

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Katedra za metalne konstrukcije

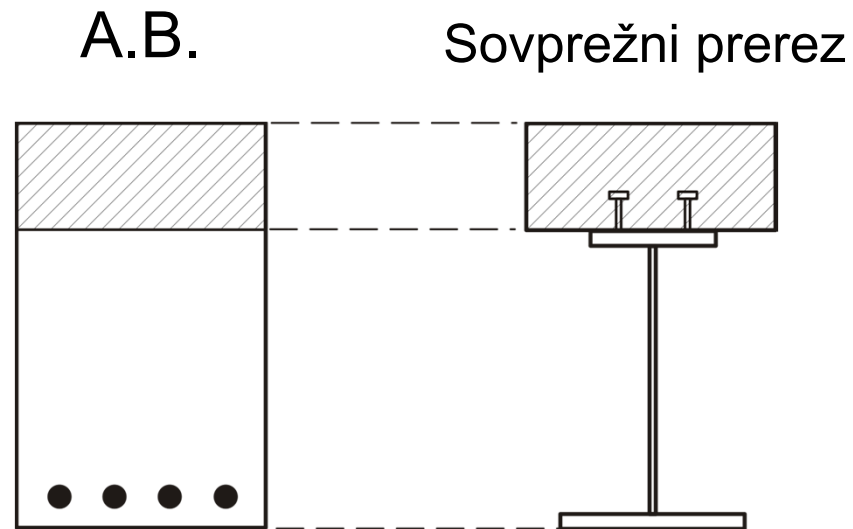
JEKLENE KONSTRUKCIJE I

13.0 SOVPREŽNE KONSTRUKCIJE IZ JEKLA IN BETONA

prof. dr. Darko Beg
Sodelavec: Franc Sinur

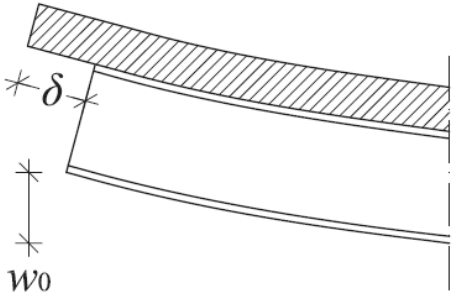
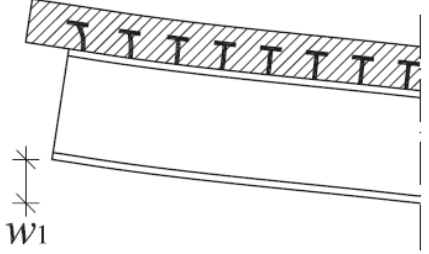
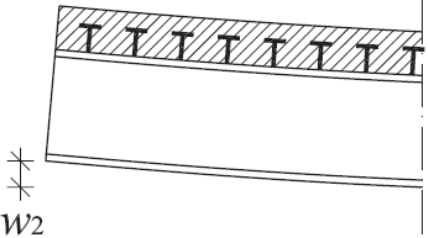
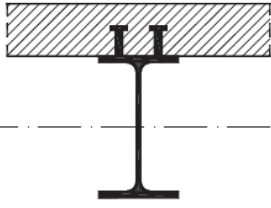
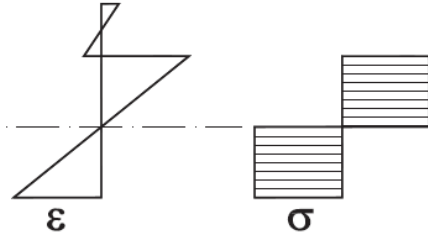
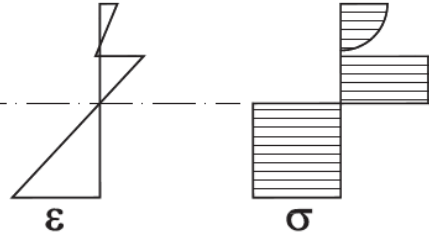
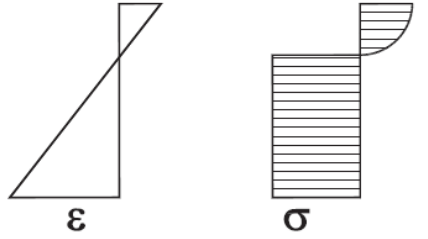
Osnovna ideja sovprežnih konstrukcij

- ❑ Vsak klasični betonski prerez je v bistvu sovprežni prerez.
- ❑ Stik med jeklom (armaturo) je dosežen s trenjem.



