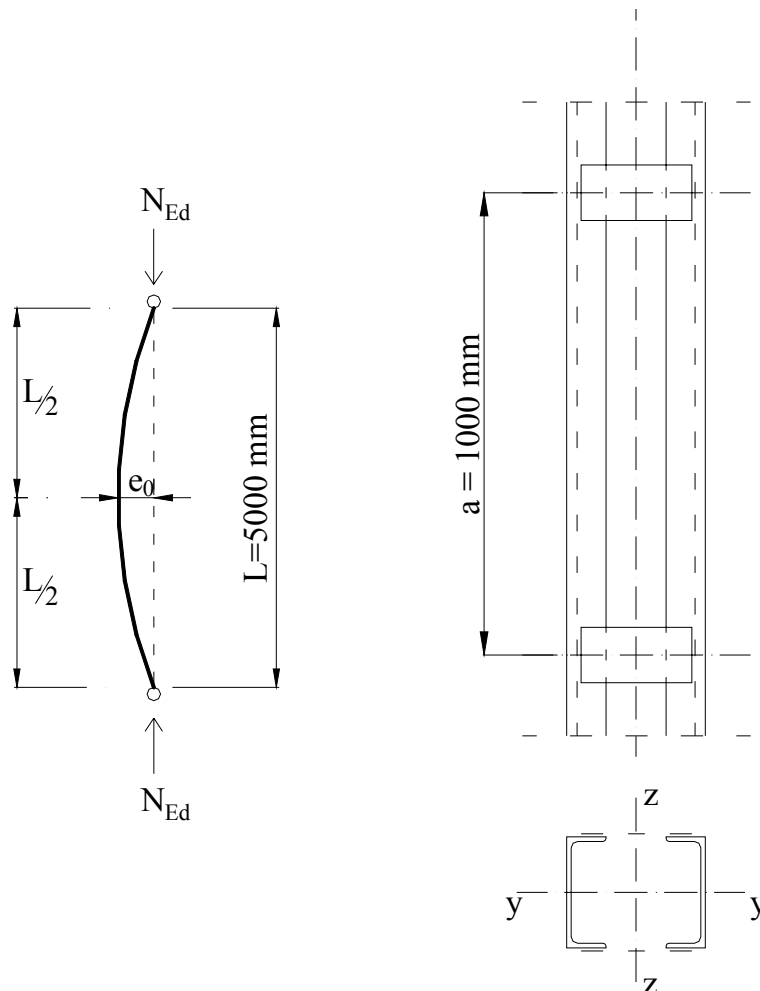
Szükséges ismeretek:

- Osztott szelvényű rudak szerkezeti kialakítása (lásd [5] 4.2.1 pontja);
- Nyírási és hajlítási merevség (lásd [5] 4.2.2 pontja);
- Igénybevételeinek számítása (lásd [5] 4.2.3 pontja);
- Teherbírás ellenőrzése (lásd [5] 4.3 pontja).

### 5.5 Példa

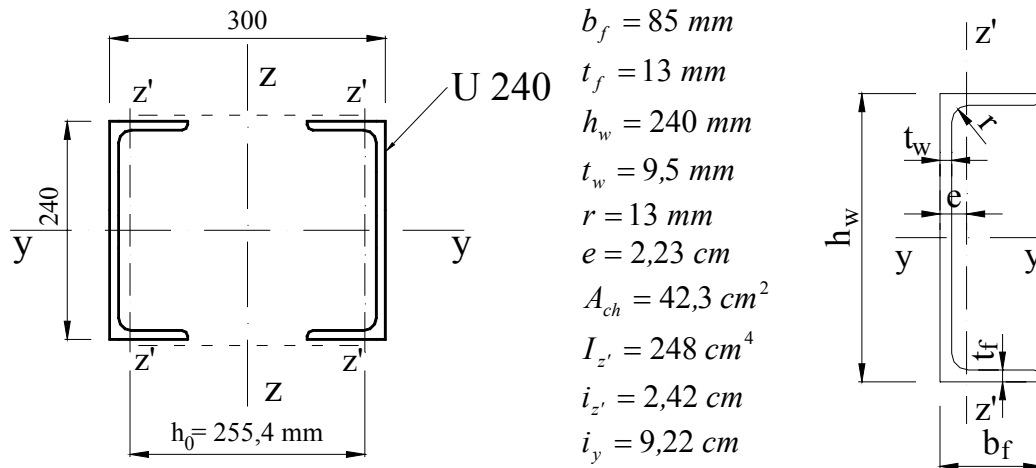
Ellenőrizzük az 5.18. ábrán látható osztott szelvényű rudat  $N_{Ed} = 1250 \text{ kN}$  központos nyomóerőre! A rúd hossza 5 m és 1 m-ként hevederezéssel kötjük össze az U 240-es szelvényeket (5.19. ábra).

Alapanyag: S235  $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$   $\varepsilon = 1,0$



5.18. ábra: Az osztott szelvényű rúd kialakítása és globális helyettesítő geometriai imperfekciója.

### A szelvény geometriája:



$$\begin{aligned}
 b_f &= 85 \text{ mm} \\
 t_f &= 13 \text{ mm} \\
 h_w &= 240 \text{ mm} \\
 t_w &= 9,5 \text{ mm} \\
 r &= 13 \text{ mm} \\
 e &= 2,23 \text{ cm} \\
 A_{ch} &= 42,3 \text{ cm}^2 \\
 I_{z'} &= 248 \text{ cm}^4 \\
 i_{z'} &= 2,42 \text{ cm} \\
 i_y &= 9,22 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

5.19. ábra: Keresztmetszeti jellemzők.

Effektív inercia számítása az y (szabad) tengelyre:

$$I_{eff} = 0,5 \cdot h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch}$$

$I_{ch} = I_{z'}$ , az alkotó szelvény inerciája.

$\mu$  hatékonysági tényező

$$I_1 = 0,5 h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch} = 0,5 \cdot 25,54^2 \cdot 42,3 + 2 \cdot 248 = 14291,97 \text{ cm}^4$$

$$i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}} = \sqrt{\frac{14291,97}{2 \cdot 42,3}} = 13,0 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{L}{i_0} = \frac{500}{13} = 38,46$$

Mivel  $\lambda = 38,46 < 75 \rightarrow \mu = 1,0$

Tehát  $I_{eff} = I_1 = 14291,97 \text{ cm}^4$

Külpontosság:

$$e_0 = L / 500 = 5000 / 500 = 10 \text{ mm}$$

### A rész-szelvény keresztmetszetének osztályozása tiszta nyomásra:

Öv:

$$c_f = b_f - r - t_w = 85 - 13 - 9,5 = 62,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_f} = \frac{62,5}{9,5} = 6,58 < 9 \cdot \varepsilon = 9$$

tehát az öv 1. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

$$c_w = h_w - 2 \cdot r - 2 \cdot t_f = 240 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 13 = 188,0 \text{ mm}$$

