

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*



## PROJEKTIRANJE JEKLENIH KONSTRUKCIJ

V SKLADU Z EVROKODOM 3

KRATEK POVZETEK

Darko Beg

Delovno gradivo za vaje pri predmetih Jeklene konstrukcije I, Jeklene konstrukcije II in Jeklene stavbe in mostovi. Gradivo je dovoljeno uporabljati pri računskih izpitih Jeklene konstrukcije I in Jeklene konstrukcije II (brez dodatno vpisanih komentarjev).



**Kazalo:**

1	MEHANSKE LASTNOSTI JEKLA	3
2	NEPOPOLNOSTI PRI GLOBALNI ANALIZI OKVIROV	5
3	POSEBNE LASTNOSTI PREČNIH PREREZOV	9
3.1	Kompaktnost prečnih prerezov	9
3.2	Bruto in neto prerezi	11
3.3	Vitki prerezi in metoda sodelujoče širine	12
3.4	Prečni prerezi v nategu (vsi razredi kompaktnosti)	14
3.5	Prečni prerezi v tlaku	15
3.6	Prečni prerezi v enoosnem upogibu	15
3.7	Prečni prerezi v strigu	16
3.8	Torzijsko obremenjeni prečni prerezi	18
3.9	Prečni prerezi, obremenjeni z enoosnim upogibom in strigom (1., 2. in 3. razred kompaktnosti)	20
3.10	Prečni prerezi, obremenjeni z upogibnim momentom, osno silo in prečno silo	24
4	STABILNOST	25
4.1	Upogibni uklon	25
4.2	Torzijski in upogibno-torzijski uklon	29
4.3	Bočna zvrnitev upogibnih nosilcev	30
4.3.1	Uklonske krivulje za bočno zvrnitev – splošni primer	37
4.3.2	Uklonske krivulje bočne zvrnitve za standardne vroče valjane prereze in enakovredne varjene prereze	38
4.3.3	Poenostavljeno preverjanje bočne zvrnitve za nosilce v stavbah (metoda tlačene pasnice)	40
4.4	Tlačno in upogibno obremenjeni elementi	41
4.5	Tlačno in upogibno obremenjene palice s sestavljenim prečnim prerezom	43
5	VEZNA SREDSTVA	45
5.1	Vijaki, matice in podložke	45
5.1.1	Razpored lukenj za vijake	47
5.1.2	Projektna nosilnost vijakov	48
5.1.3	Projektna torzna nosilnost	53
5.1.4	Oslabitve prečnih prerezov zaradi lukenj za vijake	54
5.1.5	Skupine vijakov	56
5.2	Projektna nosilnost zakovic	57
5.3	Čepi	58
5.4	Zvari	60
5.4.1	Čepasti zvari	64
6	SPOJI	66
6.1	Spoji pod vplivi torzijske obremenitve	66
6.2	Upogibno obremenjeni spoji	66
7	MEJNO STANJE UPORABNOSTI	69
	PRILOGA 1: PODATKI ZA RAČUNANJE NOSILNOSTI T-ELEMENTOV V MOMENTNIH SPOJIH	73
	PRILOGA 2: TABELE KONSTRUKCIJSKIH DETAJLOV ZA UTRUJANJE	77
	PRILOGA 3: SPEKTRI POSPEŠKOV ZA POTRESNO ANALIZO STAVB	88
	PRILOGA 4: TABELE STANDARDNIH PROFILOV	91



## 1 MEHANSKE LASTNOSTI JEKLA

Pr. 1. Nominalne vrednosti napetosti tečenja  $f_y$  in natezne trdnosti  $f_u$  za vroče valjana konstrukcijska jekla

standard in kvaliteta jekla	nominalna debelina elementa $t$ [mm]			
	$t \leq 40$ mm		$40 \text{ mm} < t \leq 80$ mm	
	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_u$ [N/mm <sup>2</sup> ]
<b>EN 10025-2</b>				
S 235	235	360	215	360
S 275	275	430	255	410
S 355	355	490	335	470
S 450	440	550	410	550
<b>EN 10025-3</b>				
S 275 N/NL	275	390	255	370
S 355 N/NL	355	490	335	470
S 420 N/NL	420	520	390	520
S 460 N/NL	460	540	430	540
<b>EN 10025-4</b>				
S 275 M/ML	275	370	255	360
S 355 M/ML	355	470	335	450
S 420 M/ML	420	520	390	500
S 460 M/ML	460	540	430	530
<b>EN 10025-5</b>				
S 235 W	235	360	215	340
S 355 W	355	490	335	490
<b>EN 10025-6</b>				
S 460 Q/QL/QL1	460	570	440	550

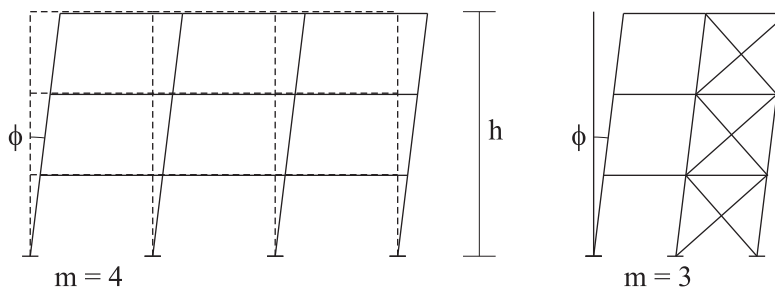
Pr. 2. Največje dovoljene debeline elementov  $t$  v mm

kvaliteta jekla	pod-kvaliteta	Charpy energija CVN		referenčna temperatura $T_{Ed}$ [°C]						
		pri $T$ [°C]	$J_{min}$	10	0	-10	-20	-30	-40	-50
S235	JR	20	27	60	50	40	35	30	25	20
	J0	0	27	90	75	60	50	40	35	30
	J2	-20	27	125	105	90	75	60	50	40
S275	JR	20	27	55	45	35	30	25	20	15
	J0	0	27	75	65	55	45	35	30	25
	J2	-20	27	110	95	75	65	55	45	35
	M,N	-20	40	135	110	95	75	65	55	45
	ML,NL	-50	27	185	160	135	110	95	75	65
S355	JR	20	27	40	35	25	20	15	15	10
	J0	0	27	60	50	40	35	25	20	15
	J2	-20	27	90	75	60	50	40	35	25
	K2,M,N	-20	40	110	90	75	60	50	40	35
	ML,NL	-50	27	155	130	110	90	75	60	50
S420	M,N	-20	40	95	80	65	55	45	35	30
	ML,NL	-50	27	135	115	95	80	65	55	45
S460	Q	-20	30	70	60	50	40	30	25	20
	M,N	-20	40	90	70	60	50	40	30	25
	QL	-40	30	105	90	70	60	50	40	30
	ML,NL	-50	27	125	105	90	70	60	50	40
	QL1	-60	30	150	125	105	90	70	60	50
S690	Q	0	40	40	30	25	20	15	10	10
	Q	-20	30	50	40	30	25	20	15	10
	QL	-20	40	60	50	40	30	25	20	15
	QL	-40	30	75	60	50	40	30	25	20
	QL1	-40	40	90	75	60	50	40	30	25
	QL1	-60	30	110	90	75	60	50	40	30

## 2 NEPOPOLNOSTI PRI GLOBALNI ANALIZI OKVIROV

### Nadomestne globalne nepopolnosti

Globalne nepopolnosti okvirov upoštevamo vedno. Podane so z deformirano obliko okvira (glej *Sl. 1*),



*Sl. 1.* Nadomestne globalne nepopolnosti

kjer je:

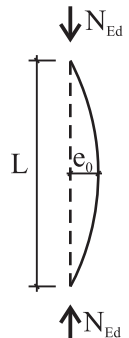
$$\begin{aligned} \phi &= \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m, \\ \phi_0 &= \frac{1}{200}, \\ \alpha_h &= \frac{2}{\sqrt{h}}, \text{ vendar } \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0, \\ \alpha_m &= \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}, \end{aligned} \quad (1)$$

$m$  – število stebrov v obravnavani ravnini okvira (vključeni so samo stebri, ki nosijo vsaj 50 % povprečne navpične obtežbe stebrov v obravnavani ravnini),

$h$  – višina okvira v metrih.

### Lokalne nadomestne nepopolnosti

Oblika in amplituda lokalnih nepopolnosti posameznih elementov je podana na *Sl. 2*.

	uklonska krivulja po <i>Sl. 10</i>	elastična analiza	plastična analiza
		$e_0 / L$	$e_0 / L$
	a <sub>0</sub>	1 / 350	1 / 300
	a	1 / 300	1 / 250
	b	1 / 250	1 / 200
	c	1 / 200	1 / 150
	d	1 / 150	1 / 100

*Sl. 2.* Projektne vrednosti amplitude lokalnih nepopolnosti

Lokalne nepopolnosti je v globalni analizi treba upoštevati le izjemoma, če sta izpolnjena naslednja pogoja:

- vsaj na enem koncu je element priključen z momentnim spojem,
- omejitev za vitkost tlačnega elementa je prekoračena:

$$\bar{\lambda} \geq 0,5 \sqrt{\frac{A f_y}{N_{Ed}}}, \quad (2)$$

kjer sta

$N_{Ed}$  – projektna vrednost tlačene osne sile v elementu,

$\bar{\lambda}$  – relativna vitkost elementa v ravnini okvira, izračunana z uklonsko dolžino, ki je enaka sistemski dolžini elementa.

Običajno kriterij (2) ni izpolnjen in lokalnih nepopolnosti ni potrebno upoštevati v globalni analizi. Njihov vpliv se upošteva v kontroli stabilnosti na nivoju posameznega elementa. Vpliv lokalnih nepopolnosti je namreč vključen v uklonske krivulje.

Za združeno lokalno in globalno nepopolnost se lahko namesto poenostavljenih pristopov (*Sl. 1* in *Sl. 2*) uporabi elastična uklonska oblika konstrukcije. Navodila za izračun amplitud so podana v SIST EN 1993-1-1, pogl. 5.3.2 (11).

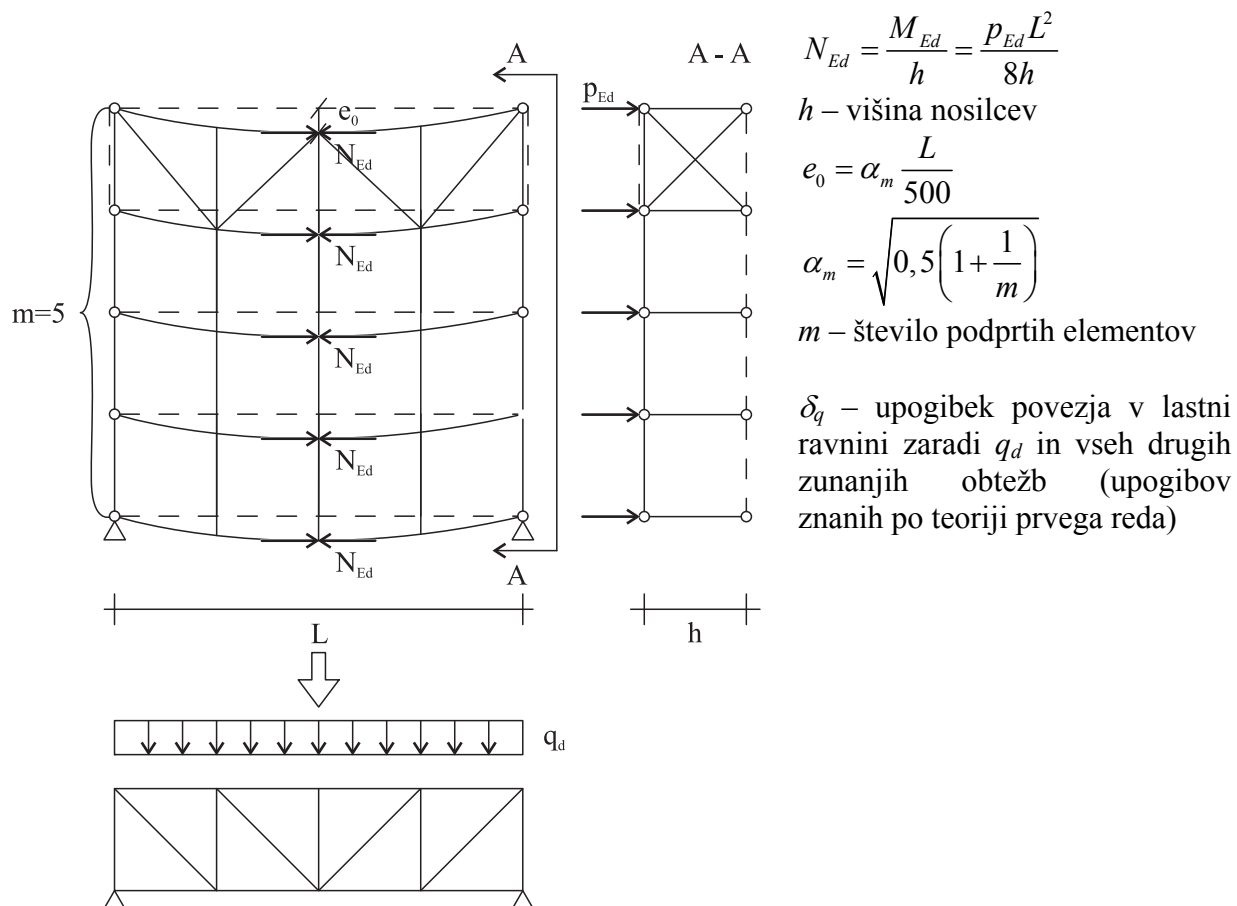
### Nepopolnosti pri globalni analizi povezij

Izbočne sile  $q_d$  na vodoravna povezja, ki podpirajo niz tlačnih pasov upogibnih nosilcev (glej *Sl. 3*), določimo z izrazom:

$$q_d = \sum_{i=1}^m N_{Ed,i} 8 \frac{(e_0 + \delta_q)}{L^2} \quad (3)$$

Če se sistem podprtih elementov in povezja računa po teoriji drugega reda, se  $\delta_q$  v izrazu (3) zanemari, nepopolnosti  $e_0$  pa se upoštevajo z izbočno silo  $q_d$ . Da lahko odigrajo svojo vlogo, morajo biti povezja dovolj toga in  $\delta_q$  naj ne bi presegal  $L/500$  ali celo  $L/1000$ . Vrednosti  $q_d$  pri različnih vrednostih  $\delta_q$  mm so podane v *Pr. 3*.



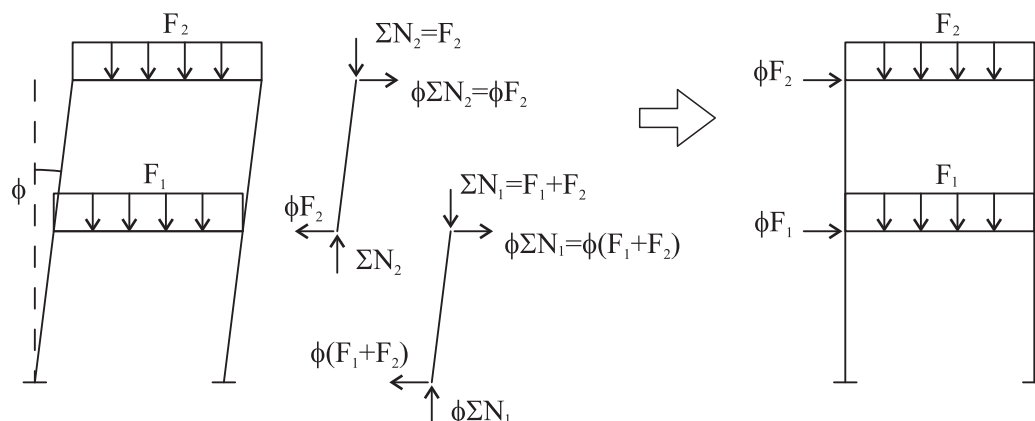


Sl. 3. Nadomestna izbočna sila pri vodoravnem povezju

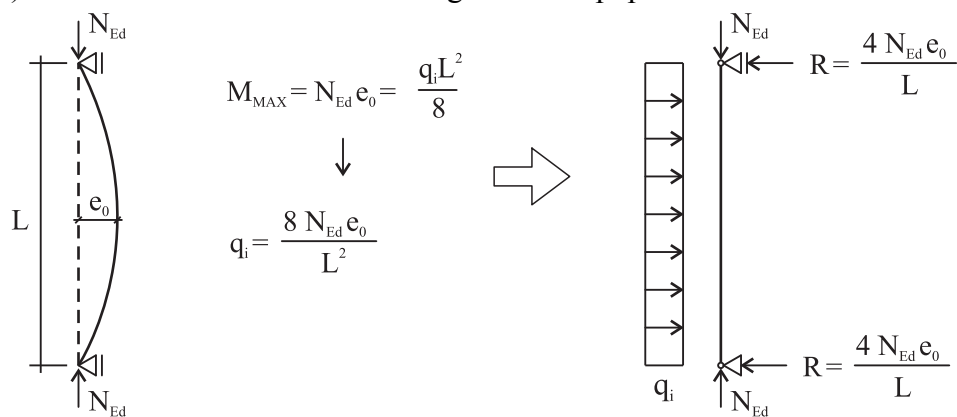
Pr. 3. Koefficienti  $\beta$  za izračun  $q_d$ 

$e_0 = \alpha_m \frac{L}{500}$		$m = 1$	$m = 2$	$m = 3$	$m = 4$	$m = 5$	$m = \infty$
$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$							
$m$ – število tlačnih elementov, ki jih poveže podpira	$\delta_q$	$\beta^*$					
$q_d = \sum_{i=1}^m N_{Ed,i} 8 \frac{(e_0 + \delta_q)}{L^2}$	$\frac{L}{2000}$	$\frac{1}{50,0}$	$\frac{1}{56,0}$	$\frac{1}{58,6}$	$\frac{1}{60,1}$	$\frac{1}{61,0}$	$\frac{1}{65,3}$
$q_d = \beta \frac{\sum_{i=1}^m N_{Ed,i}}{L}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{1}{46,9}$	$\frac{1}{52,1}$	$\frac{1}{54,4}$	$\frac{1}{55,6}$	$\frac{1}{56,4}$	$\frac{1}{60,1}$
	$\frac{L}{1000}$	$\frac{1}{41,7}$	$\frac{1}{45,8}$	$\frac{1}{47,5}$	$\frac{1}{48,4}$	$\frac{1}{49,0}$	$\frac{1}{51,8}$
	$\frac{L}{500}$	$\frac{1}{31,3}$	$\frac{1}{33,5}$	$\frac{1}{34,4}$	$\frac{1}{34,9}$	$\frac{1}{35,2}$	$\frac{1}{36,6}$

Vpliv globalnih in lokalnih nepopolnosti je mogoče nadomestiti s sistemom nadomestnih vodoravnih sil, ki zagotavljajo enako povečanje notranjih sil kot geometrijske nepopolnosti (glej Sl. 4).



a) nadomestne horizontalne sile za globalne nepopolnosti



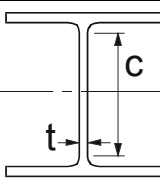
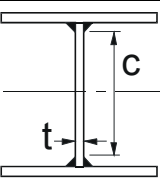
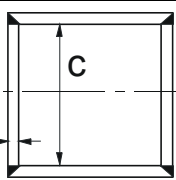
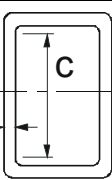
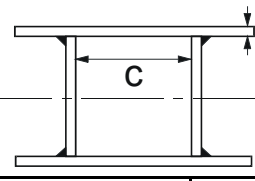
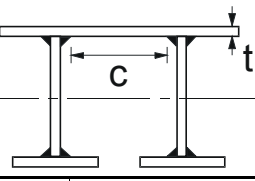
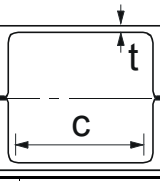
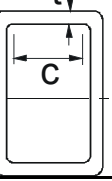
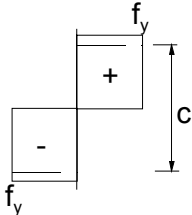
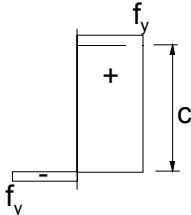
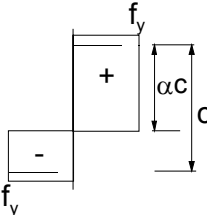
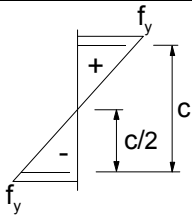
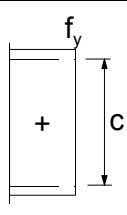
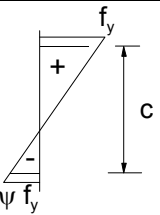
b) nadomestne horizontalne sile za lokalne nepopolnosti

Sl. 4. Nadomestne horizontalne sile, ki nadomeščajo geometrijske nepopolnosti

### 3 POSEBNE LASTNOSTI PREČNIH PREREZOV

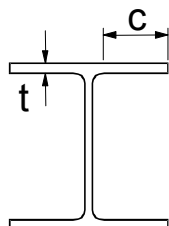
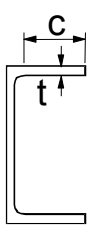
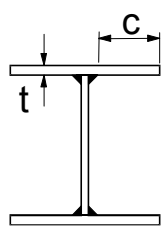
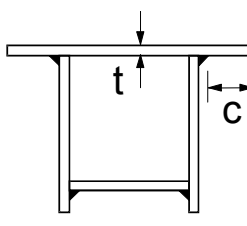
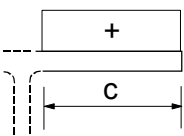
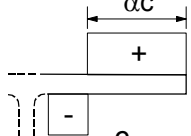
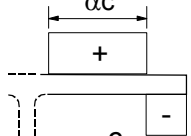
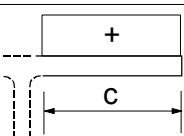
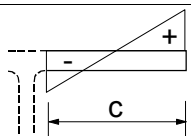
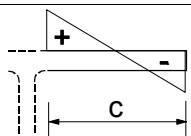
#### 3.1 Kompaktnost prečnih prerezov

Pr. 4. Največje razmerje širine proti debelini tlačnih delov prečnih prerezov

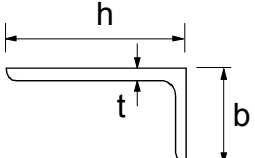
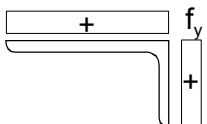
notranji tlačeni deli								
								Os upogiba
								Os upogiba
razred kompaktnosti	upogib	tlak	upogib in tlak					
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)								
1	$c/t \leq 72\varepsilon$	$c/t \leq 33\varepsilon$	pri $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$ pri $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{36\varepsilon}{\alpha}$					
2	$c/t \leq 83\varepsilon$	$c/t \leq 38\varepsilon$	pri $\alpha > 0,5$ : $c/t \leq \frac{456\varepsilon}{13\alpha - 1}$ pri $\alpha \leq 0,5$ : $c/t \leq \frac{41,5\varepsilon}{\alpha}$					
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)								
3	$c/t \leq 124\varepsilon$	$c/t \leq 42\varepsilon$	pri $\psi > -1$ : $c/t \leq \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi}$ pri $\psi \leq -1^*$ : $c/t \leq 62\varepsilon(1 - \psi)\sqrt{(-\psi)}$					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460		
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71		

\*)  $\psi \leq -1$  pride v poštev, ko je tlačna napetost  $\sigma < f_y$  ali natezna deformacija  $\varepsilon_y > f_y/E$

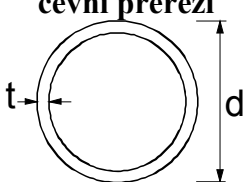
Pr. 4 (nadaljevanje). Največje razmerje širine proti debelini tlačnih delov prečnih prerezov

previsni deli pasnic						
						
vroče valjani prerezi				varjeni prerezi		
razred kompaktnosti	tlak	upogib in tlak				
		zunani rob tlačén		zunani rob v nategu		
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)						
1	$c/t \leq 9\varepsilon$	$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{9\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
2	$c/t \leq 10\varepsilon$	$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha}$		$c/t \leq \frac{10\varepsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$		
razpored napetost v delih prereza (tlačne pozitivne)						
3	$c/t \leq 14\varepsilon$	$c/t \leq 21\varepsilon\sqrt{k_\sigma}$ za $k_\sigma$ glej EN 1993-1-5				
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Pr. 4 (nadaljevanje). Največje razmerje širine proti debelini tlačnih delov prečnih prerezov

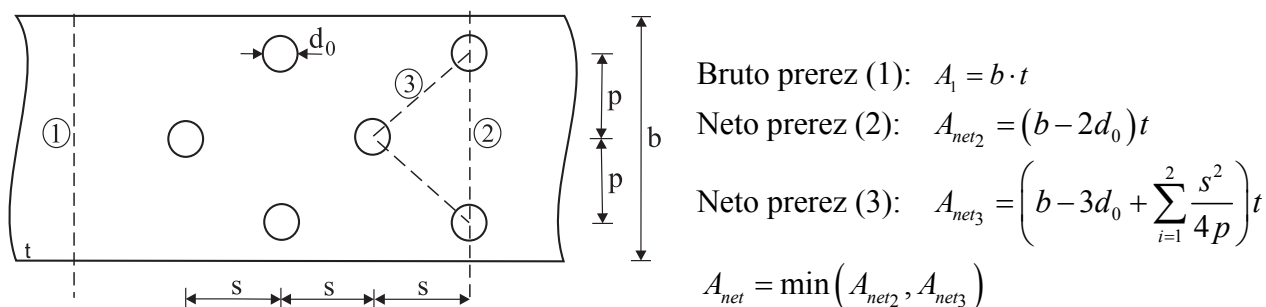
glej tudi "previsni deli pasnic"			Ne velja za kotnike v zveznem kontaktu z ostalimi komponentami.			
razred kompaktnosti	Prerez v tlaku					
razporeditev napetosti po prerezu (tlačne pozitivne)						
3	$h/t \leq 15\varepsilon$ in $\frac{b+h}{2t} \leq 11,5\varepsilon$					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71

Pr. 4 (nadaljevanje). Največje razmerje širine proti debelini tlačnih delov prečnih prerezov

cevni prerezi						
						
razred kompaktnosti	prerez v tlaku in/ali v upogibu					
1	$d/t \leq 50\varepsilon^2$					
2	$d/t \leq 70\varepsilon^2$					
3	$d/t \leq 90\varepsilon^2$					
	<b>OPOMBA</b> Za $d/t > 90\varepsilon^2$ glej EN 1993-1-6.					
$\varepsilon = \sqrt{235/f_y}$	$f_y$	235	275	355	420	460
	$\varepsilon$	1,00	0,92	0,81	0,75	0,71
	$\varepsilon^2$	1,00	0,85	0,66	0,56	0,51

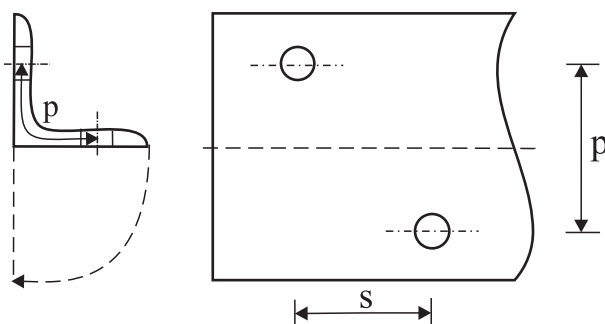
### 3.2 Bruto in neto prerezi

Geometrijske karakteristike bruto prečnega prereza določimo na osnovi nominalnih dimenzij brez upoštevanja lukenj za vijake in druga vezna sredstva (Sl. 5, prerez 1). Večje oslabitve prereza (npr. luknje za vodenje instalacij, izrezi) je treba upoštevati. Za neto površino prečnega prereza se vzame bruto površina in od nje odšteje površina lukenj za vezna sredstva in ostale odprtine ter izreze (Sl. 5, prerez 2). Kadar so luknje zamaknjene, je potrebno preveriti tudi ustrezne neto prereze, ki sledijo zamiku lukenj (Sl. 5, prerez 3).



Sl. 5. Bruto in neto prerezi

Pri kotnikih in drugih elementih z luknjami v več ravninah se pri določanju neto prereza razdalje merijo vzdolž srednje ravnine pločevine, ki sestavljajo prerez (Sl. 6).



Sl. 6. Kotniki z luknjami v obeh krakih

### 3.3 Vitki prerezi in metoda sodelujoče širine

SIST EN 1993-1-5 določa račun sodelujočih širin na naslednji način:

- pločevine, prečno podprte ob obeh vzdolžnih robovih (stojine I profilov, pasnice pri škatlastih profilih):

$$\rho = 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad (4)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ pri } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi} \quad (5)$$

- pločevine z enim prostim vzdolžnim robom (polovica pasnice I profilov, previsni elementi škatlastih profilov):

$$\rho = 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda}_p \leq 0,748, \quad (6)$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda}_p > 0,748, \quad (7)$$

kjer je:

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4\epsilon\sqrt{k_\sigma}}, \quad (8)$$

$$\sigma_{cr} = k_\sigma \frac{\pi_2 E t^2}{12(1-\nu^2)\bar{b}^2}, \quad (9)$$

$\psi$  – razmerje napetosti na robovih pločevin (Pr. 5, Pr. 6),

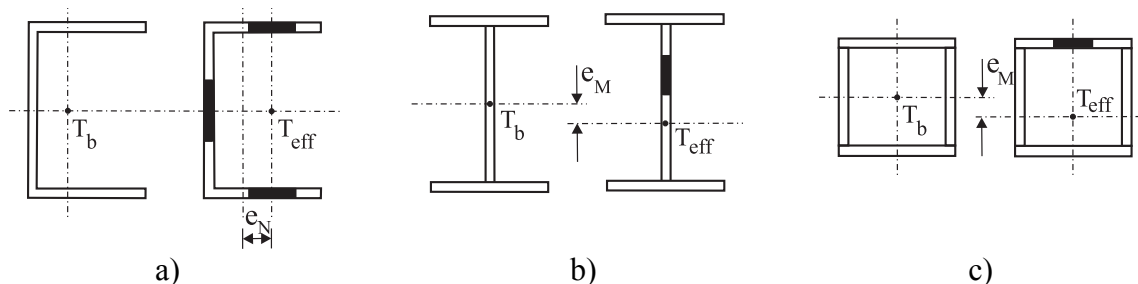
$\bar{b}$  – ustrezna širina pločevine, definirana v Pr. 4 (tam označena s  $c$ ). Za pasnice kvadratnih in pravokotnih votlih profilov se vzame zunanja širina, zmanjšana za 3 debeline stene,

$k_\delta$  – koeficient lokalnega izbočenja (Pr. 5, Pr. 6),

$t$  – debelina pločevine.

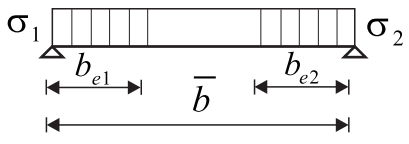
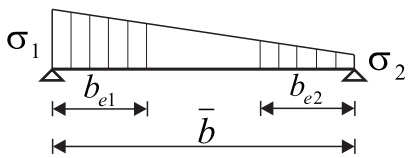
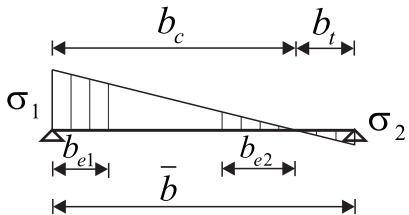
Ker je razmerje  $\psi$  odvisno od sodelujoče širine, je za določanje sodelujoče širine načeloma potreben iteracijski postopek. Pri I in škatlastih prerezih se lahko uporabi poenostavljen postopek: pri določanju sodelujoče širine v pasnicah lahko razmerje napetosti  $\psi$  določimo ob upoštevanju polnega prereza, sodelujočo širino v stojini pa potem določimo na osnovi sodelujoče širine pasnice in polnega prereza stojine.

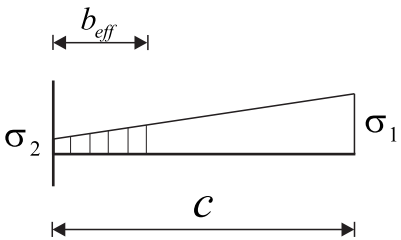
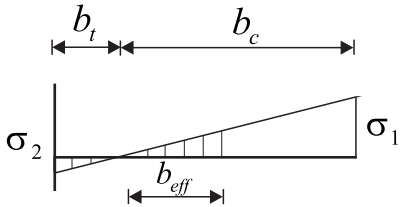
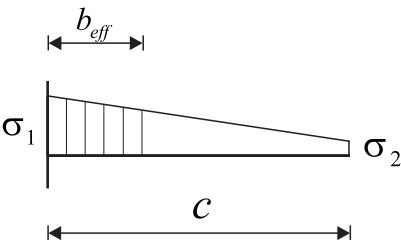
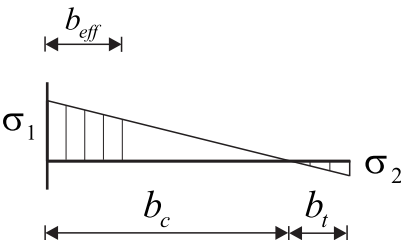
Ko vsakemu delu vitkega prečnega prereza posebej (brez interakcije) določimo sodelujočo širino, preostali sodelujoči prerez (Sl. 7) obravnavamo kot prerez 3. razreda kompaktnosti. V ta namen je potrebno izračunati novo težišče sodelujočega prereza, površino prereza  $A_{eff}$ , vztrajnostni moment  $I_{eff}$  in odpornostni moment  $W_{eff}$ . Pri nesimetričnih prerezih, obremenjenih samo s tlačno osno silo (Sl. 7 a), pride do spremembe lege ležišča  $e_N$  in dodatnega upogibnega momenta  $\Delta M = e_N N_{Ed}$ , ki ga je potrebno upoštevati pri dimenzioniranju.



