

TARTÓSZERKEZETEK III.

CSAVARozOTT ÉS HEGESZTETT KAPCSOLATOK

1 CSAVARozOTT KAPCSOLATOK

- 1.1 Központosan húzott rúd egyszer nyírt csavározott illesztése
- 1.2 Átlapolt csavározott kapcsolat ellenőrzése
- 1.3 Húzott lemez illesztése kétoldali acélhevederrel
- 1.4 Két szögacélból álló húzott rúd bekötése
- 1.5 Nyírásra és hajlításra igénybevett kapcsolat ellenőrzése
- 1.6 Excentrikus kapcsolat ellenőrzése
- 1.7 Húzott csavarok ellenállása
- 1.8 Konzoltartó ellenőrzése

2 HEGESZTETT KAPCSOLATOK

- 2.1 Csomólemez bekötése kétoldali körbevezetett sarokvarrattal
- 2.2 Központosan húzott rúd bekötése sarokvarrattal
- 2.3 Excentrikus kapcsolat méretezése
- 2.4 Emelőfülre hárítható erő meghatározása
- 2.5 Zártszelvényű rúd bekötése

1.1 példa

Ellenőrizzük az ábrán látható 240x14 méretű központosan húzott rúd egyszer nyírt csavazott illesztését $N_{t,Ed}=600$ kN erőre. (A nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át)

Alapanyag: **S275**

$$f_u=430 \text{ N/mm}^2$$

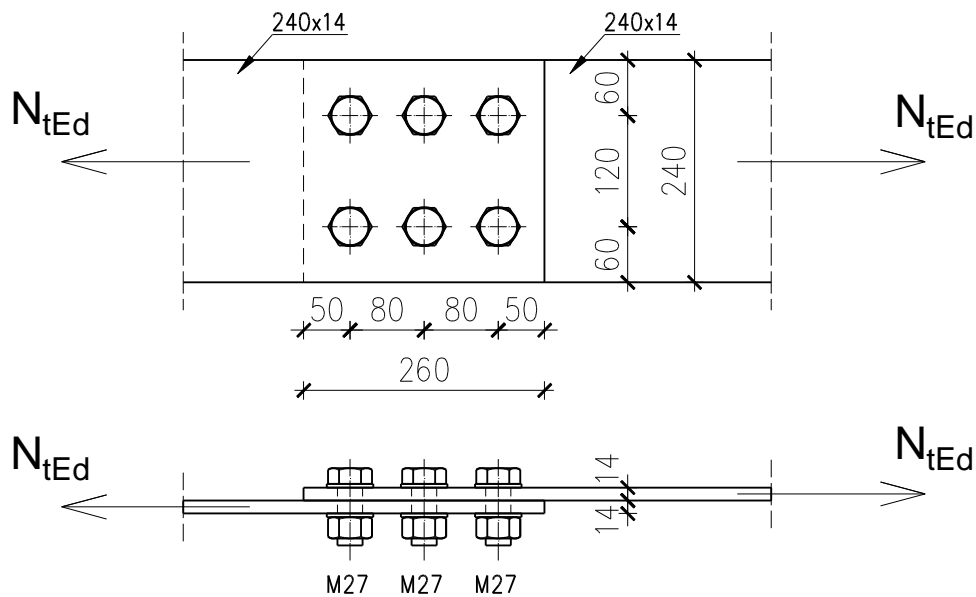
$$f_y=275 \text{ N/mm}^2$$

Csavarok: **M27, 8.8**

$$f_{ub}=800 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yb}=0.8 \cdot f_{ub}=0.8 \cdot 800=640 \text{ N/mm}^2$$

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



A teljes km folyási ellenállása:

$$N_{p1,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{240 \cdot 14 \cdot 275}{1.0} = 924000 \text{ N} = 924 \text{ kN}$$

A csavarlyukkal gyengített km töréssel szembeni ellenállása:

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot (240 - 2 \cdot 30) \cdot 14 \cdot 430}{1.25} = 780192 \text{ N} = 780,192 \text{ kN}$$

A húzott km ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 780.192 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} > N_{Ed} = 600 \text{ kN}$$

a rúd húzásra megfelel!

A csavarok tervezési ellenállása

A nyírási ellenállás:

$$\alpha_v = 0.6$$

(Ha a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át.)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot \frac{27^2 \cdot \pi}{4}}{1.25} = 219854 \text{ N} = 219.854 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

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

$$e_1 = 50 \text{ mm}$$

$$e_2 = 60 \text{ mm}$$

$$p_1 = 80 \text{ mm}$$

$$p_2 = 120 \text{ mm}$$

k₁ számítása:

-erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1.7 = 2.8 \cdot \frac{60}{30} - 1.7 = 3.9 \\ 2.5 \end{array} \right\}$$

$$k_1 = 2.5$$

-erő irányára merőlegesen közbenső csavar nincs a kapcsolatban.

α_b számítása:

-erő irányában szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3d_o} = \frac{50}{3 \cdot 30} = 0.556 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86 \\ 1 \end{array} \right\}$$

$$\alpha_b = 0.556$$

-erő irányában közbenső csavar

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_1}{3d_o} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 30} - \frac{1}{4} = 0.639 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1.86 \\ 1 \end{array} \right\}$$

$$\alpha_b = 0.639$$

A palástnyomási ellenállás:

-erő irányában szélső csavar:

$$F_{b,Rd1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.556 \cdot 430 \cdot 27 \cdot 14}{1.25} = 180740 \text{ N} = 180.74 \text{ kN}$$

-erő irányában közbenső csavar:

$$F_{b,Rd2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.639 \cdot 430 \cdot 27 \cdot 14}{1.25} = 207726 \text{ N} = 207.73 \text{ kN}$$

Mind a hat csavar esetén a palástnyomási ellenállás a mértékadó!

A kapcsolat ellenállása:

A palástnyomási ellenállás szempontjából 4 db szélső és 2db közbenső csavart tartalmaz a kapcsolat, melyek összegezve:

$$\Sigma F_{vb,Rd} = \Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd1} + 2 \cdot F_{b,Rd2} = 4 \cdot 180.74 + 2 \cdot 207.73 = 722.96 + 415.46 = 1138.42 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$N_{Ed} = 600 \text{ kN} < \Sigma F_{vb,Rd} = 1138.42 \text{ kN}$$

Tehát a kapcsolat megfelel!

Teljes szilárdsági kapcsolat, mivel:

$$\Sigma F_{vb,Rd} = 1138.42 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 780.19 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 600 \text{ kN}$$

Megjegyzés: A kapcsolat 4 csavarral is megfelelne.

$$\Sigma F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd1} = 722.96 \text{ kN} > N_{Ed} = 600 \text{ kN}$$

Részleges szilárdsági kapcsolat, mivel:

$$\Sigma F_{vb,Rd} = 722,96 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 600 \text{ kN}$$

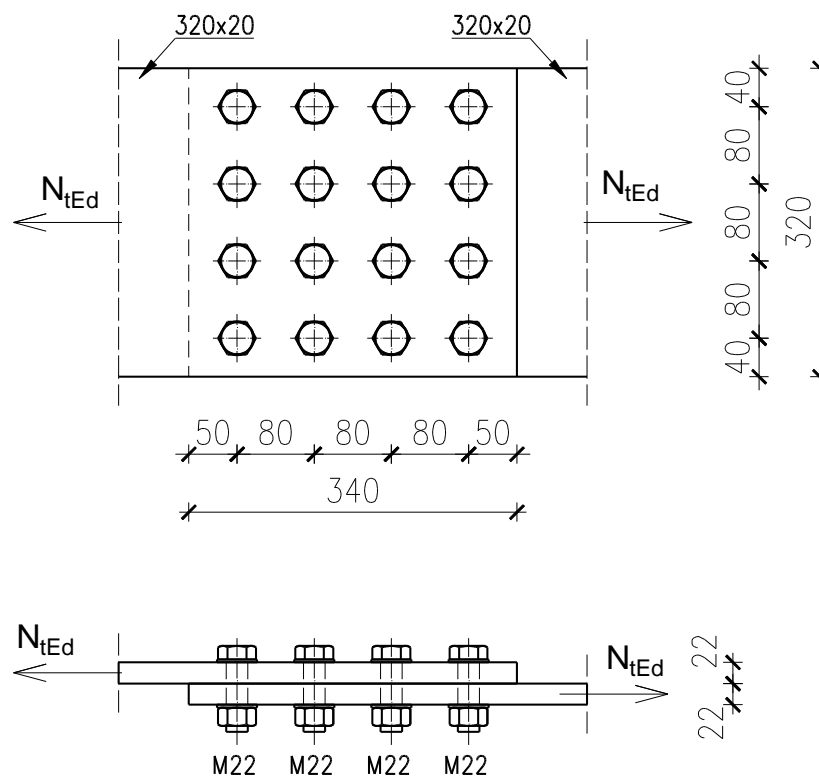
$$\text{de } \Sigma F_{vb,Rd} = 722,96 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 780,19 \text{ kN}$$

1.2 példa

Megfelel-e egy 320x20 átlapolt csavarozott kapcsolat, ha 1300 kN húzóerő terheli? A nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át.

