

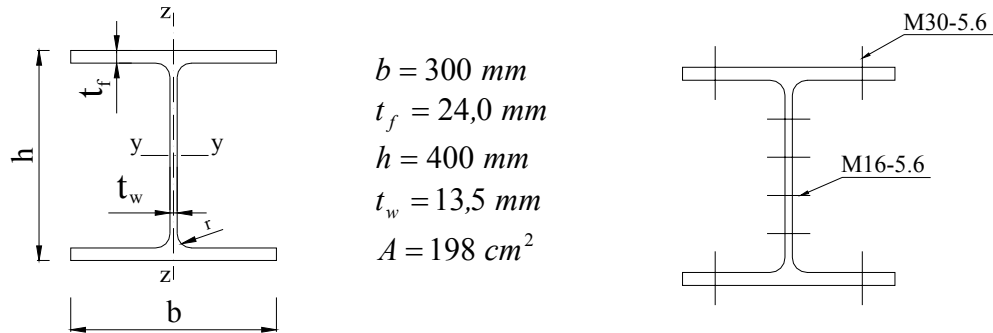
A következő oldalakon az AGYÚ témakörbe vágó mintapéldáin piros kereteléssel jelöltük ki azokat a képleteket, amelyeket NEM kell „fejből” tudni. Ha a 2. zárthelyi dolgozatban a feladatok megoldásához ezekre a formulákra szükség lesz, akkor megadjuk a képletüket.

4.7. Példa

Tervezze meg egy HEB 400-as szelvényű húzott rúd 4.9. ábra szerinti csavarozott illesztését $F_{Ek,g} = 900 \text{ kN}$ állandó és $F_{Ek,q} = 1600 \text{ kN}$ hasznos húzóerőre!

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

Keresztmetszeti adatok: HEB 400 (táblázatból)



4.9. ábra: A szelvény és a kapcsolat geometriája.

Csavarok: M30, 5.6 $\rightarrow d_0 = 33 \text{ mm}$ az övekben

M16, 5.6 $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$ 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)

A tervezési húzóerő:

Teherkombináció képzése

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

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

$$A_{\text{öv}} = 2,4 \cdot 30 = 72 \text{ cm}^2 \text{ (1db öv)}$$

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

Egy övre jutó tervezési húzóerő:

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

A gerincre jutó tervezési húzóerő:

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

A szelvény húzási ellenállásának tervezési 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 tervezési 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 tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0,9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{(198 - 4 \cdot 3,3 \cdot 2,4 - 4 \cdot 1,8 \cdot 1,35) \cdot 36}{1,25} = 4059,07 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = N_{u,Rd} = 4059,07 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása:

Nyírási ellenállás (menet nélküli részen):

$$F_{v,Rd}^{16} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 96,5 \text{ kN}$$
$$F_{v,Rd}^{30} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_b}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{3^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 339,3 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás: (a kapcsolat geometriáját a 4.10. ábra mutatja)

- 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 csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{18} - 1,7 = 3,74 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{75}{18} - 1,7 = 4,13 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,74$$

- erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1,05 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 1,0$$

A minimális palástnyomási ellenállás:

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

- M30-as csavarok:

$$\begin{array}{l} e_1 = 75 \text{ mm} \quad e_2 = 60 \text{ mm} \\ p_1 = 120 \text{ mm} \end{array}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{55}{33} - 1,7 = 2,96 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{75}{3 \cdot 33} = 0,76 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,38 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,76$$

- erő irányában közbenső csavar
a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

A minimális palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd}^{30} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,76 \cdot 36 \cdot 3,0 \cdot 2,4}{1,25} = 393,98 \text{ kN}$$

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

A szükséges és alkalmazott csavarszám:

Egy övbe:

$$n_{sz,\ddot{o}v} = \frac{F_{Ed,f}}{F_{v,Rd}^{30}} = \frac{1314,6}{339,3} = 3,9 \text{ db} \quad n_{alk} = 4 \text{ db} \rightarrow 2 \times 2 \text{ db}$$

A gerincbe:

$$n_{sz,g} = \frac{F_{Ed,w}}{F_{v,Rd}^{16}} = \frac{985,91}{96,5} = 10,2 \text{ db} \quad n_{alk} = 12 \text{ db} \rightarrow 3 \times 4 \text{ db}$$

A hevederek tervezési 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:

$$A_{net,hev} = (30 - 3,3 \cdot 2) \cdot 1,2 + 2 \cdot (11,5 - 3,3) \cdot 1,8 = 57,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,\ddot{o}v} = (30 - 3,3 \cdot 2) \cdot 2,4 = 56,16 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,hev} = 57,6 \text{ cm}^2 > A_{net,\ddot{o}v} = 56,16 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{Az övheveder megfelel!}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny tervezési 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 tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd}^f = 0,9 \cdot \frac{A_{net,hev} \cdot f_u}{\gamma_{M0}} = 0,9 \cdot \frac{57,6 \cdot 36}{1,25} = 1493,0 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}^f = N_{u,Rd}^f = 1493,0 \text{ kN} > F_{Ed,f} = 1314,5 \text{ kN} \rightarrow \text{Az övheveder megfelel!}$$

Gerinc:

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

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

$$A_{net,hev} = 44,6 \text{ cm}^2 > A_{net,g} = 44,28 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{A gerincheveder megfelel!}$$

A heveder teljes keresztmetszetének képlékeny tervezési ellenállása:

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

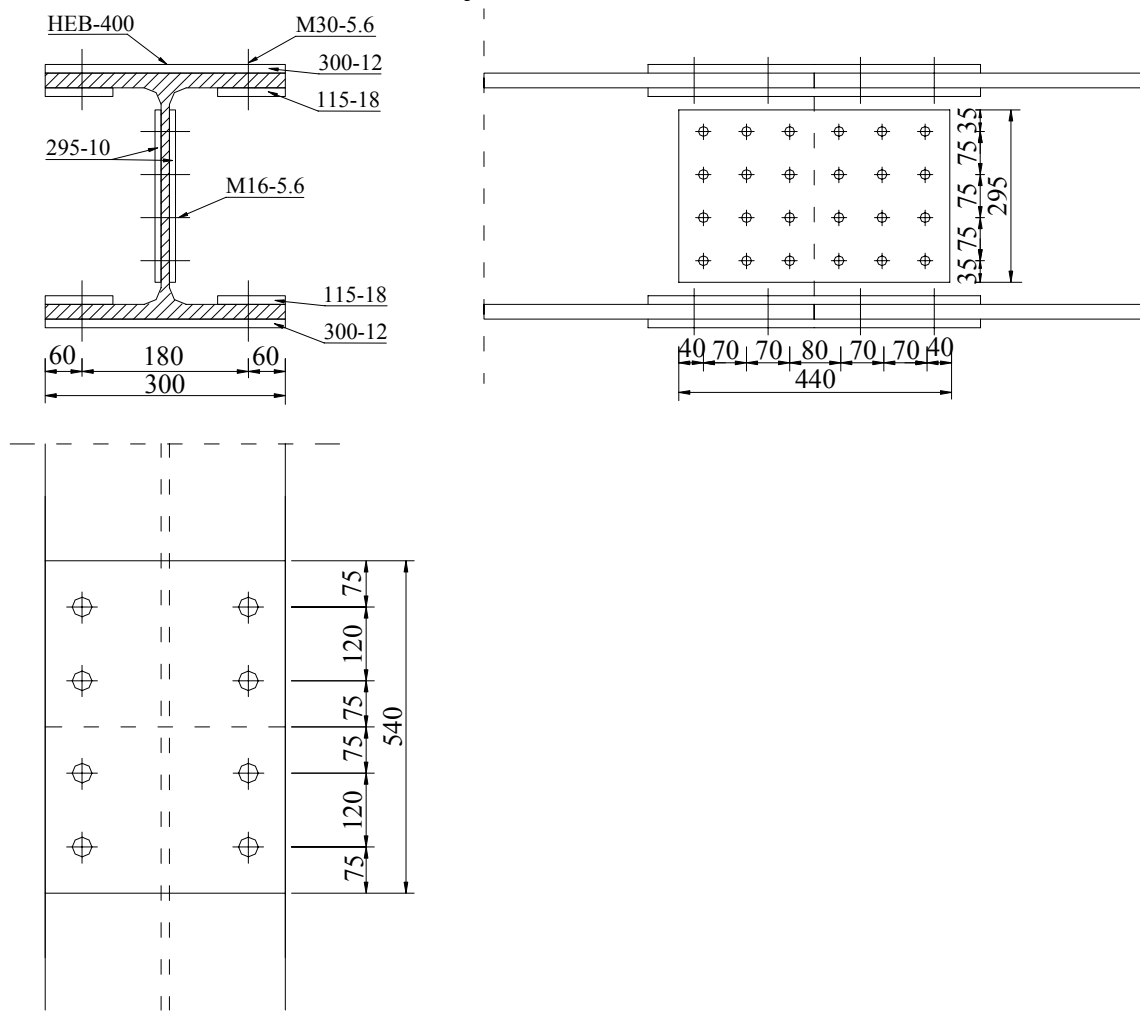
A heveder csavarlyukakkal gyengített szelvényének tervezési törési ellenállása:

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

$$N_{t,Rd}^w = N_{u,Rd}^w = 1156,0 \text{ kN} > F_{Ed,w} = 986,0 \text{ kN} \rightarrow \text{A gerincheveder megfelel!}$$

A kapcsolat geometriája:

A csavarkiosztást a 4.10. ábra mutatja:



4.10. ábra: A kapcsolat geometriája.

4.2.3. Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolatai

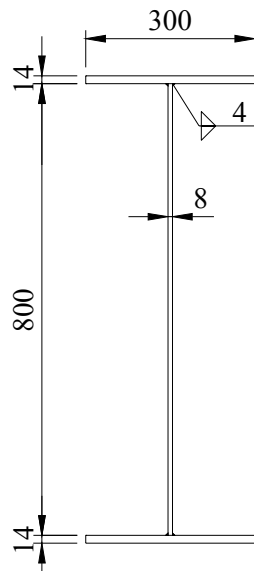
Hajlított-nyírt elemek csavarozott kapcsolataira mutatunk be mintapéldákat a 4.2.1 fejezetben ismertetett méretezési eljárás alkalmazásával. A következő példatípusokat oldjuk meg: hegesztett I-szelvény hevederes illesztése kétszernyírt csavarozott kapcsolattal; szerkezeti elemek(oszlop, gerenda) csuklós illetve nyomatékbiro homloklemezcsatlakozások.

4.8 Példa

Tervezzük meg az alábbi hegesztett szelvényű hajlított tartó (4.11. ábra) illesztését hevederezett kapcsolattal! A terhelésből számított nyíróerő az illesztés keresztmetszetében $V_{Ed} = 256 \text{ kN}$. Az illesztés legyen teljes szilárdságú, és „A” típusú kapcsolat.

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

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



4.11. ábra: A tartó geometriája.

A keresztmetszet osztályozása:

Öv:

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

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

tehát az öv 3. keresztmetszeti osztályú.

Gerinc:

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

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

tehát a gerinc is 3. keresztmetszeti osztályú.

Tehát a teljes keresztmetszet 3. keresztmetszeti osztályú.

A keresztmetszet hajlítási ellenállása:

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

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

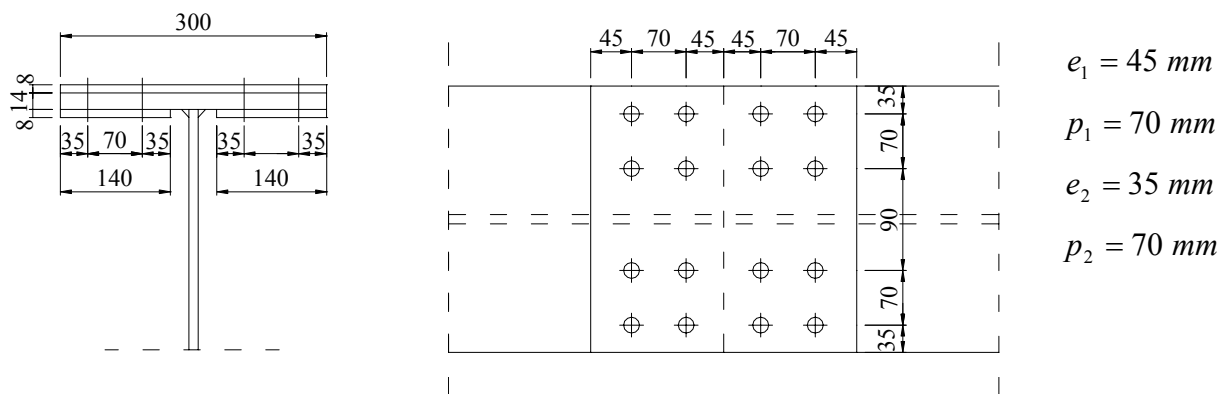
$$M_{b,Rd} = \frac{4185 \cdot 35,5}{1,0} = 148584 \text{ kNcm} = 1486 \text{ kNm}$$

Övlemezek illesztése:

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

Csavaradatok (lsd. 4.1 táblázat) $A = 3,14 \text{ cm}^2$ $d = 20 \text{ mm}$ $d_0 = 22 \text{ mm}$

Csavarok elhelyezése: alapelv, hogy egy keresztmetszetben a lehető legtöbb csavart helyezzünk el! A belső heveder szélessége legfeljebb 140 mm lehet. Ez elegendő ahhoz, hogy a gerinc két oldalán 2-2 csavart tegyünk az övbe. Tétélezzük fel, hogy egymás mögött 2 csavarsor elegendő (lsd. 4.12. ábra).



4.12. ábra: A kapcsolat geometriája.