Sl. 7. Sodelujoči prečni prerezi

Pr. 5. Sodelujoča širina pri pločevinah, podprtih ob obeh vzdolžnih robovih

razporeditev napetosti				sodelujoča širina $b_{eff}$		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5b_{eff}$ $b_{e2} = 0,5b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff}$ $b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot \bar{b}}{1-\psi}$ $b_{e1} = 0,4b_{eff}$ $b_{e2} = 0,6b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2/\sigma_1$	1	$1 > \psi \geq 0$	0	$0 > \psi \geq -1$	-1	$-1 > \psi > 3$
$k_\sigma$	4,0	$\frac{8,2}{1,05 + \psi}$	7,81	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98(1-\psi)^2$

razporeditev napetosti		sodelujoča širina $b_{eff}$			
		$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho \cdot c$			
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1 - \psi}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$-1 > \psi > -3$	
$k_\sigma$	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$	
		$1 > \psi \geq 0 :$ $b_{eff} = \rho \cdot c$			
		$\psi < 0 :$ $b_{eff} = \rho \cdot b_c = \frac{\rho \cdot c}{1 - \psi}$			
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1
$k_\sigma$	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5,0\psi + 17,1\psi^2$	23,8

### 3.4 Prečni prerezi v nategu (vsi razredi kompaktnosti)

- projektna nosilnost bruto prereza

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (10)$$

- projektna nosilnost neto prereza

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (11)$$

Merodajna je manjša od obeh nosilnosti. Kadar se pri projektiranju zahteva duktilno obnašanje (npr. pri metodi projektiranja nosilnosti), mora veljati:

$$N_{u,Rd} \geq N_{pl,Rd} \quad (12)$$



in

$$\frac{A_{net}}{A} \geq \frac{f_y \cdot \gamma_{M2}}{0,9 \cdot f_u \cdot \gamma_{M0}}. \quad (13)$$

### 3.5 Prečni prerezi v tlaku

#### 1., 2. in 3. razred kompaktnosti

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (14)$$

#### 4. razred kompaktnosti

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (15)$$

V tlačno obremenjenih elementih lukenj za vezna sredstva, razen povečanih in podaljšanih lukenj, ni potrebno upoštevati, če so zapolnjene z veznimi sredstvi.

### 3.6 Prečni prerezi v enoosnem upogibu

#### 1. in 2. razred kompaktnosti

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (16)$$

#### 3. razred kompaktnosti

$$M_{Ed} \leq M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (17)$$

#### 4. razred kompaktnosti

$$M_{Ed} \leq M_{c,Rd} = \frac{W_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (18)$$

$W_{pl}$ ,  $W_{el}$  in  $W_{eff}$  so plastični, elastični in efektivni odpornostni moment prečnega prereza. Če je natezna pasnica oslABLJENA z luknjami (npr. za vezna sredstva), mora biti za njo izpolnjen tudi kriterij (11). V tlačno obremenjenih delih prereza lukenj za vezna sredstva, razen povečanih in podaljšanih lukenj, ni treba upoštevati, če so zapolnjene z veznimi sredstvi.

### 3.7 Prečni prerezi v strigu

#### Kompaktne stojine

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 \frac{\varepsilon}{\eta} \quad (19)$$

$\eta$  je faktor z vrednostmi med 1,0 in 1,2, s katerim se lahko poveča plastična strižna nosilnost predvsem varjenih profilov (vpliv utrjevanja jekla in drugih parametrov), vendar tudi zaostri kriterij kompaktnosti (19). Za jekla S235 do S460 se lahko vzame  $\eta = 1,2$  (ali med 1,0 in 1,2), za jekla višje trdnosti pa  $\eta = 1,0$ .

- plastična strižna nosilnost

$$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}, \quad (20)$$

kjer je  $A_v$  površina strižnega prereza (Pr. 7).

- elastična strižna nosilnost

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I \cdot t} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}, \quad (21)$$

kjer je:

$\tau_{Ed}$  – projektna vrednost strižne napetosti,

$S$  – statični moment dela prereza nad obravnavano točko,

$I$  – vztrajnostni moment celotnega prečnega prereza,

$t$  – debelina stene prečnega prereza na mestu izračuna strižne napetosti.

Elastični izračun se pri stavbah uporablja le izjemoma, običajno v kombinaciji z Mies-ovim pogojem tečenja pri kontroli mejnega stanja uporabnosti.

## Pr. 7. Strižni prerezi tankostenskih prečnih prerezov

Vrsta prereza		Smer delovanja strižne sile	$A_v$	Oblika prereza
vroče valjani profili	I, H, U	vzporedno s stojino	$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ vendar $A_v \geq \eta h_w t_w$ (za I, H)	
	T		$0,9(A - bt_f)$	
varjeni profili	I, H, U, škatlasti	vzporedno s stojino	$\eta \sum (h_w t_w)$	
	T		$t_w \left( h - \frac{t_f}{2} \right)$	
valjani in varjeni I, H, U, škatlasti		vzporedno s pasnico	$A - \sum (h_w t_w)$	
valjani pravokotni votli profili		vzporedno z višino	$\frac{Ah}{b+h}$	
		vzporedno s širino	$\frac{Ab}{b+h}$	
okrogli votli profili in cevi		ni pomembno	$\frac{2A}{\pi} \approx 0,64A$	
pločevine in polni pravokotni profili		ni pomembno	$A$	

**Vitke stojine**

$$\frac{h_w}{t_w} > \frac{72\varepsilon}{\eta} \quad \begin{array}{c} \text{A} \\ \text{A} \\ \text{A-A} \\ t_w \\ h_w \end{array} \quad (22)a$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{31\varepsilon}{\eta} \sqrt{k_\tau} \quad \begin{array}{c} \text{B} \\ \text{B} \\ \text{B-B} \end{array} \quad (22)b$$

kjer je  $k_\tau$  koeficient strižnega izbočenja:

$$k_\tau = 5,34 + \frac{4,0}{\alpha^2} \quad \text{pri } \alpha \geq 1,0,$$

$$k_\tau = 4,0 + \frac{5,34}{\alpha^2} \quad \text{pri } \alpha < 1,0, \quad (23)$$

$$\alpha = \frac{a}{h_w}.$$

Za primere z vzdolžnimi ojačitvami glej SIST EN 1993-1-5.

$$V_{Ed} \leq V_{b,Rd} = \frac{\chi_w \cdot f_y \cdot h_w \cdot t_w}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}, \quad (24)$$

$$\chi_w = \eta \quad \text{pri } \bar{\lambda}_w \leq \frac{0,83}{\eta},$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} \quad \text{pri } \bar{\lambda}_w > \frac{0,83}{\eta},$$

kjer je:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3}\tau_{cr}}} = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_\tau}} \quad \text{– vitkost stojine v strigu,}$$

$\chi_w(\lambda_w)$  – redukcijski koeficient strižnega izbočenja (uklonska krivulja) za primer podajne robne ojačitve (konservativni pristop); za podrobnosti glej SIST EN 1993-1-5, pogl. 5.

**3.8 Torzijsko obremenjeni prečni prerezi**

Upoštevati je potrebno naslednje napetosti, ki izhajajo iz torzijske obremenitve:

- strižne napetosti  $\tau_{t,Ed}$  od deleža torzijskega momenta  $T_{t,Ed}$ , ki pripada Saint-Venantovi torziji,
- strižne napetosti  $\tau_{\omega,Ed}$  od deleža torzijskega momenta  $T_{\omega,Ed}$ , ki pripada ovirani torziji (za celoten torzijski moment  $T_{Ed}$  velja  $T_{Ed} = T_{t,Ed} + T_{\omega,Ed}$ ),
- normalne napetosti  $\sigma_{\omega,Ed}$  zaradi bimomenta  $B_{Ed}$ , ki se razvije pri ovirani torziji.

Pri sočasnem delovanju prečne sile in torzijskega momenta je potrebno strižno nosilnost stojin  $V_{pl,Rd}$  (20) ustrezno zmanjšati:

- I in H profili

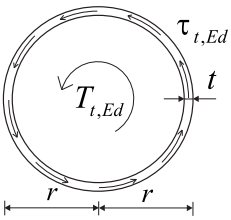
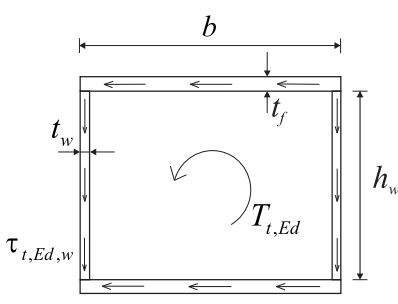
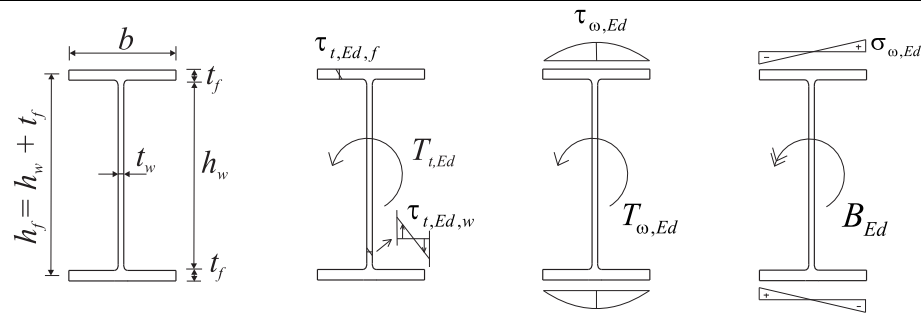
$$V_{Ed} \leq V_{pl,T,Rd} = V_{pl,Rd} \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} \quad (25)$$

- U profili

$$V_{Ed} \leq V_{pl,T,Rd} = \left[ \sqrt{1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{1,25(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}}} - \frac{\tau_{\omega,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} \quad (26)$$

- votli profili

$$V_{Ed} \leq V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{t,Ed}}{(f_y / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}} \right] V_{pl,Rd} \quad (27)$$

okrogli votli profili	
	$\tau_{t,Ed} \approx \frac{T_{t,Ed}}{2 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t}$ $I_t \approx 2 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot t \quad \left( \frac{t}{r} \ll 1 \right)$
pravokotni votli profili	
	$I_t = \frac{2 \cdot (h_w + t_f)^2 \cdot (b - t_w)^2}{\frac{h_w + t_f}{t_w} + \frac{b - t_w}{t_f}}$ $\tau_{t,Ed,f} \approx \frac{T_{t,Ed}}{2 \cdot (h_w + t_f) \cdot (b - t_w) \cdot t_f}$ $\tau_{t,Ed,w} \approx \frac{T_{t,Ed}}{2 \cdot (h_w + t_f) \cdot (b - t_w) \cdot t_w}$
I profili	
	$I_t \approx \frac{1}{3} \cdot (h_w \cdot t_w^3 + 2 \cdot b \cdot t_f^3)$ $\tau_{t,Ed,f} = \frac{T_{t,Ed} \cdot t_f}{I_t}$ $\tau_{t,Ed,w} = \frac{T_{t,Ed} \cdot t_w}{I_t}$ $I_{\omega} = \frac{b^3 \cdot t_f \cdot h_w^2}{24}$ $\tau_{\omega,Ed} = 1,5 \cdot \frac{T_{\omega,Ed}}{h_f \cdot b \cdot t_f}$ $\sigma_{\omega,Ed} = \frac{B_{Ed}}{b^2 \cdot t_f \cdot h_w / 6}$
Za druge prečne prereze glej npr. v: – SIST EN 1999-1-1, dodatek J [23] – Hajdin-Köllbrunner [22]	

### 3.9 Prečni prerezi, obremenjeni z enosnim upogibom in strigom (1., 2. in 3. razred kompaktnosti)

- Vpliva prečnih sil na projektno upogibno nosilnost prereza ni treba upoštevati, če velja:

$$V_{Ed} \leq 0,5 V_{pl,Rd} \quad (28)$$

- Pri  $V_{Ed} > 0,5 V_{pl,Rd}$  projektno upogibno nosilnost, zmanjšano zaradi vpliva prečnih sil, izračunamo tako, da v območju strižnega prereza upoštevamo zmanjšano napetost tečenja

$$f_{y,red} = (1 - \rho) f_y \quad (29)$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (30)$$

Za upogibno nosilnost  $M_{y,v,Rd}$  dvojnosiometričnih I in H prevezov torej velja:

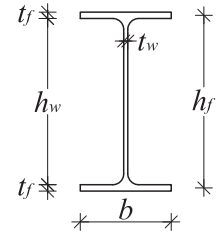
$$M_{Ed} \leq M_{y,v,Rd} = M_{f,Rd} + M_{w,Rd} (1 - \rho) \leq M_{y,c,Rd}, \quad (31)$$

kjer je:

$$M_{f,Rd} = b \cdot t_f \cdot h_f \cdot f_y / \gamma_{M0} \quad - \quad \text{plastična nosilnost pasnic,}$$

$$M_{w,Rd} = M_{pl,Rd} - M_{f,Rd} \quad - \quad \text{plastična nosilnost stojine,}$$

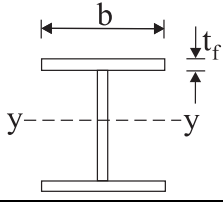
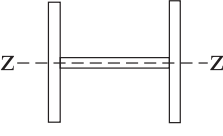
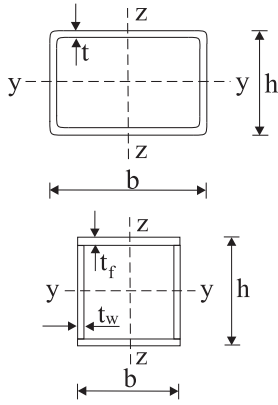
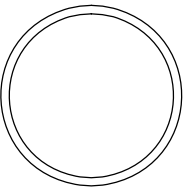
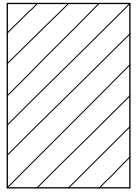
$M_{y,c,Rd}$  – mejna upogibna nosilnost glede na razred kompaktnosti prečnega prereza ( $M_{pl,Rd}$  za 1. in 2. razred in  $M_{el,Rd}$  za 3. razred).



Za praktično uporabo se lahko za dvojno simetrične I prezeze izraz (31) poenostavi v:

$$M_{Ed} \leq M_{y,v,Rd} = \left( W_{pl} - \rho \frac{h_w^2 \cdot t_w}{4} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (32)$$

## Pr. 9. Plastična nosilnost za enosni upogib z osno silo

prerez	nivo osne sile	$M_{N,Rd}$
	$n \leq 0,5a \leq 0,25$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$
	$n > 0,25$ ali $n > 0,5a$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{(1-0,5a)} \leq M_{pl,y,Rd}$
	$n \leq a \leq 0,5$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$
	$n > 0,5$ ali $n > a$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right]$
	$n \leq 0,5a_w \leq 0,25$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd}$
	$n > 0,25$ ali $n > 0,5a_w$	$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{(1-0,5a_w)} \leq M_{pl,y,Rd}$
	$n \leq 0,5a_f \leq 0,25$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd}$
	$n > 0,25$ ali $n > 0,5a_f$	$M_{N,z,Rd} = M_{pl,z,Rd} \frac{1-n}{(1-0,5a_f)} \leq M_{pl,z,Rd}$
	$n \leq 0,15$	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd}$
	$n > 0,15$	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1-n^{1,7})$
	za vse vrednosti $n$	$M_{N,Rd} = M_{pl,Rd} (1-n^2)$
$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$	$a = \frac{A - 2bt_f}{A} \text{ (I, H profili)}$ $a_w = \frac{A - 2bt}{A} \text{ (HOP), } a_w = \frac{A - 2bt_f}{A} \text{ (varjeni)}$ $a_f = \frac{A - 2ht}{A} \text{ (HOP), } a_f = \frac{A - 2ht_w}{A} \text{ (varjeni)}$	



## Pr. 10. Plastična nosilnost za dvoosni upogib z osno silo

$\left[ \frac{M_{y,Ed}}{M_{Ny,Rd}} \right]^\alpha + \left[ \frac{M_{z,Ed}}{M_{Nz,Rd}} \right]^\beta \leq 1,0$		
Prerez	$\alpha$	$\beta$
I in H profili	2	$5n \geq 1,0$
okrogle cevi	2	2
pravokotni votli profili	$\frac{1,66}{1-1,13n^2} \leq 6$	$\frac{1,66}{1-1,13n^2} \leq 6$
polni pravokotni profili, pločevine	$1,73 + 1,8n^3$	$1,73 + 1,8n^3$
$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}}$		
Poenostavljen izraz, ki je na varni strani: $\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}} \leq 1,0$		

**3. razred kompaktnosti**

$$\sigma_{\max,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (33)$$

oziroma

$$\frac{N_{Ed}}{A \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,el} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{z,el} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0 \quad (34)$$

**4. razred kompaktnosti**

$$\sigma_{\max,Ed} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (35)$$

oziroma

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{z,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Nz}}{W_{eff,z} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0, \quad (36)$$

kjer je:

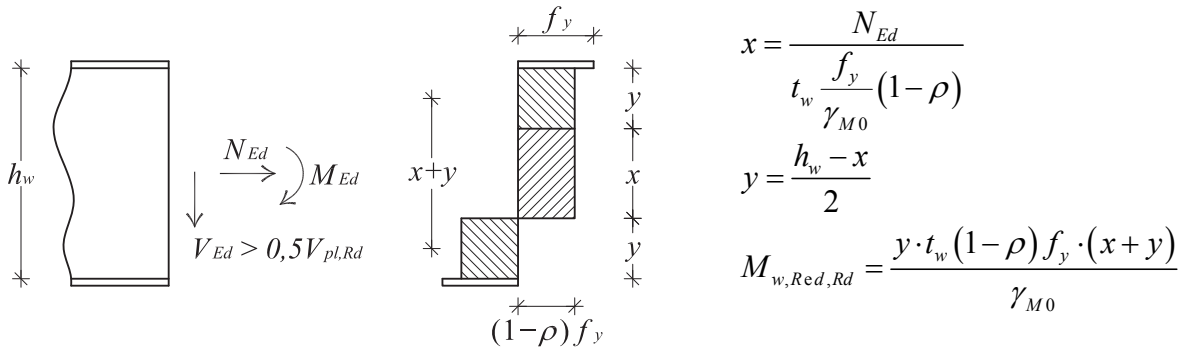
 $A_{eff}$  – površina sodelujočega prečnega prereza pri čistem tlaku, $W_{eff}$  – elastični odpornostni moment sodelujočega prečnega prereza pri čistem upogibu okoli obravnavane osi, $e_N$  – premik težiščne osi sodelujočega prereza glede na osnovni prerez pri čistem tlaku.

### 3.10 Prečni prerezi, obremenjeni z upogibnim momentom, osno silo in prečno silo

#### 1. in 2. razred kompaktnosti

Kadar pri osno in upogibno obremenjenih prerezih prečna sila  $V_{Ed}$  presega 50% plastične strižne nosilnosti  $V_{pl,Rd}$ , se mejna nosilnost prereza določi ob upoštevanju zmanjšane napetosti tečenja  $f_{y,red} = (1-\rho)f_y$  ( $\rho$  je določen z izrazom (30)). Na Sl. 8 je prikazan značilni potek napetosti v

mejnem stanju, ki je podan z izrazom (37) (velja za  $N_{Ed} \leq N_{pl,w,Red,Rd} = \frac{h_w t_w (1-\rho) f_y}{\gamma_{M0}}$ ).



Sl. 8. Mejno stanje prereza, obremenjenega z upogibnim momentom, osno in prečno silo

$$M_{Ed} \leq M_{pl,NV,Rd} = M_{f,Rd} + M_{w,Red,Rd} \quad (37)$$

#### 3. razred kompaktnosti

Za strižno kompaktno prereze v 3. razredu kompaktnosti, pri katerih je  $V_{Ed} > 0,5 V_{pl,Rd}$ , se lahko za kontrolo nosilnosti uporabi konservativen Misesov pogoj tečenja ali pa ena od izpeljank izraza (37)

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} \leq 1,0 - \rho \quad (38)$$

ali

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{el,y,Rd}} \leq 1,0 - \rho \frac{M_{w,Rd}}{M_{pl,Rd}}, \quad (39)$$

kjer je  $M_{w,Rd}$  plastična upogibna odpornost stojine.

Izraza (38) in (39) nista podana v SIST EN 1993-1-1, temeljita pa na izhodiščih tega standarda in ustreznih poenostavitvah.

#### 4. razred kompaktnosti in strižno vitki prerezi

Poenostavljena kontrola nosilnosti (glej tudi SIST EN 1993-1-5):

$$\frac{N_{Ed}}{A_{eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}} + \frac{M_{y,Ed} + N_{Ed} \cdot e_{Ny}}{W_{eff,y} \cdot f_y / \gamma_{M0}} \leq 1,0 - \rho, \quad (40)$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{b,Rd}} - 1 \right)^2.$$

## 4 STABILNOST

### 4.1 Upogibni uklon

#### 1., 2. in 3. razred kompaktnosti

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \chi A f_y / \gamma_{M1}, \quad (41)$$

kjer je:

- $N_{b,Rd}$  – projektna uklonska nosilnost tlačanih palic za upogibni uklon,  
 $\gamma_{M1} = 1,0$  – delni varnostni faktor odpornosti pri kontroli stabilnosti (uklon, bočna zvrnitev, interakcija upogiba in tlaka). Pri mostovih velja  $\gamma_{M1} = 1,1$   
 $\chi(\bar{\lambda}, \alpha)$  – redukcijski faktor upogibnega uklona (uklonska krivulja).

$$\chi = 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda} \leq 0,2, \quad (42)$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ pri } \bar{\lambda} > 0,2,$$

$$\phi = 0,5 \left( 1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right),$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \text{ ali } \bar{\lambda} = \frac{l_u}{i \lambda_1}, \quad (43)$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \text{ (vztrajnostni radij),}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_u^2} \text{ (Eulerjeva kritična sila),} \quad (44)$$

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon,$$

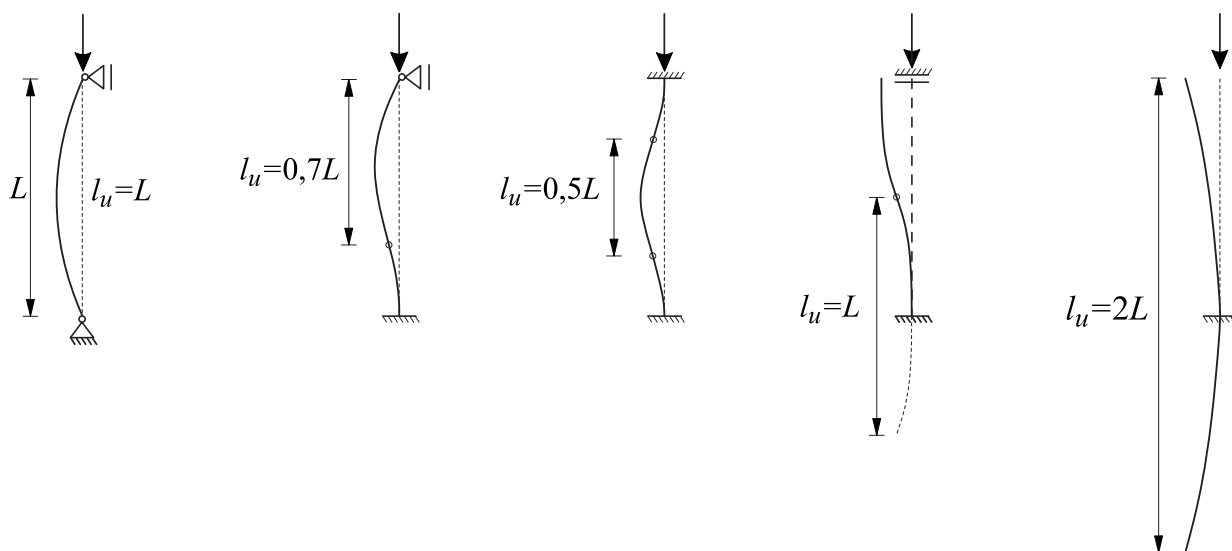
kjer je:

- $\bar{\lambda}$  – relativna vitkost,  
 $\alpha$  – faktor nepopolnosti,  
 $l_u$  – uklonska dolžina (Sl. 9),  
 $I$  – vztrajnostni moment.

Faktor nepopolnosti  $\alpha$  za posamezno uklonsko krivuljo se določi iz Pr. 11.

Vrednost redukcijskega faktorja  $\chi$  se v odvisnosti od parametrov  $\bar{\lambda}$  in  $\alpha$  lahko določi tudi iz diagramov na Sl. 10 in iz Pr. 12.

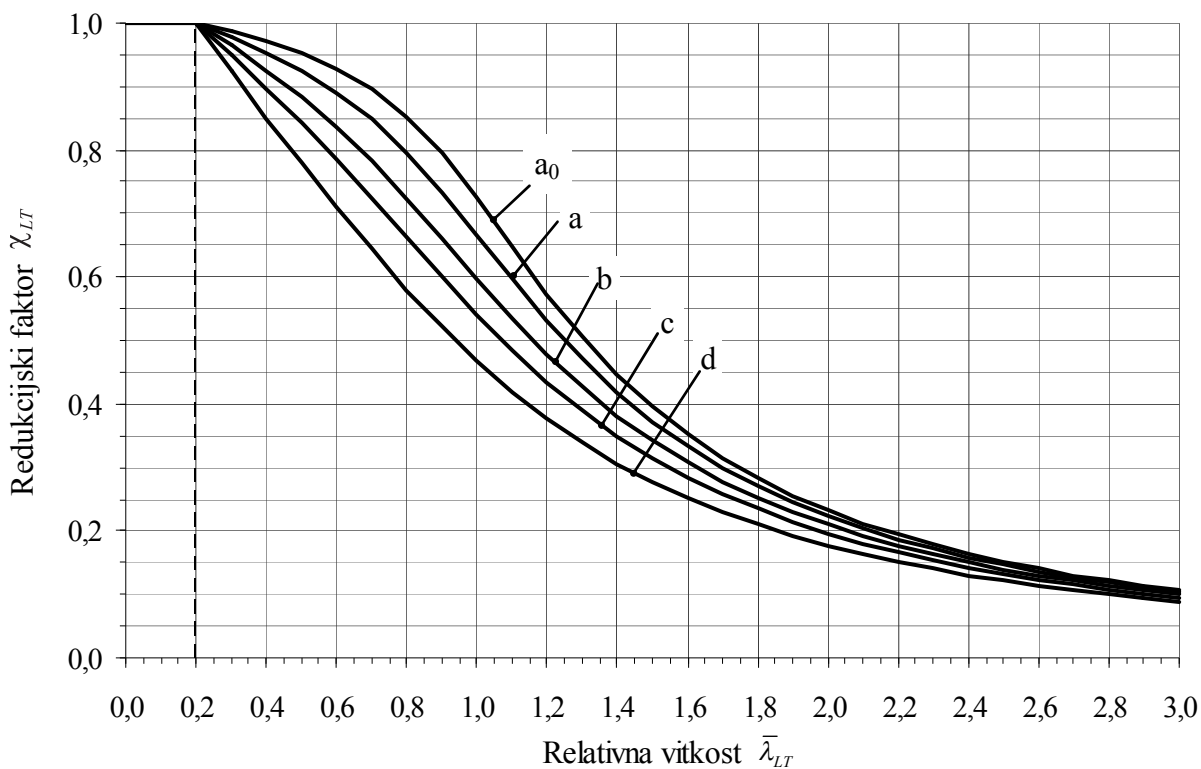
Izbira uklonskih krivulj za posamezne prečne prereze tlačanih palic se opravi s pomočjo Pr. 13.



Sl. 9. Uklonske dolžine

Pr. 11. Faktorji nepopolnosti uklonskih krivulj

uklonska krivulja	$a_0$	a	b	c	d
faktor nepopolnosti $\alpha$	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

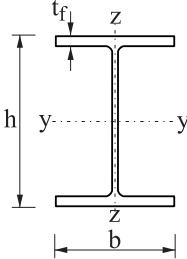
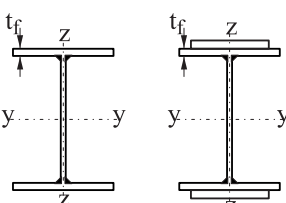

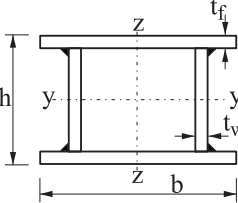
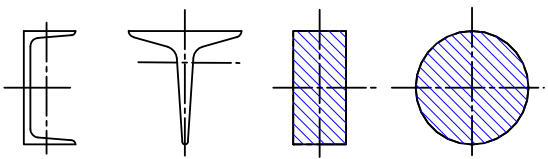
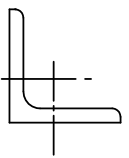


Sl. 10. Diagrami uklonskih krivulj

Pr. 12. Brezdimenzionalna uklonska nosilnost  $\chi$ 

$\bar{\lambda}$	$\chi$				
	$a_0$	a	b	c	d
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9859	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9701	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9513	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,9276	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8961	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,8533	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7961	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,7253	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,6482	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5732	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,5053	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4461	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3953	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3520	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,3150	0,2994	0,2781	0,2577	0,2289
1,8	0,2833	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2559	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2323	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2117	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1937	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1779	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1639	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1515	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1404	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1305	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1216	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1136	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1063	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

Pr. 13. Izbira uklonske krivulje glede na prečni prerez

prečni prerez	omejitve	uklon okoli osi	uklonska krivulja	
			S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
vroče valjani prerezi 	$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40$ mm y-y z-z	a	a <sub>0</sub>
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$ y-y z-z	b
	$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100$ mm y-y z-z	b	a
			$t_f > 100$ mm y-y z-z	d
varjeni I-prerezi 	$t_f \leq 40$ mm y-y z-z	b c	b c	
	$t_f > 40$ mm y-y z-z	c d	c d	
votli prerezi 	vroče izdelani	katera- koli	a	a <sub>0</sub>
	hladno oblikovani	katera- koli	c	c
varjeni škatlasti prerezi 	splošno (razen kot spodaj)	katera- koli	b	b
	debeli zvari: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $h/t_w < 30$	katera- koli	c	c
U-, T- in polni prerezi 		katera- koli	c	c
L-prerezi 		katera- koli	b	b

#### 4. razred kompaktnosti

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} = \chi A_{eff} f_y / \gamma_{M1}, \quad (45)$$

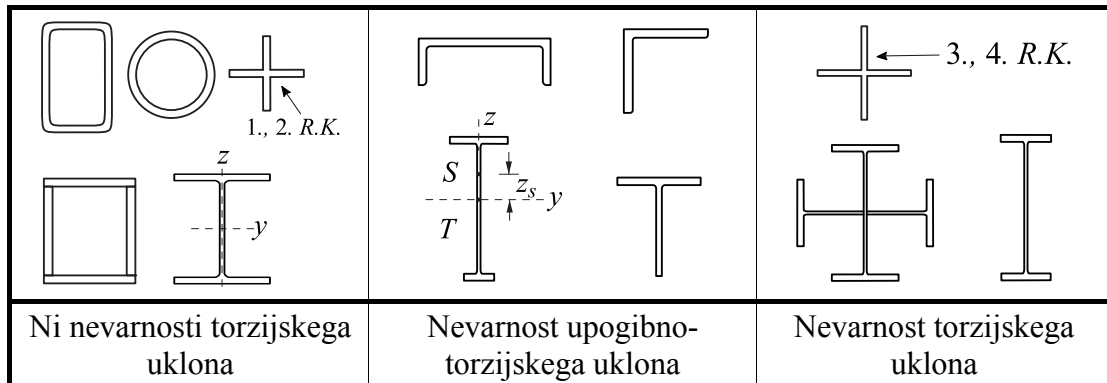
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}}, \quad (46)$$

kjer je  $N_{cr}$  izračunan za bruto prečni prerez tlačene palice.

## 4.2 Torzijski in upogibno-torzijski uklon

Pri tlačno obremenjenih elementih z odprtim prečnim prerezom in majhno torzijsko togostjo je potrebno preveriti nevarnost torzijskega in upogibno-torzijskega uklona. Te nevarnosti ni pri (glej Sl. 11):

- votlih in škatlastih prerezih,
- dvojno simetričnih H prerezih,
- pri prerezih z radialno potekajočimi pločevinami (kotniki, križi), če so v 1. ali 2. razredu kompaktnosti.



Sl. 11. Oblike prečnih prerezov in torzijski in upogibno-torzijski uklon – značilni primeri

Za enojno simetrične členkasto podprte tlačene palice ( $l_u = l$ ) s prosto vzbočitvijo prereza zaradi ovirane torzije na obeh koncih veljajo naslednje elastične kritične uklonske sile:

$$N_{cr,1} = N_{cr,y} \quad (47)$$

(1. (največja) uklonska sila pri upogibno torzijskem uklonu),

$$N_{cr,2,3} = \frac{1}{2 \left(1 - \frac{z_s^2}{i_s^2}\right)} \left[ (N_{cr,z} + N_{cr,T}) \pm \sqrt{(N_{cr,z} + N_{cr,T})^2 - 4N_{cr,z}N_{cr,T} \left(1 - \frac{z_s^2}{i_s^2}\right)} \right], \quad (48)$$

(2. in 3. uklonska sila pri upogibno-torzijskem uklonu)

kjer je:

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 EI_y}{l^2} - (\text{upogibni uklon okoli močne osi}), \quad (49)$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 EI_z}{l^2} - (\text{upogibni uklon okoli šibke osi}), \quad (50)$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_s^2} \left[ GI_t + \frac{\pi^2 EI_\omega}{l^2} \right] - (\text{torzijski uklon}), \quad (51)$$

$G$  – strižni modul jekla ( $\approx 8100$  MPa),

$I_t$  – torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni (Saint-Venantovi) torziji,

$I_\omega$  – torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji,

$$i_s^2 = \frac{I_y + I_z}{A} + z_s^2,$$

kjer je  $z_s$  koordinata strižnega središča glede na težišče prečnega prereza.