Alapanyag: S275 $f_y=275 \text{ N/mm}^2$
 $f_u=430 \text{ N/mm}^2$

Csavarok: M22,8.8 → $d_o=24 \text{ mm}$
 $f_{yb}=640 \text{ N/mm}^2$
 $f_{ub}=800 \text{ N/mm}^2$



A km. húzási ellenállása:

A teljes km. képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{320 \cdot 20 \cdot 275}{1.0} = 1760000 \text{ N} = 1760 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény törési tervezési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0.9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot (320 - 4 \cdot 24) \cdot 20 \cdot 430}{1.25} = 1387008 \text{ N} = 1387 \text{ kN}$$

A km. húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = N_{u,Rd} = 1387 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd}=1387 \text{ kN} > N_{t,Ed}=1300 \text{ kN}$$

A km. húzásra megfelel.

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

(a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot \frac{22^2 \cdot \pi}{4}}{1.25} = 145971 \text{ N} = 145.971 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás:

$$e_1 = 50 \text{ mm}$$

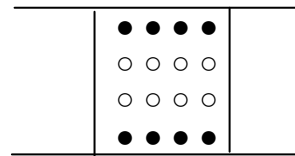
$$e_2 = 40 \text{ mm}$$

$$p_1 = 80 \text{ mm}$$

$$p_2 = 80 \text{ mm}$$

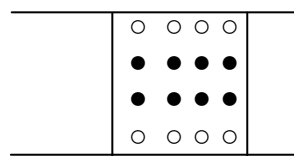
k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar:



$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{40}{24} - 1,7 = 2,967 \end{array} \right\} = 2,5$$

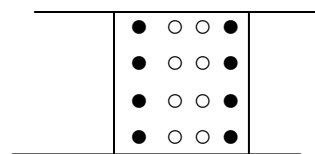
- erő irányára merőlegesen közbenső csavar:



$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 1,4 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{80}{24} - 1,7 = 2,967 \end{array} \right\} = 2,5$$

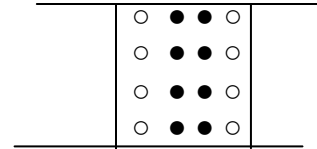
α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar:



$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1,86 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 24} = 0,694 \end{array} \right\} = 0,694$$

- erő irányában közbenső csavar:



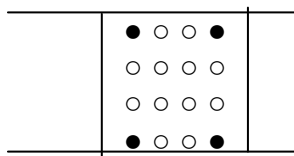
$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{430} = 1,86 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 24} - \frac{1}{4} = 0,861 \end{array} \right\} = 0,861$$

A palástnyomási ellenállás:

A csavarok elhelyezkedésétől függően négyféle palástnyomási ellenállás számítható:

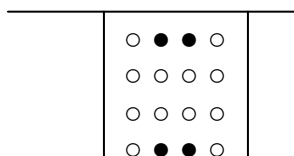
1. eset: $k_1=2.5$ $\alpha_b=0.694$ (4 db csavar)

$$F_{b,Rd1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.694 \cdot 430 \cdot 22 \cdot 20}{1.25} = 262610 \text{ N} = 262.61 \text{ kN}$$



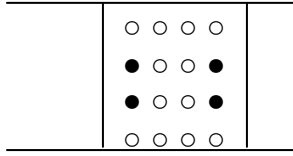
2. eset: $k_1=2.5$ $\alpha_b=0.861$ (4 db csavar)

$$F_{b,Rd2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.861 \cdot 430 \cdot 22 \cdot 20}{1.25} = 325802 \text{ N} = 325.80 \text{ kN}$$



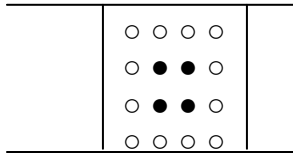
3. eset: $k_1=2.5$ $\alpha_b=0.694$ (4 db csavar)

$$F_{b,Rd3} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.694 \cdot 430 \cdot 22 \cdot 20}{1.25} = 262610 \text{ N} = 262.61 \text{ kN}$$



4. eset: $k_1=2.5$ $\alpha_b=0.861$ (4 db csavar)

$$F_{b,Rd4} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.861 \cdot 430 \cdot 22 \cdot 20}{1.25} = 325802 \text{ N} = 325,80 \text{ kN}$$



A kapcsolat ellenállása:

Mivel az $F_{v,Rd}$ nyírási ellenállás minden esetben kisebb a csavar $F_{b,Rd}$ palástnyomási ellenállásánál, ezért a kapcsolat ellenállását a nyírási ellenállásból kell számolni:

$$\Sigma F_{vb,Rd} = \Sigma F_{v,Rd} = 16 \cdot F_{v,Rd} = 16 \cdot 145.971 = 2235.54 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1300 \text{ kN} \quad \langle \quad \Sigma F_{vb,Rd} = 2235.54 \text{ kN}$$



A kapcsolat megfelel!

Teljes szilárdsági kapcsolat, mivel:

$$\Sigma F_{vb,Rd} = 2235,54 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 1387 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 1300 \text{ kN}$$

1.3 példa

- a. Illesszünk egy 400-22 méretű húzott lemezt, kétoldali acélhevederrel. Teljes szilárdságú kapcsolat esetén hány darab M22 csavarra van szükség? A nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át.
- b. Részleges szilárdsági kapcsolat esetén milyen vastag hevederekre és hány darab M22 csavarra van szükség $N_{t,Ed}=1300$ kN erő esetén?

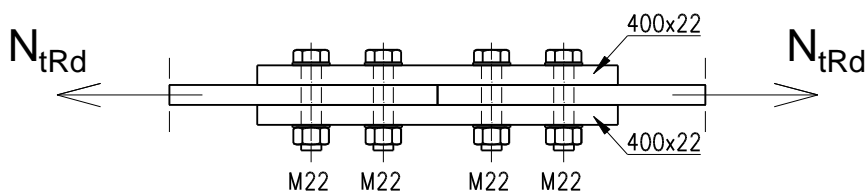
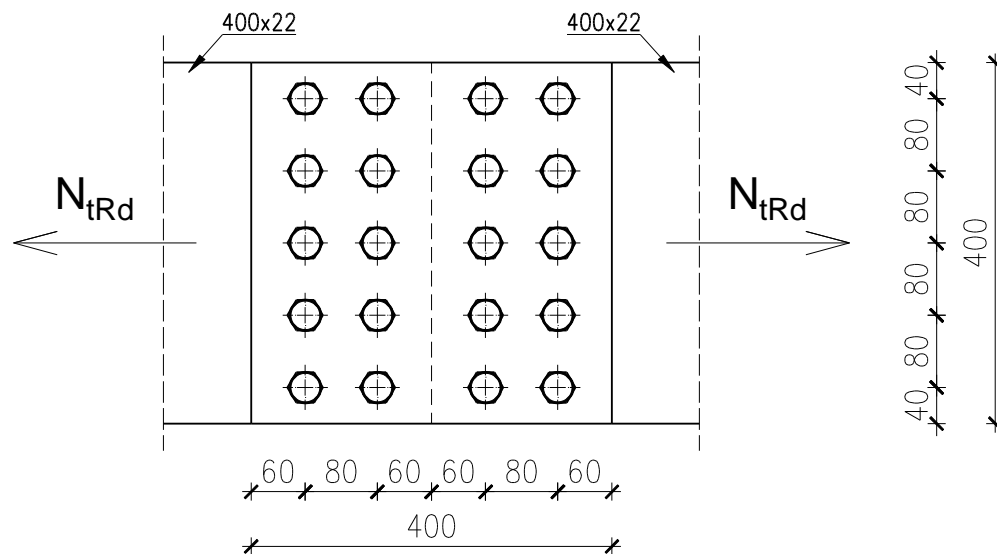
Alapanyag: **S235**
 $f_y=235$ N/mm²
 $f_u=360$ N/mm²

Az alkalmazott csavarok minősége

M22, 8.8

$d_o=24$ mm
 $f_{yb}=640$ N/mm²
 $f_{ub}=800$ N/mm²

A felvett csavarkiosztás:



a.

