

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



*Katedra za metalne konstrukcije*

# JEKLENE KONSTRUKCIJE I

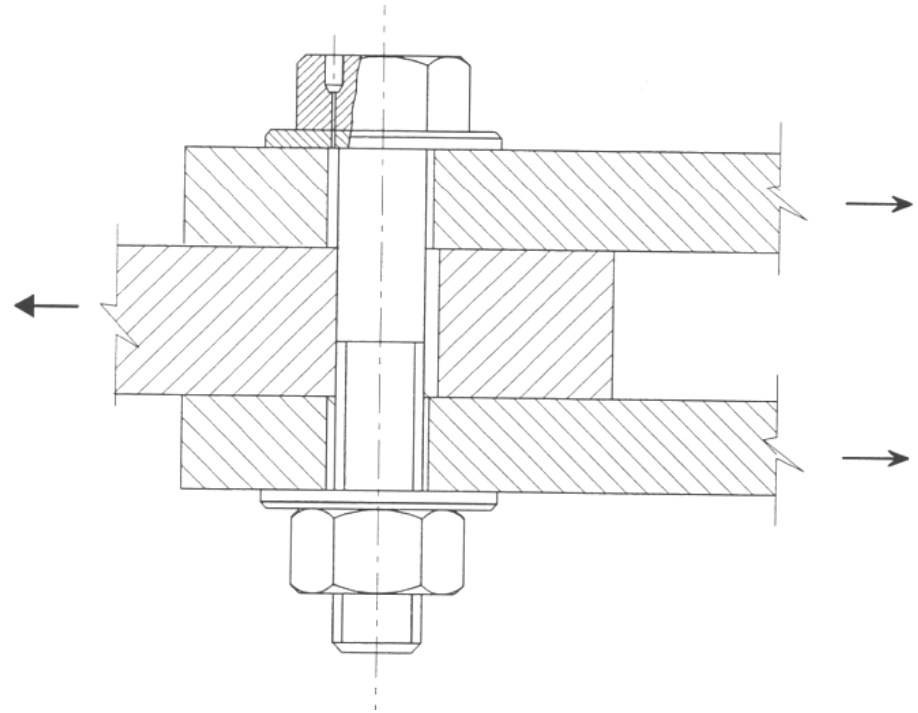
## 5.0 VEZNA SREDSTVA

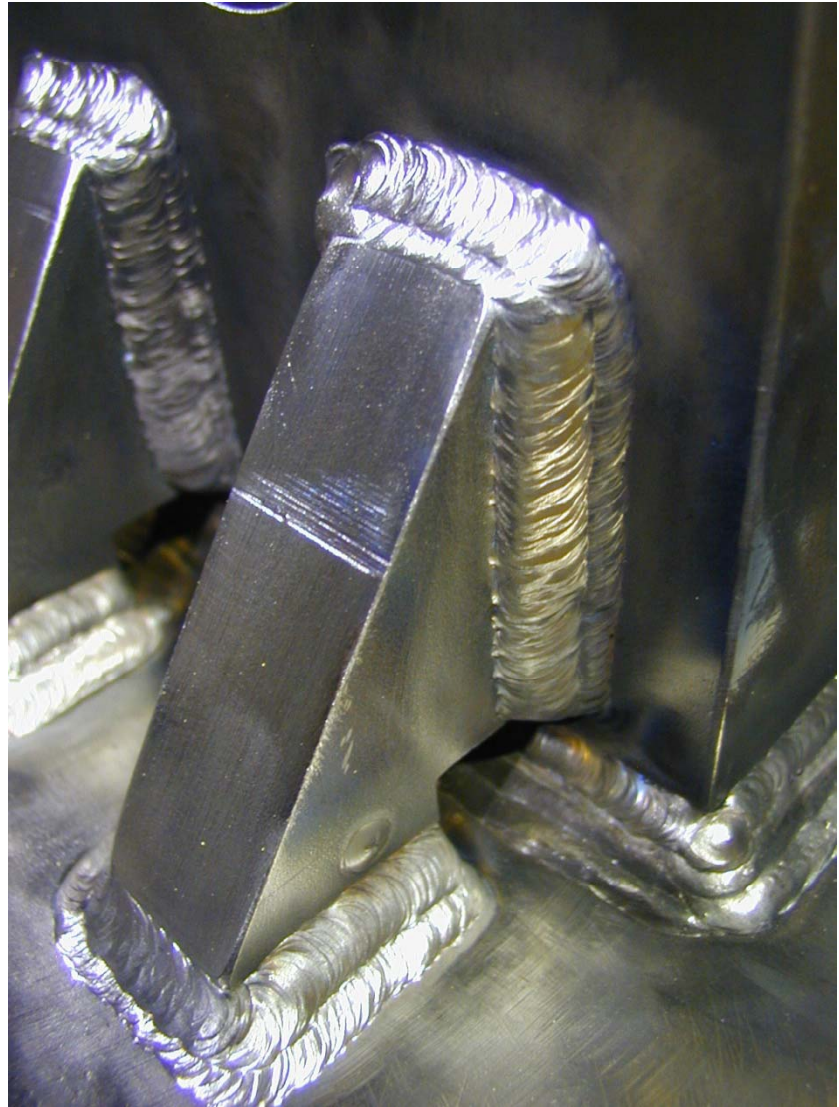
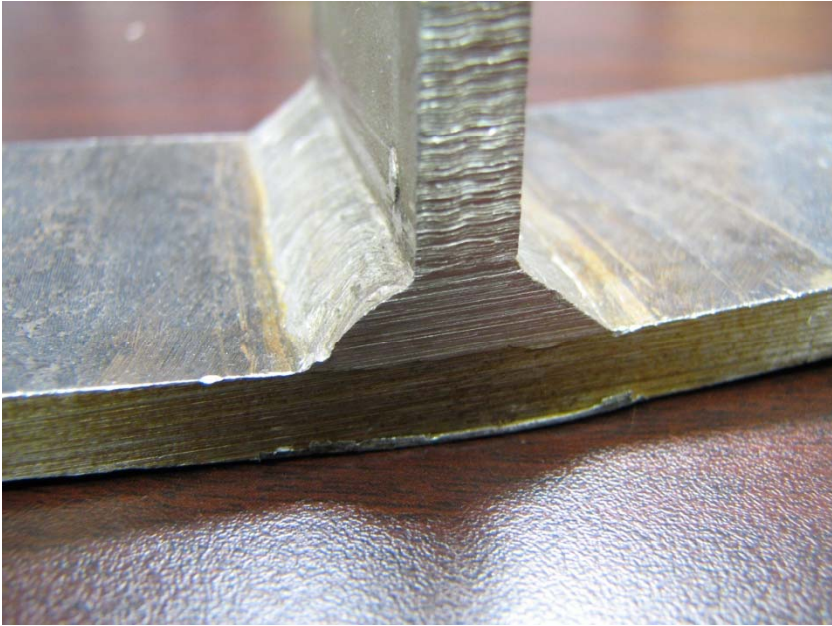
prof. dr. Darko Beg  
Sodelavec: Blaž Čermelj

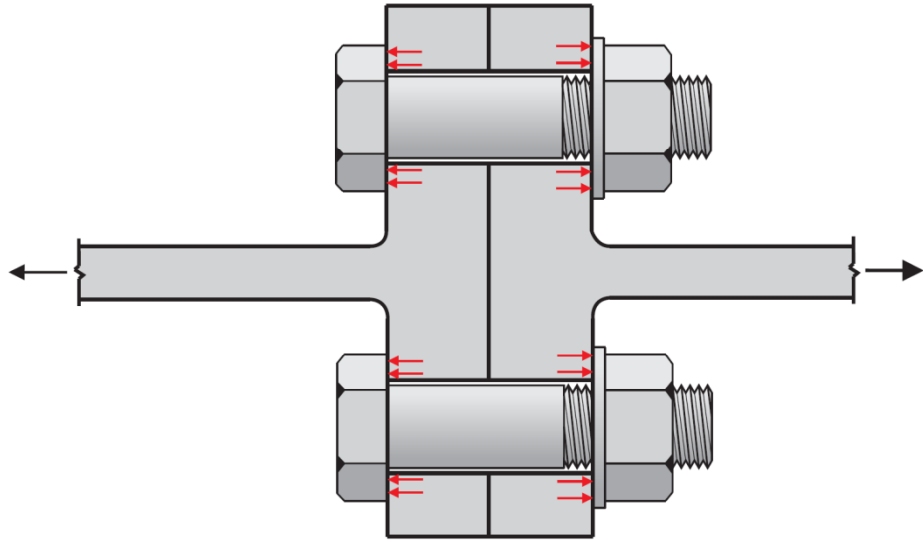
# Vezna sredstva – SIST EN 1993-1-8

## Vezna sredstva:

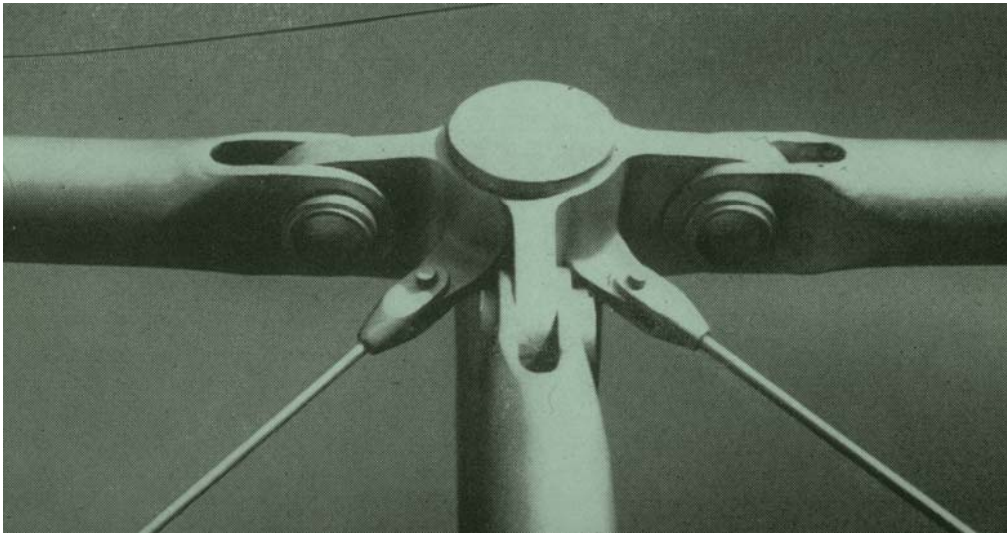
- Zvari
- Mehanska vezna sredstva
  - navadni vijaki
  - injektirani vijaki →
  - prednapeti vijaki
  - vijaki s točnim naleganjem
  - zakovice
  - čepi
  - vijaki in zakovice za spajanje HOP profilov (SIST EN 1993-1-3)



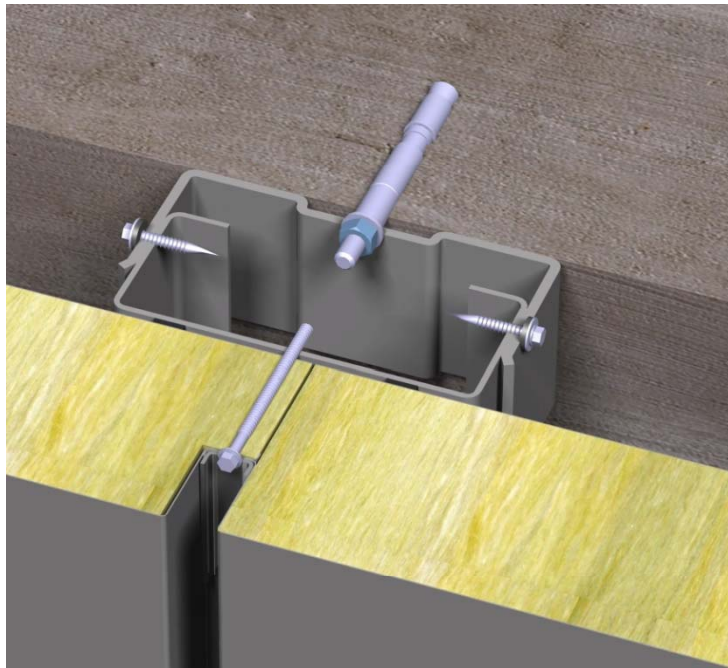




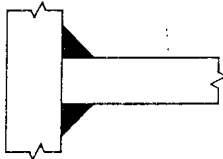

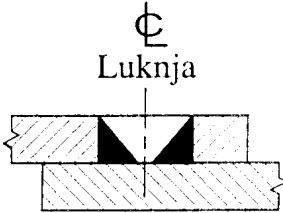





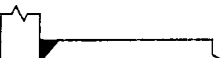
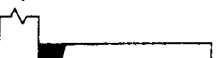





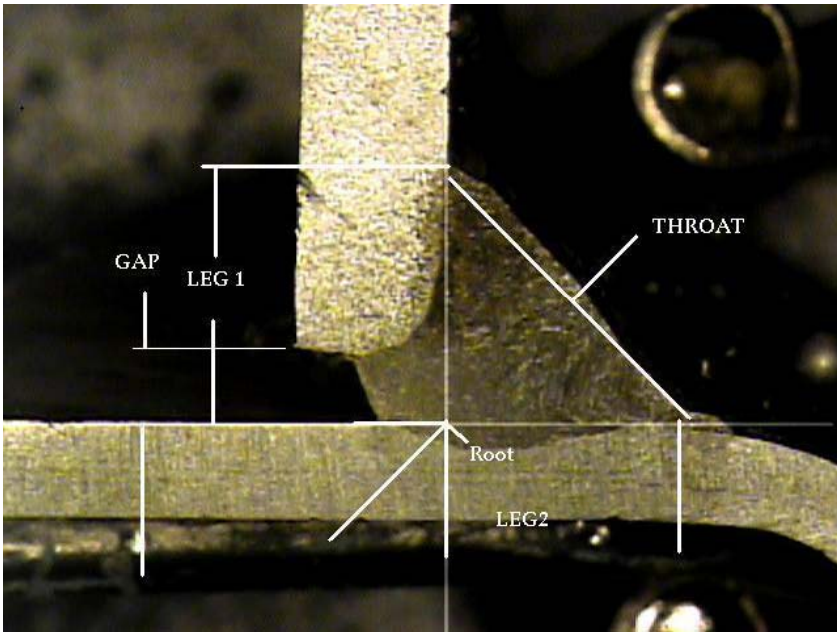
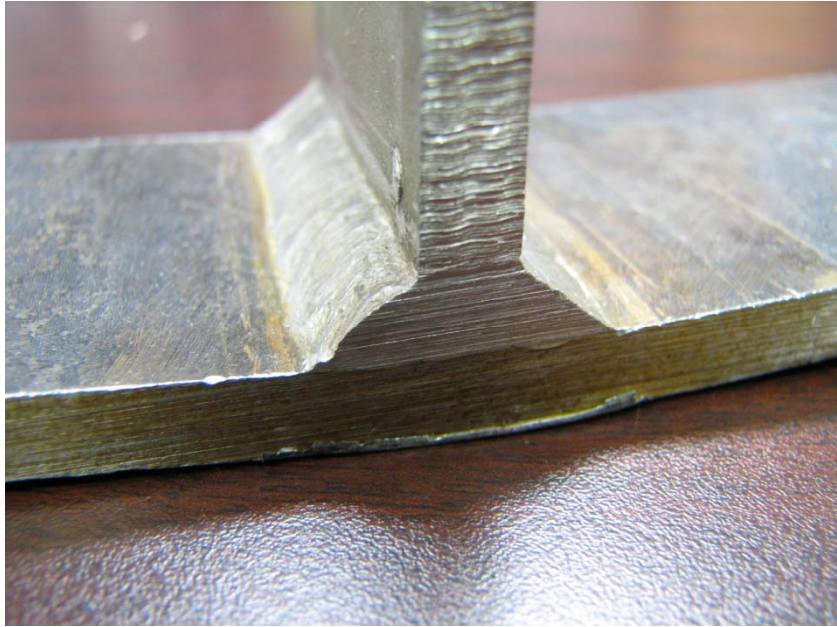
# Vijaki za pritrjevanje tankostenskih hladno oblikovanih profilov in pločevin



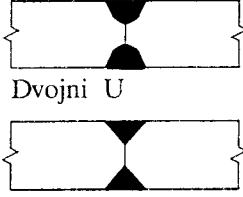
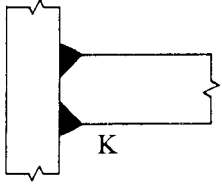
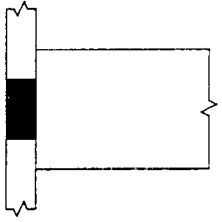
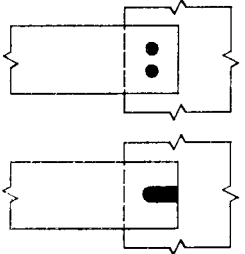
# Vrste zvarov in varjenih spojev

Vrsta zvarov	Vrsta stikov		
	Čelni stik	T-stik	Preklopni stik
Kotni zvar			
Kotni zvar v odprtini			
Polno penetrirani čelni zvar	 V  X  U  Dvojni U	 V  K  J  Dvojni J	





# Vrste zvarov in varjenih spojev - nadaljevanje

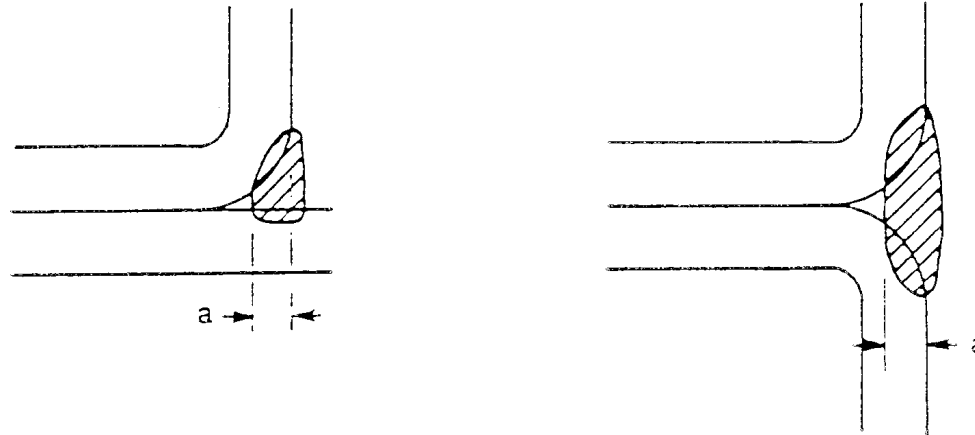
<p>Delno penetrirani čelni zvar</p>	 <p>Dvojni U</p> <p>Dvojni V</p>	 <p>K</p>	
<p>Čepasti zvar</p>			
<p>Zvari ob zaobljenih robovih</p>	<p>Glej sliko 6.19</p>		
<p><b>Tabela 6.13</b> : Vrste zvarov in varjenih stikov</p>			



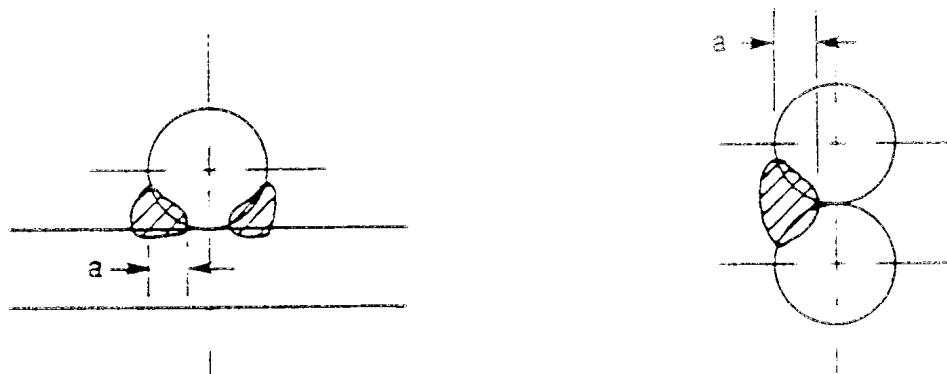


## Zvari ob zaobljenih robovih

a)

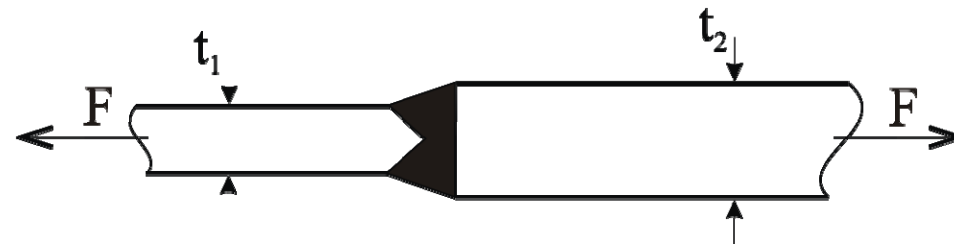


b)



Zvari ob zaobljenih robovih se pojavljajo pri priključevanju hladno oblikovanih in okroglih palic polnega prereza.

# Čelni zvari s polno penetracijo

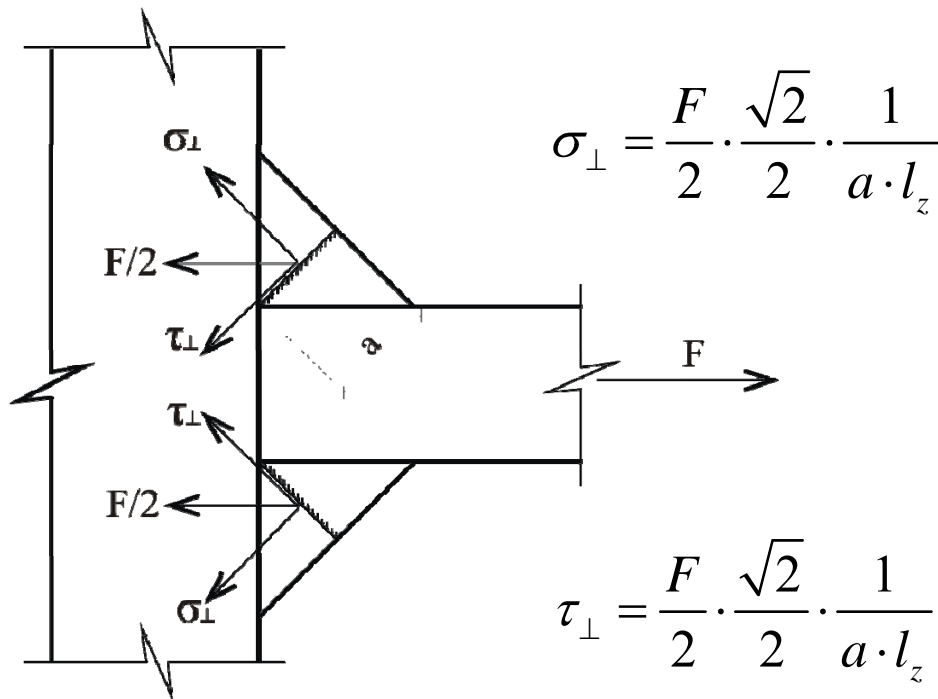


Projektna **nosilnost čelnih zvarov** je enaka nosilnosti **šibkejše pločevine**.

Z ustrezno **tehnologijo varjenja, kvaliteto elektrod in kontrolo kvalitete** moramo zagotoviti, da so mehanske lastnosti zvara ( $f_y$ ,  $f_u$ , žilavost) **enake ali večje** od nominalnih mehanskih lastnosti **osnovnega materiala**.

# Kotni zvari

Razpored napetosti – obtežba prečno na vzdolžno os zvara



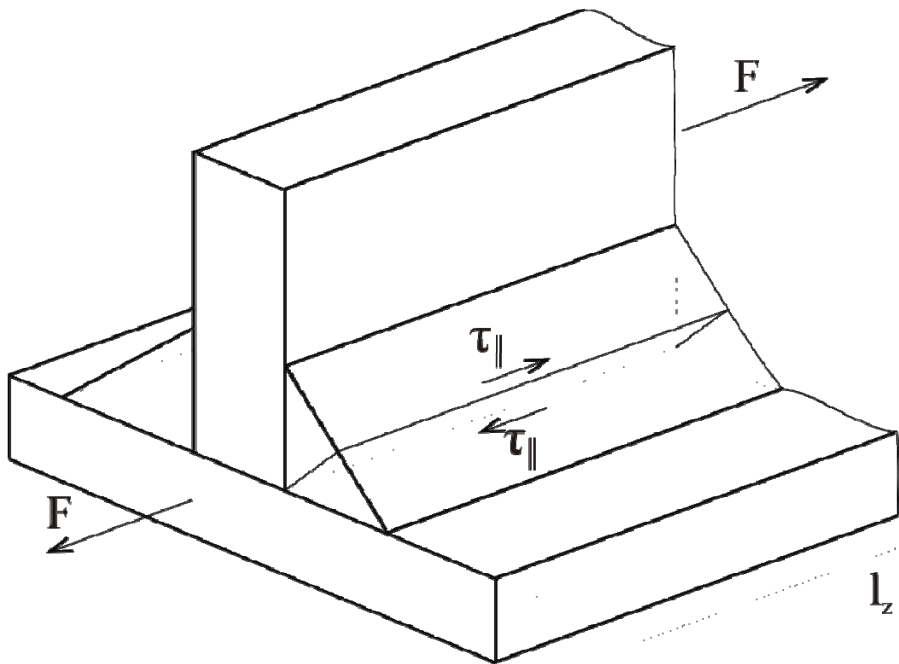
$a$  = korenska mera  
(debelina)

$l_z$  = dolžina zvara

$F$  = obtežba prečno na  
vzdolžno os zvara

# Kotni zvari

Razpored napetosti – obtežba v vzdolžni smeri zvara



$$\tau_{||} = \frac{F}{2 \cdot a \cdot l_z}$$

$A_z = a \cdot l_z$  površina enega zvara  
(najmanjša – po kateri  
pride do porušitve)



# Projektna nosilnost kotnih zvarov

Natančnejša metoda – SIST EN 1993-1-8

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \quad ; \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_u}{\gamma_{Mw}}$$

$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$  ... računsko nosilnost (napetost) zvara

$f_u$  ... natezna trdnost **osnovnega materiala**

$\gamma_{Mw} = 1,25$  ... parcialni varnostni faktor za zware ( $f_u$ )

$\beta_w$  ... korelacijski koeficient

# Projektna nosilnost kotnih zvarov

Korelacijski koeficient  $\beta_w$

jeklo	$f_u$ [MPa]	$\beta_w$
S 235	360	0,80
S 275	430	0,85
S 355	510	0,90

Za vmesne vrednosti je dovoljena linearna interpolacija.

# Projektna nosilnost kotnih zvarov

## Poenostavljena metoda

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$\sigma_z$  lahko poenostavimo (na varni strani):

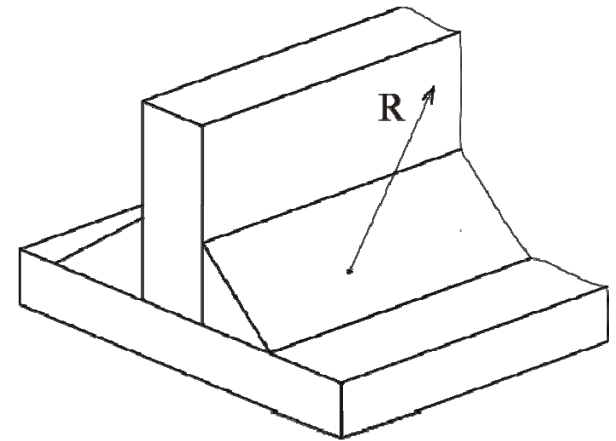
$$\sigma_z = \sqrt{3 \cdot \sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

$$\bar{\sigma}_z = \sqrt{\underbrace{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2}_{\text{vektorska vsota}}} \leq f_{vw,d} = \frac{f_u / \sqrt{3}}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw}}$$

vektorska vsota

||

$R / A_z$

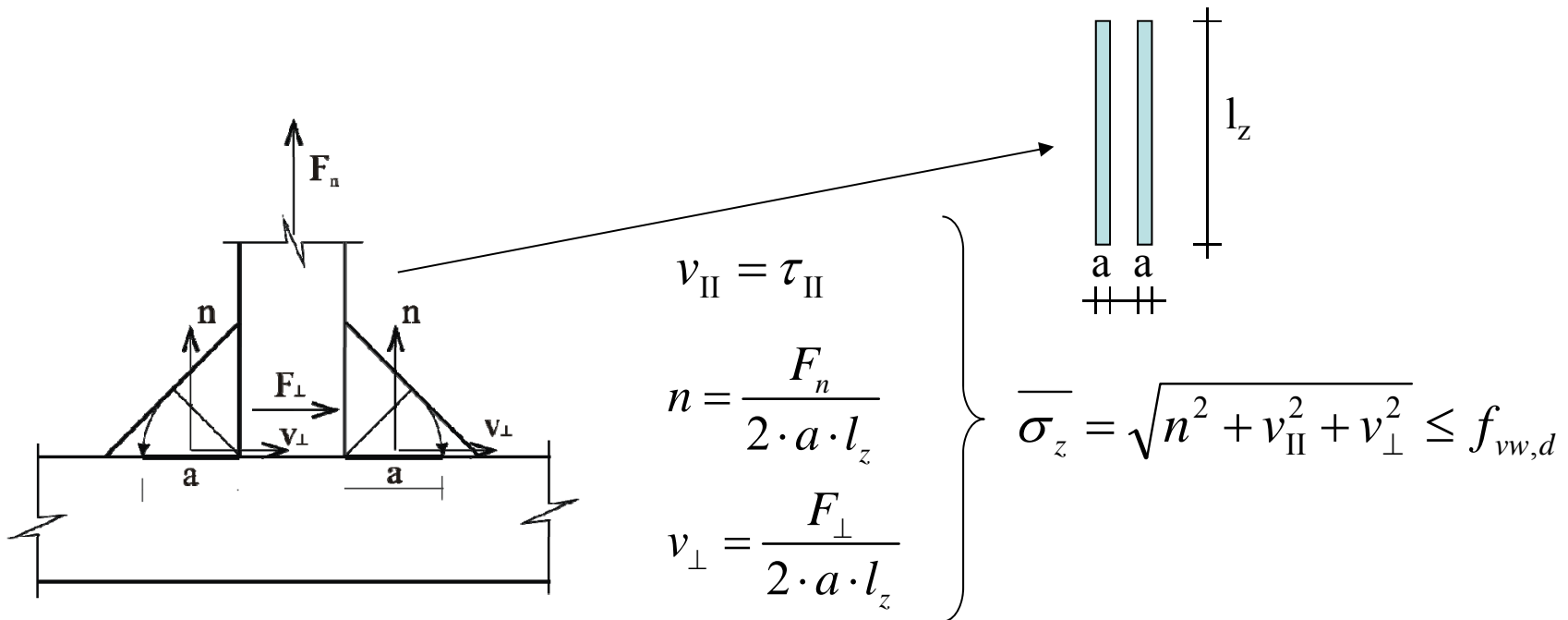


Po poenostavitvi smer delovanja ni več pomembna

# Projektna nosilnost kotnih zvarov

## Poenostavljena metoda

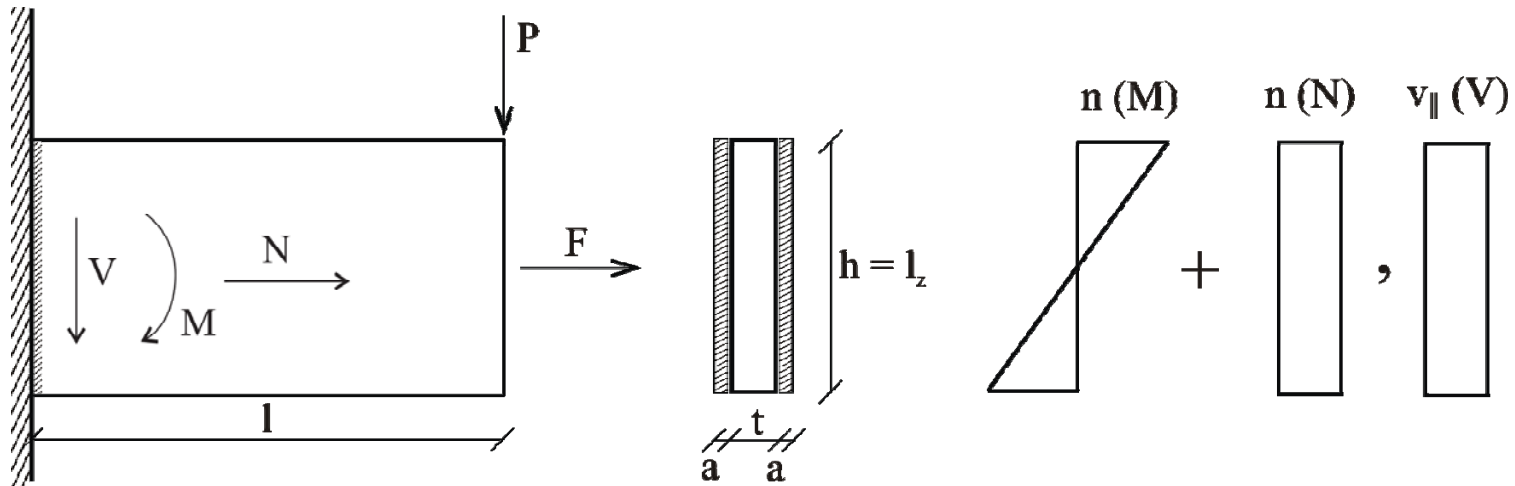
Korensko mero  $a$  zvrnemo v ravnino spoja in zware obravnavamo podobno kot prečne prereze nosilcev.