Pri dvojno simetričnih prerezih se lahko pojavi samo čisti torzijski uklon in zato primerjamo samo  $N_{cr,y}$ ,  $N_{cr,z}$  in  $N_{cr,T}$ .

Vitkost  $\bar{\lambda}_T$  pri torzijskem in upogibno-torzijskem uklonu se določi z izrazom (52), uklonska nosilnost pa se potem določi na enak način kot pri upogibnem uklonu.

$$\bar{\lambda}_T = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr,\min}}} \text{ ali } \sqrt{\frac{A_{\text{eff}} f_y}{N_{cr,\min}}}, \quad (52)$$

kjer je:

$$N_{cr,\min} = \min(N_{cr,z}, N_{cr,T}) \quad \text{za dvojno simetrične prereza ali}$$

$$N_{cr,\min} = \min(N_{cr,2,3}, N_{cr,T}) \quad \text{za enojno simetrične prereze.}$$

### 4.3 Bočna zvrnitev upogibnih nosilcev

Upogibni nosilci z okroglim ali pravokotnim votlim prerezom niso občutljivi na bočno zvrnitev. Enako velja za I nosilce, pri katerih je tlačena pasnica bočno podprta na dovolj majhnih razdaljah, ki preprečujejo bočno zvrnitev. V ostalih primerih je potrebno bočno zvrnitev preveriti z izrazom (53):

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1}, \quad (53)$$

kjer je:

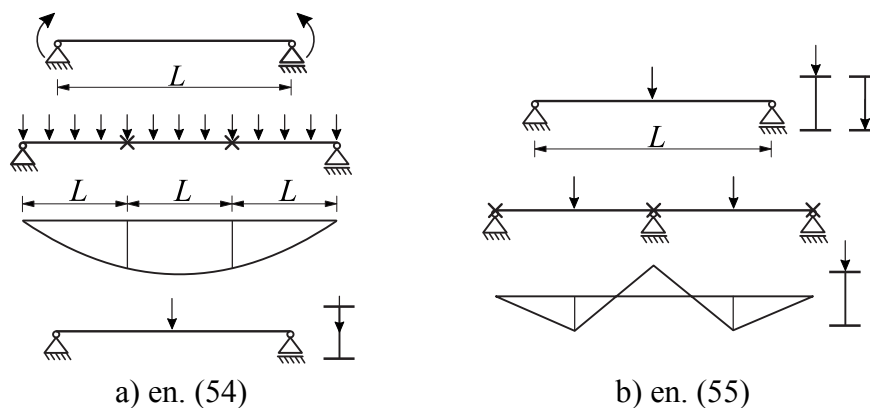
- $W_y$  – odpornostni moment prečnega prereza za močno os,
- $W_y = W_{pl,y}$  – 1. in 2. razred kompaktnosti,
- $W_y = W_{el,y}$  – 3. razred kompaktnosti,
- $W_y = W_{eff,y}$  – 4. razred kompaktnosti,
- $\chi_{LT}(\bar{\lambda}_{LT}, \alpha_{LT})$  – redukcijski faktor pri bočni zvrnitvi –glej 5.2.2 in 5.2.3,
- $\alpha_{LT}$  – faktor nepopolnosti (določa uklonsko krivuljo),
- $\bar{\lambda}_{LT}$  – relativna vitkost bočne zvrnitve,
- $M_{cr}$  – elastični kritični moment bočne zvrnitve.

Za dvojno simetrične prereze se lahko za račun  $M_{cr}$  uporabita naslednji enačbi:

- nosilci, obremenjeni z robnimi momenti brez prečne obtežbe vzdolž nosilca (oziroma z zanemarljivo majhno prečno obtežbo), in nosilci s prečno obtežbo, ki deluje v težišču prečnega prereza (Sl. 12 a).

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{k_z L} \sqrt{EI_z GI_t + \frac{\pi^2 EI_z EI_\omega}{(k_\omega L)^2}} \quad (54)$$





a) en. (54)

b) en. (55)

Sl. 12. Uporabno območje enačb za račun  $M_{cr}$ 

- nosilci s prečno obtežbo, ki ne deluje v težišču prečnega prereza (Sl. 12 b):

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 EI_z}{(k_z L)^2} \left\{ \sqrt{\left( \frac{k_z}{k_\omega} \right)^2 \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{GI_t (k_z L)^2}{\pi^2 EI_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\}, \quad (55)$$

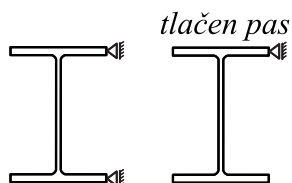
kjer je:

$I_z$  – vztrajnostni moment okoli šibke osi,

$I_t$  – torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni torziji,

$I_\omega$  – torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji,

$L$  – razmak med bočnimi podporami (bočno podprt celoten prerez ali vsaj tlačni pas),



$k_y, k_z$  – uklonska koeficienta za uklon okoli močne in šibke osi,  $k_\omega$  pa izraža robne pogoje za vzbočenje prereza (Pr. 14).

## Pr. 14. Uklonski koeficienti

$k_y$ – uklon okoli močne osi		$k_z$ – uklon okoli šibke osi		$k_\omega$ – uklon okoli močne osi	
	$k_y = 1,0$		$k_z = 1,0$		$k_\omega = 1,0$
	$k_y = 0,7$		$k_z = 0,7$		$k_\omega = 0,7$
	$k_y = 0,5$		$k_z = 0,5$		$k_\omega = 0,5$

Robni pogoji za vzbočenje prečnega prereza so težko določljivi, zato je za  $k_\omega$  najbolje vedno predpostaviti  $k_\omega = 1$ . Pri uklonskih koeficientih  $k_y$  in  $k_z$  se lahko upoštevajo realni robni pogoji, vendar se pri bočni zvrnitvi običajno upošteva konservativna vrednost  $k_z = 1,0$ . Pri nosilcih z več vmesnimi podporami je to obvezno.

$C_1$  – koeficient, ki zajema vpliv poteka upogibnih momentov vzdolž nosilca

$C_2$  – koeficient, ki zajema vpliv lege obtežbe glede na strižno središče prereza (neugodno, če obtežba deluje nad strižnim središčem in ugodno, če deluje pod njim)

Vrednosti koeficientov  $C_1$  in  $C_2$  za najbolj značilne primere so podane v Pr. 15 do Pr. 18. Za drugačne primere in za enojno simetrične prečne prereze se napotki za račun  $M_{cr}$  najdejo v ustrezni literaturi (SIST EN 1999-1-1 dodatek I, Petersen [24]).

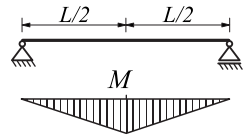
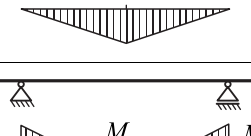
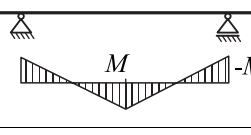
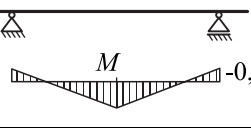
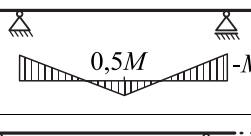
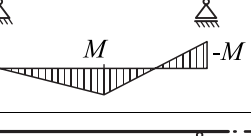
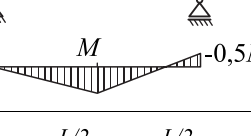
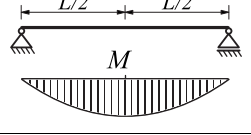
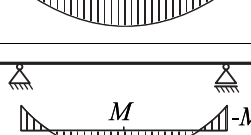
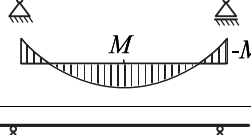
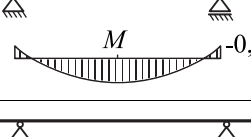
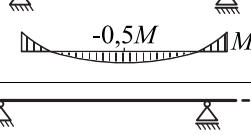
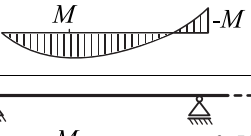
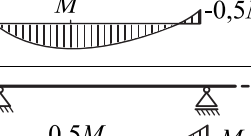
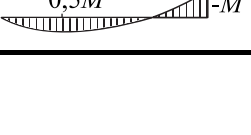
Pri nosilcih z vmesnimi bočnimi podporami lahko kontrolo bočne zvrnitve opravimo za vsako polje med sosednjima bočnima podporama na tak način kot za izolirano palico s  $k_z = 1,0$ ,  $k_\omega = 1,0$ . Vpliva lege prijemališča prečne obtežbe ni potrebno upoštevati (Sl. 13).

Pr. 15. Vrednosti koeficienta  $C_1$  – nosilec, obremenjen z robnimi momenti

obtežba in robni pogoji	potek momentov	$k_z^{1)}$	$C_1$
<p><math>k_y=1, k_w=1</math></p> <p><math>k_z=1</math></p> <p><math>0,7L \quad k_z=0,7</math></p> <p><math>k_z=0,7 \quad 0,7R</math></p> <p><math>k_z=0,5</math></p>	<p><math>M \quad \psi=+1</math></p>	1,0	1,00
		0,7 L	1,02
		0,7 R	1,02
	<p><math>M \quad \psi=+3/4</math></p>	1,0	1,14
		0,7 L	1,21
		0,7 R	1,11
	<p><math>M \quad \psi=+1/2</math></p>	1,0	1,31
		0,7 L	1,48
		0,7 R	1,21
	<p><math>M \quad \psi=+1/4</math></p>	1,0	1,52
		0,7 L	1,85
		0,7 R	1,33
	<p><math>M \quad \psi=0</math></p>	1,0	1,77
		0,7 L	2,33
		0,7 R	1,45
	<p><math>M \quad \psi=-1/4</math></p>	1,0	2,05
		0,7 L	2,83
		0,7 R	1,58
	<p><math>M \quad \psi=-1/2</math></p>	1,0	2,33
		0,7 L	3,08
		0,7 R	1,71
	<p><math>M \quad \psi=-3/4</math></p>	1,0	2,55
		0,7 L	2,59
		0,7 R	1,83
<p><math>M \quad \psi=-1</math></p>	1,0	2,56	
	0,7 L	1,92	
	0,7 R	1,92	
		0,5	2,22

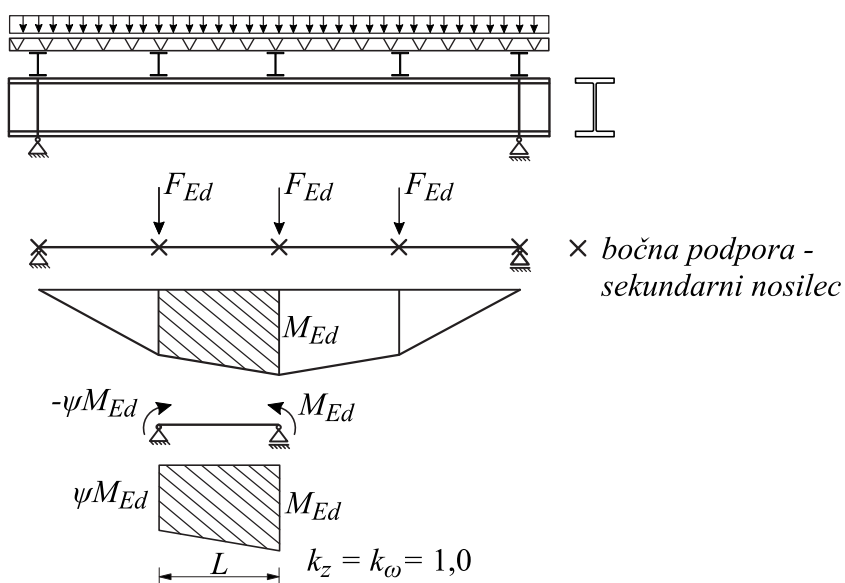
<sup>1)</sup> 0,7 L = levi rob vpet, 0,7 R = desni rob vpet

Pr. 16. Vrednosti koeficientov  $C_1$  in  $C_2$  – prečno obremenjen nosilec

potek momentov in robni pogoji	$k_y$	$k_z$	$C_1$	$C_2$
	1	1	1,35	0,55
	1	0,5	1,03	0,45
	1	1	1,70	0,50
	1	1	1,60	0,50
	1	1	2,50	0,50
	1	1	1,52	0,50
	1	1	1,48	0,50
	1	1	1,13	0,46
	1	0,5	0,95	0,41
	1	1	1,39	0,50
	1	1	1,27	0,50
	1	1	2,50	0,50
	1	1	1,29	0,50
	1	1	1,23	0,50
	1	1	2,50	0,50

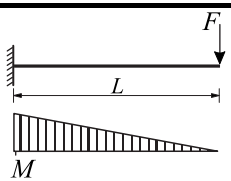
Pr. 16 (nadaljevanje). Vrednosti koeficientov  $C_1$  in  $C_2$  – prečno obremenjen nosilec

potek momentov in robni pogoji	$k_y$	$k_z$	$C_1$	$C_2$
	1	1	2,40	0,50
	1	1	1,04	0,43
	1	0,5	0,92	0,40
	0,5	1	1,68	1,39
	0,5	0,5	0,94	0,76
	0,5	1	2,58	1,56
	0,5	0,5	1,49	0,90

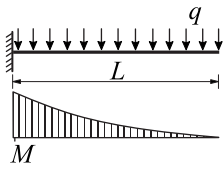


Sl. 13. Kontrola bočne zvrnitve nosilca z vmesnimi bočnimi podporami

Pr. 17. Vrednost koeficientov  $C_1$  in  $C_2$  – konzolni nosilec,  $k_y = k_z = k_\omega = 2$ ,  $z_j = 0$

obtežba in robni pogoji	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_\omega}{GI_t}}$	$\frac{z_g \pi}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$	$C_1$	$C_2$
	0	4	2,56	1,26
		2		0,22
	0	-2	3,570	0,26
	0	-4		0,45
	0,5	4	4,31	1,83
		2		0,55
	0	-2	5,115	0,63
	0	-4		0,97
	2	4	5,430	2,10
		2		0,84
	0	-2	5,55	1,33
	0	-4		1,51
	4	4	5,55	2,22
		2		1,90
	0	-2	5,55	2,12
	0	-4		2,13

Pr. 18. Vrednosti koeficientov  $C_1$  in  $C_2$  – konzolni nosilec,  $k_y = k_z = k_\omega = 2$ ,  $z_j = 0$ 

obtežba in robni pogoji	$\frac{\pi}{L} \sqrt{\frac{EI_\omega}{GI_t}}$	$\frac{z_g \pi}{L} \sqrt{\frac{EI_z}{GI_t}}$	$C_1$	$C_2$
	0	4	4,11	1,66
		2		0,60
		0		0,66
		-2		
		-4		
	0,5	4	6,57	1,89
		2		0,72
		0		0,80
		-2		
		-4		
	1	4	8,42	2,06
		2		0,84
		0		0,93
		-2		
		-4		
	2	4	10,6	2,26
		2		1,06
		0		1,19
		-2		
		-4		
4	4	11,7	2,36	
	2		1,45	
	0		1,62	
	-2			
	-4			
8	4	12	2,40	
	2		2,00	
	0		2,22	
	-2			
	-4			

#### 4.3.1 Uklonske krivulje za bočno zvrnitev – splošni primer

V splošnem se za kontrolo bočne zvrnitve uporabijo uklonske krivulje  $\chi_{LT}(\bar{\lambda}_{LT}) = \chi$ , podane v 5.1.2 za upogibni uklon, s to razliko, da je dolžina platoja uklonske krivulje podaljšana na  $\bar{\lambda}_{LT} = 0,4$  (glej Sl. 14). Velja torej:

$$\chi_{LT} = 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4. \quad (56)$$

Vitkost  $\bar{\lambda}_{LT}$  se izračuna z izrazom:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}, \quad (57)$$

kjer je:

$W_y$  – odpornostni moment prereza glede na razred kompaktnosti ( $W_{y,pl}$ ,  $W_{y,el}$ ,  $W_{y,eff}$ ).

Uklonske krivulje se izberejo v skladu s *Pr. 19*.

*Pr. 19. Izbira uklonskih krivulj – splošni primer*

prečni prerez	omejitve	uklonska krivulja
vroče valjani I-prerezi	$h/b \leq 2$	<b>a</b>
	$h/b > 2$	<b>b</b>
varjeni I-prerezi	$h/b \leq 2$	<b>c</b>
	$h/b > 2$	<b>d</b>
ostali prečni prerezi	-	<b>d</b>

#### 4.3.2 Uklonske krivulje bočne zvrnitve za standardne vroče valjane prereze in enakovredne varjene prereze

$$\chi_{LT} = 1,0 \text{ pri } \bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4,$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \text{ pri } \bar{\lambda}_{LT} > 0,4, \quad (58)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \left[ 1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right],$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4, \beta = 0,75, \alpha_{LT} = \alpha \text{ (glej Pr. 11).}$$

Uklonske krivulje (glej *Sl. 14*) se izberejo v skladu s *Pr. 20*.

*Pr. 20. Izbira uklonskih krivulj v povezavi z izrazom (58)*

prečni prerez	omejitve	uklonske krivulje
vroče valjani I-prerezi	$h/b \leq 2$	<b>b</b>
	$h/b > 2$	<b>c</b>
varjeni I-prerezi	$h/b \leq 2$	<b>c</b>
	$h/b > 2$	<b>d</b>

Dodatno povečanje redukcijskega faktorja  $\chi_{LT}$  zaradi ugodnega poteka momentov se lahko upošteva s korekcijskim faktorjem  $f$ .



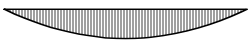

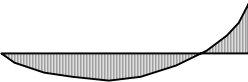



$$\chi_{LT,mod} = \frac{\chi_{LT}}{f} \leq 1,0, \quad (59)$$

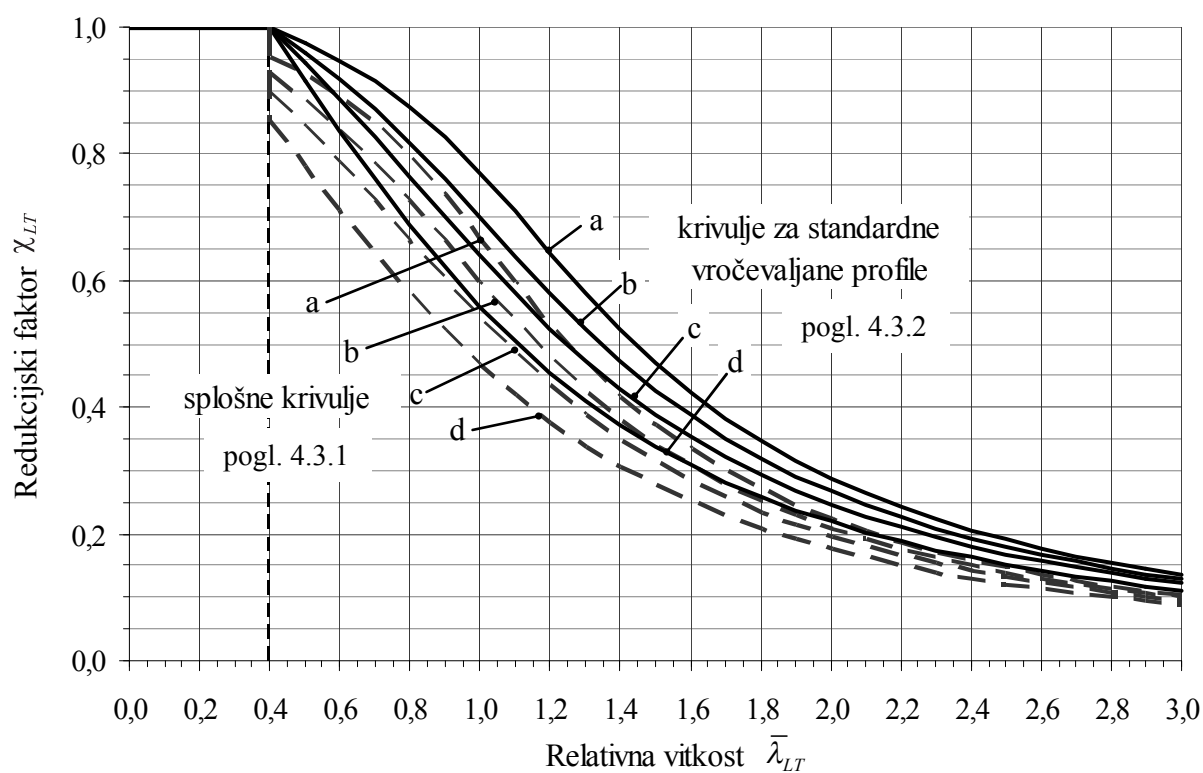
$$f = 1 - 0,5(1 - k_c) \left[ 1 - 2,0(\bar{\lambda}_{LT} - 0,8)^2 \right] \leq 1,0,$$

Za  $k_c$  glej *Pr. 21*.



Pr. 21. Korekcijski faktor  $k_c$ 

Razporeditev momentov	$k_c$
 $\psi = 1$	1,0
 $-1 \leq \psi \leq 1$	$\frac{1}{1,33 - 0,33\psi}$
	0,94
	0,90
	0,91
	0,86
	0,77
	0,82



Sl. 14. Uklonske krivulje za kontrolo bočne zvrnitve

### 4.3.3 Poenostavljeno preverjanje bočne zvrnitve za nosilce v stavbah (metoda tlačene pasnice)

Pri elementih stavb z bočno podprto tlačeno pasnico ni nevarnosti bočne zvrnitve, če je za razmik med sosednjima bočnima podporama  $L_c$  oziroma za pripadajočo vitkost tlačene pasnice  $\bar{\lambda}_f$  izpolnjen pogoj (glej tudi Sl. 15):

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} \leq \bar{\lambda}_{c0} \frac{M_{c,Rd}}{M_{y,Ed}}, \quad (60)$$

kjer je:

$k_c$  – glej Pr. 21,

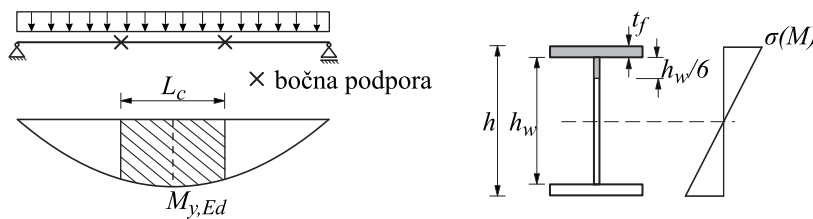
$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \varepsilon, \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y \text{ (MPa)}}},$$

$i_{f,z}$  – vztrajnostni polmer nadomestnega tlačene pasu (glede na šibko os celotnega prečnega prereza), sestavljen iz tlačene pasnice in 1/3 tlačene dela stojine,

$$\bar{\lambda}_{c,0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5,$$

$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$  – nosilnost prečnega prereza (za  $W_y$  glej (53)),

$M_{y,Ed}$  – največja projektna vrednost upogibnega momenta v obravnavanem polju med bočnima podporama.



Sl. 15. Metoda tlačene pasnice

Izraz (60) se lahko poenostavi v

$$\bar{\lambda}_f \leq 0,5. \quad (61)$$

Če kriterij (60) ali (61) ni izpolnjen, se lahko kontrola bočne zvrnitve izvrši na naslednji poenostavljen način:

$$M_{y,Ed} \leq M_{b,Rd} = 1,1 \cdot \chi M_{c,Rd} \leq M_{c,Rd}. \quad (62)$$

$\chi(\bar{\lambda}_f)$  uklonske krivulje (58)

- krivulja **d** za varjene prereze s  $h/t_f \leq 44 \varepsilon$ ,
- krivulja **c** za vse ostale primere.

#### 4.4 Tlačno in upogibno obremenjeni elementi

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z f_y / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (63)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + e_{N,y} \cdot N_{Ed}}{\chi_{LT} W_y f_y / \gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + e_{N,z} \cdot N_{Ed}}{W_z f_y / \gamma_{M1}} \leq 1, \quad (64)$$

kjer so:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}, M_{z,Ed}$	– projektne vrednosti notranjih sil,
$e_{N,y}, e_{N,z} = 0$	– za 1., 2. in 3. razred kompaktnosti,
$e_{N,y}, e_{N,z} \neq 0$	– za nesimetrične prereze v 4. razredu kompaktnosti (pogl. 3.3),
$A_i = A$	– za 1., 2. in 3. razred kompaktnosti,
$A_i = A_{eff}$	– za 4. razred kompaktnosti,
$W_y, W_z = W_{pl,y}, W_{pl,z}$	– za 1. in 2. razred kompaktnosti,
$W_y, W_z = W_{el,y}, W_{el,z}$	– za 3. razred kompaktnosti,
$W_y, W_z = W_{eff,y}, W_{eff,z}$	– za 4. razred kompaktnosti,
$\chi_y, \chi_z$	– redukcijska faktorja za uklon
$\chi_{LT}$	– redukcijski faktor bočne zvrnitve (pogl. 4.3.1 in 4.3.2),
$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}$ in $k_{zz}$	– interakcijski faktorji ( <i>Pr. 22, Pr. 23 in Pr. 24</i> ).

Izraz (63) predstavlja interakcijo med uklonom okoli močne osi in upogibnimi momenti, izraz (64) pa interakcijo med uklonom okoli šibke osi in upogibnimi momenti. Pri tem je potrebno ločiti dva primera:

- ni nevarnosti bočne zvrnitve ( $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4$  ali votli pravokotni prerezi). Faktorji  $k_{ij}$  so podani v *Pr. 22*;
- nevarnost bočne zvrnitve prisotna ( $\bar{\lambda}_{LT} \geq 0,4$  pri odprtih profilih). Faktorji  $k_{ij}$  so podani v *Pr. 23*.

Faktorji  $C_M$ , ki opisujejo vpliv poteka upogibnih momentov, so prikazani v *Pr. 24*.

Pr. 22. Interakcijski faktorji  $k_{ij}$  za elemente, ki niso občutljivi na bočno zvrnitev


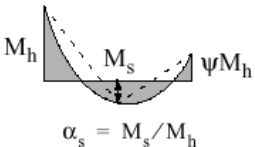
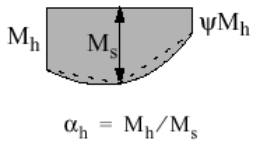
interakcijski faktorji	vrsta prečnega prereza	projektne predpostavke	
		elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
$k_{yy}$	I-prerezi ali pravokotni votli prerezi (RHS)	$C_{my} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$
$k_{yz}$	I-prerezi RHS-prerezi	$k_{zz}$	$0,6 k_{zz}$
$k_{zy}$	I-prerezi RHS-prerezi	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
$k_{zz}$	I-prerezi	$C_{mz} \left( 1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$
	Pravokotni votli prerezi (RHS)	$\leq C_{mz} \left( 1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right)$

Pri I- in H-prerezih ter pri pravokotnih votlih prerezih, obremenjenih s tlačno osno silo in enoosnim upogibom  $M_{y,Ed}$ , lahko privzamemo  $k_{zy} = 0$ .

Pr. 23. Interakcijski faktorji  $k_{ij}$  za elemente, ki so občutljivi na bočno zvrnitev

interakcijski faktorji	projektne predpostavke	
	elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
$k_{yy}$	$k_{yy}$ iz Pr. 22	$k_{yy}$ iz Pr. 22
$k_{yz}$	$k_{yz}$ iz Pr. 22	$k_{yz}$ iz Pr. 22
$k_{zy}$	$\left[ 1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[ 1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[ 1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}} \right]$ <p>for <math>\bar{\lambda}_z &lt; 0,4</math>:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z A_i f_y / \gamma_{M1}}$
$k_{zz}$	$k_{zz}$ iz Pr. 22	$k_{zz}$ iz Pr. 22

Pr. 24. Faktorji nadomestnega upogibnega momenta  $C_m$  v preglednicah Pr. 22 in Pr. 23

momentni diagram	območje		$C_{my}, C_{mz}$ in $C_{mLT}$	
			zvezna obtežba	koncentrirana obtežba
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
$-1 \leq \psi < 0$		$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$

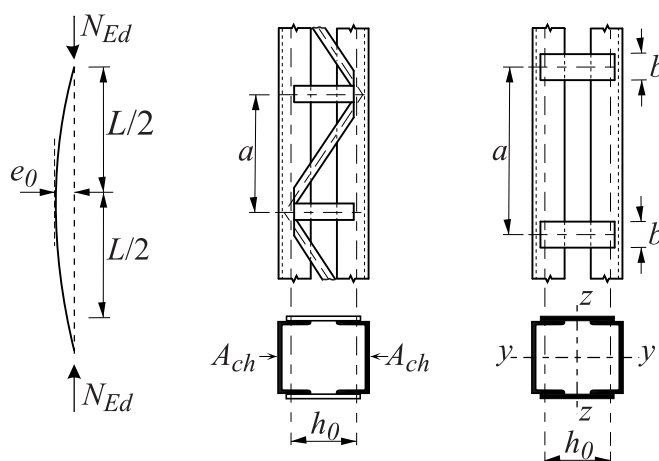
Za elemente pomičnih okvirov se za faktor nadomestnega upogibnega momenta vzame  $C_{my} = 0,9$  oziroma  $C_{Mz} = 0,9$ .

$C_{my}$ ,  $C_{mz}$  in  $C_{mLT}$  je potrebno določiti glede na potek upogibnih momentov med sosednjima točkama podpiranja kot sledi:

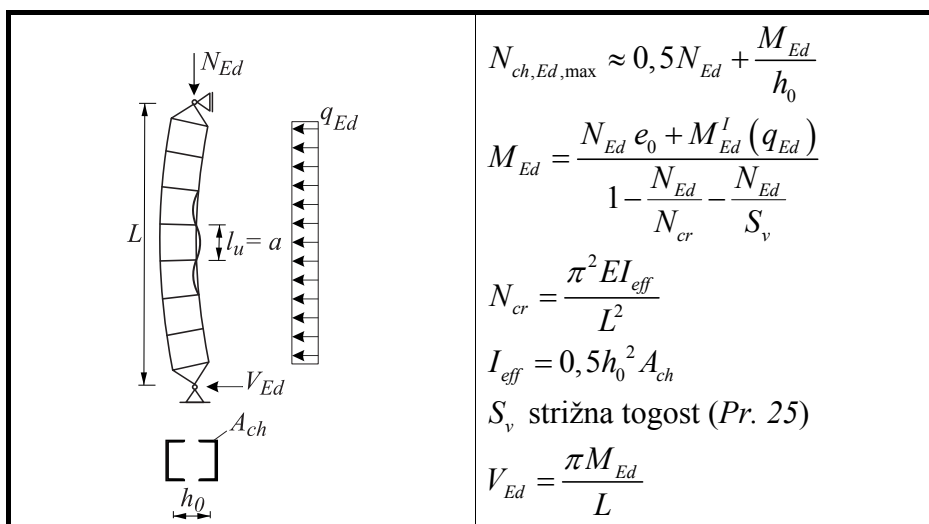
faktor momenta	os upogiba	točke podpiranja v smeri
$C_{my}$	y-y	z-z
$C_{mz}$	z-z	y-y
$C_{mLT}$	y-y	y-y

#### 4.5 Tlačno in upogibno obremenjene palice s sestavljenim prečnim prerezumom

Značilni elementi s sestavljenim prečnim prerezumom s polnili v obliki diagonal ali prečk so prikazani na Sl. 16, izračun največje osne sile  $N_{ch,Ed,max}$  v posameznem pasu pa na Sl. 17. Ta sila je vsota osne sile od globalne osne sile  $N_{Ed}$  in osnih sil od upogibnih momentov (dvojica sil na razdalji težišč pasov  $h_0$ ) zaradi vplivov TDR in prečne obtežbe  $q$ , če je prisotna.



Sl. 16. Stebri s sestavljenim prečnim prerezumom in z diagonalami oziroma prečkami v vlogi polnilnih palic



Sl. 17. Izračun notranjih sil v elementih s sestavljenim prečnim prerezom

Pr. 25. Strižna togost elementov s sestavljenim prečnim prerezom

Sistem polnilnih palic				
$S_v$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d ah_0^2}{d^3 \left[ 1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$	$\frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[ 1 + \frac{2I_{ch} h_0}{nI_b a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$
$n$ – število ravnin s polnili (vzporedne ravnine pravokotne na os upogiba) $A_d$ in $A_v$ – označujeta prečne prereze polnilnih palic $A_{ch}$ – površina prečnega prereza posameznega pasu $I_b$ – vztrajnostni moment prečke v ravnini upogiba $I_{ch}$ – vztrajnostni moment posameznega pasu v ravnini upogiba				

Kontrola stabilnosti palice s sestavljenim prečnim prerezom se prevede na kontrolo lokalnega uklona segmenta pasu z največjo osno silo in z uklonsko dolžino  $l_u = a$ .

$$N_{ch,Ed,max} \leq N_{b,Rd} = \chi(l_u = a) A_{ch} f_y / \gamma_{M1} \quad (65)$$

Podrobnejši podatki so na voljo v SIST EN 1993-1-1, pogl. 6.4. Omeniti velja, da je pri palicah s sestavljenim prečnim prerezom treba preveriti vpliv prečnih sil na polnilne palice.