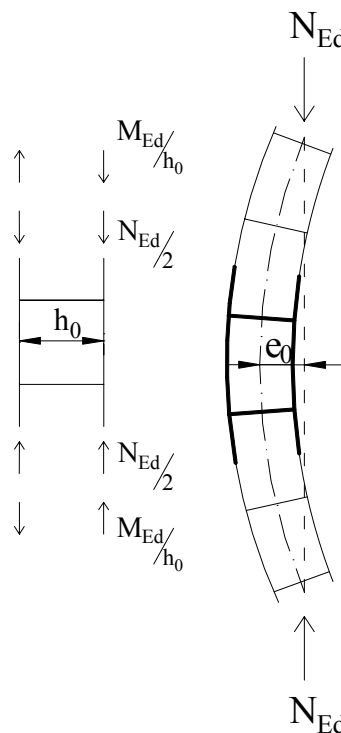
$$\frac{c_w}{t_w} = \frac{188,0}{9,5} = 19,79 < 33 \cdot \varepsilon = 33$$

tehát a gerinc 1. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a keresztmetszet 1. keresztmetszeti osztályú.

### Tervezési nyomóerő meghatározása:

Az osztott szelvényű rúd mértékadó övrúdját (két heveder közötti rész-szelvény keresztmetszetű rúdelem)  $N_{Ed}$  nyomóerőből és  $e_0 = L/500$  külpontosságból származó  $M_{Ed}$  nyomatékból származó, a rúd hossz felében fellépő  $N_{ch,Ed}$  nyomóerőre kell ellenőrizni (5.20. ábra).



5.20. ábra: Tervezési nyomóerő.

$$N_{ch,Ed} = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed} \cdot h_0 \cdot A_{ch}}{2I_{eff}}$$

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed} \cdot e_0}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

ahol:

$N_{cr}$ : az osztott szelvényű rúd kritikus ereje

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2} = \frac{\pi^2 21000 \cdot 14291,97}{500^2} = 11848,7 \text{ kN}$$

$S_v$ : nyírási merevség

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[ 1 + \frac{2I_{ch}}{nI_b} \frac{h_0}{a} \right]} = \frac{24 \cdot 21000 \cdot 248}{100^2 \left[ 1 + \frac{2 \cdot 248}{2 \cdot 337,5} \frac{25,54}{100} \right]} = 10524 \text{ kN}$$

ahol:

$I_b$  : egy heveder hajlítás síkjára vonatkozó inerciája. A heveder 150-12 laposacél, így

$$I_b = \frac{15^3 \cdot 1,2}{12} = 337,5 \text{ cm}^4;$$

$n$  : a hevederezési síkok száma, ebben a kialakításban  $n = 2$ .

Mivel  $S_v$  nem lehet nagyobb, mint:

$$S_v \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2} = \frac{2\pi^2 \cdot 21000 \cdot 248}{100^2} = 10280,18 \text{ kN}, \text{ ezért}$$

$$S_v = 10280,18 \text{ kN}$$

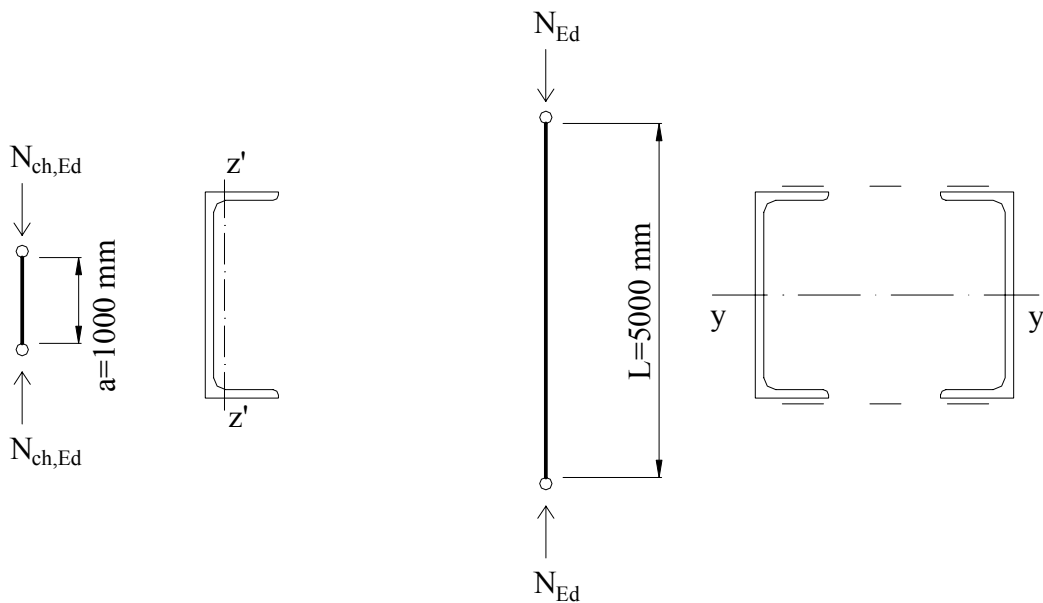
A külpontosságból származó nyomaték:

$$M_{Ed} = \frac{1250 \cdot 1}{1 - \frac{1250}{11848,7} - \frac{1250}{10280,18}} = 1617,26 \text{ kNcm}$$

Tervezési nyomóerő a mértékadó övrúdban:

$$N_{ch,Ed} = \frac{1250}{2} + \frac{1617,26 \cdot 25,54 \cdot 42,3}{2 \cdot 14291,97} = 683,13 \text{ kN}$$

A mértékadó övrudat (U240-es rész-szelvényből álló középső rúdszakaszt) kell ellenőrizni  $N_{ch,Ed}$  központos nyomóerőre (5.21. a) ábra), valamint az anyagi tengelyre merőleges síkú kihajlás esetén a rúd kihajlási ellenállását (5.21. b) ábra) kell vizsgálni.



a) kihajlás a hevederek között

b) kihajlás az anyagi tengely körül

5.21. ábra: Vizsgálandó rudak.