A teljes km. képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{400 \cdot 22 \cdot 235}{1.0} = 2068000 \text{ N} = 2068 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = 0.9 \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \cdot \frac{(400 - 5 \cdot 24) \cdot 22 \cdot 360}{1.25} = 1596672 \text{ N} = 1596.67 \text{ kN}$$

A húzott km ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min(N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}) = N_{u,Rd} = 1596.67 \text{ kN}$$

Mivel a hevederek anyagminősége megegyezik a kapcsolt lemezekével és együttes hasznos km-i területe nagyobb a kapcsolt lemezekénél, ezért a tervezési ellenállásukat nem kell külön vizsgálnunk.

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás: (a csavar kétszer nyírt)

(Feltételezzük, hogy a nyírt felület a csavar menet nélküli részén halad át)

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0.6 \cdot 800 \cdot \frac{22^2 \cdot \pi}{4}}{1.25} = 291942 \text{ N} = 291.942 \text{ kN}$$

A palástnyomási ellenállás számítása:

$$e_1=60 \text{ mm} \quad e_2=40 \text{ mm} \quad p_1=80 \text{ mm} \quad p_2=80 \text{ mm}$$

k_1 számítása:

- erő irányára merőlegesen szélső csavar

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1.7 = 2.8 \cdot \frac{40}{24} - 1.7 = 2.967 \\ 2.5 \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow k_1 = 2.5$$

- erő irányára merőlegesen közbenső csavar

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.4 \cdot \frac{p_2}{d_o} - 1.7 = 1.4 \cdot \frac{80}{24} - 1.7 = 2.967 \\ 2.5 \end{array} \right\}$$

→ $k_1=2.5$

α_b számítása:

- erő irányában, szélső csavar

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 24} = 0,833 \end{array} \right\} = 0,833$$

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

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.833 \cdot 360 \cdot 22 \cdot 22}{1.25} = 290400 \text{ N} = 290,40 \text{ kN}$$

$$F_{vb,Rd} = \min(F_{v,Rd} = 291,94 \text{ kN}; F_{b,Rd} = 290,40 \text{ kN}) = 290,40 \text{ kN}$$

A szükséges és alkalmazott csavarszám teljes szilárdsági kapcsolat esetén

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{1596.67}{290,40} = 5.50 \text{ db}$$

Az alkalmazott darabszám

$$n_{alk} = 10 \text{ db} \quad \rightarrow \quad 2 \times 5$$

b.

A húzott alaplemez tervezési ellenállása:

$$N_{t,Rd} = 1596.67 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 1300 \text{ kN}$$

A húzott hevederek tervezési ellenállása:

$$N_{cpl,Rd} = \frac{A_c \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 400 \cdot t_c \cdot 235}{1.00} = 1300000 \rightarrow t_c = 6,92 \text{ mm}$$

$$N_{cu,Rd} = 0.9 \cdot \frac{A_{cnet} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \cdot \frac{2 \cdot (400 - 5 \cdot 24) \cdot t_c \cdot 360}{1.25} = 1300000 \rightarrow t_c = 8,96 \text{ mm}$$

$$t_{c,alk} = 10 \text{ mm}$$

$$N_{cu,Rd} = 0.9 \cdot \frac{A_{cnet} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0.9 \cdot \frac{2 \cdot (400 - 5 \cdot 24) \cdot 10 \cdot 360}{1.25} = 1451,5 \text{ kN} > N_{t,Ed} = 1300 \text{ kN}$$

A csavarok tervezési ellenállása

$$F_{v,Rd} = 291,94 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 22 \cdot 2 \cdot 10}{1,25} = 264,0 \text{ kN}$$

$$F_{vb,Rd} = 264,0 \text{ kN}$$

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Ed}}{F_{vb,Rd}} = \frac{1300}{264,0} = 4,92 \rightarrow n_{alk} = 5 \text{ db}$$

1.4 példa

Tervezzük meg a két szögacélból álló húzott rúd bekötését csavározott kapcsolattal. Feltételezzük, hogy egy nyírt felület a csavar menetes részén halad át, egy a menet nélküli részén.

A rúd szelvénye: $2 \cdot (100 \cdot 100 \cdot 8)$
 $A = 15.5 \text{ cm}^2 = 1550 \text{ mm}^2$ (1 db szögacél)

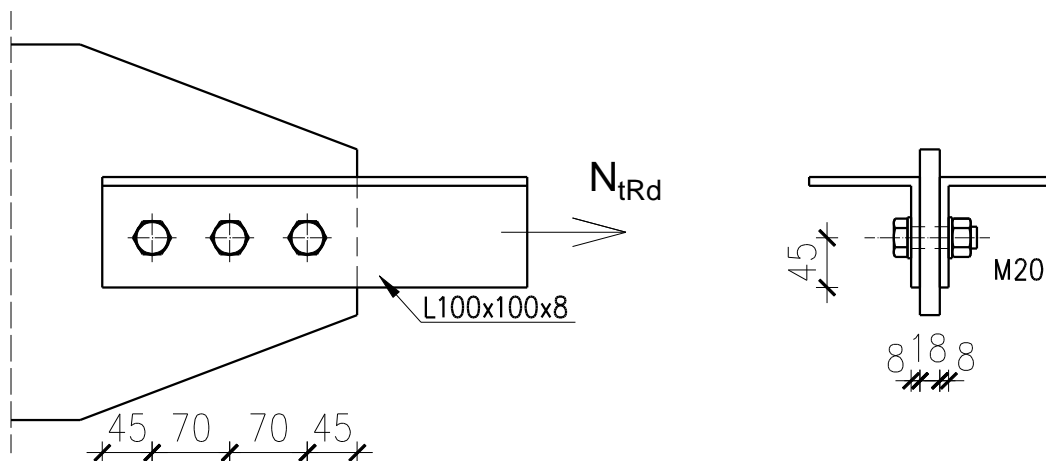
A csomólemez vastagsága: 18 mm

Alapanyag; S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$

Csavarok: M20, 8.8 $f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$ $f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$
 $d_o = 22 \text{ mm}$

A csavarkiosztás:

$e_1 = 45 \text{ mm}$ ($2 \cdot d_o = 2 \cdot 22 = 44 \text{ mm} \approx 45 \text{ mm}$)
 $p_1 = 70 \text{ mm}$ ($3 \cdot d_o = 3 \cdot 22 = 66 \text{ mm} \approx 70 \text{ mm}$)
 $e_2 = 45 \text{ mm}$ (a szögacél gyökmérete)



A szögacélok tervezési húzási ellenállása:

A β tényező meghatározása

Feltételezzük, hogy két csavar elegendő

$$\beta = 0.1 + 0.12 \cdot \frac{p_1}{d_o} = 0.1 + 0.12 \cdot \frac{70}{22} = 0.482$$

$$0.4 \leq \beta \leq 0.7$$

A teljes km. képlékeny tervezési ellenállása:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \cdot 2 = \frac{1550 \cdot 235}{1.0} \cdot 2 = 728500 \text{ N} = 728.5 \text{ kN}$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési, törési ellenállása:

$$N_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u \cdot 2}{\gamma_{M2}} = \frac{0.483 \cdot (1550 - 22 \cdot 8) \cdot 360 \cdot 2}{1.25} = 382258 N = 382,26 kN$$

A km húzási ellenállása:

$$N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}; N_{u,Rd}\} = N_{u,Rd} = 382,26 kN$$

A csavarok tervezési ellenállása:

A nyírási ellenállás:

Egy nyírt felület a csavar menetes részén, egy a menet nélküli részén halad át.

$\alpha_v = 0.6 - 4.6; 5.6; 8.8$ csavar

$\alpha_v = 0.6 \cdot 0.8 = 0.48 - 10.9; 4.8; 5.8$ csavar

$A_s = 245 \text{ mm}^2$ (M20 csavar feszültség km-e)

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} + \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 245}{1.25} + \frac{0.6 \cdot 800 \cdot 20^2 \cdot \pi / 4}{1.25} =$$

$$= 99080 + 120640 = 219720 N = 219,72 kN$$

- 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 merőleges szélső csavar:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{45}{22} - 1,7 = 4,027 \end{array} \right\} = 2,5$$

- erő irányára merőleges közbenső csavar

A kapcsolat ilyen csavart nem tartalmaz!

