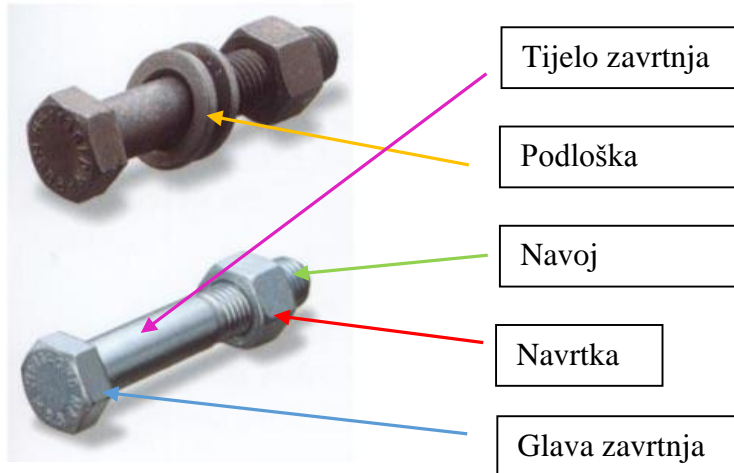


MEHANIČKA SPOJNA SREDSTVA

Obični zavrtnjevi – izgled i terminologija



Zavrtnjevi zajedno sa odgovarajućim geometrijskim karakteristikama, koji se koriste u građevinarstvu dati su u sljedećoj tabeli.

	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
d (mm)	12	16	20	22	24	27	30	36
d ₀ (mm)	13	18	22	24	26	30	33	39
A (cm ²)	1,13	2,01	3,14	3,80	4,52	5,73	7,07	10,18
A _s (cm ²)	0,843	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	8,17

Pri čemu je:

d → prečnik zavrtnja,

d₀ → prečnik rupe za spojno sredstvo,

A → površina poprečnog presjeka zavrtnja,

A_s → površina ispitnog presjeka.

Mehanička svojstva zavrtnjeva (granica razvlačenja i čvrstoća na zatezanje čelika od kojih su izrađeni) data su u sljedećoj tabeli.

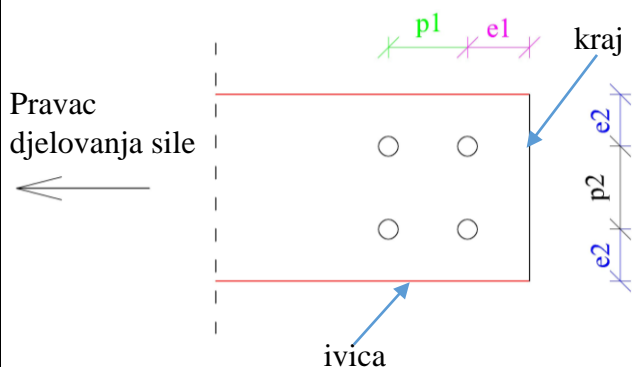
Klasa zavrtnja	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f _{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f _{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

Reference

U ovom primjeru, pozivanje u referencama podrazumjeva standard MEST EN-1993-1-8

Tabela 3.1

Kako bi se spojna sredstva mogla pravilno ugraditi, ograničio uticaj korozije i lokalnog izbočavanja neophodno je definisati maksimalne i minimalne razmake između spojnih sredstava kao i rastojanja do ivica ili kraja.



p_1 – razmak između spojnih sredstava u pravcu djelovanja sile
 p_2 – razmak između spojnih sredstava upravno na pravac djelovanja sile
 e_1 – rastojanje između spojnog sredstva i kraja elementa (krajnje rastojanje)
 e_2 – rastojanje između spojnog sredstva i ivice elementa (ivično rastojanje)

U MEST EN 1993-1-8 u tabeli 3.3 definisana su minimalna i maksimalna rastojanja odnosno razmaci.

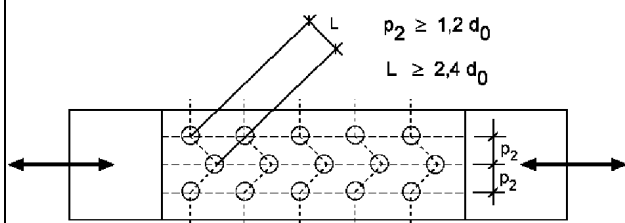
Rastojanja i razmaci	Minimalno	Maksimalno	
		Konstrukcije izrađene od čelika koji je u skladu sa EN 10025 osim onih iz EN 10025-5 (obični čelici)	Konstrukcije izrađene od čelika koji su u skladu sa EN 10025-5
		Čelik izložen atmosferskim ili drugim korozivnim uticajima	Čelik nije izložen atmosferskim ili drugim korozivnim uticajima
e_1	$1,2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	max (8t, 125 mm)
e_2	$1,2 d_0$	$4t + 40 \text{ mm}$	max (8t, 125 mm)
p_1	$2,2 d_0$	min (14t, 200 mm)	max (14t, 175 mm)
p_2	$2,4 d_0$	min (14t, 200 mm)	max (14t, 175 mm)

t – debljina najtanjeg spoljašnjeg lima

Tabela 3.3

Takođe, u MEST EN 1993-1-8 na slici 3.1 data su minimalna i maksimalna rastojanja za spojna sredstva koja su postavljena u smaknutom rasporedu.

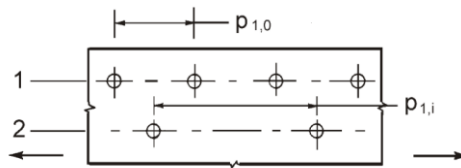
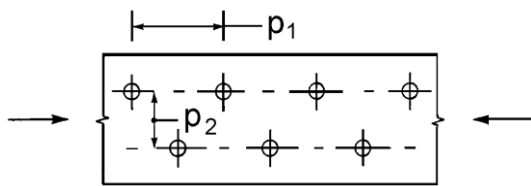
Minimalna



Maksimalna

za pritisnute elemente

za zategnute elemente



$$p_1 \leq 14t \text{ i } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_2 \leq 14t \text{ i } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_{1,0} \leq 14t \text{ i } \leq 200 \text{ mm}$$

$$p_{1,i} \leq 28t \text{ i } \leq 400 \text{ mm}$$

Obični zavrtnjevi – proračun nosivosti

Nosivost na smicanje

Prema MEST EN 1993-1-8 nosivost zavrtnjeva na smicanje treba odrediti prema sljedećim izrazima:

- Smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6f_{ub}A}{\gamma_{M2}} \quad \text{ovaj izraz važi za neupasovane zavrtnjeve svih klasa}$$

