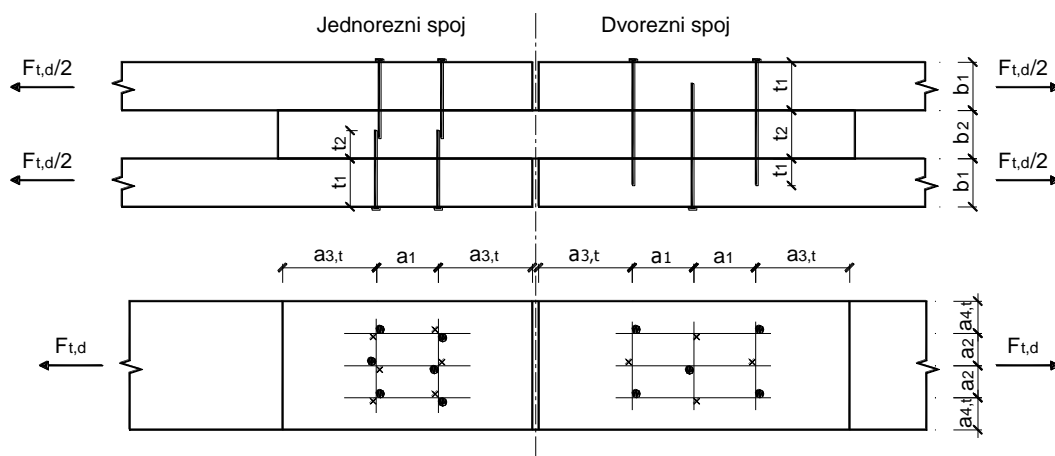


### Primjer: Vlačni nastavak

Za različite geometrije vlačnih nastavaka treba odrediti nosivost i broj čavala ako je dvodijelni štap od punog drva klase S10 i vlačno naprežan projektnom silom od stalnog djelovanja,  $F_d = 20,0$  kN.

$\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$	za puno drvo klase S10	(tablica 5.11)
$f_{t,0,k} = 14,0 \text{ N/mm}^2$		
$\gamma_M = 1,3$		(tablica 5.3)
klasa uporabljivosti II		(tablica 5.5)
$k_{mod} = 0,6$	za stalno djelovanje	(tablica 5.6)
$\alpha = 0^\circ$	kut otklona sile od pravca vlaknaca	
$f_{t,0,d} = 0,6 \cdot 14,0 / 1,3 = 6,46 \text{ N/mm}^2$	projektna vlačna čvrstoća za klasu S10	



Slika 6.45 Geometrija čavlanog vlačnog nastavka

#### a) Jednorezni čavlani spoj drvo – drvo

Vlačni nastavljani štap je dvodijelnog presjeka  $2 \times b_1/h = 2 \times 60/100 \text{ mm}$ , a unutrašnja vezica je presjeka  $b_2/h = 60/100 \text{ mm}$  (oboje su klase S10). Spajala su glatki čavli Č 34 x 90 zabijani bez predbušenja.

Provjera mogućnosti mimoilaznog raspoređivanja čavala (slika 6.45):

$$l = 90 \text{ mm} \quad b_1 = 60 \text{ mm}$$

$$t_2 = l - b_1 = 90 - 60 = 30 \text{ mm} \quad \text{dubina zabijanja u zadnje drvo jednorezne veze}$$

$$t_2 = 30 \text{ mm} > 8 \cdot 3,4 = 27,2 \text{ mm} \quad \text{uvjet pune nosivosti u zadnjoj reznj ravnini: } t_2 \geq 8d$$

$$b_2 = 60 \text{ mm} > 30 + 4 \cdot 3,4 = 43,6 \text{ mm} \quad \text{uvjet širine zadnjeg drva u vezi: } b_2 \geq t_2 + 4d$$

Provjera debljine najtanjeg elementa u vezi u odnosu na promjer čavla:

$$b_{\min} = \max. \left\{ \begin{array}{l} 7d = 7 \cdot 3,4 = 23,8 \text{ mm} \\ (13d - 30) \cdot \frac{\rho_k}{400} = (13 \cdot 3,4 - 30) \cdot \frac{380}{400} = 13,5 \text{ mm} \end{array} \right. \rightarrow b_{\min} = 23,8 \text{ mm} < b_{1(2)} = 60 \text{ mm}$$