**A karcsúságok:**

$$\lambda_y = \frac{v_y \cdot L}{i_y} = \frac{1,0 \cdot 500}{9,22} = 54,23$$

$$\lambda_{z'} = \frac{v_{z'} \cdot a}{i_{z'}} = \frac{1,0 \cdot 100}{2,42} = 41,32$$

**A viszonyított karcsúságok:**

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{54,23}{93,9} = 0,58$$

$$\bar{\lambda}_{z'} = \frac{\lambda_{z'}}{\lambda_1} = \frac{41,32}{93,9} = 0,44$$

**A  $\chi$  csökkentő tényező meghatározása:**

$$\bar{\lambda}_y = 0,58 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_y = 0,7972$$

$$\bar{\lambda}_{z'} = 0,44 \rightarrow \mathbf{c} \text{ kihajlási görbe} \quad \chi_{z'} = 0,8760$$

**A nyomott rúd tervezési kihajlási ellenállása:**

Teljes rúd kihajlása az y-y tengely körül:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{2A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,7972 \cdot \frac{2 \cdot 42,3 \cdot 23,5}{1,0} = 1584,91 \text{ kN}$$

Övrúd kihajlása az z'-z' tengely körül:

$$N_{chb,Rd} = \chi_{z'} \cdot \frac{A_{ch} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 0,8760 \cdot \frac{42,3 \cdot 23,5}{1,0} = 870,79 \text{ kN}$$

**Ellenőrzés:**

$$N_{b,Rd} = 1584,91 \text{ kN} > N_{Ed} = 1250 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

$$N_{chb,Rd} = 870,79 \text{ kN} > N_{ch,Ed} = 686,13 \text{ kN} \rightarrow \text{Megfelel.}$$

## Függelék:

### F1 Kihajlási görbék táblázata

	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	
<b>0,20</b>	1,0000	0,9986	0,9973	0,9959	0,9945	0,9931	0,9917	0,9903	0,9889	0,9874	<b>0,20</b>
<b>0,30</b>	0,9859	0,9845	0,9829	0,9814	0,9799	0,9783	0,9767	0,9751	0,9735	0,9718	<b>0,30</b>
<b>0,40</b>	0,9701	0,9684	0,9667	0,9649	0,9631	0,9612	0,9593	0,9574	0,9554	0,9534	<b>0,40</b>
<b>0,50</b>	0,9513	0,9492	0,9470	0,9448	0,9425	0,9402	0,9378	0,9354	0,9328	0,9302	<b>0,50</b>
<b>0,60</b>	0,9276	0,9248	0,9220	0,9191	0,9161	0,9130	0,9099	0,9066	0,9032	0,8997	<b>0,60</b>
<b>0,70</b>	0,8961	0,8924	0,8886	0,8847	0,8806	0,8764	0,8721	0,8676	0,8630	0,8582	<b>0,70</b>
<b>0,80</b>	0,8533	0,8483	0,8431	0,8377	0,8322	0,8266	0,8208	0,8148	0,8087	0,8025	<b>0,80</b>
<b>0,90</b>	0,7961	0,7895	0,7828	0,7760	0,7691	0,7620	0,7549	0,7476	0,7403	0,7329	<b>0,90</b>
<b>1,00</b>	0,7253	0,7178	0,7101	0,7025	0,6948	0,6870	0,6793	0,6715	0,6637	0,6560	<b>1,00</b>
<b>1,10</b>	0,6482	0,6405	0,6329	0,6252	0,6176	0,6101	0,6026	0,5951	0,5877	0,5804	<b>1,10</b>
<b>1,20</b>	0,5732	0,5660	0,5590	0,5520	0,5450	0,5382	0,5314	0,5248	0,5182	0,5117	<b>1,20</b>
<b>1,30</b>	0,5053	0,4990	0,4927	0,4866	0,4806	0,4746	0,4687	0,4629	0,4572	0,4516	<b>1,30</b>
<b>1,40</b>	0,4461	0,4407	0,4353	0,4300	0,4248	0,4197	0,4147	0,4097	0,4049	0,4001	<b>1,40</b>
<b>1,50</b>	0,3953	0,3907	0,3861	0,3816	0,3772	0,3728	0,3685	0,3643	0,3601	0,3560	<b>1,50</b>
<b>1,60</b>	0,3520	0,3480	0,3441	0,3403	0,3365	0,3328	0,3291	0,3255	0,3219	0,3184	<b>1,60</b>
<b>1,70</b>	0,3150	0,3116	0,3083	0,3050	0,3017	0,2985	0,2954	0,2923	0,2892	0,2862	<b>1,70</b>
<b>1,80</b>	0,2833	0,2804	0,2775	0,2746	0,2719	0,2691	0,2664	0,2637	0,2611	0,2585	<b>1,80</b>
<b>1,90</b>	0,2559	0,2534	0,2509	0,2485	0,2461	0,2437	0,2414	0,2390	0,2368	0,2345	<b>1,90</b>
<b>2,00</b>	0,2323	0,2301	0,2280	0,2258	0,2237	0,2217	0,2196	0,2176	0,2156	0,2136	<b>2,00</b>
<b>2,10</b>	0,2117	0,2098	0,2079	0,2061	0,2042	0,2024	0,2006	0,1989	0,1971	0,1954	<b>2,10</b>
<b>2,20</b>	0,1937	0,1920	0,1904	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1824	0,1809	0,1794	<b>2,20</b>
<b>2,30</b>	0,1779	0,1764	0,1749	0,1735	0,1721	0,1707	0,1693	0,1679	0,1665	0,1652	<b>2,30</b>
<b>2,40</b>	0,1639	0,1626	0,1613	0,1600	0,1587	0,1575	0,1563	0,1550	0,1538	0,1526	<b>2,40</b>
<b>2,50</b>	0,1515	0,1503	0,1491	0,1480	0,1469	0,1458	0,1447	0,1436	0,1425	0,1414	<b>2,50</b>
<b>2,60</b>	0,1404	0,1394	0,1383	0,1373	0,1363	0,1353	0,1343	0,1333	0,1324	0,1314	<b>2,60</b>
<b>2,70</b>	0,1305	0,1296	0,1286	0,1277	0,1268	0,1259	0,1250	0,1242	0,1233	0,1224	<b>2,70</b>
<b>2,80</b>	0,1216	0,1207	0,1199	0,1191	0,1183	0,1175	0,1167	0,1159	0,1151	0,1143	<b>2,80</b>
<b>2,90</b>	0,1136	0,1128	0,1120	0,1113	0,1106	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	<b>2,90</b>
<b>3,00</b>	0,1063	0,1056	0,1049	0,1043	0,1036	0,1029	0,1023	0,1016	0,1010	0,1003	<b>3,00</b>
<b>3,10</b>	0,0997	0,0991	0,0985	0,0979	0,0972	0,0966	0,0960	0,0955	0,0949	0,0943	<b>3,10</b>
<b>3,20</b>	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	<b>3,20</b>
<b>3,30</b>	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	<b>3,30</b>
<b>3,40</b>	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	<b>3,40</b>
<b>3,50</b>	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0756	0,0752	0,0748	<b>3,50</b>
<b>3,60</b>	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0720	0,0717	0,0713	0,0709	<b>3,60</b>
<b>3,70</b>	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	<b>3,70</b>
<b>3,80</b>	0,0669	0,0666	0,0662	0,0659	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0642	0,0639	<b>3,80</b>
<b>3,90</b>	0,0636	0,0633	0,0630	0,0626	0,0623	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	<b>3,90</b>
<b>4,00</b>	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	0,0593	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	<b>4,00</b>
<b>4,10</b>	0,0576	0,0574	0,0571	0,0568	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	<b>4,10</b>
<b>4,20</b>	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	<b>4,20</b>
<b>4,30</b>	0,0525	0,0522	0,0520	0,0518	0,0515	0,0513	0,0511	0,0508	0,0506	0,0504	<b>4,30</b>
<b>4,40</b>	0,0502	0,0499	0,0497	0,0495	0,0493	0,0491	0,0488	0,0486	0,0484	0,0482	<b>4,40</b>
<b>4,50</b>	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	<b>4,50</b>
<b>4,60</b>	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	<b>4,60</b>
<b>4,70</b>	0,0440	0,0439	0,0437	0,0435	0,0433	0,0431	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	<b>4,70</b>
<b>4,80</b>	0,0423	0,0421	0,0419	0,0417	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	<b>4,80</b>
<b>4,90</b>	0,0406	0,0404	0,0402	0,0401	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0391	<b>4,90</b>
<b>5,00</b>	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	<b>5,00</b>