## 5 VEZNA SREDSTVA

### 5.1 Vijaki, matice in podložke

Za določanje projektne nosilnosti vijakov se uporabljajo naslednji delni faktorji odpornosti:

- nosilnost vijakov v nategu in prestrigu, nosilnost na bočni pritisk:

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

- torna nosilnost v mejnem stanju nosilnosti:

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

- torna nosilnost v mejnem stanju uporabnosti;

$$\gamma_{M3,ser} = 1,10.$$

SIST EN 1993-1-8 obravnava naslednje vrste vijakov:

- navadni vijaki s šestrobo glavo  
Ti vijaki se ne smejo prednapenjati. Trdnostni razredi in pripadajoče napetosti tečenja  $f_{yb}$  in natezne trdnosti  $f_{ub}$  so podane v *Pr. 26*.
- Vijaki visoke trdnosti  
Prednapenjajo se lahko samo vijaki trdnostnih razredov 8.8 in 10.9, ki imajo širšo glavo kot navadni vijaki in zaokrožen prehod iz stebila v glavo zaradi zmanjšanja koncentracij napetosti.

*Pr. 26.* Mehanske lastnosti 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

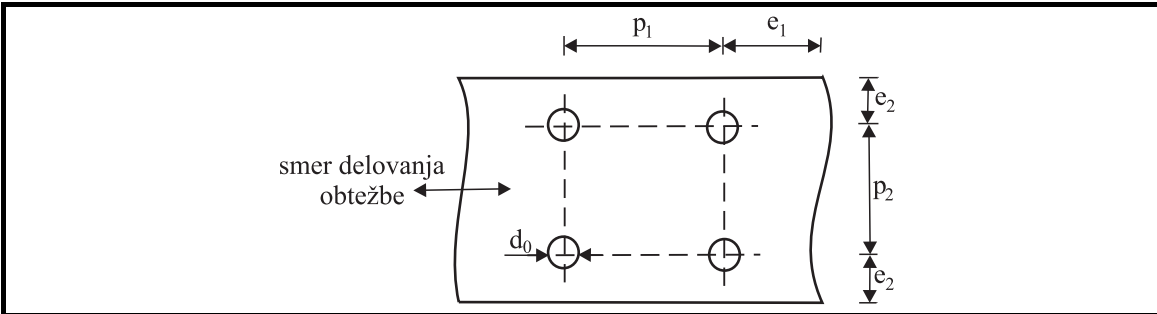
## Pr. 27. Vrste vijachenih spojev in kontrole nosilnosti

kategorija	kriterij	opombe
strižno obremenjeni spoji		
A običajni strižni spoji	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Vijaki od 4.6 do 10.9. Prednapenjanje ni zahtevano.
B torni spoji v mejnem stanju uporabnosti	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Prednapeti vijaki 8.8 ali 10.9. Ni zdrsa v mejnem stanju uporabnosti. V mejnem stanju nosilnosti se obnašajo kot navadni vijaki.
C torni spoji v mejnem stanju nosilnosti	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Prednapeti vijaki 8.8 ali 10.9. Zdrs je preprečen v mejnem stanju nosilnosti, zato strožji kriterij za nosilnost neto prerezov: $N_{net,Rd} = A_{net} f_y / \gamma_{M0}$ .
Natezno obremenjeni spoji		
D vijaki niso prednapeti	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Vijaki od 4.6 do 10.9. Prednapenjanje ni zahtevano. $B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$ (preboj pl.)
E vijaki so prednapeti	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Prednapeti vijaki 8.8 ali 10.9. $B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$ (preboj pl.)
$F_{v,Ed,ser}$	projektna strižna obremenitev vijaka v mejnem stanju uporabnosti	
$F_{v,Ed}$	projektna strižna obremenitev vijaka v mejnem stanju nosilnosti	
$F_{v,Rd}$	projektna strižna nosilnost vijaka	
$F_{b,Rd}$	projektna nosilnost vijaka na bočni pritisk	
$F_{s,Rd,ser}$	projektna torna nosilnost vijaka v mejnem stanju uporabnosti	
$F_{s,Rd}$	projektna torna nosilnost vijaka v mejnem stanju nosilnosti	
$F_{t,Ed}$	projektna natezna obremenitev vijaka v mejnem stanju nosilnosti	
$F_{t,Rd}$	projektna natezna nosilnost vijaka	



### 5.1.1 Razpored lukenj za vijake

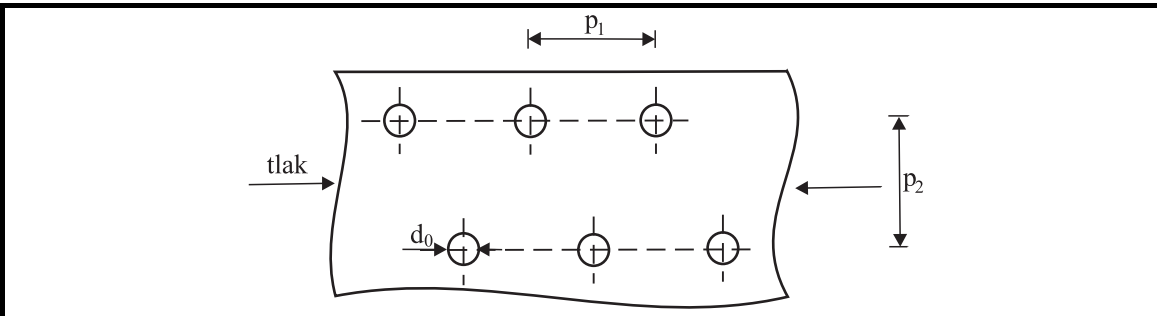
Pr. 28. Dovoljene robne oddaljenosti  $e_1$  in  $e_2$  ter najmanjši dovoljeni razmaki  $p_1$  in  $p_2$



razmak	najmanjši razmak	običajni razmak	največji razmak [mm] *	
			izpostavljeno koroziji	ni nevarnosti korozije
$e_1$	$1,2d_0$	$2,0d_0 - 2,5d_0$	$40 + 4t$	$\max(8t, 125 \text{ mm})$
$e_2^*$	$1,2d_0$	$1,5d_0$	$40 + 4t$	$\max(8t, 125 \text{ mm})$
$p_1$	$2,2d_0$	$3,0d_0$	Glej Pr. 29 in Pr. 30	
$p_2^*$	$2,4d_0$	$3,0d_0$		

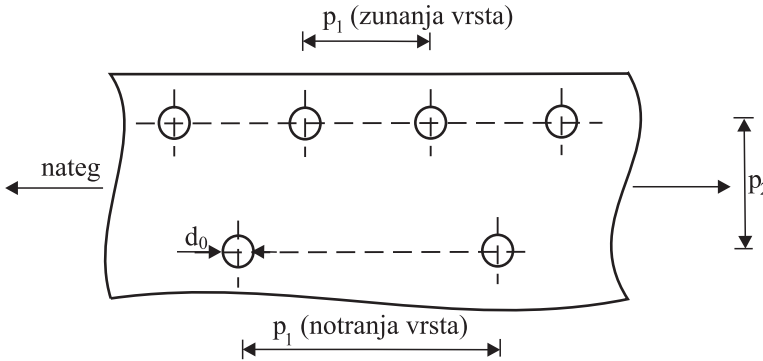
$t$  je najmanjša debelina zunanje pločevine  
 \*Pri tlačnih pločevinah je potrebno največjo dovoljeno robno oddaljenost  $e_2$  omejiti (previsni elementi), da preprečimo lokalno izbočenje pločevine.

Pr. 29. Največji dovoljeni razmaki  $p_1$  in  $p_2$  pri tlačno obremenjenih pločevinah



razmak	največji dovoljeni razmak
$p_1$ ali $p_2$	manjša vrednost od $14t$ ali $200\text{mm}$

Velja za koroziji izpostavljene stike in za stike, ki niso izpostavljeni koroziji. Največja razmaka  $p_1$  in  $p_2$  je potrebno omejiti (notranji elementi), da preprečimo lokalno izbočenje pločevine.

Pr. 30. Največji dovoljeni razmaki  $p_1$  in  $p_2$  pri natezno obremenjenih pločevinah


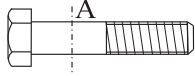
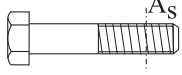
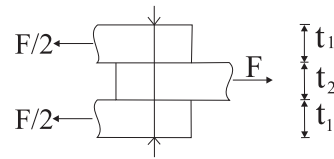
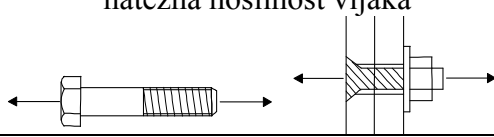
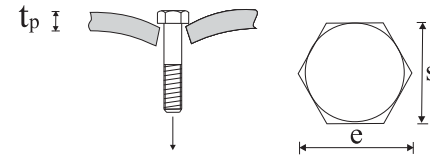
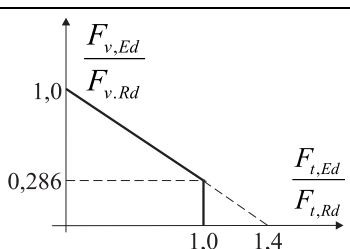
razmak	največji dovoljeni razmak
$p_1$ – zunanja vrsta	min (14t, 200mm)
$p_1$ – notranja vrsta	min (28t, 400mm)
$p_2$	min (14t, 200mm)

Velja za koroziji izpostavljene stike in za stike, ki niso izpostavljeni koroziji.

### 5.1.2 Projektna nosilnost vijakov

Projektne nosilnosti vijakov (strig, bočni pritisk, nateg, interakcija striga in natega, preboj pločevine) so podane v Pr. 31. Strižne nosilnosti so podane za eno strižno ravnino. V primeru več strižnih ravnin je nosilnost treba pomnožiti s številom strižnih ravnin.

## Pr. 31. Projektna nosilnost vijakov

način porušitve	projektna nosilnost vijaka	
Strižna nosilnost za eno strižno ravnino – prestrig vijaka skozi steblo. 	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ $A$ – bruto prerez stebila vijaka $f_{ub}$ – projektna vrednost natezne trdnosti vijaka	
Strižna nosilnost za eno strižno ravnino – prestrig vijaka skozi navoje. 	– duktilni vijaki 4.6, 5.6, 8.8	– neduktilni vijaki
	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$	$F_{v,Rd} = \frac{0,5 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$
nosilnost na bočni pritisk	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_u d t}{\gamma_{M2}}$ $d$ – premer vijaka $d_0$ – premer luknje $\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right)$ $t = \min(2t_1; t_2)$ 	
	– v smeri delovanja obtežbe: $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}$ (robni vijak), $\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}$ (notranji vijak) – pravokotno na smer delovanja obtežbe: $k_1 = \min \left( 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \right)$ (robni vijak), $k_1 = 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5$ (notranji vijak) $F_{b,Rd}$ lahko računamo posebej za robne in notranje vijake ali pa upoštevamo manjšo od vrednosti $\alpha_d$ in $k_1$ ter $F_{b,Rd}$ izračunamo za vse vijake.	
natezna nosilnost vijaka 	– vijaki s šestrobo glavo	– vijaki z ugreznjeno glavo
	$F_{t,Rd} = \frac{0,9 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$	$F_{v,Rd} = \frac{0,63 f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$
odpornost proti preboju pločevine 	$B_{p,Rd} = \frac{0,6\pi d_m t_p f_u}{\gamma_{M2}}$ $t_p$ – debelina pločevine $d_m = \frac{e+s}{2}$	
interakcija strig – upogib	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$ 	

Dodatno k *Pr. 31* je treba upoštevati še:

- strižna nosilnost skozi navoje in natezna nosilnost veljata le za vijake, izdelane v skladu z ustreznimi standardi;
- za vijake z vrezanim navojem (sidrni vijaki, natezne vezi, ...), izdelane iz okroglih palic v skladu z zahtevami iz SIST EN 1090, veljajo nosilnosti iz *Pr. 31*. Če vrezani navoji teh pogojev ne izpolnjujejo, je potrebno ustrezne nosilnosti, kjer nastopa  $A_s$ , zmanjšati s faktorjem 0,85;
- projektna strižna nosilnost vijakov  $F_{v,Rd}$  iz *Pr. 31* velja le, če so premeri lukenj  $d_0$  manjši ali enaki standardnim vrednostim (SIST EN 1090-2). Pri prednapetih vijakih so luknje lahko povečane ali podaljšane, vendar se tudi pri teh vijakih vedno pogosteje uporabljajo standardne luknje. Največja dovoljena velikost lukenj je podana v *Pr. 32*. Zaradi lažje montaže konstrukcij se za standardne luknje običajno uporabljajo največji dovoljeni premeri. Pri povečanih luknjah je potrebno nosilnost na bočni pritisk zmanjšati s faktorjem 0,8 (glede na nosilnost pri običajnih luknjah). Pri podaljšanih luknjah se nosilnost na bočni pritisk v smeri pravokotno na daljšo os luknje zmanjša s faktorjem 0,6;

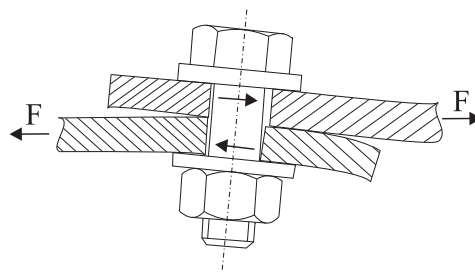
*Pr. 32.* Največji dovoljeni premer luknje

premer $d$ [mm]	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24	M27 in več
standardne okrogle luknje $d_0$	13	15	18	20	22	24	26	$d + 3$ mm
povečane okrogle luknje $d_{0p}$	15	17	20	22	24	26	30	$d + 8$ mm
kratke podaljšane luknje $l_k$	16	18	22	24	26	28	32	$d + 10$ mm
dolge podaljšane luknje $l_d$	$2,5 d$							

- vijaki s točnim naleganjem se projektirajo enako kot vijaki v standardnih luknjah. Pri teh vijakih mora strižna ravnina obvezno potekati skozi steblo vijaka, navoji pa lahko segajo v pločevino ob matici največ za tretjino debeline te pločevine;
- pri preklonem spoju dveh pločevin z enim vijakom ali eno vrsto vijakov (*Sl. 18*) je preklonpa nosilnost na bočni pritisk  $F_{b,Rd}$  posameznega vijaka omejena z izrazom

$$F_{b,Rd} \leq 1,5 f_u \cdot d \cdot t / \gamma_{M2} \quad (66)$$



*Sl. 18.* Preklonni spoj dveh pločevin z enim vijakom ali eno vrsto vijakov

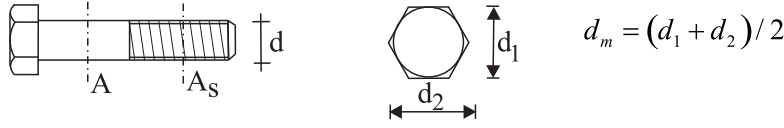
Če v takih spojih uporabimo vijake 8.8 ali 10.9, je potrebno, tudi če vijaki niso prednapeti, uporabiti podložke s povečano površinsko trdoto;

- za vijake z ugreznjeno glavo se nosilnost na bočni pritisk  $F_{b,Rd}$  izračuna iz debeline pločevine, zmanjšane za polovico ugreza glave vijaka;

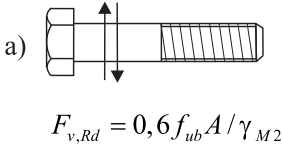
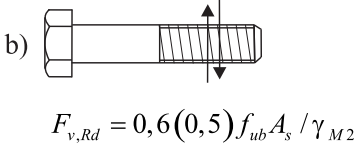
- kadar rezultirajoča sila na vijak ni vzporedna robu pločevine, se lahko nosilnost na bočni pritisk določa ločeno za komponento sile, vzporedno robu, in komponento sile, pravokotno na rob.

V preglednicah Pr. 33 do Pr. 36 so podani podatki o geometriji vijakov in projektni nosilnosti vijakov v strigu in nategu ter najmanjše debeline pločevin, ki preprečijo preboj vijaka.

Pr. 33. Ključni geometrijski podatki o vijakih

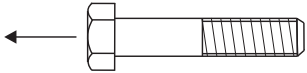
									
d (mm)	12	16	20	22	24	27	30	33	36
A (cm <sup>2</sup> )	1,13	2,01	3,14	3,8	4,52	5,73	7,07	8,55	10,18
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> )	0,843	1,57	2,45	3,03	3,53	4,59	5,61	6,94	8,17
d <sub>m</sub> <sup>1</sup> (mm)	18,71	24,67	31,06	35,15	37,28	42,60	47,93	52,19	57,30
d <sub>m</sub> <sup>2</sup> (mm)	22,54	27,86	33,02	37,28	42,60	47,93	52,19	57,30	62,62
<sup>1</sup> običajni vijaki									
<sup>2</sup> visokovredni vijaki v skladu s SIST EN 14399 – 3, SIST EN 14399 – 4									

Pr. 34. Projektna strižna nosilnost vijakov

										
strižna ravnina	kvaliteta vijakov	d (mm)								
		12	16	20	22	24	27	30	33	36
a) F <sub>v,Rd</sub> – strižna ravnina v steblu vijaka (brez navojev)	4.6, 4.8	21,7	38,6	60,3	73,0	86,8	110,0	135,7	164,2	195,5
	5.6, 5.8	27,1	48,2	75,4	91,2	108,5	137,5	169,7	205,2	244,3
	6.8	32,5	57,9	90,4	109,4	130,2	165,0	203,6	246,2	293,2
	8.8	43,4	77,2	120,6	145,9	173,6	220,0	271,5	328,3	390,9
	10.9	54,2	96,5	150,7	182,4	217,0	275,0	339,4	410,4	488,6
b) F <sub>v,Rd</sub> – strižna ravnina poteka skozi navoje	4.6	16,2	30,1	47,0	58,2	67,8	88,1	107,7	133,2	156,9
	4.8	13,5	25,1	39,2	48,5	56,5	73,4	89,8	111,0	130,7
	5.6	20,2	37,7	58,8	72,7	84,7	110,2	134,6	166,6	196,1
	5.8	16,9	31,4	49,0	60,6	70,6	91,8	112,2	138,8	163,4
	6.8	20,2	37,7	58,8	72,7	84,7	110,2	134,6	166,6	196,1
	8.8	32,4	60,3	94,1	116,4	135,6	176,3	215,4	266,5	313,7
	10.9	33,7	62,8	98,0	121,2	141,2	183,6	224,4	277,6	326,8

Projektna strižna nosilnost je izračunana za en vijak in eno strižno ravnino.

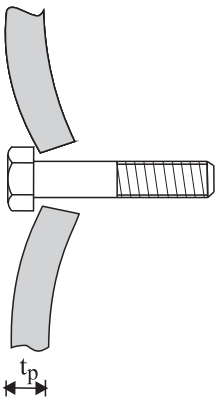
Pr. 35. Projektna natezna nosilnost vijakov



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

	kvaliteta vijakov	$d$ (mm)								
		12	16	20	22	24	27	30	33	36
$F_{t,Rd}$ (kN)	4.6 4.8	24,3	45,2	70,6	87,3	101,7	132,2	161,6	199,9	235,3
	5.6 5.8	30,3	56,5	88,2	109,1	127,1	165,2	202,0	249,8	294,1
	6.8	36,4	67,8	105,8	130,9	152,5	198,3	242,4	299,8	352,9
	8.8	48,6	90,4	141,1	174,5	203,3	264,4	323,1	399,7	470,6
	10.9	60,7	113,0	176,4	218,2	254,2	330,5	403,9	499,7	588,2

Pr. 36. Najmanjša debelina pločevine, ki še prepreči preboj vijaka



$B_{p,Rd} = (0,6\pi d_m f_u / \gamma_{M2}) t_p \geq F_{t,Rd}$   
 $t_p \geq F_{t,Rd} / (0,6\pi d_m f_u / \gamma_{M2})$

	kvaliteta jekla in vijakov	$d$ (mm)									
		12	16	20	22	24	27	30	33	36	
$t_{\min}$ (mm) običajni vijaki	S 235	4.6	2,4	3,4	4,2	4,6	5,0	5,7	6,2	7,1	7,6
		5.6	3,0	4,2	5,2	5,7	6,3	7,1	7,8	8,8	9,5
		6.8	3,6	5,1	6,3	6,9	7,5	8,6	9,3	10,6	11,3
		8.8	4,8	6,8	8,4	9,1	10,0	11,4	12,4	14,1	15,1
		10.9	6,0	8,4	10,5	11,4	12,6	14,3	15,5	17,6	18,9
	S 355	4.6	1,7	2,4	3,0	3,2	3,5	4,0	4,4	5,0	5,3
		5.6	2,1	3,0	3,7	4,0	4,4	5,0	5,5	6,2	6,7
		6.8	2,5	3,6	4,4	4,8	5,3	6,1	6,6	7,5	8,0
		8.8	3,4	4,8	5,9	6,5	7,1	8,1	8,8	10,0	10,7
		10.9	4,2	6,0	7,4	8,1	8,9	10,1	11,0	12,4	13,3
$t_{\min}$ (mm) visokovredni vijaki	S235	8.8	4,0	6,0	7,9	8,6	8,8	10,2	11,4		13,8
		10.9	5,0	7,5	9,8	10,8	11,0	12,7	14,3		17,3
	S355	8.8	2,8	4,2	5,6	6,1	6,2	7,2	8,1		9,8
		10.9	3,5	5,3	6,9	7,6	7,8	9,0	10,1		12,2

### 5.1.3 Projektna torna nosilnost

#### Torna nosilnost

Projektna torna nosilnost spojev (Sl. 19) s prednapetimi vijaki kvalitete 8.8 ali 10.9 se določi z izrazom:

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu}{\gamma_{M3}} F_{p,c}, \quad (67)$$

kjer je:

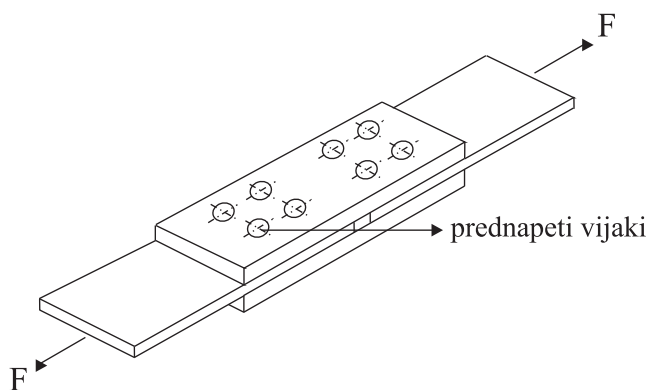
$$F_{p,c} = 0,7 f_{ub} \cdot A_s - \text{sila prednapenjanja}, \quad (68)$$

$k_s$  – koeficient, ki zajema vpliv velikosti in oblike luknj (Pr. 37, glej tudi Pr. 32)

$n$  – število tornih površin,

$\mu$  – torni količnik. Določa se s testi skladno s SIST EN 1090-2. Za standardne primere se lahko upoštevajo razredi torne površine in pripadajoči torni količniki po Pr. 38,

$\gamma_{M3}$  – delni varnostni faktor za MSU ali MSN (glej 5.1).



Sl. 19. Značilni torni spoj

Pr. 37. Vrednosti  $k_s$

opis	$k_s$
Vijaki v običajnih luknjah.	1,0
Vijaki v povečanih ali kratkih podaljšanih luknjah z vzdolžno osjo luknje pravokotno na smer delovanja obtežbe.	0,85
Vijaki v dolgih podaljšanih luknjah z vzdolžno osjo luknje pravokotno na smer delovanja obtežbe.	0,7
Vijaki v kratkih podaljšanih luknjah z vzdolžno osjo luknje vzporedno smeri delovanja obtežbe.	0,76
Vijaki v dolgih podaljšanih luknjah z vzdolžno osjo luknje vzporedno smeri delovanja obtežbe.	0,63

Pr. 38. Torni koeficienti  $\mu$ 

razred torne površine po SIST EN 1080-2	zahteve za obdelavo površine	$\mu$
A	peskane površine, čiste in brez poškodb	0,5
B	peskane površine, ki so: a) metalizirane (sprej) s proizvodi na bazi cinka ali aluminija b) zaščitene z alkali-cink silikatnim premazom debeline 30–80 $\mu\text{m}$	0,4
C	površine, očiščene s plamenom ali žično krtačo, odstranjena rja očiščena s površine	0,3
D	brez posebne obdelave površine, vendar nepobarvane	0,2

Sile prednapenjanja  $F_{p,C}$  in projektne torne nosilnosti  $F_{s,Rd}$ ,  $F_{s,Rd,ser}$  so podane v Pr. 39.

Pr. 39. Sile prednapenjanja in projektne torne nosilnosti

kvaliteta vijakov		d (mm)								
		12	16	20	22	24	27	30	33	36
8.8	$F_{p,C}$	47,2	87,9	137,2	169,7	197,7	257,0	314,2	388,6	457,5
	$F_{s,Rd,ser}$	21,5	40,0	62,4	77,1	89,9	116,8	142,8	176,7	208,0
	$F_{s,Rd}$	18,9	35,2	54,9	67,9	79,1	102,8	125,7	155,5	183,0
10.9	$F_{p,C}$	59,0	109,9	171,5	212,1	247,1	321,3	392,7	485,8	571,9
	$F_{s,Rd,ser}$	26,8	50,0	78,0	96,4	112,3	146,0	178,5	220,8	260,0
	$F_{s,Rd}$	23,6	44,0	68,6	84,8	98,8	128,5	157,1	194,3	228,8

Projektna torna nosilnost je izračunana za en vijak in eno torno površino ob upoštevanju tornega količnika  $\mu = 0,5$  in normalne velikosti lukenj ( $k_s = 1,0$ ).

### Natezno in strižno obremenjeni torni spoji

Če je torni spoj razen s strižno silo  $F_{v,Ed}$  oziroma  $F_{v,Ed,ser}$  obremenjen tudi z natezno silo  $F_{t,Ed}$  ali  $F_{t,Ed,ser}$ , je treba torno nosilnost ustrezno zmanjšati.

- spoji kategorije B (torna nosilnost v MSU)

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{M3,ser}} \quad (69)$$

- spoji kategorije C (torna nosilnost v MSN)

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s \cdot n \cdot \mu (F_{p,C} - 0,8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (70)$$

V momentnih spojih je natezna sila uravnotežena s povečanimi tlaki v tlačni coni spoja (prednapenjanje in tlačna sila od momenta) in torne nosilnosti spoja ni potrebno zmanjšati.

#### 5.1.4 Oslabitve prečnih prerezov zaradi lukenj za vijake

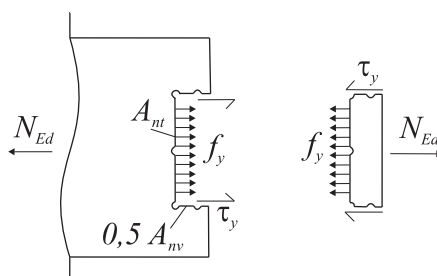
##### Neto prerezi

Zmanjšanje prečnega prereza zaradi lukenj za vezna sredstva se upošteva v skladu s 4.2.1. Nosilnost neto prerezov v prednapetih spojih s torno nosilnostjo v mejnem stanju nosilnosti (kategorija spoja C) se določi z izrazom, podanim v Pr. 27.



### Strižni iztrg (block shear)

Nosilnost pri strižnem iztrgu  $V_{eff,Rd}$  skupine vijakov je sestavljena iz strižne nosilnosti v prerezu  $A_{nv}$ , vzporednem delujoči obtežbi, in natezne nosilnosti v prerezu  $A_{nt}$ , pravokotnem na delujočo obtežbo (Sl. 20).



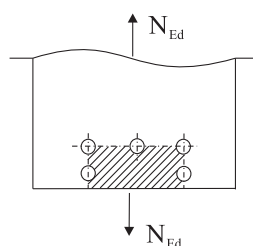
Sl. 20. Strižni iztrg

- simetrično obremenjena skupna vijakov (Sl. 21a)

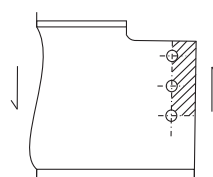
$$V_{eff,1,Rd} = A_{nt} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \quad (71)$$

- ekscentrično obremenjena skupina vijakov (Sl. 21b)

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 A_{nt} \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} \frac{f_y}{\sqrt{3}\gamma_{M0}} \quad (72)$$



a) simetrični spoj



b) ekscentrični spoj

Sl. 21. Simetrične in ekscentrične skupine vijakov pri strižnem iztrgu

### Kotniki, priključeni preko enega kraka

Projektna natezna nosilnost kotnikov, pritrjenih samo preko enega kraka, se zaradi ekscentrične lege veznih sredstev in oslabitve prereza z luknjami za vijake zmanjša. Te kotnike lahko obravnavamo kot centrično obremenjene, če projektno nosilnost določimo z naslednjimi izrazi (glej tudi Sl. 22).

- 1 vijak:

$$N_{u,Rd} = \frac{2,0(e_2 - 0,5d_0)t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \quad (73)$$

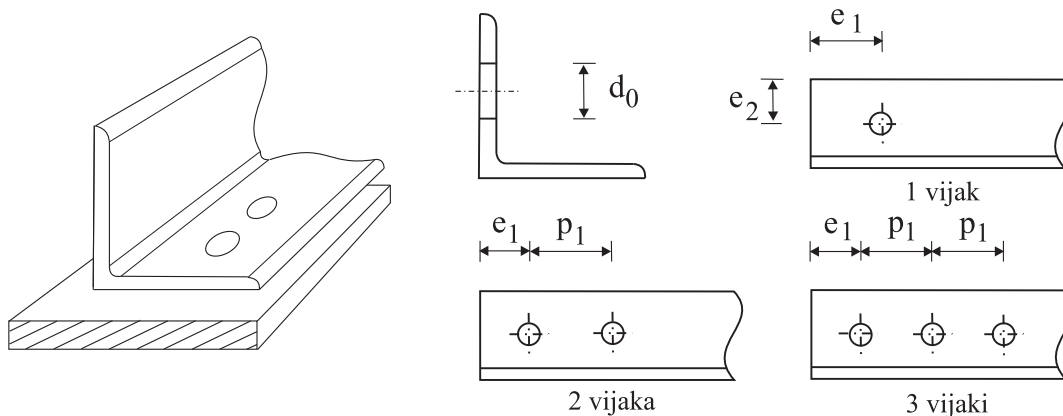
- 2 ali 3 vijaki:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (74)$$

kjer je:

$\beta$  – redukcijski faktor, podan v Pr. 40,

$A_{net}$  – neto prečni prerez kotnika. Pri kotnikih z različnimi kraki, priključenimi preko manjšega kotnika, je treba za  $A_{net}$  upoštevati neto prerez nadomestnega enakokrakega kotnika, pri katerem sta oba kraka enaka manjšemu kraku.



Sl. 22. Kotniki, priključeni preko enega kraka

Pr. 40. Redukcijski faktor  $\beta$

razmik $p_1$	$\leq 2,5 d_0$	$\geq 5,0 d_0$
2 vijaka	0,4	0,7
3 vijaki	0,5	0,7

Vmesne vrednosti za  $\beta$  se lahko določijo z linearno interpolacijo.

### 5.1.5 Skupine vijakov

Pri centrično obremenjeni skupini vijakov se lahko predpostavi enakomeren raspored sil na vse vijake. Izjema so dolgi spoji, pri katerih razdalja med skrajno ležečimi vijaki  $L_j$  presega  $15d$ . Neenakomerni raspored sil se upošteva z zmanjšanjem projektne strižne nosilnosti vijakov z redukcijskim faktorjem  $\beta_{Lf}$ .

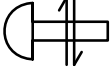
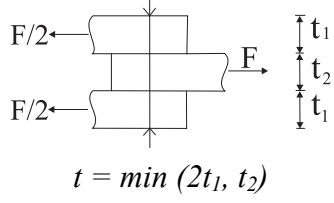
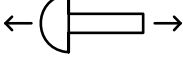
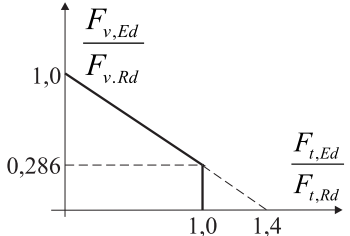
$$\beta_{Lf} = 1 - \frac{L_j - 15d}{200d} \quad \text{in } 0,75 \leq \beta_{Lf} \leq 1,0 \quad (75)$$

Projektna nosilnost skupine vijakov v preklopnem spoju se določi kot vsota nosilnosti na bočni pritisk  $F_{b,Rd}$  posameznih vijakov, če je projektna strižna nosilnost  $F_{v,Rd}$  za vsak vijak večja ali vsaj enaka projektne nosilnosti na bočni pritisk. Če ta pogoj (duktilne porušitve) ni izpolnjen, se projektna nosilnost skupine vijakov določi kot produkt najmanjše projektne nosilnosti vijaka (prestrig ali bočni pritisk) in števila vijakov.

## 5.2 Projektna nosilnost zakovic

Projektna nosilnost zakovic (strig, bočni pritisk, nateg, interakcija natega in striga) je podana v Pr. 41. Strižne nosilnosti so podane za eno strižno ravnino. V primeru več strižnih ravnin je nosilnost treba pomnožiti s številom strižnih ravnin.

Pr. 41. Projektna nosilnost zakovic

način porušitve	projektna nosilnost zakovice
strižna nosilnost za eno strižno ravnino 	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$ $A_0$ – površina prereza luknje
nosilnost na bočni pritisk	$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b f_{ur} d t}{\gamma_{M2}}$ $d$ – premer zakovice $d_0$ – premer luknje $\alpha_b = \min \left( \alpha_d; \frac{f_{ur}}{f_u}; 1,0 \right)$ <p>– v smeri delovanja obtežbe:</p> $\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0} \text{ (robna zakovica), } \alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} \text{ (notranja zakovica)}$ <p>– pravokotno na smer delovanja obtežbe:</p> $k_1 = \min \left( 2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \right) \text{ (robna zakovica)}$ $k_1 = 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7 \leq 2,5 \text{ (notranja zakovica)}$ <p><math>F_{b,Rd}</math> lahko računamo posebej za robne in notranje zakovice ali pa upoštevamo manjšo od vrednosti <math>\alpha_d</math> in <math>k_1</math> ter <math>F_{b,Rd}</math> izračunamo za vse zakovice.</p>  $t = \min (2t_1, t_2)$
natezna nosilnost 	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
interakcija strig – upogib	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$ 

Kovičeni spoji so prvenstveno namenjeni prevzemu strižnih sil in jih je zato potrebno zasnovati predvsem kot preklopne spoje. Debelina paketa pločevin ne sme presežati  $4,5d$  pri kovanih in  $6,5d$  pri stiskanih zakovicah.