- Smičuća ravan prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{ovaj izraz važi za zavrtnjeve klasa 4.6, 5.6 i 8.8}$$

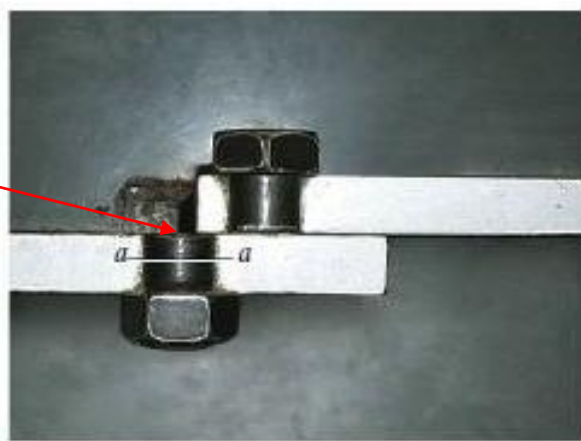
$$F_{v,Rd} = \frac{0,5f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{ovaj izraz važi za zavrtnjeve klasa 4.8, 5.8, 6.8 i 10.9}$$

Pri čemu je:

$F_{v,Rd}$ → nosivost zavrtnja na smicanje (za jednu smičuću ravan),

γ_{M2} → parcijalni faktor sigurnost, $\gamma_{M2} = 1,25$.

Smičuća ravan



Smičući lom zavrtnja

Kod upasovanih zavrtnjeva (prečnik rupe jednak prečniku tijela zavrtnja) treba težiti da se dio sa navojem ne nalazi u smičućoj ravni.

Za ovakve zavrtnjeve koristimo isti izaz kao za neupasovane zavrtnjeve.

Tabela 3.4

Nosivost na pritisak po omotaču rupe

Nosivost na pritisak po omotaču rupe prema MEST EN 1993-1-8 određuje se prema sljedećem izrazu.

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

pri čemu je:

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases} \quad \text{za zavrtnjeve u krajnjim redovima}$$

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases} \quad \text{za zavrtnjeve u unutrašnjim redovima}$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \end{cases} \quad \text{za zavrtnjeve u ivičnim redovima}$$

$$k_1 = 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \quad \text{za zavrtnjeve u unutrašnjim redovima}$$

$F_{b,Rd}$ → nosivost na pritisak po omotaču rupe,

f_u → granična čvrstoća na zatezanje lima,

t → minimalna debljina paketa limova koji vuku na jednu stranu,

d → prečnik zavrtnja.

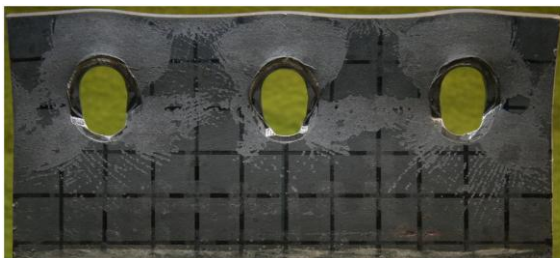


Tabela 3.4

Nosivost na zatezanje

Navoj slabi poprečni presjek zavrtnja pa ovdje imamo nešto manju površinu poprečnog presjeka nego na dijelu bez navoja. Pri dejstvu sile zatezanja lom nastupa upravo na tom mjestu. Površina poprečnog presjeka na dijelu zavrtnja sa navojem naziva se ispitna površina i označava se sa A_s .

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$$

$F_{t,Rd}$ → nosivost zavrtnja na zatezanje



Lom zavrtnja
na zatezanje

Tabela 3.4

Nosivost lima na probijanje smicanjem (nosivost na izvlačenje)

Kod veza opterećenih na zatezanje pored loma zavrtnja može da se desi i jedan specifičan oblik loma a to je da se zavrtnaj jednostavno izvuče odnosno da se desi lom lima.

Nosivost na ovakav oblik loma prema MEST EN 1993-1-8 određuje se na osnovu sljedećeg izraza.

$$B_{pl,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

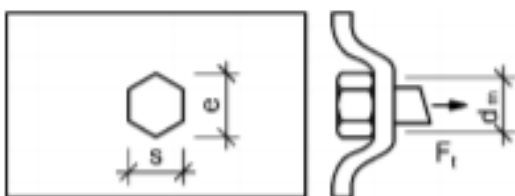
Pri čemu je:

$B_{pl,Rd}$ → nosivost lima na probijanje,

d_m → srednja vrijednost prečnika opisanog i upisanog kruga za glavu zavrtnja ili navrtku, (mjerodavna manja vrijednost),

t_p → debljina lima,

f_u → granična čvrstoća na zatezanje lima.



Probijanje lima

Tabela 3.4

Nosivost zavrtnjeva na smicanje i zatezanje

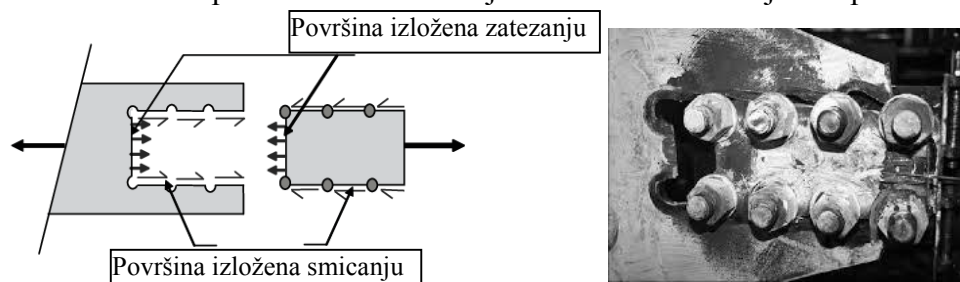
Ako su zavrtnjevi istovremeno opterećeni na smicanje i zatezanje potrebno je provjeriti njihovu interakciju. Prema MEST EN 1993-1-8 to se sprovodi provjerom sljedećeg uslova:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

Prema ovom izrazu ako je iskorišćenost zavrtnjeva na smicanje manja od 28 % nije potrebno razmatrati interakciju.

Nosivost na cijepanje bloka

Kod elemenata opterećenih na zatezanje može da se desi i sljedeći prikazani oblik loma.



<https://www.youtube.com/watch?v=J-tzdceowZY>

U MEST EN 1993-1-8 nosivost na ovakav oblik loma određuje se kao zbir nosivosti neto površine izložene zatezanju i neto površine izložene smicanju.