F1.1. táblázat: Az „ $a_0$ ” kihajlási görbe táblázata  $\chi$  értékei  $\bar{\lambda}$  függvényében.

	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	
<b>0,20</b>	1,0000	0,9978	0,9956	0,9934	0,9912	0,9889	0,9867	0,9844	0,9821	0,9798	<b>0,20</b>
<b>0,30</b>	0,9775	0,9751	0,9728	0,9704	0,9680	0,9655	0,9630	0,9605	0,9580	0,9554	<b>0,30</b>
<b>0,40</b>	0,9528	0,9501	0,9474	0,9447	0,9419	0,9391	0,9363	0,9333	0,9304	0,9273	<b>0,40</b>
<b>0,50</b>	0,9243	0,9211	0,9179	0,9147	0,9114	0,9080	0,9045	0,9010	0,8974	0,8937	<b>0,50</b>
<b>0,60</b>	0,8900	0,8862	0,8823	0,8783	0,8742	0,8700	0,8657	0,8614	0,8569	0,8524	<b>0,60</b>
<b>0,70</b>	0,8477	0,8430	0,8382	0,8332	0,8282	0,8230	0,8178	0,8124	0,8069	0,8014	<b>0,70</b>
<b>0,80</b>	0,7957	0,7899	0,7841	0,7781	0,7721	0,7659	0,7597	0,7534	0,7470	0,7405	<b>0,80</b>
<b>0,90</b>	0,7339	0,7273	0,7206	0,7139	0,7071	0,7003	0,6934	0,6865	0,6796	0,6726	<b>0,90</b>
<b>1,00</b>	0,6656	0,6586	0,6516	0,6446	0,6376	0,6306	0,6236	0,6167	0,6098	0,6029	<b>1,00</b>
<b>1,10</b>	0,5960	0,5892	0,5824	0,5757	0,5690	0,5623	0,5557	0,5492	0,5427	0,5363	<b>1,10</b>
<b>1,20</b>	0,5300	0,5237	0,5175	0,5114	0,5053	0,4993	0,4934	0,4875	0,4817	0,4760	<b>1,20</b>
<b>1,30</b>	0,4703	0,4648	0,4593	0,4538	0,4485	0,4432	0,4380	0,4329	0,4278	0,4228	<b>1,30</b>
<b>1,40</b>	0,4179	0,4130	0,4083	0,4036	0,3989	0,3943	0,3898	0,3854	0,3810	0,3767	<b>1,40</b>
<b>1,50</b>	0,3724	0,3682	0,3641	0,3601	0,3561	0,3521	0,3482	0,3444	0,3406	0,3369	<b>1,50</b>
<b>1,60</b>	0,3332	0,3296	0,3261	0,3226	0,3191	0,3157	0,3124	0,3091	0,3058	0,3026	<b>1,60</b>
<b>1,70</b>	0,2994	0,2963	0,2933	0,2902	0,2872	0,2843	0,2814	0,2786	0,2757	0,2730	<b>1,70</b>
<b>1,80</b>	0,2702	0,2675	0,2649	0,2623	0,2597	0,2571	0,2546	0,2522	0,2497	0,2473	<b>1,80</b>
<b>1,90</b>	0,2449	0,2426	0,2403	0,2380	0,2358	0,2335	0,2314	0,2292	0,2271	0,2250	<b>1,90</b>
<b>2,00</b>	0,2229	0,2209	0,2188	0,2168	0,2149	0,2129	0,2110	0,2091	0,2073	0,2054	<b>2,00</b>
<b>2,10</b>	0,2036	0,2018	0,2001	0,1983	0,1966	0,1949	0,1932	0,1915	0,1899	0,1883	<b>2,10</b>
<b>2,20</b>	0,1867	0,1851	0,1836	0,1820	0,1805	0,1790	0,1775	0,1760	0,1746	0,1732	<b>2,20</b>
<b>2,30</b>	0,1717	0,1704	0,1690	0,1676	0,1663	0,1649	0,1636	0,1623	0,1610	0,1598	<b>2,30</b>
<b>2,40</b>	0,1585	0,1573	0,1560	0,1548	0,1536	0,1524	0,1513	0,1501	0,1490	0,1478	<b>2,40</b>
<b>2,50</b>	0,1467	0,1456	0,1445	0,1434	0,1424	0,1413	0,1403	0,1392	0,1382	0,1372	<b>2,50</b>
<b>2,60</b>	0,1362	0,1352	0,1342	0,1332	0,1323	0,1313	0,1304	0,1295	0,1285	0,1276	<b>2,60</b>
<b>2,70</b>	0,1267	0,1258	0,1250	0,1241	0,1232	0,1224	0,1215	0,1207	0,1198	0,1190	<b>2,70</b>
<b>2,80</b>	0,1182	0,1174	0,1166	0,1158	0,1150	0,1143	0,1135	0,1128	0,1120	0,1113	<b>2,80</b>
<b>2,90</b>	0,1105	0,1098	0,1091	0,1084	0,1077	0,1070	0,1063	0,1056	0,1049	0,1042	<b>2,90</b>
<b>3,00</b>	0,1036	0,1029	0,1022	0,1016	0,1010	0,1003	0,0997	0,0991	0,0985	0,0978	<b>3,00</b>
<b>3,10</b>	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0949	0,0943	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	<b>3,10</b>
<b>3,20</b>	0,0915	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	<b>3,20</b>
<b>3,30</b>	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	<b>3,30</b>
<b>3,40</b>	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	<b>3,40</b>
<b>3,50</b>	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	<b>3,50</b>
<b>3,60</b>	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	<b>3,60</b>
<b>3,70</b>	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	0,0669	0,0666	0,0663	0,0659	<b>3,70</b>
<b>3,80</b>	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0643	0,0639	0,0636	0,0633	0,0630	0,0627	<b>3,80</b>
<b>3,90</b>	0,0623	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	<b>3,90</b>
<b>4,00</b>	0,0594	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	0,0577	0,0574	0,0571	0,0568	<b>4,00</b>
<b>4,10</b>	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	<b>4,10</b>
<b>4,20</b>	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	0,0525	0,0523	0,0520	0,0518	<b>4,20</b>
<b>4,30</b>	0,0516	0,0513	0,0511	0,0509	0,0506	0,0504	0,0502	0,0500	0,0497	0,0495	<b>4,30</b>
<b>4,40</b>	0,0493	0,0491	0,0489	0,0486	0,0484	0,0482	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	<b>4,40</b>
<b>4,50</b>	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	<b>4,50</b>
<b>4,60</b>	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	0,0441	0,0439	0,0437	0,0435	<b>4,60</b>
<b>4,70</b>	0,0433	0,0432	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	0,0423	0,0421	0,0419	0,0418	<b>4,70</b>
<b>4,80</b>	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	0,0406	0,0404	0,0403	0,0401	<b>4,80</b>
<b>4,90</b>	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0392	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	<b>4,90</b>
<b>5,00</b>	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	0,0375	0,0374	0,0372	0,0371	<b>5,00</b>