# Projektna nosilnost kotnih zvarov

## Poenostavljena metoda - PRIMER:

Debelino  $a$  vzamemo v ravnini stene



$$V = P, \quad M = P \cdot l, \quad N = F$$

$$A_z = 2al_z$$

$$W_z = \frac{2l_z^2 a}{6}$$

$$v_{||} = \frac{V}{A_z} \quad n = \frac{M}{W_z} + \frac{N}{A_z}$$

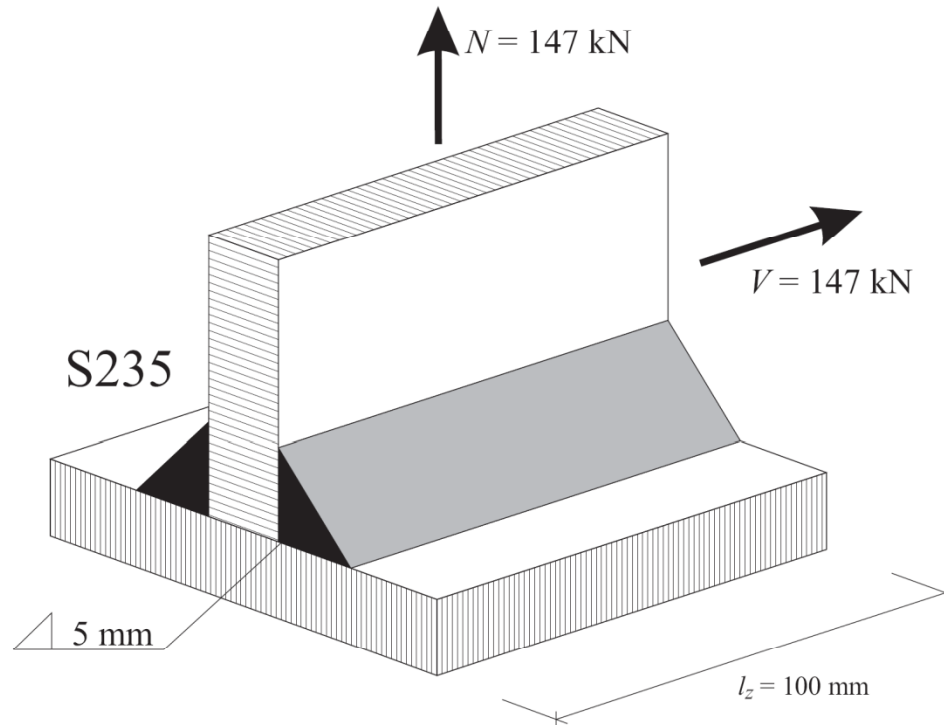
$$\bar{\sigma}_z = \sqrt{n^2 + v_{||}^2} \leq f_{vw,d}$$

# Projektna strižna trdnost zvara

$$f_{vwd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta \cdot \gamma_{M2}}; \gamma_{M2} = 1,25$$

		nominalna debelina elementa $t$ [mm]					
		$t \leq 40$ mm			$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm		
jeklo	$\beta_w$	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{vwd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{vwd}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
S235	0,8	235	360	<b>207,85</b>	215	360	<b>207,85</b>
S275	0,85	275	430	<b>233,66</b>	255	410	<b>222,79</b>
S355	0,9	355	490	<b>251,47</b>	335	470	<b>241,20</b>
S420	1,0	420	520	<b>240,18</b>	390	520	<b>240,18</b>
S460	1,0	460	540	<b>249,42</b>	430	540	<b>249,42</b>

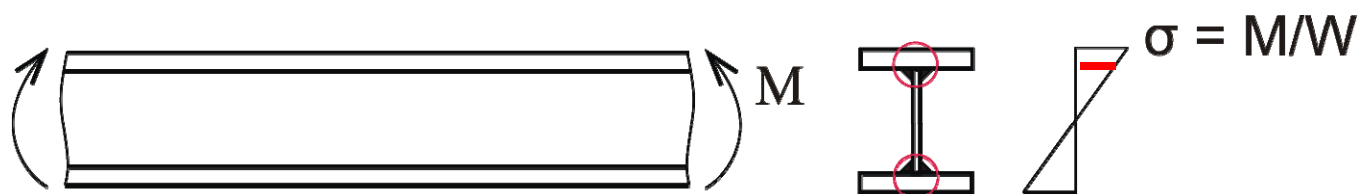
# Primerjava natančne in poenostavljene metode



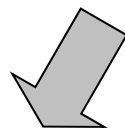
	Natančnejša metoda				Poenostavljena metoda		
	$\sigma_{\perp} [kN / cm^2]$	$\tau_{\perp} [kN / cm^2]$	$\tau_{\parallel} [kN / cm^2]$	$\frac{\sigma_z}{\left(\frac{f_u}{\beta_w \gamma_{MW}}\right)}$	$n [kN / cm^2]$	$v_{\parallel} [kN / cm^2]$	$\frac{\bar{\sigma}_z}{\left(\frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{MW}}\right)}$
V	0,00	0,00	14,70	0,71	0,00	14,70	0,71
N	10,39	10,39	0,00	0,58	14,70	0,00	0,71
0,5·N + V	5,20	5,20	14,70	0,76	7,35	14,70	0,79
N + 0,5·V	10,39	10,39	7,35	0,68	14,70	7,35	0,79
N + V	10,39	10,39	14,70	0,91	14,70	14,70	1,00

# Projektna nosilnost kotnih zvarov

V enačbi za  $\sigma_z$  ali  $\bar{\sigma}_z$  upoštevamo samo napetosti, ki razdvojijo zvar po ravnini  $a \times l_z$ .



enaka napetost v pasnici,  
stojini, zvaru

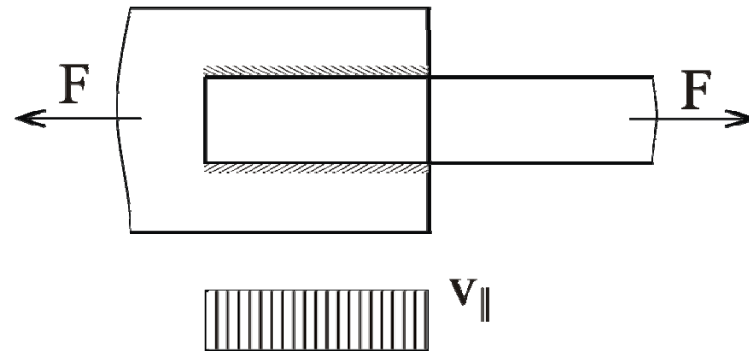


**NE UPOŠTEVAMO!**

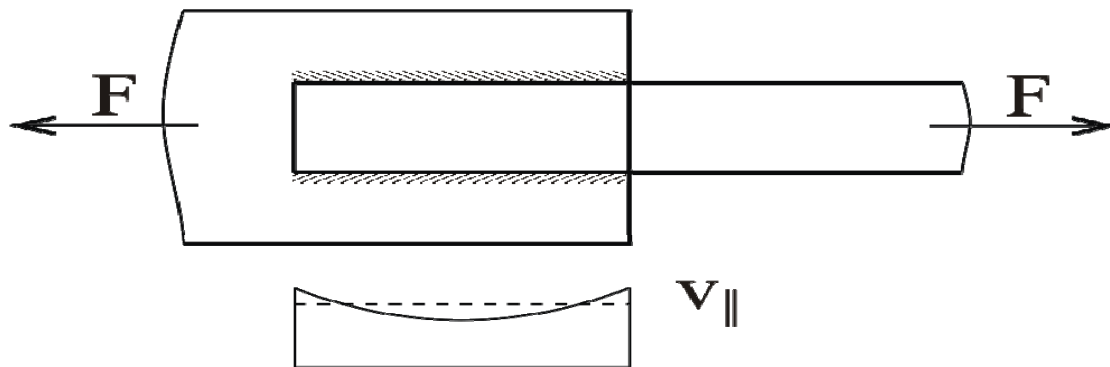


# Razporeditev napetosti vzdolž zvara

Predpostavimo, da so napetosti razporejene enakomerno vzdolž zvara (ne velja pri M – linearno):



Pri dolgih zvarih ( $l_z = 150 a$ ) se zaradi vpliva deformabilnosti pločevine pojavijo ob robovih konice napetosti. To upoštevamo z ustreznim zmanjšanjem nosilnosti:



## Dolžina zvarov

$$l_{MIN} = \max \begin{cases} 30 \text{ mm} \\ 6 a \end{cases} \quad \text{Nosilnosti krajših zvarov ne upoštevamo.}$$

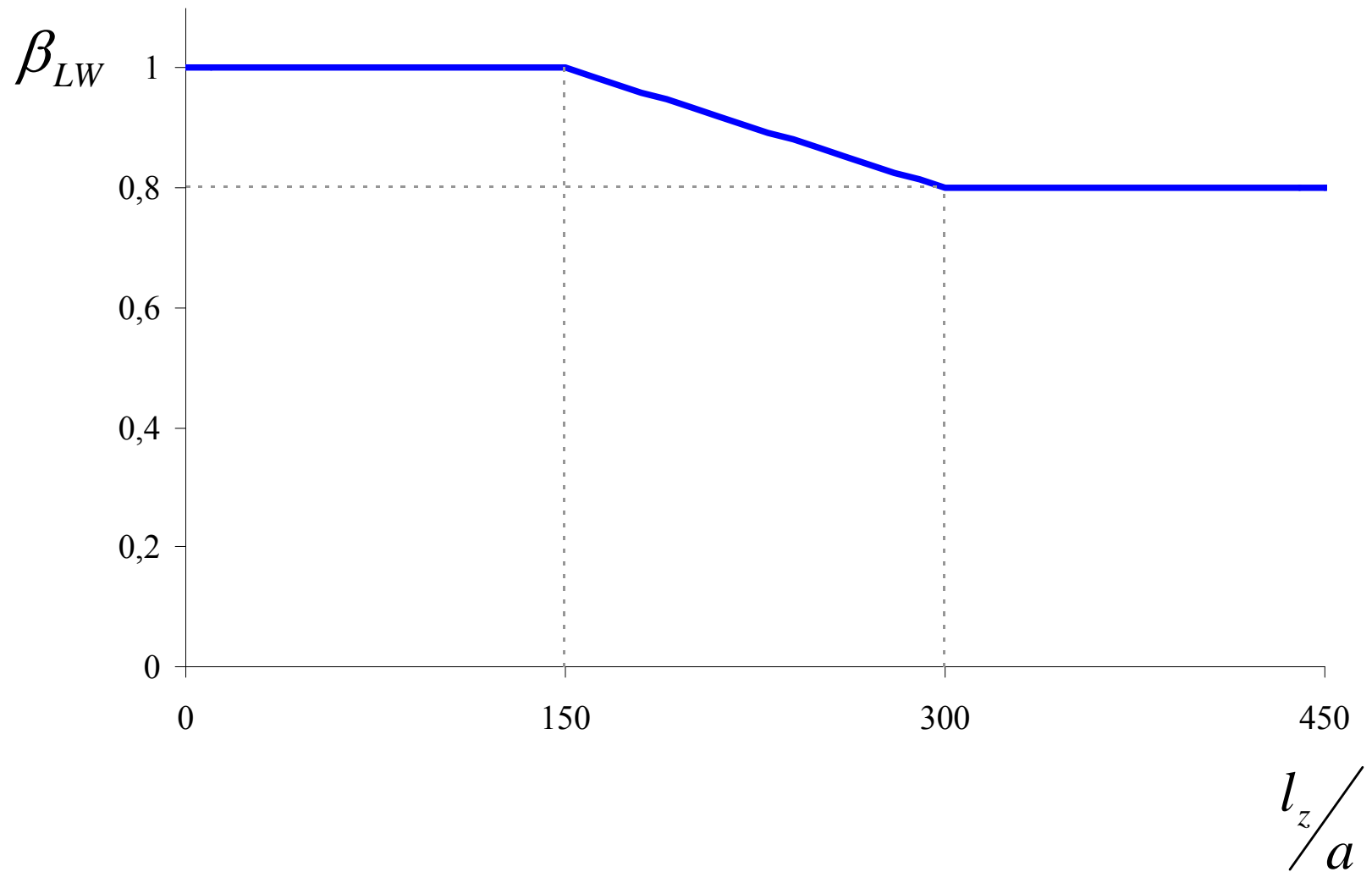
$$l_{MAX} = 150 a$$

$$\text{Pri } l_z > 150 a \rightarrow l_{z,ef} = l_z \cdot \beta_{L,w}$$

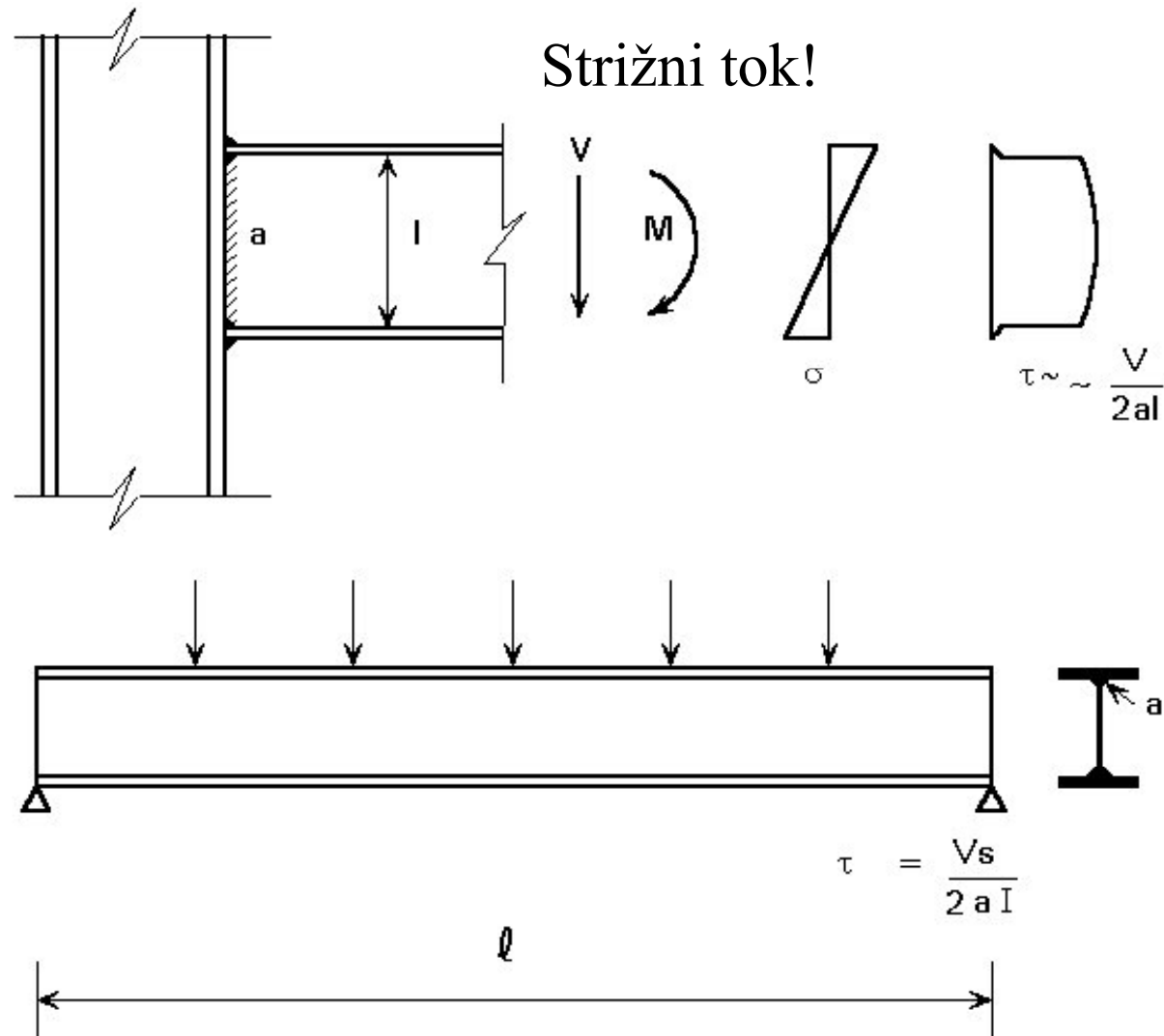
$$\beta_{Lw} = 1,2 - 0,2 l_z / 150 a \quad (0,8 \text{ pri } 300 a)$$

Omejitev dolgih zvarov ne velja za zware, ki prenašajo kontinuirni strižni tok iz npr. stojine v pasnico varjenega I – profila.

$$\beta_{LW} = 1,2 - \frac{0,2 \cdot l_z}{150 \cdot a}$$

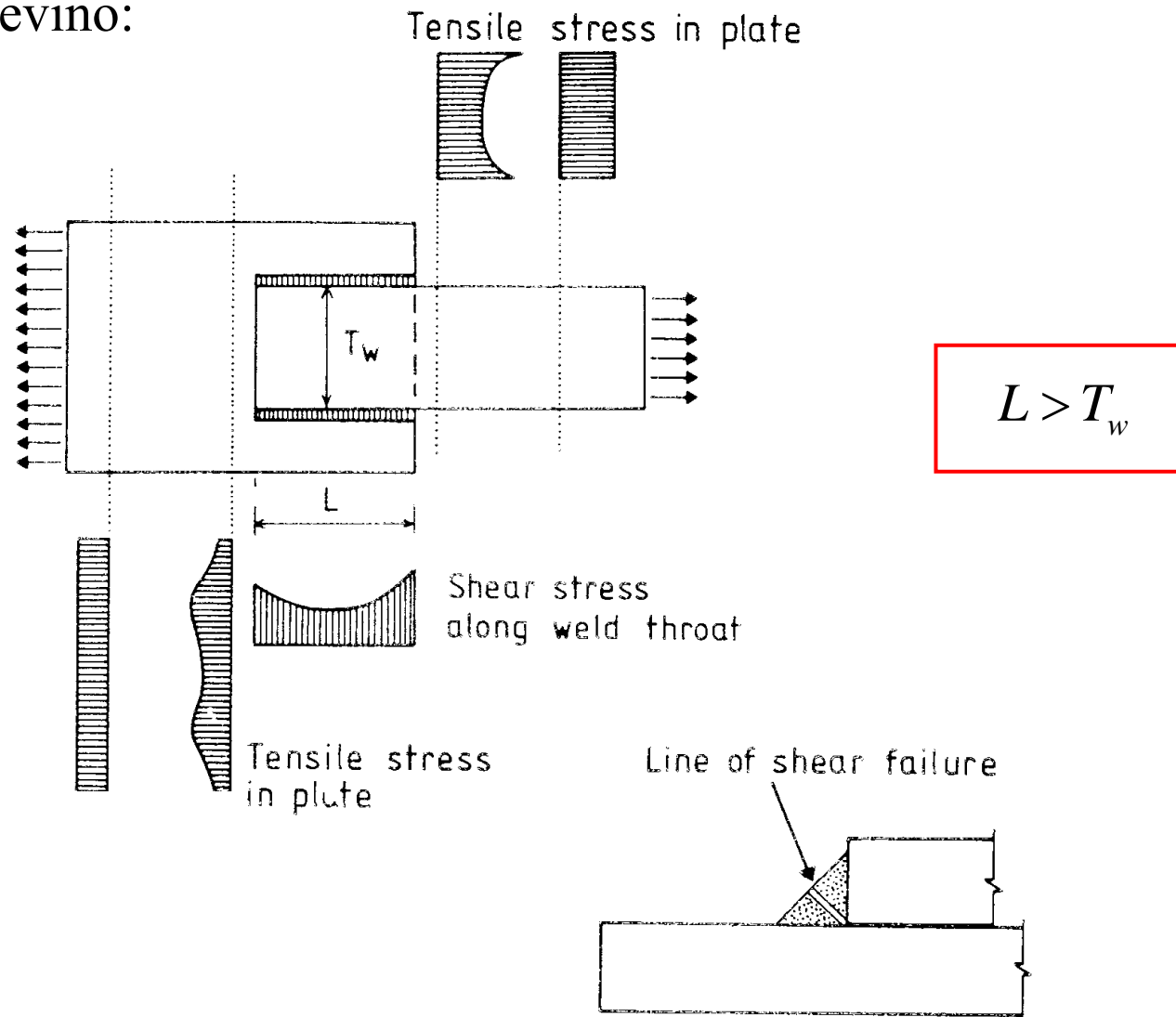


# Primer: neomejena dolžina kotnega zvara

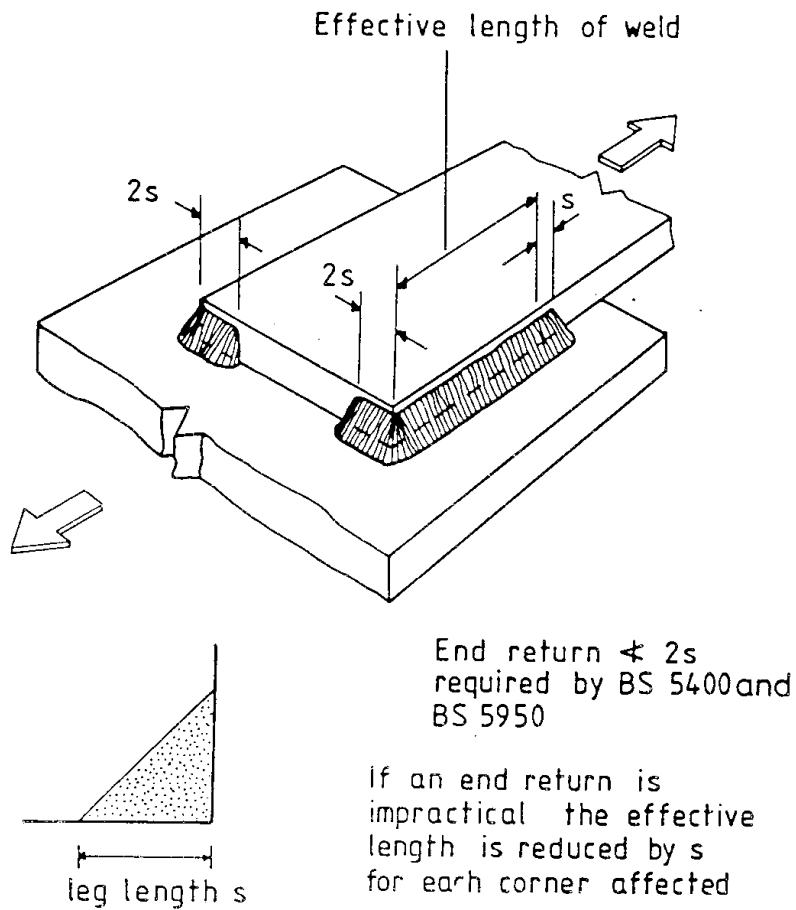


# Razporeditev napetosti vzdolž zvara

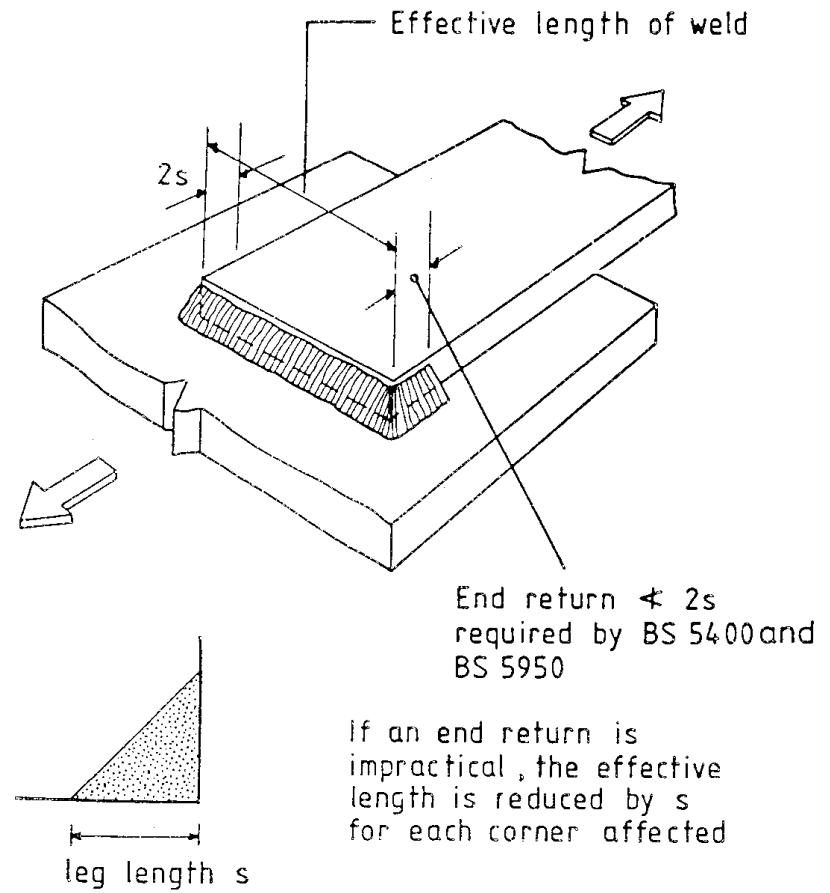
Upoštevati je potrebno koncentracije napetosti tudi ob prenosu sil iz zvara v pločevino:



# Dolžina zvarov



a) bočno ležeči zvar



b) čelno ležeči zvar

# Debelina zvara – korenska mera a

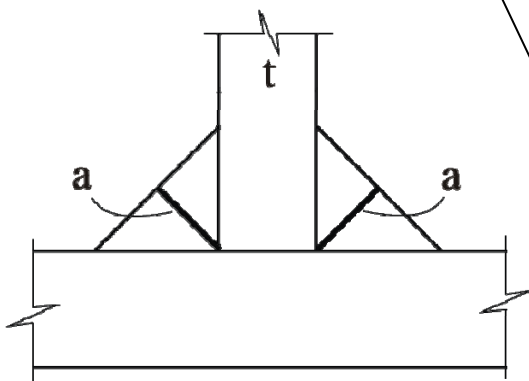
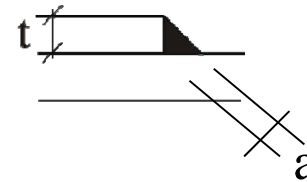
Za pločevine s  $t \geq 4\text{mm}$  velja:  $a_{MIN} = 3\text{mm}$

⊥ spoj

$$a_{MAX} \approx 0,6t$$

preklopni spoj

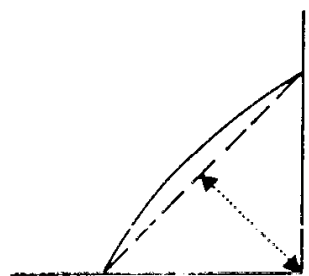
$$a_{MAX} \approx 0,7t$$



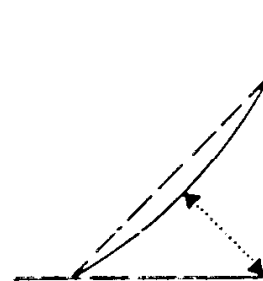
jeklo*	$\beta_w$	navadna jekla	N – jekla	M – jekla
		$a_{max}^{**}/t$	$a_{max}^{**}/t$	$a_{max}^{**}/t$
S 235	0,8	0,46	-	-
S 275	0,85	0,48	0,53	0,55
S 355	0,9	0,58	0,58	0,60
S 420	1,0	-	0,71	0,71
S 460	1,0	-	0,75	0,75

\* Velja za jekla po SIST EN 10025, SIST EN 10210  
 \*\* Velja za mehanske lastnosti iz preglednic Pr. 3-2 za debelino  $t \leq 40\text{mm}$

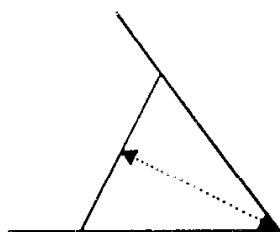
# Določanje korenske mere a



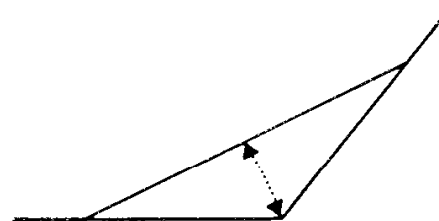
Convex



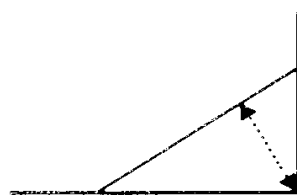
Concave



Acute



Obtuse



Unequal leg

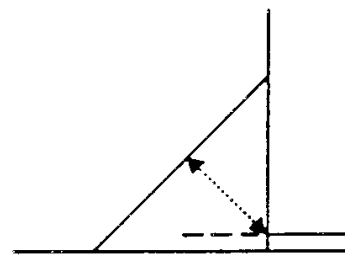
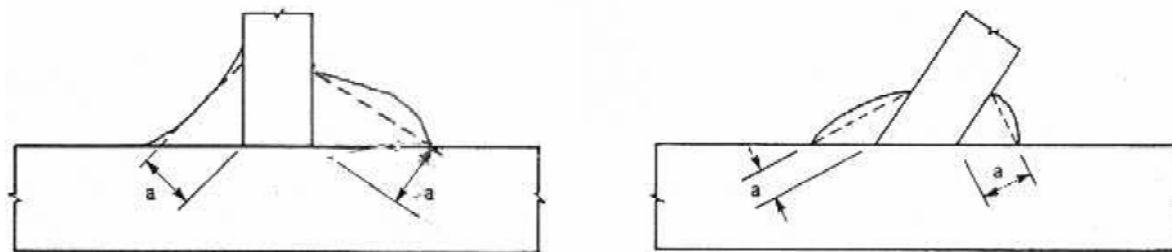