A szelvény húzási ellenállásának tervezési értéke:

A teljes keresztmetszet képlékeny tervezési 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 tervezési törési 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 tervezési 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 csavar

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{35}{22} - 1,7 = 2,75 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz.

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar

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

- erő irányában közbenső csavar

a kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz.

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,68 \cdot 51 \cdot 2,0 \cdot 1,4}{1,25} = 194,8 \text{ kN}$$

Egy csavarra jutó nyíróerő:

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

Tehát az öv csavarkapcsolata
megfelelő!

Övhevederek méretei:

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

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

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

A hevederek az övben szintén megfelelőek!

Gerinclemez illesztése:

Gerinc illesztésére működő igénybevételek:

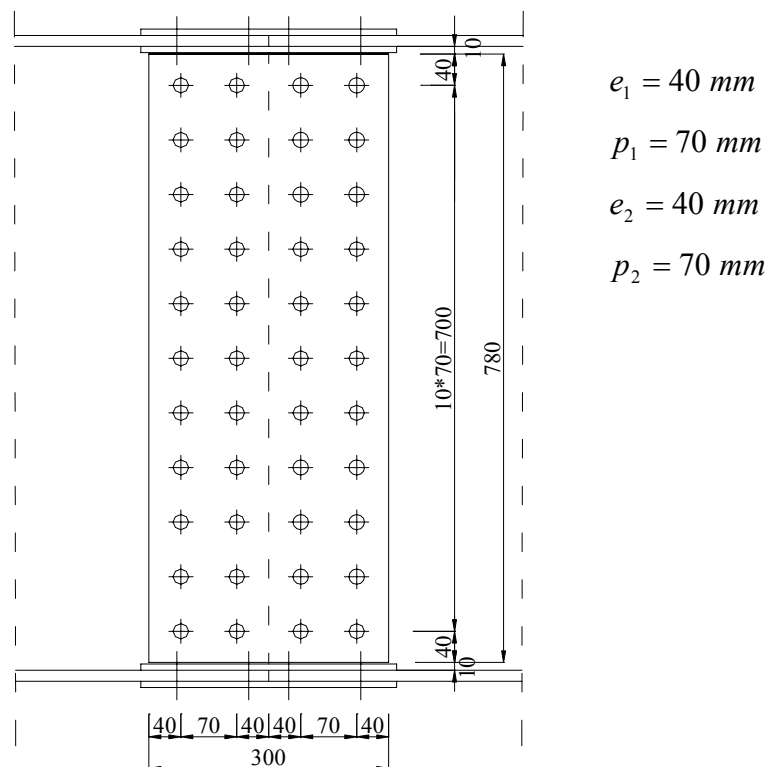
A gerinc viseli a teljes nyíróerőt és a hajlítási ellenállásból a gerincre eső részt. Ez utóbbit közelítőleg a gerinc inerciája arányában oszthatjuk rá.

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

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

A gerinc csavarképenek felvétele:

Javasolható két csavaroszlop, egymás alatt a lehető legtöbb csavart elhelyezve, kétoldali hevederezéssel (lsd. 4.13. ábra). Csavarok a gerinc vastagságához illő M16 ($A = 2,01 \text{ cm}^2$), csavarok száma $m = 22 \text{ db}$.



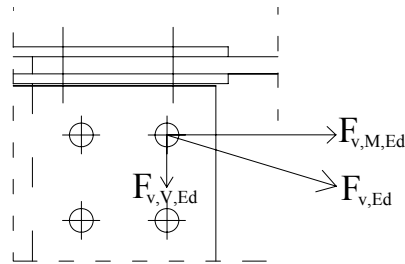
4.13. ábra: A gerinc illesztése.

A legjobban igénybevett csavar kiválasztása, igénybevételei:

A nyíróerőből minden csavar azonos terhet kap, a hajlításból pedig a csavarkép súlypontjától legtávolabbi csavarok kapják a legnagyobb terhelést. A kapcsolatban a jobb felső csavar jutó terheket a 4.14. ábra mutatja.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyírásból (egyenletes erőeloszlást feltételezve):

$$F_{v,V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{256}{22} = 11,64 \text{ kN}$$



4.14. ábra: Egy csavarra jutó erők.

A legjobban igénybevett csavarra ható nyíróerő a nyomatékból: (rugalmas erőeloszlást feltételezve)

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{r_{\max}}{\sum r_i^2}$$

Alkalmazva a szokásos „magas csavarkép” közelítést: $r \cong z$ ezért:

$$F_{v,M,Ed} = M_{G,b,Rd} \cdot \frac{z_{\max}}{\sum z_i^2} = 29270 \cdot \frac{35}{4 \cdot (7^2 + 14^2 + 21^2 + 28^2 + 35^2)} = 95,03 \text{ kN}$$

A teljes 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 ellenállása:

$$F_{v,Rd} = 0,6 \cdot n \cdot \frac{f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot 0,6 \cdot \frac{80 \cdot 2,01}{1,25} = 154,4 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállása:

A vizsgált csavar erőirányban és merőlegesen is szélső csavar.

k_1 számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{18} - 1,7 = 4,5 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,74 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{51} = 1,57 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,74$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 51 \cdot 1,6 \cdot 0,8}{1,25} = 96,61 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$F_{v,Ed} = 95,74 \text{ kN} < F_{b,Rd} = 96,61 \text{ kN}$$

Tehát a gerinc csavarkapcsolata megfelelő!

Hevederek választása:

Mindkét oldalon $t_{hev} = 6 \text{ mm}$ vastagságú hevedert alkalmazunk.

$$I_{hev} = \frac{2 \cdot 0,6 \cdot 78^3}{12} = 47455 \text{ cm}^4 > I_{y,ger} = 34133 \text{ cm}^4$$

A hevederek is megfelelőek!

4.9 Példa

Hajlékony homloklemez-es gerenda-gerenda kapcsolatvizsgálata. Feltételezzük, hogy a kapcsolat merevség és szilárdság szempontjából egyaránt *csuklós*, kialakítását a 4.15. ábra mutatja. A fióktartó szelvénye IPE-300, reakcióereje $F_{Ed} = 60 \text{ kN}$. Vizsgáljuk meg a kapcsolat egyes alkotóelemeinek teherbírását!