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 22} = 0,682 \end{array} \right\} = 0,682$$

- erő irányában közbenső csavar (ha legalább 3 csavart alkalmazunk)

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2,22 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{70}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,811 \end{array} \right\} = 0,811$$

A palástnyomási ellenállás:

$$F_{b,Rd1} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,682 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 8}{1,25} = 157133 \text{ N} = 157,13 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd2} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,811 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 2 \cdot 8}{1,25} = 186854 \text{ N} = 186,85 \text{ kN}$$

Minden csavar palástnyomásra megy tönkre ($F_{v,Rd} > F_{b,Rd}$)

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd1}} = \frac{382,26}{157,13} = 2,43 \text{ db}$$

$$\Sigma F_{vb,Rd} = 2 \cdot 157,13 = 314,26 \text{ kN} < N_{t,Rd} = 382,26 \text{ kN}$$

A feltételezés, hogy 2 db csavar elegendő nem volt helyes.

A szögacélok tervezési, húzási ellenállása:

(új β tényezővel)

- új β tényező (3 db vagy több csavar feltételezésével)

$$\beta = 0,3 + 0,08 \cdot \frac{p_1}{d_0} = 0,3 + 0,08 \cdot \frac{70}{22} = 0,554$$

$$0.5 \leq \beta \leq 0.7$$

A csavarlyukakkal gyengített szelvény tervezési törési határértéke:

$$N'_{u,Rd} = \beta \cdot \frac{A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \cdot 2 = \frac{0.554 \cdot (1550 - 22 \cdot 8) \cdot 360 \cdot 2}{1.25} = 438449 \text{ N} = 438.45 \text{ kN}$$

$$N_{t,Rd} = \min \{ N_{pl,Rd}; N'_{u,Rd} \} = N'_{u,Rd} = 438.45 \text{ kN}$$

A szükséges és alkalmazott csavarszám.

Feltételezzük, hogy minden csavar a számított palástnyomási ellenállások közül a kisebbikkel rendelkezik.

A szükséges csavarszám:

$$n_{sz} = \frac{N_{t,Rd}}{F_{b,Rd1}} = \frac{438,45}{157,13} = 2.79 \text{ db}$$

$$\Sigma F_{vb,Rd} = 2 \cdot 157,13 + 1 \cdot 186,85 = 501,11 \text{ kN} > N_{t,Rd} = 438,45 \text{ kN}$$

Alkalmazott csavarszám:

$n_{alk}=3\text{db} \rightarrow 3 \times 1 \text{ db}$, tehát az új feltevés helyes volt.

1.5 példa

Nyírásra és hajlításra igénybevett kapcsolat ellenőrzése

I tartó gerincének kapcsolata (a gerinc vastagsága 14 mm, a hevedereké 10 mm)

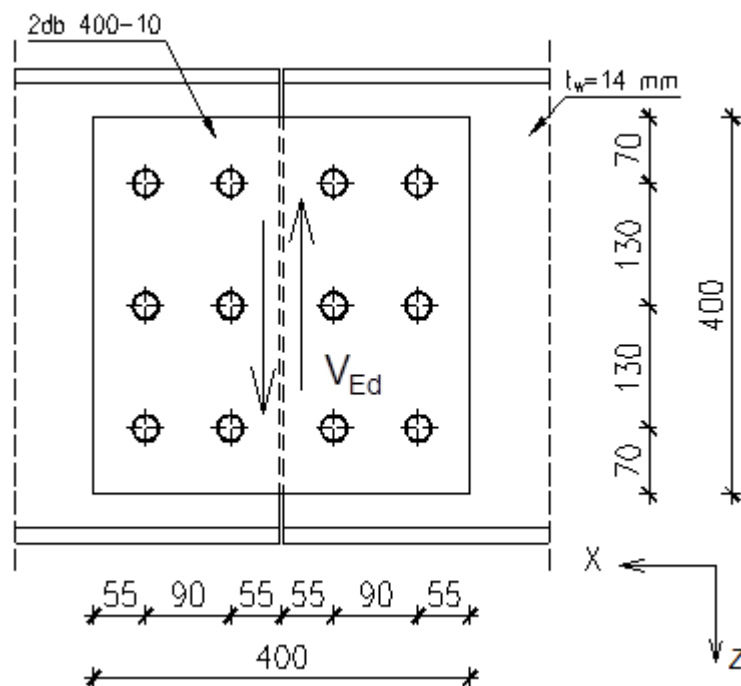
A szelvények és a hevederek anyagminősége:

S235 $f_y=235 \text{ N/mm}^2$ $f_u=360 \text{ N/mm}^2$

Az alkalmazott csavarok minősége:

M18 10.9 $f_{yb}=900 \text{ N/mm}^2$ $f_{ub}=1000 \text{ N/mm}^2$ $d_0=20 \text{ mm}$

A kapcsolatra ható függőleges nyíróerő: $V_{Ed}=600 \text{ kN}$



A nyíróerő a gerinclemezek találkozásánál hat ezért a csavarozott kapcsolatot hajlító nyomaték terheli. A nyomaték értékét a kapcsolat középpontja (ezt a csavarkép kétszeresen szimmetrikus elrendezése határozza meg) és az illesztés vonala közötti távolság figyelembe vételével számíthatjuk.

$$M_{Ed} = e \cdot V_{Ed} = \left(55 + \frac{90}{2} \right) \cdot 600 \cdot 10^3 = 6 \cdot 10^7 \text{ Nmm} = 60 \text{ kNm}$$

A legjobban igénybevett csavar terhelésének meghatározása:

Igénybevétel nyírásból (függőleges):

$$F_{zv,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{600}{6} = 100 \text{ kN}$$

A csavarkép poláris nyomatéka:

$$I_{p,b} = \sum (x^2 + z^2) = 6 \cdot 45^2 + 4 \cdot 130^2 = 12150 + 67600 = 79750 \text{ mm}^2$$

Az igénybevétel hajlításból:

$$F_{xm,Ed} = \frac{M_{ED}}{\sum (x^2 + z^2)} \cdot z_{\max} = \frac{6 \cdot 10^7}{79750} \cdot 130 = 97806 \text{ N} = 97.81 \text{ kN}$$

$$F_{zm,Ed} = \frac{M_{ED}}{\sum (x^2 + z^2)} \cdot x_{\max} = \frac{6 \cdot 10^7}{79750} \cdot 45 = 33856 \text{ N} = 33.86 \text{ kN}$$

A csavarra ható erők eredője:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_{zv,Ed} + F_{zm,Ed})^2 + F_{xm,Ed}^2} = \sqrt{(100 + 33.86)^2 + 97.81^2} = 165.79 \text{ kN}$$

Egy csavar nyírási ellenállása (a kapcsolat kétszer nyírt):

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0.6 \cdot 1000 \cdot \frac{18^2 \cdot \pi}{4}}{1.25} = 244283 \text{ N} = 244.28 \text{ kN}$$

Palástnyomási ellenállás:

$$F_{xm,Ed} + F_{xs,Ed} = 97.81 \text{ kN}$$

$$F_{zm,Ed} + F_{zs,Ed} = 100 + 33.86 = 133.86 \text{ kN}$$

$F_{xm,Ed} + F_{xs,Ed} < F_{zm,Ed} + F_{zs,Ed} \rightarrow$ A csavarok palástnyomási ellenállásának számításánál az erőátadás iránya (\downarrow)

$$\begin{array}{ll} e_1=70 \text{ mm} & e_2=55 \text{ mm} \\ p_1=130 \text{ mm} & p_2=90 \text{ mm} \end{array}$$

A módosító tényezők meghatározása:

- erő irányára merőleges szélső csavar:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2.8 \cdot \frac{e_2}{d_o} - 1.7 = 2.8 \cdot \frac{55}{20} - 1.7 = 6.0 \\ 2.5 \end{array} \right\} \rightarrow k_1 = 2.5$$

- erő irányában szélső csavar:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{70}{3 \cdot 20} = 1,17 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{360} = 2,778 \\ 1 \end{array} \right\} \rightarrow \alpha_b = 1,00$$

Az ellenállás:

$$F_{b,Rd} = k_1 \cdot \frac{\alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 2,5 \cdot \frac{1,00 \cdot 360 \cdot 18 \cdot 14}{1,25} = 181440 \text{ N} = 181,44 \text{ kN}$$

A kapcsolat ellenállásának ellenőrzése (a palástnyomási ellenállás a mértékadó):

$$F_{v,Ed} = 165,79 \text{ kN} \quad < \quad 181,44 \text{ kN} = F_{vb,Rd}$$

A kapcsolat megfelel.