Plate gap



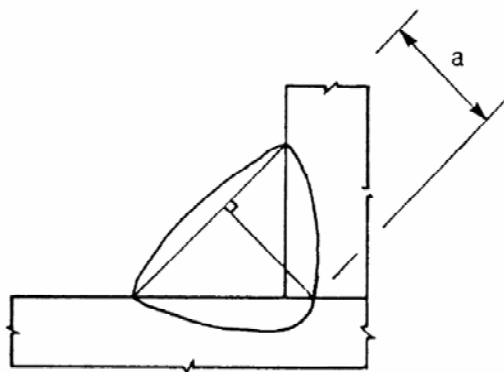
## Določanje korenske mere $a$



Slika 4.3: Debelina kotnega zvara

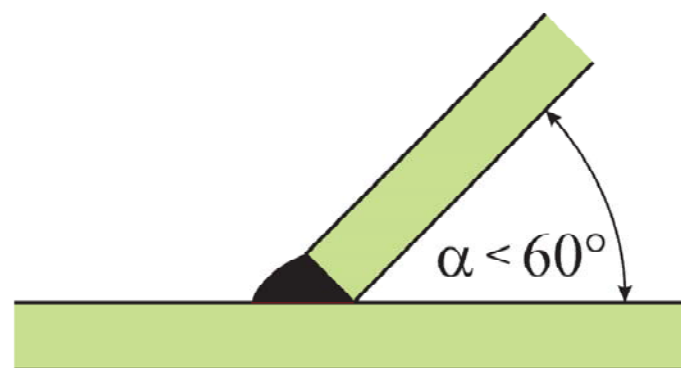
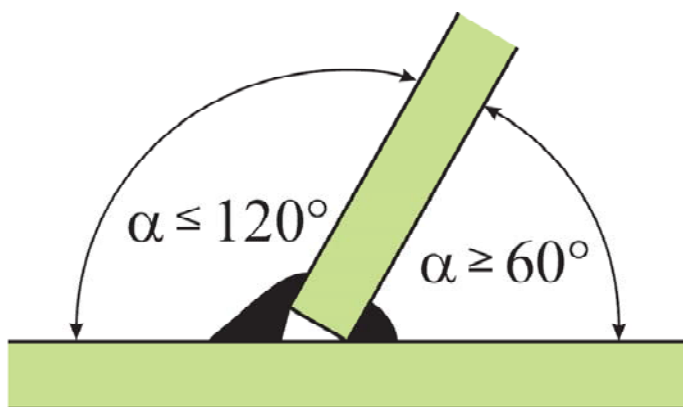
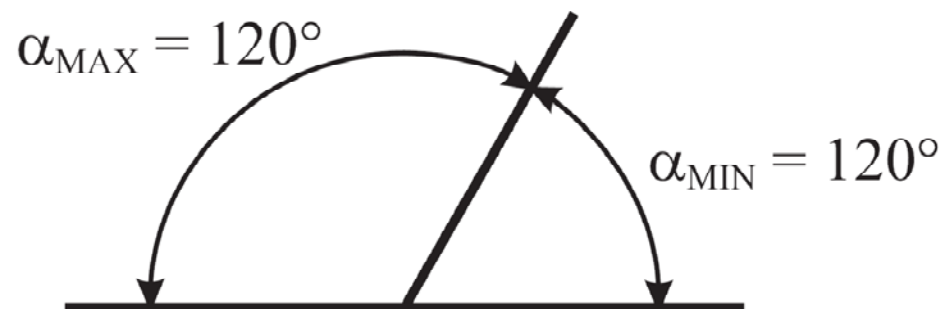
Pri avtomatskem varjenju se lahko  $a$  poveča zaradi globoke penetracije  
za:

$$\min \begin{cases} 20\% \\ 2\text{mm} \end{cases}$$

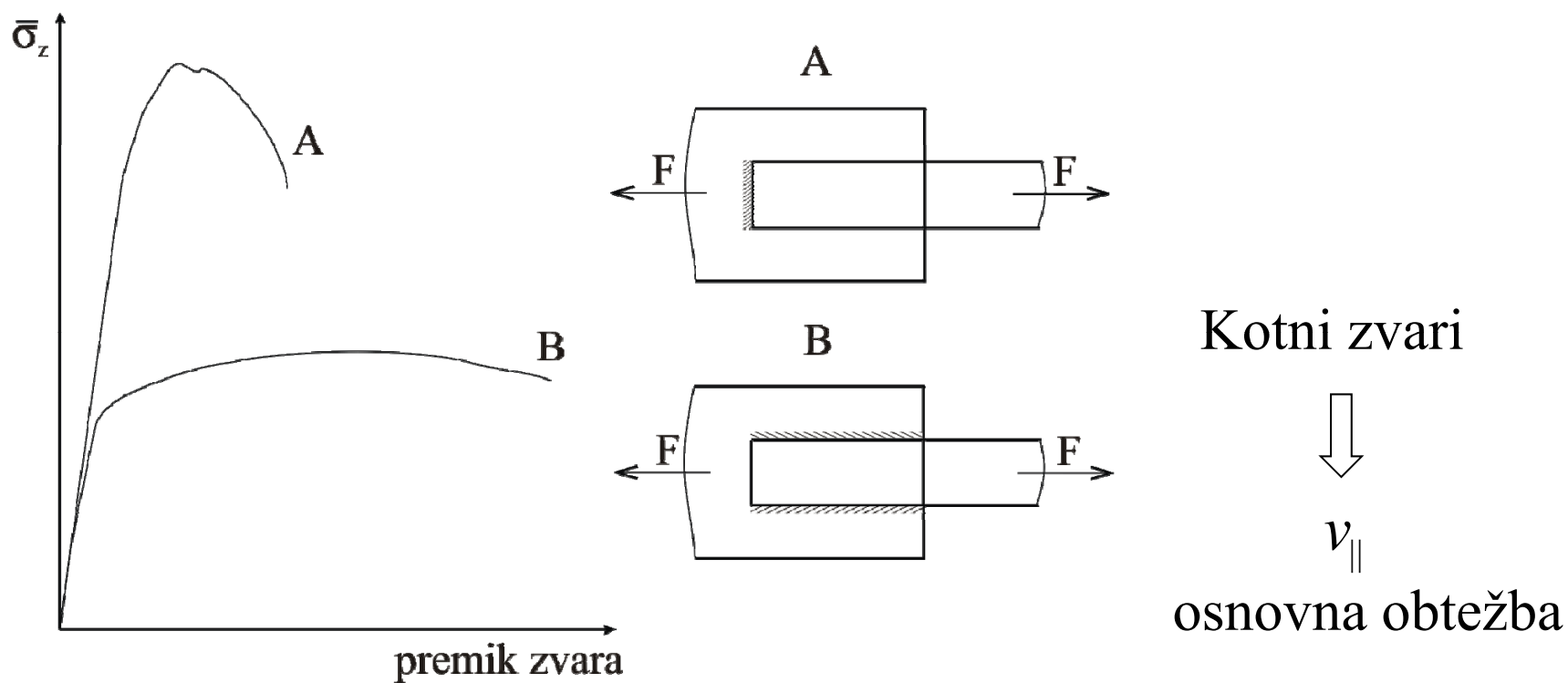


Slika 4.4: Debelina globoko penetriranega kotnega zvara

# Dopustni kot varjenja:



# Togost kotnih zvarov



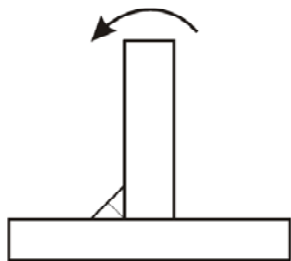
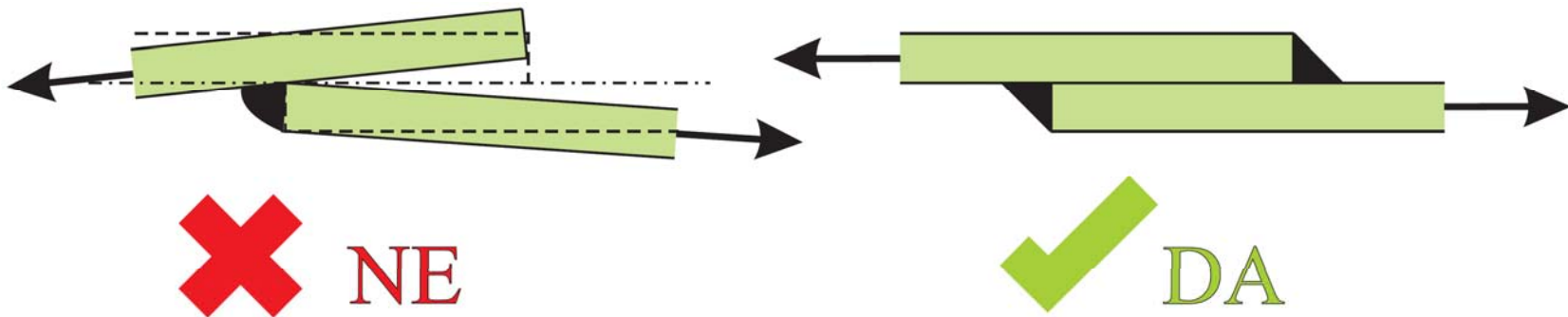
**Čelno ležeči zvari bolj togi in z večjo nosilnostjo.**

**Bočno ležeči zvari manj togi in bolj duktilni.**

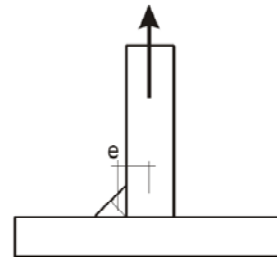
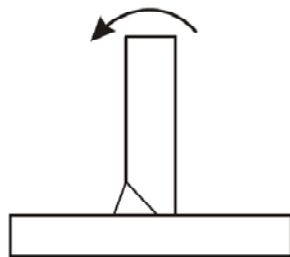
Po SIST EN 1993-1-8 nosilnosti enostavno seštevamo

# Ekscentrično obremenjeni zvari

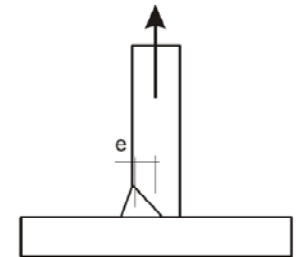
**Enostranski zvari** – niso dovoljeni!



(a) Upogibni momenti povzročajo natege v korenu zvara

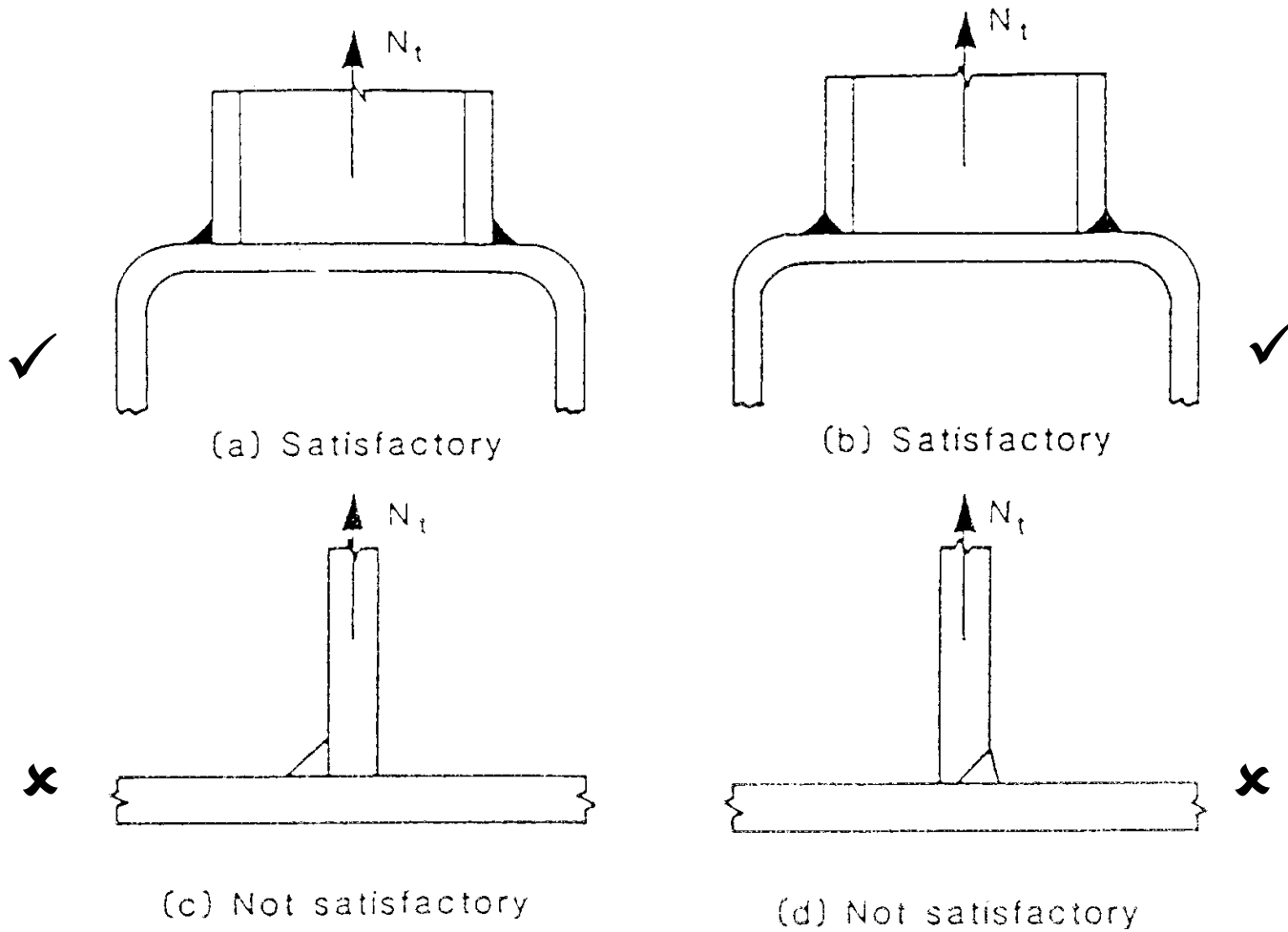


(b) Natezne sile povzročajo natege v korenu zvara



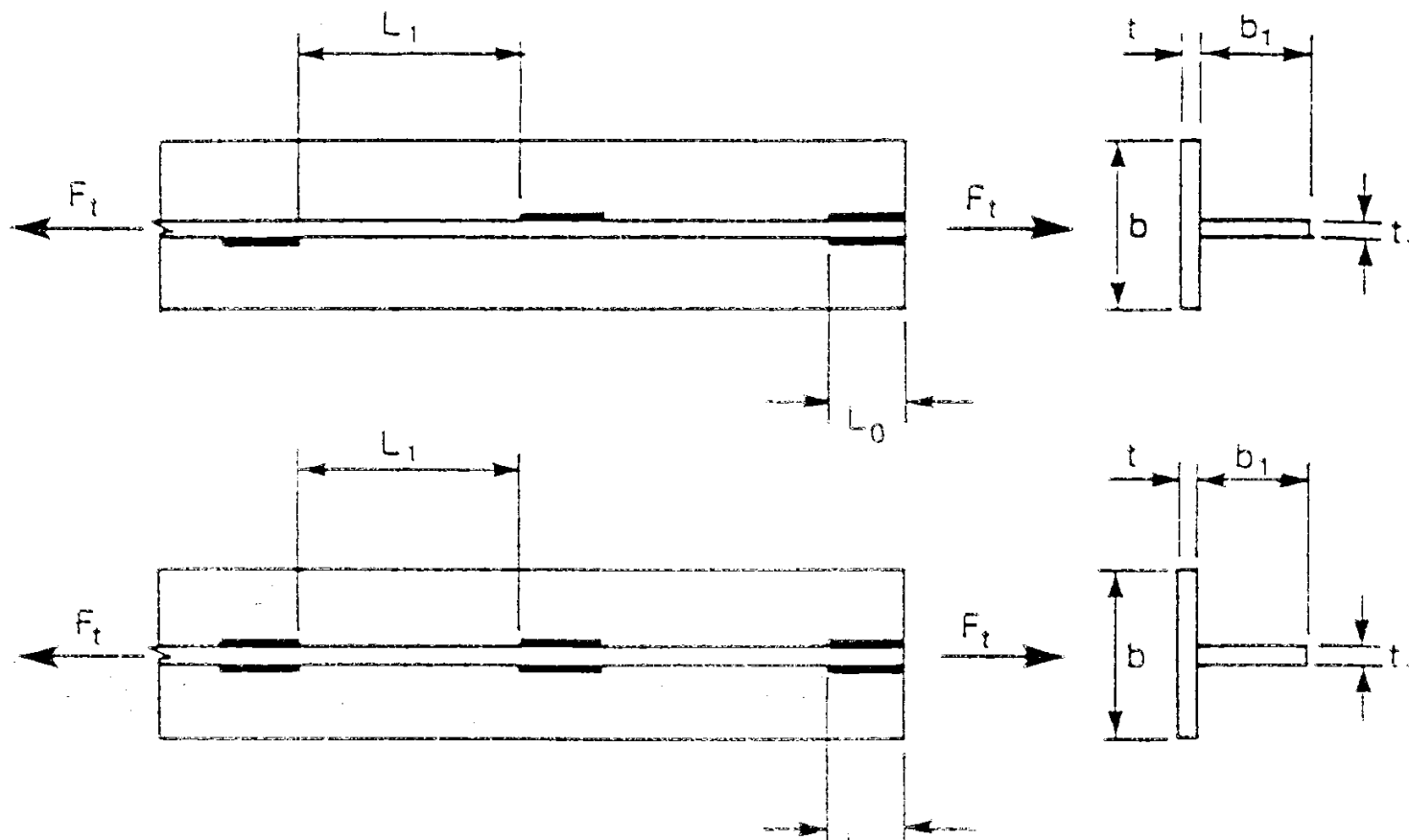
Enojni kotni zvari in enostranski delno penetrirani čelni zvari

# Ekscentrično obremenjeni zvari

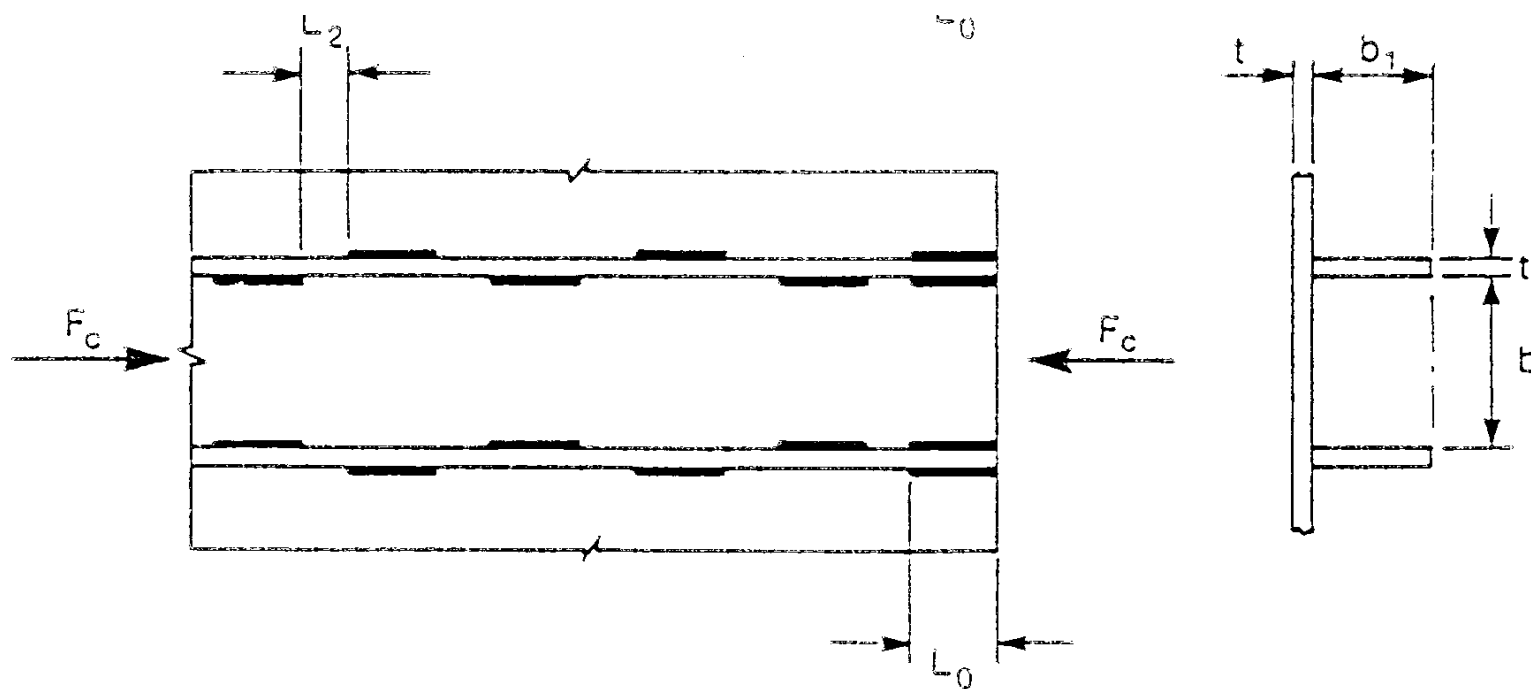


# Prekinjeni zvari

Dovoljeni samo tam, kjer ni večje nevarnosti korozije.



# Prekinjeni zvari

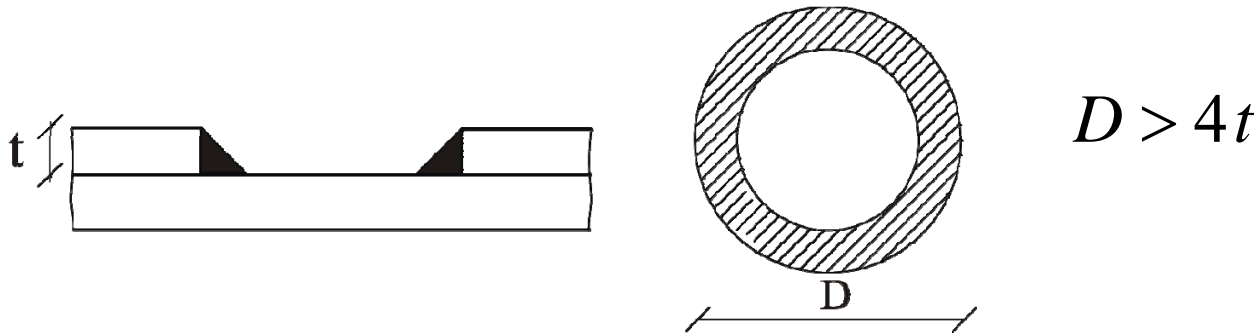


$L_0 \geq 0,75b$  or  $0,75b_1$  - whichever is smaller

$L_1 \leq 16t$  or  $16t_1$  or  $200\text{mm}$  - whichever is smallest

$L_2 \leq 12t$  or  $12t_1$  or  $0,25b$  or  $200\text{mm}$  - whichever is smallest

## Zvari v odprtini



Uporaba:

- samo za strižne obremenitve ( $v_{\parallel}, v_{\perp}$ ) ali
- za preprečitev lokalnega izbočenja pločevin ali
- preprečitev razmikanja

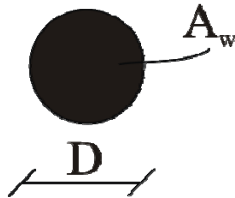
Obravnavajo se kot kotni zvari.



# Čepasti zvari

Uporaba:

- samo za prevzem strižne obremenitve ali
- za preprečitev lokalnega izbočenja pločevin ali
- preprečitev razmikanja pločevin.



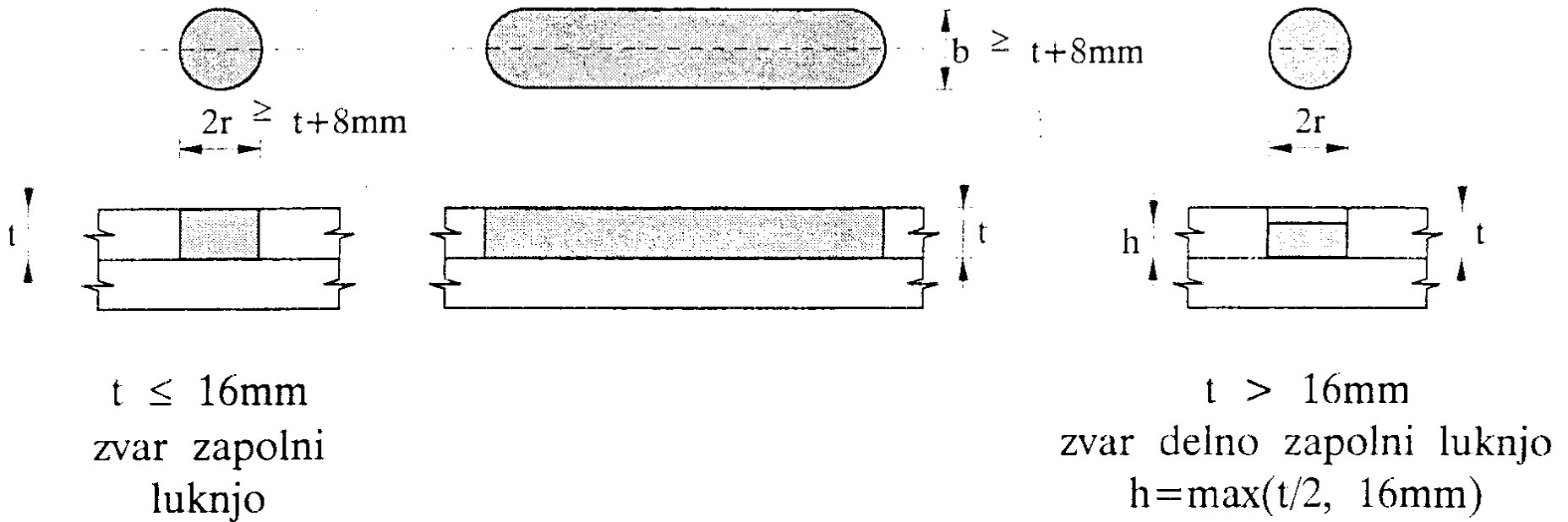
$$D \geq t + 8 \text{ mm}$$

$$t \leq 16 \text{ mm} \quad \text{-luknjo zapolnimo}$$

$$t > 16 \text{ mm} \quad h = \max \begin{cases} 16 \text{ mm} \\ t/2 \end{cases}$$

$$F_{w,Rd} = A_w \cdot f_{vw,d}$$

# Geometrija čepastih zvarov



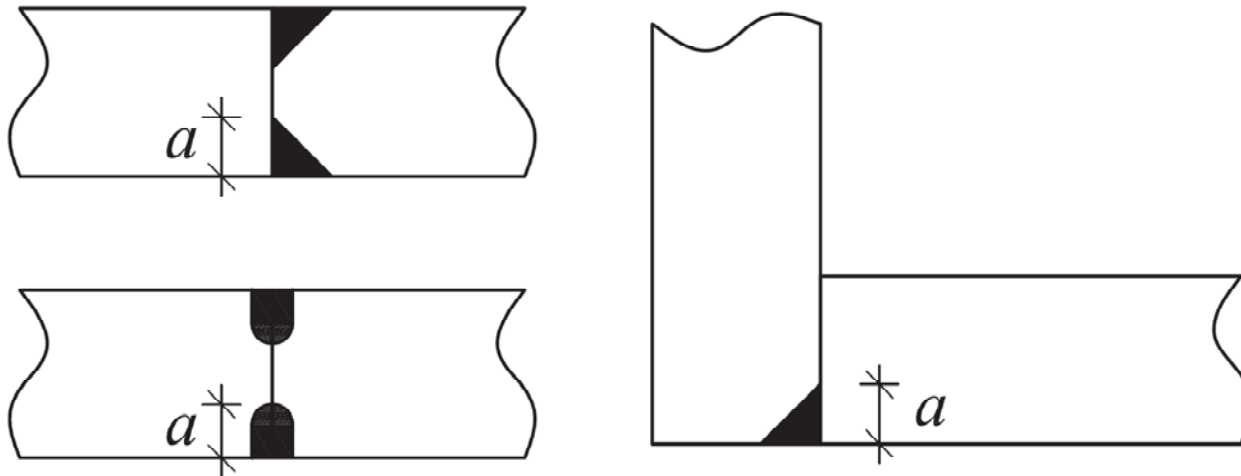


# Čelni zvari z delno penetracijo

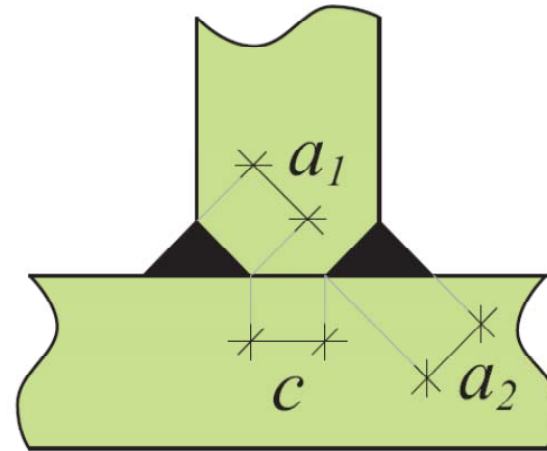
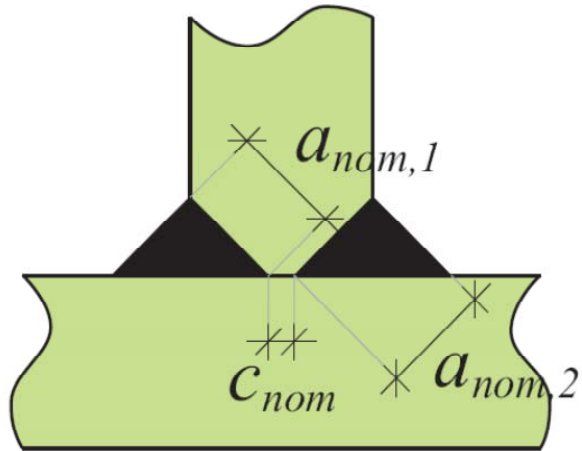
- Penetracija **ne** sega preko **celotne debeline** pločevine;
- **debelina zvarov** se določi na podoben način kot pri **kotnih zvarih**.

**POZOR:** debelina zvara ni nujno višina trikotnika, ampak **najmanjša razdalja v območju zvara**, po kateri pri poružitvi zvara lahko ločimo spojena elementa.