*Fl.1. táblázat (folyt.): Az „a” kihajlási görbe táblázata  $\chi$  értékei  $\bar{\lambda}$  függvényében.*

	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	
<b>0,20</b>	1,0000	0,9965	0,9929	0,9894	0,9858	0,9822	0,9786	0,9750	0,9714	0,9678	<b>0,20</b>
<b>0,30</b>	0,9641	0,9604	0,9567	0,9530	0,9492	0,9455	0,9417	0,9378	0,9339	0,9300	<b>0,30</b>
<b>0,40</b>	0,9261	0,9221	0,9181	0,9140	0,9099	0,9057	0,9015	0,8973	0,8930	0,8886	<b>0,40</b>
<b>0,50</b>	0,8842	0,8798	0,8752	0,8707	0,8661	0,8614	0,8566	0,8518	0,8470	0,8420	<b>0,50</b>
<b>0,60</b>	0,8371	0,8320	0,8269	0,8217	0,8165	0,8112	0,8058	0,8004	0,7949	0,7893	<b>0,60</b>
<b>0,70</b>	0,7837	0,7780	0,7723	0,7665	0,7606	0,7547	0,7488	0,7428	0,7367	0,7306	<b>0,70</b>
<b>0,80</b>	0,7245	0,7183	0,7120	0,7058	0,6995	0,6931	0,6868	0,6804	0,6740	0,6676	<b>0,80</b>
<b>0,90</b>	0,6612	0,6547	0,6483	0,6419	0,6354	0,6290	0,6226	0,6162	0,6098	0,6034	<b>0,90</b>
<b>1,00</b>	0,5970	0,5907	0,5844	0,5781	0,5719	0,5657	0,5595	0,5534	0,5473	0,5412	<b>1,00</b>
<b>1,10</b>	0,5352	0,5293	0,5234	0,5175	0,5117	0,5060	0,5003	0,4947	0,4891	0,4836	<b>1,10</b>
<b>1,20</b>	0,4781	0,4727	0,4674	0,4621	0,4569	0,4517	0,4466	0,4416	0,4366	0,4317	<b>1,20</b>
<b>1,30</b>	0,4269	0,4221	0,4174	0,4127	0,4081	0,4035	0,3991	0,3946	0,3903	0,3860	<b>1,30</b>
<b>1,40</b>	0,3817	0,3775	0,3734	0,3693	0,3653	0,3613	0,3574	0,3535	0,3497	0,3459	<b>1,40</b>
<b>1,50</b>	0,3422	0,3386	0,3350	0,3314	0,3279	0,3245	0,3211	0,3177	0,3144	0,3111	<b>1,50</b>
<b>1,60</b>	0,3079	0,3047	0,3016	0,2985	0,2955	0,2925	0,2895	0,2866	0,2837	0,2809	<b>1,60</b>
<b>1,70</b>	0,2781	0,2753	0,2726	0,2699	0,2672	0,2646	0,2620	0,2595	0,2570	0,2545	<b>1,70</b>
<b>1,80</b>	0,2521	0,2496	0,2473	0,2449	0,2426	0,2403	0,2381	0,2359	0,2337	0,2315	<b>1,80</b>
<b>1,90</b>	0,2294	0,2272	0,2252	0,2231	0,2211	0,2191	0,2171	0,2152	0,2132	0,2113	<b>1,90</b>
<b>2,00</b>	0,2095	0,2076	0,2058	0,2040	0,2022	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	<b>2,00</b>
<b>2,10</b>	0,1920	0,1903	0,1887	0,1871	0,1855	0,1840	0,1825	0,1809	0,1794	0,1780	<b>2,10</b>
<b>2,20</b>	0,1765	0,1751	0,1736	0,1722	0,1708	0,1694	0,1681	0,1667	0,1654	0,1641	<b>2,20</b>
<b>2,30</b>	0,1628	0,1615	0,1602	0,1590	0,1577	0,1565	0,1553	0,1541	0,1529	0,1517	<b>2,30</b>
<b>2,40</b>	0,1506	0,1494	0,1483	0,1472	0,1461	0,1450	0,1439	0,1428	0,1418	0,1407	<b>2,40</b>
<b>2,50</b>	0,1397	0,1387	0,1376	0,1366	0,1356	0,1347	0,1337	0,1327	0,1318	0,1308	<b>2,50</b>
<b>2,60</b>	0,1299	0,1290	0,1281	0,1272	0,1263	0,1254	0,1245	0,1237	0,1228	0,1219	<b>2,60</b>
<b>2,70</b>	0,1211	0,1203	0,1195	0,1186	0,1178	0,1170	0,1162	0,1155	0,1147	0,1139	<b>2,70</b>
<b>2,80</b>	0,1132	0,1124	0,1117	0,1109	0,1102	0,1095	0,1088	0,1081	0,1074	0,1067	<b>2,80</b>
<b>2,90</b>	0,1060	0,1053	0,1046	0,1039	0,1033	0,1026	0,1020	0,1013	0,1007	0,1001	<b>2,90</b>
<b>3,00</b>	0,0994	0,0988	0,0982	0,0976	0,0970	0,0964	0,0958	0,0952	0,0946	0,0940	<b>3,00</b>
<b>3,10</b>	0,0935	0,0929	0,0924	0,0918	0,0912	0,0907	0,0902	0,0896	0,0891	0,0886	<b>3,10</b>
<b>3,20</b>	0,0880	0,0875	0,0870	0,0865	0,0860	0,0855	0,0850	0,0845	0,0840	0,0835	<b>3,20</b>
<b>3,30</b>	0,0831	0,0826	0,0821	0,0816	0,0812	0,0807	0,0803	0,0798	0,0794	0,0789	<b>3,30</b>
<b>3,40</b>	0,0785	0,0781	0,0776	0,0772	0,0768	0,0763	0,0759	0,0755	0,0751	0,0747	<b>3,40</b>
<b>3,50</b>	0,0743	0,0739	0,0735	0,0731	0,0727	0,0723	0,0719	0,0715	0,0712	0,0708	<b>3,50</b>
<b>3,60</b>	0,0704	0,0700	0,0697	0,0693	0,0689	0,0686	0,0682	0,0679	0,0675	0,0672	<b>3,60</b>
<b>3,70</b>	0,0668	0,0665	0,0661	0,0658	0,0655	0,0651	0,0648	0,0645	0,0641	0,0638	<b>3,70</b>
<b>3,80</b>	0,0635	0,0632	0,0629	0,0626	0,0622	0,0619	0,0616	0,0613	0,0610	0,0607	<b>3,80</b>
<b>3,90</b>	0,0604	0,0601	0,0598	0,0595	0,0593	0,0590	0,0587	0,0584	0,0581	0,0578	<b>3,90</b>
<b>4,00</b>	0,0576	0,0573	0,0570	0,0567	0,0565	0,0562	0,0559	0,0557	0,0554	0,0552	<b>4,00</b>
<b>4,10</b>	0,0549	0,0546	0,0544	0,0541	0,0539	0,0536	0,0534	0,0532	0,0529	0,0527	<b>4,10</b>
<b>4,20</b>	0,0524	0,0522	0,0519	0,0517	0,0515	0,0512	0,0510	0,0508	0,0506	0,0503	<b>4,20</b>
<b>4,30</b>	0,0501	0,0499	0,0497	0,0494	0,0492	0,0490	0,0488	0,0486	0,0484	0,0481	<b>4,30</b>
<b>4,40</b>	0,0479	0,0477	0,0475	0,0473	0,0471	0,0469	0,0467	0,0465	0,0463	0,0461	<b>4,40</b>
<b>4,50</b>	0,0459	0,0457	0,0455	0,0453	0,0451	0,0449	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	<b>4,50</b>
<b>4,60</b>	0,0440	0,0438	0,0436	0,0435	0,0433	0,0431	0,0429	0,0427	0,0426	0,0424	<b>4,60</b>
<b>4,70</b>	0,0422	0,0420	0,0419	0,0417	0,0415	0,0414	0,0412	0,0410	0,0409	0,0407	<b>4,70</b>
<b>4,80</b>	0,0405	0,0404	0,0402	0,0401	0,0399	0,0397	0,0396	0,0394	0,0393	0,0391	<b>4,80</b>
<b>4,90</b>	0,0390	0,0388	0,0386	0,0385	0,0383	0,0382	0,0380	0,0379	0,0378	0,0376	<b>4,90</b>
<b>5,00</b>	0,0375	0,0373	0,0372	0,0370	0,0369	0,0367	0,0366	0,0365	0,0363	0,0362	<b>5,00</b>