### 5.3 Čepi

Čepe uporabljamo v spojih, v katerih je potrebno zagotoviti prost medsebojni zasuk stikovanih elementov (npr. pri vešalkah, v členih tročlenskih lokov ...). Delni varnostni faktorji za čepe so naslednji:

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad (\text{nosilnost čepov – MSN}),$$

$$\gamma_{M6,ser} = 1,0 \quad (\text{nosilnost čepov – MSU}).$$

Geometrija vozliščnih pločevin mora izpolnjevati geometrijske zahteve, podane na *Sl. 23* (neto prerez, iztrg čepa).

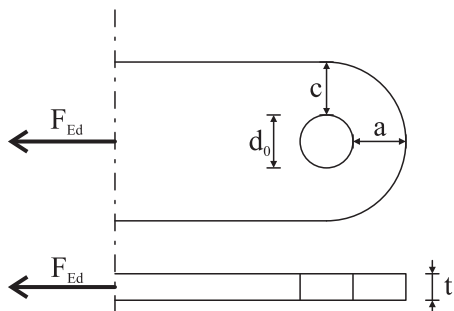
Projektna nosilnost čepov se določi v skladu z izrazi, podanimi v *Pr. 42*. Če projektiramo zamenljiv čep, je potrebno nosilnost preveriti tudi v MSU. Ta kontrola obsega dodatne zahteve iz *Pr. 42* in omejitev kontaktnih tlakov med čepom in pločevino (Hertzove napetosti):

$$\sigma_{h,Ed} = 0,591 \sqrt{\frac{EF_{b,Ed,ser}(d_o - d)}{d^2 t}} \leq \frac{2,5 f_y}{\gamma_{M6,ser}}, \quad (76)$$

kjer je  $F_{b,Ed,ser}$  projektna vrednost kontaktne sile pri karakteristični obtežni kombinaciji (MSU).

Pri računu upogibnih momentov v čepu lahko predpostavimo poenostavljen potek kontaktnih tlakov (glej *Sl. 24*). Pri kontroli interakcije striga in upogiba se lahko upošteva moment  $M_{Ed,1}$  v območju rege (c), ki je manjši od  $M_{Ed,max}$ . Za doseganje večje nosilnosti so čepi pogosto izdelani iz jekla visoke trdnosti.

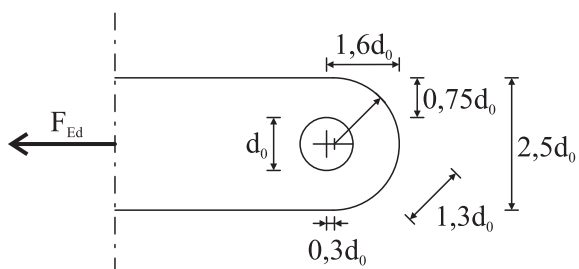
Tip A: Podana debelina  $t$



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

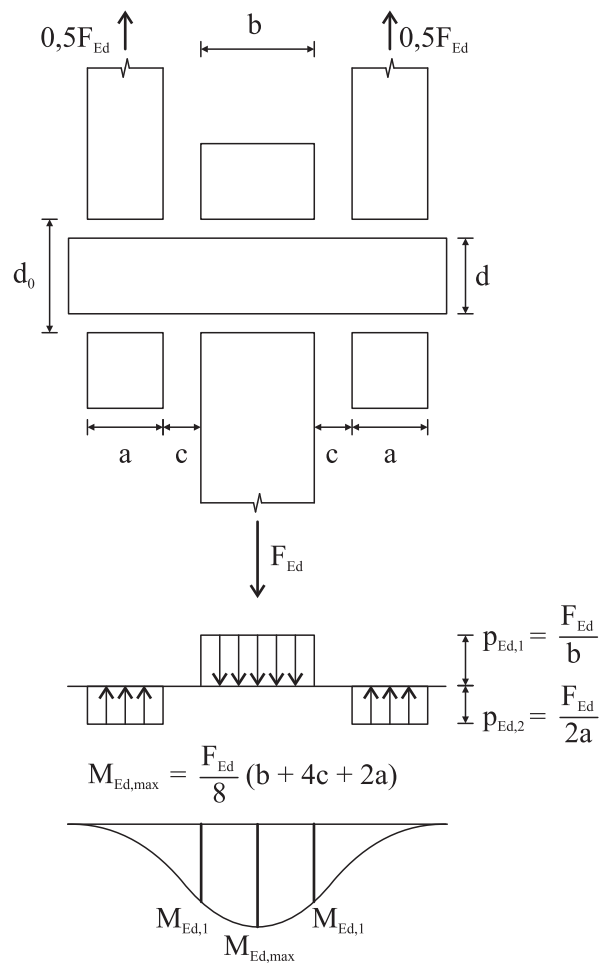
$$c \geq \frac{F_{Ed} \gamma_{M0}}{2t f_y} + \frac{d_0}{3}$$

Tip B: Podana geometrija



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

$$d_0 \leq 2,5t$$



$$M_{Ed,max} = \frac{F_{Ed}}{8} (b + 4c + 2a)$$

$$M_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{4} (a + 2c)$$

Sl. 23. Geometrijske zahteve za pločevine z luknjo za čep

Sl. 24. Račun upogibnih momentov v čepu

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

#### 5.4 Zvari

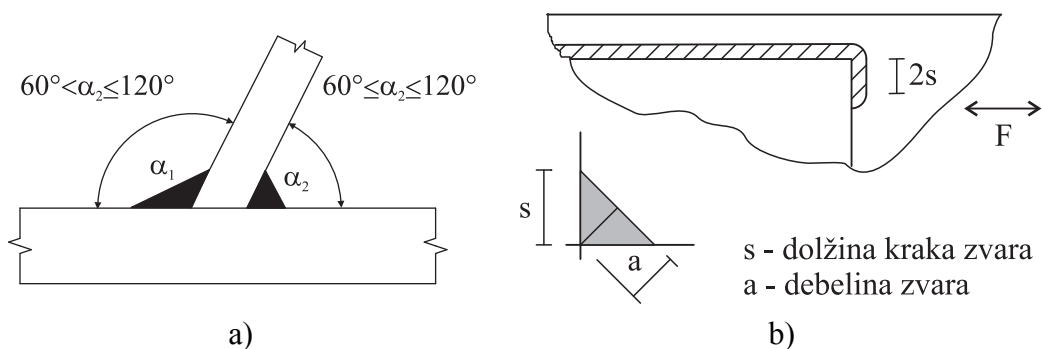
Obraunavani so zvari za spajanje jeklenih konstrukcijskih elementov v skladu s SIST EN 1993-1-1, katerih debelina znaša 4 mm in več. Zvare, izpostavljene utrujanju, je potrebno preveriti tudi ob upoštevanju SIST EN 1993-1-9. Zvare je potrebno izdelati in preveriti v skladu s SIST EN 1090-2. Za določanje projektne nosilnosti zvarov se uporablja delni varnostni faktor

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

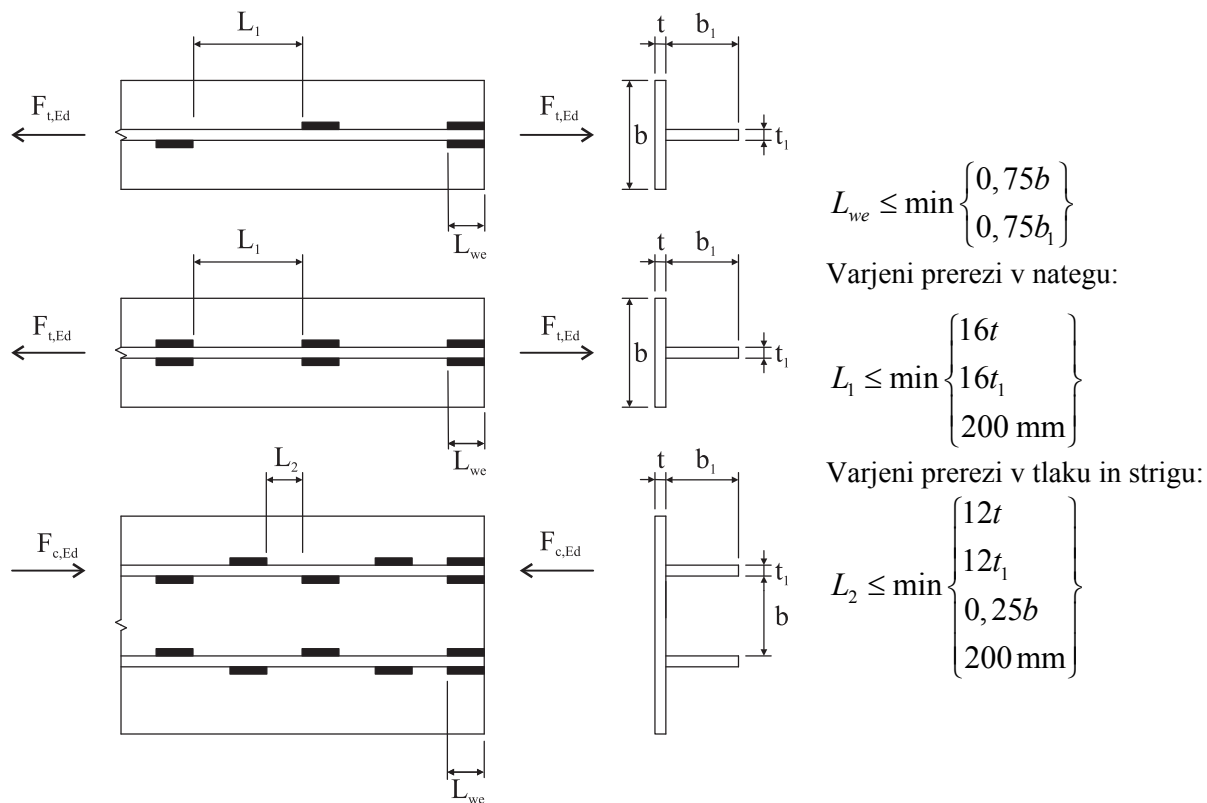
Vrste zvarov, ki jih obravnava SIST EN 1993-1-8, so podane v Pr. 43. Ločimo dve glavni kategoriji zvarov: čelne zvare s polno penetracijo in kotne zvare, med katere lahko v širšem smislu uvrstimo tudi sklenjene kotne zvare, čepaste zvare, delno penetrirane čelne zvare in zvare ob zaobljenih robovih.

## Pr. 43. Vrste zvarov

Vrsta zvarov	Vrsta stikov		
	Čelni stik	T-stik	Preklopni stik
Kotni zvar			
Kotni zvar v odprtini			Luknja 
Čepasti zvar			
Zvari ob zaobljenih robovih			
Delno penetrirani čelni zvar	 Dvojni U  Dvojni V		
Polno penetrirani čelni zvar	 V  X  U  Dvojni U	   Dvojni J	



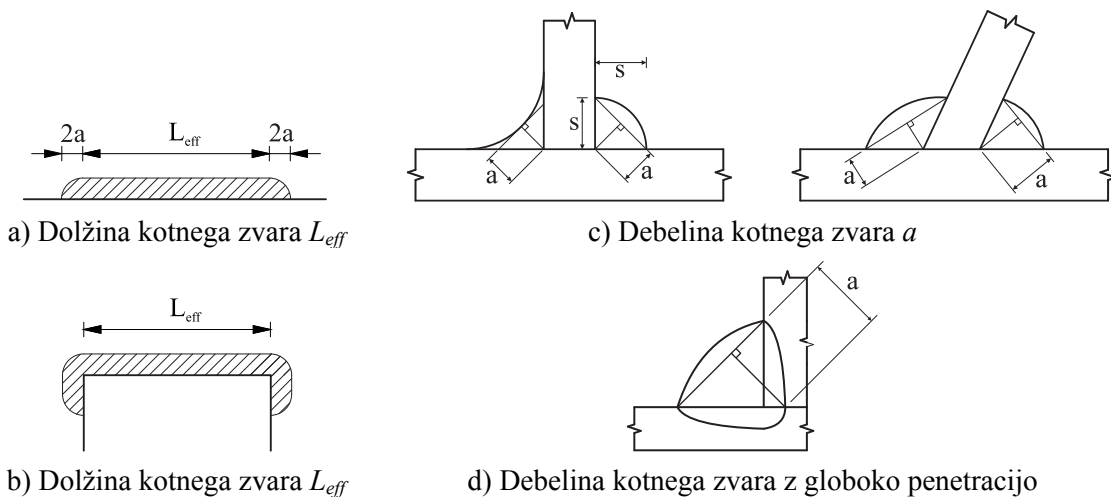
Sl. 25. Geometrijski pogoji pri kotnih zvarih



Sl. 26. Prekinjeni kotni zvari

Za računsko dolžino kotnega zvara  $L_{eff}$  se vzame dolžina, na kateri ima zvar polno debelino. Običajno je to celotna dolžina, zmanjšana za dve računski debelini zvara  $a$  na vsaki strani zvara (Sl. 27 a). Če je polna debelina zvara zagotovljena po celotni dolžini, zmanjševanje na obeh koncih ni potrebno (Sl. 27 b). Za računске dolžine zvarov veljajo naslednje omejitve:

$$\max(30 \text{ mm}; 6a) \leq L_{eff} \leq 150a. \quad (77)$$



Sl. 27. Geometrija kotnih zvarov

Pri zvarih, daljših od  $150a$  je zaradi neenakomernega razporeda napetosti vzdolž zvarov nosilnost potrebno zmanjšati z redukcijskim koeficientom  $\beta_{Lw}$ .



- Preklopni spoji, daljši od  $150a$ :

$$\beta_{Lw1} = 1,2 - 0,2 \frac{L_j}{150a}, \quad (78)$$

$$\beta_{Lw1} \leq 1,0,$$

$L_j$  – dolžina preklopnega spoja v smeri delovanja obtežbe.

- Kotni zvari za priključevanje prečnih ojačitev na pločevinaste elemente (npr. stojine polnostenskih nosilcev), daljši od 1,7 m:

$$\beta_{Lw2} \leq 1,1 - L_w/17, \quad (79)$$

$$0,6 \leq \beta_{Lw2} \leq 1,0,$$

$L_w$  – dolžina zvara (v metrih).

Omejitev za dolžino zvara ne velja pri zvarih, ki prenašajo strižni tok iz enega na drugi del prečnega prereza (npr. vzdolžni zvari med pasnico in stojino varjenih I-prerezov).

Za računsko debelino kotnega zvara  $a$  se privzame višina največjega trikotnika, ki ga je mogoče vrtati v prečni prerez zvara (Sl. 27 c). Velja višina na zunanjo stranico.

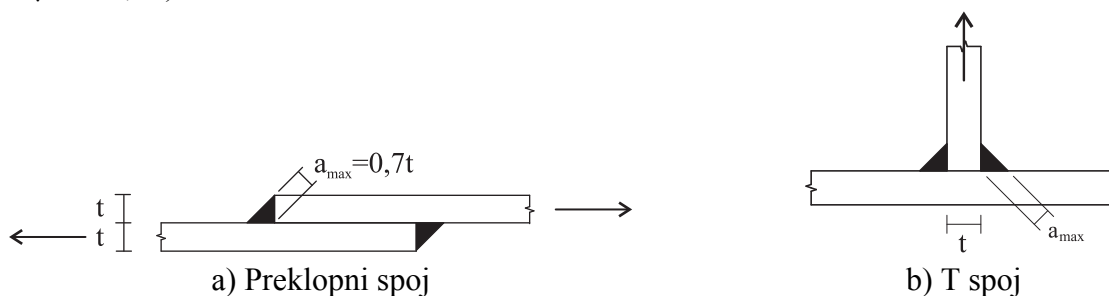
Za najmanjšo debelino kotnega zvara velja

$$a_{\min} \geq 3 \text{ mm}, \quad (80)$$

največja debelina pa je pri preklopnih spojih omejena geometrijsko z debelino  $t$  priključene pločevine (Sl. 28 a)

$$a_{\max} = 0,7t \quad (81)$$

in pri T-spojih z nosilnostjo priključene pločevine  $a_{\max} = 0,46t$  do  $0,75t$  (Sl. 28b in Pr. 44,  $\gamma_{M0} = 1,0$  in  $\gamma_{M2} = 1,25$ ).



Sl. 28. Največja debelina kotnih zvarov

Pr. 44. Največje potrebne debeline zvarov v T spojih in korelacijski faktor  $\beta_w$

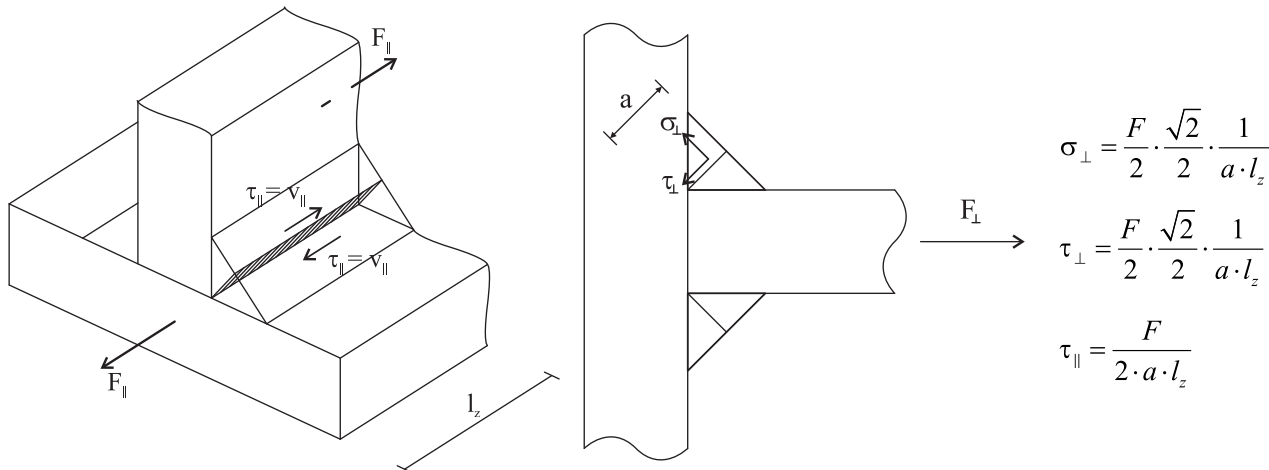
jeklo *	$\beta_w$	navadna jekla	N-jekla	M-jekla
		$a_{\max}^{**}/t$	$a_{\max}^{**}/t$	$a_{\max}^{**}/t$
S 235	0,8	0,46	-	-
S 275	0,85	0,48	0,53	0,55
S 355	0,9	0,58	0,58	0,60
S 420	1,0	-	0,71	0,71
S 460	1,0	-	0,75	0,75

\* Velja za jekla po SIST EN 10025, SIST EN 10210  
 \*\* Velja za mehanske lastnosti iz preglednic Pr. 1 za debelino  $t \leq 40$  mm

Projektna nosilnost kotnih zvarov se lahko določi na dva načina: z natančnejšo metodo, pri kateri je vedno potrebno računati komponente napetosti v kritičnem prerezu zvara, in s poenostavljeno metodo, pri kateri je merodajna le rezultanta napetosti na zvar s presežkom  $A_w = a L_{eff}$ .

### Natančnejša metoda

Komponente napetosti v kritičnem prerezu zvara se izračunajo, kot je prikazano na Sl. 29.



Sl. 29. Napetosti v kotnem zvaru

Projektna nosilnost kotnega zvara je dovolj velika, če sta izpolnjena naslednja pogoja:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}, \quad (82)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{f_u}{\gamma_{M2}}, \quad (83)$$

kjer je:

$f_u$  – natezna trdnost osnovnega materiala (ne zvara),

$\beta_w$  – korelacijski koeficient, podan v Pr. 44.

### Poenostavljena metoda

Če v izrazu (82) tudi  $\sigma_{\perp}$  obravnavamo kot strižno napetost in jo pomnožimo s 3 (konservativna rešitev), lahko (82) prepišemo:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} \leq \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = f_{vwd}, \quad (84)$$

kjer je  $f_{vwd}$  projektna strižna trdnost zvara. Koren na levi strani (84) lahko izrazimo z rezultanto napetosti v zvaru

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + \tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2} = \frac{F_{Ed}}{A_w} \leq f_{vwd} \quad (85)$$

in vidimo, da posamezne komponente napetosti oziroma orientacija zvara ne igra več pomembne vloge.

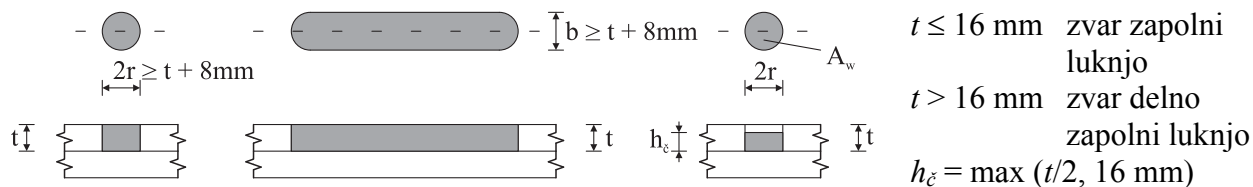
#### 5.4.1 Čepasti zvari

Čepasti zvari se lahko uporabljajo za:

- prevzem strižnih obremenitev v ravnini pločevine,

- preprečevanje uklona (izbočenja) tlačno obremenjenih pločevin ali razmikanja preklapljenih pločevin,
- spajanje sestavnih delov varjenih prečnih prerezov (strižni tok),

ne smejo pa se uporabljati za prevzem nateznih obremenitev od zunanjih nateznih sil. Najmanjšo potrebno širino oziroma premer luknje za čepasti zvar prikazuje Sl. 30 skupaj s potrebno višino čepa, ki je odvisna od debeline pločevine.



Sl. 30. Geometrija čepastih zvarov

Projektna nosilnost čepastega zvara je določena z izrazom

$$F_{w,Rd} = A_w f_{vwd} \quad (86)$$

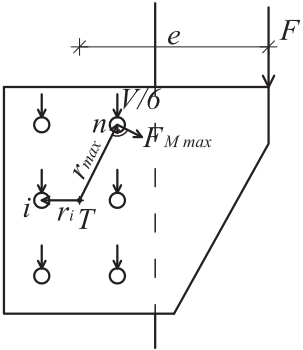
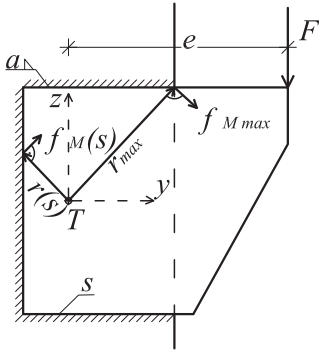
kjer je:

$A_w$  – projektna površina zvara – vzame se površina prereza luknje, zapolnjene z zvarom  
 $f_{vwd}$  – projektna strižna trdnost kotnih zvarov (glej (84)).

## 6 SPOJI

### 6.1 Spoji pod vplivi torzijske obremenitve

Pri torzijsko obremenjenih spojih (Sl. 31) se lahko predpostavi, da se pločevina obnaša kot toga šipa in da sile linearno naraščajo z oddaljenostjo od vrtilišča – težišča grupe veznih sredstev. Za morebitne prečne sile predpostavimo, da se razporedijo enakomerno.

	
$V_{Ed} = F_{Ed}$ $M_{Ed} = F_{Ed} \cdot e$ $F_{M \max} = \frac{r_{\max} \cdot M_{Ed}}{\sum_{i=1}^n r_i^2}$ $F_{Mi} = F_{M \max} \frac{r_i}{r_{\max}}$	$f_{M \max} = \frac{M_{Ed} \cdot r_{\max}}{a \int_s r^2(s) ds}$ $a \int_s r^2(s) ds = I_y + I_z$
a) vijani spoj	b) varjeni spoj

Sl. 31. Torzijsko obremenjeni spoji

### 6.2 Upogibno obremenjeni spoji

Pri upogibno obremenjenih spojih mora biti izpolnjen pogoj:

$$M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd} \quad (87)$$

Kadar osna sila v spoju  $N_{j,Ed}$  presega 5 % plastične osne nosilnosti v stikovanem elementu  $N_{pl,Rd}$ , se lahko uporabi naslednja poenostavljena kontrola:

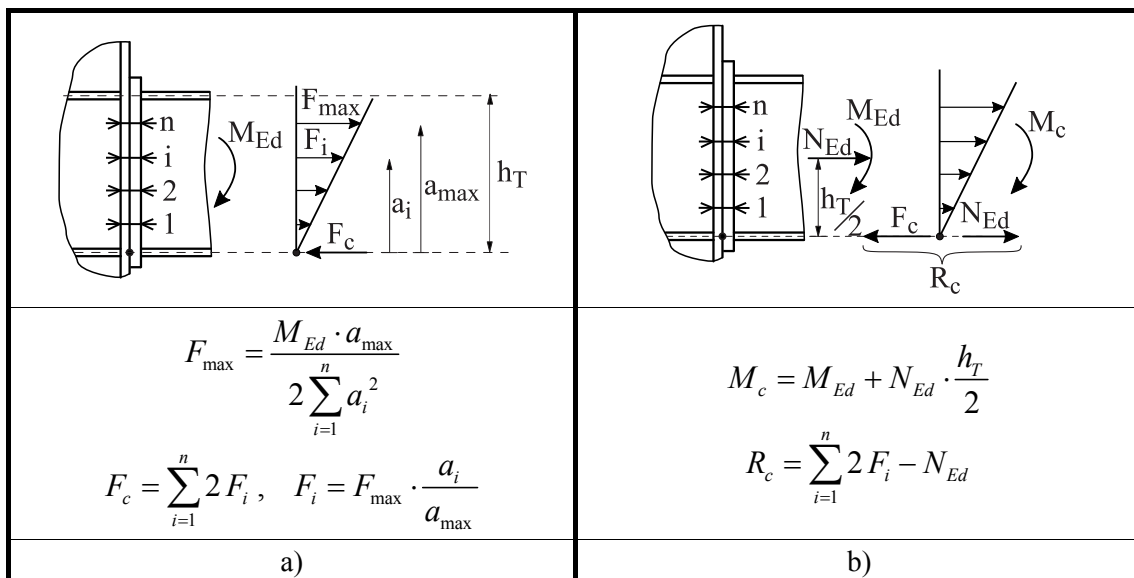
$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1,0, \quad (88)$$

kjer je:

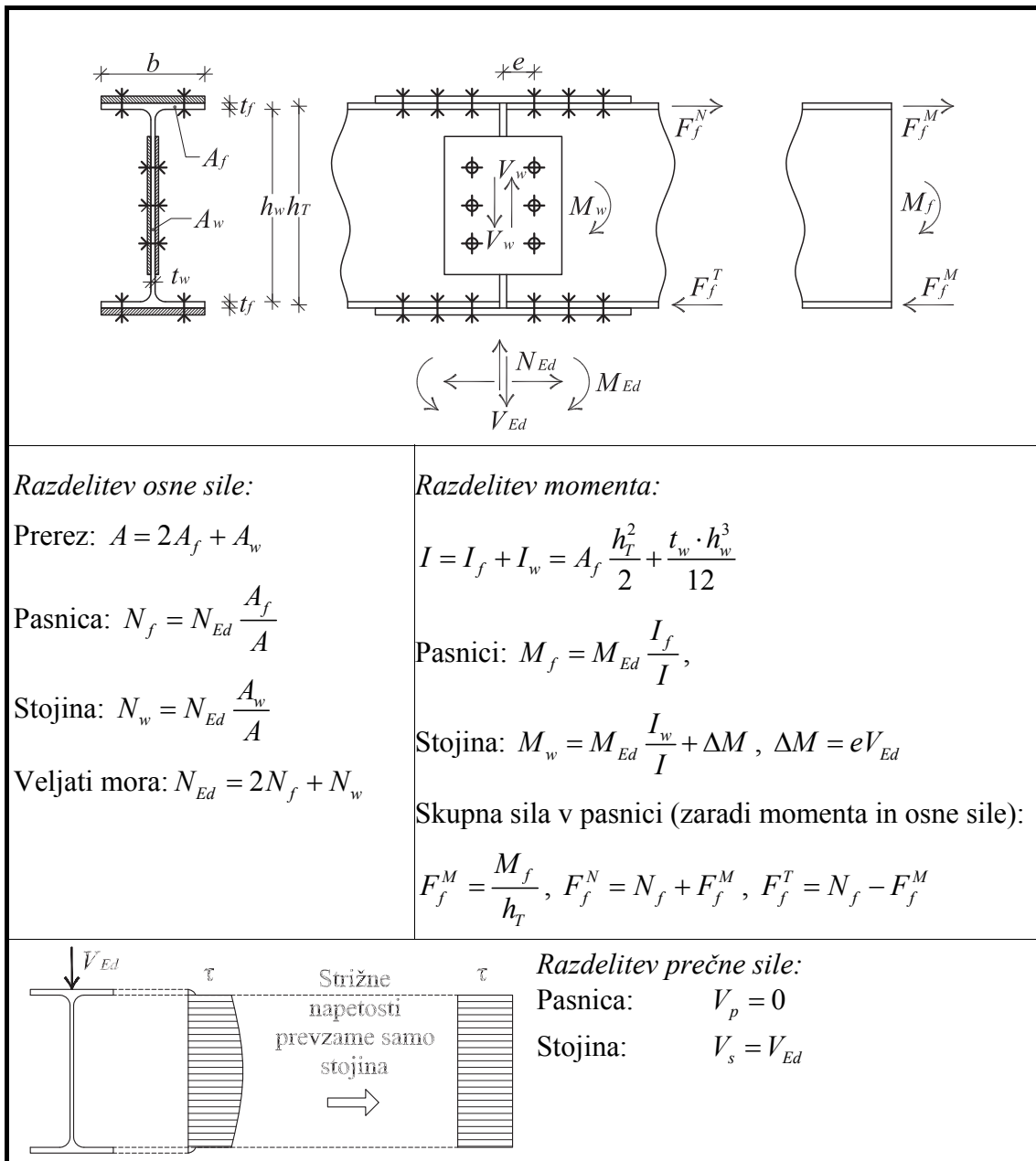
$M_{j,Rd}$  – projektna upogibna nosilnost, določena brez upoštevanja vpliva osne sile,

$N_{j,Rd}$  – projektna osna nosilnost spoja, določena brez upoštevanja vpliva momenta.

Pri čelnih spojih se lahko predpostavi linearni razpored sil in prijemališče rezultante tlačnih sil v težišču tlačene pasnice. Izračun je prikazan na Sl. 32.



Sl. 32. Čelni varjeni momentni spoj



Sl. 33. Preklopni vijačeni momenti spoj

Pri preklopnih upogibnih spojih se lahko notranje sile razporedijo v razmerju togosti (glej Sl. 33). Natezne pasnice se obravnavajo kot samostojni natezno obremenjeni elementi, tlačne pasnice kot samostojni tlačno obremenjeni elementi, preklopni spoj v stojini pa mora prevzeti:

- celotno prečno silo v spoju,
- delež upogibnega momenta, ki odpade na stojino,
- upogibni moment, ki izhaja iz ekscentričnosti težišča skupine veznih sredstev na vsaki strani preklopnega spoja (Sl. 33).

Težišče preklopnih pločevin mora sovpadati s težiščem prečnega prereza stikovanih elementov ali pa je treba ekscentričnost upoštevati v računu notranjih sil.

## 7 MEJNO STANJE UPORABNOSTI

V sistemu evrokodov je izbira kriterijev za mejna stanja uporabnosti v večini primerov prepuščena dogovoru med naročnikom in projektantom (projektna naloga). V evrokodih so podane samo priporočene vrednosti, npr. za upogibke nosilcev, ki pa jih projektant po potrebi lahko zaostri ali celo nekoliko omili, če to ne vpliva na varnost konstrukcije. V Nacionalnem dodatku k SIST EN 1990 so podani priporočeni kriteriji za upogibke, vodoravne pomike in vibracije konstrukcijskih elementov stavb.

### Kontrola napetosti

Kadar je v mejnem stanju nosilnosti uporabljena globalna plastična analiza, je potrebno v mejnem stanju uporabnosti zagotoviti elastično obnašanje konstrukcije ali pa na primeren način upoštevati delno plastifikacijo konstrukcije. Pri drugem pristopu je potrebno biti previden, saj lahko ponavljajoče se plastične deformacije privedejo do porušitve zaradi nizko-cikličnega utrujanja. Elastično obnašanje zagotovimo z naslednjo kontrolo:

$$\sigma_{Ed,ser} \leq f_y. \quad (89)$$

Plastifikacija jeklene konstrukcije je ireverzibilno stanje, zato se za račun napetosti  $\sigma_{Ed,ser}$  uporabi karakteristična obtežna kombinacija (SIST EN 1990, pogl. 6.5.3)

$$\sum_j G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} Q_{k,i}. \quad (90)$$

### Kontrola upogibkov in vibracij

Za preverjanje upogibkov se lahko za elemente stavb uporabi *Pr. 45*.