Projektirajo se kot kotni zvari



# Čelni zvari z delno penetracijo



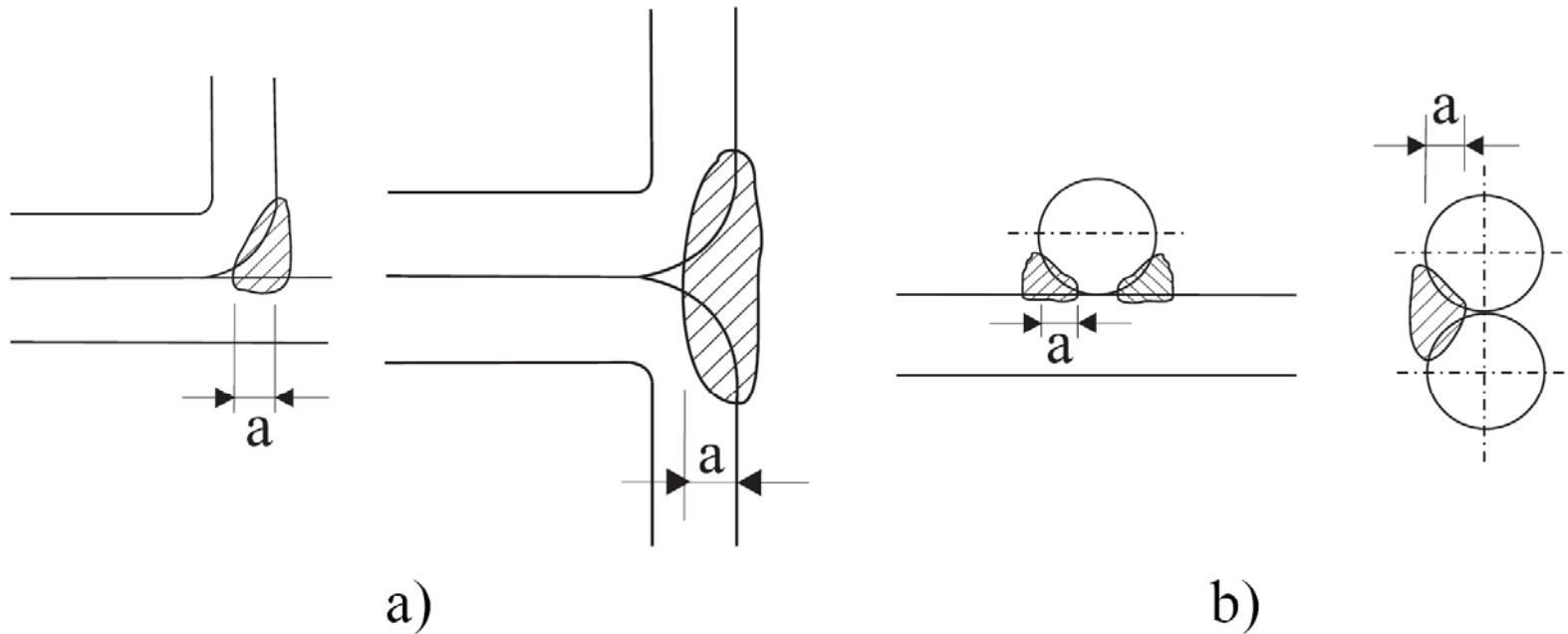
$$a_{nom,1} + a_{nom,2} \geq t$$

$$c_{nom} \leq \frac{t}{5} \text{ in } c_{nom} \leq 3 \text{ mm}$$



T spoj (nosilnost kot pri polni penetraciji)

# Zvari ob zaobljenih robovih



Uporaba z:

- HOP; okrogli profili

Projektirajo se kot kotni zvari

Debelina zvara se določi s poskusnim varjenjem in prečnim rezanjem.

# Sodelujoče širine v neojačanih T spojih

## • Neojačani I in H profili

$$b_{eff} = t_w + 2s + 7k t_f,$$

kjer je:

$$k = \frac{t_f \cdot f_{y,f}}{t_p \cdot f_{y,p}} \quad \text{vendar} \quad k \leq 1,0$$

$f_{y,f}$  napetost tečenja pasnice

$f_{y,p}$  napetost tečenja pločevine

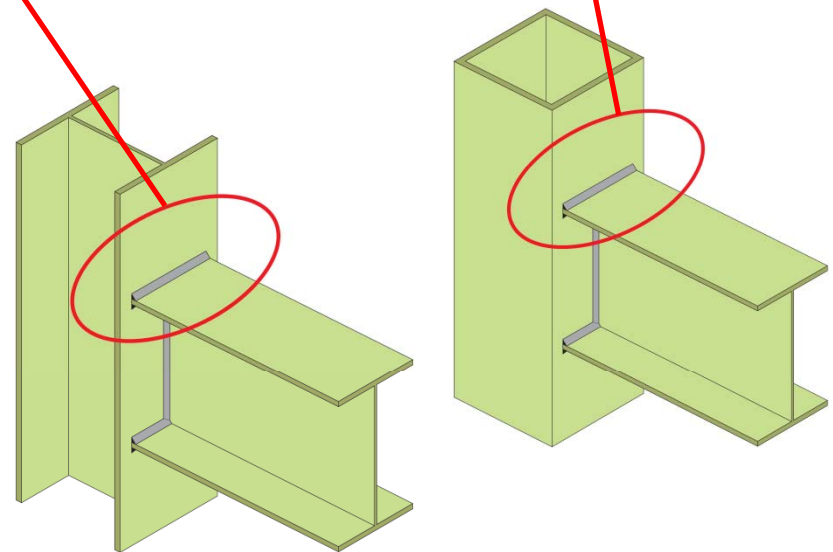
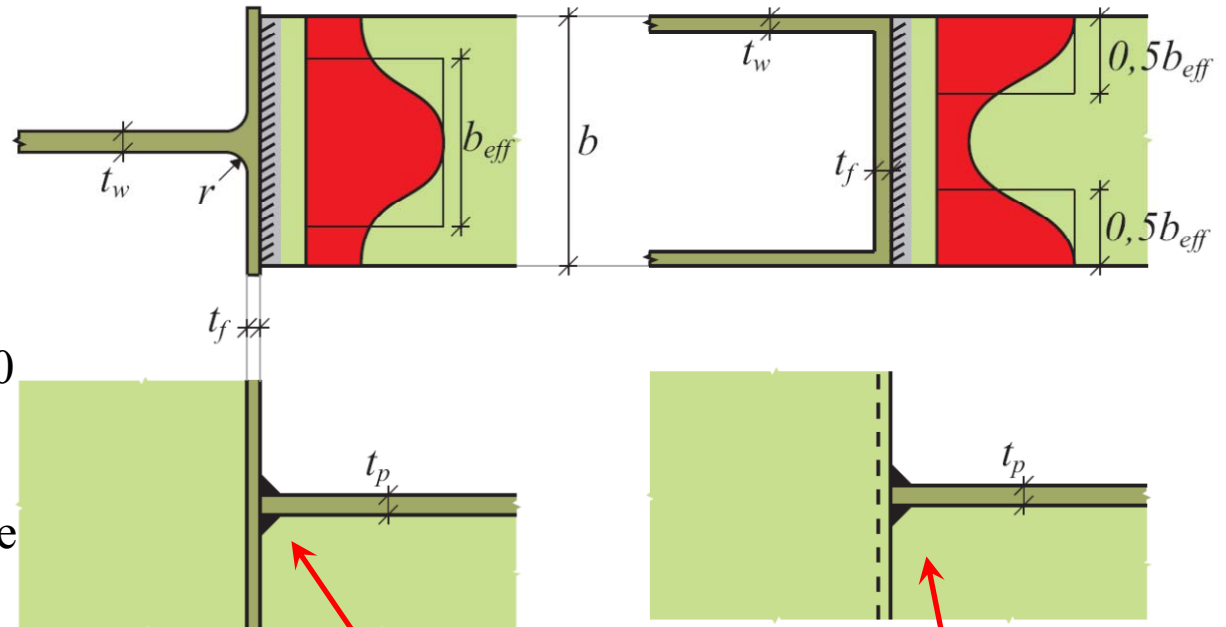
Razdalja  $s$  se izračuna na naslednji način:

- pri valjanih I ali H profilih:  $s = r$
- pri varjenih I ali H profilih:  $s = \sqrt{2} a$

Pri  $b_{eff} < \frac{f_{y,p}}{f_{u,p}} \cdot b_p$  potrebna ojačitev spoja

## • Neojačani škatlasti in U profili

$$b_{eff} = 2t_w + 5t_f, \quad \text{vendar} \quad b_{eff} \leq 2t_w + 5k t_f$$



# Primerjava čelnih in kotnih zvarov

## Kotni zvari

DOBRO:

- so poceni (ni priprave žlebov, manj izurjeni varilci).

SLABO:

- izgled;
- niso dobri za dinamično obremenjene konstrukcije - utrujanje (velik zarezni učinek).

## Čelni zvari

DOBRO:

- lepši izgled;
- boljši pri utrujanju.

SLABO:

- dražja izvedba (varilni žlebovi, bolj izurjeni varilci ...).



# Vijaki, zakovice in čepi

Obravnavali bomo predvsem vijake, povedano pa velja tudi za zakovice (te se manj uporabljajo – zahtevnejša vgradnja, slabše pri nategu; najdemo jih v starih konstrukcijah).

Delni varnostni faktorji materiala  $\gamma_M$ :

vijaki  $\gamma_{Mb} = 1,25$

zakovice  $\gamma_{Mr} = 1,25$

čepi  $\gamma_M = 1,25$

Torna nosilnost vijakov:

MSN  $\gamma_{M,S,ULT} = 1,25$

MSU  $\gamma_{M,S,SER} = 1,10$



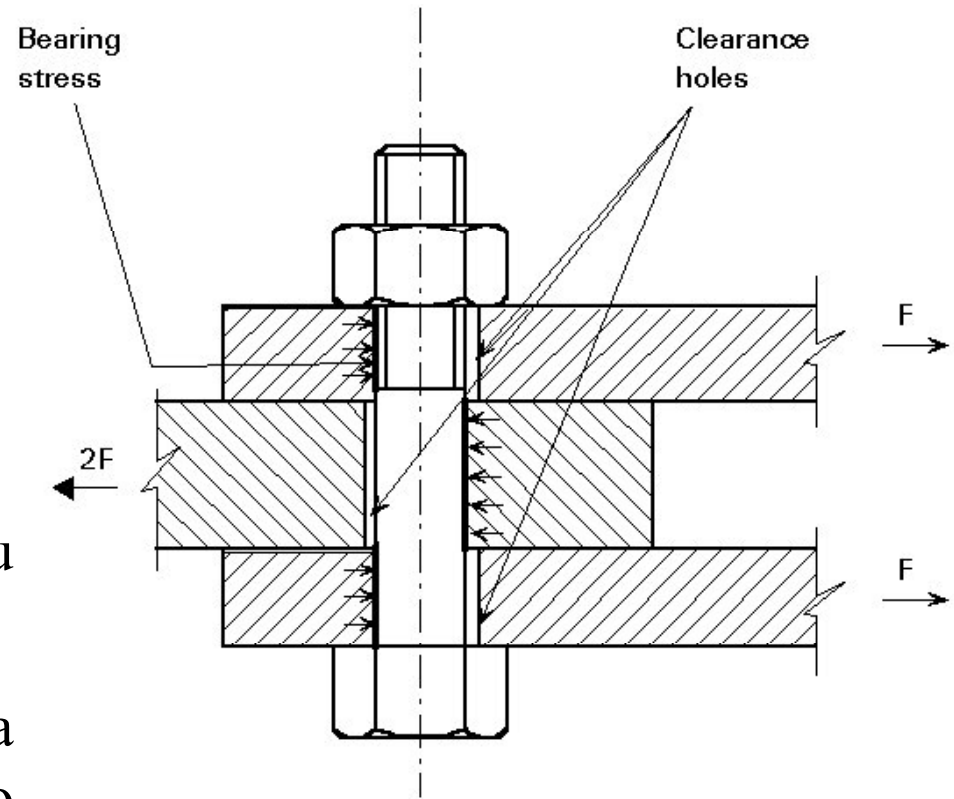
# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

## Opis vijaka:

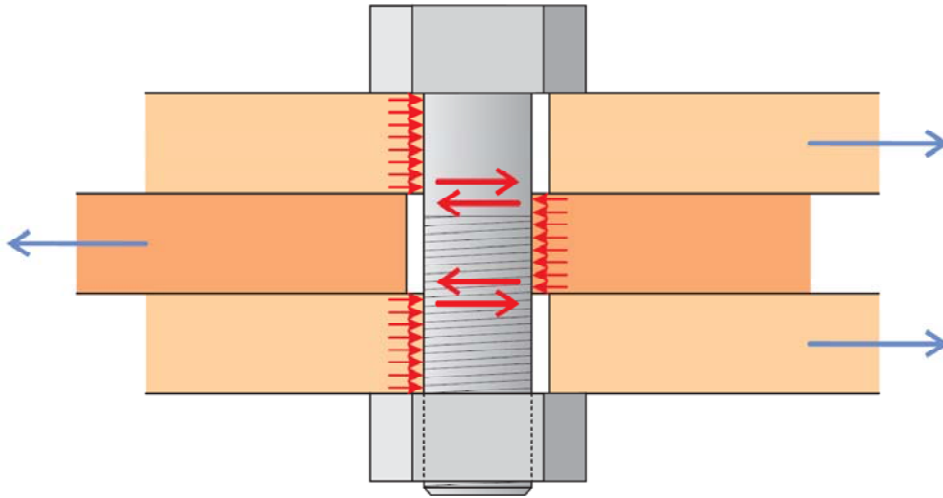
- šestroba glava;
- steblo z navojem;
- podložka;
- matica.

## Različici izdelave:

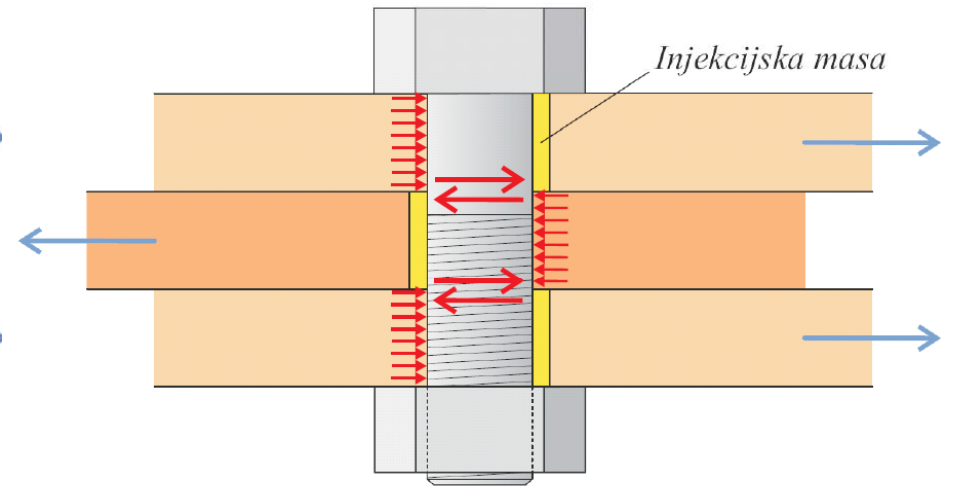
- navoj samo v spodnjem delu stebila;
- navoj po celi dolžini stebila (novejši pristop, potrebujemo manj različnih dolžin).



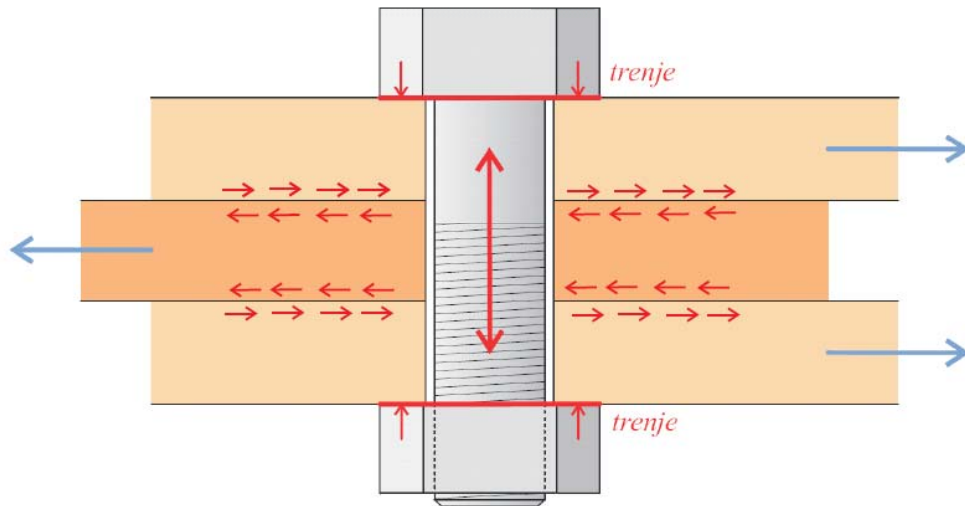
NAVADNI VIJAK



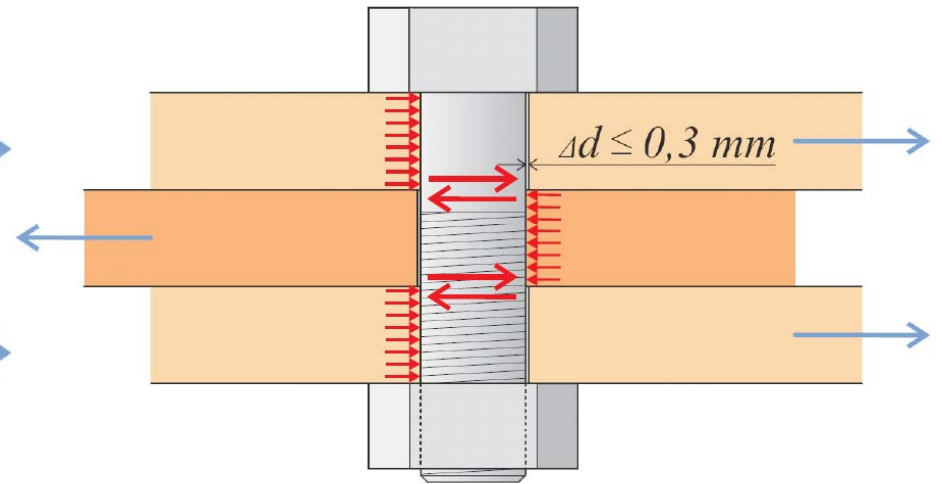
INJECIRANI VIJAK



PREDNAPETI VIJAK



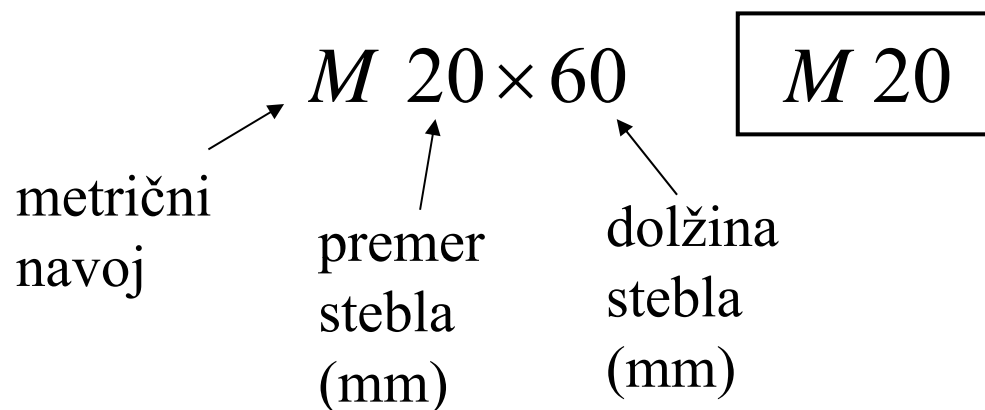
VIJAK S TOČNIM NALEGANJEM





# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

Dimenzije:

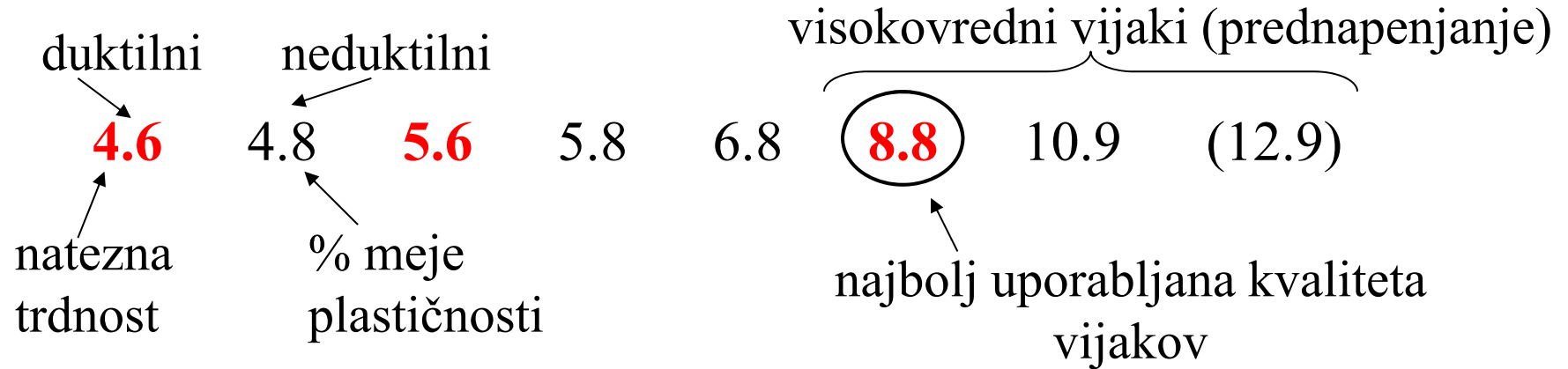


M12 M16 M20 M22 M24 M27 M30 M33 M36

↑  
Najmanjši, ki se običajno uporablja, največji ≈ M68

# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

## Kvaliteta vijakov:



$$f_{ub} = 400 \text{ MPa} \rightarrow f_{yb} = 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$$

## Kvaliteta matic:

Trije trdnostni razredi:

4      8      12





# Vijaki

Nominalne vrednosti napetosti tečenja  $f_{yb}$  in natezne trdnosti  $f_{ub}$  vijakov.

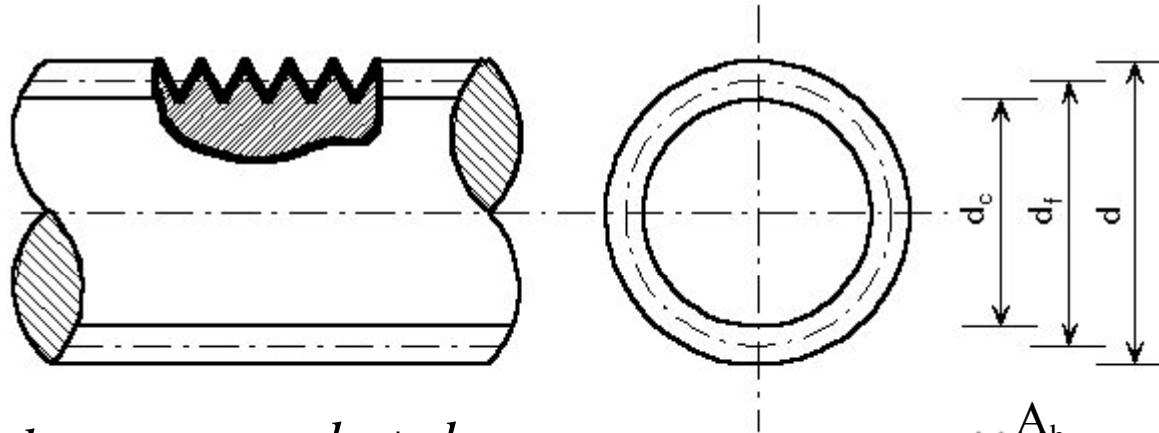
Trdnostni razred vijaka	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ (N/mm <sup>2</sup> )	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ (N/mm <sup>2</sup> )	400	400	500	500	600	800	1000

# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

Pri privijanju vijaka se pojavi **trenje** (navoji - matica, matica - podložka, podložka - pločevina). Lahko pride do **hladnega varjenja** – veliko trenje pri **materialih z enako površinsko trdoto**. Zato se posebno pri **vijakih visoke trdnosti** uporabljajo podložke s **povečano površinsko trdoto - H**.

# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

Prečni prerez vijaka:

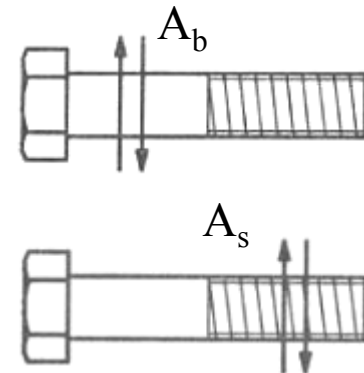


$$d_f = \frac{d + d_c}{2}, \quad d_s = \frac{d_f + d_c}{2}$$

$$A_b = A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}, \quad A_s = A = \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}$$

bruto prerez

računski (neto) prerez



Pri kontroli nosilnosti se uporablja tisti prerez, ki je merodajen.

$$A_s \approx 0,75 - 0,80 A_b$$

# Osnovni podatki o vijakih za konstrukcije

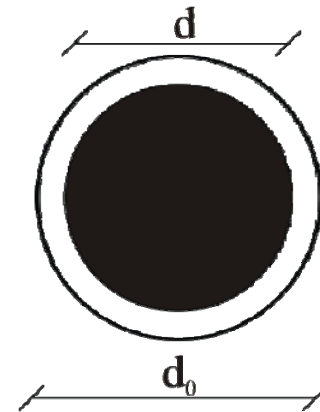
Premer lukenj za vijake:

## - običajni vijaki

M12, M14:  $\Delta d = 1 \text{ mm}$

M16 – M24:  $\Delta d = 2 \text{ mm}$

M27 → :  $\Delta d = 3 \text{ mm}$

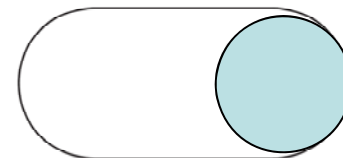
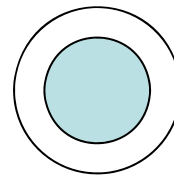


$$\Delta d = d_0 - d$$

Manjše  $\Delta d$  lahko predpišemo, večjih ne!

## - prednapeti vijaki – torna nosilnost

povečane luknje }  
podaljšane luknje }



# Razvrstitev vijakov glede na način prenašanja obtežbe

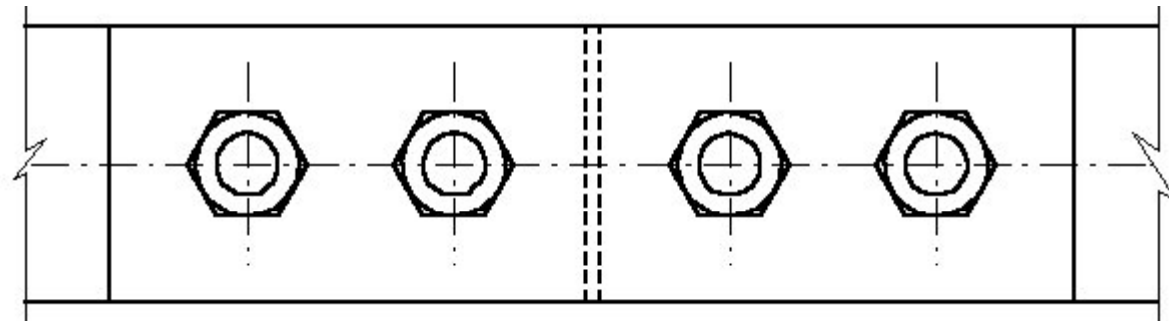
## - prevzem strižnih sil

- Navadni vijaki (prestrig vijaka);
- VV prednapeti vijaki (trenje).