*Fl.1. táblázat (folyt.): Az „b” kihajlási görbe táblázata  $\chi$  értékei  $\bar{\lambda}$  függvényében.*



	<b>0,00</b>	<b>0,01</b>	<b>0,02</b>	<b>0,03</b>	<b>0,04</b>	<b>0,05</b>	<b>0,06</b>	<b>0,07</b>	<b>0,08</b>	<b>0,09</b>	
<b>0,20</b>	1,0000	0,9949	0,9898	0,9847	0,9797	0,9746	0,9695	0,9644	0,9593	0,9542	<b>0,20</b>
<b>0,30</b>	0,9491	0,9440	0,9389	0,9338	0,9286	0,9235	0,9183	0,9131	0,9078	0,9026	<b>0,30</b>
<b>0,40</b>	0,8973	0,8920	0,8867	0,8813	0,8760	0,8705	0,8651	0,8596	0,8541	0,8486	<b>0,40</b>
<b>0,50</b>	0,8430	0,8374	0,8317	0,8261	0,8204	0,8146	0,8088	0,8030	0,7972	0,7913	<b>0,50</b>
<b>0,60</b>	0,7854	0,7794	0,7735	0,7675	0,7614	0,7554	0,7493	0,7432	0,7370	0,7309	<b>0,60</b>
<b>0,70</b>	0,7247	0,7185	0,7123	0,7060	0,6998	0,6935	0,6873	0,6810	0,6747	0,6684	<b>0,70</b>
<b>0,80</b>	0,6622	0,6559	0,6496	0,6433	0,6371	0,6308	0,6246	0,6184	0,6122	0,6060	<b>0,80</b>
<b>0,90</b>	0,5998	0,5937	0,5876	0,5815	0,5755	0,5695	0,5635	0,5575	0,5516	0,5458	<b>0,90</b>
<b>1,00</b>	0,5399	0,5342	0,5284	0,5227	0,5171	0,5115	0,5059	0,5004	0,4950	0,4896	<b>1,00</b>
<b>1,10</b>	0,4842	0,4790	0,4737	0,4685	0,4634	0,4583	0,4533	0,4483	0,4434	0,4386	<b>1,10</b>
<b>1,20</b>	0,4338	0,4290	0,4243	0,4197	0,4151	0,4106	0,4061	0,4017	0,3974	0,3931	<b>1,20</b>
<b>1,30</b>	0,3888	0,3846	0,3805	0,3764	0,3724	0,3684	0,3644	0,3606	0,3567	0,3529	<b>1,30</b>
<b>1,40</b>	0,3492	0,3455	0,3419	0,3383	0,3348	0,3313	0,3279	0,3245	0,3211	0,3178	<b>1,40</b>
<b>1,50</b>	0,3145	0,3113	0,3081	0,3050	0,3019	0,2989	0,2959	0,2929	0,2900	0,2871	<b>1,50</b>
<b>1,60</b>	0,2842	0,2814	0,2786	0,2759	0,2732	0,2705	0,2679	0,2653	0,2627	0,2602	<b>1,60</b>
<b>1,70</b>	0,2577	0,2553	0,2528	0,2504	0,2481	0,2457	0,2434	0,2412	0,2389	0,2367	<b>1,70</b>
<b>1,80</b>	0,2345	0,2324	0,2302	0,2281	0,2260	0,2240	0,2220	0,2200	0,2180	0,2161	<b>1,80</b>
<b>1,90</b>	0,2141	0,2122	0,2104	0,2085	0,2067	0,2049	0,2031	0,2013	0,1996	0,1979	<b>1,90</b>
<b>2,00</b>	0,1962	0,1945	0,1929	0,1912	0,1896	0,1880	0,1864	0,1849	0,1833	0,1818	<b>2,00</b>
<b>2,10</b>	0,1803	0,1788	0,1774	0,1759	0,1745	0,1731	0,1717	0,1703	0,1689	0,1676	<b>2,10</b>
<b>2,20</b>	0,1662	0,1649	0,1636	0,1623	0,1611	0,1598	0,1585	0,1573	0,1561	0,1549	<b>2,20</b>
<b>2,30</b>	0,1537	0,1525	0,1514	0,1502	0,1491	0,1480	0,1468	0,1457	0,1446	0,1436	<b>2,30</b>
<b>2,40</b>	0,1425	0,1415	0,1404	0,1394	0,1384	0,1374	0,1364	0,1354	0,1344	0,1334	<b>2,40</b>
<b>2,50</b>	0,1325	0,1315	0,1306	0,1297	0,1287	0,1278	0,1269	0,1260	0,1252	0,1243	<b>2,50</b>