Alapanyag: S235 $f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 36,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,8$ $\alpha_w = 0,6$

Csavarok: M16, 5.6 $\rightarrow d_0 = 18 \text{ mm}$

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

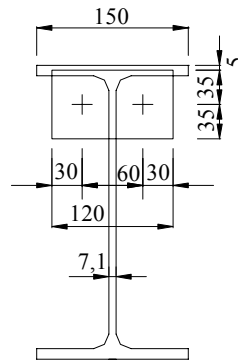
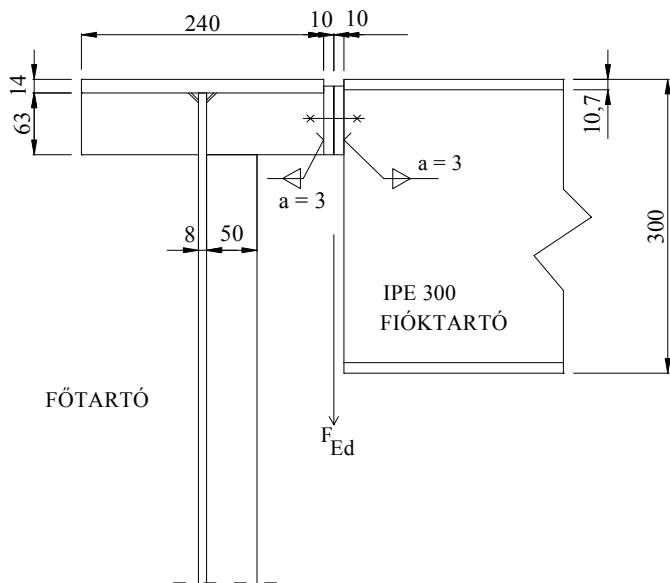
Csavarok vizsgálata:

Nyírási ellenállása:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot \frac{1,6^2 \cdot \pi}{4}}{1,25} = 48,25 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállás:

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



$$e_1 = 35 \text{ mm}$$

$$e_2 = 30 \text{ mm}$$

$$p_2 = 60 \text{ mm}$$

2 db M16 - 5.6 csavar
"A" típusú kapcsolat

4.15. ábra: A kapcsolat kialakítása.

k_1 számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{30}{18} - 1,7 = 2,97 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,65 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{50}{36} = 1,39 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,65$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,65 \cdot 36 \cdot 1,6 \cdot 1,0}{1,25} = 74,65 \text{ kN}$$

Mértékadó tehát a csavarszár nyírása, a csavarok teherbírása:

$$F_{A,Rd,1} = 2 \cdot F_{v,Rd} = 2 \cdot 48,25 = 96,51 \text{ kN}$$

Hegesztési varratok ellenállása: (Isd. 4.3 Hegesztett kapcsolatok ellenállása)

A homloklemez felső élét bekötő varratot elhanyagoljuk, csak a gerinc varratait vesszük figyelembe. A varratban csak τ_{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:

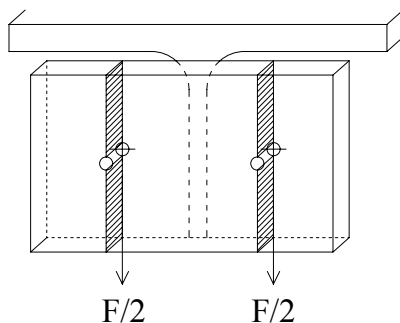
Gerinc nyírési ellenállása: a hegesztési varrat mentén

$$F_{A,Rd,3} = V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 0,71 \cdot 7,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 67,43 \text{ kN}$$

Homloklemez teherbírása:

A felső öv hatását elhanyagoljuk, úgy tekintjük, mintha csak a gerinchez kapcsolódna a homloklemez

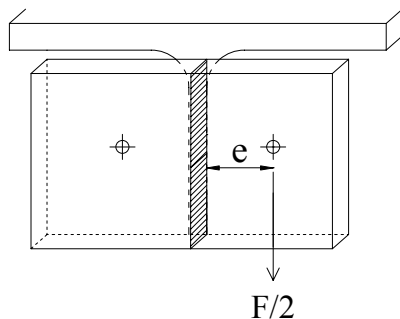
-Homloklemez nyírása



$$F_{A,Rd,4} = 2 \cdot V_{c,Rd,h} = 2 \cdot (7,0 - 1,8) \cdot 1,0 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 141,10 \text{ kN}$$

4.16. ábra: Nyírt keresztmetszet.

-Homloklemez hajlítása



4.17. ábra: Hajlított keresztmetszet.

Közelítésképpen 3. keresztmetszeti osztályú homloklemezt feltételezünk

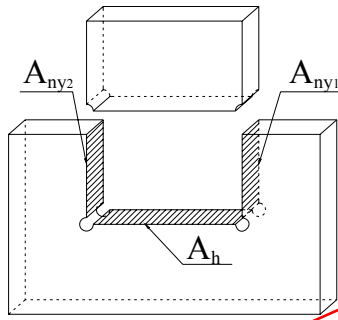
$$e = \frac{6,0}{2} - \frac{0,71}{2} = 2,645 \text{ cm}$$

$$W = W_{el} = 1,0 \cdot \frac{7,0^2}{6} = 8,17 \text{ cm}^3$$

$$F_{A,Rd,5} = 2 \cdot W_{el} \cdot \frac{f_y}{e \cdot \gamma_{M0}} = 2 \cdot 8,17 \cdot \frac{23,5}{2,645 \cdot 1,0} = 145,17 \text{ kN}$$

Ezt a vizsgálatot ilyen típusú csomópontnál NEM kell elvégezni!

- Homloklemez csoportos kiszakadása



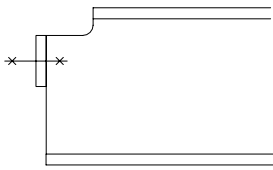
$$A_{ny,1} = A_{ny,2} = (3,5 - 0,9) \cdot 1,0 = 2,6 \text{ cm}^2 \text{ nyírt szakaszok}$$

$$A_h = (6,0 - 1,8) \cdot 1,0 = 4,2 \text{ cm}^2 \text{ húzott szakasz}$$

$$F_{A,Rd,6} = V_{eff,Rd} = \frac{f_u \cdot A_h}{\gamma_{M2}} + \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \cdot A_{ny} =$$

$$= \frac{36 \cdot 4,2}{1,25} + \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 2 \cdot 2,6 = 191,51 \text{ kN}$$

4.18. ábra: Nyírt és húzott keresztmetszetek.



4.19. ábra: Alternatív csomópont kialakítás.

Megjegyezzük, hogy a homloklemez vizsgálatait esetünkben formálisak. Olyan kialakításnál lehet fontos az elvégzésük, ahol a homloklemez nem éri el a fióktartó felső övét

A kapcsolat ellenállása:

Az összes tönkremeneteli módot tekintetbe véve a kapcsolat ellenállását a fióktartó gerincének nyírási ellenállása szabja meg:

$$F_{A,Rd} = F_{A,Rd,min} = 67,43 \text{ kN}$$

A kapcsolat megfelelő, mert

$$F_{Ed} = 60 \text{ kN} < F_{A,Rd} = 67,43 \text{ kN}$$

A kapcsolat főtartó gerenda felőli oldalát vizsgálva megállapítható, hogy mindegyik alkotóelem teherbírása legalább akkora, mint a fióktartó felőli oldalon. (Sőt, a gerinc nyírási ellenállása nagyobb, ha a merevítőborda vastagságát nagyobbra választjuk mint az IPE szelvény gerincéét pl: $t = 8 \text{ mm}$; $t_{IPE} = 7,1 \text{ mm}$.) A kapcsolat tehát így is megfelelő.