## - prevzem nateznih sil

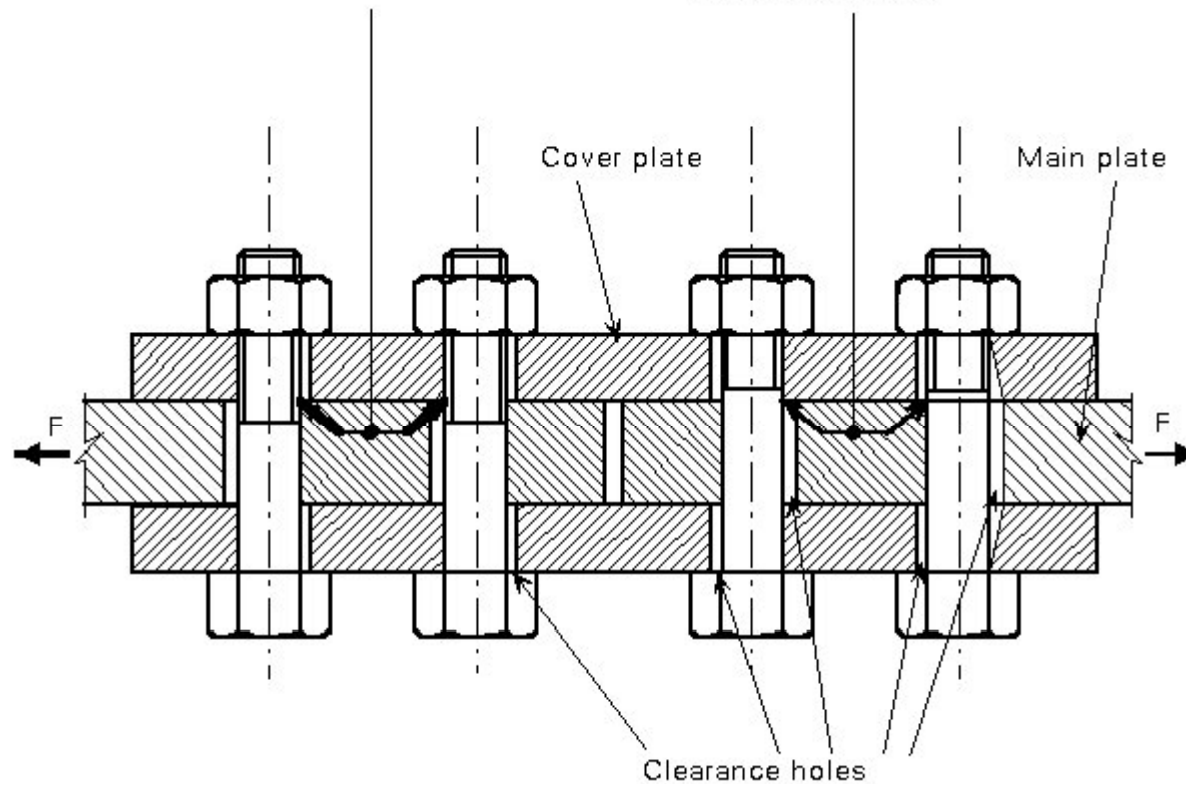
## - prevzem nateznih in strižnih sil

# Prevzem strižnih sil

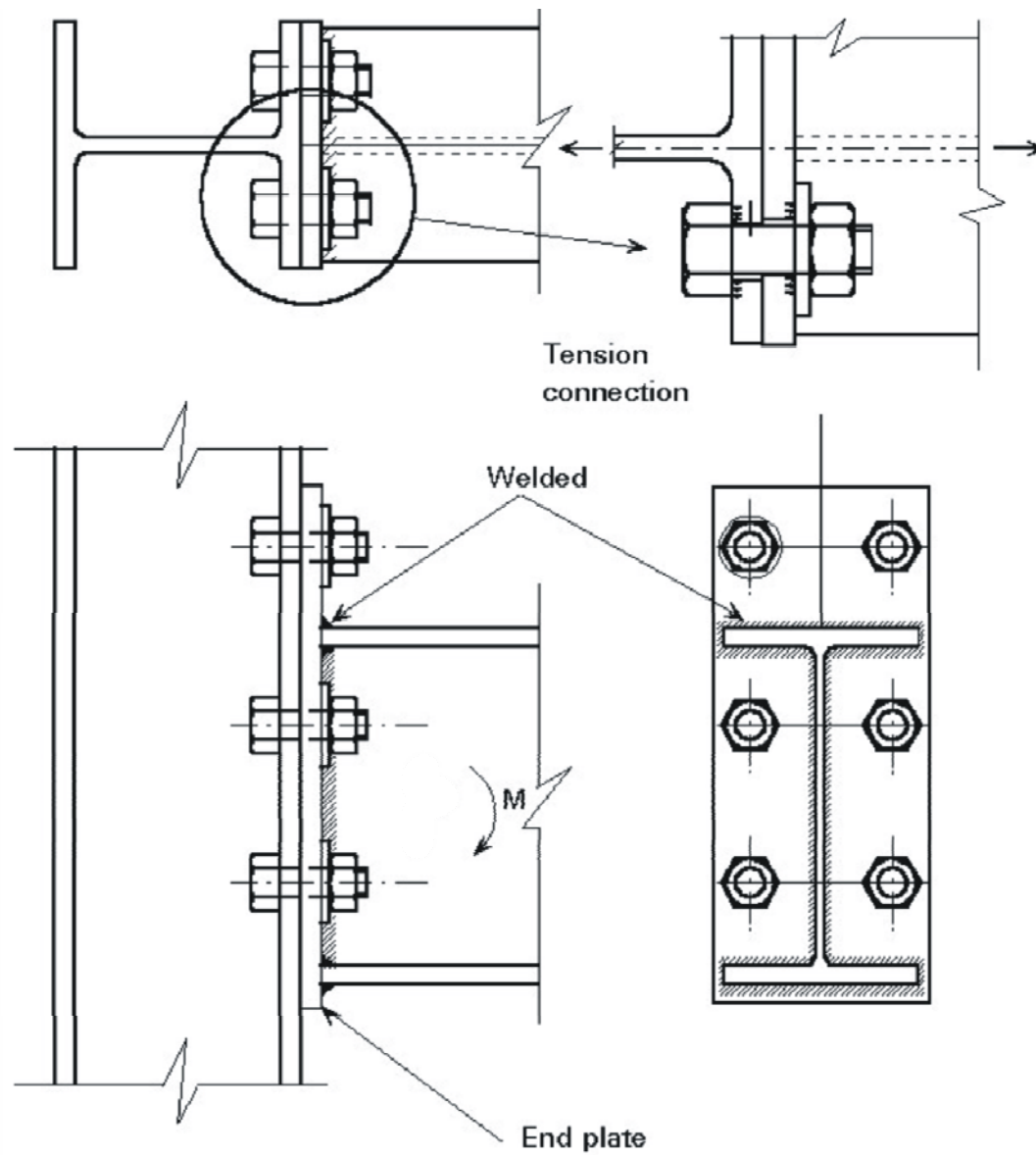


Shear plane in the threaded part

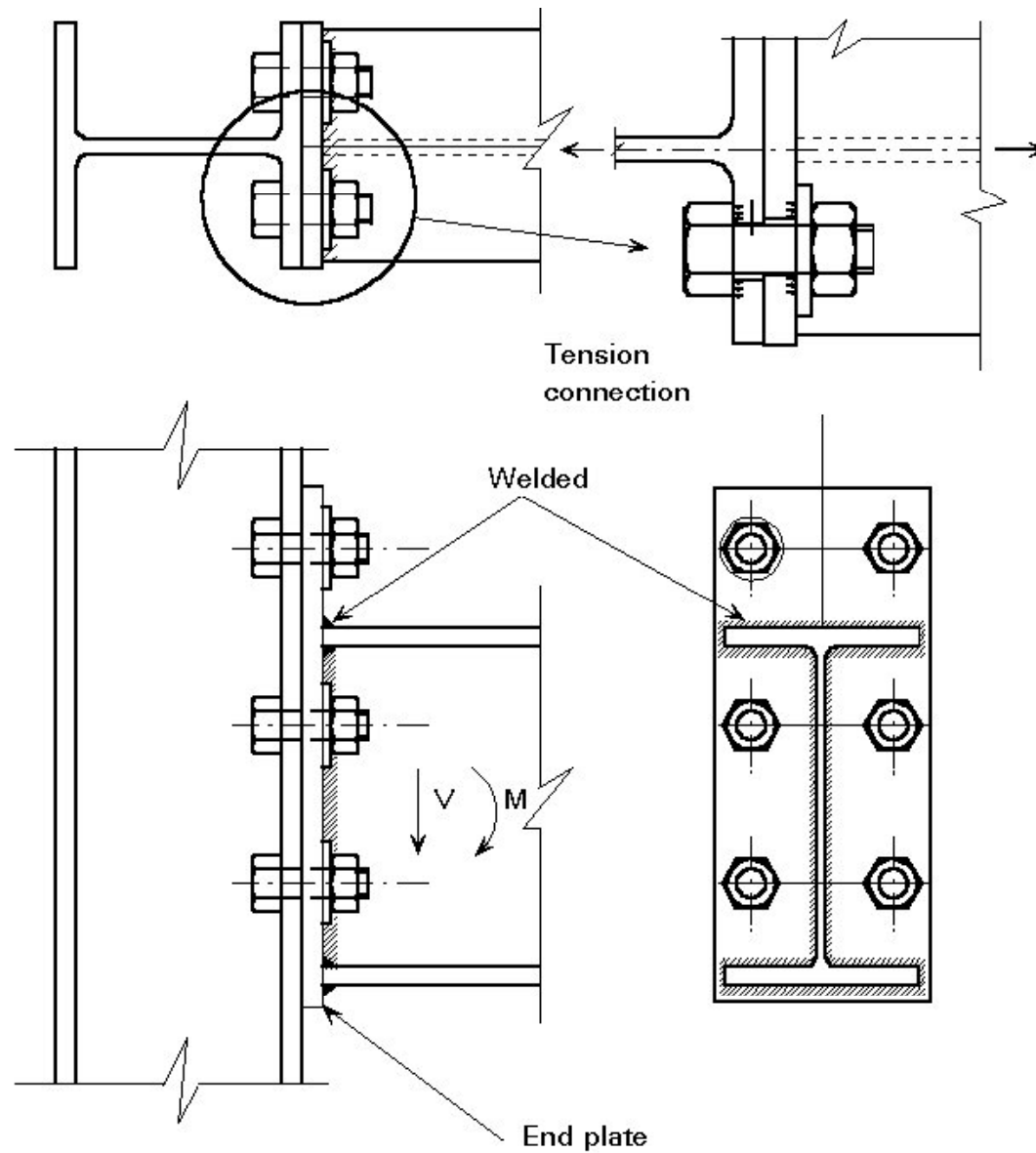
Shear plane in the non-threaded part



# Prevzem nateznih sil



# Prevzem nateznih in strižnih sil

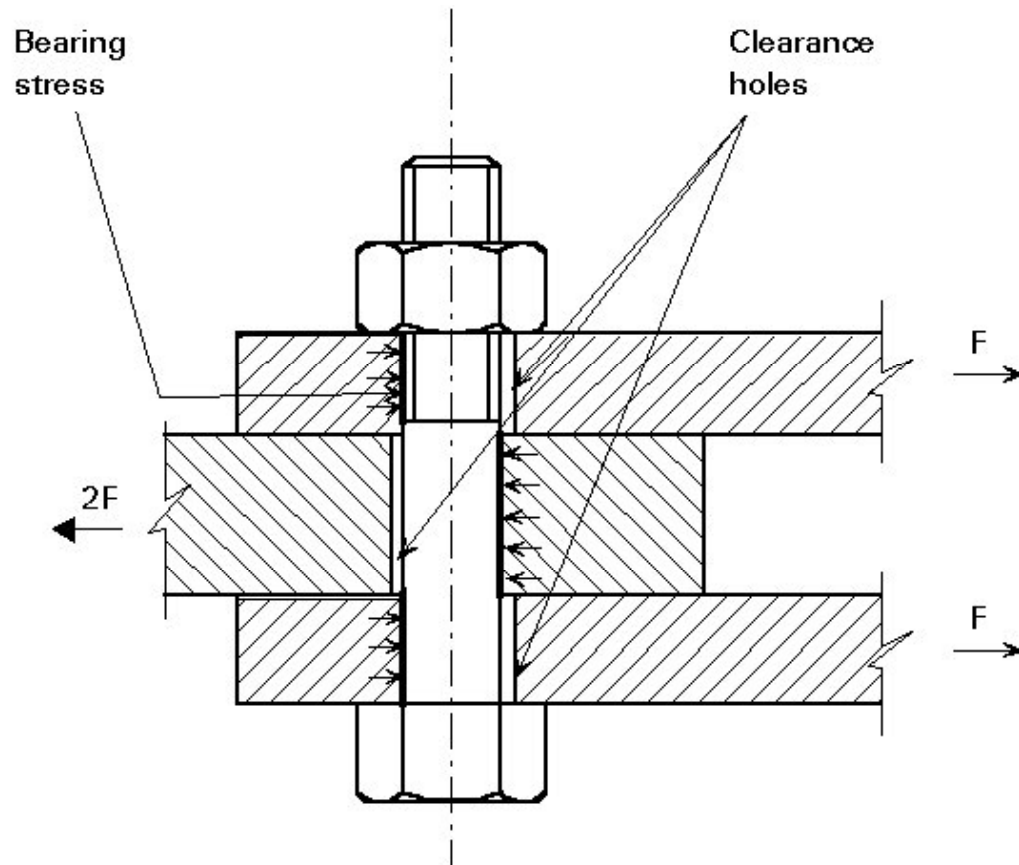




# Nosilnost navadnih vijakov

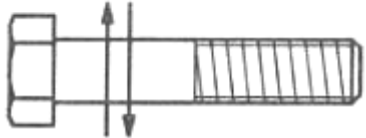
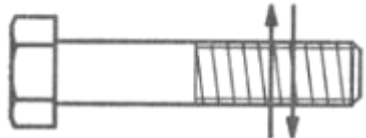
## STRIŽNA NOSILNOST VIJAKOV

Mehanizem prenosa sil:



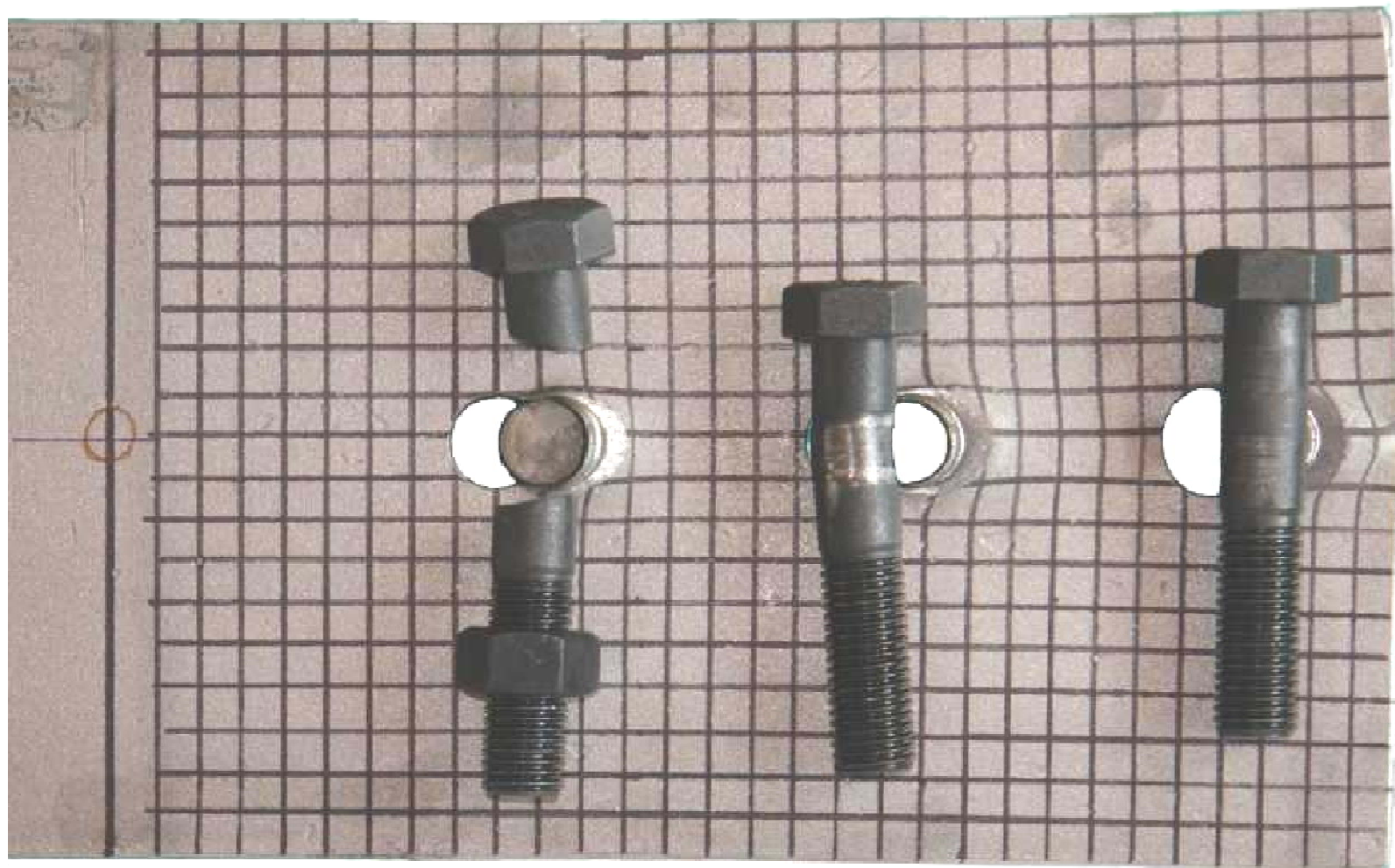
# Strižna nosilnost vijakov

Računska nosilnost na prestrig vijaka (en vijak, ena strižna ravnina).

EC3	{	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{Mb}}$	strižna ravnina skozi polno steblo vijaka		
		$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}$	4.6 5.6 6.6 8.8		
		$F_{v,Rd} = \frac{0,5 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{Mb}}$	4.8 5.8 6.8 10.9		strižna ravnina skozi navoje

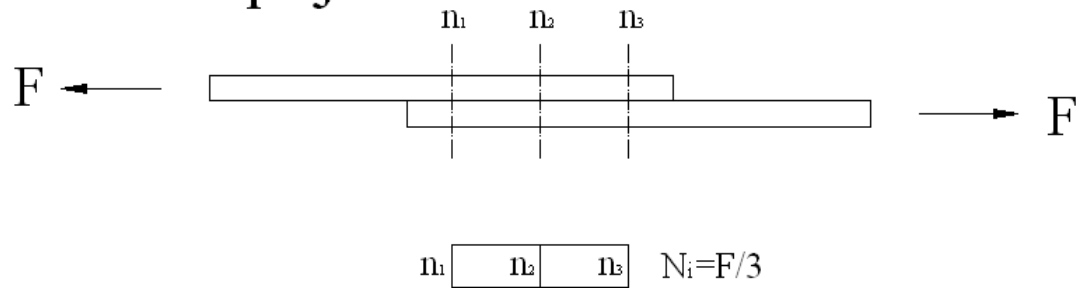
**Nižja nosilnost – manj duktilni vijaki – hipna porušitev.**

# Značilna neduktilna porušitev vijakov 12.9 v strigu

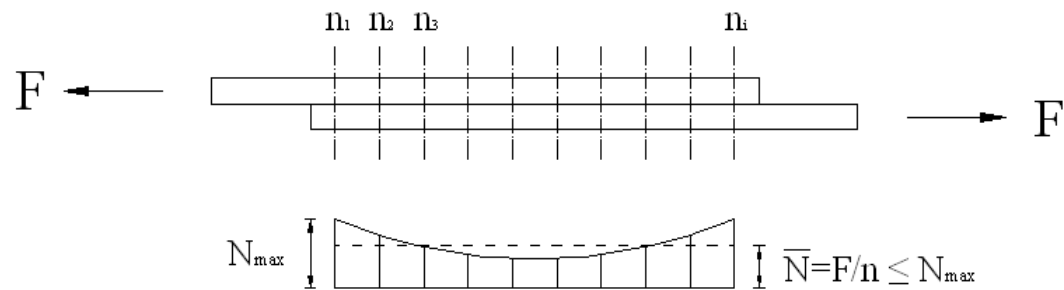


# Dolžina spojev

## Kratki spoji



## Dolgi spoji



# Strižna nosilnost vijakov

$$F_{sd} = n \cdot m \cdot F_{v,Rd}$$

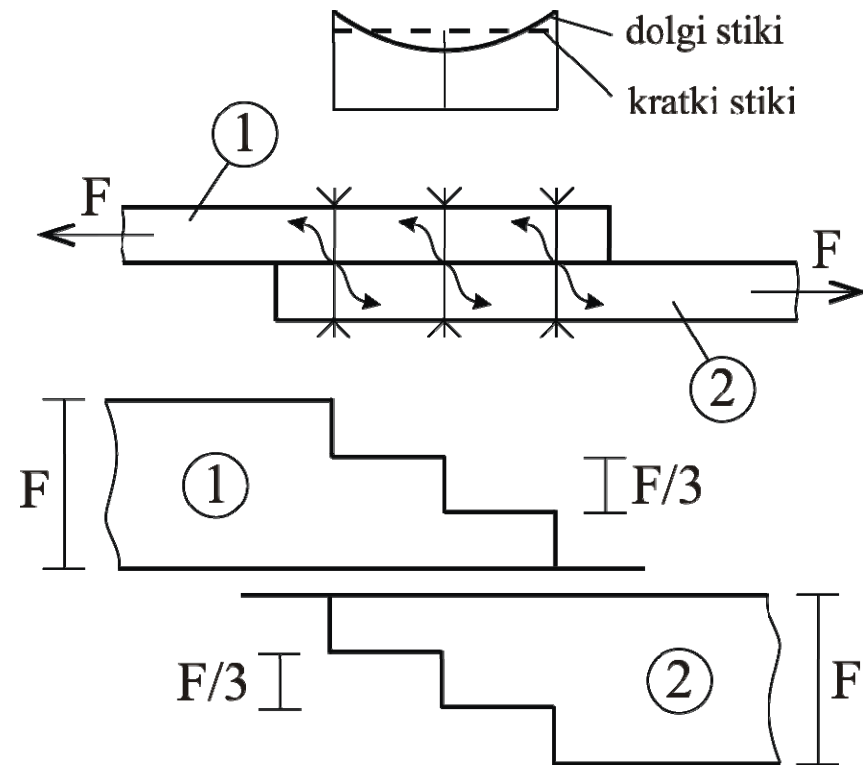
$n$  = število vijakov

$m$  = število strižnih ravnin

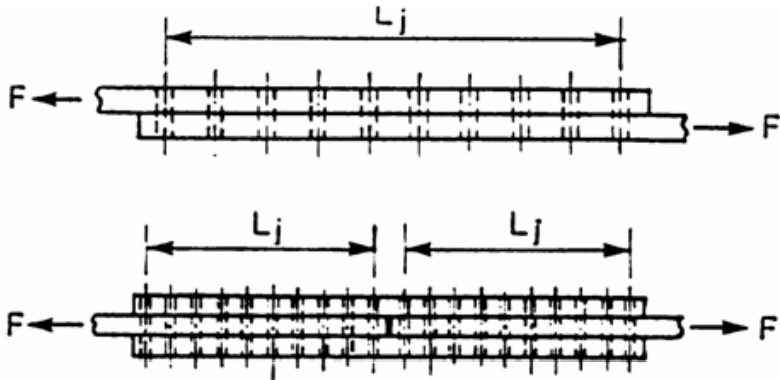
## Vpliv deformabilnosti pločevin pri dolgem stiku

Pri **kratkih stikih** predpostavimo, da se zunanja obtežba razporedi enakomerno na vse vijake.

Pri **dolгих stikih** [ $l > 15d$ ]  $\approx 6$  vijakov] pa se pojavi neenakomerni raspored sil.



# Strižna nosilnost vijakov

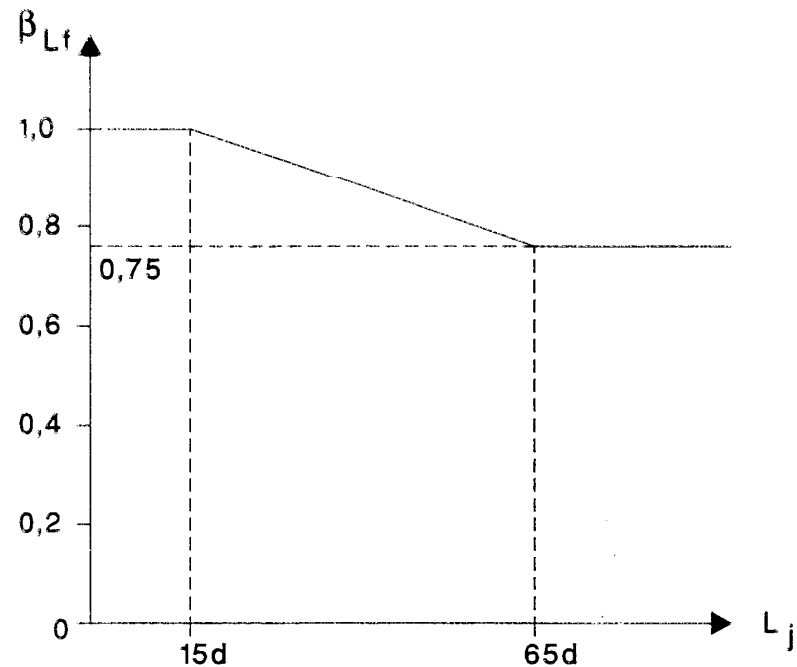


Pri  $L_j > 15d$  potrebna redukcija projektne strižne nosilnosti  $F_{v,Rd}$  s faktorjem  $\beta_{Lf}$  (deformabilnost veznih pločevin).

$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d}$$

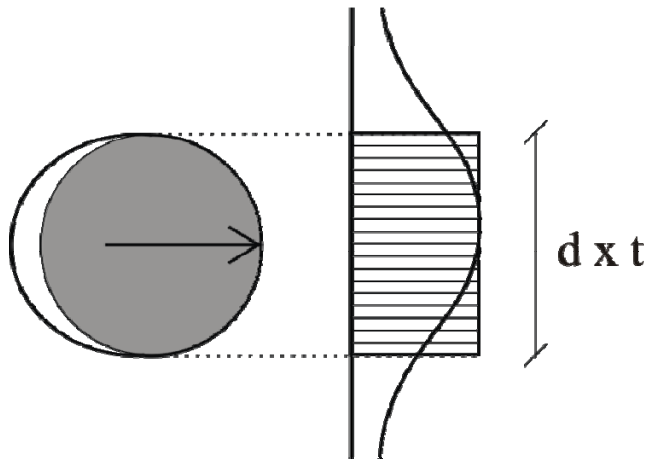
vendar

$$\beta_{Lf} \leq 1,0 \text{ in } \beta_{Lf} \geq 0,75$$



# Nosilnost navadnih vijakov

## NOSILNOST VIJAKOV NA BOČNI PRITISK



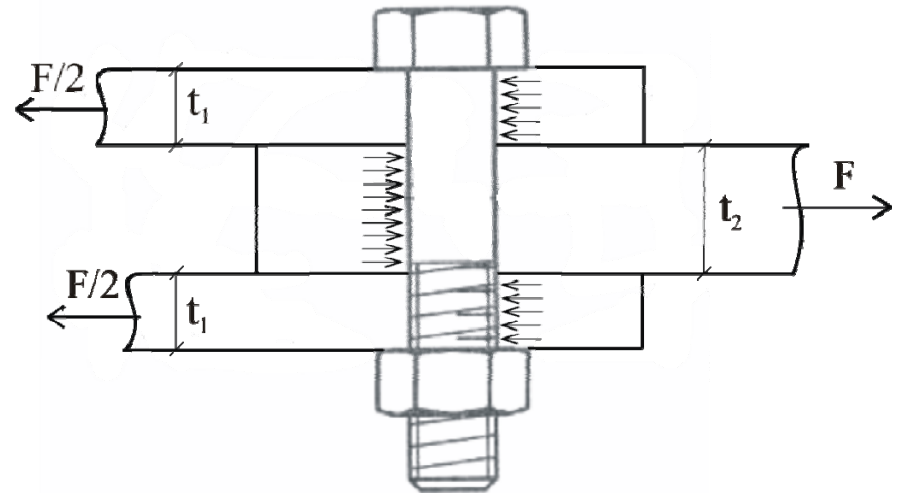
Ustvari se **prostorsko napetostno stanje** – tlaki v vseh treh smereh



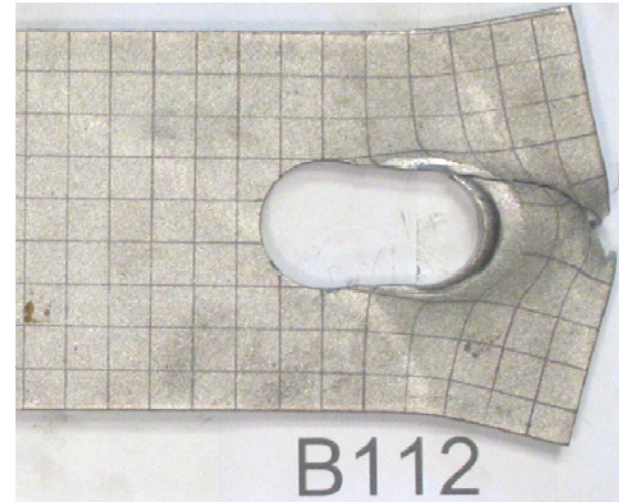
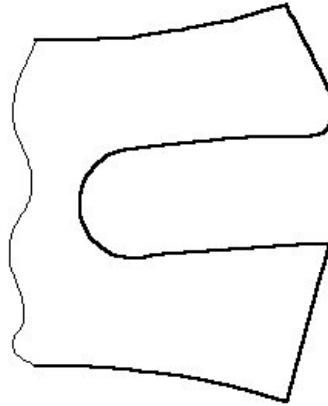
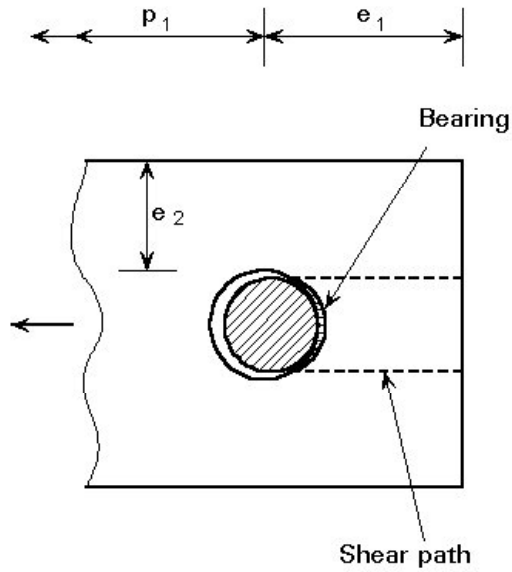
**višja meja plastičnosti  $\approx 3f_y$  (ali več)**, ki še ne povzroči prevelike ovalizacije luknje.

$$\text{EC3: } F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{Mb}}$$

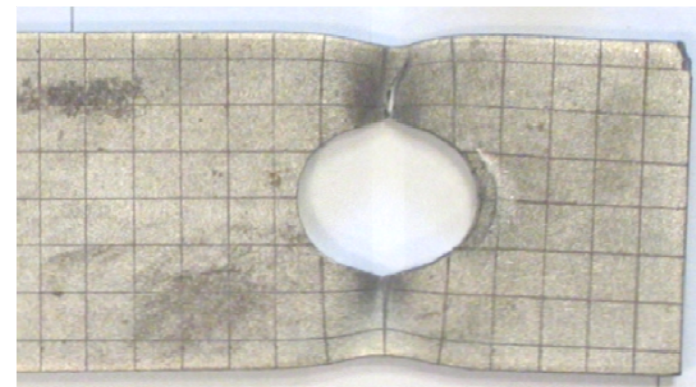
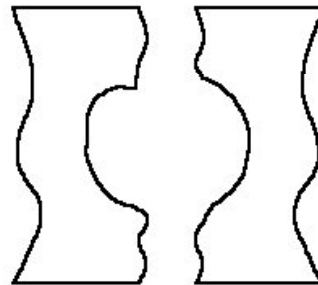
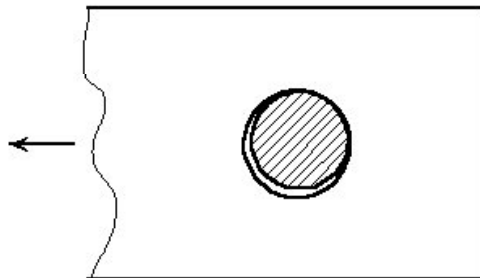
$$t \Rightarrow \sum t_{MIN} = \min \begin{cases} 2t_1 \\ t_2 \end{cases}$$



# Porušni mehanizmi



a) Prestrig

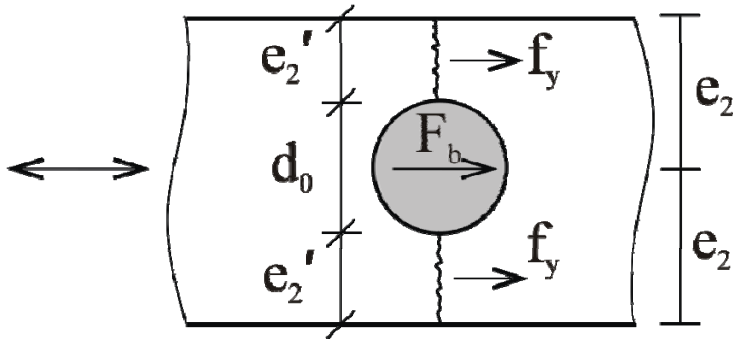


b) Porušitev po neto prerezu



# Razpored lukenj za vijake in zakovice

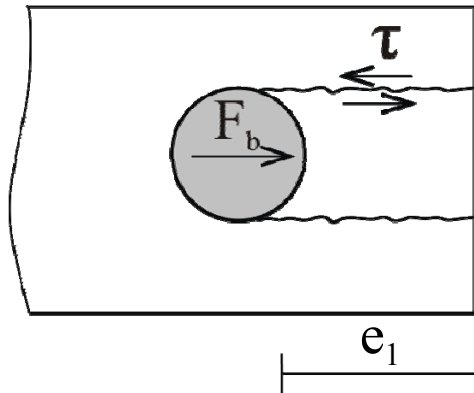
## Minimalne razdalje



$$F_{b,MAX} = 3f_y \cdot d \cdot t < 2e'_2 \cdot t \cdot f_y$$

$$e'_2 > 1,5d$$

$$e_2 > 1,5d_0$$



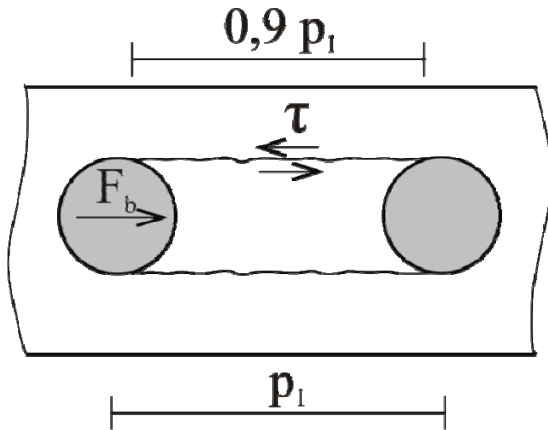
$$F_{b,MAX} = 3f_y \cdot d \cdot t < 2e_1 \cdot t \cdot f_y / \sqrt{3}$$

$$e_1 > \frac{3\sqrt{3}}{2}d = 2,6d$$

$$e_1 > 2,5d_0$$

# Razpored lukenj za vijake in zakovice

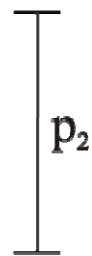
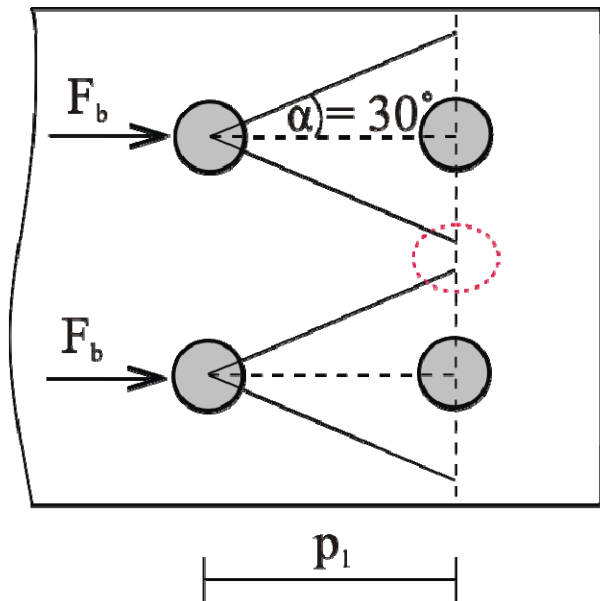
## Minimalne razdalje



$$F_{b,MAX} = 3 f_y \cdot d \cdot t < 2 \cdot 0,9 p_1 \cdot t \cdot f_y / \sqrt{3}$$