Osnovna ideja sovprežnih konstrukcij

- Vz dolžni strig – različne stopnje sovprežnosti

	 <p>δ w_0</p>	 <p>w_1</p> <p>$w_0 > w_1 > w_2$</p>	 <p>w_2</p>
	<p>brez strižne povezave</p>	<p>delna strižna povezava</p>	<p>polna strižna povezava</p>
	 <p>ϵ σ</p>	 <p>ϵ σ</p>	 <p>ϵ σ</p>

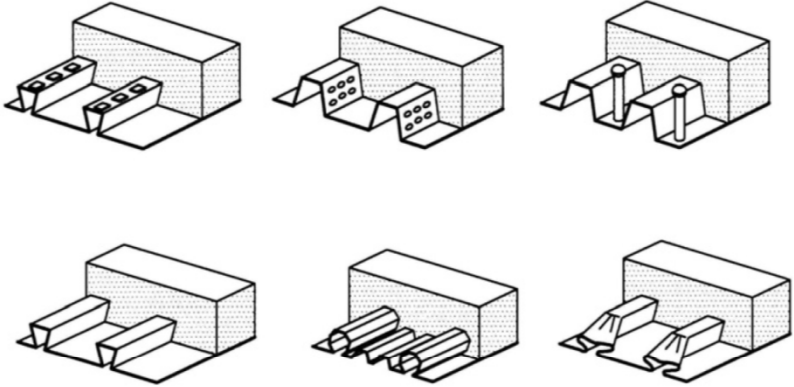
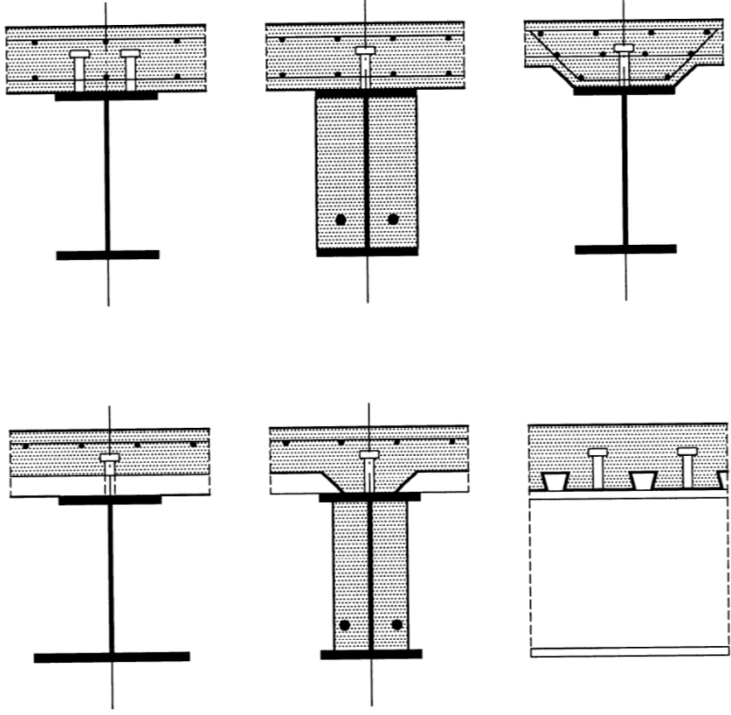
Seznam EC 4 standardov

- ❑ **SIST EN 1994-1-1** Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona: Splošna pravila in pravila za stavbe.
- ❑ **SIST EN 1994-1-2** Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona: Požarnoodporno projektiranje.
- ❑ **SIST EN 1994-2** Projektiranje sovprežnih konstrukcij iz jekla in betona: Splošna pravila in pravila za mostove.