4. 10 Példa

Határozzuk meg a 4.20. ábrán látható homloklemez-eszlop-gerenda kapcsolat nyomatéki és nyírási ellenállását! Feltételezzük, hogy a kapcsolat merev, részleges szilárdságú. A felső csavarsor csak a hajlítási ellenállásban vesz részt, nyírást nem kapnak. 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 $\rightarrow d_0 = 26 \text{ mm}$ $d_m = 38,8 \text{ mm}$

$A = 4,52 \text{ cm}^2$ $A_s = 3,53 \text{ cm}^2$

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

Homloklemez geometriai adatai:

$b_p = 300 \text{ mm}$ $t_p = 25 \text{ mm}$ $e_1 = 74 \text{ mm}$ $w = 150 \text{ mm}$

Oszlop adatai: HEB 500 melegen hengerelt szelvény

gerinc magasság: $b_{wc} = 444 \text{ mm}$ gerincvastagság: $t_{wc} = 14,5 \text{ mm}$

öv szélesség: $b_{fc} = 300 \text{ mm}$ öv vastagság: $t_{fc} = 28 \text{ mm}$

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

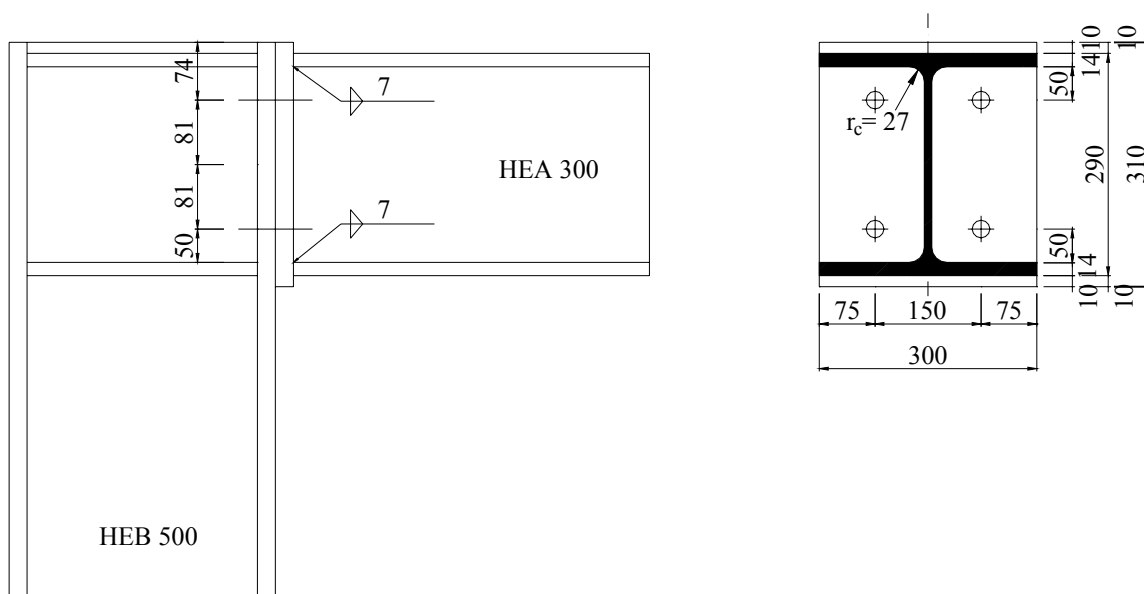
gerinc magasság: $b_{wb} = 262 \text{ mm}$ gerincvastagság: $t_{wb} = 8,5 \text{ mm}$

öv szélesség: $b_{fb} = 300 \text{ mm}$ öv vastagság: $t_{fb} = 14 \text{ mm}$

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.



4.20. ábra: A kapcsolat oldalnézete és a homloklemez nézete a gerenda felől.

Kapcsolat alkotóelemeinek ellenállása:

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:

$\ell_{effektív}$ hosszak meghatározása egyedi csavartönkretenetel esetére

-Segédmennyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wc}}{2} - 0,8 \cdot r_c = \frac{150}{2} - \frac{14,5}{2} - 0,8 \cdot 27 = 46,15 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m; e) = \min(1,25 \cdot 46,15 = 57,69 ; 75) = 57,69 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,15}{46,15 + 75} = 0,381$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{46,15 + 75} = 0,348$$

α értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben $\alpha = 6,8$ (lsd. 4.21. ábra grafikont).

- $\ell_{effektív}$ számítása:

nem kör alakú töréskép esetén: $l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6,8 \cdot 46,15 = 314 \text{ mm}$

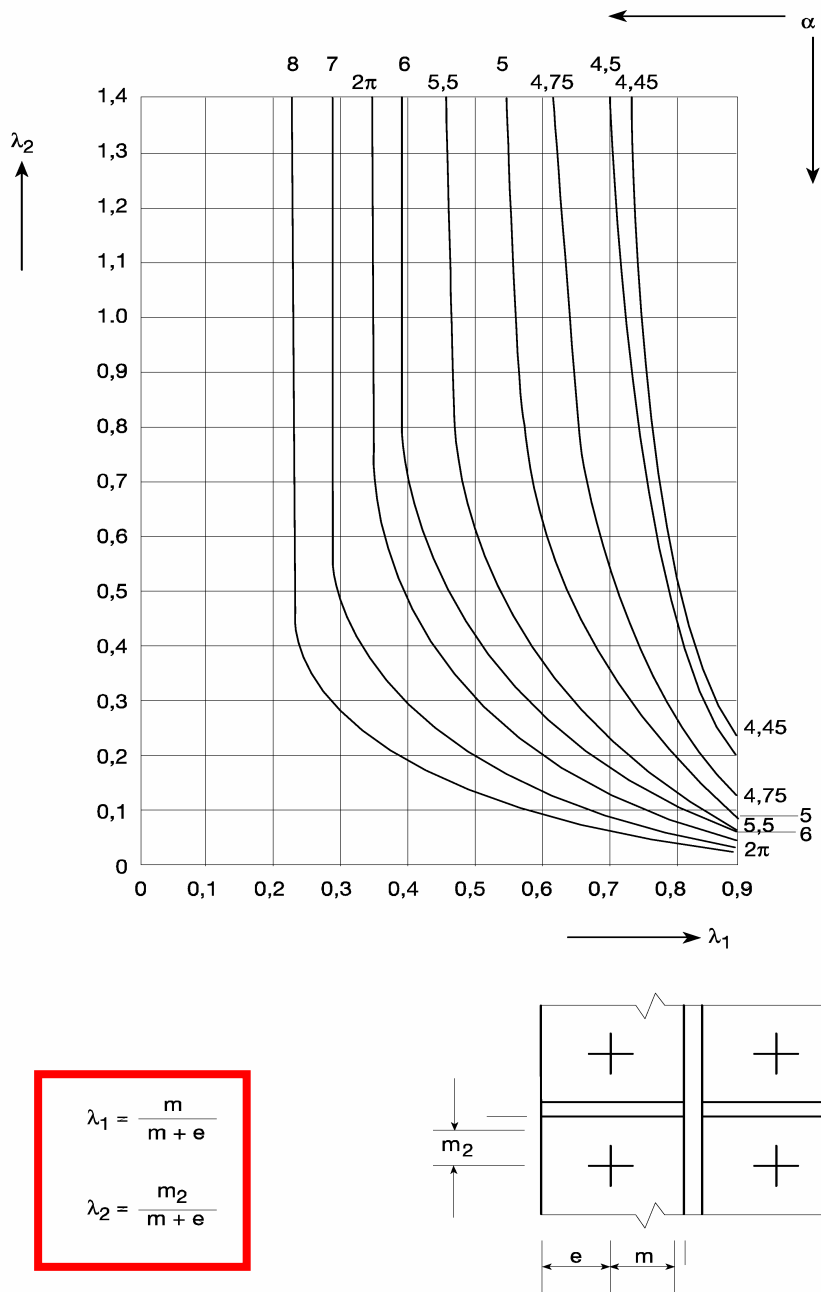
kör alakú töréskép esetén: $l_{eff,cp} = 2\pi \cdot m = 290 \text{ mm}$