Egy csavar nyírási ellenállása:
(a kapcsolat egyszer nyírt)

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0.6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0.6 \cdot 1000 \cdot \frac{22^2 \cdot \pi}{4}}{1.25} = 182458 N = 182.458 kN$$

Palástnyomási ellenállás:

$$F_{xm,Ed} + F_{xs,Ed} = 128,00 kN$$

$$F_{zm,Ed} + F_{zs,Ed} = 30 kN$$

$F_{xm,Ed} + F_{xs,Ed} > F_{zm,Ed} + F_{zs,Ed} \rightarrow$ A csavarok palástnyomási ellenállásának számításánál az erőátadás iránya (\rightarrow)

$$e_1=70 \text{ mm} \qquad e_2=75 \text{ mm} \qquad p_2=150 \text{ mm}$$

A módosító tényezők meghatározása:

k_1 számítása:

-erő irányára merőleges szélső csavar:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{75}{24} - 1,7 = 7,05 \end{array} \right\} = 2,5$$

α_b számítása:

-erőátadás irányában, szélső csavar:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{1000}{360} = 2,778 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{70}{3 \cdot 24} = 0,972 \end{array} \right\} = 0,972$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2.5 \cdot 0.972 \cdot 360 \cdot 22 \cdot 10}{1.25} = 153965 N = 153.96 kN$$

A kapcsolat ellenállásának ellenőrzése
(a palástnyomási ellenállás a mértékadó)

$$F_{vEd}=131.47 \text{ kN} \qquad < \qquad F_{b,Rd}=153.96 \text{ kN}$$

A kapcsolat megfelel!

1. 7 példa

Húzott csavarok ellenállása

Megfelel-e a kialakított kapcsolat? ($F_{t,Ed}=220$ kN)

Alapanyag:
S275

$$f_y=275 \text{ N/mm}^2$$
$$f_u=430 \text{ N/mm}^2$$

Lemez vastagsága: $t=18$ mm

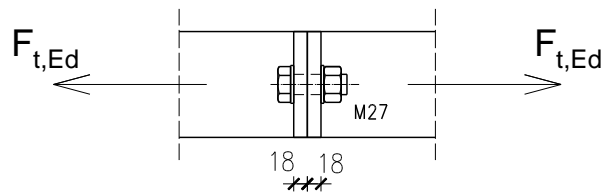
Csavarok:
M27 8.8

$$f_{yb}=640 \text{ N/mm}^2$$
$$f_{ub}=800 \text{ N/mm}^2$$

$d=27$ mm
 $d_o=30$ mm
 $d_m=44.2$ mm

$$A=573 \text{ mm}^2$$
$$A_s=459 \text{ mm}^2$$

$F_{t,Ed}=220$ kN



A csavar húzási ellenállása:

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0.9 \cdot 800 \cdot 459}{1.25} = 264384 \text{ N} = 264.384 \text{ kN}$$

A kigombolódási ellenállás:

$$B_{p,Rd} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0.6 \cdot \pi \cdot 44.2 \cdot 18 \cdot 430}{1.25} = 515887 \text{ N} = 515.891 \text{ kN}$$

Ellenőrzés:

$$F_{t,Ed} = 220 \text{ kN} < F_{t,Bp,Rd} = \min(F_{t,Rd}; B_{p,Rd}) = 264.384 \text{ kN}$$

Tehát a kapcsolat megfelel!

1.8 példa

Megfelel-e a konzoltartó befogása, $F=100$ kN erőre?

Alapanyag: S275

$$f_u=430 \text{ N/mm}^2$$

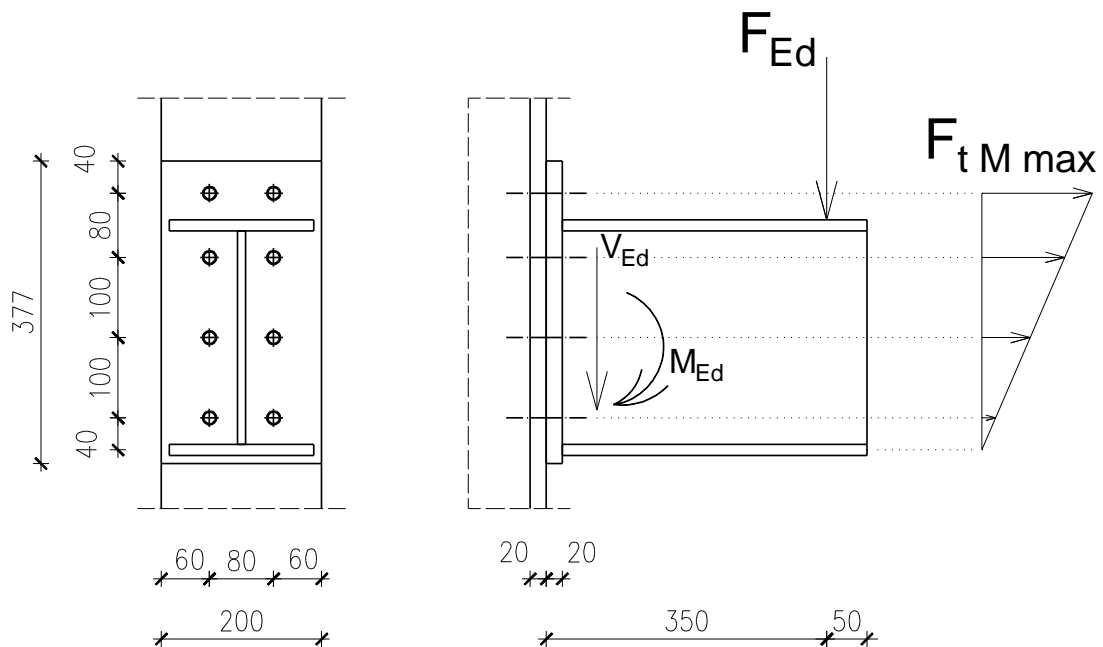
$$f_y=275 \text{ N/mm}^2$$

Csavarok: M16, 5.6

$$f_{ub}=500 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{yb}=0.6 \cdot f_{ub}=0.6 \cdot 500=300 \text{ N/mm}^2$$

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



$$V_{Ed} = 100 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 0,35 \cdot 100 = 35 \text{ kNm}$$

A legkedvezőtlenebb helyzetű csavarban keletkező erők és nyomatékok:

- a nyírásból: (a nyíróerőt egyenletesen osztjuk el a csavarok között)

$$F_{V,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{100}{8} = 12,5 \text{ kN}$$

- a nyomatékból: csavarirányú húzóerő!

A lineáris erőeloszlásból a legnagyobb húzóerő a legfelső csavarsorban keletkezik.

$$F_{tMmax,Ed} = \frac{M_{Ed}}{\sum h_i^2} \cdot h_{max} = \frac{35 \cdot 10^6}{2 \cdot (40^2 + 140^2 + 240^2 + 320^2)} \cdot 320 = 30,91 \text{ kN}$$

A legkedvezőtlenebb helyzetű (a forgástengelytől a legtávolabbi) csavar tervezési ellenállása:

- Nyírési ellenállás:

A nyírt felület a csavar menetes részén halad át, a csavar egyszer nyírt

$A_s=157 \text{ mm}^2$ (M16 csavar feszültség km-e) $\alpha_v=0,6$ (5.6 csavarminőség esetén)

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 37,68 \text{ kN}$$

- A palástnyomási ellenállás:

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

$e_1=40 \text{ mm}$ $e_2=60 \text{ mm}$
 $p_1=80 \text{ mm}$ $p_2=80 \text{ mm}$

k_1 számítása:

- erő irányára merőleges szélső csavar:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,5 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{60}{18} - 1,7 = 7,63 \end{array} \right\} = 2,5$$

α_b számítása:

- erő irányában szélső csavar:

$$\alpha_b = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{430} = 1,16 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 18} = 0,741 \end{array} \right\} = 0,741$$

A palástnyomási ellenállás

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,741 \cdot 430 \cdot 16 \cdot 20}{1,25} = 203,92 \text{ kN}$$

A nyírási ellenállás a mértékadó!

- A csavar húzási ellenállása:

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 157}{1,25} = 56,52 \text{ kN}$$

- A csavar-lemez együttes kigombolódási ellenállás:

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 24,6 \cdot 20 \cdot 430}{1,25} = 319,02 \text{ kN}$$

A húzási ellenállás a mértékadó!

Ellenőrzés:

Nyírás:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} = \frac{12,5}{37,68} = 0,332 < 1$$

Palástnyomás:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{12,5}{203,92} = 0,0613 < 1$$

Húzás:

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{30,91}{56,52} = 0,567 < 1$$

Kigombolódás:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{30,91}{319,02} = 0,0969 < 1$$

Nyírás+húzás:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{12,5}{37,68} + \frac{30,91}{1,4 \cdot 56,52} = 0,722 < 1$$

Tehát a kapcsolat megfelel!