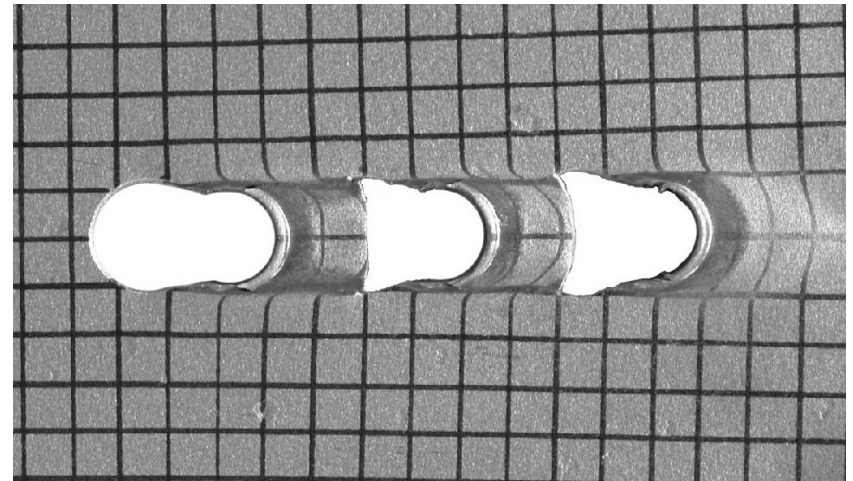
$$p_1 > \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot 0,9} d = 2,9 d$$

$$p_1 > 3,0 d_0$$



$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} 30^\circ = 0,58$$

$$p_2 \geq p_1 = 3,0 d_0$$



# Nosilnost vijakov na bočni pritisk

Vzdolžna smer:

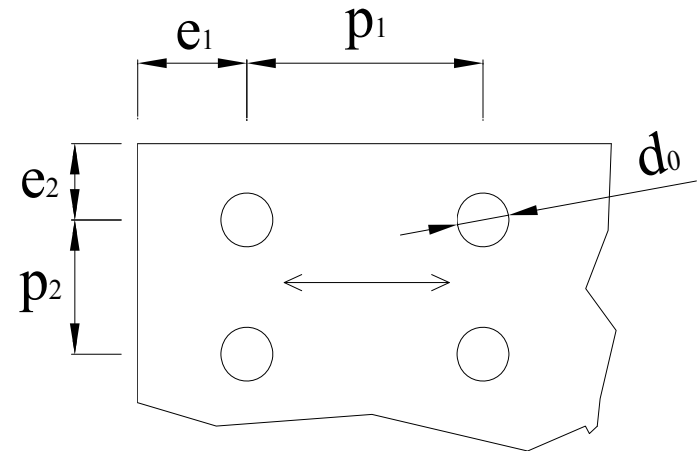
$$\alpha = \min \begin{cases} e_1 / 3d_0 & \text{robni vijak} \\ p_1 / 3d_0 - 0,25 & \text{notranji vijak} \\ f_{ub} / f_u \\ 1,0 \end{cases}$$

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

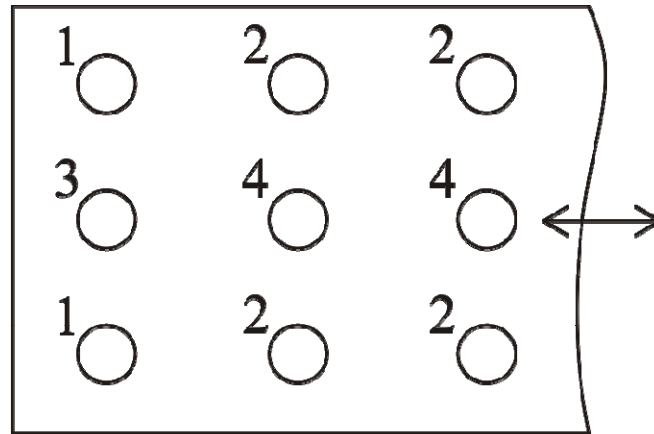
Prečna smer:

$$\text{- robni vijaki: } k_1 = \min \begin{cases} 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{cases}$$

$$\text{- notranji vijaki: } k_1 = \min \begin{cases} 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \\ 2,5 \end{cases}$$



# Nosilnost vijakov na bočni pritisk



1 ... robni vzdolžno in prečno

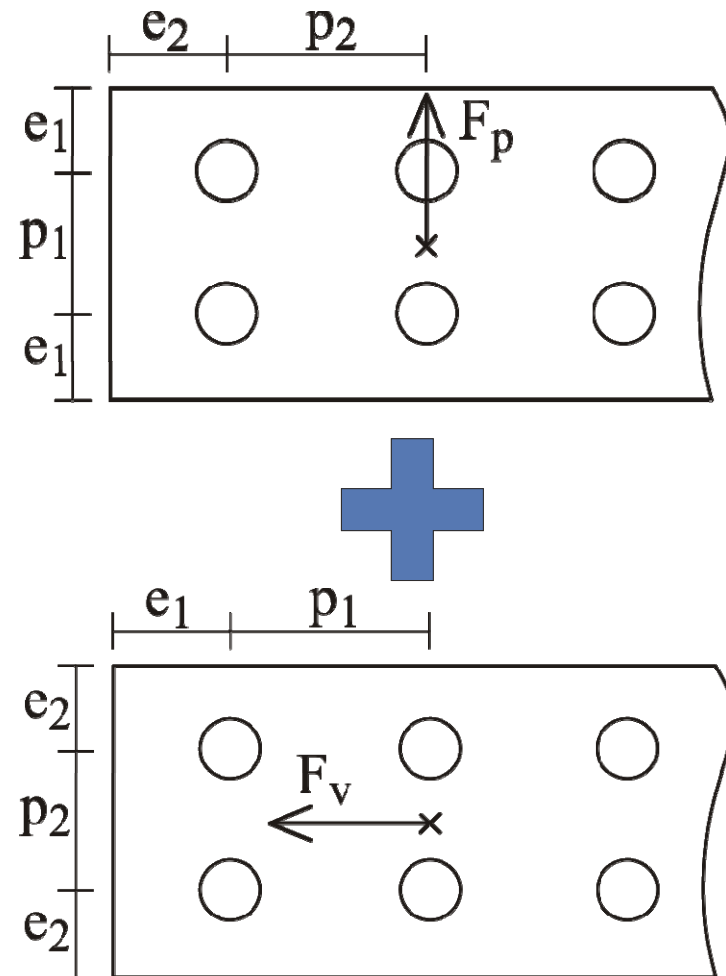
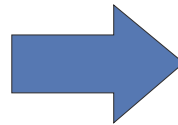
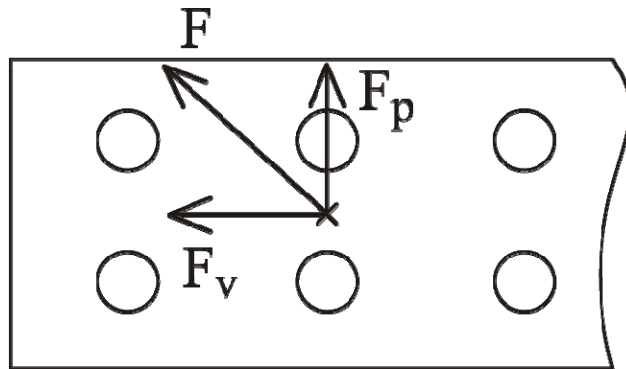
2 ... robni prečno, notranji vzdolžno

3 ... robno vzdolžno, notranji prečno

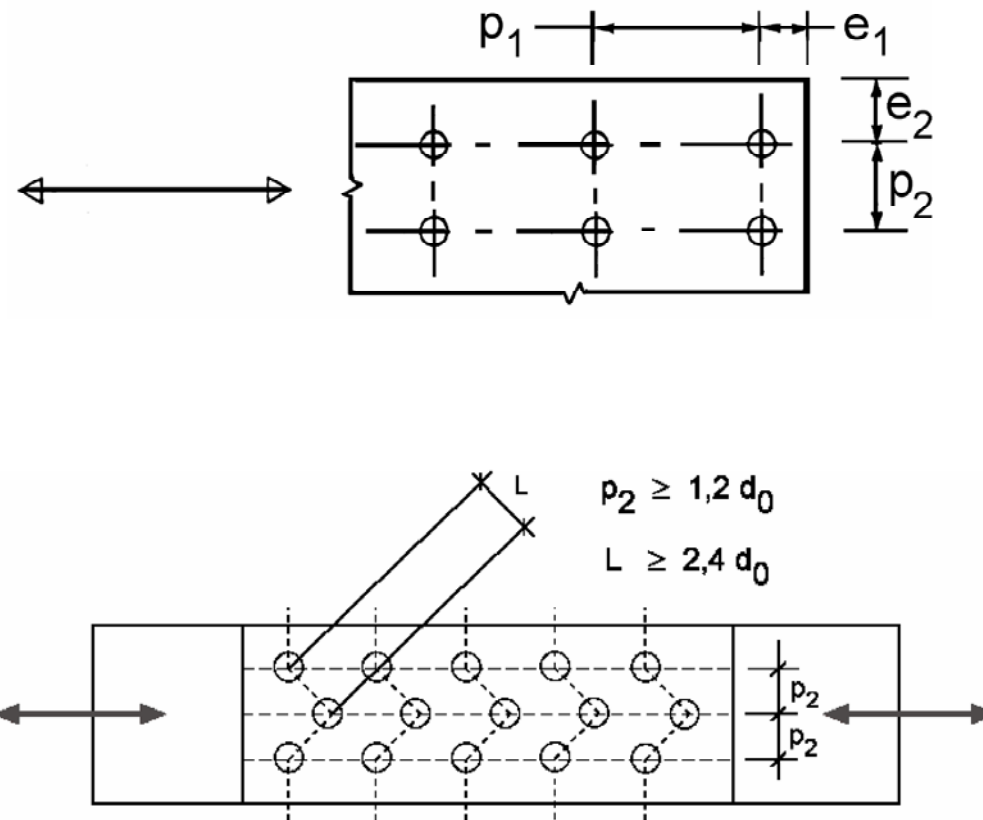
4 ... notranji vzdolžno in prečno

# Nosilnost vijakov na bočni pritisk

Nosilnost na bočni pritisk se lahko kontrolira ločeno za vsako smer posebej.



# Razpored lukenj za vijake in zakovice



# Razpored lukenj za vijake in zakovice

Razdalje in razmaki	Minimum	Maksimum <sup>1) 2) 3)</sup>		
		Konstrukcije iz jekel v skladu z EN 10025 razen jekel v skladu z EN 10025-5		Konstrukcije iz jekel v skladu z EN 10025
		Jeklo, izpostavljeno vremenskim ali ostalim korozivnim vplivom	Jeklo, ni izpostavljeno vremenskim ali ostalim korozivnim vplivom	Korozijsko nezaščiteno jeklo
Razmak $p_1$	$2,2d_0$	Manjše od $14t$ ali 200 mm	Manjše od $14t$ ali 200 mm	Manjše od $14t_{MIN}$ ali 175 mm
Razmak $p_{1,0}$		Manjše od $14t$ ali 200 mm		
Razmak $p_{1,i}$		Manjše od $28t$ ali 400 mm		
Razmak $p_2$ <sup>5)</sup>	$2,4d_0$	Manjše od $14t$ ali 200 mm	Manjše od $14t$ ali 200 mm	Manjše od $14t_{MIN}$ ali 175 mm
Razmak $e_1$	$1,2d_0$	$40+4t$	Večje od $8t$ ali 125 mm	
Razmak $e_2$	$1,2d_0$	$40+4t$	Večje od $8t$ ali 125 mm	

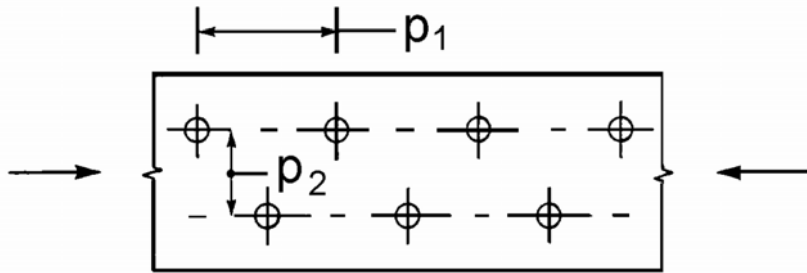
# Razpored lukenj za vijake in zakovice

- 1) Največje vrednosti za razmake in robne razdalje so neomejene razen pri:
  - tlačnih elementih, da se prepreči lokalno izbočenje oz. lokalni uklon pločevin ali prepreči korozija izpostavljenih elementov;
  - pri izpostavljenih nateznih elementih, da se prepreči korozija.
  
- 2) Nosilnost tlačno obremenjenih pločevin na uklon med veznimi sredstvi se določi v skladu z EN 1993-1-1, pri tem je  $l_U = 0,6 p_1$ .
  
- 3)  $t$  je debelina tanjšega od zunanjih stikovanih elementov.
  
- 4) Pri zamaknjenih vrstah veznih sredstev se lahko uporabi najmanjši razmak  $p_2 = 1,2d_0$ , vendar  $L \geq 2,4d_0$ .



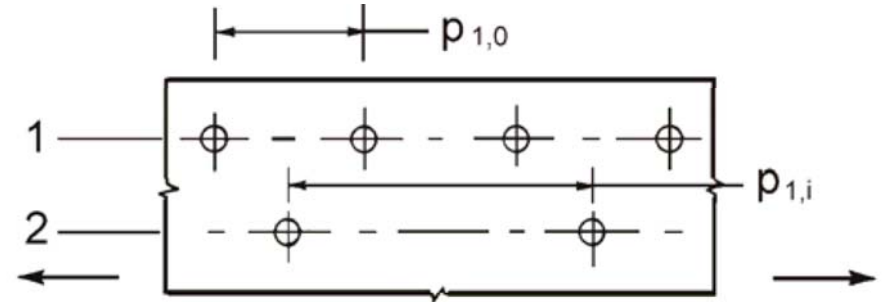
# Razpored lukenj za vijake in zakovice

## Največje dovoljene razdalje



$$p_1 \leq 14 t \text{ in } \leq 200 \text{ mm} \quad p_2 \leq 14 t \text{ in } \leq 200 \text{ mm}$$

b) Zamaknjene vrste – tlačni elementi



$$p_{1,0} \leq 14 t \text{ in } \leq 200 \text{ mm} \quad p_{1,i} \leq 28 t \text{ in } \leq 400 \text{ mm}$$

1 zunanja vrsta

2 notranja vrsta

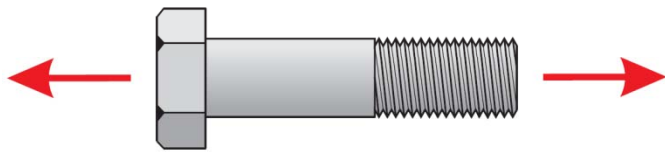
c) Zamaknjene vrste – natezni elementi

## Paziti je potrebno na:

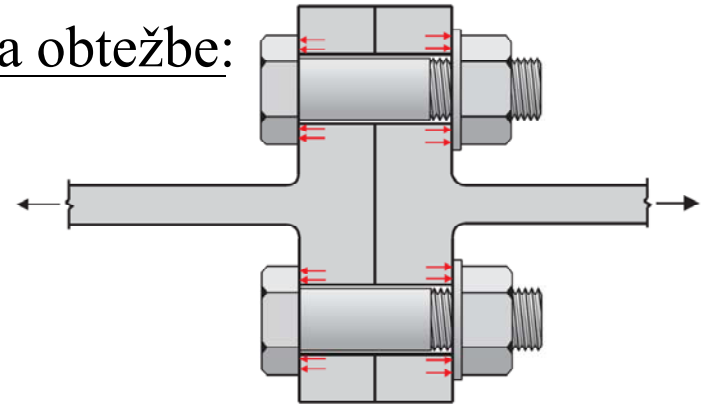
- lokalno izbočenje;
- razmikanje površin;
- rjavenje.

# Nosilnost navadnih vijakov

## NATEZNA NOSILNOST VIJAKOV



Način prenosa obtežbe:



EC3:

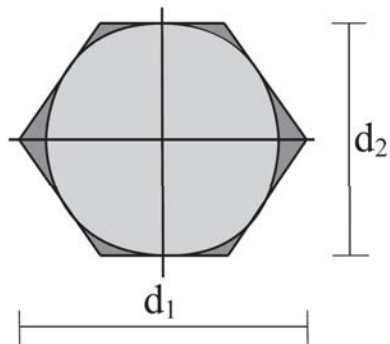
$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{nateg vijaka}$$

min

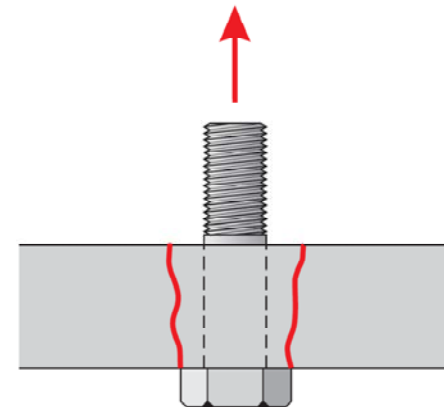
vijaki z vgreznjeno glavo  $\rightarrow k_2 = 0,63$

v ostalih primerih  $\rightarrow k_2 = 0,9$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} \quad \text{preboj (redko merodajen)}$$

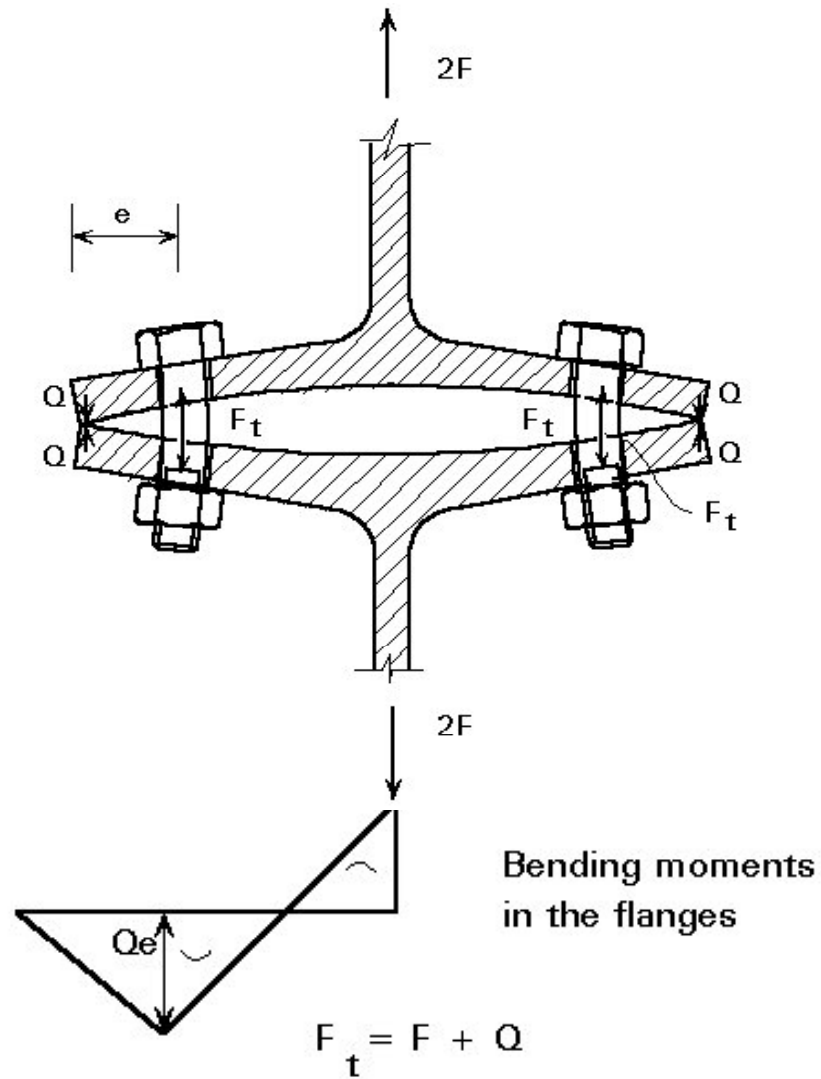


$$d_m = \frac{d_1 + d_2}{2}$$



# Natezna nosilnost vijakov

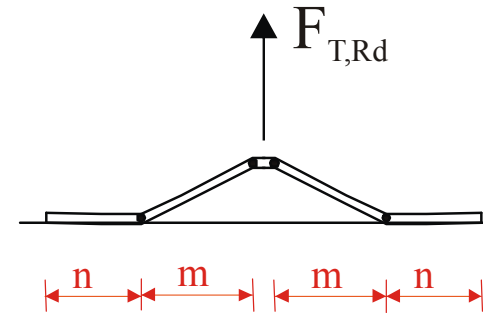
## Vpliv togosti pločevine na silo v vijaku – “Prying force”



# Vpliv togosti pločevine na natezni spoj

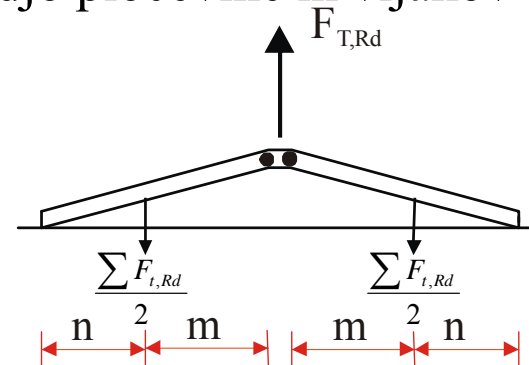
1. Način: Porušni mehanizem v **tanki** pločevini

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 M_{pl,1,Rd}}{m}$$



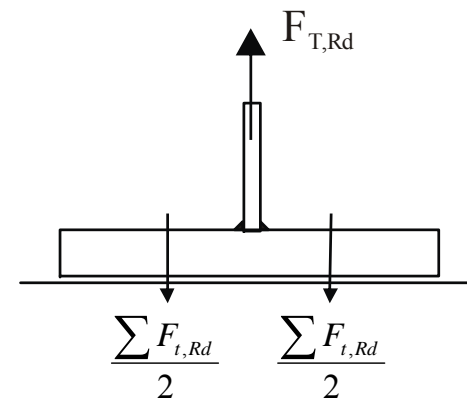
2. Način: Porušni mehanizem z istočasno odpovedjo pločevine in vijakov (srednje debele pločevine)

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$



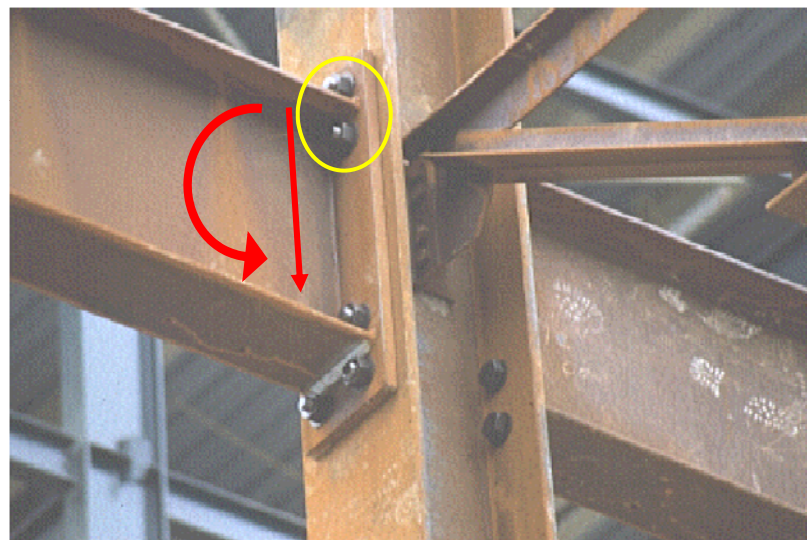
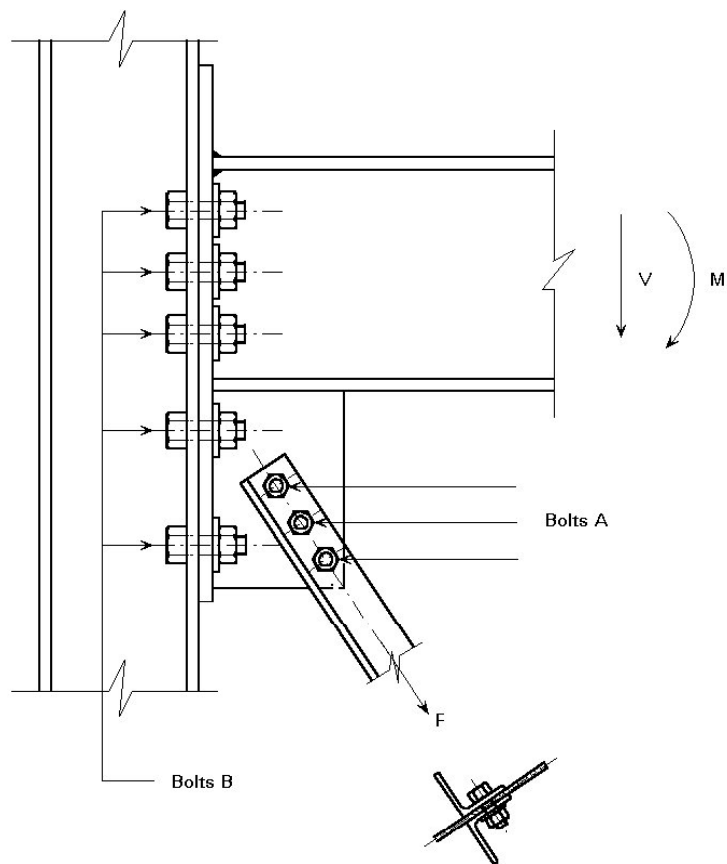
3. Način: Porušitev vijakov (**debele** pločevine)

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$



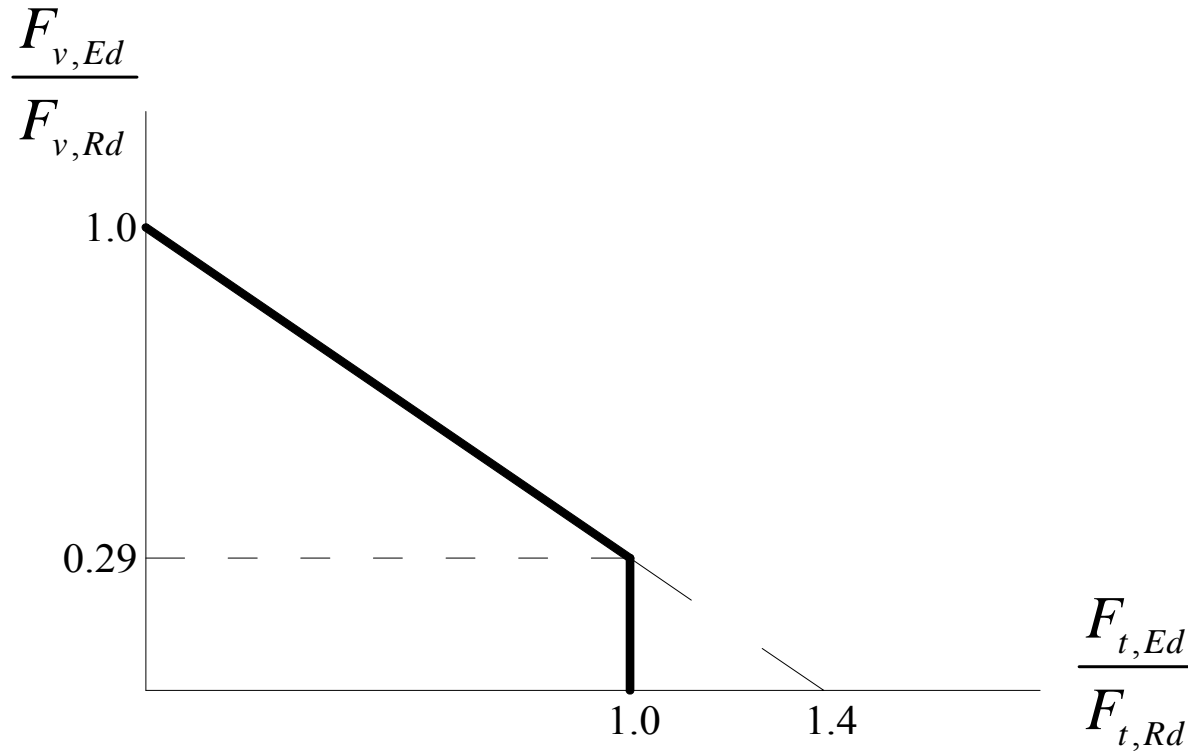
# Nosilnost navadnih vijakov

## NATEZNA IN STRIŽNA NOSILNOST VIJAKOV



# Natezna in strižna nosilnost vijakov

EC3: 
$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$$



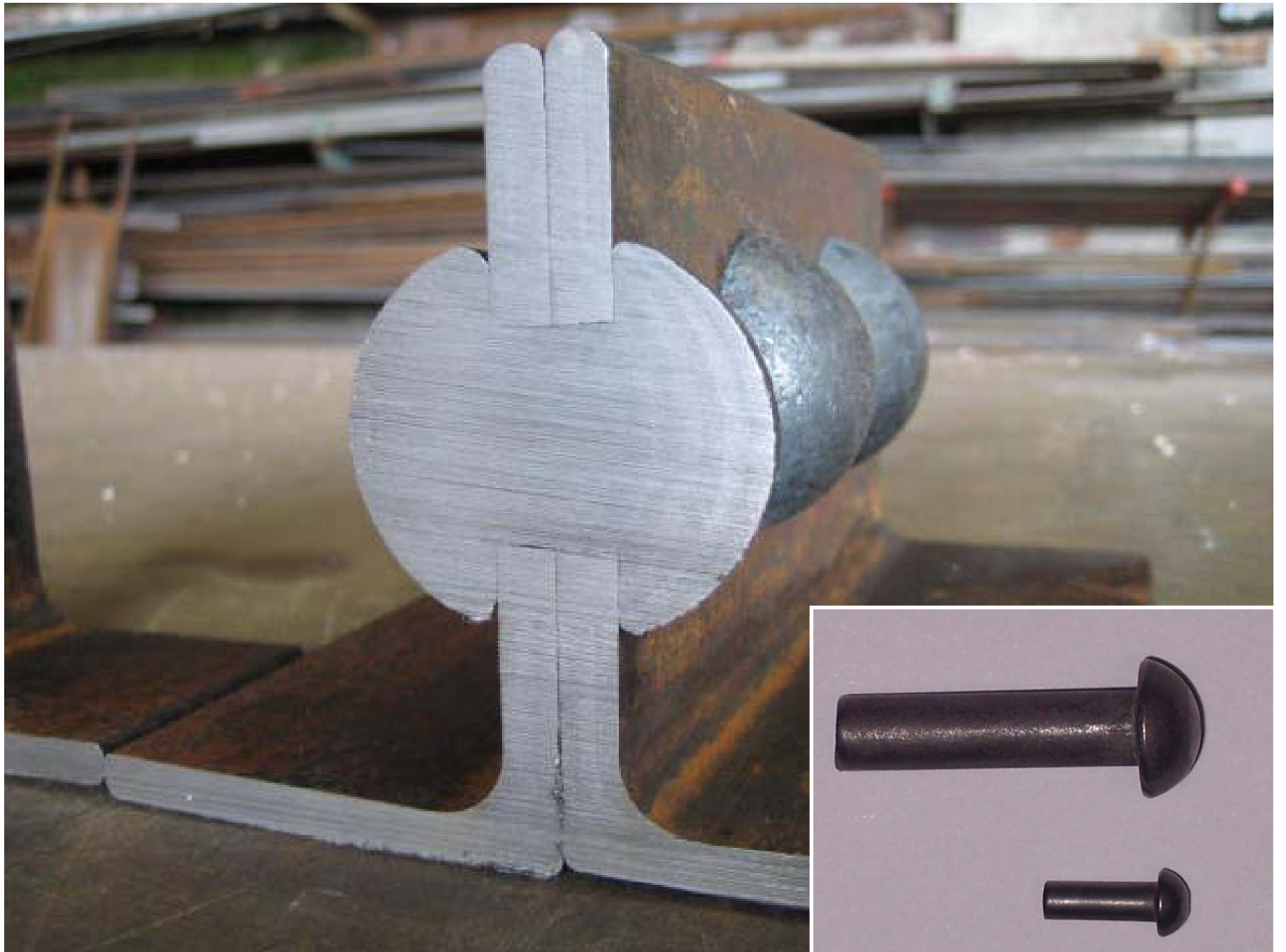
# Zakovice

## Osnovni podatki o zakovicah za konstrukcije

- Manjša natezna nosilnost:  $F_{t,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$   
- samo izjemoma – pomembna strižna obremenitev:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot f_{ur} \cdot A_0}{\gamma_{M2}}$$

- $A_0$  = prerez luknje (zakovica jo zapolni) – stiki so togi, ni zamikov ( $\Delta d$  pri vijakih).