Određivanje razmaka čavala, međusobno i od rubova, pri čemu su  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ ,  $d < 5 \text{ mm}$  i  $\alpha = 0^\circ$ :

$$a_1 \geq (5 + 5|\cos\alpha|)d = 10d = 34 \text{ mm} \quad a_1 = 35 \text{ mm} \quad \text{međusobni razmak čavala } \parallel \text{ s vlaknima}$$

$$a_2 \geq 5d = 17 \text{ mm} \quad a_2 = 25 \text{ mm} \quad \text{međusobni razmak čavala } \perp \text{ na vlakna}$$

$$a_{3,t} \geq (10 + 5\cos\alpha)d = 15d = 51 \text{ mm} \quad a_{3,t} = 55 \text{ mm} \quad \text{udaljenost od opterećenog ruba } \parallel \text{ s vlaknima}$$

$$a_{4,t} \geq (5 + 5\sin\alpha)d = 5d = 17 \text{ mm} \quad a_{4,t} = 25 \text{ mm} \quad \text{udaljenost od opterećenog ruba } \perp \text{ na vlakna}$$

Projektna vrijednost sile koju može preuzeti dvodijelni presjek vlačnog štapa  $2 \times b_1/h = 2 \times 60/100 \text{ mm}$ :

$$A_{\text{neto}} \approx 0,8 A_{\text{bruto}} = 0,8 \cdot 2 \cdot 60 \cdot 100 = 9600 \text{ mm}^2$$

Za promjer čavla  $d < 6 \text{ mm}$  i zabijane čavle (bez predbušenja rupa) slabljenje poprečnog presjeka nema presudan utjecaj na njegovu nosivost.

$$\max F_{t,d} = A_{\text{neto}} \cdot f_{t,0,d} / 1,5 = 9600 \cdot 6,46 / 1,5 = 41344 \text{ N} > 20000 \text{ N}$$

Projektna vrijednost sile koju može preuzeti poprečni presjek unutrašnje vezice  $b \geq h = 60/100 \text{ mm}$ :

$$A_{\text{neto}(v)} \approx 0,8 A_{\text{bruto}(v)} = 0,8 \cdot 60 \cdot 100 = 4800 \text{ mm}^2$$

$$\max F_{t,d} = A_{\text{neto}(v)} \cdot f_{t,0,d} = 4800 \cdot 6,46 = 31008 \text{ N} > 20000 \text{ N}$$

Projektna vrijednost tlačne čvrstoće po omotaču rupe u drvu za zabijani čavao:

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_k \cdot d^{-0,3} = 0,082 \cdot 380 \cdot 3,4^{-0,3} = 21,58 \text{ N/mm}^2 \quad (6.49)$$

$$f_{h,1,d} = k_{\text{mod}} \cdot f_{h,1,k} / \gamma_M = 0,6 \cdot 21,58 / 1,3 = 9,96 \text{ N/mm}^2$$

$$\beta = f_{h,2,d} / f_{h,1,d} = 1 \quad \text{svi elementi jednorezne veze od istog su materijala (PD klase S10)}$$

Projektna vrijednost momenta tečenja spojnog sredstva:

$$M_{y,k} = 180 \cdot d^{2,6} = 180 \cdot 3,4^{2,6} = 4336,3 \text{ Nmm} \quad (6.51)$$

$$M_{y,d} = M_{y,k} / \gamma_M = 4336,3 / 1,1 = 3942,1 \text{ Nmm} \quad (\gamma_M = 1,1 \text{ za čelik, tablica 5.3})$$

Prema tablici 6.4 ( za spojeve s  $\beta = 1$ ) vrijedi:  $k_t = t_2 / t_1 = 0,5$  i  $k_M = \frac{t_1}{\sqrt{\frac{M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d}}} = \frac{60}{\sqrt{\frac{3942,1}{9,96 \cdot 0,34}}} = 5,561$

Određivanje projektne vrijednosti nosivosti jednog zabijanog čavla Č34 x90 u jednoreznoj vezi

Primjena izraza za oblike sloma iz tablice 6.4 ili 6.5 (za  $\beta = 1$ ) gdje su  $t_1 = 60 \text{ mm}$  i  $t_2 = 30 \text{ mm}$ .

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d = 9,96 \cdot 60 \cdot 3,4 = 2031,8 \text{ N} \quad (6.31 - a)$$

$$R_d = f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta = 9,96 \cdot 30 \cdot 3,4 \cdot 1,0 = 1015,9 \text{ N} \quad (6.35 - b, \text{ tablica 6.5})$$

Prema tablici 6.4 (za spojeve s  $\beta = 1$ ), takav oblik sloma nije predviđen.