Tabela 3.4

Nosivost na cijepanje bloka

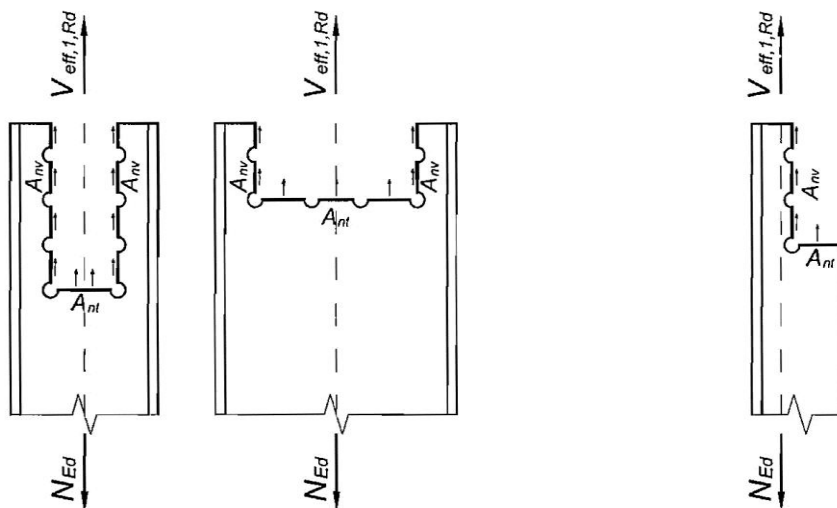
Centrično opterećene simetrične grupe zavrtnjeva

Ekscentrično opterećene grupe zavrtnjeva

$$V_{eff,1,Rd} = A_{nt}f_u/\gamma_{M2} + A_{nv}f_y/\sqrt{3}/\gamma_{M0}$$

$$V_{eff,1,Rd} = 0,5A_{nt}f_u/\gamma_{M2} + A_{nv}f_y/\sqrt{3}/\gamma_{M0}$$

Izrazi 3.9 i 3.10



Centrično opterećene simetrične grupe zavrtnjeva

Ekscentrično opterećene grupe zavrtnjeva

Prednapregnuti zavrtnjevi – proračun nosivosti

Prema MEST EN 1993-1-8 za prednapregnute zavrtnjeve mogu se koristiti samo zavrtnjevi klase čvrstoće 8.8 i 10.9.

Sila prednaprezanja određuje se prema sljedećem izrazu:

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

Izraz 3.7

Proračunsku nosivost na proklizavanje treba odrediti na osnovu sljedećih izraza:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C} \quad \text{za granično stanje nosivosti}$$

Izraz 3.6

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3,ser}} F_{p,C} \quad \text{za granično stanje upotrebljivosti}$$

Pri čemu je:

k_s → faktor koji zavisi od oblika rupa za spojna sredstva (za normalne rupe $k_s = 1,0$),

n → broj ravni trenja

μ → koeficijent trenja,

$$\gamma_{M3} = 1,25$$

$$\gamma_{M3} = 1,1$$

Koeficijent trenja zavisi od načina obrade površina limova u spoju.

Klase ravni trenja	μ
A (vrlo visoka klasa površinske obrade)	0,5
B (visoka klasa površinske obrade)	0,4
C (srednja klasa površinske obrade)	0,3
D (niža klasa površinske obrade)	0,2

Tabela 3.8

U slučaju da na prednapregnute zavrtnjeve djeluje istovremeno sila zatezanja i smicanja nosivost na proklizavanje prema MEST EN 1993-1-8 se određuje na sljedeći način.

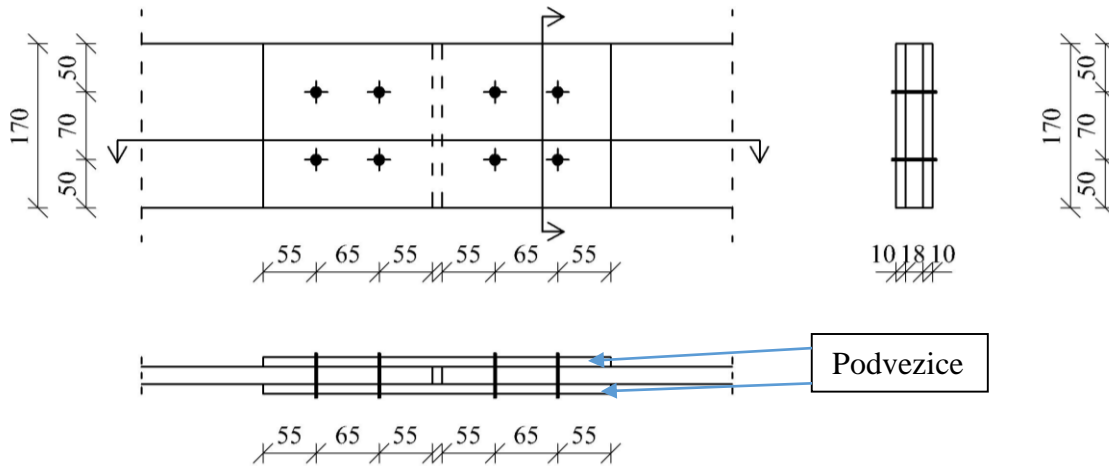
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}}$$

Izraz 3.8

Primjer 1

Provjeriti nosivost nastavka prikazanog na sljedećoj skici. Nastavak je izveden pomoću dvije podvezice debljine 10 mm i neupasovanih zavrtnjeva M20 (smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem) klase čvrstoće 5.6. Nastavak je opterećen proračunskom silom zatezanja $N_{Ed} = 500$ kN. Podvezice i osnovni materijal su klase čelika S235.



Provjera minimalnih rastojanja i razmaka između spojnih sredstava

Prvo je potrebno provjeriti da li su zadovoljena minimalna rastojanja i razmaci između spojnih sredstava.