Pr. 45. Omejitve navpičnih premikov konstrukcij (pomen simbolov po sliki A1.1 v EN 1990)

Del konstrukcije	Mejne vrednosti pri karakteristični kombinaciji vplivov	
	$w_{max}$	$w_2 + w_3$
strehe nasploh	$L/200^*$	$L/250$
pohodne strehe (ne le pri vzdrževanju)	$L/250$	$L/300$
stropovi nasploh	$L/250$	$L/300$
strehe in stropovi, ki nosijo krhke obloge (npr. mavec), in zelo toge predelne stene	$L/300$	$L/350$
stropovi, ki podpirajo stebre, razen v primerih, če so ti upogibki izračunani pri celoviti analizi konstrukcije	$L/400$	$L/500$
*v primeru, da je $w_{max}$ pomemben za videz konstrukcije	$L/250$	-
$L$ razpon med podporami ali dvojna dolžina konzole		
Pomen simbolov:		
$w_c$	nadvišanje neobremenjenega konstrukcijskega elementa	
$w_1$	začetni del upogibka zaradi stalnih vplivov v ustrezni kombinaciji skladno z enačbami (6.14a) do (6.16b)	
$w_2$	del upogibka zaradi dolgotrajnega delovanja stalne obtežbe	
$w_3$	dodatni del upogibka zaradi spremenljivih vplivov v ustrezni kombinaciji skladno z enačbami (6.14a) do (6.16b)	
$w_{tot}$	celoten upogibek kot vsota $w_1$ , $w_2$ in $w_3$	
$w_{max}$	končni upogibek z upoštevanjem nadvišanja	

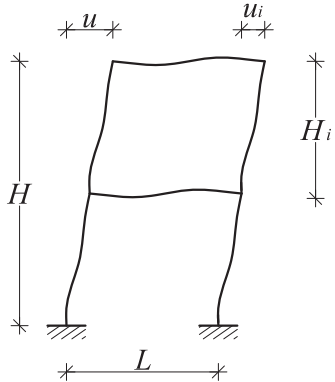
Za preverjanje vodoravnih pomikov se lahko za elemente stavb uporabi Pr. 46.



Pr. 46. Omejitve vodoravnih pomikov konstrukcij (pomen simbolov po sliki A1.2 v EN 1990)

Vrsta stavbe	Mejne vrednosti pri karakteristični kombinaciji vplivov	
	$u_i$	$u$
pritlične industrijske stavbe brez žerjavnih prog	$H_i/150$	-
pritlične stavbe	$H_i/300$	-
večnadstropne stavbe	$H_i/300$	$H/500$

Pomen simbolov:



$u$  celotni vodoravni pomik konstrukcije višine H

$u_i$  vodoravni pomik etaže višine  $H_i$

Za preverjanje vibracij stropov stavb se lahko uporabi Pr. 47.

Pr. 47. Omejitve navpičnih pomikov in lastnih frekvenc stropov

Vpliv, zaradi katerega lahko nastanejo dinamični učinki	Mejne vrednosti pri karakteristični kombinaciji vplivov	
	lastna frekvenca	$w_{tot}$
hoja	3 Hz	28 mm
ples ali telovadba	5 Hz	10 mm

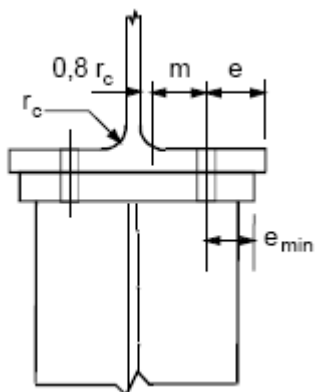
Ker upogibki in vibracije predstavljajo reverzibilna stanja, se za račun upogibkov in lastnih frekvenc uporabi pogosta obtežna kombinacija (SIST EN 1990, pogl. 6.5.3)

$$\sum_j G_{k,j} + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (91)$$

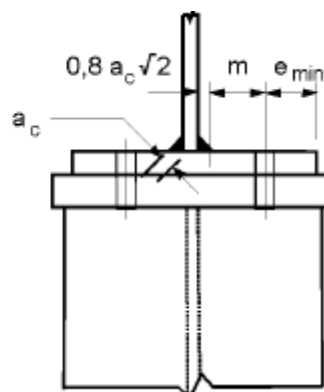
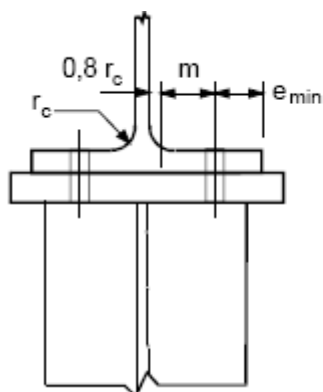
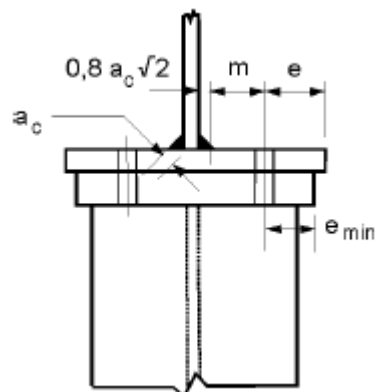


# PRILOGA 1: PODATKI ZA RAČUNANJE NOSILNOSTI T-ELEMENTOV V MOMENTNIH SPOJIH

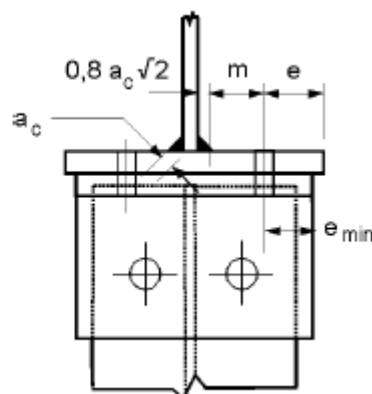
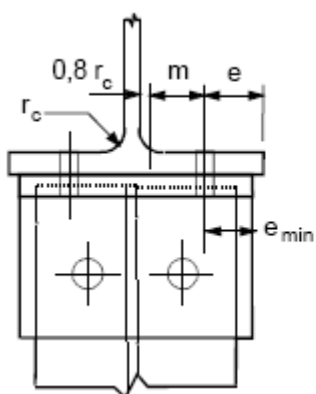
## Definicije za $e$ , $e_{\min}$ , $r_c$ in $m$



Privarjena čelna pločevina je ožja od pasnice stebra.



Privarjena čelna pločevina je širša od pasnice stebra.



Vezni kotniki ob pasnici.

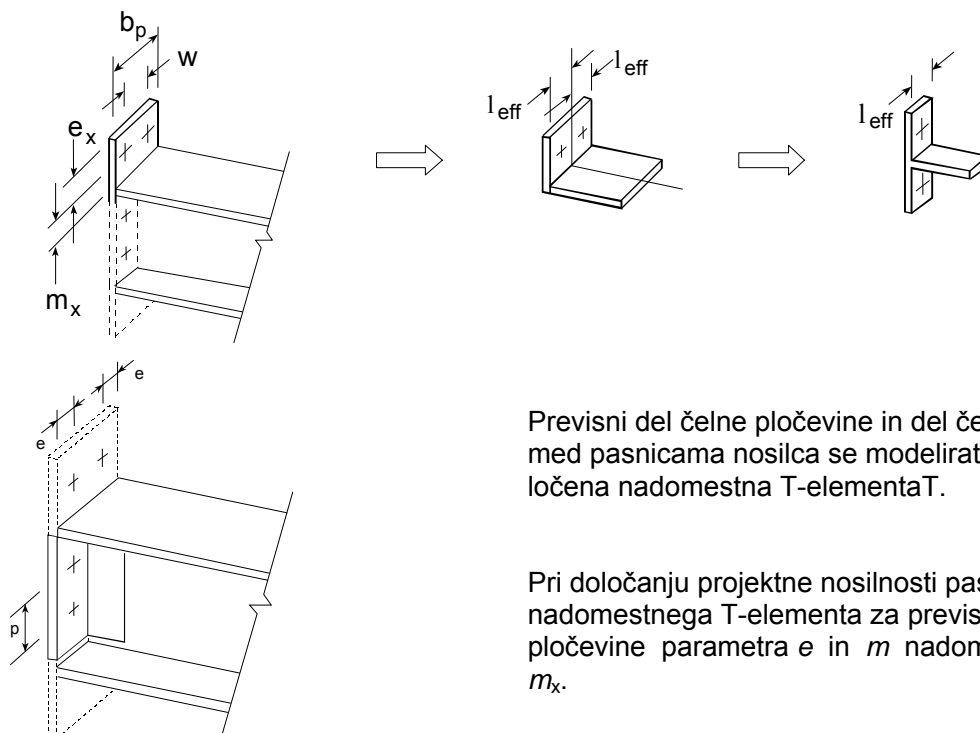
**Sodelujoče dolžine neojačene pasnice stebra**

Lega vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $l_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $l_{\text{eff,nc}}$	Krožna oblika $l_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $l_{\text{eff,nc}}$
Notranja vrsta	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Zunanja vrsta	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manjša od f: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manjša od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manjša od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
1. način:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ , vendar $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\sum l_{\text{eff},1} = \sum l_{\text{eff,nc}}$ , vendar $\sum l_{\text{eff},1} \leq \sum l_{\text{eff,cp}}$	
2. način:	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff,nc}}$	

**Sodelujoče dolžine ojačene pasnice stebra**

Lega vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $l_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $l_{\text{eff,nc}}$	Krožna oblika $l_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $l_{\text{eff,nc}}$
Vrsta ob ojačitvi	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$
Ostale notranje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ostale zunanje vrste	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manjša od: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manjša od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manjša od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Zunanja vrsta ob ojačitvi	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m$ $-(2m + 0,625e)$	ni relevantno	ni relevantno
1. način:	$l_{\text{eff},1} = l_{\text{eff,nc}}$ , vendar $l_{\text{eff},1} \leq l_{\text{eff,cp}}$		$\sum l_{\text{eff},1} = \sum l_{\text{eff,nc}}$ , vendar $\sum l_{\text{eff},1} \leq \sum l_{\text{eff,cp}}$	
2. način:	$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}}$		$\sum l_{\text{eff},2} = \sum l_{\text{eff,nc}}$	
$\alpha$ se določi iz Sl. 34.				

## Modeliranje čelne pločevine z nadomestnimi T-elementi



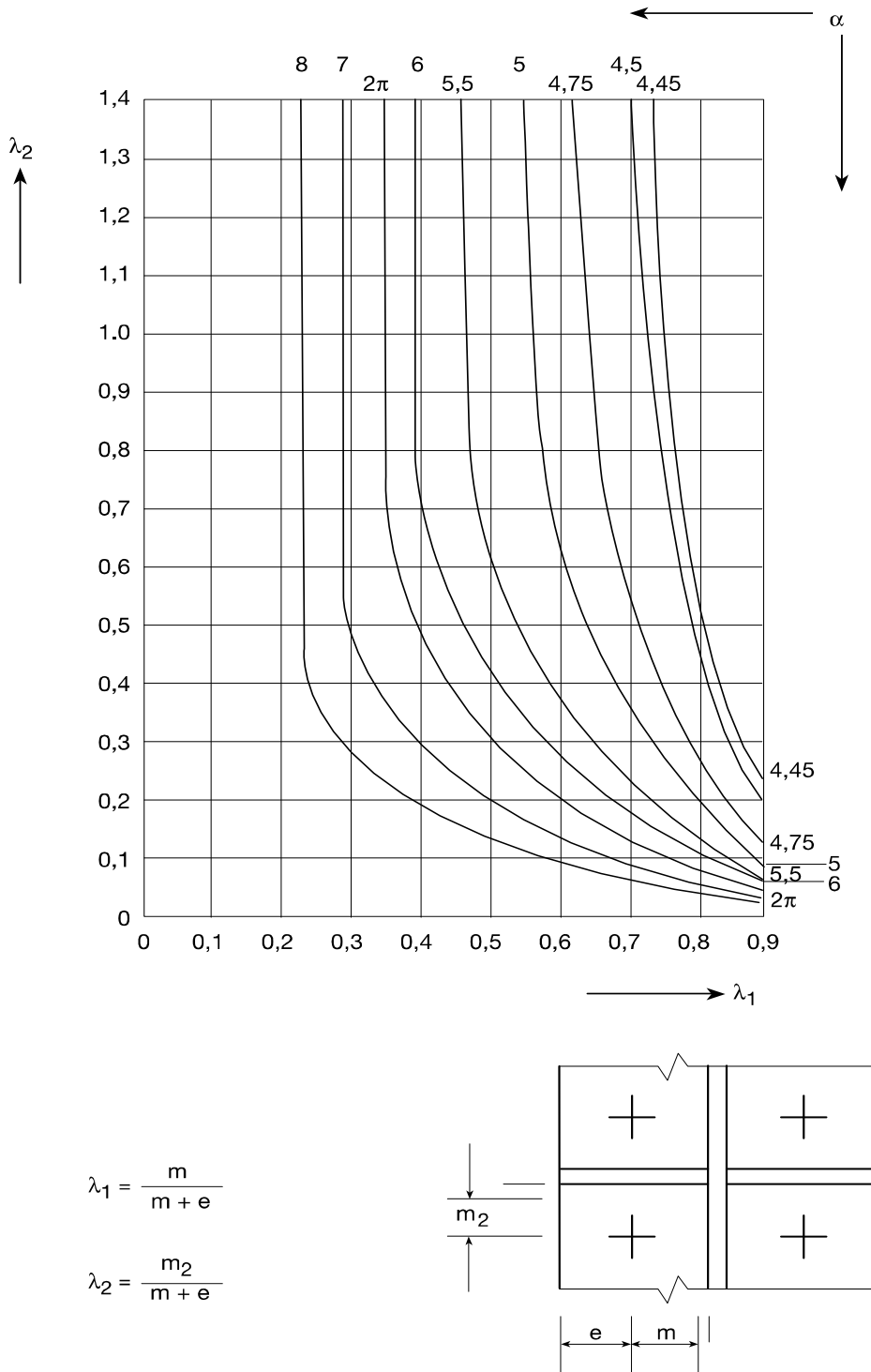
Previsni del čelne pločevine in del čelne pločevine med pasnicama nosilca se modelirata kot dva ločena nadomestna T-elementa T.

Pri določanju projektne nosilnosti pasnic nadomestnega T-elementa za previsni del čelne pločevine parametra  $e$  in  $m$  nadomesti z  $e_x$  in  $m_x$ .

### Sodelujoče dolžine pri čelni pločevini

Lega vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $l_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $l_{eff,nc}$	Krožna oblika $l_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $l_{eff,nc}$
Vrsta nad natezno pasnico nosilca (izven višine nosilca)	Manjša od: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Manjša od: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Prva vrsta pod natezno pasnico nosilca (znotraj višine nosilca)	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m$ $- (2m + 0,625e)$
Ostale notranje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ostale zunanje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. način:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ , vendar $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ , vendar $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
2. način:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

$\alpha$  se določi iz Sl. 34.



Sl. 34. Vrednosti parametra  $\alpha$  pri ojačenih pasnicah stebra in čelnih pločevinah

## PRILOGA 2: TABELE KONSTRUKCIJSKIH DETAJLOV ZA UTRUJANJE

### Kontrola utrujanja

Nominalna, modificirana nominalna ali geometrijska razlika napetosti zaradi pogoste spremenljive obtežbe  $\psi_1 Q_k$  (glej EN 1990) ne sme presegati

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &\leq 1,5 f_y && \text{za normalne razlike napetosti} \\ \Delta\tau &\leq 1,5 f_y / \sqrt{3} && \text{za strižne razlike napetosti} \end{aligned}$$

### Račun največjega dopustnega št. ciklov $N_R$

- Normalne razlike napetosti

$$\text{pri } N \leq 5 \cdot 10^6 \quad N_{Ri} = 2 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^3$$

$$\text{pri } 5 \cdot 10^6 < N \leq 10^8 \quad N_{Ri} = 1,086 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\sigma_i} \right]^5$$

$$\text{pri } N > 10^8 \quad \gamma_{Ff} \Delta\sigma_i \leq \Delta\sigma_L / \gamma_{Mf} = 0,405 \Delta\sigma_C / \gamma_{Mf}$$

lahko vpliv  $\Delta\sigma_i$  zanemarimo

### Račun največjega dopustnega št. ciklov $N_R$

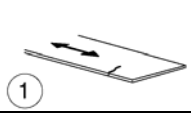

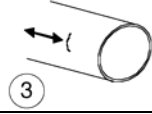




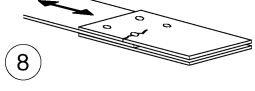
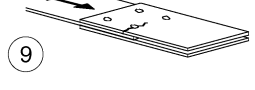
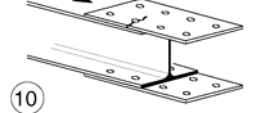
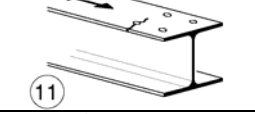
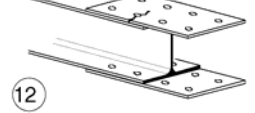
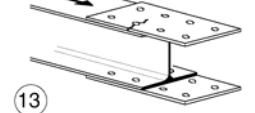
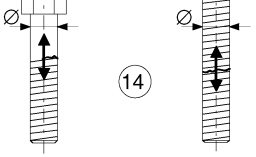
- Strižne razlike napetosti

$$\text{pri } N \leq 10^8 \quad N_{Ri} = 2 \cdot 10^6 \left[ \frac{\Delta\tau_C / \gamma_{Mf}}{\gamma_{Ff} \Delta\tau_i} \right]^5$$

$$\text{pri } N > 10^8 \quad \gamma_{Ff} \Delta\tau_i \leq \Delta\tau_L / \gamma_{Mf} = 0,457 \Delta\tau_C / \gamma_{Mf}$$

lahko vpliv  $\Delta\tau_i$  zanemarimo

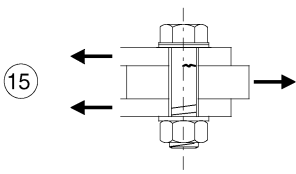
## Elementi brez konstrukcijskih detajlov in vozlišča z mehanskimi spoji

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
160	<p><b>OPOMBA</b> Krivulja trdnosti utrujanja za kategorijo 160 je najvišja možna. Noben detajl ne more doseči višje trdnosti utrujanja, ne glede na število ciklov.</p>   	<p><u>Valjani in ekstrudirani izdelki:</u></p> <p>1) Pločevine in trakovi; 2) vročvaljani profili; 3) Brezšivni votli profili, pravokotni ali okrogli.</p>	<p><u>Detajli 1) do 3):</u></p> <p>Ostri robovi in površinske napake popravljene z brušenjem dokler niso odpravljene ali pa je dosežen gladek prehod.</p>
140		<p><u>Mehansko ali plamensko rezane pločevine:</u></p> <p>4) Material, rezan avtomatsko plamensko ali mehansko, z naknadno obdelavo.</p>	<p>4) Vse vidne robne nepravilnosti odstranjene. Območja rezanja pobrušena ali zunanja plast materiala odstranjena in vsi ostružki odstranjeni. Zareze od strojev, npr. od brušenja, so dovoljene le v smeri, vzporedni s smerjo napetosti.</p>
125		<p>5) Material, razrezan avtomatsko plamensko z gladko in pravilno površino rezanja ali ročno plamensko z naknadno obdelavo, s katero so odstranjene robne nepravilnosti. Avtomatsko plamensko rezanje s kvaliteto reza v skladu z EN 1090.</p>	<p><u>Detajla 4) in 5):</u></p> <p>- Navznoter obrnjeni vogali izboljšani z brušenjem (naklon <math>\leq \frac{1}{4}</math>) ali analizirani z ustreznimi faktorji koncentracije napetosti. - Brez popravil s povarjenjem.</p>
100 m = 5	 	<p>6) in 7) Valjani in ekstrudirani proizvodi kot pri detajlih 1), 2), 3)</p>	<p><u>Detajla 6) in 7):</u></p> <p><math>\Delta\tau</math> izračunan s: <math>\tau = \frac{V S(t)}{I t}</math></p>
<p>Za detajle 1 – 5, izdelane iz vremensko odpornega jekla, uporabi naslednjo nižjo kategorijo.</p>			
112		<p>8) Simetrični dvostranski preklonni spoj s prednapetimi vijaki.</p>	<p>8) <math>\Delta\sigma</math> se izračuna za bruto prečni prerez.</p>
		<p>8) Simetrični dvostranski preklonni spoj s prednapetimi injeciranimi vijaki.</p>	<p>8) ... bruto prečni prerez.</p>
		<p>9) Dvostranski preklonni spoj z vijaki s točnim naleganjem.</p>	<p>9) ... neto prečni prerez.</p>
		<p>9) Dvostranski preklonni spoj z injeciranimi vijaki, ki niso prednapeti.</p>	<p>9) ... neto prečni prerez.</p>
90		<p>10) Enostranski preklonni spoj s prednapetimi vijaki.</p>	<p>10) ... bruto prečni prerez.</p>
		<p>10) Enostranski preklonni spoj z injeciranimi prednapetimi vijaki.</p>	<p>10) ... bruto prečni prerez.</p>
		<p>11) Konstrukcijski elementi z luknjami, obremenjeni upogibno ali z osno silo.</p>	<p>11) ... neto prečni prerez.</p>
80		<p>12) Enostranski preklonni spoj z vijaki s točnim naleganjem.</p>	<p>12) ... neto prečni prerez.</p>
		<p>12) Enostranski preklonni spoj z injeciranimi vijaki, ki niso prednapeti.</p>	<p>12) ... neto prečni prerez.</p>
50		<p>13) Enostranski ali dvostranski spoj z navadnimi vijaki v običajno velikih luknjah. Obtežba ne spreminja smeri delovanja.</p>	<p>13) ... neto prečni prerez.</p>
50	<p>vpliv velikosti za <math>\phi &gt; 30\text{mm}</math>:</p> <p><math>k_s = (30/\phi)^{0,25}</math></p> 	<p>14) Vijaki in navojne palice z valjanim ali vrezanim navojem v nategu. Pri večjih premerih (sidni vijaki) se vpliv velikosti upošteva s koeficientom <math>k_s</math>.</p>	<p>14) <math>\Delta\sigma</math> se izračuna v računskem prerezu vijaka. Potrebno je upoštevati upogib in natezno silo od ekscentričnega kontaktnega tlaka. Pri prednapetih vijakih se lahko upošteva reducirana razlika napetosti.</p>

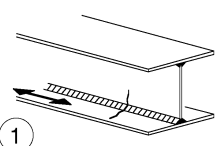
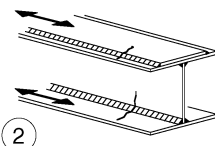
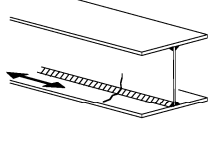
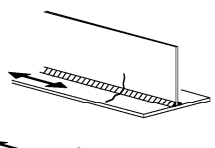
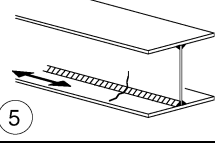
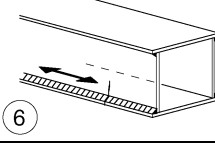
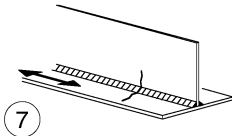
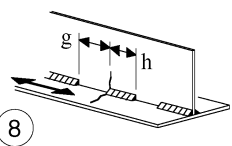
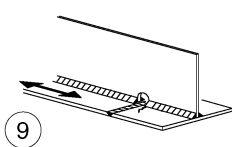
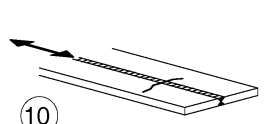
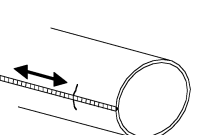
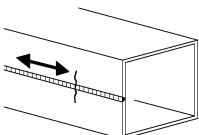
## Elementi brez konstrukcijskih detajlov in vozlišča z mehanskimi spoji (nadaljevanje):

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
------------------	-----------------------	------	---------



100 m=5		<p><u>Vijaki z eno ali dvema strižnima ravninama</u> Navoji izven strižne ravnine 15) - vijaki s točnim naleganjem - običajni vijaki brez obtežbe, ki spreminja smer (trdnostni razredi vijakov 5.6, 8.8 ali 10.9)</p>	15) $\Delta\tau$ izračunana glede na prerez stebila vijaka.
------------	---	--	--

### Varjeni prečni prerezi

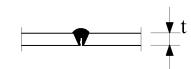
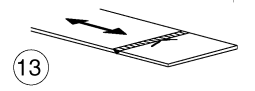
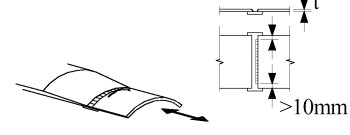
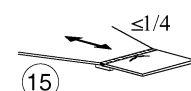
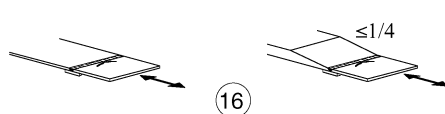
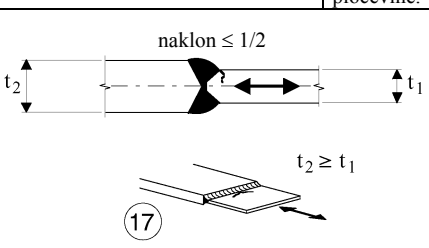
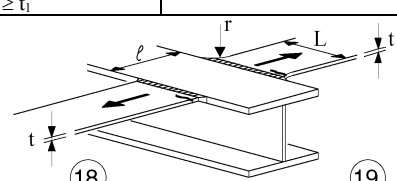
Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
125	 	<p>Neprekinjen vzdolžni zvar:</p> <p>1) Dvostranski avtomatski čelni zvar.</p> <p>2) Avtomatski kotni zvar. Konci dodatnih lamel preverjeni glede na detajl 6) ali 7) v preglednici 8.5.</p>	<p>Detajla 1) in 2):</p> <p>V zvaru niso dovoljene prekinitve varjenja, razen kadar gre za popravilo zvara, opravljeno s strani specialista in z ustrežno kontrolo, ki zagotovi pravilno izvedbo popravila.</p>
112	 	<p>3) Dvostranski avtomatski kotni ali čelni zvari, ki vsebuje prekinitve varjenja.</p> <p>4) Enostranski avtomatski čelni zvar, narejen s pomočjo neprekinjenega podkorenskega traku, ki ne vsebuje prekinitev varjenja.</p>	<p>4) Kadar ta detajl vsebuje prekinitve varjenja, se upošteva kategorija detajla 100.</p>
100	 	<p>5) Ročni kotni ali čelni zvar.</p> <p>6) Enostranski ročni ali avtomatski čelni zvar, predvsem pri škatlastih nosilcih</p>	<p>5), 6) Pomembno je dobro naleganje med pasnico in stojino. Rob stojine mora biti pripravljen na tak način, da se lahko doseže polna penetracija zvara brez nevarnosti preboja.</p>
100		<p>7) Popravljen avtomatski ali ročni kotni ali čelni zvar kategorij 1) do 6).</p>	<p>7) Izboljšanje z brušenjem s strani specialista, da se odstranijo vsi vidni znaki popravila, in ustrezna verifikacija, lahko povrnejo začetno kategorijo.</p>
80	 <p><math>g/h \leq 2,5</math></p>	<p>8) Prekinjeni vzdolžni kotni zvari.</p>	<p>8) <math>\Delta\sigma</math> temelji na vzdolžnih napetostih v pasnici.</p>
71		<p>9) Vzdolžni čelni, kotni ali prekinjeni zvari z luknjo za lažjo izvedbo prečnih zvarov, katere višine ne presega 60 mm. Za luknje z višino, večjo od &gt; 60 mm glej detajl 1) v preglednici 8.4</p>	<p>9) <math>\Delta\sigma</math> temelji na vzdolžnih napetostih v pasnici.</p>
125		<p>10) Vzdolžni čelni zvar, obojestransko pobrušen v vzdolžni smeri do ravnine pločevine, 100% neporušne preiskave</p>	
112		<p>10) Brez brušenja in brez prekinjanja varjenja</p>	
90		<p>10) S prekinjanjem varjenja</p>	
140		<p>11) Avtomatski vzdolžni (šivni) zvar brez prekinjanja varjenja, pri votlih profilih</p>	<p>11) Brez napak izven toleranc iz EN 1090. Debelina stene <math>t \leq 12,5</math> mm.</p>
125		<p>11) Avtomatski vzdolžni (šivni) zvar brez prekinjanja varjenja, pri votlih profilih</p>	<p>11) Debelina stene <math>t &gt; 12,5</math> mm.</p>
90		<p>11) S prekinjanjem varjenja</p>	

Za detajle 1 do 11, izdelane robotsko, veljajo kategorije za avtomatsko varjenje.

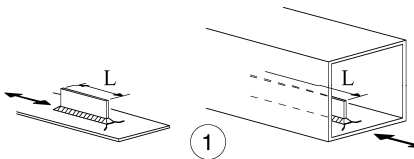
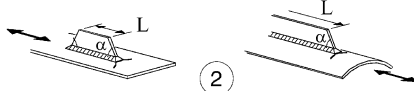
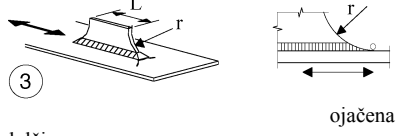
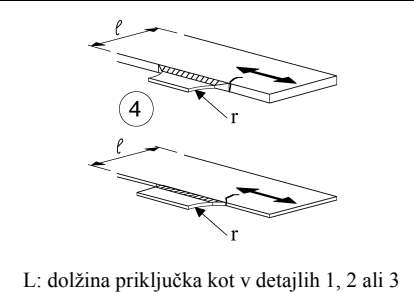
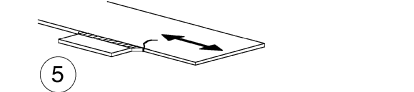
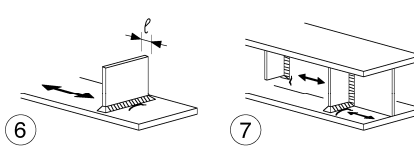
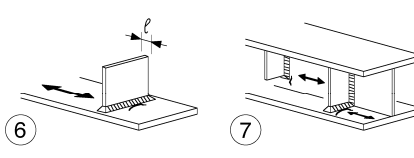
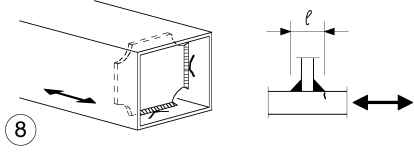
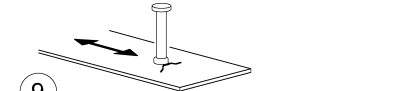
## Prečni čelni zvari

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
112	<p>vpliv velikosti za <math>t &gt; 25\text{mm}</math>: <math>k_s = (25/t)^{0.2}</math></p>	<p>Brez podkorenskega traku:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Prečni spoji v pločevinah.</li> <li>2) Spoji v pasnicah in stojinah polnostenskih nosilcev pred sestavo nosilcev.</li> <li>3) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</li> <li>4) Prečni spoji v pločevinah s spremenljivo višino ali širino, z nagibom <math>\leq 1/4</math>.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vsi zvari pobrušeni v smeri puščice do ravnine pločevine.</li> <li>- Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine.</li> <li>- Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami.</li> </ul> <p><u>Detajl 3):</u> Nanaša se na valjane profile, ki so prerežani in ponovno zvarjeni.</p>
90	<p>vpliv velikosti za <math>t &gt; 25\text{mm}</math>: <math>k_s = (25/t)^{0.2}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5) Prečni spoji v pločevinah.</li> <li>6) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</li> <li>7) Prečni spoji v pločevinah s spremenljivo višino ali širino, z nagibom <math>\leq 1/4</math>.</li> </ol> <p>Prehod zvarov mora biti strojno obdelan, da je brez zarez.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nadvišanje zvara ne presega 10% širine zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine.</li> <li>- Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine.</li> <li>- Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami.</li> </ul> <p><u>Detajla 5 in 7):</u> Zvari izdelani v horizontalni legi.</p>
90	<p>vpliv velikosti za <math>t &gt; 25\text{mm}</math>: <math>k_s = (25/t)^{0.2}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>8) Kot detajl 3), vendar z luknjjo v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vsi zvari pobrušeni v smeri puščice do ravnine pločevine.</li> <li>- Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine.</li> <li>- Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami.</li> <li>- Valjani profili z enakimi dimenzijami brez razlik zaradi toleranc.</li> </ul>
80	<p>vpliv velikosti za <math>t &gt; 25\text{mm}</math>: <math>k_s = (25/t)^{0.2}</math></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>9) Prečni spoji v varjenih polnostenskih nosilcih brez lukenj za lažje varjenje.</li> <li>10) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov z luknjami v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</li> <li>11) Prečni spoji v pločevinah, valjanih profilih ali varjenih polnostenskih nosilcih.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nadvišanje zvara ne presega 20% širine zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine.</li> <li>- Zvar ni pobrušen</li> <li>- Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine.</li> <li>- Obojestransko varjeni zvari, kontrolirani z neporušnimi preiskavami.</li> </ul> <p><u>Detajl 10):</u> Višina nadvišanja zvara ne sme presegati 10% širine zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine.</p>
63		<ol style="list-style-type: none"> <li>12) Čelni zvari za popolno spajanje valjanih profilov brez lukenj v stojini za lažjo izvedbo zvarov.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Varjenje se izvede ob pomoči iztečnih talonov, ki morajo biti po varjenju odstranjeni. Na robu pločevin morajo biti zvari pobrušeni v smeri delovanja napetosti do roba pločevine.</li> <li>- Obojestransko varjeni zvari.</li> </ul>

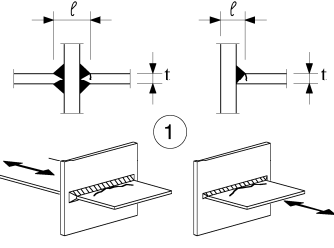
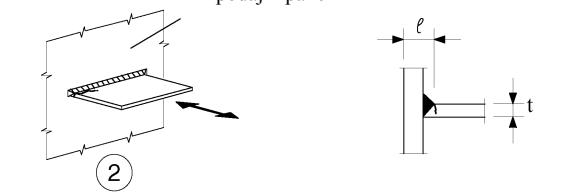
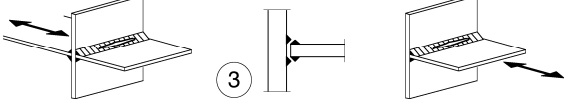
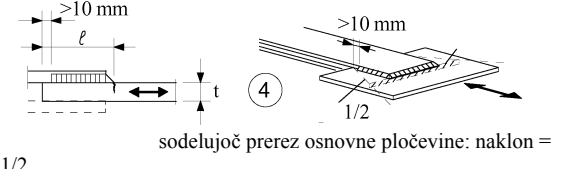
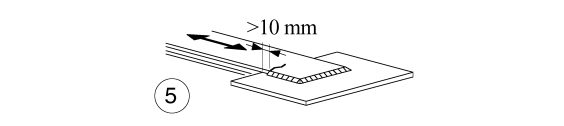
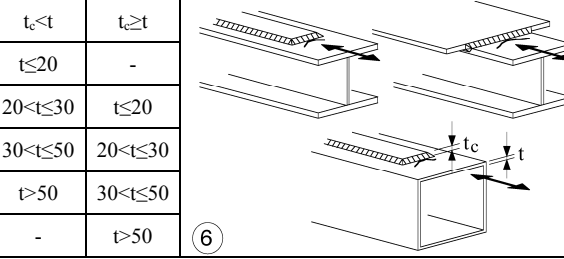
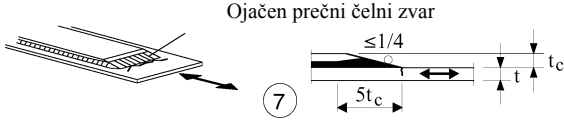
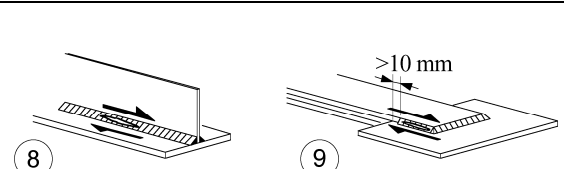
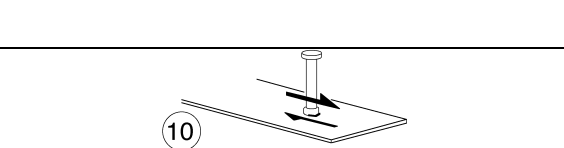

## Prečni čelni zvari (nadaljevanje):



Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
36		13) Čelni zvar, izdelan samo z ene strani.	13) Brez podkorenskega traku.
71	 13	13) Čelni zvar, izdelan samo z ene strani, kadar je polna penetracija preverjena z ustrezno neporušno preiskavo.	
71	 14	S podkorenskim trakom: 14) Prečni spoj. 15) Prečni čelni zvar s spremenljivo debelino ali širino z naklonom $\leq 1/4$ . Velja tudi za zakrivljene pločevine.	Detajla 14) in 15):  Kotni zvari za pritrjevanje pokorenskega traku se morajo kočati vsaj 10 mm od robov spajane pločevine. Ti zvari morajo ležati znotraj volumna prečnega zvara.
71	 15		
50	 16	16) Prečni čelni zvar na stalnem podkorenskem traku, s spremenljivo debelino ali širino z naklonom $\leq 1/4$ . Velja tudi za zakrivljene pločevine.	16) Kadar se zvar za pritrjevanje podkorenskega traku ne konča vsaj 10 mm od robov spajane pločevine, ali če dobrega naleganja podkorenskega traku ni mogoče doseči.
71	 17	17) Prečni čelni zvar, različni debelini pločevin brez zveznega prehoda, težiščni liniji pločevin poravnani.	
Kot detajl 1 v pregl. 8.5	 18	18) Prečni čelni zvar pri sekajočih se pasnicah.	Detajla 18) in 19)  Odpornost na utrujanje pasnice, ki poteka kontinuirno, se preveri glede na detajl 4 ali 5 v preglednici 8.4.
Kot detajl 4 v Pregl. 8.4		19) Z radijem prehoda v skladu s preglednico 8.4, detajl 4.	