Prema izrazu 6.32 – c iz tablice 6.4 (za spojeve s  $\beta = 1$ ) slijedi:

$$R_d = 0,5 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( \sqrt{3k_t^2 + 2k_t + 3} - k_t - 1 \right) = \frac{2031,8}{2} \cdot (\sqrt{4,75} - 1,5) = 690,3 \text{ N}$$

Prema izrazu 6.36 – c iz tablice 6.5, ako je  $\beta = 1$ , slijedi:

$$R_d = \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \cdot \left\{ \sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[ 1 + \frac{t_2}{t_1} + \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left( 1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right\} = \frac{2031,8}{2} \cdot (\sqrt{4,75} - 1,5) = 690,3 \text{ N}$$

Prema izrazu 6.33 – d iz tablice 6.4 (za spojeve s  $\beta = 1$ ) slijedi:

$$R_d = 0,367 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left( 2 \cdot \sqrt{1 + 3/k_M^2} - 1 \right) = 0,367 \cdot 2031,8 \cdot (2 \cdot \sqrt{1,097} - 1) = 816,3 \text{ N}$$

Prema izrazu 6.37 – d iz tablice 6.5, ako je  $\beta = 1$ , slijedi:

$$R_d = 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] = 1,1 \cdot \frac{2031,8}{3} \cdot \left( \sqrt{4 + \frac{12 \cdot 3942,1}{2031,8 \cdot 60}} - 1 \right) = 815,6 \text{ N}$$

Prema izrazu 6.38 – e iz tablice 6.5, ako je  $\beta = 1$ , slijedi:

$$R_d = 1,1 \cdot \frac{f_{h,1,d} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \cdot \left[ \sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,d}}{f_{h,1,d} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] = 1,1 \cdot \frac{1015,9}{3} \cdot \left( \sqrt{4 + \frac{12 \cdot 3942,1}{1015,9 \cdot 30}} - 1 \right) = 505,2 \text{ N}$$

Prema tablici 6.4 (za spojeve s  $\beta = 1$ ), takav oblik sloma nije predviđen (slom u drvu u oba elementa spoja i slom u spajalu na dubini utiskivanja  $t_1$ ).

Prema izrazu 6.34 – f iz tablice 6.4 (za spojeve s  $\beta = 1$ ) slijedi:

$$R_d = 1,556 \cdot f_{h,1,d} \cdot t_1 \cdot d / k_M = 1,556 \cdot 2031,8 / 5,561 = 568,4 \text{ N}$$

Prema izrazu 6.39 – f iz tablice 6.5, ako je  $\beta = 1$ , slijedi:

$$R_d = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \cdot \sqrt{2M_{y,d} \cdot f_{h,1,d} \cdot d} = 1,1 \cdot \sqrt{1} \cdot \sqrt{2 \cdot 3942,1 \cdot 9,96 \cdot 3,4} = 568,4 \text{ N}$$

Pri određivanju nosivosti čavla prema tablici 6.5 kad je  $\beta = 1$ , mjerodavan je izraz 6.38 za oblik sloma (e) stvaranjem plastičnog zgloba na dubini utiskivanja  $t_1$ , uz istovremeno dostizanje čvrstoće pritiska po omotaču rupe u oba drvena elementa.

$$\min R_d = 505,2 \text{ N}$$

prema tablici 6.5

Takav oblik sloma nije predviđen u tablici 6.4 (za  $\beta = 1$ ) koja se primjenjuje za jednorezne spojeve elemenata istih vrijednosti čvrstoća pritiska po omotaču rupe pri čemu je za mjerodavan oblik sloma, (f), prema izrazu 6.34 (do plastifikacije spajala dolazi na obje dubine utiskivanja uz istovremeni slom drva u oba elementa), nosivost spajala veća od one određene za slom oblika (e) iz tablice 6.5.