<b>2,60</b>	0,1234	0,1226	0,1217	0,1209	0,1201	0,1193	0,1184	0,1176	0,1168	0,1161	<b>2,60</b>
<b>2,70</b>	0,1153	0,1145	0,1137	0,1130	0,1122	0,1115	0,1108	0,1100	0,1093	0,1086	<b>2,70</b>
<b>2,80</b>	0,1079	0,1072	0,1065	0,1058	0,1051	0,1045	0,1038	0,1031	0,1025	0,1018	<b>2,80</b>
<b>2,90</b>	0,1012	0,1006	0,0999	0,0993	0,0987	0,0981	0,0975	0,0969	0,0963	0,0957	<b>2,90</b>
<b>3,00</b>	0,0951	0,0945	0,0939	0,0934	0,0928	0,0922	0,0917	0,0911	0,0906	0,0901	<b>3,00</b>
<b>3,10</b>	0,0895	0,0890	0,0885	0,0879	0,0874	0,0869	0,0864	0,0859	0,0854	0,0849	<b>3,10</b>
<b>3,20</b>	0,0844	0,0839	0,0835	0,0830	0,0825	0,0820	0,0816	0,0811	0,0806	0,0802	<b>3,20</b>
<b>3,30</b>	0,0797	0,0793	0,0789	0,0784	0,0780	0,0775	0,0771	0,0767	0,0763	0,0759	<b>3,30</b>
<b>3,40</b>	0,0754	0,0750	0,0746	0,0742	0,0738	0,0734	0,0730	0,0726	0,0722	0,0719	<b>3,40</b>
<b>3,50</b>	0,0715	0,0711	0,0707	0,0703	0,0700	0,0696	0,0692	0,0689	0,0685	0,0682	<b>3,50</b>
<b>3,60</b>	0,0678	0,0675	0,0671	0,0668	0,0664	0,0661	0,0657	0,0654	0,0651	0,0647	<b>3,60</b>
<b>3,70</b>	0,0644	0,0641	0,0638	0,0635	0,0631	0,0628	0,0625	0,0622	0,0619	0,0616	<b>3,70</b>
<b>3,80</b>	0,0613	0,0610	0,0607	0,0604	0,0601	0,0598	0,0595	0,0592	0,0589	0,0586	<b>3,80</b>
<b>3,90</b>	0,0584	0,0581	0,0578	0,0575	0,0572	0,0570	0,0567	0,0564	0,0562	0,0559	<b>3,90</b>
<b>4,00</b>	0,0556	0,0554	0,0551	0,0549	0,0546	0,0544	0,0541	0,0539	0,0536	0,0534	<b>4,00</b>
<b>4,10</b>	0,0531	0,0529	0,0526	0,0524	0,0521	0,0519	0,0517	0,0514	0,0512	0,0510	<b>4,10</b>
<b>4,20</b>	0,0507	0,0505	0,0503	0,0501	0,0498	0,0496	0,0494	0,0492	0,0490	0,0488	<b>4,20</b>
<b>4,30</b>	0,0485	0,0483	0,0481	0,0479	0,0477	0,0475	0,0473	0,0471	0,0469	0,0467	<b>4,30</b>
<b>4,40</b>	0,0465	0,0463	0,0461	0,0459	0,0457	0,0455	0,0453	0,0451	0,0449	0,0447	<b>4,40</b>
<b>4,50</b>	0,0445	0,0443	0,0442	0,0440	0,0438	0,0436	0,0434	0,0432	0,0431	0,0429	<b>4,50</b>
<b>4,60</b>	0,0427	0,0425	0,0424	0,0422	0,0420	0,0418	0,0417	0,0415	0,0413	0,0412	<b>4,60</b>
<b>4,70</b>	0,0410	0,0408	0,0407	0,0405	0,0403	0,0402	0,0400	0,0399	0,0397	0,0395	<b>4,70</b>
<b>4,80</b>	0,0394	0,0392	0,0391	0,0389	0,0388	0,0386	0,0385	0,0383	0,0382	0,0380	<b>4,80</b>
<b>4,90</b>	0,0379	0,0377	0,0376	0,0374	0,0373	0,0371	0,0370	0,0369	0,0367	0,0366	<b>4,90</b>
<b>5,00</b>	0,0364	0,0363	0,0362	0,0360	0,0359	0,0358	0,0356	0,0355	0,0354	0,0352	<b>5,00</b>

*F1.1. táblázat (folyt.): Az „c” kihajlási görbe táblázata  $\chi$  értékei  $\bar{\lambda}$  függvényében.*