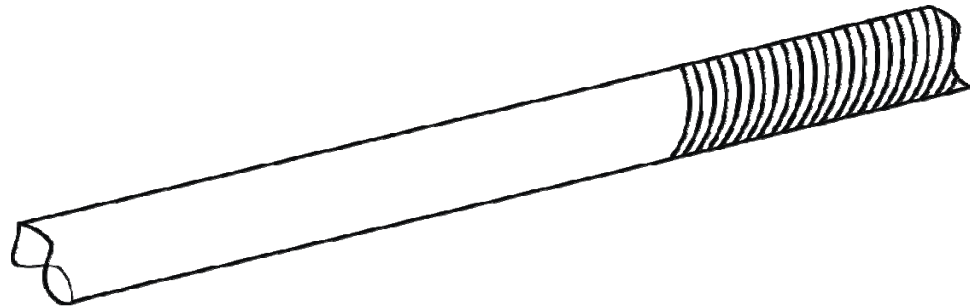




# V delavnici vrezani navoji

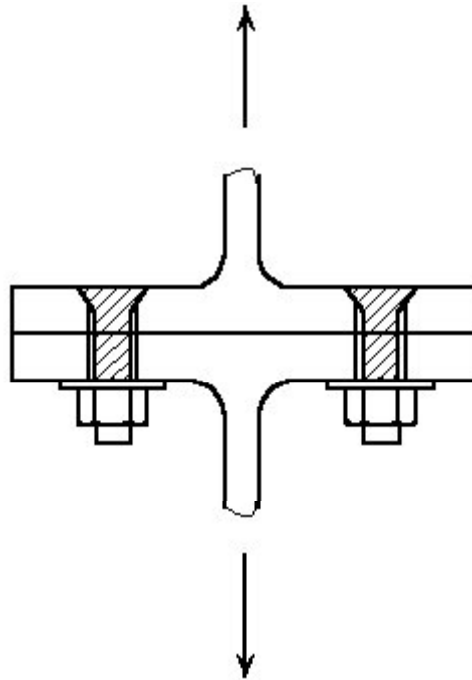
Princip izdelave ne velja za vijake izdelane v tovarni.

Npr.: **natezna vez**:  $\emptyset$  + vrezani navoji



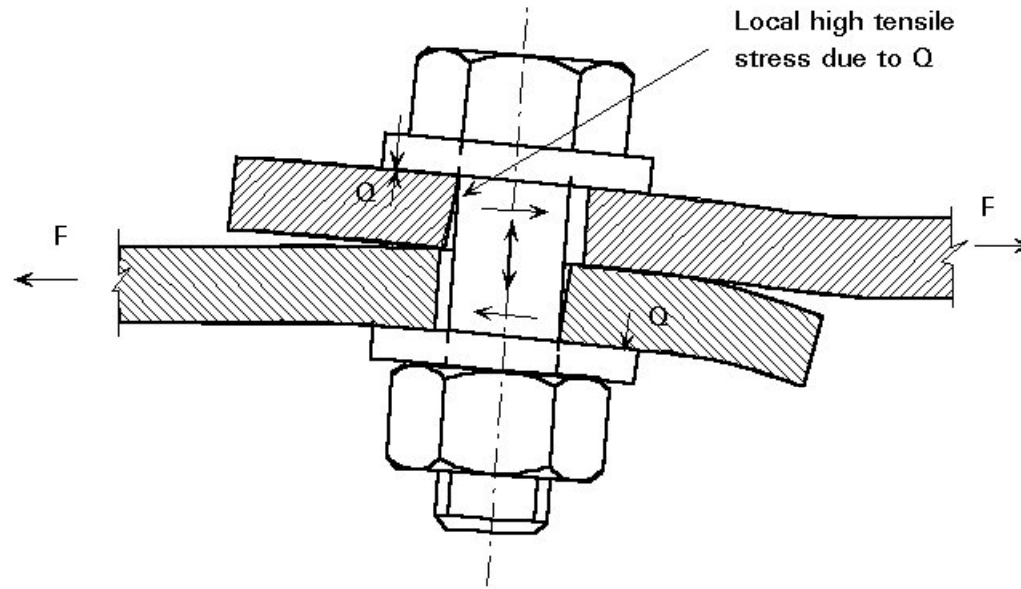
Kadar je merodajen prerez skozi navoje se **nosilnost zmanjša** s faktorjem **0,85**.

# Vijaki in zakovice z vgreznjeno glavo



- natezna nosilnost x **0,7**
- bočno pritisk  $\sum t_{\text{MIN}}$  – velja samo za ravni del stebra

# En sam vijak v strižnem stiku



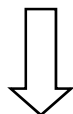
- neenakomerno naleganje pločevin  $\Rightarrow$  večji bočni pritiski  
– manjša nosilnost

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u d t / \gamma_{Mb}$$

- zaradi nevarnosti preboja  $\Rightarrow$  podložke pod glavo vijaka in matico

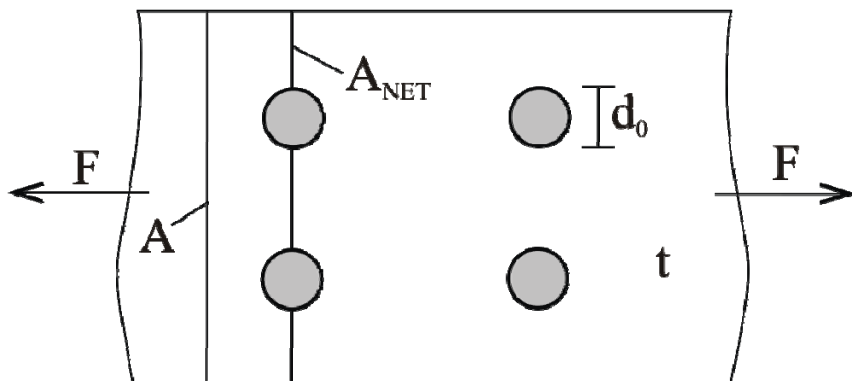
# Neto prerez

Pri vijačenih stikih so nosilni elementi vedno oslabljeni z luknjami



**Preveriti je potrebno zmanjšano nosilnost.**

## • NATEZNE PLOČEVINE



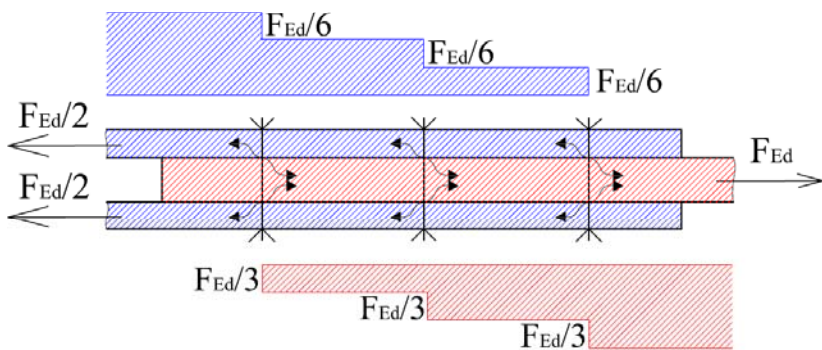
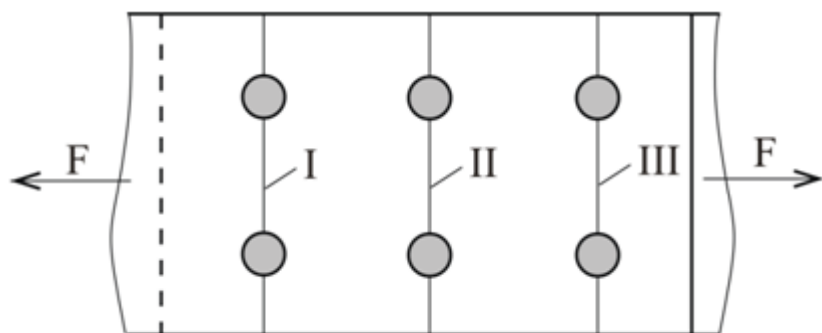
$$A = b \cdot t$$

$$A_{net} = (b - 2d_0)t$$

- Polni presek:  $N_{pl,Rd} = A \cdot f_y / \gamma_{M0}$        $\gamma_{M0} = 1,0$

- Neto presek:  $N_{net,Rd} = 0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u / \gamma_{M2}$        $\gamma_{M2} = 1,25$

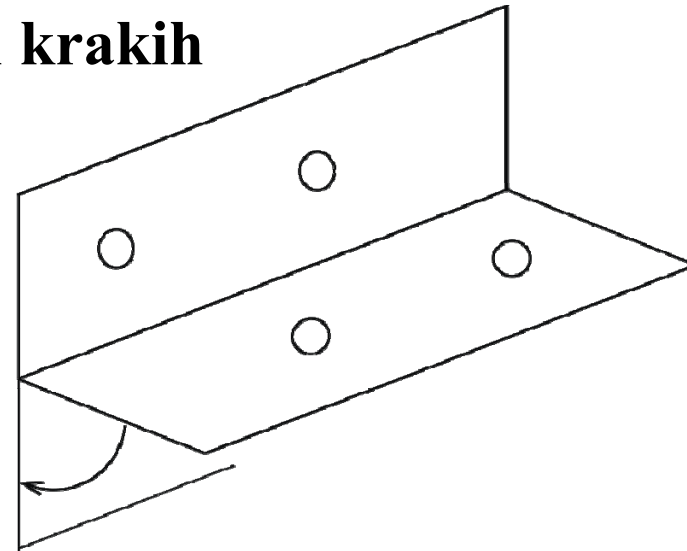
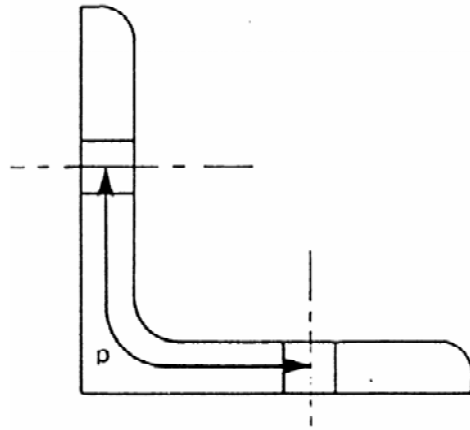
# Neto prerez – natezne pločevine



- prerez I: zunanja pl.-  $F$
- prerez III: notranja pl.-  $F$
- prerez II:  $F_{Ed}' = F_{Ed} \frac{n'}{n}$   
 $n'$  število vijakov pred prerezom  
 $n$  število vseh vijakov

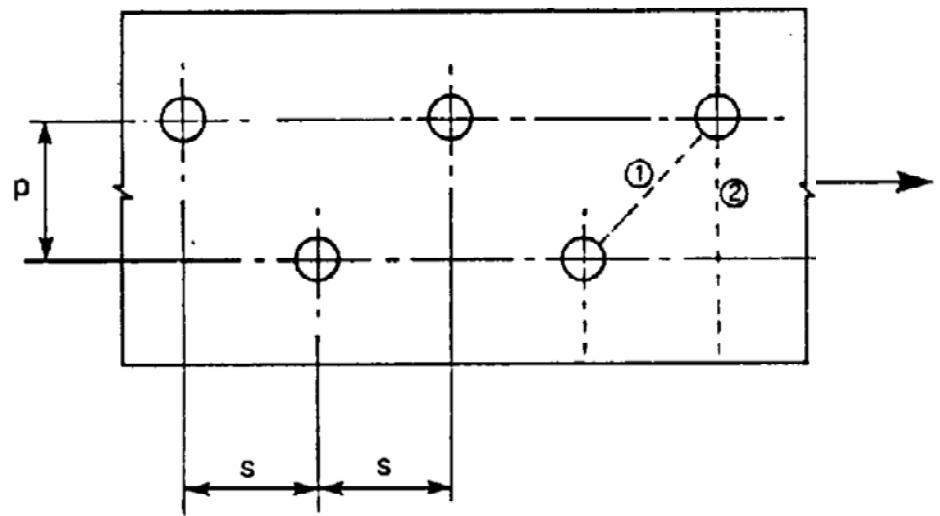
# Neto prerez – zamaknjene luknje

Primer: kotnik z luknjama v obeh krakih



Skupna vsota lukenj, ki jo odštejemo:

$$\max \begin{cases} \text{a) zmanjšanje za luknje, ki niso zamaknjene; ravnina 2} \\ \text{b) } t \left( n d_0 - \sum \frac{s^2}{4p} \right); \text{ ravnina 1} \end{cases}$$



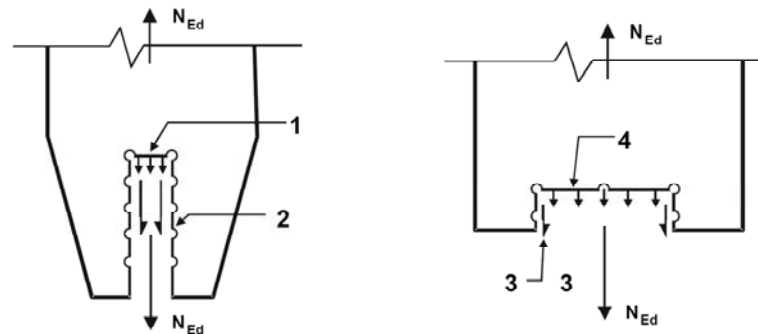
# Strižni iztrg ob robu pločevine – “block shear effect”

Strižni iztrg je sestavljen iz:

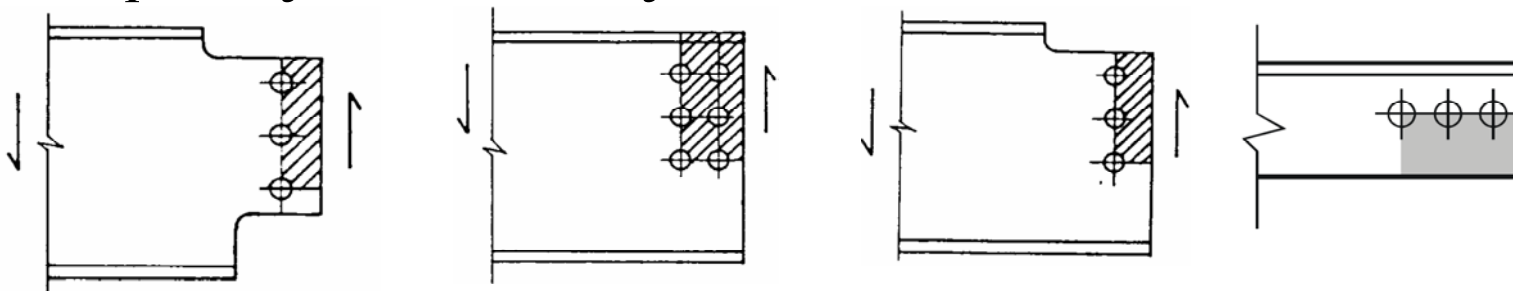
- strižne porušitve (vzporedna prečni sili);
- nateznega pretrga (ob natezni strani skupine vijakov).

Delitev glede na geometrijo izpostavljene skupine vijakov:

- simetrična skupina vijakov, obremenjena s centrično obtežbo

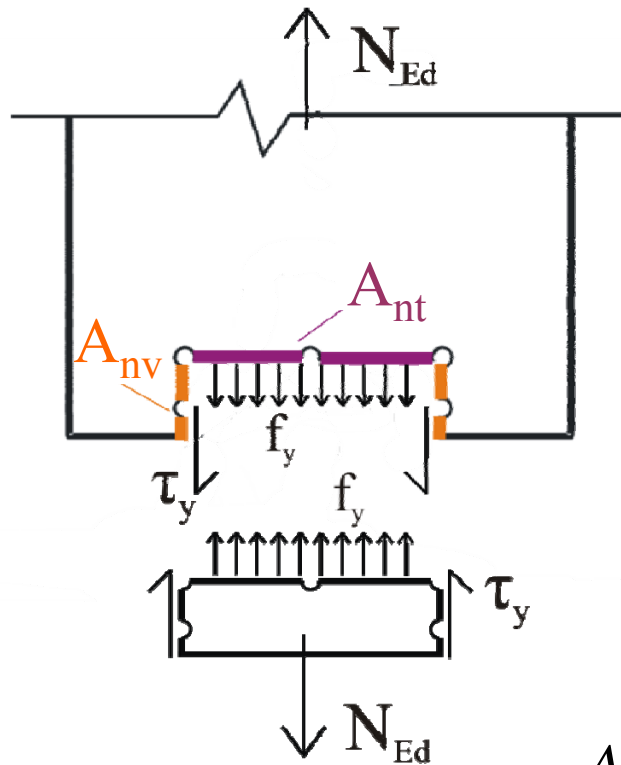


- skupina vijakov, obremenjena z ekscentrično obtežbo



# Strižni iztrg ob robu pločevine – “block shear effect”

Simetrična skupina vijakov, obremenjena s centrično obtežbo



$$V_{Rd} = A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Rd} = A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$V_{eff,1,Rd} = N_{Rd} + V_{Rd}$$

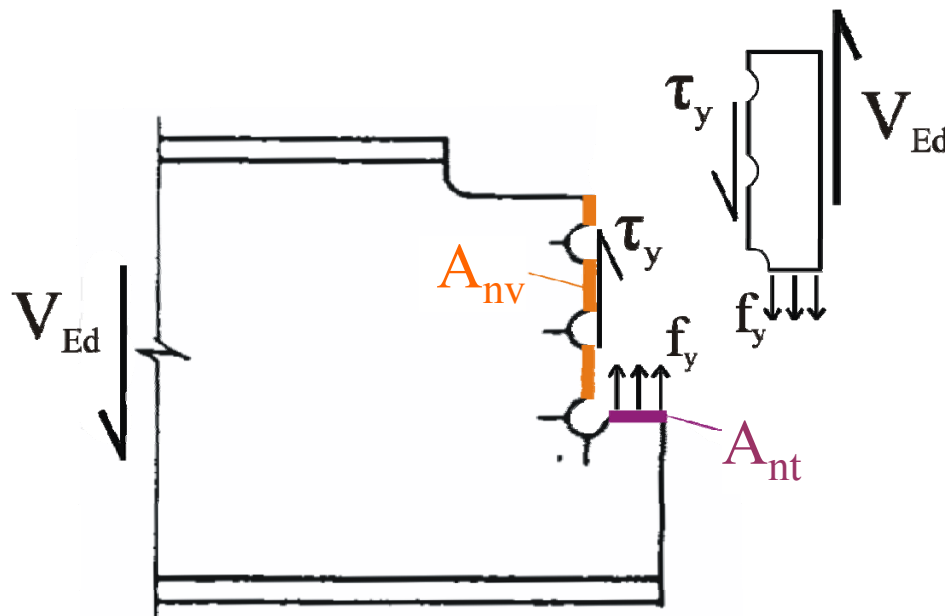
$A_{nt}$  neto prerez območja pločevine v nategu

$A_{nv}$  neto prerez območja pločevine v strigu



# Strižni iztrg ob robu pločevine – “block shear effect”

Skupina vijakov, obremenjena z ekscentrično obtežbo



$$V_{Rd} = A_{nv} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$N_{Rd} = 0,5 \cdot A_{nt} \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$V_{eff,1,Rd} = N_{Rd} + V_{Rd}$$

$A_{nt}$  neto prerez območja pločevine v nategu

$A_{nv}$  neto prerez območja pločevine v strigu

# Kotniki, priključeni preko enega kraka

Spoj z enim vijakom:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t f_u}{\gamma_{M2}}$$

Spoj z dvema vijakoma:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

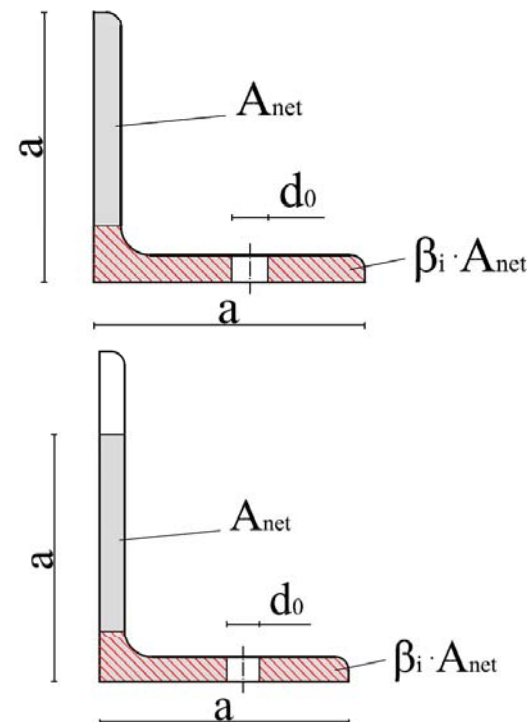
Spoj s tremi vijaki:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}}$$

Kjer je:

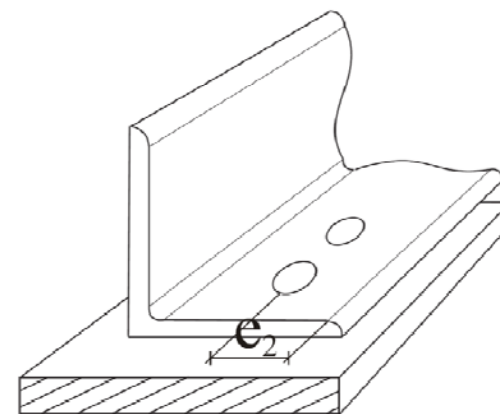
$\beta_2$  in  $\beta_3$  redukcijska faktorja, odvisna od razmaka  $p_1$ ;

$A_{net}$  neto prečni prerez kotnika.

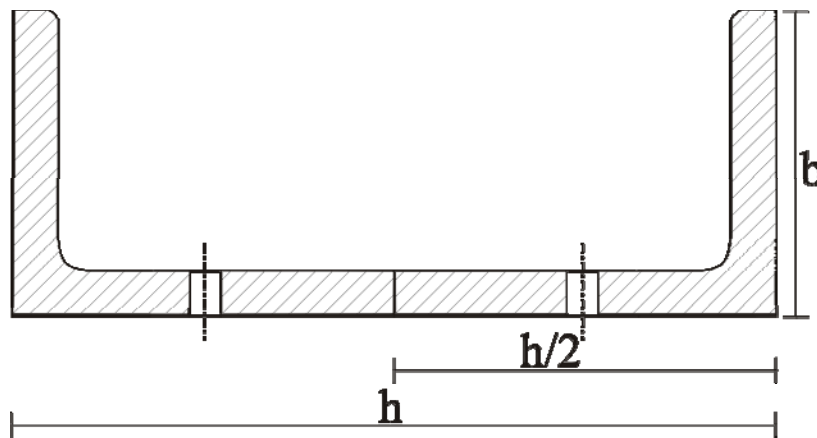


## Redukcijska faktorja $\beta_2$ in $\beta_3$

razmak	$p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 vijaka	$\beta_2$	0,4	0,7
3 vijaki ali več	$\beta_3$	0,5	0,7



## Primer: priključevanje U - profila



U – profil lahko obravnavamo kot dva kotnika:

$$h / 2 > b$$

# Visokovredni prednapeti vijaki



Uporabljena kvaliteta vijakov:

8.8	10.9
-----	------

Vijak prednapnemo in na stiku površin pločevin ustvarimo velike pritiske.

Veliki pritiski omogočajo, da se pri strižni obremenitvi obtežba prenaša s trenjem v strižni ravnini.

Torni stiki so zelo togi, saj ni medsebojnih zamikov pločevin.

# Visokovredni prednapeti vijaki

Prednapenjanje:

- **Sila prednapenjanja:**

$$F_{p,Cd} = 0,7 \cdot f_{ub} \cdot A_s$$

Večja sila prednapenjanja pomeni večjo tornu nosilnost, zato se prednapenjajo samo VV.

- **Način prednapenjanja:**

- z momentnim ključem

$$M_p = K \cdot d \cdot F_p$$

K = koeficient trenja (0,12 – 0,20)

(0,14 – 0,18) običajno

Vijaki morajo biti čisti in podmazani, K se meri!

# Visokovredni prednapeti vijaki

## Prednapenjanje z momentnim ključem

$M_p$  povzroča v vijaku torzijske strižne napetosti, zato:

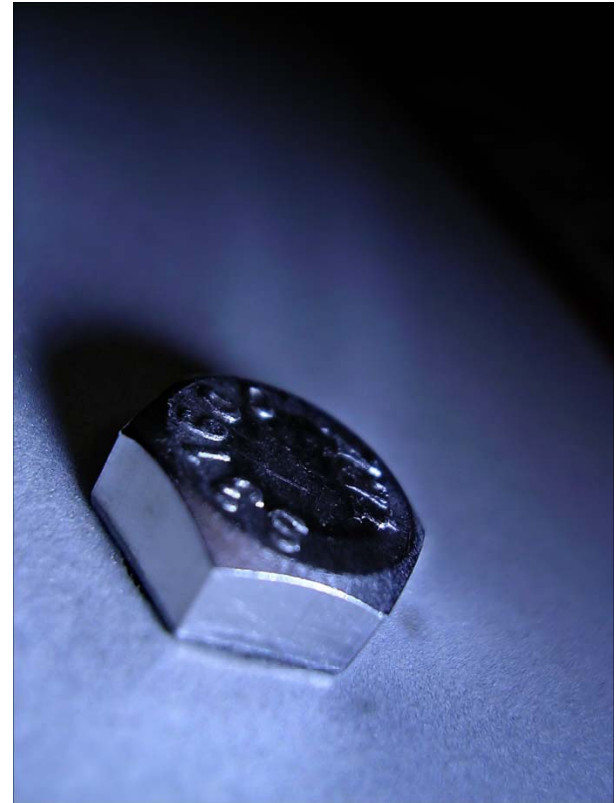
$$F_{p,Cd} < f_{ub} \cdot A_s \rightarrow \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = f_y$$

- z dodatnim zasukom matice:

Vijak **tesno privijemo** – **pločevine se morajo stikovati**. Nato privijemo še za predpisan zasuk matice.

- kombinacija obeh najboljša:

Z momentnim ključem prednapnemo do 75% sile prednapenjanja, potem dodatni zasuk matice.



# Visokovredni prednapeti vijaki

Torna nosilnost (en vijak)

$$F_{s,Rd} = \frac{K_s \cdot m \cdot \mu}{\gamma_{M3}} \cdot F_{p,Cd}$$

$m$  = število strižnih ravnin

$K_s = 1,0$       običajno velike luknje

{  $K_s = 0,85$       povečane luknje  $\Delta d$  od 3 mm do 8 mm

{  $K_s = 0,7$       podolgovate luknje – dobro –lažja montaža



manjša torna nosilnost zaradi zmanjšanega kolobarja pritiska



# Visokovredni prednapeti vijaki

## Torna nosilnost (en vijak)

$\gamma_{M3,ULT} = 1,25$  mejno stanje nosilnosti + kontrola bočnega pritiska (kategorija C)

$\gamma_{M3,SER} = 1,10$  mejno stanje uporabnosti (kategorija B) + pri mejnem stanju nosilnosti kontrola za običajne vijake – strig, bočni pritisk, neto prerez

$\mu$  = torni koeficient (0,2 -0,5)

Določa se eksperimentalno s standardiziranim poskusom.

# Visokovredni prednapeti vijaki

## Torni koeficient $\mu$

Razred torne površine	Torni koeficient $\mu$
A: peskano + metalizirano (Al, Zn)	0,5
B: peskano + cink silikatni premaz	0,4
C: jeklena krtača ali plamen	0,3
D: neobdelana površina	0,2

- Tornih površin nikjer ne barvamo z navadnimi barvami antikorozijskimi zaščitami;
- vedno odstranimo rjo in mastne madeže;
- strižna nosilnost je vedno večja od torne nosilnosti;

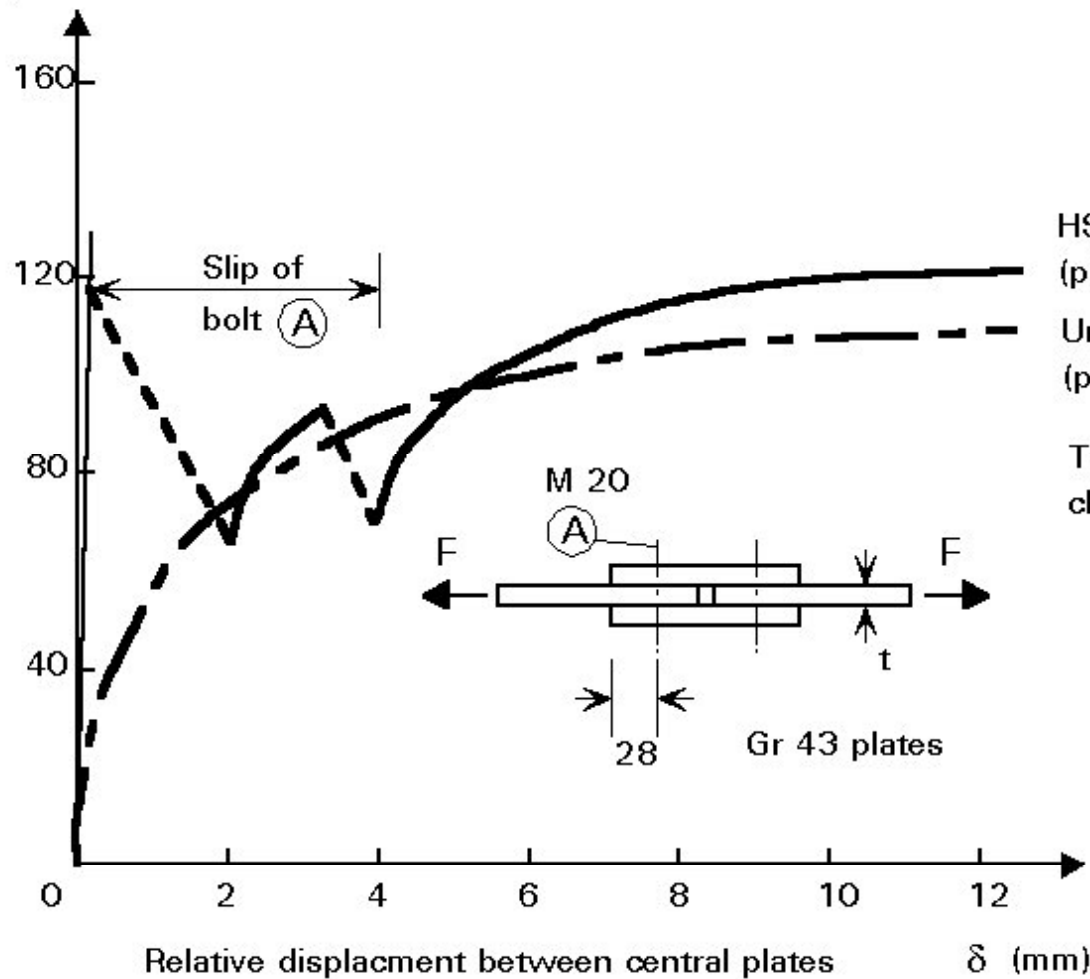
# Visokovredni prednapeti vijaki

- Torna nosilnost je približno enaka strižni nosilnosti navadnih vijakov 4.6, 5.6;
- pri tornih spojih v **MSN** obvezno preverimo še **bočni pritisk** in **neto preseke**;
- pri tornih spojih v **MSU** pa za **MSN kontrola kot pri navadnih vijakih**.