Rastojanje do kraja e_1

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0$$

Za zavrtnaj M20 $d_0 = 22$ mm.

$$\min e_1 = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_1 = 55$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava u pravcu djelovanja sile p_1

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 48,4 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_1 = 65$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Rastojanje do ivice e_2

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 26,4 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_2 = 50$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava upravno na pravac djelovanja sile p_2

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 52,8 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_2 = 70$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Nosivost spojnih sredstava

Nosivost zavrtnjeva na smicanje

Smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

Tabela 3.3

Tabela 3.4

Za zavrtanj klase čvrstoće 5.6 $\rightarrow f_{ub} = 50 \text{ kN/cm}^2$

$$A = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{2^2\pi}{4} = 3,142 \text{ cm}^2$$

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

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot 3,142}{1,25} = 75,4 \text{ kN}$$

Kako imamo dvije smičuće ravni ukupna nosivost pojedinačnog zavrtanja na smicanje je:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 75,4 = 150,8 \text{ kN}$$

Nosivost na pritisak po omotaču rupe

Prvo je potrebno odrediti mjerodavnu debljinu paketa limova. Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\text{Podvezice } 10 + 10 = 20 \text{ mm}$$

$$\text{Osnovni element } 18 \text{ mm}$$

\rightarrow za pritisak po omotaču rupe mjerodavan je osnovni element.

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

Nosivost na pritisak po omotaču rupe zasebno se određuje za zavrtanje u krajnjem redu i zavrtanje u unutrašnjim redovima.

Ivični zavrtanj u krajnjem redu

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{55}{3 \cdot 22} = 0,833 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{50}{36} = 1,4 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 0,833$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \end{cases}$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{50}{22} - 1,7 = 4,66 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{70}{22} - 1,7 = 2,75 \leq 2,5 \end{cases}$$

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 36 \cdot 2 \cdot 1,8}{1,25} = 224,91 \text{ kN}$$

Ivični zavrtanj u unutrašnjem redu

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{65}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0,735 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{50}{36} = 1,4 \end{cases}$$

Tabela 3.4

<p>→ $\alpha_b = 0,735$</p> <p>Faktor k_1 isti je kao u prethodnom slučaju.</p> <p>→ $k_1 = 2,5$</p> $F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,735 \cdot 36 \cdot 2 \cdot 1,8}{1,25} = 190,512 \text{ kN}$	
<p>Nosivost nastavka</p> <p>Kako je nosivost na smicanje zavrtneja manja od nosivosti na pritisak po omotaču rupe ne može se ostvariti plastična preraspodjela napreznaja. Nosivost nastavka treba provjeriti prema sljedećem:</p> $\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$ <p>Pri čemu je:</p> $F_{Rd} = n \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} \\ F_{b,Rd,i} \end{cases}$ <p>n → broj spojnih sredstava</p> <p>U našem primjeru</p> $F_{Rd} = 4 \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} = 150,8 \text{ kN} \\ F_{b,Rd,i} = 190,5 \text{ kN} \end{cases}$ <p>→ $F_{Rd} = 4 \cdot 150,8 = 603,2 \text{ kN}$</p> <p><i>Provjera nosivosti</i></p> $\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$ $\frac{500}{603,2} = 0,828 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$	<p>Tačka 3.7 (1)</p>
<p>Nosivost osnovnog elementa</p> <p>Potrebno je provjeriti nosivost neto i bruto presjeka.</p> <p><i>Nosivost bruto presjeka</i></p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$ $N_{pl,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$ <p>→ $N_{pl,Rd} = \frac{1,8 \cdot 17 \cdot 23,5}{1,0} = 719,1 \text{ kN}$</p> <p><i>Provjera nosivosti</i></p> $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$ $\frac{500}{719,1} = 0,695 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$ <p><i>Nosivost neto presjeka</i></p> $\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$ $N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$	<p>Izraz 6.6 MEST EN 1993-1-1</p> <p>Izraz 6.7 MEST EN 1993-1-1</p>

$$A_{\text{net}} = 1,8 \cdot 17 - 2 \cdot 2,2 \cdot 1,8 = 22,68 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 22,68 \cdot 36}{1,25} = 587,9 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

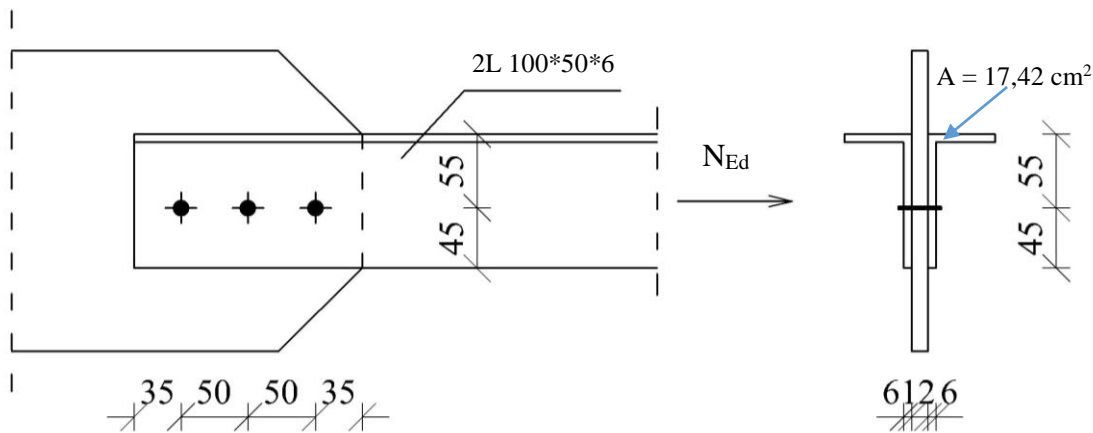
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{500}{587,9} = 0,85 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Podvezice su opterećene istom silom kao i osnovni element te zbog veće površine poprečnog presjeka ih nije potrebno provjeravati.

Primjer 2

Provjeriti nosivost veze koju čine dva ugaonika dimenzija 100*50*6 i priključni lim debljine 12 mm. Veza je ostvarena neobrađenim zavrtnjevima M16 (smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem) klase čvrstoće 5.6. Veza je opterećena proračunskom silom zatezanja $N_{Ed} = 280 \text{ kN}$. Ugaonici i priključni lim su klase čelika S255.



Provjera minimalnih rastojanja i razmaka između spojnih sredstava

Rastojanje do kraja e_1

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0$$

Za zavrtnaj M16 $d_0 = 18 \text{ mm}$.

$$\min e_1 = 1,2 \cdot 18 = 21,6 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_1 = 35 \text{ mm}$ pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava u pravcu djelovanja sile p_1

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 39,6 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_1 = 50 \text{ mm}$ pa je ovaj uslov ispunjen.

Rastojanje do ivice e_2

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 21,6 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_2 = 45 \text{ mm}$ pa je ovaj uslov ispunjen.