2.1 példa

a. Ellenőrizze az alábbi csomólemez kétoldali $a=4$ mm körbevezetett sarokvarrattal történő bekötését.

b. A vízszintes rudat körbevezetett sarokvarrattal rögzítjük.

Mekkora minimális b méret szükséges?

Anyag: S235

Számítás az egyszerűsített módszerrel:

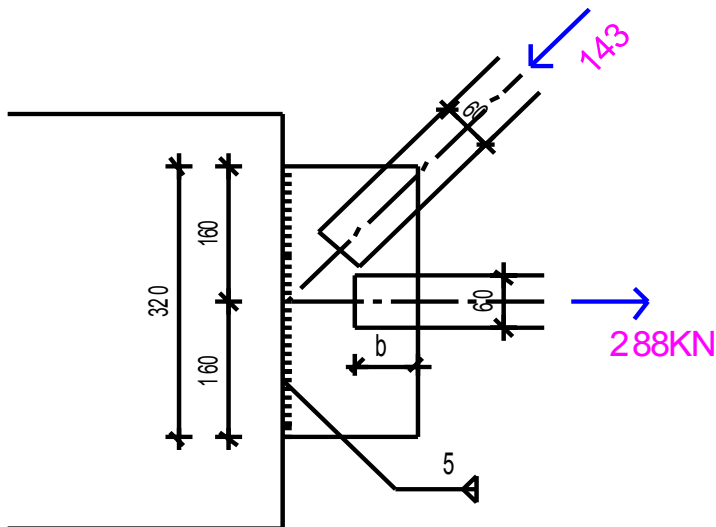
$$f_u \text{ az összekapcsolt elemek húzószilárdsága, } f_u = 360 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta_w \text{ az anyagminőségtől függő korrelációs tényező } \beta_w = 0,8$$

$$\gamma_{M2} \text{ parciális tényező } \gamma_{M2} = 1,25$$

A varrat tervezési nyírási szilárdsága:

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$



A varrat tervezési ellenállása:

$$F_{Rd} = 2 \cdot 4 \cdot 320 \cdot 207,8 = 532000 \text{ N} = 532 \text{ kN}$$

A varratra ható igénybevételek:

$$N_{Ed} = 288 - \frac{143}{\sqrt{2}} = 186,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = \frac{143}{\sqrt{2}} = 101,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{186,9^2 + 101,1^2} = 212,5 \text{ kN} < 532 \text{ kN} \quad \text{megfelel!}$$

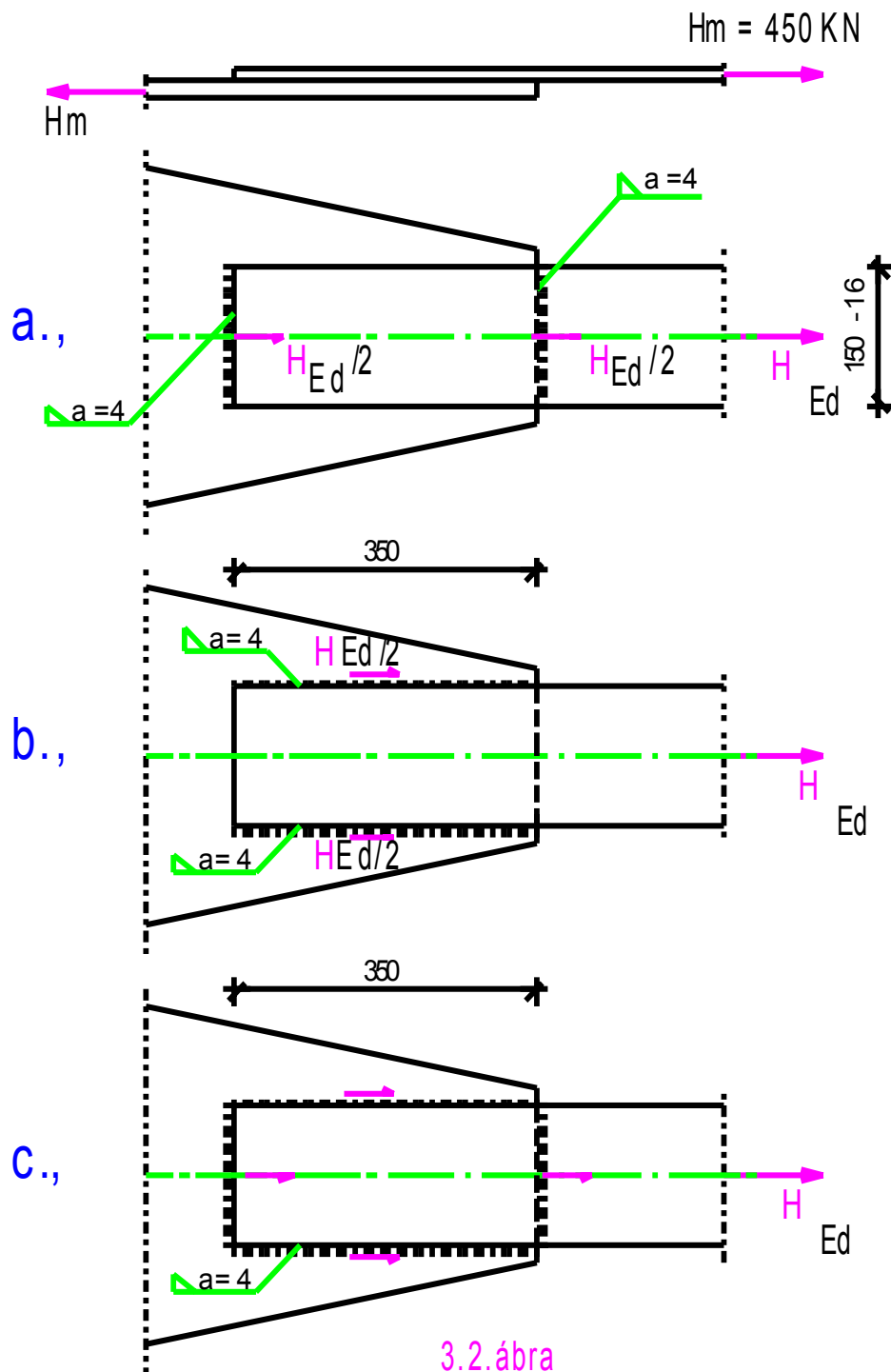
2.2 példa

Ellenőrizze a központosan húzott rúd bekötését a = 4 mm-es sarokvarrattal! Anyagminőség: S235

a/ Megfelel-e két homloksarokvarrattal?

b/ Megfelel-e két oldalsarokvarrattal?

c/ Megfelel-e négyoldali sarokvarrattal?



3.2. ábra

Számítás az egyszerűsített módszerrel

a varrat tervezési nyírási szilárdsága $f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,85 \frac{N}{mm^2}$

a/ Két homloksarokvarrattal

$$l_h = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

$$H_M \rightarrow \tau = \frac{H_M}{2al_H} = \frac{450 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 142} = 396,1 \frac{N}{mm^2} < f_{vw,d} = 207,8 \frac{N}{mm^2}$$

Nem felel meg.

b/ Két oldalsarokvarrattal

$$l_h = 350 - 2 \cdot 4 = 342 \text{ mm}$$

$$H_M \rightarrow \tau_{II} = \frac{H_M \cdot 10^3}{2al_h} = \frac{450 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 342} = 164,5 \frac{N}{mm^2} < f_{vw,d} = 207,8 \frac{N}{mm^2}$$

Megfelel.

c/ Négyoldali oldalsarokvarrattal

$$l_h^h = 150 \text{ mm} \quad (\text{körbevezetett varrat})$$

$$l_h^o = 350 \text{ mm}$$

A kapcsolat határeje:

$$H_H = 2(al_h^o + al_h^h) \cdot f_{vw,d} = 2 \cdot (4 \cdot 350 + 4 \cdot 150) \cdot 207,8 = 831200 \text{ N} = 831,20 \text{ KN} > 450 \text{ KN}$$

Megfelel.