Vsebina SIST EN 1994-1-1

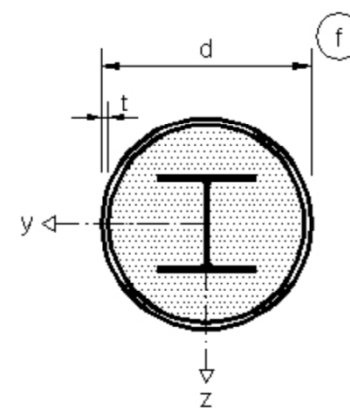
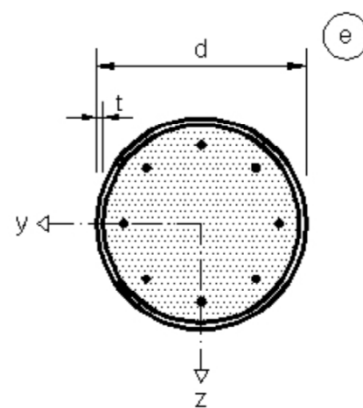
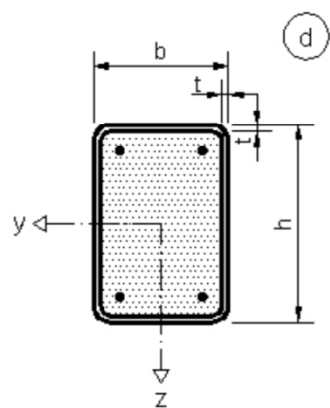
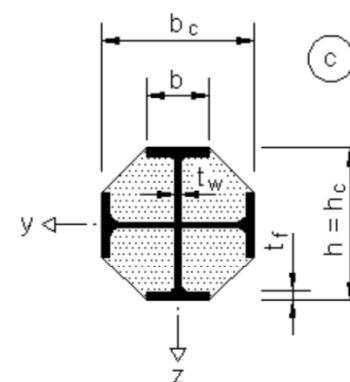
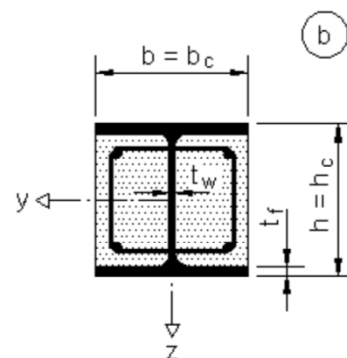
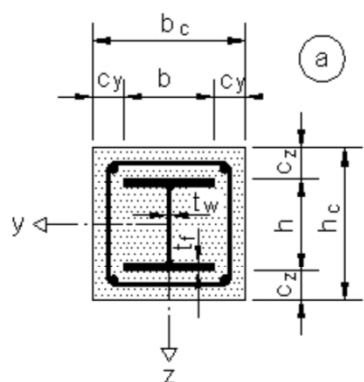
1. Uvod
2. Osnove projektiranja
3. Materiali
4. Trajnost
5. Analiza konstrukcij
6. Mejna stanja nosilnosti (razvrščanje prerezov, nosilnost prerezov, nosilnost in stabilnost posameznih elementov in sistemov)
7. Mejna stanja uporabnosti
8. Sovprežni spoji okvirov v stavbah
9. Sovprežne plošče s profilirano jekleno pločevino v stavbah