$$\min R_d = 568,4 \text{ N}$$

prema tablici 6.4

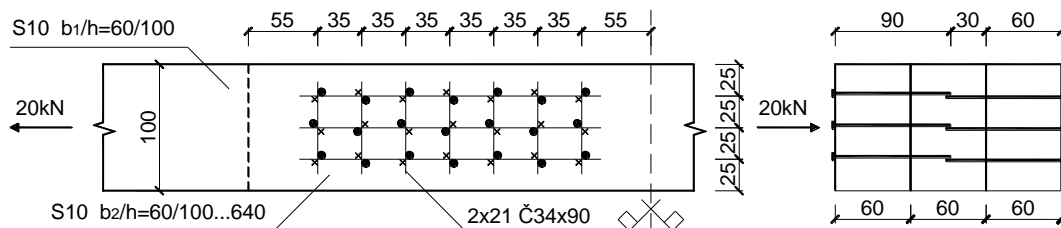
**Potreban broj obostrano zabijanih čavala Č34x90 mimoilazno raspoređenih jest:**

$$n_{\text{potr.}} \geq \frac{F_d}{\min R_d} = \frac{20000}{568,4} = 35,2 \text{ kom.}$$

**Najveći broj mimoilaznih redova čavala (r) koji može stati s jedne strane presjeka visine  $h = 100 \text{ mm}$ :**

$$r_{\text{max}} \leq \frac{h - 2a_{4,t}}{a_2} + 1 = \frac{100 - 34}{17} + 1 = 4,9 \quad r = 3$$

**Odabrani broj čavala raspoređenih u tri reda jest:  $n = 21 \times 2 = (3 \times 7) \times 2 = 42 > 35,2$ .**



Slika 6.46.a Mimoilazni (nasuprotni s preklapanjem) raspored – zabijani čavli 42Č34x90

**Dokaz nosivosti jednoreznog zabijanog čavla Č34x90 u vlačnom nastavku dvodijelnog štapa:**

$$\max F_d = 42 \cdot 568,4 = 23872,8 \text{ N} > 20000 \text{ N} \quad \text{ukupna vlačna sila koju preuzima 42 Č34x90}$$

$$F_{1,d} = F_d / n = 20000 / 42 = 476,2 \text{ N} \quad \text{projektana vlačna sila koju preuzima 1 Č34x90}$$

$$\frac{F_{1,d}}{\min R_d} = \frac{476,2}{568,4} = 0,84 < 1 \quad \text{dokaz nosivosti jednog jednoreznog čavla}$$

**Usvojena duljina srednjeg elementa vlačnog nastavka (unutrašnja drvena vezica 60/100mm) jest:**

$$l = 2 \cdot (6 \cdot a_1 + 2 \cdot a_{3,t}) = 2 \cdot (6 \cdot 35 + 2 \cdot 55) = 640 \text{ mm}$$

**Provjera nosivosti dvodijelnog vlačnog štapa i vezice (neto površine presjeka):**

$$A_{\text{neto}} = 2 \cdot 60 \cdot (100 - 3 \cdot 3,4) = 10776 \text{ mm}^2 \quad A_{\text{neto}} / A_{\text{bruto}} = 10776 / 12000 = 0,90 > 0,8$$

$$\max F_{t,d} = A_{\text{neto},s} \cdot f_{t,0,d} / 1,5 = 10776 \cdot 6,46 / 1,5 = 46408,6 \text{ N} > 20000 \text{ N}$$

$$A_{\text{neto},v} = 60 \cdot 100 - 2 \cdot 3 \cdot 3,4 \cdot 30 = 5388 \text{ mm}^2 \quad A_{\text{neto},v} / A_{\text{bruto},v} = 5388 / 6000 = 0,90 > 0,8$$

$$\max F_{t,d} = A_{\text{neto},v} \cdot f_{t,0,d} = 5388 \cdot 6,46 = 34806,5 \text{ N} > 20000 \text{ N}$$

Usporedne su vrijednosti nosivosti prema Tablici 21 (vidi Prilog):

Za zadane vrijednosti  $b_1 = 60 \text{ mm}$  i  $b_2 = 60 \text{ mm}$ ,  $k_{\text{mod}} = 0,6$  i gustoću  $\rho_k = 380 \text{ kg/m}^3$ , proračunska nosivost jednog zabijanog (bez predbušenja) čavla Č 34 x 90 u jednoreznoj vezi može se očitati kao:

$$R_d = 0,51 \text{ kN}$$

Usporedbe radi, za iste zadane uvjete projektna vrijednost nosivosti jednog jednoreznog bušenog čavla Č 34 x 90 u takvoj vezi bila bi (prema Tablici 23 u Prilogu):

$$R_d = 0,66 \text{ kN}$$