# Visokovredni prednapeti vijaki

## Mejna nosilnost

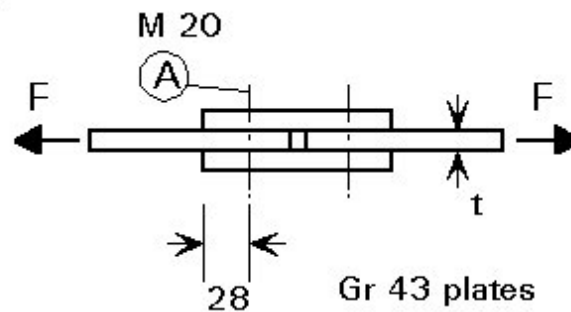
Load F(kN)



HSFG bolts,  $t = 6,5\text{mm}$   
(plate bearing failure)

Untensioned bolts,  $t = 6,5\text{mm}$   
(plate bearing failure)

The displacement due to  
clearance holes is not indicated



# Visokovredni prednapeti vijaki

## Natezna nosilnost

Kot pri navadnih vijakih.

## Torna in natezna nosilnost (en vijak)

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

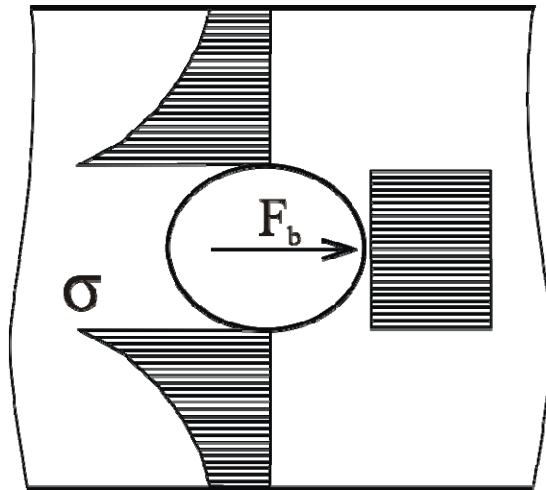
pri spojih kategorije C: 
$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0,8 F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}}$$

**Pri momentnih spojih ni potrebno zmanjšati torne nosilnosti – v natezni coni manj → v tlačni več.**

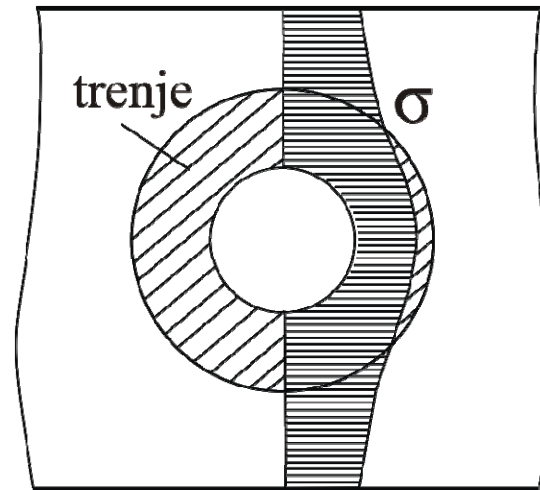
# Visokovredni prednapeti vijaki

## Utrujanje: DOBRE LASTNOSTI

- ni medsebojnih zamikov
- **torna nosilnost – ni koncentracij napetosti ob luknji**



a) Navadni vijaki:  
koncentracija napetosti

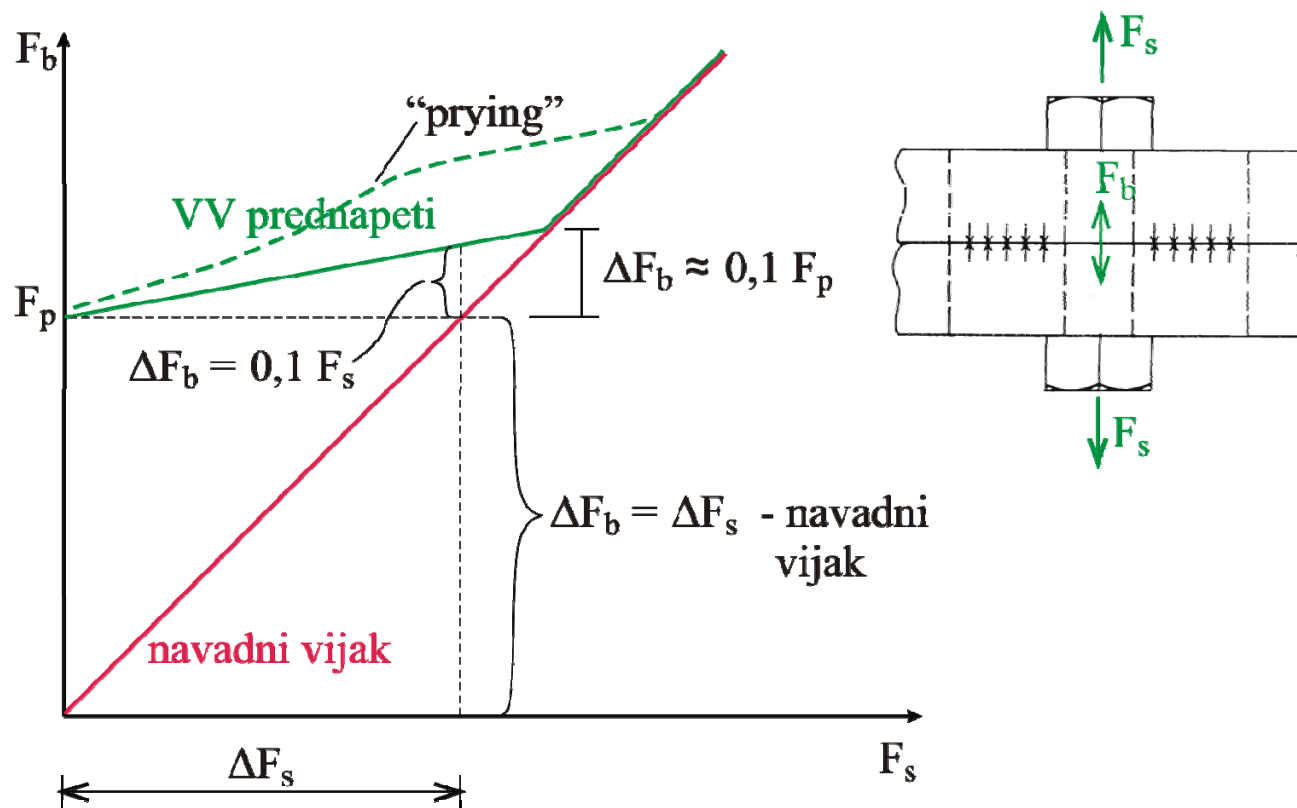


b) VV prednapeti vijaki: ni  
izrazitih konc. napetosti

# Visokovredni prednapeti vijaki

## Utrujanje: DOBRE LASTNOSTI

- natezna obremenitev

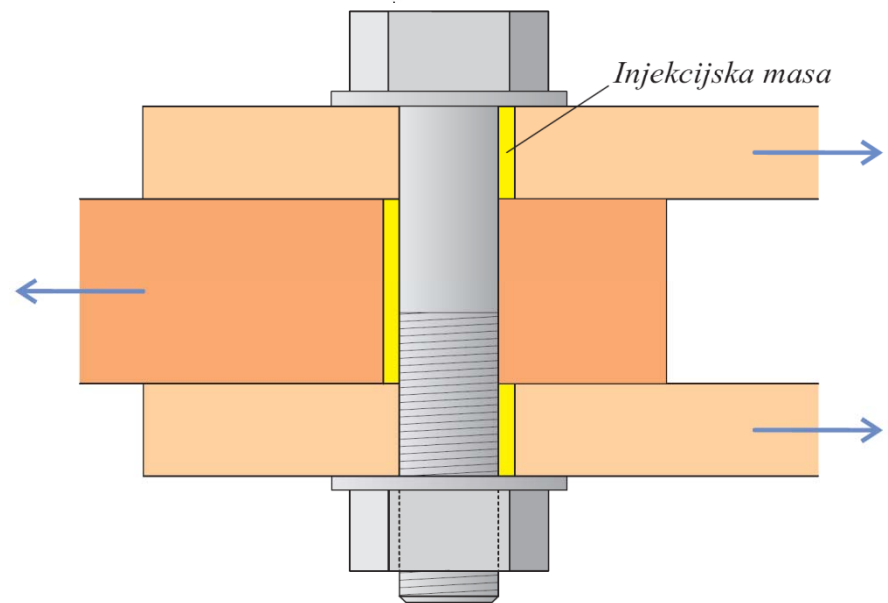


Manjši  $\Delta F_b$  pomeni manjši vpliv utrujanja.

# Druge vrste vijakov

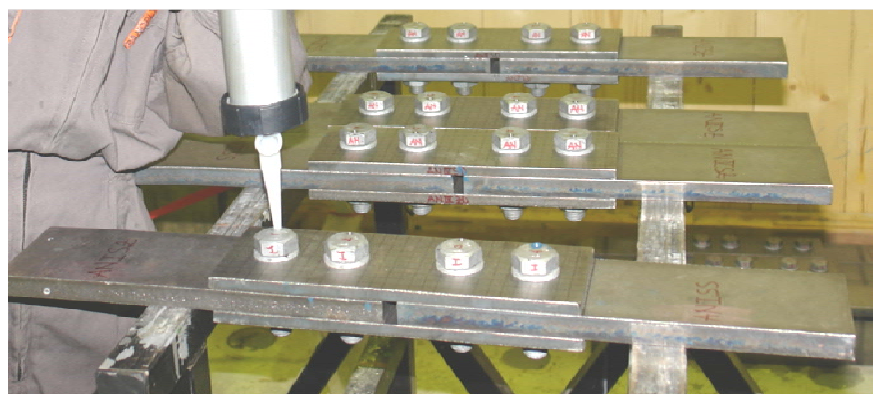
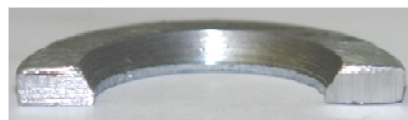
Podobne lastnosti kot VV prednapeti vijaki imajo tudi:

- **vijaki s točnim naleganjem:**  $\Delta d \leq 0,3$  mm. Potrebna je velika natančnost → dragi stiki;
- **injektirani vijaki:** prostor med vijakom in pločevino zapolnimo z maso – enostavno, poceni → vedno večja uporaba.
- lahko jih prednapnemo

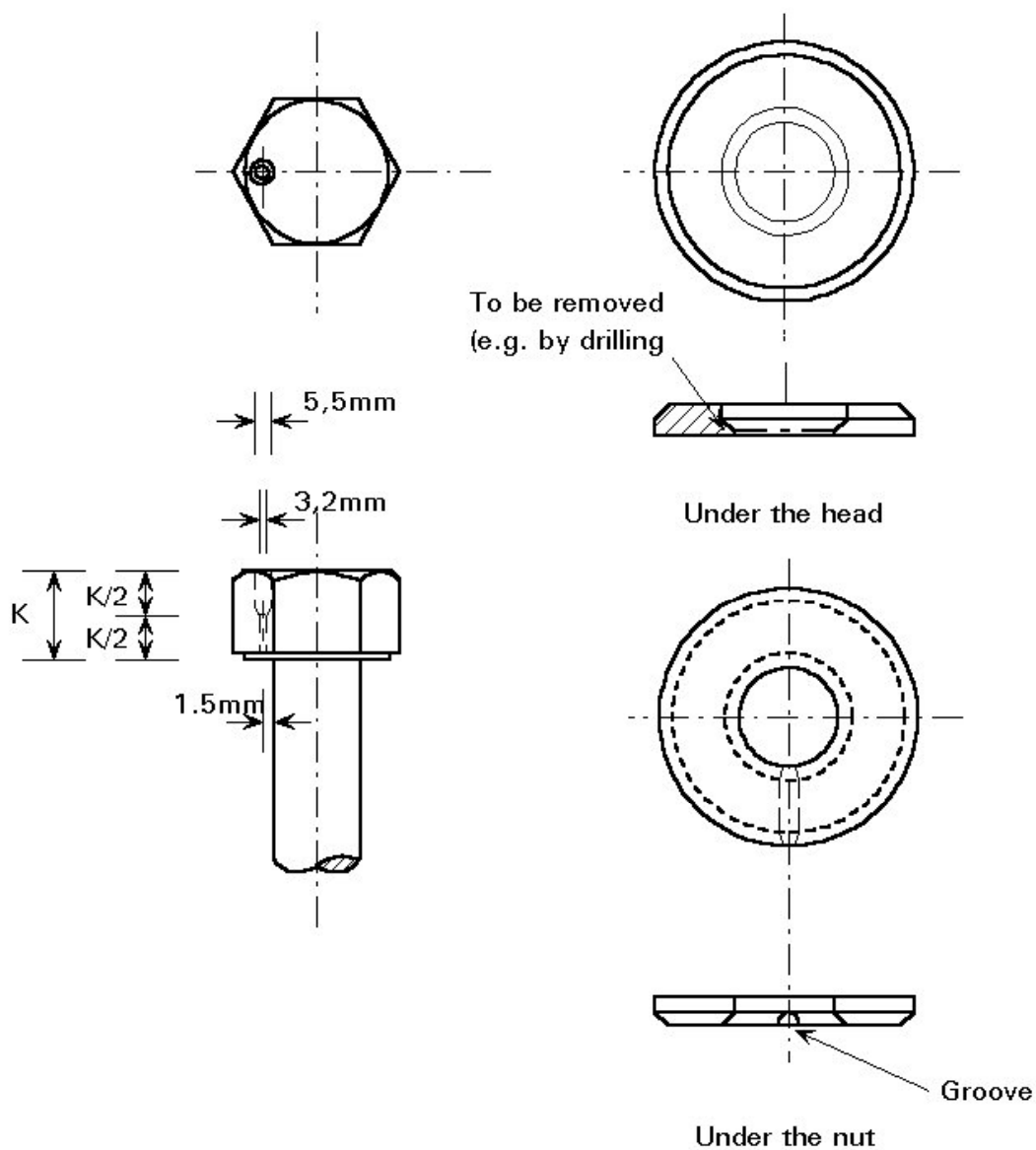




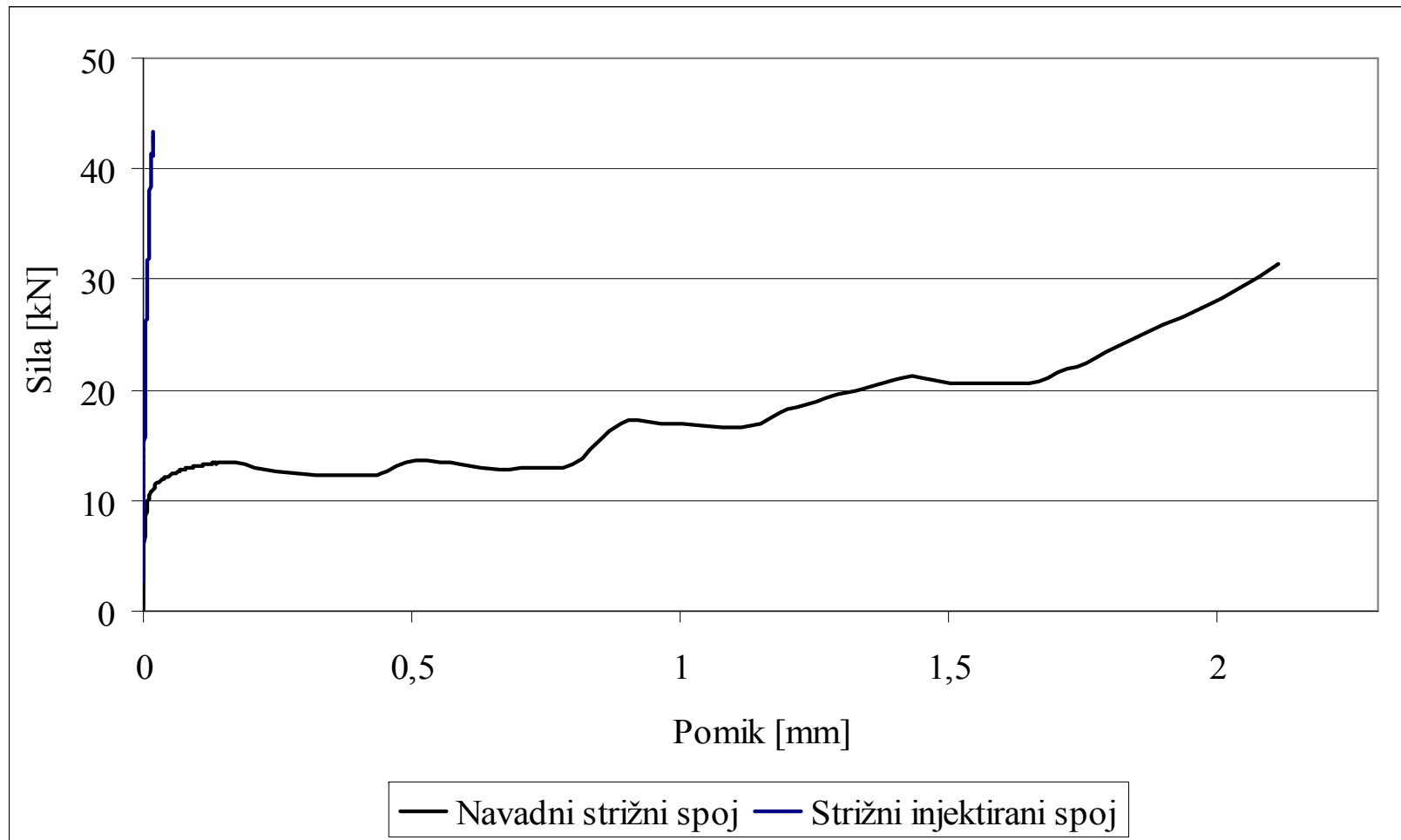
# Injektirani vijaki



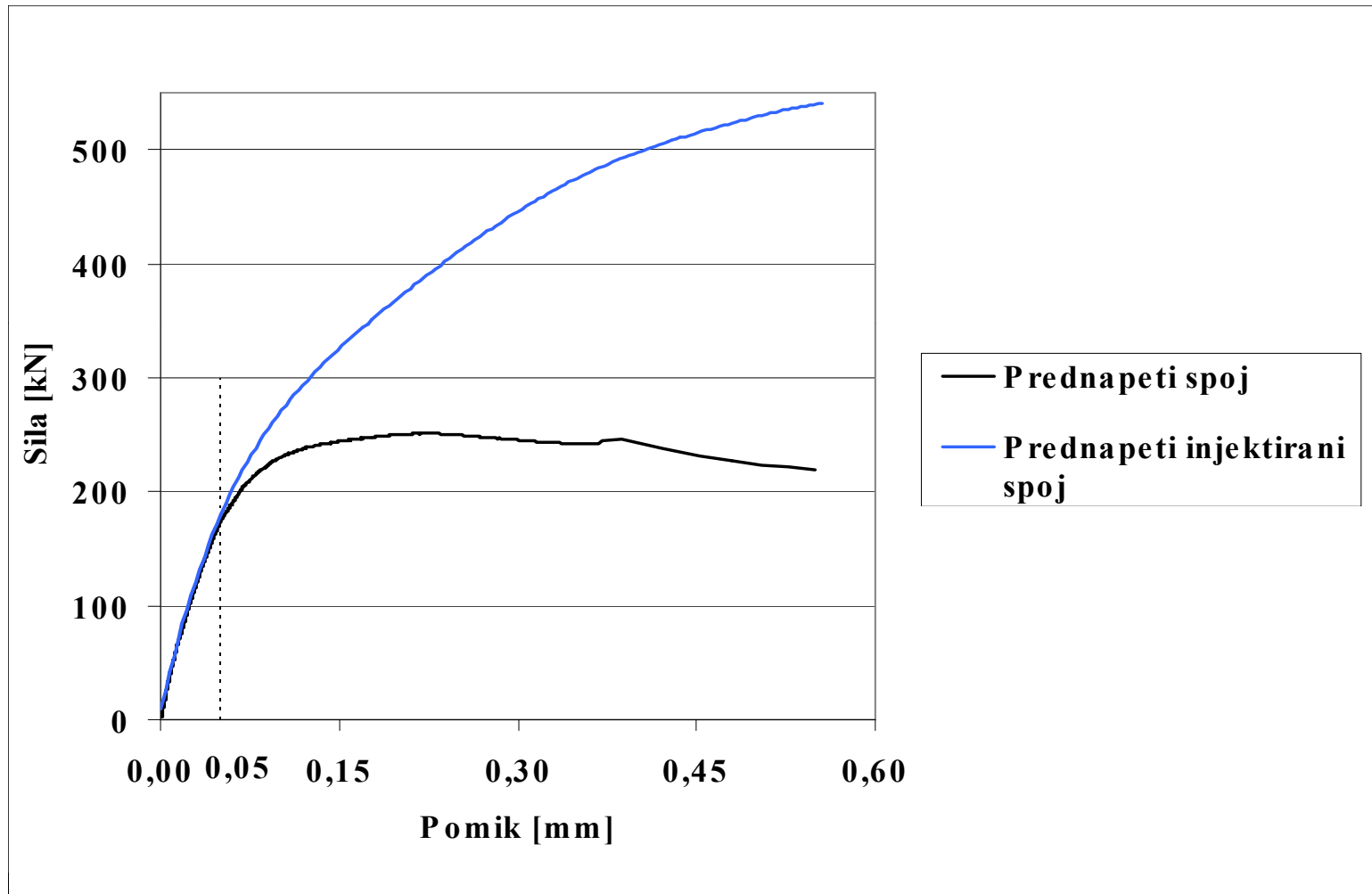
# Injektirani vijaki



# Primerjava nosilnosti navadnih in injektiranih vijakov



# Primerjava: prednapeti in prednapeti injektirani spoj



# Primerjava

## Običajni vijaki:

DOBRO:

- poceni;
- enostavna vgradnja.

SLABO:

- slabe lastnosti pri utrujanju;
- zdrsi.

## VV prednapeti vijaki:

DOBRO:

- zelo dobre lastnosti pri utrujanju;
- togi stiki.

SLABO:

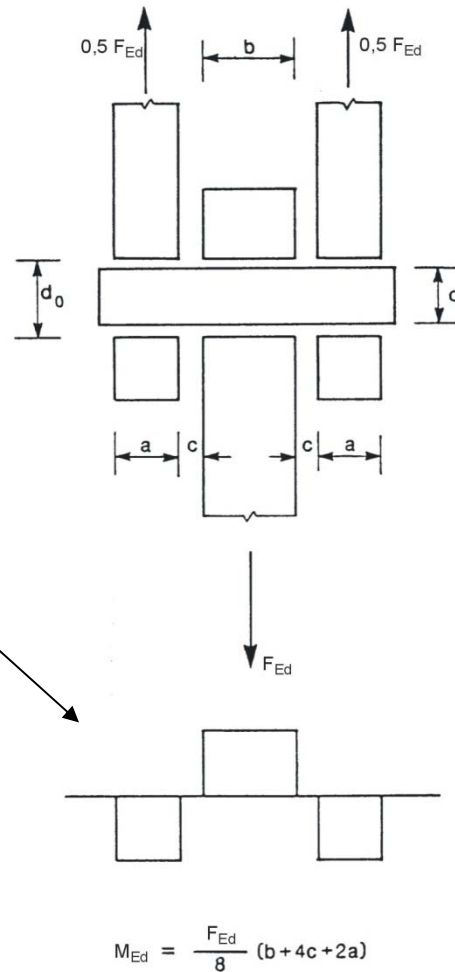
- dragi;
- težje vgrajevanje – postopki prednapenjanja;
- potrebni bolj izurjeni delavci.

# Čepi

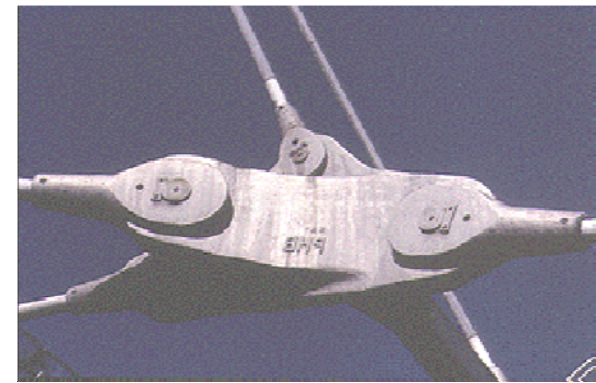
Uporaba:

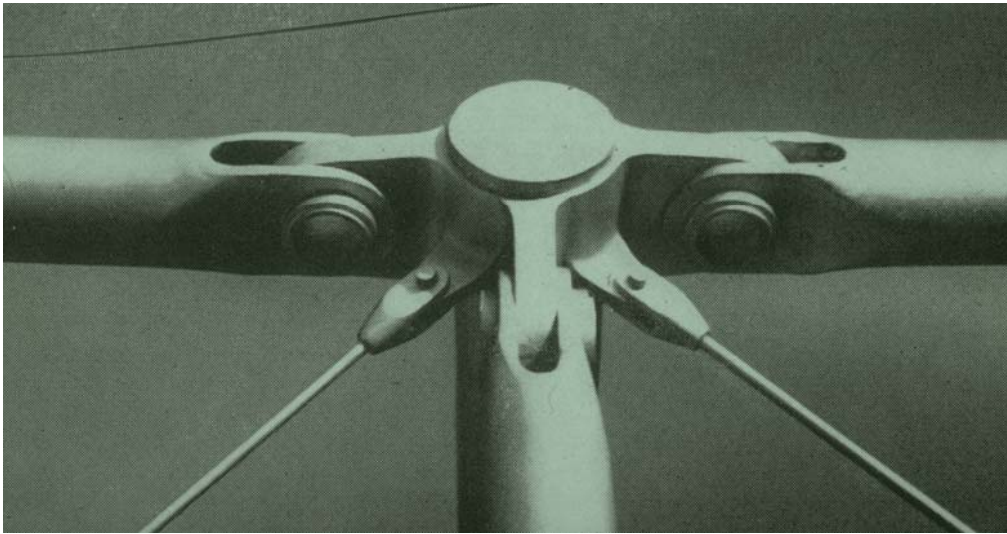
Uporabljajo se tam, kjer želimo imeti pravi členek – npr.: **vešalke**

Upogibni moment v čepu:



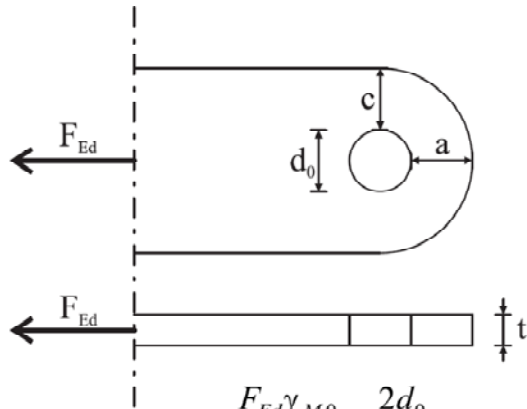
Upogibna obremenitev, ki je v vijaku ni!





# Čepi - geometrija

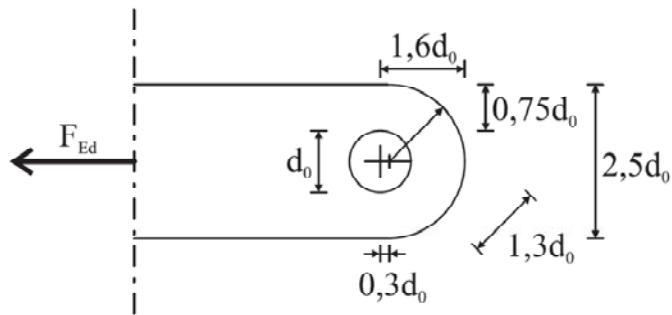
Tip A: Podana debljina  $t$



$$a \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{2d_0}{3}$$

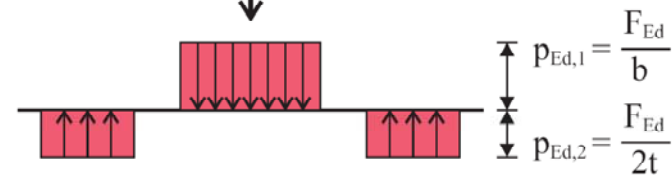
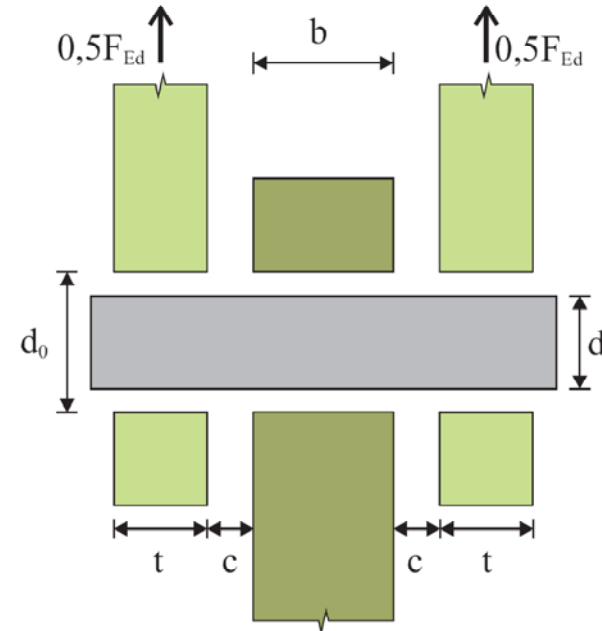
$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Tip B: Podana geometrija

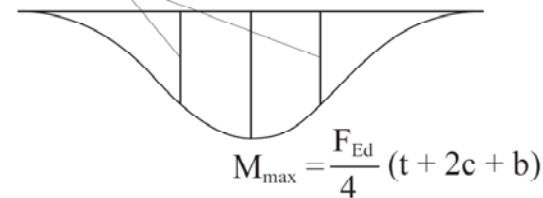


$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y}}$$

$$d_0 \leq 2,5t$$



$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{2} \left( \frac{t}{2} + c \right)$$



$$M_{max} = \frac{F_{Ed}}{4} (t + 2c + b)$$



# Projektna nosilnost čepov

način porušitve	projektne zahteve
strižna nosilnost čepa	$F_{v,Rd} = 0,6 A f_{up} / \gamma_{M2} \geq F_{v,Ed}$
nosilnost na bočni pritisk za pločevino in čep	$F_{b,Rd} = 1,5 d \cdot t \cdot f_y / \gamma_{M0} \geq F_{b,Ed}$
če je predvideno, da bo čep zamenljiv, je potrebno izpolniti tudi ta pogoj.	$F_{b,Rd,ser} = 0,6 d t f_y / \gamma_{M6,ser} \geq F_{b,Ed,ser}$
upogibna nosilnost čepa	$M_{Rd} = 1,5 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M0} \geq M_{Ed}$
če je predvideno, da bo čep zamenljiv, je potrebno izpolniti tudi ta pogoj.	$M_{Rd,ser} = 0,8 W_{el} f_{yp} / \gamma_{M6,ser} \geq M_{Ed,ser}$
istočasno delovanje upogibnega momenta in striga v čepu	$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 \leq 1$
$d$ je premer čepa;	$f_{yp}$ je napetost tečenja čepa;
$f_y$ je manjša od napetosti tečenja za čep in priključeni element;	$t$ je debelina priključenega elementa;
$f_{up}$ je natezna trdnost čepa;	$A$ je površina prečnega prereza čepa.