- $\ell_{effektív}$ számítása „T” kapcsolat 1. tönkreteneteli módjához:

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,nc}; l_{eff,cp}) = 290 \text{ mm}$$

- $\ell_{effektív}$ számítása „T” kapcsolat 2. tönkreteneteli módjához:

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 314 \text{ mm}$$



4.21. ábra: α 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:

$$F_{t,Rd} = m \cdot \min(F_{t,Rd} ; B_{p,Rd}) = 2 \cdot \min(254,16 ; 526,6) = 508,32 \text{ kN}$$

Oszlop övének mint „T”-kapcsolatnak az ellenállása:

-Övlemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 29 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1335 \text{ kNcm} = 13,35 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 31,4 \cdot 2,8^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1446 \text{ kNcm} = 14,46 \text{ kNm}$$

-„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):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1446 + 5,769 \cdot 508,32}{4,61 + 5,769} = 561,2 \text{ kN}$$

-„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:

$l_{effektív}$ hosszak meghatározása egyedi csavartönkremenetel esetére

-Segédmenyiségek

$$m = \frac{w}{2} - \frac{t_{wb}}{2} - 0,8 \cdot a_w \cdot \sqrt{2} = \frac{150}{2} - \frac{8,5}{2} - 0,8 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} = 66,25 \text{ mm}$$

$$n = \min(1,25 \cdot m; e) = \min(1,25 \cdot 66,25 = 82,81 ; 75) = 75 \text{ mm}$$

$$m_2 = e_x - 0,8 \cdot a_f \cdot \sqrt{2} = 50 - 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 42,08 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{66,25}{66,25 + 75} = 0,469$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{42,08}{66,25 + 75} = 0,298$$

α értékét grafikonból kell megállapítani, esetünkben $\alpha = 6,5$ (lsd. 4.21. ábra grafikont)

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása:

nem kör alakú töréskép esetén:

$$l_{\text{eff},nc} = \alpha \cdot m = 6,5 \cdot 66,25 = 430 \text{ mm}$$

kör alakú töréskép esetén:

$$l_{\text{eff},cp} = 2\pi \cdot m = 416 \text{ mm}$$

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása „T” kapcsolat 1. tönkremeneteli módjához:

$$l_{\text{eff},1} = \min(l_{\text{eff},nc} ; l_{\text{eff},cp}) = 416 \text{ mm}$$

- $\ell_{\text{effektív}}$ számítása „T” kapcsolat 2. tönkremeneteli módjához:

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff},nc} = 430 \text{ mm}$$

Húzott csavarok ellenállásának számítása:

-Felső csavarsor húzási ellenállása (Isd. fent):

$$F_{t,Rd} = 508,32 \text{ kN}$$

Homloklemeznek mint „T”-kapcsolatnak az ellenállása:

-Homloklemez határnyomatékai:

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \cdot l_{\text{eff},1} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 41,6 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1528 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \cdot l_{\text{eff},2} \cdot t_p^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 0,25 \cdot 43 \cdot 2,5^2 \cdot \frac{23,5}{1,0} = 1581 \text{ kNcm}$$

-„T” kapcsolat 1. tönkremeneteli módja (homloklemez teljes megfolyása):

$$F_{t1,Rd} = 4 \cdot \frac{M_{pl,1,Rd}}{m} = 4 \cdot \frac{1528}{6,62} = 922,8 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 2. tönkremeneteli módja (homloklemez és csavarok együttes tönkremenetele):

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 1581 + 7,5 \cdot 508,32}{6,62 + 7,5} = 493,8 \text{ kN}$$

-„T” kapcsolat 3. tönkremeneteli 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:

$$b_{eff,t,wb} = l_{eff,1} = 416 \text{ mm}$$

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{41,6 \cdot 0,85 \cdot 23,5}{1,0} = 831,2 \text{ kN}$$

Csavarok húzásban:

A csavarok húzási ellenállását a homloklemezek ellenállásának számításakor már figyelembe vettük, ezért a 3.8 komponens vizsgálata ki is hagyható

A kapcsolat 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 kapcsolat 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 kapcsolat nyírási ellenállása:

Alsó csavarsor nyírási ellenállása:

$$F_{V,Rd} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot d^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 100 \cdot 2,4^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{1,25} = 434,3 \text{ kN}$$

Alsó csavarsor palástnyomási ellenállása:

Mindkét csavar mind erőirányban, mind arra merőlegesen szélső csavar.

k₁ számítása:

$$k_1 = \min \left(\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{75}{26} - 1,7 = 6,3 \\ 2,5 \end{array} \right) \rightarrow k_1 = 2,5$$

α_b számítása:

$$\alpha_b = \min \left(\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{74}{3 \cdot 26} = 0,949 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{100}{36} = 2,78 \\ 1 \end{array} \right) \rightarrow \alpha_b = 0,949$$

A palástnyomási ellenállás

$$F_{b,Rd} = 2 \cdot \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,949 \cdot 36 \cdot 2,4 \cdot 2,5}{1,25} = 820 \text{ kN}$$

Kapcsolat ellenállása nyírásra:

$$V_{Rd} = \min(F_{V,Rd}; F_{b,Rd}) = 434,3 \text{ kN}$$

4.18. Példa

A 4.34. 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 a rácsrúdhoz..

- Határozzuk meg a K csomópont tervezési ellenállását!
- Ellenőrizzük a rácsrudakat bekötő varratok tervezési ellenállását, ha azok $a = 4 \text{ mm}$ -es sarokvarratok!
- Mekkora lenne a csomópont ellenállása, ha a rácsos tartó övrúdjai HE-AA 120-as I-szelvényből készülné?