Značilni prerezi sovprežnih konstrukcij

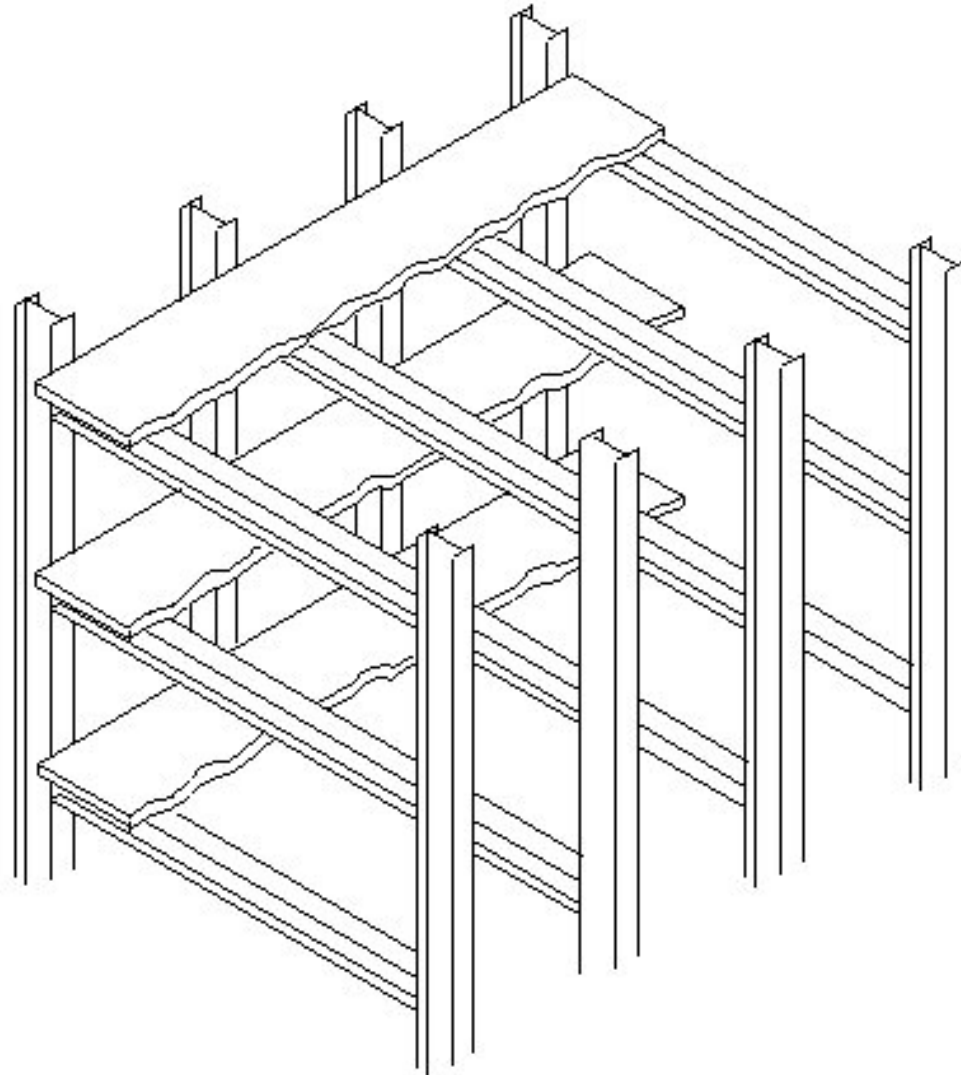
<p>Sovprežne plošče</p>	
<p>Sovprežni nosilci</p>	