	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	
<b>0,20</b>	1,0000	0,9921	0,9843	0,9765	0,9688	0,9611	0,9535	0,9459	0,9384	0,9309	<b>0,20</b>
<b>0,30</b>	0,9235	0,9160	0,9086	0,9013	0,8939	0,8866	0,8793	0,8721	0,8648	0,8576	<b>0,30</b>
<b>0,40</b>	0,8504	0,8432	0,8360	0,8289	0,8218	0,8146	0,8075	0,8005	0,7934	0,7864	<b>0,40</b>
<b>0,50</b>	0,7793	0,7723	0,7653	0,7583	0,7514	0,7444	0,7375	0,7306	0,7237	0,7169	<b>0,50</b>
<b>0,60</b>	0,7100	0,7032	0,6964	0,6897	0,6829	0,6762	0,6695	0,6629	0,6563	0,6497	<b>0,60</b>
<b>0,70</b>	0,6431	0,6366	0,6301	0,6237	0,6173	0,6109	0,6046	0,5983	0,5921	0,5859	<b>0,70</b>
<b>0,80</b>	0,5797	0,5736	0,5675	0,5615	0,5556	0,5496	0,5438	0,5379	0,5322	0,5265	<b>0,80</b>
<b>0,90</b>	0,5208	0,5152	0,5096	0,5041	0,4987	0,4933	0,4879	0,4826	0,4774	0,4722	<b>0,90</b>
<b>1,00</b>	0,4671	0,4620	0,4570	0,4521	0,4472	0,4423	0,4375	0,4328	0,4281	0,4235	<b>1,00</b>
<b>1,10</b>	0,4189	0,4144	0,4099	0,4055	0,4012	0,3969	0,3926	0,3884	0,3843	0,3802	<b>1,10</b>
<b>1,20</b>	0,3762	0,3722	0,3683	0,3644	0,3605	0,3568	0,3530	0,3493	0,3457	0,3421	<b>1,20</b>
<b>1,30</b>	0,3385	0,3350	0,3316	0,3282	0,3248	0,3215	0,3182	0,3150	0,3118	0,3086	<b>1,30</b>
<b>1,40</b>	0,3055	0,3024	0,2994	0,2964	0,2935	0,2906	0,2877	0,2849	0,2821	0,2793	<b>1,40</b>
<b>1,50</b>	0,2766	0,2739	0,2712	0,2686	0,2660	0,2635	0,2609	0,2585	0,2560	0,2536	<b>1,50</b>
<b>1,60</b>	0,2512	0,2488	0,2465	0,2442	0,2419	0,2397	0,2375	0,2353	0,2331	0,2310	<b>1,60</b>
<b>1,70</b>	0,2289	0,2268	0,2248	0,2228	0,2208	0,2188	0,2168	0,2149	0,2130	0,2112	<b>1,70</b>
<b>1,80</b>	0,2093	0,2075	0,2057	0,2039	0,2021	0,2004	0,1987	0,1970	0,1953	0,1936	<b>1,80</b>
<b>1,90</b>	0,1920	0,1904	0,1888	0,1872	0,1856	0,1841	0,1826	0,1810	0,1796	0,1781	<b>1,90</b>
<b>2,00</b>	0,1766	0,1752	0,1738	0,1724	0,1710	0,1696	0,1683	0,1669	0,1656	0,1643	<b>2,00</b>
<b>2,10</b>	0,1630	0,1617	0,1604	0,1592	0,1580	0,1567	0,1555	0,1543	0,1532	0,1520	<b>2,10</b>
<b>2,20</b>	0,1508	0,1497	0,1486	0,1474	0,1463	0,1452	0,1442	0,1431	0,1420	0,1410	<b>2,20</b>
<b>2,30</b>	0,1399	0,1389	0,1379	0,1369	0,1359	0,1349	0,1340	0,1330	0,1320	0,1311	<b>2,30</b>
<b>2,40</b>	0,1302	0,1292	0,1283	0,1274	0,1265	0,1257	0,1248	0,1239	0,1231	0,1222	<b>2,40</b>
<b>2,50</b>	0,1214	0,1205	0,1197	0,1189	0,1181	0,1173	0,1165	0,1157	0,1149	0,1142	<b>2,50</b>
<b>2,60</b>	0,1134	0,1127	0,1119	0,1112	0,1104	0,1097	0,1090	0,1083	0,1076	0,1069	<b>2,60</b>
<b>2,70</b>	0,1062	0,1055	0,1048	0,1042	0,1035	0,1029	0,1022	0,1016	0,1009	0,1003	<b>2,70</b>
<b>2,80</b>	0,0997	0,0990	0,0984	0,0978	0,0972	0,0966	0,0960	0,0954	0,0948	0,0943	<b>2,80</b>
<b>2,90</b>	0,0937	0,0931	0,0926	0,0920	0,0914	0,0909	0,0904	0,0898	0,0893	0,0888	<b>2,90</b>
<b>3,00</b>	0,0882	0,0877	0,0872	0,0867	0,0862	0,0857	0,0852	0,0847	0,0842	0,0837	<b>3,00</b>
<b>3,10</b>	0,0832	0,0828	0,0823	0,0818	0,0814	0,0809	0,0804	0,0800	0,0795	0,0791	<b>3,10</b>
<b>3,20</b>	0,0786	0,0782	0,0778	0,0773	0,0769	0,0765	0,0761	0,0757	0,0752	0,0748	<b>3,20</b>
<b>3,30</b>	0,0744	0,0740	0,0736	0,0732	0,0728	0,0724	0,0721	0,0717	0,0713	0,0709	<b>3,30</b>
<b>3,40</b>	0,0705	0,0702	0,0698	0,0694	0,0691	0,0687	0,0683	0,0680	0,0676	0,0673	<b>3,40</b>
<b>3,50</b>	0,0669	0,0666	0,0663	0,0659	0,0656	0,0652	0,0649	0,0646	0,0643	0,0639	<b>3,50</b>
<b>3,60</b>	0,0636	0,0633	0,0630	0,0627	0,0624	0,0620	0,0617	0,0614	0,0611	0,0608	<b>3,60</b>
<b>3,70</b>	0,0605	0,0602	0,0599	0,0596	0,0594	0,0591	0,0588	0,0585	0,0582	0,0579	<b>3,70</b>
<b>3,80</b>	0,0577	0,0574	0,0571	0,0568	0,0566	0,0563	0,0560	0,0558	0,0555	0,0552	<b>3,80</b>
<b>3,90</b>	0,0550	0,0547	0,0545	0,0542	0,0540	0,0537	0,0535	0,0532	0,0530	0,0527	<b>3,90</b>
<b>4,00</b>	0,0525	0,0523	0,0520	0,0518	0,0516	0,0513	0,0511	0,0509	0,0506	0,0504	<b>4,00</b>
<b>4,10</b>	0,0502	0,0500	0,0497	0,0495	0,0493	0,0491	0,0489	0,0486	0,0484	0,0482	<b>4,10</b>
<b>4,20</b>	0,0480	0,0478	0,0476	0,0474	0,0472	0,0470	0,0468	0,0466	0,0464	0,0462	<b>4,20</b>
<b>4,30</b>	0,0460	0,0458	0,0456	0,0454	0,0452	0,0450	0,0448	0,0446	0,0444	0,0442	<b>4,30</b>
<b>4,40</b>	0,0441	0,0439	0,0437	0,0435	0,0433	0,0431	0,0430	0,0428	0,0426	0,0424	<b>4,40</b>
<b>4,50</b>	0,0423	0,0421	0,0419	0,0417	0,0416	0,0414	0,0412	0,0411	0,0409	0,0407	<b>4,50</b>
<b>4,60</b>	0,0406	0,0404	0,0403	0,0401	0,0399	0,0398	0,0396	0,0395	0,0393	0,0391	<b>4,60</b>
<b>4,70</b>	0,0390	0,0388	0,0387	0,0385	0,0384	0,0382	0,0381	0,0379	0,0378	0,0376	<b>4,70</b>
<b>4,80</b>	0,0375	0,0373	0,0372	0,0371	0,0369	0,0368	0,0366	0,0365	0,0364	0,0362	<b>4,80</b>
<b>4,90</b>	0,0361	0,0359	0,0358	0,0357	0,0355	0,0354	0,0353	0,0351	0,0350	0,0349	<b>4,90</b>
<b>5,00</b>	0,0347	0,0346	0,0345	0,0344	0,0342	0,0341	0,0340	0,0339	0,0337	0,0336	<b>5,00</b>

*F1.1. táblázat (folyt.): Az „d” kihajlási görbe táblázata  $\chi$  értékei  $\bar{\lambda}$  függvényében.*

## **F2 Anyagválasztás**

Szükséges ismeretek:

- Anyagválasztás szempontjai (lásd [4] 3.4 pontja).