Alapanyag: S275 $f_y = 27,5 \text{ kN/cm}^2$ $f_u = 43,0 \text{ kN/cm}^2$ $\beta_w = 0,85$

a) K csomópont tervezési ellenállásának meghatározása (zárt szelvényű öv- és rácsrudak)

A csomópont geometriája:

övrúd: 100x100x4

$$b_0 = 100 \text{ mm}$$

$$h_0 = 100 \text{ mm}$$

$$t_0 = 4 \text{ mm}$$

nyomott rácsrúd: 80x80x4

$$b_1 = 80 \text{ mm}$$

$$h_1 = 80 \text{ mm}$$

$$t_1 = 4 \text{ mm}$$

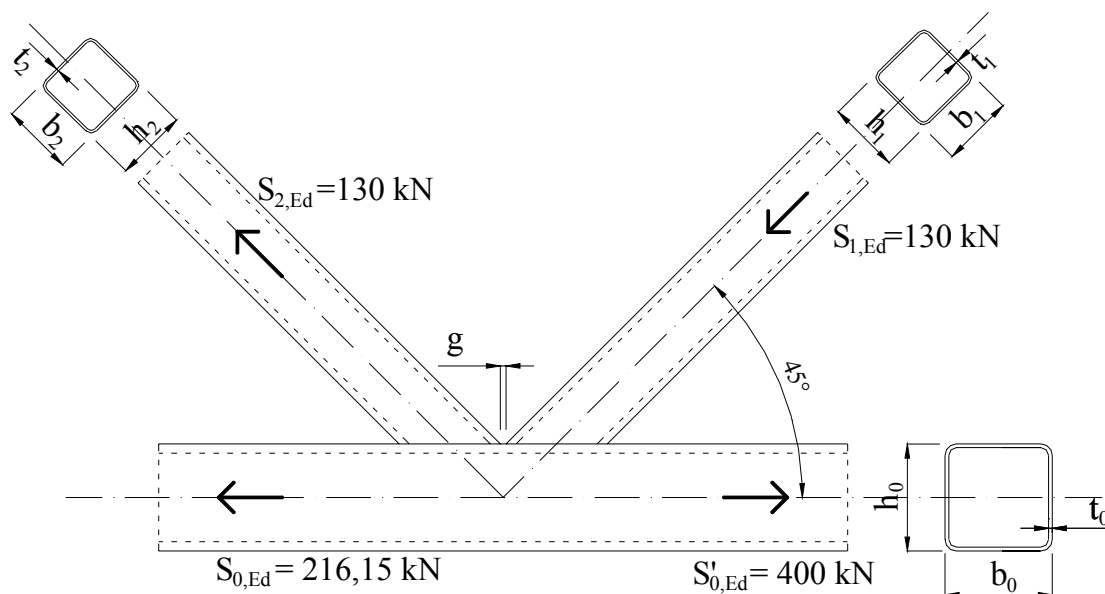
húzott rácsrúd: 80x80x4

$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

$$h_2 = 80 \text{ mm}$$

$$t_2 = 4 \text{ mm}$$

$$g = 20 \text{ mm}$$



4.34. ábra: A K csomópont.

A szerkesztési szabályok ellenőrzése: 4.4. – 4.6. táblázatok

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: – legalább 2. keresztmetszeti osztályú a szelvény

$$c_f = h_1 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_1 = 80 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 56 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_1} = \frac{56}{4} = 14,0 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

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:

$$10. \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$11. \quad \frac{h_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$12. \quad \frac{b_0}{t_0} = \frac{100}{4} = 25,0 \geq 15 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$13. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$14. \frac{h_0}{b_0} = \frac{100}{100} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

15. Keresztmetszet osztálya: – legalább 2. keresztmetszeti osztályú a szelvény

$$c_f = h_0 - 2 \cdot r - 2 \cdot t_0 = 100 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 4 = 76 \text{ mm}$$

$$\frac{c_f}{t_0} = \frac{76}{4} = 19 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,92 = 30,36$$

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 közti távolság:

$$22. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \geq 0,5 \cdot (1 - \beta) = 0,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,1 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$23. \frac{g}{b_0} = \frac{20}{100} = 0,2 \leq 1,5 \cdot (1 - \beta) = 1,5 \cdot (1 - 0,8) = 0,3 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$24. g = 20 \geq t_1 + t_2 = 4 + 4 = 8 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$\beta = \frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} = \frac{80 + 80}{2 \cdot 100} = 0,8$$

Ha a K csomópont szelvényei az összes szerkesztési szabály szerint megfelelőek, akkor feltételezhetjük, hogy a 4.32. ábrán látható tönkremeneteli módok közül csak az a és e jelű következhet be (a többi tönkremeneteli módot a szerkesztési szabályok betartásával kizártuk).

Az **a** tönkremeneteli mód az övrúd felületének a törése az **e** pedig a rácsrúd szakadása. E két tönkremeneteli mód szerint meg kell határoznunk a kapcsolat $N_{i,Rd}$ tervezési ellenállását és össze kell hasonlítanunk a kapcsolatra jutó $N_{i,Ed}$ rúderővel.

A kapcsolat tervezési ellenállása:

- az övrúd felületének a törése (**a** tönkremeneteli mód):

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot k_n \cdot f_{y0} \cdot t_0^2 \left(\frac{b_1 + b_2}{2 \cdot b_0} \right)}{\sin \theta_i} / \gamma_{M5}$$

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 van)

$$k_n = 1,3 - \frac{0,4 \cdot n}{\beta}; \text{ de } k_n \leq 1,0 \text{ nyomott öv esetén}$$

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:

$$N_{i,Rd} = \frac{8,9 \cdot \sqrt{12,5} \cdot 1,0 \cdot 275 \cdot 4^2 \left(\frac{80 + 80}{2 \cdot 100} \right)}{\sin 45^\circ} / 1,0 = 156,64 \text{ kN}$$

- a rácsrúd szakadása:

Ezt a tönkremeneteli módot átlapolt kapcsolatnál kell vizsgálni. A feladatban $g = 20 \text{ mm}$ van a két rácsrúd között, nem átlapolt a kapcsolat, tehát ez a vizsgálat nem mértékadó.

Ellenőrzés:

A kapcsolatra jutó legnagyobb rúderő $N_{i,Ed} = S_{1,Ed} = 130 \text{ kN}$

A kapcsolat ellenállása: $N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN}$

$N_{i,Rd} = 156,64 \text{ kN} > N_{i,Ed} = 130 \text{ kN} \rightarrow$ Megfelel!