Značilni prerezi sovprežnih konstrukcij

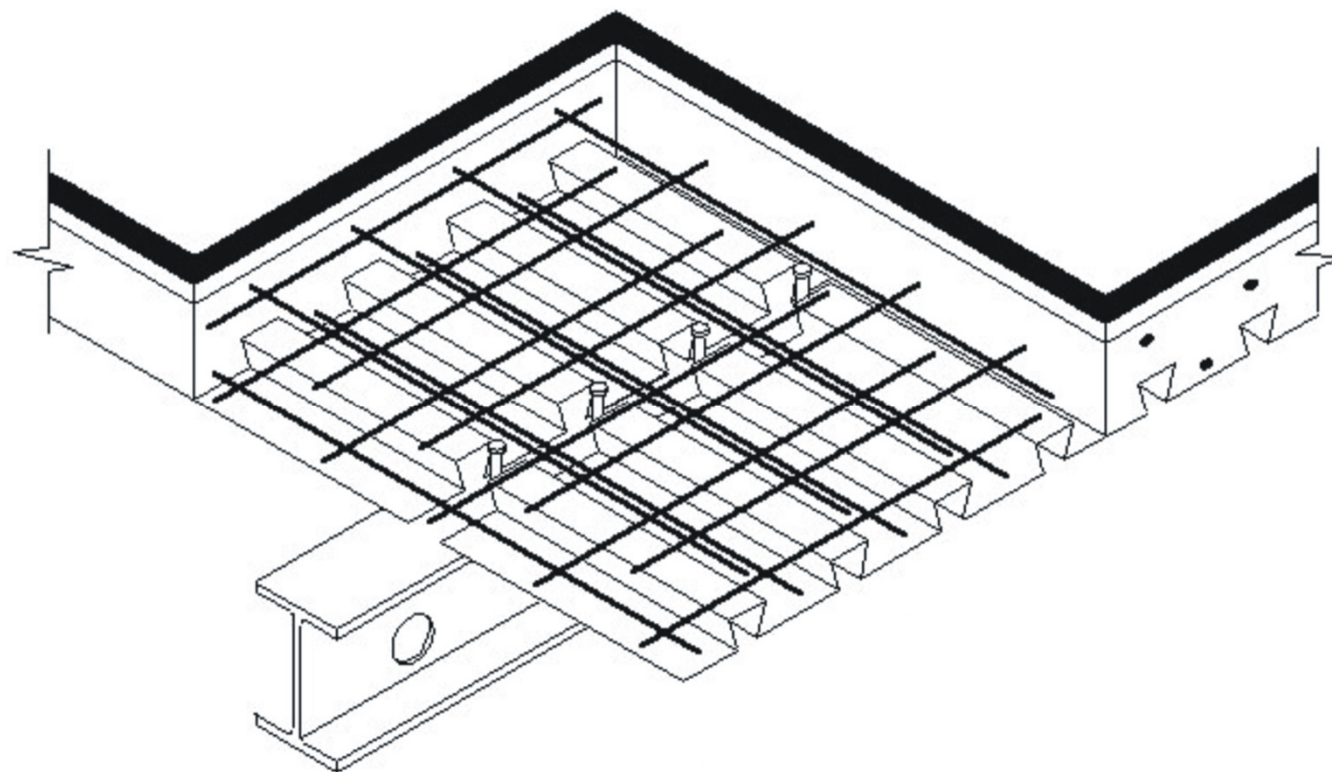
Sovprežni
stebri



Sovprežne konstrukcije

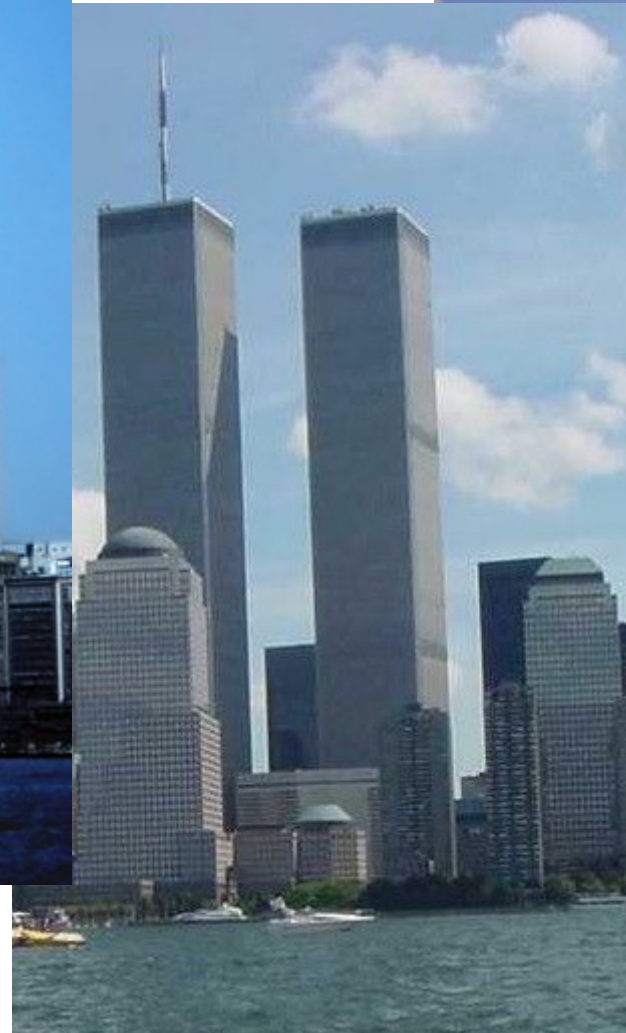


Uporaba profilirane pločevine v stropnih konstrukcijah





Twin Towers, New York, 1966-1973



Sears Tower, Chicago, 1970-1973



Taipei 101, Taipei, Taiwan, 1999-2003



Vsebina SIST EN 1994-1-2

V standardu so podane tabele za določevanje dimenzij požarnoodpornih prečnih prerezov. Na voljo je tudi poenostavljena računsko metoda za dimenzioniranje pri višjih temperaturah.