2.3 Példa

Méretezze a konzol sarokvarratát (a=?)! (ábra a következő oldalon)

a/ Kettő függőleges oldalsarokvarrattal

b/ Kettő vízszintes homloksarokvarrattal

c/ Négyoldali körbevezetett sarokvarrattal

d/ Háromoldali sarokvarrattal

Alapanyag S 235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ $\beta_w = 0,8$ $\gamma_{M2} = 0,8$

$$f_{vw,d} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{360}{1,25} = 288 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

a/ Kettő függőleges sarokvarrattal

$l_{eff} = 220 - 2 \cdot 5 = 210 \text{ mm}$ (a=5 mm-t feltételeztünk)

A varratkép súlypontjára redukált igénybevételek:

$F_{Ed} = 40 \text{ kN}$, $M_{Ed} = 40(0,300 + 0,095) = 15,80 \text{ kNm}$

A varratban az egyes igénybevételekből keletkező feszültségek:

$$F_{Ed} \rightarrow \tau_{\parallel F} = \frac{F_{Ed}}{2al_{eff}} = \frac{40000}{2 \cdot a \cdot 210} = \frac{95,24}{a}$$

$$M_{Ed} \rightarrow H_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{190} \rightarrow \tau_{\parallel M} = \frac{M_{Ed}}{190 \cdot al_{eff}} = \frac{15,8 \cdot 10^6}{190 \cdot a \cdot 210} = \frac{395,99}{a}$$

A kedvezőtlenebb helyzetű, jobboldali varratot vizsgálva a feszültségek összegződnek:

$$\tau_{\parallel} = \tau_{\parallel F} + \tau_{\parallel M} = \frac{95,24}{a} + \frac{395,99}{a} = \frac{491,23}{a} < f_{vw,d} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$

$$a = 2,36 \rightarrow a_{alk} = 3,0 \text{ mm}$$

b/ Kettő vízszintes sarokvarrattal

$$l_{eff} = 190 - 2 \cdot 5 = 180 \text{ mm}$$

A varratkép súlypontjában redukált igénybevételek megegyeznek az a/ pontban meghatározottakkal:

$$F_{Ed} = 40 \text{ kN}, \quad M_{Ed} = 15,8 \text{ kNm}$$

A varratban az egyes igénybevételekből keletkező feszültségek:

$$F_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_F \rightarrow \sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\bar{\tau}_F}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{Ed}}{2a \cdot l_{eff}} = \frac{40000}{\sqrt{2} \cdot 2a \cdot 180} = \frac{78,56}{a}$$

$$M_{Ed} \rightarrow H_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{220} \rightarrow \tau_{\parallel M} = \frac{M_{Ed}}{220 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{15,8 \cdot 10^6}{220 \cdot a \cdot 180} = \frac{398,99}{a}$$

Vizsgálat az általános méretezési módszerrel:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{\left(\frac{78,56}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{78,56}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{398,99}{a}\right)^2} \leq 360$$

$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} \quad \frac{78,56}{a} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 288$$

$$a = 1,97 \text{ mm} \rightarrow a_{alk} = 3 \text{ mm}$$

c/ Négyoldali sarokvarrattal

$$l_{1,eff} = 220 \text{ mm} \quad l_{2,eff} = 190 \text{ mm (körbevezetett varrat)}$$

A varratkép súlypontjába redukált igénybevételek megegyeznek az a/ pontban meghatározottakkal:

$$F_{Ed} = 40 \text{ kN}, \quad M_{Ed} = 15,8 \text{ kNm}$$

Az F_{Ed} erőt a varratok felületük arányában (ami jelen esetben hosszúkkal arányos) osztjuk szét:

$$F_{Ed} = 2(F_1^o + F_2^h)$$

$$F_{Ed} \rightarrow F_1^o = \frac{220}{2(220+190)} \cdot 40000 = 10732 \text{ N}$$

$$F_{Ed} \rightarrow F_2^h = \frac{190}{2(220+190)} \cdot 40000 = 9268 \text{ N}$$

A nyomatékot két erőpár formájában veszik a varratok. Annak feltételezésével, hogy a varratok súlypontjuk körül merev testként fordulnak el, nagyságuk arányos a varratkép súlypontjától mért levő távolsággal:

$$M_{Ed} \rightarrow H_1^o = \frac{l_{2eff}}{l_{1eff}^2 + l_{2eff}^2} M_{Ed} = \frac{190}{220^2 + 190^2} 15,8 \cdot 10^6 = 35530 \text{ N}$$

$$M_{Ed} \rightarrow H_2^h = \frac{l_{1eff}}{l_{1eff}^2 + l_{2eff}^2} M_{Ed} = \frac{220}{220^2 + 190^2} 15,8 \cdot 10^6 = 41140 \text{ N}$$

A varratokban keletkező feszültségek:

A függőleges helyzetű oldalsarokvarratok közül a jobboldali van a kedvezőtlenebb helyzetben:

$$F_1^o \rightarrow \tau_{IF}^o = \frac{10732}{a \cdot 220} = \frac{48,78}{a}$$

$$M \rightarrow H_1^o \rightarrow \tau_{IM}^o = \frac{35530}{a \cdot 220} = \frac{161,50}{a}$$

$$\tau_I^o = \tau_{IF}^o + \tau_{IM}^o = \frac{48,78}{a} + \frac{161,50}{a} = \frac{210,28}{a} < f_{vw,d} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$

$$a = 1,01 \text{ mm} \rightarrow a_{alk} = 3 \text{ mm} \quad (\text{minimális varratméret})$$

a vízszintes helyzetű homloksarokvarratok:

$$F_2^h \rightarrow \bar{\tau}_F^h \rightarrow \sigma_{\perp F}^h = \tau_{\perp F}^h = \frac{\tau_F^h}{\sqrt{2}} = \frac{9268}{\sqrt{2} \cdot a \cdot 190} = \frac{34,49}{a}$$

$$M \rightarrow H_2^h \rightarrow \tau_{\parallel M}^h = \frac{41140}{a \cdot 190} = \frac{216,53}{a}$$

$$f_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{34,49}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{34,49}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{216,53}{a}\right)^2} \leq 360$$

$$a = 1,06 \text{ mm} \rightarrow a_{alk} = a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

d/ Háromoldali sarokvarrattal

$$l_{1h}^o = 220 \text{ mm} \qquad l_{2h} = 190 - 1 \cdot 5 = 185 \text{ mm}$$

A varratkép súlypontja (a varrathosszok arányában):

$$x_s = \frac{2 \cdot 185 \cdot \frac{185}{2}}{220 + 2 \cdot 185} = 58 \text{ mm}$$

A varratkép súlypontjára redukált igénybevételek:

$$F = 40 \text{ kN}, \quad M = 40(0,49 - 0,058) = 17,28 \text{ kNm}$$

Az F erőt a varratok felületarányosan (hosszarányosan) veszik fel:

$$F \rightarrow F_1^o = \frac{220}{220 + 2 \cdot 185} \cdot 40000 = 14915 \text{ N}$$

$$F \rightarrow F_2^h = \frac{185}{220 + 2 \cdot 185} \cdot 40000 = 12542 \text{ N}$$

$$F = F_1^o + 2F_2^h$$

Az M nyomatékot - közelítésként - csak a vízszintes helyzetű homloksarok varratok veszik fel (az oldalsarokvarrat elhanyagolható) erőpárként:

$$M \rightarrow H^h = \frac{M}{220} = \frac{17,28 \cdot 10^6}{220} = 78540 \text{ N}$$

A varratokban keletkező feszültségek:

Függőleges helyzetű oldalsarokvarrat:

$$F \rightarrow F_1^o \rightarrow \tau_{IF}^o = \frac{14915}{a \cdot 220} = \frac{67,80}{a} < f_{vw,d} = 207,8 \text{ N/mm}^2$$

$$a = 0,33 \text{ mm} \rightarrow a_{alk} = a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

Vízszintes helyzetű homoksarokvarratok:

$$F \rightarrow F_2^H \rightarrow \bar{\tau}_F^h \rightarrow \tau_{\perp F}^h = \sigma_{\perp F}^h = \frac{\bar{\tau}_F^h}{\sqrt{2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{12542}{a \cdot 185} = \frac{47,94}{a}$$

$$M \rightarrow H^h \rightarrow \tau_{IM}^h = \frac{78540}{a \cdot 185} = \frac{424,6}{a} \quad M \rightarrow H^h \rightarrow \tau_{IM}^h = \frac{78540}{a \cdot 185} = \frac{424,6}{a}$$

$$f_{w,Ed} = \sqrt{\left(\frac{47,94}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{47,94}{a}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{424,6}{a}\right)^2} \leq 360$$

$$a = 2,06mm \rightarrow a_{alk} = 3mm$$

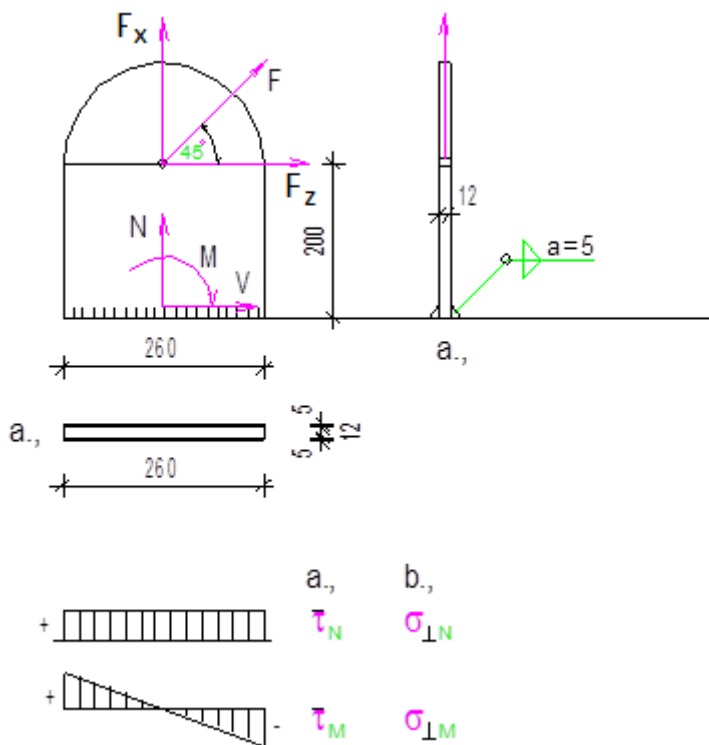
(A függőleges helyzetű varrat is dolgozik, bár ezt elhanyagoltuk.)