Tabela 3.3

Nosivost spojnih sredstava

Nosivost zavrtnjeva na smicanje

Smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6f_{ub}A}{\gamma_{M2}}$$

Za zavrtnaj klase čvrstoće 5.6 $\rightarrow f_{ub} = 50 \text{ kN/cm}^2$

$$A = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{1,6^2\pi}{4} = 2,01 \text{ cm}^2$$

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

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot 2,01}{1,25} = 48,24 \text{ kN}$$

Kako imamo dvije smičuće ravni ukupna nosivost pojedinačnog zavrtnja na smicanje je:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 48,24 = 96,48 \text{ kN}$$

Nosivost na pritisak po omotaču rupe

Prvo je potrebno odrediti mjerodavnu debljinu paketa limova. Mjerodavna je manja vrijednost.

$$\text{Ugaonici } 6 + 6 = 12 \text{ mm}$$

$$\text{Prključni lim } 12 \text{ mm}$$

\rightarrow za pritisak po omotaču rupe svejedno je da li ćemo uzeti debljinu priključnog lima ili ugaonika.

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

Nosivost na pritisak po omotaču rupe zasebno se određuje za zavrtnjeve u kranjem redu i zavrtnjeve u unutrašnjim redovima.

Ivični zavrtnaj u kranjem redu

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{35}{3 \cdot 18} = 0,648 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{50}{49} = 1,02 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 0,648$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \end{cases}$$

$$k_1 = 2,8 \frac{45}{18} - 1,7 = 5,3 \leq 2,5$$

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,648 \cdot 49 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 121,92 \text{ kN}$$

Ivični zavrtnaj u unutrašnjem redu

Tabela 3.4

Tabela 3.4

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{50}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,67 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{50}{49} = 1,02 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 0,67$$

Faktor k_1 isti je kao u prethodnom slučaju.

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,67 \cdot 49 \cdot 1,6 \cdot 1,2}{1,25} = 126,1 \text{ kN}$$

Nosivost nastavka

Kako je nosivost na smicanje zavrtneja manja od nosivosti na pritisak po omotaču rupe ne može se ostvariti plastična preraspodjela naprezanja. Nosivost nastavka treba provjeriti prema sljedećem:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$F_{Rd} = n \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} \\ F_{b,Rd,i} \end{cases}$$

$$F_{Rd} = 3 \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} = 96,48 \text{ kN} \\ F_{b,Rd,i} = 121,92 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\rightarrow F_{Rd} = 3 \cdot 96,48 = 289,44 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{280}{289,44} = 0,97 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost osnovnog elementa

Nosivost bruto presjeka

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\rightarrow N_{pl,Rd} = \frac{2 \cdot 8,71 \cdot 35,5}{1,0} = 618,4 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{280}{618,4} = 0,453 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost neto presjeka

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

Tačka 3.7 (1)

Izraz 6.6 MEST
EN 1993-1-1

Kod ugaonika spojenih preko jednog kraka nosivost neto presjeka na zatezanje određuje se prema sljedećim izrazima:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)tf_u}{\gamma_{M2}} \rightarrow \text{za jedan zavrtnaj u redu}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \rightarrow \text{za dva zavrtnja u redu}$$

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \rightarrow \text{za tri zavrtnja u redu}$$

Faktor redukcije β određuje se iz sljedeće tabele. Za međuvrijednosti odnosa p_1/d_0 koristi se linearna interpolacija.

Razmak	p_1	$\leq 2,5d_0$	$\geq 5,0d_0$
2 zavrtnja	β_2	0,4	0,7
3 ili više zavrtnjeva	β_3	0,5	0,7

Izraz 3.11

Izraz 3.12

Izraz 3.13

Tabela 3.8

U našem slučaju $p_1/d_0 = 2,78$ pa se na osnovu linearne interpolacije dobija $\beta_3 = 0,522$.

$$A_{net} = 17,42 - 2 \cdot 1,8 \cdot 0,6 = 15,26 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow N_{u,Rd} = \frac{0,522 \cdot 15,26 \cdot 49}{1,25} = 312,26 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

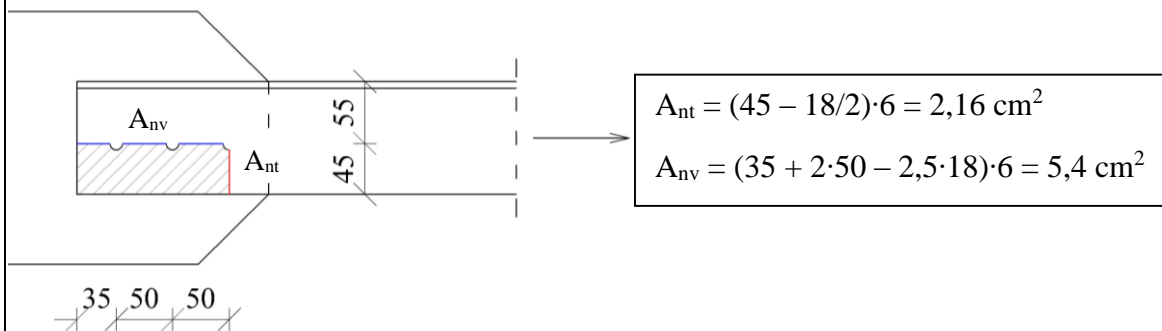
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{280}{312,26} = 0,896 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost na cijepanje bloka

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,2,Rd}} \leq 1$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 A_{nt} f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$



Izraz 3.10

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{0,5 \cdot 2,16 \cdot 49}{1,25} + \frac{5,4 \cdot 35,5}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 153,01 \text{ kN}$$