## Varjeni priključki in ojačitve

Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl	Opis	Zahteve
80	$L \leq 50\text{mm}$	 <p>1) Kategorija detajla se spreminja glede na dolžino L priključka.</p>	Debelina priključka mora biti manjša od njegove višine. V nasprotnem primeru glej preglednico 8.5, detajl 5 ali 6.
71	$50 < L \leq 80\text{mm}$		
63	$80 < L \leq 100\text{mm}$		
56	$L > 100\text{mm}$		
71	$L > 100\text{mm}$ $\alpha < 45^\circ$	 <p>2) Vzdolžni priključek na pločevino ali cev.</p>	
80	$r > 150\text{mm}$ dolžina ojačena	 <p>3) Z vzdolžnimi kotnimi zvari privarjena priključna pločevina, z radijem prehoda na osnovno pločevino ali cev; zadnji del kotnega zvara je ojačen (polna penetracija); dolžina ojačitve zvara <math>&gt; r</math>.</p>	<u>Detajla 3) in 4):</u> Gladek prehod z radijem $r$ , narejenim z mehansko obdelavo ali s plamenskim rezanjem pred varjenjem, zatem brušenje zvara vzporedno smeri puščice, da se prečni zvar na robu povsem odstrani.
90	$\frac{r}{L} \geq \frac{1}{3}$ ali $r > 150\text{mm}$	 <p>4) Priključna pločevina, privarjena na rob pločevine ali pasnice nosilca.</p>	
71	$\frac{1}{6} \leq \frac{r}{L} \leq \frac{1}{3}$		
50	$\frac{r}{L} < \frac{1}{6}$		
40	 <p>5) Varjeno, brez obdelave, brez radija prehoda.</p>		
80	$\ell \leq 50\text{mm}$	 <p>6) Varjeni na pločevino.</p>  <p>7) Vertikalne ojačitve, privarjene na valjani ali varjeni nosilec.</p>  <p>8) Diafragma škatlastega nosilca, privarjena na pasnico ali stojino. Ni mogoče izvesti pri manjših votlih profilih.</p>	<u>Detajla 6) in 7):</u> Konci zvara morajo biti pazljivo obrušeni, da se odstranijo vse zajede, ki bi lahko bile prisotne. 7) $\Delta\sigma$ se izračuna z uporabo glavnih napetosti, če ojačitev ne sega do pasnice, glej levo ojačitev.
71	$50 < \ell \leq 80\text{mm}$		
80	 <p>9) Vpliv varjenih strižnih čepov na osnovni material.</p>		

## Varjeni spoji, ki prenašajo obtežbo

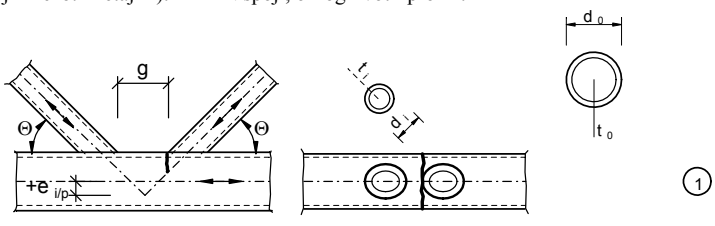
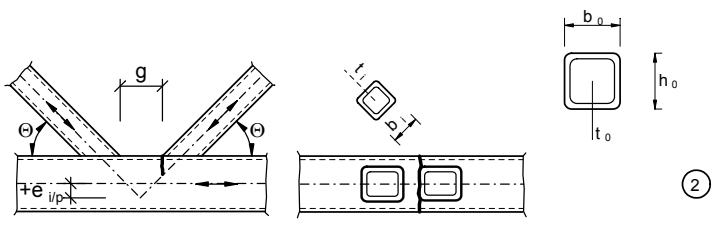
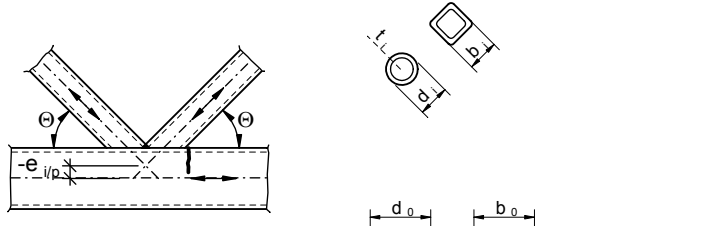
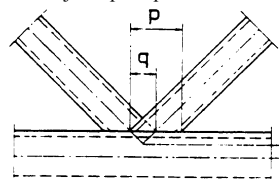
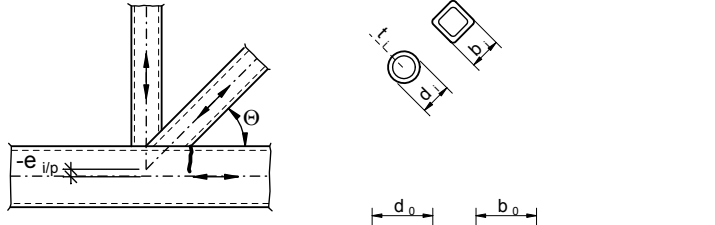
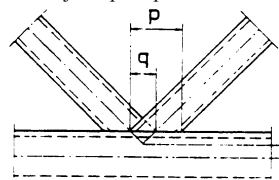
Kategor. detajla	Konstrukcijski detajl		Opis	Zahteve
80	$l < 50$ mm	vsi $t$ [mm]	 <p>1) Porušitev ob robu čelnega zvara s polno penetracijo in vseh zvarov z delno penetracijo.</p>	<p>1) Prekontrolirati, da je obseg diskontinuitet in geometrijskih nepravilnost v skladu s tolerancami iz EN1090.</p> <p>2) Pri izračunu <math>\Delta\sigma</math> uporabi modificirano nominalno napetost.</p> <p>3) Pri delno penetriranih zvarih sta potrebni dve ločeni kontroli. Nevarnost nastanka razpoke v korenu zvara se preveri z napetostmi, definiranimi v poglavju 5. Za <math>\Delta\sigma_w</math> se uporabi kategorija 36*, za <math>\Delta\tau_w</math> pa kategorija 80. Nevarnost nastanka razpoke ob robu zvara se preveri s pomočjo razlike napetosti <math>\Delta\sigma</math> v priključeni (obremenjeni) pločevini.</p>
71	$50 < l \leq 80$	vsi $t$		
63	$80 < l \leq 100$	vsi $t$		
56	$100 < l \leq 120$	vsi $t$		
56	$l > 120$	$t \leq 20$		
50	$120 < l \leq 200$ $l > 200$	$t > 20$ $20 < t \leq 30$		
45	$200 < l \leq 300$ $l > 300$	$t > 30$ $30 < t \leq 50$		
40	$l > 300$	$t > 50$		
Kot detajl 1 v pregl. 8.5			2) Porušitev ob robu zvara, s koncentracijami napetosti ob robovih priključene pločevine zaradi podajnosti panela.	
36*			3) Porušitev v korenu delno penetriranih ali kotnih zvarov T spojev in polno penetriranih čelnih zvarov T spojev.	<p><u>Detajli 1) do 3):</u> Zamik priključenih pločevin ne sme presegati 15 % debeline vmesne pločevine.</p>
Kot detajl 1 v pregl. 8.5	 <p>sodelujoč prerez osnovne pločevine: naklon = 1/2</p>		<p><u>Preklopni varjeni spoji:</u></p> <p>4) Preklopni spoji s kotnimi zvari.</p>	<p>4) <math>\Delta\sigma</math> v osnovni pločevini; izračuna se na osnovi sodelujočega prereza (glej skico).</p> <p>5) <math>\Delta\sigma</math> se določi v preklopnih pločevinah.</p>
45*			<p><u>Preklopni varjeni spoji:</u></p> <p>5) Preklopni spoji s kotnimi zvari.</p>	<p><u>Detajla 4) in 5):</u> -Zvar se konča več kot 10 mm od roba pločevine. -Nevarnost nastanka razpok v strigu se preveri z uporabo detajla 8).</p>
56*	$t_c < t$	$t_c \geq t$		<p><u>Dodatne lamele pri valjanih in varjenih nosilcih:</u></p> <p>6) Konci enojnih ali večkratnih lamel s čelnimi zvari ali brez njih.</p>
50	$20 < t \leq 30$	$t \leq 20$		
45	$30 < t \leq 50$	$20 < t \leq 30$		
40	$t > 50$	$30 < t \leq 50$		
36	-	$t > 50$		
56			7) Dodatne lamele pri valjanih in varjenih nosilcih. $5t_c$ je najmanjša dolžina ojačitve zvara.	7) Prečni čelni zvar mora biti pobrušen, da se ustvari gladek prehod v pločevino. Če je $t_c > 20$ mm, mora biti čelni rob pločevine pobrušen v naklonu $< 1/4$ .
80			8) Neprekinjeni kotni zvari za prenos strižnega toka, npr. iz stojine v pasnico varjenega polnostenskega nosilca.	8) $\Delta\tau$ se določi na osnovi debeline (korenske mere) zvara.
m=5			9) Kotni zvari v preklopnih spojih.	9) $\Delta\tau$ se določi na osnovi debeline (korenske mere) zvara ob upoštevanju celotne dolžine zvara. Zvar se konča več kot 10 mm od roba pločevine, glej tudi 4) in 5).
glej EN 1994-2 (90 m=8)			<p><u>Varjeni strižni čep:</u></p> <p>10) Pri sovprežnih elementih</p>	10) $\Delta\tau$ se določi na osnovi nominalnega prečnega prereza čepa.

71		11) Spoj med cevjo in prirobnico, izdelan z delno penetriranim čelnim zvarom z vsaj 80% penetracijo.	11) Zunanji rob zvara pobrušen. $\Delta\sigma$ se izračuna v cevi.
40		12) Spoj med cevjo in prirobnico, izdelan s kotnimi zvari.	12) $\Delta\sigma$ se izračuna v cevi.

### Votli profili ( $t \leq 12,5 \text{ mm}$ )

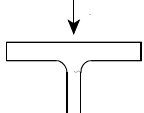
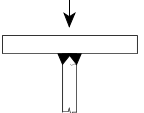
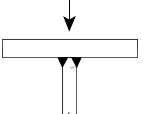
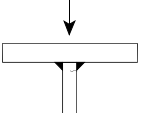
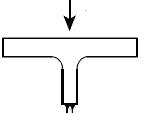
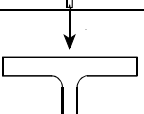
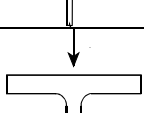
Kategor. detajla	Konstruksijski detajl	Opis	Zahteve
71		1) Spoj cev-pločevina, cev je sploščena, čelni X zvar	1) $\Delta\sigma$ izračunana v cevi. Velja samo za cevi s premerom, manjšim od 200 mm.
71		2) Spoj cev-pločevina, cev zarezana in privarjena na vstavljeno pločevino. Luknje na koncu zarez.	2) $\Delta\sigma$ izračunana v cevi. Strižna odpornost zvarov mora biti preverjena glede na preglednico 8.5, detajl 8).
63			
71		<u>Prečni čelni zvari:</u> 3) Čelni varjeni spoj med okroglima votlima profiloma.	<u>Detajla 3) in 4):</u> - Nadvišanje zvara ne presega 10% širina zvara, z gladkim prehodom v površino pločevine. - Varjeno v horizontalni legi, prekontrolirati, da je obseg nepravilnost v zvarih v skladu s tolerancami iz EN1090. - Razvrsti za 2 kategoriji detajlov višje, če je $t > 8 \text{ mm}$ .
56		4) Čelni varjeni spoj med pravokotnima votlima profiloma.	
71		<u>Varjeni priključki:</u> 5) Okrogli ali pravokotni votli profili, s kotnimi zvari privarjeni na druge profile.	5) - Zvari ne prenašajo obtežbe. - Širina vzporedno delovanju napetosti $\ell \leq 100 \text{ mm}$ . - Za ostale primere glej pregl. 8.4.
50		<u>Čelni varjeni spoji v profilih:</u> 6) Okrogli, votli profili, spoji s čelnimi zvari z vmesno čelno pločevino.	<u>Detajla 6) in 7):</u> - Zvari prenašajo obtežbo. - prekontrolirati, da je obseg nepravilnost v zvarih v skladu s tolerancami iz EN1090. - Razvrsti za 1 kategorijo detajlov višje, če je $t > 8 \text{ mm}$ .
45		7) Pravokotni votli profili, spoji s čelnimi zvari z vmesno čelno pločevino.	
40		8) Okrogli, votli profili, spoji s kotnimi zvari z vmesno čelno pločevino.	<u>Detajla 8) in 9):</u> - Zvari prenašajo obtežbo. - Debelina stene $t \leq 8 \text{ mm}$ .
36		9) Pravokotni votli profili, spoji s kotnimi zvari z vmesno čelno pločevino.	

## Vozlišča paličnih nosilcev

Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Zahteve
90 m=5	Spoji z rezo: Detajl 1): K in N spoji, okrogli votli profili: 	<b>Detajla 1) in 2):</b> - Potrebno je izvršiti ločeno kontrolo za pasove in polnilne palice. - Za vmesne vrednosti razmerja $t_o/t_i$ velja linearna interpolacija med kategorijami detajlov. - Kotni zvari so dovoljeni za priključevanje polnilnih palic z debelino stene $t \leq 8$ mm. - $t_o$ in $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_o/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_o/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $-0,5h_o \leq e_{i/p} \leq 0,25h_o$ - $-0,5d_o \leq e_{i/p} \leq 0,25d_o$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ ali $\leq 0,02d_o$  <b>Detajl 2):</b> $0,5(b_o - b_i) \leq g \leq 1,1(b_o - b_i)$ in $g \geq 2t_o$
45 m=5		
71 m=5	Spoji z rezo: Detajl 2): K in N spoji, pravokotni votli profili: 	- $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_o/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_o/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $-0,5h_o \leq e_{i/p} \leq 0,25h_o$ - $-0,5d_o \leq e_{i/p} \leq 0,25d_o$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ ali $\leq 0,02d_o$  <b>Detajl 2):</b> $0,5(b_o - b_i) \leq g \leq 1,1(b_o - b_i)$ in $g \geq 2t_o$
36 m=5		
71 m=5	Spoji s preklpom : Detajl 3): K spoji, okrogli ali pravokotni votli profili: 	<b>Detajla 3) in 4):</b> - $30\% \leq \text{preklop} \leq 100\%$ - $\text{preklop} = (q/p) \times 100\%$ - Potrebno je izvršiti ločeno kontrolo za pasove in polnilne palice. - Za vmesne vrednosti razmerja $t_o/t_i$ velja linearna interpolacija med kategorijami detajlov. - Kotni zvari so dovoljeni za priključevanje polnilnih palic z debelino stene $t \leq 8$ mm. - $t_o$ in $t_i \leq 8$ mm - $35^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ - $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_o/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_o/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $-0,5h_o \leq e_{i/p} \leq 0,25h_o$ - $-0,5d_o \leq e_{i/p} \leq 0,25d_o$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ or $\leq 0,02d_o$  <b>Definicija za p in q:</b> 
56 m=5		
71 m=5	Spoji s preklpom : Detajl 4): N spoji, okrogli ali pravokotni votli profili: 	- $b_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $d_o/t_o \times t_o/t_i \leq 25$ - $0,4 \leq b_o/b_o \leq 1,0$ - $0,25 \leq d_o/d_o \leq 1,0$ - $b_o \leq 200$ mm - $d_o \leq 300$ mm - $-0,5h_o \leq e_{i/p} \leq 0,25h_o$ - $-0,5d_o \leq e_{i/p} \leq 0,25d_o$ - $e_{o/p} \leq 0,02b_o$ or $\leq 0,02d_o$  <b>Definicija za p in q:</b> 
50 m=5		



### Spoj med zgornjo pasnico in stojino nosilcev žerjavne proge

Kategor. detajla	Konstruktivski detajl	Opis	Zahteve
160		1) Valjani I- ali H-profilni	1) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ v stojini od obtežbe koles
71		2) Čelni zvar s polno penetracijo (T spoj)	2) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ v stojini od obtežbe koles
36*		3) Čelni zvar z delno penetracijo ali čelni zvar z delno penetracijo, ki se v skladu z EN 1993-1-8 šteje za učinkovito polnopenetriran zvar	3) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles
36*		4) Kotni zvari	4) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ (kritični prerez – korenska mera zvara) od obtežbe koles
71		5) Pasnica v obliki T-profila s čelnim zvarom s polno penetracijo	5) Navpična tlačna razlika napetosti $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ V stojini od obtežbe koles
36*		6) Pasnica v obliki T-profila s čelnim zvarom z delno penetracijo ali s čelnim zvarom z delno penetracijo, ki se v skladu z EN 1993-1-8 šteje za učinkovito polnopenetriran zvar	6) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles
36*		7) Pasnica v obliki T-profila s kotnimi zvari	7) Razlika napetosti v zvaru $\Delta\sigma_{\text{vert}}$ (kritični prerez – korenska mera) od obtežbe koles

### PRILOGA 3: SPEKTRI POSPEŠKOV ZA POTRESNO ANALIZO STAVB

#### Vodoravni elastični spekter odziva

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ 1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2,5 - 1) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C}{T} \right]$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right]$$

kjer je

$S_e(T)$  elastični spekter odziva;

$T$  nihajni čas linearnega sistema z eno prostostno stopnjo;

$a_g$  projektni pospešek za tla tipa A ( $a_g = \eta \cdot a_{gR}$ );

$T_B$  spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost;

$T_C$  zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost;

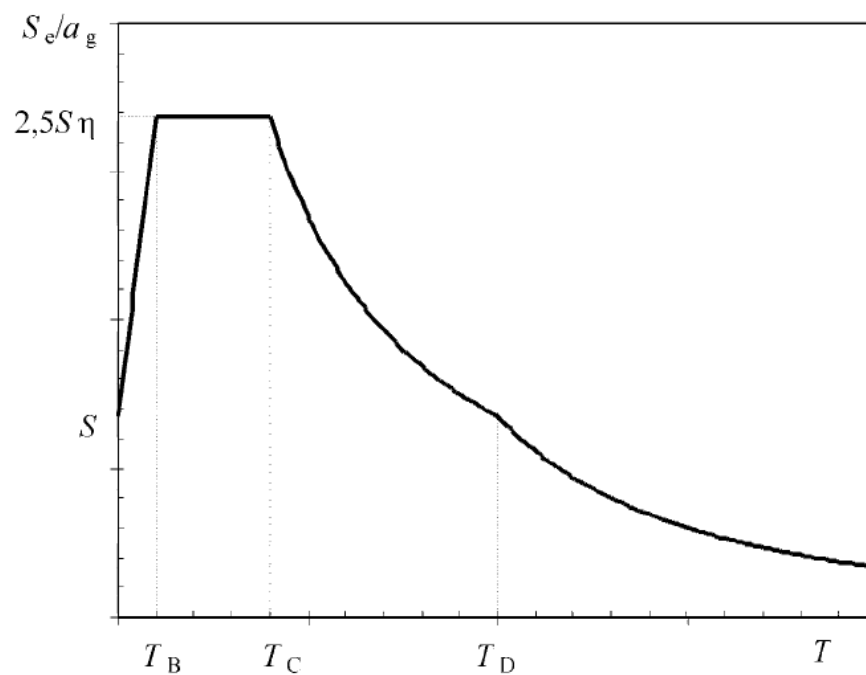
$T_D$  vrednost nihajnega časa, pri kateri se začne območje konstantne vrednosti spektralnega pomika;

$S$  faktor tal;

$\eta$  factor za korekcijo dušenja z referenčno vrednostjo  $\eta = 1$  pri 5% viskoznega dušenja

$$\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$$

$\xi$  vrednost koeficienta kritičnega viskoznega dušenja konstrukcije (v %)



Oblika elastičnega spektra odziva

Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva za uporabo v Sloveniji

Tip tal	S	$T_B$ (s)	$T_C$ (s)	$T_D$ (s)
A	1,0	0,10	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,7	0,10	0,4	2,0

**Projektni spekter za elastično analizo (vodoravna smer)**

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right]$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[ \frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}$$

Kjer je

$S_d(T)$  projektni spekter;

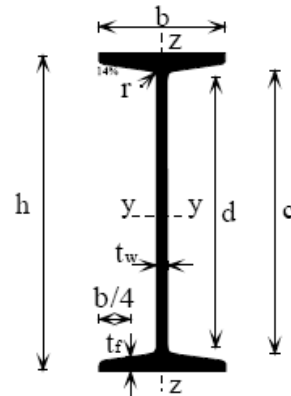
$q$  faktor obnašanja;

$\beta = 0.2$

**PRILOGA 4: TABELE STANDARDNIH PROFILOV**

# I

Normalni vroče valjani I profil,  
pasnice imajo na notranji strani  
14% naklon  
DIN 1025 Blatt 1



Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike				
	h	b	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	r	A	G	U	d	c
	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	m <sup>2</sup> / m	mm	h - 2t <sub>f</sub> mm
I 80	80.0	42.0	5.9	3.9	2.3	7.6	5.9	0.304	59.0	68.2
I 100	100.0	50.0	6.8	4.5	2.7	10.6	8.3	0.370	75.0	86.4
I 120	120.0	58.0	7.7	5.1	3.1	14.2	11.1	0.439	92.0	104.6
I 140	140.0	66.0	8.6	5.7	3.4	18.2	14.3	0.502	109.0	122.8
I 160	160.0	74.0	9.5	6.3	3.8	22.8	17.9	0.575	125.0	141.0
I 180	180.0	82.0	10.4	6.9	4.1	27.9	21.9	0.640	142.0	159.2
I 200	200.0	90.0	11.3	7.5	4.5	33.4	26.2	0.709	159.0	177.4
I 220	220.0	98.0	12.2	8.1	4.9	39.5	31.1	0.775	176.0	195.6
I 240	240.0	106.0	13.1	8.7	5.2	46.1	36.2	0.844	192.0	213.8
I 260	260.0	113.0	14.1	9.4	5.6	53.3	41.9	0.906	208.0	231.8
I 280	280.0	119.0	15.2	10.1	6.1	61.0	47.9	0.966	225.0	249.6
I 300	300.0	125.0	16.2	10.8	6.5	69.0	54.2	1.030	241.0	267.6
I 320	320.0	131.0	17.3	11.5	6.9	77.7	61.0	1.090	258.0	285.4
I 340	340.0	137.0	18.3	12.2	7.3	86.7	68.0	1.150	274.0	303.4
I 360	360.0	143.0	19.5	13.0	7.8	97.0	76.1	1.210	290.0	321.0
I 380	380.0	149.0	20.5	13.7	8.2	107.0	84.0	1.270	306.0	339.0
I 400	400.0	155.0	21.6	14.4	8.6	118.0	92.4	1.330	323.0	356.8
I 425	425.0	163.0	23.0	15.3	9.2	132.0	104.0	1.410	343.0	379.0
I 450	450.0	170.0	24.3	16.2	9.7	147.0	115.0	1.480	363.0	401.4
I 475	475.0	178.0	25.6	17.1	10.3	163.0	128.0	1.550	384.0	423.8
I 500	500.0	185.0	27.0	18.0	10.8	179.0	141.0	1.630	404.0	446.0
I 550	550.0	200.0	30.0	19.0	11.9	212.0	166.0	1.800	445.0	490.0
I 600	600.0	215.0	32.4	21.6	13.0	254.0	199.0	1.920	485.0	535.2

A - ploščina prereza

G - teža na tekoči meter

U - površina na tekoči meter

I - vztrajnostni moment

W - odpornostni moment

i - vztrajnostni radij

$W_{pl}$  - plastični odpornostni moment

$I_t$  - vztrajnostni moment za neovirano torzijo

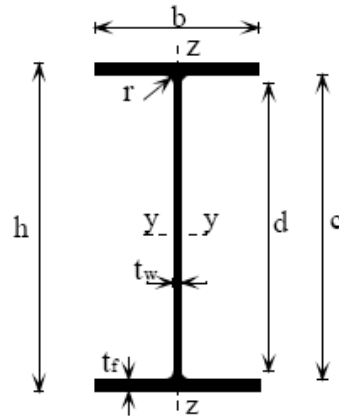
$I_{\omega}$  - vztrajnostni moment za ovirano torzijo

d - višina stojine med zaokrožitvami

Profil	Geometrijske karakteristike									
	os y - y			os z - z			$W_{ply}$	$\approx W_{plz}$	$I_t$	$I_{\omega}$
	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm	$I_z$ cm <sup>4</sup>	$W_z$ cm <sup>3</sup>	$i_z$ cm				
I 80	77.8	19.5	3.20	6.3	3.0	0.91	22.8	4.3	0.71	88
I 100	171.0	34.2	4.01	12.2	4.9	1.07	39.8	7.1	1.31	268
I 120	328.0	54.7	4.81	21.5	7.4	1.23	63.6	10.7	2.23	685
I 140	573.0	81.9	5.61	35.2	10.7	1.40	95.4	15.5	3.56	1540
I 160	935.0	117.0	6.40	54.7	14.8	1.55	136.0	21.6	5.40	3138
I 180	1450.0	161.0	7.20	81.3	19.8	1.71	186.8	29.0	7.89	5924
I 200	2140.0	214.0	8.00	117.0	26.0	1.87	250	38.0	11.20	10520
I 220	3060.0	278.0	8.80	162.0	33.1	2.02	324	48.6	15.30	17760
I 240	4250.0	354.0	9.59	221.0	41.7	2.20	412	61.1	20.60	28730
I 260	5740.0	442.0	10.40	288.0	51.0	2.32	514	74.7	27.50	44070
I 280	7590.0	542.0	11.10	364.0	61.2	2.45	632	89.3	36.40	64580
I 300	9800.0	653.0	11.90	451.0	72.2	2.56	762	105.0	46.70	91850
I 320	12510.0	782.0	12.70	555.0	84.7	2.67	914	123.2	59.70	128800
I 340	15700.0	923.0	13.50	674.0	98.4	2.80	1080	142.5	74.30	176300
I 360	19610.0	1090.0	14.20	818.0	114.0	2.90	1276	165.5	94.20	240100
I 380	24010.0	1260.0	15.00	975.0	131.0	3.02	1482	188.9	115.00	318700
I 400	29210.0	1460.0	15.70	1160.0	149.0	3.13	1714	215.4	140.00	419600
I 425	36970.0	1740.0	16.70	1440.0	176.0	3.30	2040	253.6	177.00	587500
I 450	45850.0	2040.0	17.70	1730.0	203.0	3.43	2400	291.4	220.00	791100
I 475	56480.0	2380.0	18.60	2090.0	235.0	3.60	2800	336.6	270.00	1067000
I 500	68740.0	2750.0	19.60	2480.0	268.0	3.72	3240	383.5	329.00	1403000
I 550	99180.0	3610.0	21.60	3490.0	349.0	4.02	4240	498.0	472.00	2389000
I 600	139000.0	4630.0	23.40	4670.0	434.0	4.30	5460	621.5	667.00	3821000

# IPE

Vroće valjani I profil s paralelnima  
pasnicama  
Euronorm 19-57  
DIN 1025 Blatt 5 (IPE)



Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike				
	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	U m <sup>2</sup> /m	d mm	c h - 2t <sub>f</sub> mm
IPE 80	80.0	46.0	5.2	3.8	5.0	7.6	6.0	0.328	59.0	69.6
IPE 100	100.0	55.0	5.7	4.1	7.0	10.3	8.1	0.400	74.0	88.6
IPE 120	120.0	64.0	6.3	4.4	7.0	13.2	10.4	0.475	93.0	107.4
IPE 140	140.0	73.0	6.9	4.7	7.0	16.4	12.9	0.551	112.0	126.2
IPE 160	160.0	82.0	7.4	5.0	9.0	20.1	15.8	0.623	127.0	145.2
IPE 180	180.0	91.0	8.0	5.3	9.0	23.9	18.8	0.698	146.0	164.0
IPE 200	200.0	100.0	8.5	5.6	12.0	28.5	22.4	0.768	159.0	183.0
IPE 220	220.0	110.0	9.2	5.9	12.0	33.4	26.2	0.848	177.0	201.6
IPE 240	240.0	120.0	9.8	6.2	15.0	39.1	30.7	0.922	190.0	220.4
IPE 270	270.0	135.0	10.2	6.6	15.0	45.9	36.1	1.041	219.0	249.6
IPE 300	300.0	150.0	10.7	7.1	15.0	53.8	42.2	1.159	248.0	278.6
IPE 330	330.0	160.0	11.5	7.5	18.0	62.6	49.1	1.254	271.0	307.0
IPE 360	360.0	170.0	12.7	8.0	18.0	72.7	57.1	1.353	298.0	334.6
IPE 400	400.0	180.0	13.5	8.6	21.0	84.5	66.3	1.467	331.0	373.0
IPE 450	450.0	190.0	14.6	9.4	21.0	98.8	77.6	1.605	378.0	420.8
IPE 500	500.0	200.0	16.0	10.2	21.0	116.0	90.7	1.744	426.0	468.0
IPE 550	550.0	210.0	17.2	11.1	24.0	134.0	106.0	1.877	467.0	515.6
IPE 600	600.0	220.0	19.0	12.0	24.0	156.0	122.0	2.015	514.0	562.0