Az **e** jelű tönkremenetel vizsgálatát lásd a b) pontban.

b) A rácsrudakat bekötő varratok tervezési ellenállásának ellenőrzése (zárt szelvényű öv- és rácsrudak)

A hegesztett kapcsolat akkor megfelelő, ha $a \leq t$ varratmérettel számolva a varrat fajlagos tervezési ellenállása $F_{w,Rd}$ legalább akkora, mint a szelvény tervezési 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 tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{3}} = \frac{43}{0,85 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 23,36 \text{ kN/cm}^2$$

Egy sarokvarrat fajlagos tervezési ellenállása:

$$F_{w,Rd} = f_{vw,d} \cdot a = 0,4 \cdot 23,36 = 9,35 \text{ kN/cm}$$

- a varratot terhelő fajlagos erő:

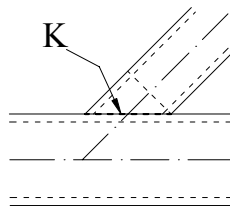
A rácsrúd húzási tervezési ellenállásából számolva.

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11,74 \cdot 27,5}{1,0} = 322,85 \text{ kN}$$

A húzási tervezési ellenállás fajlagos értéke:

A szelvény kerülete (lásd. 4.35 ábra)

$$K = 2 \cdot \left(b_2 + \frac{h_2}{\cos 45^\circ} \right) = 2 \cdot (80 + 80 \cdot \sqrt{2}) = 386,3 \text{ mm}$$



4.35 ábra: A csatlakozó rácsrúd kerülete.

$$\frac{N_{t,Rd}}{K} = \frac{322,85}{38,63} = 8,36 \text{ kN/cm}$$

- a varrat ellenőrzése:

$$F_{w,Rd} = 9,35 \text{ kN/cm} > \frac{N_{t,Rd}}{K} = 8,36 \text{ kN/cm} \quad \rightarrow \quad \text{A varrat megfelel!}$$

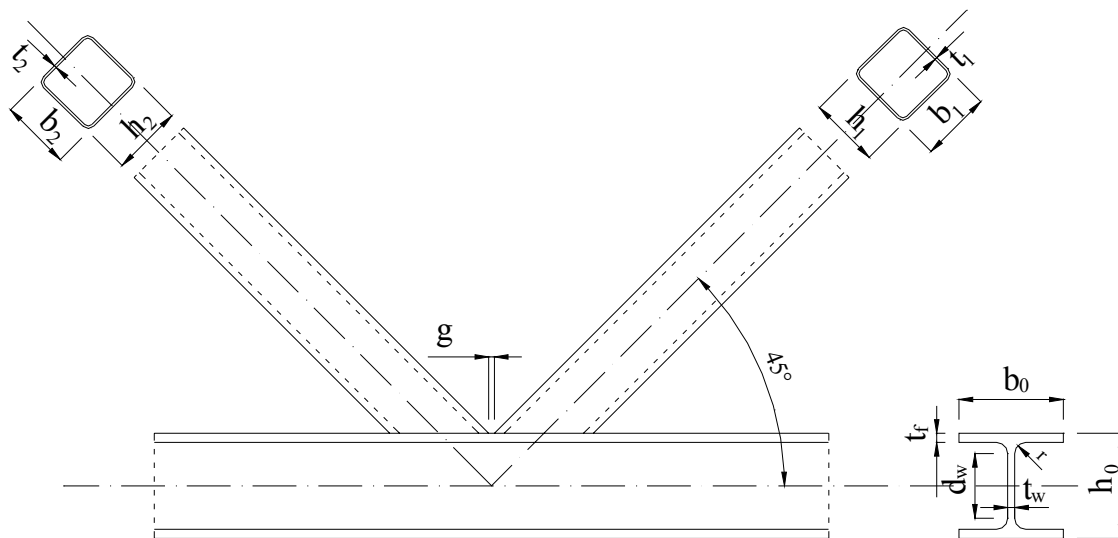
c) K csomópont tervezési ellenállásának meghatározása, ha az övrúd I-szelvényű

A csomópont geometriája:

A csomópont kialakítását I-szelvényű övekkel és zárt szelvényű rácsrudakkal a 4.36. ábra mutatja.

övrúd: HE-AA120

$$\begin{aligned} b_0 &= 120 \text{ mm} & t_f &= 5,5 \text{ mm} \\ h_0 &= 109 \text{ mm} & t_w &= 4,2 \text{ mm} \\ r &= 12 \text{ mm} & A_0 &= 18,6 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$



4.36. ábra: A K csomópont I-szelvényű övrúddal.

A szerkesztési szabályok ellenőrzése: 4.5. táblázat szerint.

- övrúd:

1. $d_w = h_0 - 2t_f - 2r$, belátható, hogy a $d_w < 400$ → 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 → Ok

- nyomott rácsrúd:

3. $\frac{b_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35$ → Ok

4. $\frac{h_1}{t_1} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35$ → Ok

$$5. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$6. \quad \frac{h_1}{b_1} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2,0 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

6. 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:

$$7. \quad \frac{b_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$8. \quad \frac{h_2}{t_2} = \frac{80}{4} = 20,0 \leq 35 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$9. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \geq 0,5 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

$$10. \quad \frac{h_2}{b_2} = \frac{80}{80} = 1,0 \leq 2 \quad \rightarrow \quad \text{Ok}$$

Az övrúd gerincének folyása:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} t_w b_w}{\sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 0,42 \cdot 18,30}{\sin 45 \cdot 1,0} = 298,92 \text{ kN}$$

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 tönkremenetele:

$$N_{i,Rd} = 2 f_{yi} t_i p_{eff} / \gamma_{M5} = 2 \cdot 27,5 \cdot 0,4 \cdot 6,67 / 1,0 = 146,74 \text{ kN} \quad (\text{a rácsrúdra ez a mértékadó})$$

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 nyírási tönkremenetele:

1. feltétel a rácsrúderőkre:

$$N_{i,Rd} = \frac{f_{y0} A_v}{\sqrt{3} \sin \theta_i \cdot \gamma_{M5}} = \frac{27,5 \cdot 8,48}{\sqrt{3} \sin 45 \cdot 1,0} = 190,41 \text{ kN}$$

ahol:

$$A_v = A_0 - (2 - \alpha) \cdot b_0 t_f + (t_w + 2r) \cdot t_f$$

$$A_v = 18,6 - (2 - 0,232) \cdot 12,0 \cdot 0,55 + (0,42 + 2 \cdot 1,2) \cdot 0,55 = 8,48 \text{ cm}^2$$

és

$$\alpha = \sqrt{\frac{1}{1 + 4g^2 / 3t_f^2}} = \sqrt{\frac{1}{1 + 4 \cdot 20^2 / 3 \cdot 5,5^2}} = 0,232$$

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:

$$N_{0,Rd} = \frac{(18,6 - 8,48) \cdot 27,5 + 8,48 \cdot 27,5 \sqrt{1 - (91,92 / 134,64)^2}}{1,0} = 447,08 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{i,Rd} = \min[298,92 \text{ kN}; 146,74 \text{ kN}; 190,41 \text{ kN}]$$

$$N_{i,Rd} = 146,74 \text{ kN} > S_{1,Ed} = 130 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{A rácsrúd megfelel!}$$

$$N_{0,Rd} = 447,08 \text{ kN} > S'_{0,Ed} = 400 \text{ kN} \quad \rightarrow \quad \text{Az övrúd megfelel!}$$