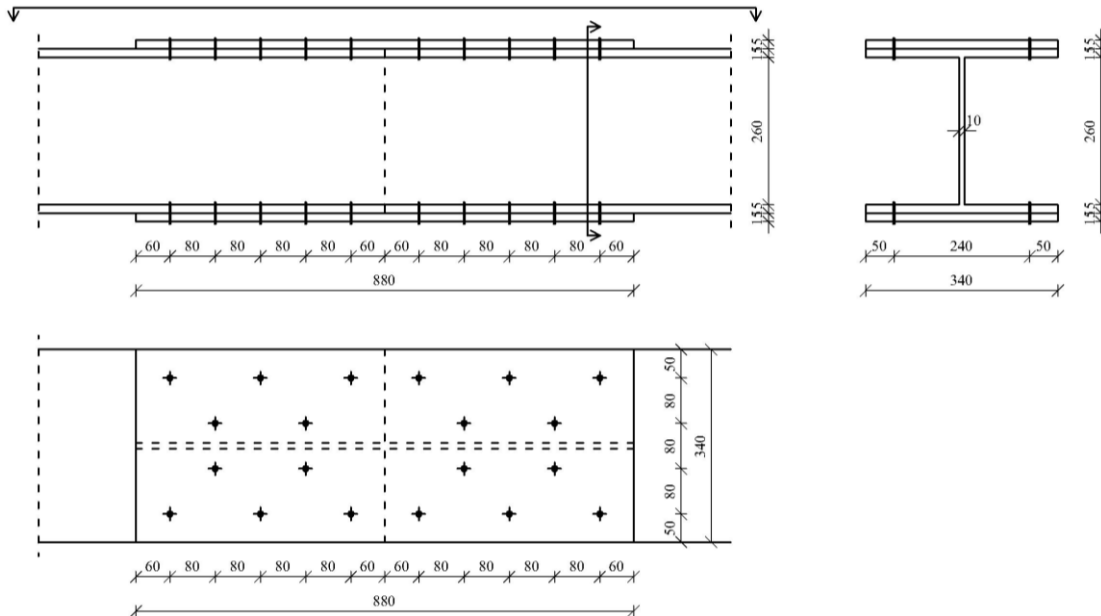
Provjera nosivosti

Pojedinačni ugaonik opterećen je silom od $N_{Ed}/2 = 140 \text{ kN}$

$$\frac{140}{153,01} = 0,91 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Primjer 3

Provjeriti nosivost montažnog nastavka rešetkastog nosača. Nastavak je izveden pomoću dvije podvezice debljine 15 mm i neupasovanih zavrtnjeva M24 (smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem) klase čvrstoće 8.8. Na mjestu nastavka djeluje proračunska sila zatezanja $N_{Ed} = 3000$ kN. Podvezice i osnovni materijal su klase čelika S420.



Provjera minimalnih rastojanja i razmaka između spojnih sredstava

Rastojanje do kraja e_1

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0$$

Za zavrtnaj M24 $d_0 = 26$ mm.

$$\min e_1 = 1,2 \cdot 26 = 31,2 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_1 = 60$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava u pravcu djelovanja sile

Zavrtnjevi su postavljeni u smaknutom rasporedu, koristimo dužinu L.

$$\min L = 2,4 \cdot d_0 = 62,4 \text{ mm}$$

U našem slučaju $L = 80\sqrt{2} = 113$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Rastojanje do ivice e_2

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 31,2 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_2 = 50$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava upravno na pravac djelovanja sile p_2

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 62,4 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_2 = 80$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Nosivost spojnih sredstava

Nosivost zavrtnjeva na smicanje

Smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem.

Tabele 3.3

Rastojanje između najudaljenijih redova zavrtnjeva.

$$L_j = 4 \cdot 80 = 320 \text{ mm} \leq 15d_0 (390)$$

→ Spoj se ne tretira kao dugačak. Nije potrebno vršiti redukciju smičuće nosivosti zavrtnjeva.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6f_{ub}A}{\gamma_{M2}}$$

Za zavrtnaj klase čvrstoće 8.8 → $f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$

$$A = \frac{d^2\pi}{4} = \frac{2,4^2\pi}{4} = 4,524 \text{ cm}^2$$

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

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 4,524}{1,25} = 173,6 \text{ kN}$$

Nosivost na pritisak po omotaču rupe

Prvo je potrebno odrediti mjerodavnu debljinu paketa limova. Mjerodavna je manja vrijednost.

Podvezica 15 mm

Nožica profila 15 mm

→ za pritisak po omotaču rupe svejedno je da li ćemo uzeti debljinu podvezice ili nožice profila

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

Nosivost na pritisak po omotaču rupe zasebno se određuje za zavrtnjeve u kranjem redu i zavrtnjeve u unutrašnjim redovima.

Ivični zavrtnaj u kranjem redu

$$\alpha_b = \frac{e_1}{3d_0} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{60}{3 \cdot 26} = 0,77 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{80}{52} = 1,538 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 0,77$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \end{cases}$$

$$k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{50}{26} - 1,7 = 3,68 \leq 2,5 \\ 1,4 \frac{240}{26} - 1,7 = 11,223 \leq 2,5 \end{cases}$$

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 52 \cdot 2,4 \cdot 1,5}{1,25} = 288,3 \text{ kN}$$

Tačka 3.8 (1)

Tabela 3.4

Tabela 3.4

Ivični zavrtnaj u unutrašnjem redu

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{80}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,77 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{80}{52} = 1,538 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 0,77$$

$$k_1 = 1,4 \frac{80}{26} - 1,7 = 2,61 \leq 2,5$$

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,77 \cdot 52 \cdot 2,4 \cdot 1,5}{1,25} = 288,3 \text{ kN}$$

Nosivost nastavka

Kako je nosivost na smicanje zavrtnjeva manja od nosivosti na pritisak po omotaču rupe ne može se ostvariti plastična preraspodjela napreznaja. Nosivost nastavka treba provjeriti prema sljedećem:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$F_{Rd} = n \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} \\ F_{b,Rd,i} \end{cases}$$

$$F_{Rd} = 2 \cdot 10 \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} = 173,6 \text{ kN} \\ F_{b,Rd,i} = 288,3 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\rightarrow F_{Rd} = 20 \cdot 173,6 = 3472 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{3000}{3472} = 0,86 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost podvezica

Potrebno je provjeriti nosivost neto i bruto presjeka.

Nosivost bruto presjeka

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$$

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

$$\rightarrow N_{pl,Rd} = \frac{1,5 \cdot 34 \cdot 42}{1,0} = 2142 \text{ kN}$$

Jedna podvezica prenosi pola ukupne sile, $N_{Ed} = 3000/2 = 1500 \text{ kN}$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1500}{2142} = 0,7 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Tačka 3.7 (1)

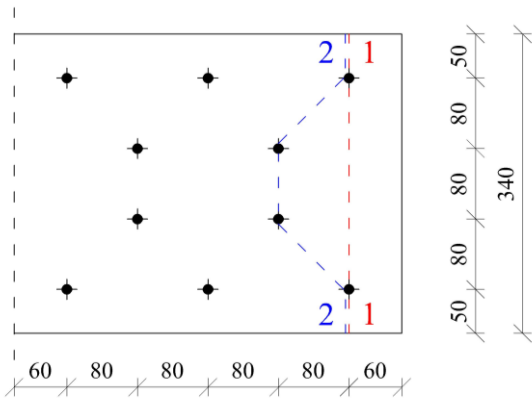
Izraz 6.6 MEST
EN 1993-1-1

Nosivost neto presjeka

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

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

Određivanje neto presjeka



$$A_{net,1-1} = 34 \cdot 1,5 - 2 \cdot 2,6 \cdot 1,5 = 43,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{net,2-2} = A - t \left(n_2 d_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right)$$

$$A_{net,2} = 34 \cdot 1,5 - 1,5 \left(4 \cdot 2,6 - 2 \cdot \frac{8^2}{4 \cdot 8} \right) = 41,4 \text{ cm}^2$$