A - ploščina prereza

G - teža na tekoči meter

U - površina na tekoči meter

I - vztrajnostni moment

W - odpornostni moment

i - vztrajnostni radij

$W_{pl}$  - plastični odpornostni moment

$I_t$  - vztrajnostni moment za neovirano torzijo

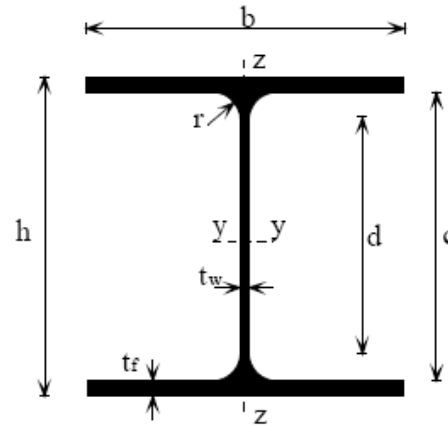
$I_{\omega}$  - vztrajnostni moment za ovirano torzijo

d - višina stojine med zaokrožitvami

Profil	Geometrijske karakteristike									
	os y - y			os z - z			$W_{ply}$	$W_{plz}$	$I_t$	$I_{\omega}$
	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm	$I_z$ cm <sup>4</sup>	$W_z$ cm <sup>3</sup>	$i_z$ cm				
IPE 80	80.1	20.0	3.24	8.5	3.7	1.05	23.2	5.8	0.70	118
IPE 100	171.0	34.2	4.07	15.9	5.8	1.24	39.4	9.1	1.20	351
IPE 120	318.0	53.0	4.90	27.7	8.7	1.45	60.8	13.6	1.74	890
IPE 140	541.0	77.3	5.74	44.9	12.3	1.65	88.4	19.2	2.45	1981
IPE 160	869.0	109.0	6.58	68.3	16.7	1.84	123.8	26.1	3.60	3959
IPE 180	1320.0	146.0	7.42	101.0	22.2	2.05	166.4	34.6	4.79	7431
IPE 200	1940.0	194.0	8.26	142.0	28.5	2.24	221	44.6	6.98	12990
IPE 220	2770.0	252.0	9.11	205.0	37.3	2.48	285	58.1	9.07	22670
IPE 240	3890.0	324.0	9.97	284.0	47.3	2.69	367	73.9	12.90	37390
IPE 270	5790.0	429.0	11.20	420.0	62.2	3.02	484	97	15.90	70580
IPE 300	8360.0	557.0	12.50	604.0	80.5	3.35	628	125	20.10	125900
IPE 330	11770.0	713.0	13.70	788.0	98.5	3.55	804	154	28.10	199100
IPE 360	16270.0	904.0	15.00	1040.0	123.0	3.79	1019	191	37.30	313600
IPE 400	23130.0	1160.0	16.50	1320.0	146.0	3.95	1307	229	51.10	490000
IPE 450	33740.0	1500.0	18.50	1680.0	176.0	4.12	1702	276	66.90	791000
IPE 500	48200.0	1930.0	20.40	2140.0	214.0	4.31	2194	336	89.30	1249000
IPE 550	67120.0	2440.0	22.30	2670.0	254.0	4.45	2787	401	123.00	1884000
IPE 600	92080.0	3070.0	24.30	3390.0	308.0	4.66	3512	486	165.00	2846000

# HEA

Vroče valjani H profil s širokima,  
paralelnima pasnicama, lažji  
Euronorm 53-62  
DIN 1025 Blatt 3 (IPBl)



Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike				
	h	b	t <sub>f</sub>	t <sub>w</sub>	r	A	G	U	d	c
	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	m <sup>2</sup> / m	mm	h - 2t <sub>f</sub> mm
HEA 100	96.0	100.0	8.0	5.0	12.0	21.2	16.7	0.561	56.0	80.0
HEA 120	114.0	120.0	8.0	5.0	12.0	25.3	19.9	0.677	74.0	98.0
HEA 140	133.0	140.0	8.5	5.5	12.0	31.4	24.7	0.794	92.0	116.0
HEA 160	152.0	160.0	9.0	6.0	15.0	38.8	30.4	0.906	104.0	134.0
HEA 180	171.0	180.0	9.5	6.0	15.0	45.3	35.5	1.020	122.0	152.0
HEA 200	190.0	200.0	10.0	6.5	18.0	53.8	42.3	1.140	134.0	170.0
HEA 220	210.0	220.0	11.0	7.0	18.0	64.3	50.5	1.260	152.0	188.0
HEA 240	230.0	240.0	12.0	7.5	21.0	76.8	60.3	1.370	164.0	206.0
HEA 260	250.0	260.0	12.5	7.5	24.0	86.8	68.2	1.480	177.0	225.0
HEA 280	270.0	280.0	13.0	8.0	24.0	97.3	76.4	1.600	196.0	244.0
HEA 300	290.0	300.0	14.0	8.5	27.0	113.0	88.3	1.720	208.0	262.0
HEA 320	310.0	300.0	15.5	9.0	27.0	124.0	97.6	1.760	225.0	279.0
HEA 340	330.0	300.0	16.5	9.5	27.0	133.0	105.0	1.790	243.0	297.0
HEA 360	350.0	300.0	17.5	10.0	27.0	143.0	112.0	1.830	261.0	315.0
HEA 400	390.0	300.0	19.0	11.0	27.0	159.0	125.0	1.910	298.0	352.0
HEA 450	440.0	300.0	21.0	11.5	27.0	178.0	140.0	2.010	344.0	398.0
HEA 500	490.0	300.0	23.0	12.0	27.0	198.0	155.0	2.110	390.0	444.0
HEA 550	540.0	300.0	24.0	12.5	27.0	212.0	166.0	2.210	438.0	492.0
HEA 600	590.0	300.0	25.0	13.0	27.0	226.0	178.0	2.310	486.0	540.0
HEA 650	640.0	300.0	26.0	13.5	27.0	242.0	190.0	2.410	534.0	588.0
HEA 700	690.0	300.0	27.0	14.5	27.0	260.0	204.0	2.500	582.0	636.0
HEA 800	790.0	300.0	28.0	15.0	30.0	286.0	224.0	2.700	674.0	734.0
HEA 900	890.0	300.0	30.0	16.0	30.0	321.0	252.0	2.900	770.0	830.0
HEA 1000	990.0	300.0	31.0	16.5	30.0	347.0	272.0	3.100	868.0	928.0

A - ploščina prereza

i - vztrajnostni radij

G - teža na tekoči meter

 $W_{pl}$  - plastični odpornostni moment

U - površina na tekoči meter

 $I_t$  - vztrajnostni moment za neovirano torzijo

I - vztrajnostni moment

 $I_{\omega}$  - vztrajnostni moment za ovirano torzijo

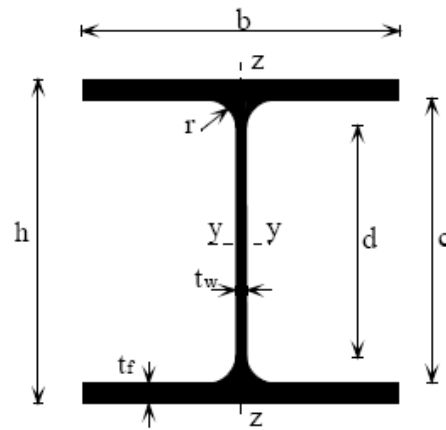
W - odpornostni moment

d - višina stojine med zaokrožitvami

Profil	Geometrijske karakteristike									
	os y - y			os z - z			$W_{ply}$	$W_{plz}$	$I_t$	$I_{\omega}$
	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm	$I_z$ cm <sup>4</sup>	$W_z$ cm <sup>3</sup>	$i_z$ cm				
HEA 100	349.0	72.8	4.06	134.0	26.8	2.51	83.0	41.1	5.24	2581
HEA 120	606.0	106.0	4.89	231.0	38.5	3.02	119.4	58.9	5.99	6472
HEA 140	1030.0	155.0	5.73	389.0	55.6	3.52	173	84.8	8.13	15060
HEA 160	1670.0	220.0	6.57	616.0	76.9	3.98	245	118	12.20	31410
HEA 180	2510.0	294.0	7.45	925.0	103.0	4.52	325	156	14.80	60210
HEA 200	3690.0	389.0	8.28	1340.0	134.0	4.98	429	204	21.00	108000
HEA 220	5410.0	515.0	9.17	1950.0	178.0	5.51	568	271	28.50	193300
HEA 240	7760.0	675.0	10.10	2770.0	231.0	6.00	745	352	41.60	328500
HEA 260	10450.0	836.0	11.00	3670.0	282.0	6.50	920	430	52.40	516400
HEA 280	13670.0	1010.0	11.90	4760.0	340.0	7.00	1112	518	62.10	785400
HEA 300	18260.0	1260.0	12.70	6310.0	421.0	7.49	1383	641	85.20	1200000
HEA 320	22930.0	1480.0	13.60	6990.0	466.0	7.49	1628	710	108.00	1512000
HEA 340	27690.0	1680.0	14.40	7440.0	496.0	7.46	1850	756	127.00	1824000
HEA 360	33090.0	1890.0	15.20	7890.0	526.0	7.43	2088	802	149.00	2177000
HEA 400	45070.0	2310.0	16.80	8560.0	571.0	7.34	2562	873	189.00	2942000
HEA 450	63720.0	2900.0	18.90	9470.0	631.0	7.29	3216	966	244.00	4148000
HEA 500	86970.0	3550.0	21.00	10370.0	691.0	7.24	3949	1059	309.00	5643000
HEA 550	111900.0	4150.0	23.00	10820.0	721.0	7.15	4622	1107	352.00	7189000
HEA 600	141200.0	4790.0	25.00	11270.0	751.0	7.05	5350	1156	398.00	8978000
HEA 650	175200.0	5470.0	26.90	11720.0	782.0	6.97	6136	1205	448.00	11027000
HEA 700	215300.0	6240.0	28.80	12180.0	812.0	6.84	7032	1257	514.00	13352000
HEA 800	303400.0	7680.0	32.60	12640.0	843.0	6.65	8699	1312	597.00	18290000
HEA 900	422100.0	9480.0	36.30	13550.0	903.0	6.50	10810	1414	737.00	24962000
HEA 1000	553800.0	11190.0	40.00	14000.0	934.0	6.35	12820	1470	822.00	32074000

# HEB

Vroče valjani H profil s širokima,  
paralelnima pasnicama, srednje teže  
Euronorm 53-62  
DIN 1025 Blatt 2 (IPB)



Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike				
	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	U m <sup>2</sup> /m	d mm	c h - 2t <sub>f</sub> mm
HEB 100	100.0	100.0	10.0	6.0	12.0	26.0	20.4	0.567	56.0	80.0
HEB 120	120.0	120.0	11.0	6.5	12.0	34.0	26.7	0.686	74.0	98.0
HEB 140	140.0	140.0	12.0	7.0	12.0	43.0	33.7	0.805	92.0	116.0
HEB 160	160.0	160.0	13.0	8.0	15.0	54.3	42.6	0.918	104.0	134.0
HEB 180	180.0	180.0	14.0	8.5	15.0	65.3	51.2	1.040	122.0	152.0
HEB 200	200.0	200.0	15.0	9.0	18.0	78.1	61.3	1.150	134.0	170.0
HEB 220	220.0	220.0	16.0	9.5	18.0	91.0	71.5	1.270	152.0	188.0
HEB 240	240.0	240.0	17.0	10.0	21.0	106.0	83.2	1.380	164.0	206.0
HEB 260	260.0	260.0	17.5	10.0	24.0	118.0	93.0	1.500	177.0	225.0
HEB 280	280.0	280.0	18.0	10.5	24.0	131.0	103.0	1.620	196.0	244.0
HEB 300	300.0	300.0	19.0	11.0	27.0	149.0	117.0	1.730	208.0	262.0
HEB 320	320.0	300.0	20.5	11.5	27.0	161.0	127.0	1.770	225.0	279.0
HEB 340	340.0	300.0	21.5	12.0	27.0	171.0	134.0	1.810	243.0	297.0
HEB 360	360.0	300.0	22.5	12.5	27.0	181.0	142.0	1.850	261.0	315.0
HEB 400	400.0	300.0	24.0	13.5	27.0	198.0	155.0	1.930	298.0	352.0
HEB 450	450.0	300.0	26.0	14.0	27.0	218.0	171.0	2.030	344.0	398.0
HEB 500	500.0	300.0	28.0	14.5	27.0	239.0	187.0	2.120	390.0	444.0
HEB 550	550.0	300.0	29.0	15.0	27.0	254.0	199.0	2.220	438.0	492.0
HEB 600	600.0	300.0	30.0	15.5	27.0	270.0	212.0	2.320	486.0	540.0
HEB 650	650.0	300.0	31.0	16.0	27.0	286.0	225.0	2.420	534.0	588.0
HEB 700	700.0	300.0	32.0	17.0	27.0	306.0	241.0	2.520	582.0	636.0
HEB 800	800.0	300.0	33.0	17.5	30.0	334.0	262.0	2.710	674.0	734.0
HEB 900	900.0	300.0	35.0	18.5	30.0	371.0	291.0	2.910	770.0	830.0
HEB 1000	1000.0	300.0	36.0	19.0	30.0	400.0	314.0	3.110	868.0	928.0

A - ploščina prereza

G - teža na tekoči meter

U - površina na tekoči meter

I - vztrajnostni moment

W - odpornostni moment

i - vztrajnostni radij

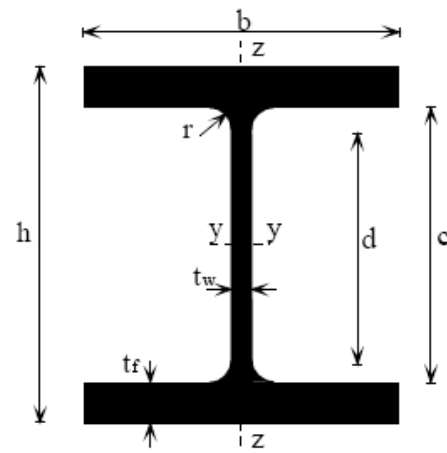
W<sub>pl</sub> - plastični odpornostni momentI<sub>t</sub> - vztrajnostni moment za neovirano torzijoI<sub>ω</sub> - vztrajnostni moment za ovirano torzijo

d - višina stojine med zaokrožitvami

Profil	Geometrijske karakteristike									
	os y - y			os z - z			W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>ω</sub> cm <sup>6</sup>
	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> cm				
HEB 100	450.0	89.9	4.16	167.0	33.5	2.53	104.2	51.4	9.25	3375
HEB 120	864.0	144.0	5.04	318.0	52.9	3.06	165.5	81	13.80	9410
HEB 140	1510.0	216.0	5.93	550.0	78.5	3.58	245	120	20.10	22480
HEB 160	2490.0	311.0	6.78	889.0	111.0	4.05	354	170	31.20	47940
HEB 180	3830.0	426.0	7.66	1360.0	151.0	4.57	481	231	42.20	93750
HEB 200	5700.0	570.0	8.54	2000.0	200.0	5.07	643	306	59.30	171100
HEB 220	8090.0	736.0	9.43	2840.0	258.0	5.59	827	394	76.60	295400
HEB 240	11260.0	938.0	10.30	3920.0	327.0	6.08	1053	498	103.00	486900
HEB 260	14920.0	1150.0	11.20	5130.0	395.0	6.58	1283	602	124.00	753700
HEB 280	19270.0	1380.0	12.10	6590.0	471.0	7.09	1534	718	144.00	1130000
HEB 300	25170.0	1680.0	13.00	8560.0	571.0	7.58	1869	870	185.00	1688000
HEB 320	30820.0	1930.0	13.80	9240.0	616.0	7.57	2149	939	225.00	2069000
HEB 340	36660.0	2160.0	14.60	9690.0	646.0	7.53	2408	986	257.00	2454000
HEB 360	43190.0	2400.0	15.50	10140.0	676.0	7.49	2683	1032	292.00	2883000
HEB 400	57680.0	2880.0	17.10	10820.0	721.0	7.40	3232	1104	356.00	3817000
HEB 450	79890.0	3550.0	19.10	11720.0	781.0	7.33	3982	1198	440.00	5258000
HEB 500	107200.0	4290.0	21.20	12620.0	842.0	7.27	4815	1292	538.00	7018000
HEB 550	136700.0	4970.0	23.20	13080.0	872.0	7.17	5591	1341	600.00	8856000
HEB 600	171000.0	5700.0	25.20	13530.0	902.0	7.08	6425	1391	618.00	10965000
HEB 650	210600.0	6480.0	27.10	13980.0	932.0	6.99	7320	1441	739.00	13363000
HEB 700	256900.0	7340.0	29.00	14440.0	963.0	6.87	8327	1495	831.00	16064000
HEB 800	359100.0	8980.0	32.80	14900.0	994.0	6.68	10230	1553	946.00	21840000
HEB 900	494100.0	10980.0	36.50	15820.0	1050.0	6.53	12580	1658	1137.00	29461000
HEB 1000	644700.0	12890.0	40.10	16280.0	1090.0	6.38	14860	1716	1254.00	37637000

# HEM

Vroče valjani H profil s širokima,  
paralelnima pasnicama, teži  
Euronorm 53-62  
DIN 1025 Blatt 4 (IPBv)



Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike				
	h mm	b mm	t <sub>f</sub> mm	t <sub>w</sub> mm	r mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	U m <sup>2</sup> / m	d mm	c h - 2t <sub>f</sub> mm
HEM 100	120.0	106.0	20.0	12.0	12.0	53.2	41.8	0.619	56.0	80.0
HEM 120	140.0	126.0	21.0	12.5	12.0	66.4	52.1	0.738	74.0	98.0
HEM 140	160.0	146.0	22.0	13.0	12.0	80.6	63.2	0.857	92.0	116.0
HEM 160	180.0	166.0	23.0	14.0	15.0	97.1	76.2	0.970	104.0	134.0
HEM 180	200.0	186.0	24.0	14.5	15.0	113.0	88.9	1.090	122.0	152.0
HEM 200	220.0	206.0	25.0	15.0	18.0	131.0	103.0	1.200	134.0	170.0
HEM 220	240.0	226.0	26.0	15.5	18.0	149.0	117.0	1.320	152.0	188.0
HEM 240	270.0	248.0	32.0	18.0	21.0	200.0	157.0	1.460	164.0	206.0
HEM 260	290.0	268.0	32.5	18.0	24.0	220.0	172.0	1.570	177.0	225.0
HEM 280	310.0	288.0	33.0	18.5	24.0	240.0	189.0	1.690	196.0	244.0
HEM 300	340.0	310.0	39.0	21.0	27.0	303.0	238.0	1.830	208.0	262.0
HEM 320/305	320.0	305.0	29.0	16.0	27.0	225.0	177.0	1.780	208.0	262.0
HEM 320	359.0	309.0	40.0	21.0	27.0	312.0	245.0	1.870	225.0	279.0
HEM 340	377.0	309.0	40.0	21.0	27.0	316.0	248.0	1.900	243.0	297.0
HEM 360	395.0	308.0	40.0	21.0	27.0	319.0	250.0	1.930	261.0	315.0
HEM 400	432.0	307.0	40.0	21.0	27.0	326.0	256.0	2.000	298.0	352.0
HEM 450	478.0	307.0	40.0	21.0	27.0	335.0	263.0	2.100	344.0	398.0
HEM 500	524.0	306.0	40.0	21.0	27.0	344.0	270.0	2.180	390.0	444.0
HEM 550	572.0	306.0	40.0	21.0	27.0	354.0	278.0	2.280	438.0	492.0
HEM 600	620.0	305.0	40.0	21.0	27.0	364.0	285.0	2.370	486.0	540.0
HEM 650	668.0	305.0	40.0	21.0	27.0	374.0	293.0	2.470	534.0	588.0
HEM 700	716.0	304.0	40.0	21.0	27.0	383.0	301.0	2.560	582.0	636.0
HEM 800	814.0	303.0	40.0	21.0	30.0	404.0	317.0	2.750	674.0	734.0
HEM 900	910.0	302.0	40.0	21.0	30.0	424.0	333.0	2.930	770.0	830.0
HEM 1000	1008.0	302.0	40.0	21.0	30.0	444.0	349.0	3.130	868.0	928.0

A - ploščina prereza

G - teža na tekoči meter

U - površina na tekoči meter

I - vztrajnostni moment

W - odpornostni moment

i - vztrajnostni radij

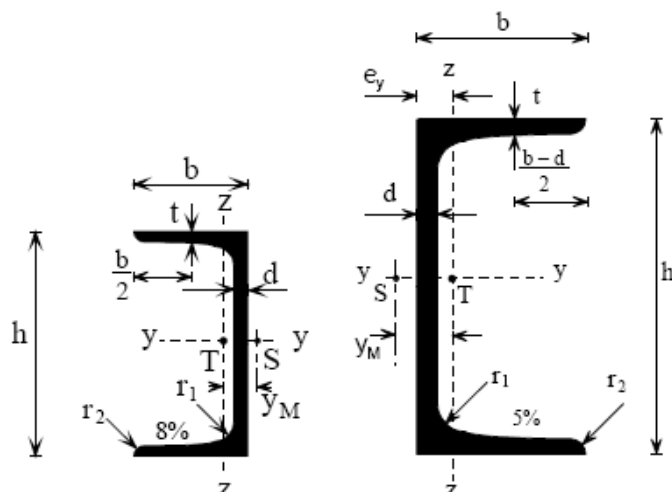
W<sub>pl</sub> - plastični odpornostni momentI<sub>t</sub> - vztrajnostni moment za neovirano torzijoI<sub>o</sub> - vztrajnostni moment za ovirano torzijo

d - višina stojine med zaokrožitvami

Profil	Geometrijske karakteristike									
	os y - y			os z - z			W <sub>ply</sub> cm <sup>3</sup>	W <sub>plz</sub> cm <sup>3</sup>	I <sub>t</sub> cm <sup>4</sup>	I <sub>o</sub> cm <sup>6</sup>
	I <sub>y</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>y</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>y</sub> cm	I <sub>z</sub> cm <sup>4</sup>	W <sub>z</sub> cm <sup>3</sup>	i <sub>z</sub> cm				
HEM 100	1140.0	190.0	4.63	399.0	75.3	2.74	236	116	68.20	9925
HEM 120	2020.0	288.0	5.51	703.0	112.0	3.25	331	172	91.70	24790
HEM 140	3290.0	411.0	6.39	1140.0	157.0	3.77	494	241	120.00	54330
HEM 160	5100.0	566.0	7.25	1760.0	212.0	4.26	675	325	162.00	108100
HEM 180	7480.0	748.0	8.13	2580.0	277.0	4.77	883	425	203.00	199300
HEM 200	10640.0	967.0	9.00	3650.0	354.0	5.27	1135	543	259.00	346300
HEM 220	14600.0	1220.0	9.89	5010.0	444.0	5.79	1420	679	315.00	572700
HEM 240	24290.0	1800.0	11.00	8150.0	657.0	6.39	2120	1006	628.00	1152000
HEM 260	31310.0	2160.0	11.90	10450.0	780.0	6.90	2520	1192	719.00	1728000
HEM 280	39550.0	2550.0	12.80	13160.0	914.0	7.40	2966	1397	807.00	2520000
HEM 300	59200.0	3480.0	14.00	19400.0	1250.0	8.00	4080	1913	1408.00	4386000
HEM 320/305	40950.0	2560.0	13.50	13740.0	901.0	7.81	2920			2903000
HEM 320	68130.0	3800.0	14.80	19710.0	1280.0	7.95	4440	1951	1501.00	5004000
HEM 340	76370.0	4050.0	15.60	19710.0	1280.0	7.90	4720	1953	1506.00	5584000
HEM 360	84870.0	4300.0	16.30	19520.0	1270.0	7.83	4989	1942	1507.00	6137000
HEM 400	104100.0	4820.0	17.90	19340.0	1260.0	7.70	5571	1934	1515.00	7410000
HEM 450	131500.0	5500.0	19.80	19340.0	1260.0	7.59	6331	1939	1529.00	9252000
HEM 500	161900.0	6180.0	21.70	19150.0	1250.0	7.46	7100	1932	1539.00	11190000
HEM 550	198000.0	6920.0	23.60	19160.0	1250.0	7.35	7933	1937	1554.00	13516000
HEM 600	237400.0	7660.0	25.60	18980.0	1240.0	7.22	8772	1930	1564.00	15910000
HEM 650	281700.0	8430.0	27.50	18980.0	1240.0	7.13	9660	1936	1579.00	18650000
HEM 700	329300.0	9200.0	29.30	18800.0	1240.0	7.01	10540	1929	1589.00	21400000
HEM 800	442600.0	10870.0	33.10	18630.0	1230.0	6.79	12490	1930	1646.00	27780000
HEM 900	570400.0	12540.0	36.70	18450.0	1220.0	6.60	14440	1929	1671.00	34750000
HEM 1000	722300.0	14330.0	40.30	18460.0	1220.0	6.45	16570	1940	1701.00	43020000

## U

DIN 1026

za profile  $\leq 300$ za profile  $> 300$ 

A - ploščina prereza

G - teža na tekoči meter

U - površina na tekoči meter

I - vztrajnostni moment

W - odpornostni moment

i - vztrajnostni radij

 $e_y$  - oddaljenost težišča od zunanjšega roba stojine $y_M$  - kordinata strižnega središča

Profil	Dimenzije					Geometrijske karakteristike										
	h mm	b mm	d mm	$t=r_1$ mm	$r_2$ mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	U m <sup>2</sup> /m	os y - y			os z - z			$e_y$ cm	$y_M$ cm
									$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm	$I_z$ cm <sup>4</sup>	$W_z$ cm <sup>3</sup>	$i_z$ cm		
30 x 15	30	15	4.0	4.5	2.0	2.21	1.74	0.103	2.53	1.69	1.07	0.38	0.39	0.42	0.52	0.74
30	30	33	5.0	7.0	3.5	5.44	4.27	0.174	6.39	4.26	1.08	5.33	2.68	0.99	1.31	2.22
40 x 20	40	20	5.0	5.5*	2.5	3.66	2.87	0.142	7.58	3.79	1.44	1.14	0.86	0.56	0.67	1.01
40	40	35	5.0	7.0	3.5	6.21	4.87	0.199	14.10	7.05	1.50	6.68	3.08	1.04	1.33	2.32
50 x 25	50	25	5.0	6.0	3.0	4.92	3.86	0.181	16.80	6.73	1.85	2.49	1.48	0.71	0.81	1.34
50	50	38	5.0	7.0	3.5	7.12	5.59	0.232	26.40	10.60	1.92	9.12	3.75	1.13	1.37	2.47
60	60	30	6.0	6.0	3.0	6.46	5.07	0.215	31.60	10.50	2.21	4.51	2.16	0.84	0.91	1.50
65	65	42	5.5	7.5	4.0	9.03	7.09	0.273	57.50	17.70	2.52	14.1	5.07	1.25	1.42	2.60
80	80	45	6.0	8.0	4.0	11.0	8.64	0.312	106	26.5	3.10	19.4	6.36	1.33	1.45	2.67
100	100	50	6.0	8.5	4.5	13.5	10.6	0.372	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	1.55	2.93
120	120	55	7.0	9.0	4.5	17.0	13.4	0.434	364	60.7	4.62	43.2	11.1	1.59	1.60	3.03
140	140	60	7.0	10.0	5.0	20.4	16.0	0.489	605	86.4	5.45	62.7	14.8	1.75	1.75	3.37
160	160	65	7.5	10.5	5.5	24.0	18.8	0.546	925	116	6.21	85.3	18.3	1.89	1.84	3.56
180	180	70	8.0	11.0	5.5	28.0	22.0	0.611	1350	150	6.95	114	22.4	2.02	1.92	3.75
200	200	75	8.5	11.5	6.0	32.2	25.3	0.661	1910	191	7.70	148	27.0	2.14	2.01	3.94
220	220	80	9.0	12.5	6.5	37.4	29.4	0.718	2690	245	8.48	197	33.6	2.30	2.14	4.20
240	240	85	9.5	13.0	6.5	42.3	33.2	0.775	3600	300	9.22	248	39.6	2.42	2.23	4.39
260	260	90	10.0	14.0	7.0	48.3	37.9	0.834	4820	371	9.99	317	47.7	2.56	2.36	4.66
280	280	95	10.0	15.0	7.5	53.3	41.8	0.890	6280	448	10.9	399	57.2	2.74	2.53	5.02
300	300	100	10.0	16.0	8.0	58.8	46.2	0.950	8030	535	11.7	495	67.8	2.90	2.70	5.41
320	320	100	14.0	17.5	8.8	75.8	59.5	0.982	10870	679	12.1	597	80.6	2.81	2.60	4.82
350	350	100	14.0	16.0	8.0	77.3	60.6	1.047	12840	734	12.9	570	75.0	2.72	2.40	4.45
380	380	102	13.5	16.0	8.0	80.4	63.1	1.110	15760	829	14.0	615	78.7	2.77	2.38	4.58
400	400	110	14.0	18.0	9.0	91.5	71.8	1.182	20350	1020	14.9	846	102	3.04	2.65	5.11

\*) debelina pasnice  $t=5.5\text{mm}$ , zaokrožitev  $r_1=5\text{mm}$





















D mm	t mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	D mm	t mm	A cm <sup>2</sup>	G kg/m	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm
	10.0	98.61	77.41	12158	750.7	11.10	(18 1/2)"	11.0	158.6	124.5	41797	1779	16.23
	11.0	108.1	84.88	13250	818.1	11.07		12.5	179.7	141.0	47040	2002	16.18
	12.5	122.3	95.99	14847	916.7	11.02		14.2	203.3	159.6	52856	2249	16.12
	14.2	138.2	108.5	16599	1025	10.96		16.0	228.2	179.1	58869	2505	16.06
	16.0	154.8	121.5	18390	1136	10.90		17.5	248.8	195.3	63768	2714	16.01
	17.5	168.5	132.2	19833	1225	10.85		20.0	282.7	222.0	71711	3052	15.93
	20.0	190.9	149.9	22139	1367	10.77		22.2	312.3	245.2	78475	3339	15.85
	22.2	210.4	165.2	24070	1486	10.70		25.0	349.5	274.4	86786	3693	15.76
	25.0	234.8	184.3	26400	1630	10.60	508	11.0	171.8	134.8	53056	2089	17.58
355.6 (14)"	8.0	87.36	68.58	13201	742.5	12.29	(20)"	12.5	194.6	152.7	59755	2353	17.52
	8.8	95.88	75.26	14423	811.2	12.27		14.2	220.3	172.9	67199	2646	17.47
	10.0	108.6	85.23	16223	912.5	12.22		16.0	247.3	194.1	74909	2949	17.40
	11.0	119.1	93.48	17695	995.2	12.19		17.5	269.7	211.7	81202	3197	17.35
	12.5	134.7	105.8	19852	1117	12.14		20.0	306.6	240.7	91428	3600	17.27
	14.2	152.3	119.6	22227	1250	12.08		22.2	338.8	266.0	100159	3943	17.19
	16.0	170.7	134.0	24663	1387	12.02		25.0	379.3	297.8	110918	4367	17.10
	17.5	185.9	145.9	26631	1498	11.97	521	11.5	184.1	144.5	59760	2294	18.02
	20.0	210.9	165.5	29792	1676	11.89	(20 1/2)"	14.2	226.1	177.5	72644	2789	17.93
	22.2	232.5	182.5	32451	1825	11.81		16.0	253.8	199.3	81001	3109	17.86
	25.0	259.7	203.8	35677	2007	11.72		17.5	276.8	217.3	87826	3371	17.81
368 (14 1/2)"	8.0	90.48	71.03	14665	797.0	12.73		20.0	314.8	247.1	98922	3797	17.73
	8.8	99.30	77.95	16026	871.0	12.70		22.2	347.9	273.1	108406	4161	17.65
	10.0	112.5	88.29	18032	980.0	12.66		25.0	389.6	305.8	120101	4610	17.56
	11.0	123.4	96.85	19673	1069	12.63	558.8	12.5	214.5	168.4	80074	2866	19.32
	12.5	139.6	109.6	22081	1200	12.58	(22)"	14.2	242.9	190.7	90131	3226	19.26
	14.2	157.8	123.9	24736	1344	12.52		16.0	272.8	214.2	100572	3600	19.20
	16.0	176.9	138.9	27460	1492	12.46		17.5	297.6	233.6	109110	3905	19.15
	17.5	192.7	151.3	29665	1612	12.41		20.0	338.5	265.8	123019	4403	19.06
	20.0	218.7	171.6	33209	1805	12.32		22.2	374.2	293.8	134930	4829	18.99
	22.2	241.2	189.3	36197	1967	12.25		25.0	419.2	329.1	149654	5356	18.89
	25.0	269.4	211.5	39828	2165	12.16							
406.4 (16)"	8.8	109.9	86.29	21732	1069	14.06							
	10.0	124.5	97.76	24476	1205	14.02							
	11.0	136.6	107.3	26724	1315	13.98							
	12.5	154.7	121.4	30031	1478	13.93							
	14.2	175.0	137.3	33685	1658	13.88							
	16.0	196.2	154.0	37449	1843	13.81							
	17.5	213.8	167.8	40503	1993	13.76							
	20.0	242.8	190.6	45432	2236	13.68							
	22.2	268.0	210.3	49606	2441	13.61							
	25.0	299.6	235.1	54702	2692	13.51							
419 (16 1/2)"	10.0	128.5	100.9	26884	1283	14.46							
	11.0	141.0	110.7	29359	1401	14.43							
	12.5	159.6	125.3	33004	1575	14.38							
	14.2	180.6	141.8	37034	1768	14.32							
	16.0	202.6	159.0	41189	1966	14.26							
	17.5	220.7	173.3	44563	2127	14.21							
	20.0	250.7	196.8	50015	2387	14.12							
	22.2	276.7	217.2	54637	2608	14.05							
	25.0	309.4	242.9	60288	2878	13.96							
457.2 (18 1/2)"	10.0	140.5	110.3	35138	1537	15.81							
	11.0	154.2	121.0	38398	1680	15.78							
	12.5	174.6	137.1	43203	1890	15.73							
	14.2	197.6	155.1	48529	2123	15.67							
	16.0	221.8	174.1	54033	2364	15.61							
	17.5	241.7	189.8	58513	2560	15.56							
	20.0	274.7	215.6	65772	2877	15.47							
	22.2	303.4	238.2	71947	3147	15.40							
	25.0	339.4	266.5	79525	3479	15.31							
470	10.5	151.6	119.0	40025	1703	16.25							