2.4 Példa

Mekkora az emelőfültre hárítható F erő, ha a teherbírást a körbevezetett sarokvarrat ellenállása szabja meg.

Alapanyag S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ $\beta_w = 0,8$ $\gamma_{M2} = 1,25$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$



kétoldali, $a = 5 \text{ mm}$ -es körbevezetett sarokvarrat

A hasznos varrathossz: $l_{\text{eff}} = 260 \text{ mm}$

A varratkép súlypontjára redukált igénybevételek:

$$N_{Ed} = F_z = F / \sqrt{2}, \quad V_{Ed} = F_z = F / \sqrt{2}, \quad M = F_z \cdot 200 = F / \sqrt{2} \cdot 200$$

A varratban az egyes igénybevételekből keletkező feszültségek:

$$N_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_N = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 260} = 2,722 \cdot 10^{-4} F$$

$$V_{Ed} \rightarrow \tau_{IV} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot a \cdot l_{eff}} = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 260} = 2,722 \cdot 10^{-4} F$$

$$M_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_M = \frac{M}{I_y} y = \frac{200F}{12 \cdot 1,4647 \cdot 10^7} 130 = 12,552 \cdot 10^{-4} F$$

$$I_y = 2 \cdot \frac{5 \cdot 260^3}{12} = 1,4647 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

A $\bar{\tau}$ feszültségek a varrat baloldalán összegződnek:

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}_N + \bar{\tau}_M = 2,722 \cdot 10^{-4} F + 12,552 \cdot 10^{-4} F = 15,274 \cdot 10^{-4} F$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\bar{\tau}}{\sqrt{2}} = 10,800 \cdot 10^{-4} F$$

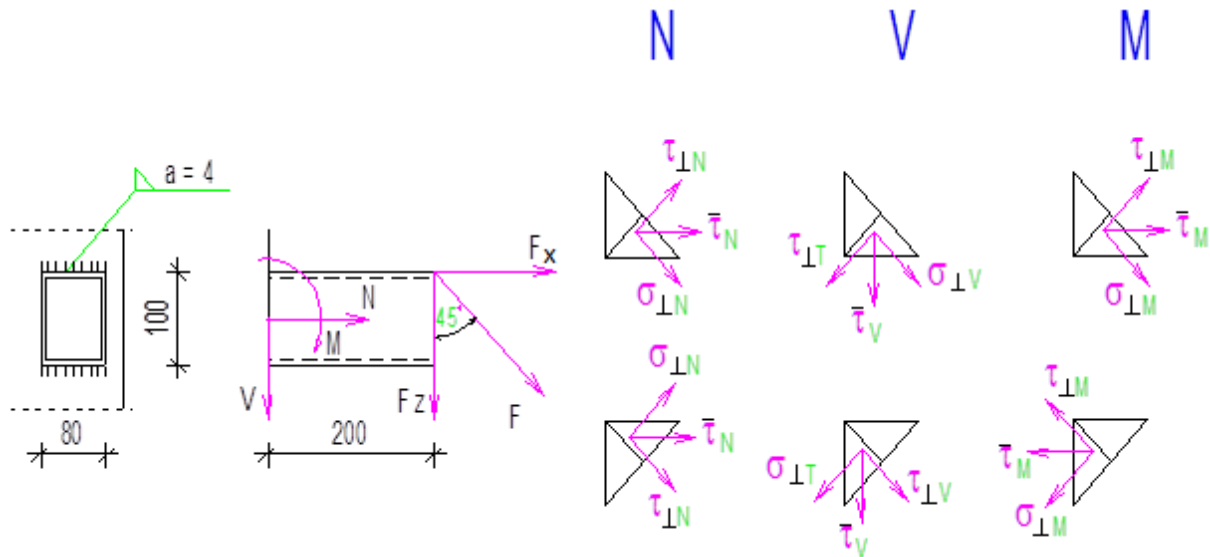
$$f_{w,Ed} = 10^{-4} F \cdot \sqrt{10,800^2 + 3 \cdot 10,800^2 + 3 \cdot 2,722^2} = 360$$

$$F = 162,85 \text{ kN}$$

2.5 Példa

Mekkora lehet az F erő a bekötés teherbírása alapján?

Anyagminőség: S235, varratminőség: I. osztályú, $a = 4$ mm-es sarokvarrat



Alapanyag S235 $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$ $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$ $\beta_w = 0,8$ $\gamma_{M2} = 1,25$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

A hasznos varrathossz: $l_{\text{eff}} = 80 - 2 \cdot 4 = 72 \text{ mm}$

A varratkép súlypontjára redukált igénybevételek:

$$N_{Ed} = F_x = \frac{F}{\sqrt{2}}$$

$$V_{Ed} = F_z = \frac{F}{\sqrt{2}}$$

$$M_{Ed} = 50 \cdot F_x + 200 \cdot F_z = 250 \cdot \frac{F}{\sqrt{2}}$$

A varratban az egyes igénybevételekből keletkező feszültségek

(az ébredő feszültségek irányát a felső, ill. az alsó sarokvarratban az ábrán tüntettük fel):

$$N_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_N = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 72} = 1,227 \cdot 10^{-3} F,$$

$$\sigma_{\perp N} = \tau_{\perp N} = \frac{\bar{\tau}_N}{\sqrt{2}} = 0,8681 \cdot 10^{-3} F$$

$$V_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_V = \frac{F}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 4 \cdot 72} = 1,2276 \cdot 10^{-3} F,$$

$$\sigma_{\perp V} = \tau_{\perp V} = \frac{\bar{\tau}_V}{\sqrt{2}} = 0,8681 \cdot 10^{-3} F,$$

$$M_{Ed} \rightarrow \bar{\tau}_M = \frac{250 \cdot F}{\sqrt{2} \cdot 100 \cdot 4 \cdot 72} = 6,1381 \cdot 10^{-3} F$$

$$\sigma_{\perp M} = \tau_{\perp M} = \frac{\bar{\tau}_M}{\sqrt{2}} = 4,3403 \cdot 10^{-3} F.$$

a felső varrat feszültségkomponensei:

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\perp N} + \sigma_{\perp V} + \sigma_{\perp M} = (0,8681 + 0,8681 + 4,3403) \cdot 10^{-3} F = 6,0765 \cdot 10^{-3} F,$$

$$\tau_{\perp} = \tau_{\perp N} - \tau_{\perp V} + \tau_{\perp M} = (0,8681 - 0,8681 + 4,3403) \cdot 10^{-3} F = 4,3403 \cdot 10^{-3} F$$

az alsó varrat feszültségkomponensei:

$$\sigma_{\perp} = -\sigma_{\perp N} + \sigma_{\perp V} + \sigma_{\perp M} = (-0,8681 + 0,8681 + 4,3403) \cdot 10^{-3} F = 4,3403 \cdot 10^{-3} F$$

$$\tau_{\perp} = -\tau_{\perp N} - \tau_{\perp V} + \tau_{\perp M} = (-0,8681 - 0,8681 + 4,3403) \cdot 10^{-3} F = 2,6041 \cdot 10^{-3} F.$$

a felső varrat jobban kihasznál.

Vizsgálat általános eljárással:

$$f_{w,Ed} = 10^{-3} \cdot F \cdot \sqrt{6,0765^2 + 3 \cdot 4,3403^2} = 9,666 \cdot 10^{-3} \cdot F = 360 N/mm^2$$

$$F = 37,242 kN$$