→ mjerodavan je presjek 2-2

$$\rightarrow N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot 41,4 \cdot 52}{1,25} = 1550 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{1500}{1550} = 0,97 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

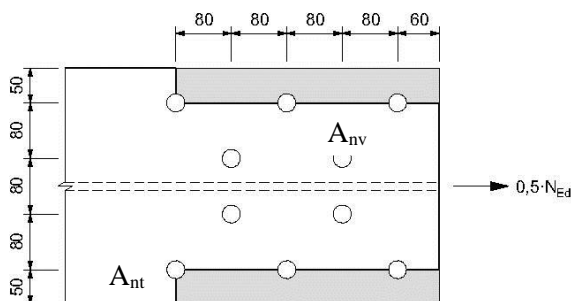
Osnovni element zbog veće površine poprečnog presjeka od podvezica nije potrebno provjeravati.

Nosivost na cijepanje bloka

Centrično opterećene simetrične grupe zavrtnjeva.

$$\frac{N_{Ed}}{V_{eff,1,Rd}} \leq 1$$

$$V_{eff,2,Rd} = \frac{A_{nt} f_u}{\gamma_{M2}} + \frac{A_{nv} f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$



$$A_{nt} = (50 - 26/2) \cdot 15 \cdot 2 = 11,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = (60 + 4 \cdot 80 - 2,5 \cdot 26) \cdot 15 \cdot 2 = 94,5 \text{ cm}^2$$

$$V_{eff,1,Rd} = \frac{11,1 \cdot 52}{1,25} + \frac{94,5 \cdot 42}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 2753,3 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

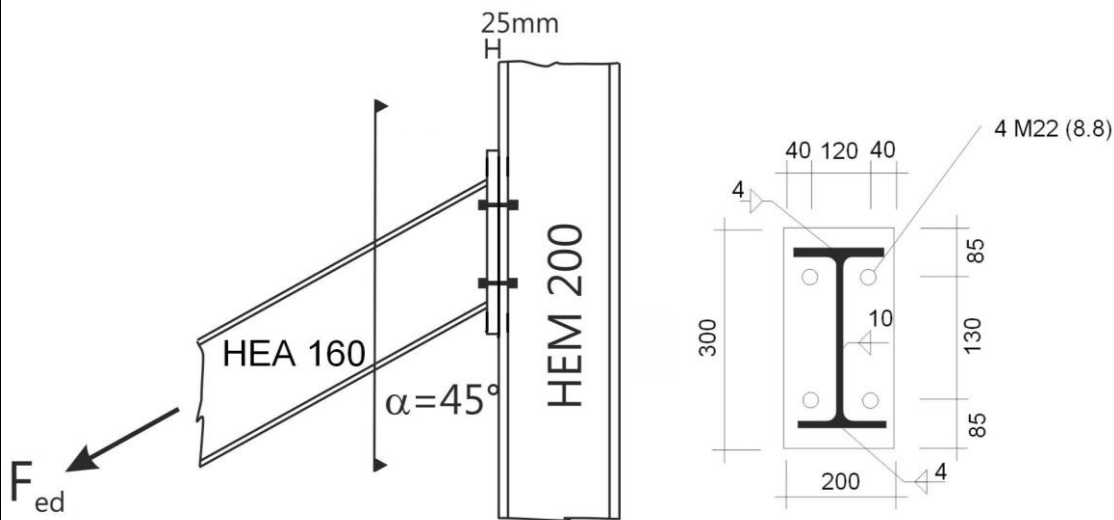
$$\frac{1500}{2753,3} = 0,544 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Izraz 6.7 MEST
EN 1993-1-1

Izraz 3.9

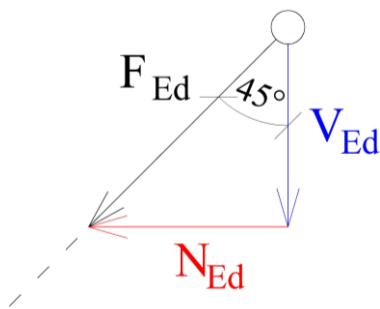
Primjer 4

Provjeriti nosivost veze zategnute dijagonale i stuba, prikazane na sljedećoj skici. Veza je ostvarena pomoću čelone ploče debljine 25 mm i neupasovanih zavrtnjeva M22 klase čvrstoće 8.8. U zategnutom štapu djeluje sila od $F_{Ed} = 500$ kN. Klasa čelika je S235.



Presječne sile na mjestu veze

Prvo je potrebno odrediti koje to sile naša veza treba da primi.



$$V_{Ed} = F_{Ed} \cos 45 = 353,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = F_{Ed} \sin 45 = 353,6 \text{ kN}$$

Dakle, u vezi se javlja sila zatezanja N_{Ed} i transverzalna sila V_{Ed} .

Provjera minimalnih rastojanja i razmaka između spojnih sredstava

Rastojanje do kraja e_1

$$\min e_1 = 1,2 \cdot d_0$$

Za zavrtnj M22 $d_0 = 24$ mm.

$$\min e_1 = 1,2 \cdot 24 = 28,8 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_1 = 85$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava u pravcu djelovanja sile p_1

$$\min p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 52,8 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_1 = 130$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Rastojanje do ivice e_2

$$\min e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 28,8 \text{ mm}$$

U našem slučaju $e_2 = 40$ mm pa je ovaj uslov ispunjen.

Razmak između spojnih sredstava upravno na pravac djelovanja sile p_2

Tabela 3.3

$$\min p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 57,6 \text{ mm}$$

U našem slučaju $p_2 = 120 \text{ mm}$ pa je ovaj uslov ispunjen

Nosivost spojnih sredstava

Nosivost zavrtnjeva na smicanje

Smičuća ravan ne prolazi kroz dio zavrtnja sa navojem.

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$$

Za zavrtnaj klase čvrstoće 8.8 $\rightarrow f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$

$$A = \frac{d^2 \pi}{4} = \frac{2,2^2 \pi}{4} = 3,8 \text{ cm}^2$$

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

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 80 \cdot 3,8}{1,25} = 145,92 \text{ kN}$$

Nosivost na pritisak po omotaču rupe

Prvo je potrebno odrediti mjerodavnu debljinu paketa limova. Mjerodavna je manja vrijednost.