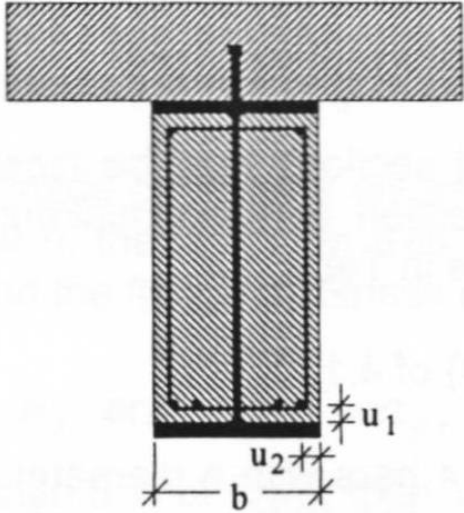
□ Tabele so pripravljene za:

- sovprežne nosilce z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci;
- obbetonirane sovprežne nosilce;
- delno obbetonirane sovprežne stebre;
- sovprežne stebre iz votlih profilov, napolnjene z betonom.

□ Poenostavljena računsko metoda se lahko uporabi za:

- sovprežne stropove na profilirani pločevini;
- sovprežne nosilce;
- sovprežne nosilce z delno obbetoniranimi jeklenimi nosilci;
- sovprežne stebre.

EC 4 – tabela za sovprežne nosilce



The diagram shows a T-section of a reinforced concrete beam. The top flange is shaded with diagonal lines. The web is also shaded with diagonal lines. A vertical line represents the axis of the section. The width of the flange is labeled 'b'. The distance from the axis to the top edge of the web is labeled 'u₁'. The distance from the axis to the bottom edge of the web is labeled 'u₂'.

Profile Width b [mm]	Min. Axis Distance [mm]	Standard Fire Resistance			
		R60	R90	R120	R180
170	u ₁	100	120	-	-
	u ₂	45	60	-	-
200	u ₁	80	100	120	-
	u ₂	40	55	60	-
250	u ₁	60	75	90	120
	u ₂	35	50	60	60
≥ 300	u ₁	40	50	70	90
	u ₂	25*	45	60	60

Najmanjše dovoljene robne razdalje armature od roba prereza

Vsebina SIST EN 1994-2

- ❑ Del 2 obravnava vse posebnosti projektiranja sovprežnih mostov. Nanašajo se na:
 - globalno analizo, ki je pri mostovih omejena na elastično analizo, pri čemer je potrebno upoštevati vpliv strižne podajnosti betonskih pasnic, krčenje in lezenje betona, razpokanost betona, postopnost gradnje, ...;
 - nosilnost prerezov, za katere je dovoljena izraba plastične nosilnosti;
 - utrujanje;
 - podrobno določena mejna stanja uporabnosti.
- ❑ Dodano je tudi poglavje o sovprežnih mostovih s predizdelanimi betonskimi ploščami.



SIST EN 1994-1-1 : Material

- **JEKLO:** SIST EN 1993-1.1
- **BETON, ARMATURA:** SIST EN 1992-1.1
- **DELNI FAKTORJI ODPORNOSTI:**

beton EN 1992-1-1	armatura EN 1992-1-1	jeklo stavbe EN 1993-1-1	jeklo mostovi EN 1993-2	strižna povezava	vzdolžni strig	kontrola utrujanja čepov z glavo v stavbah
$\gamma_C = 1,5$	$\gamma_S = 1,15$	$\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,0$ $\gamma_{M2} = 1,25$	$\gamma_{M0} = 1,0$ $\gamma_{M1} = 1,1$ $\gamma_{M2} = 1,25$	$\gamma_V = 1,25$	$\gamma_{VS} = 1,25$	$\gamma_{Mf,s} = 1,0$ $\gamma_{Mf}; EN 1993$

Analiza konstrukcij

- ❑ Globalna analiza – MSN, MSU
- ❑ Upoštevanje strižne podajnosti pasnic (shear lag).
- ❑ **Elastična analiza** (nerazpokan ali razpokan prerez).
- ❑ Splošna nelinearna globalna analiza v skladu s pravili EC2 in EC3 ob upoštevanju realnega obnašanja moznikov.
- ❑ **Elastična analiza z omejeno prerazporeditvijo momentov (za stavbe).**
- ❑ Toga metoda plastičnih členkov s približno oceno razpoložljive rotacijske kapacitete.