Čeona ploča 25 mm

Nožica profila 25 mm

\rightarrow za pritisak po omotaču rupe svejedno je da li ćemo uzeti debljinu čeone ploče ili nožice profila

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

Mjerodavan je unutrašnji ivični zavrtnaj.

$$\alpha_b = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} \end{cases}$$

$$\alpha_b = \frac{130}{3 \cdot 24} - \frac{1}{4} = 1,56 \leq \begin{cases} 1 \\ \frac{80}{36} = 2,22 \end{cases}$$

$$\rightarrow \alpha_b = 1,0$$

$$k_1 = 1,4 \frac{120}{24} - 1,7 = 5,3 \leq 2,5$$

$$\rightarrow k_1 = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 36 \cdot 2,2 \cdot 2,5}{1,25} = 396 \text{ kN}$$

Tabela 3.4

Tabela 3.4

Nosivost na smicanje i pritisak po omotaču rupe

Kako je nosivost na smicanje zavrtnjeva manja od nosivosti na pritisak po omotaču rupe ne može se ostvariti plastična preraspodjela naprezanja. Nosivost nastavka treba provjeriti prema sljedećem:

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

Tačka 3.7 (1)

$$F_{Rd} = n \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} \\ F_{b,Rd,i} \end{cases}$$

$$F_{Rd} = 4 \cdot \min \begin{cases} F_{v,Rd,i} = 145,92 \text{ kN} \\ F_{b,Rd,i} = 396 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\rightarrow F_{Rd} = 4 \cdot 145,92 = 583,68 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{353,6}{583,68} = 0,6 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost na zatezanje

$$\frac{N_{Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

Za zavrtanj M22 $A_s = 3,03 \text{ cm}^2$

$$\rightarrow F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot 3,03 \cdot 80}{1,25} = 174,53 \text{ kN}$$

Svi zavrtnevi opterećeni su istom silom zatezanja tako da je jedan zavrtanj opterećen silom zatezanja u iznosu od $N_{Ed} = 353,6/4 = 88,4 \text{ kN}$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{88,4}{174,53} = 0,51 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost na probijanje smicanjem (na izvlačenje)

$$B_{pl,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$$

Za zavrtanj M22, $s = 3,4 \text{ cm}$ a $e = 3,729 \text{ cm}$

$$\rightarrow d_m = \frac{3,4 + 3,729}{2} = 3,5645 \text{ cm}$$

$$B_{pl,Rd} = \frac{0,6\pi \cdot 3,5645 \cdot 2,5 \cdot 36}{1,25} = 483,76 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{B_{pl,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{88,4}{483,76} = 0,18 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost zavrtneva na smicanje i zatezanje

Kako je iskorišćenost zavrtneva na smicanje veća od 28% potrebno je provjeriti interakciju smicanja i zatezanja.

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{88,4}{145,92} + \frac{88,4}{1,4 \cdot 174,53} = 0,97 \leq 1,0 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

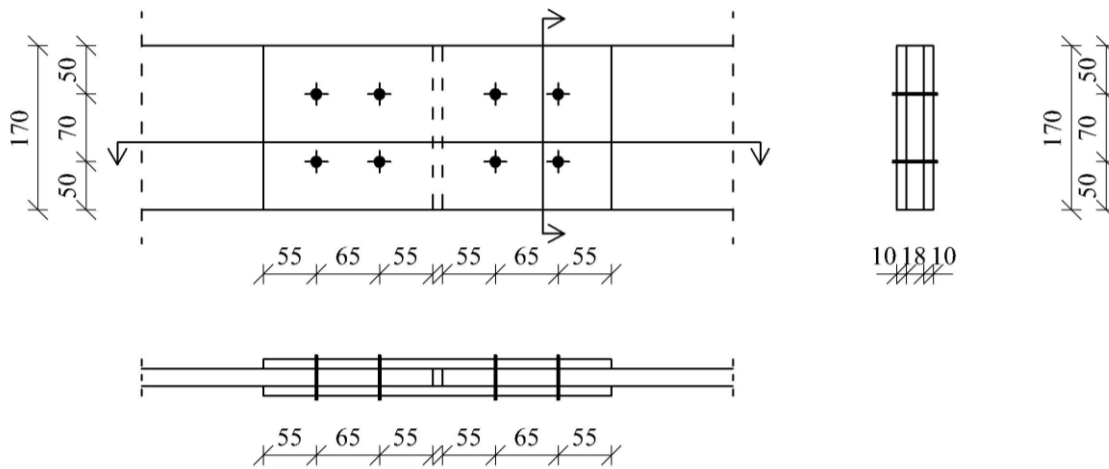
Tabela 3.4

Tabela 3.4

Tabela 3.4

Primjer 5

Za nastavak iz primjera 1 provjeriti nosivost pod uslovom da je nastavak ostvaren prednapregnutim zavrtnjevima M20 klase 10.9. Nastavak je otporan na proklizavanje u graničnom stanju nosivosti (klasa C). Obrada površine limova je A.



Kako je nastavak projektovan da bude otporan na proklizavanje u graničnom stanju nosivosti teoretski potrebno bi bilo samo dokazati da je nosivost na proklizavanje veća od odgovarajuće smičuće sile. Pored ove provjere prema MEST EN 1993-1-8 zahtjeva se još i provjera pritiska po omotaču rupe.

Nosivost zavrtnjeva na proklizavanje

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,C}$$

Sila prednaprezanja

$$F_{p,C} = 0,7 f_{ub} A_s$$

Za zavrtnaj M20 $A_s = 2,45 \text{ cm}^2$

$$\rightarrow F_{p,C} = 0,7 \cdot 100 \cdot 2,45 = 171,5 \text{ kN}$$

$\mu = 0,5$ (klasa obrade A)

$n = 2$ jer imamo dvije ravni trenja

$k_s = 1,0$

$$\rightarrow F_{s,Rd} = \frac{2 \cdot 0,5}{1,3} 171,5 = 131,9 \text{ kN}$$

Provjera nosivosti

$$\frac{N_{Ed}}{n F_{Rd}} \leq 1$$

$$\frac{500}{4 \cdot 131,9} = 0,95 \leq 1 \rightarrow \text{kontrola zadovoljena}$$

Nosivost na pritisak po omotaču rupe određuje se na isti način kao u primjeru 1.

Izraz 3.6a

Izraz 3.7

Tabela 3.6