Analiza konstrukcij

□ Nosilnost prereza – MSN

Razred kompaktnosti	Globalna analiza konstrukcije	Določitev nosilnost prečnega prereza	Upoštevanje vplivov krčenja in tečenja, temperature ter postopnosti gradnje
1.razred	nelinearna analiza / metoda plastičnih členkov ali elastična globalna analiza (lahko z omejeno prerezporeditvijo momentov)	plastično	ni potrebno kadar ni nevarnosti bočne zvrnitve
2.razred	elastična globalna analiza (lahko z omejeno prerezporeditvijo momentov)	plastično	ni potrebno kadar ni nevarnosti bočne zvrnitve
3.razred	elastična globalna analiza (lahko z omejeno prerezporeditvijo momentov)	elastično	da
4.razred	elastična globalna analiza (lahko z omejeno prerezporeditvijo momentov)	elastično z upoštevanjem lokalnega izbočenja (metoda sodelujoče širine)	da

Analiza konstrukcij

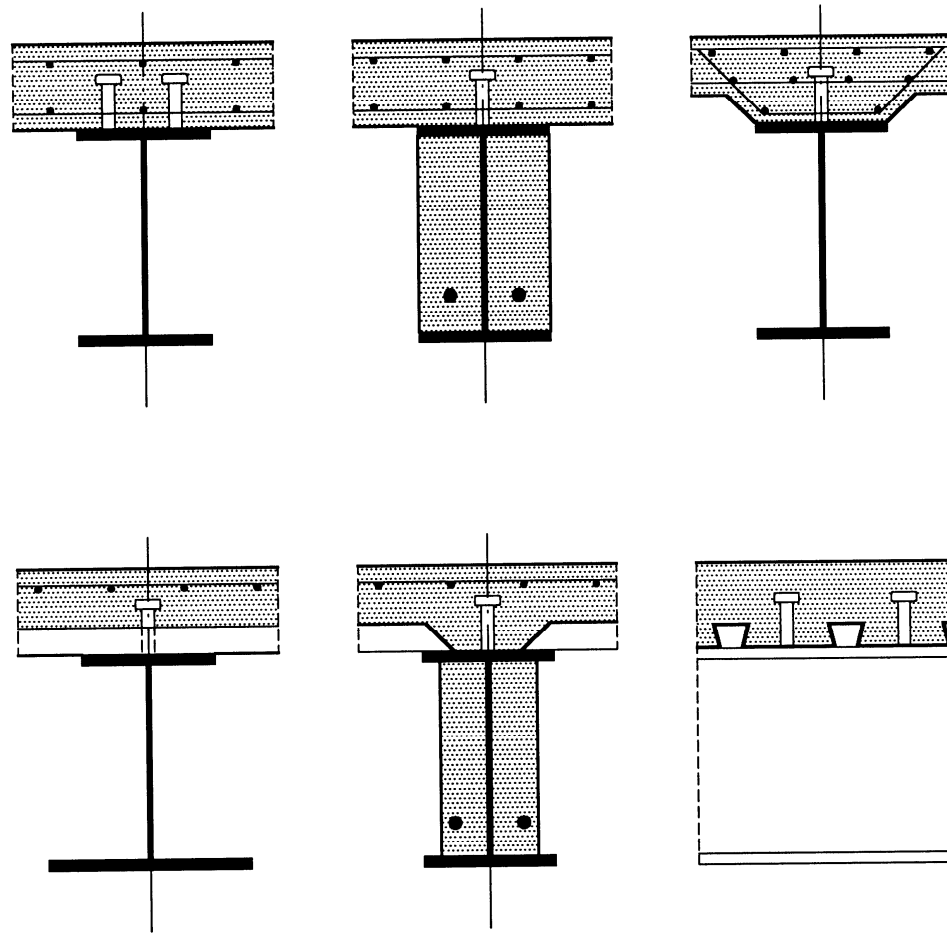
☐ Nosilnost prereza – MSN

- Za prereze 4. razreda (jeklo) lahko sodelujočo širino vsakič določimo na osnovi superpozicije napetosti v bruto prerezu.

☐ Kontrola prereza:

- upogib;
- vertikalni strig;
- vzdolžni strig – mozniki;
- vzdolžni strig – betonska pasnica.

Značilni prečni prerezi sovprežnih nosilcev



Sodelujoča širina pasnic zaradi strižne podajnosti

- Sredina razpona ali nad notranjo podporo:

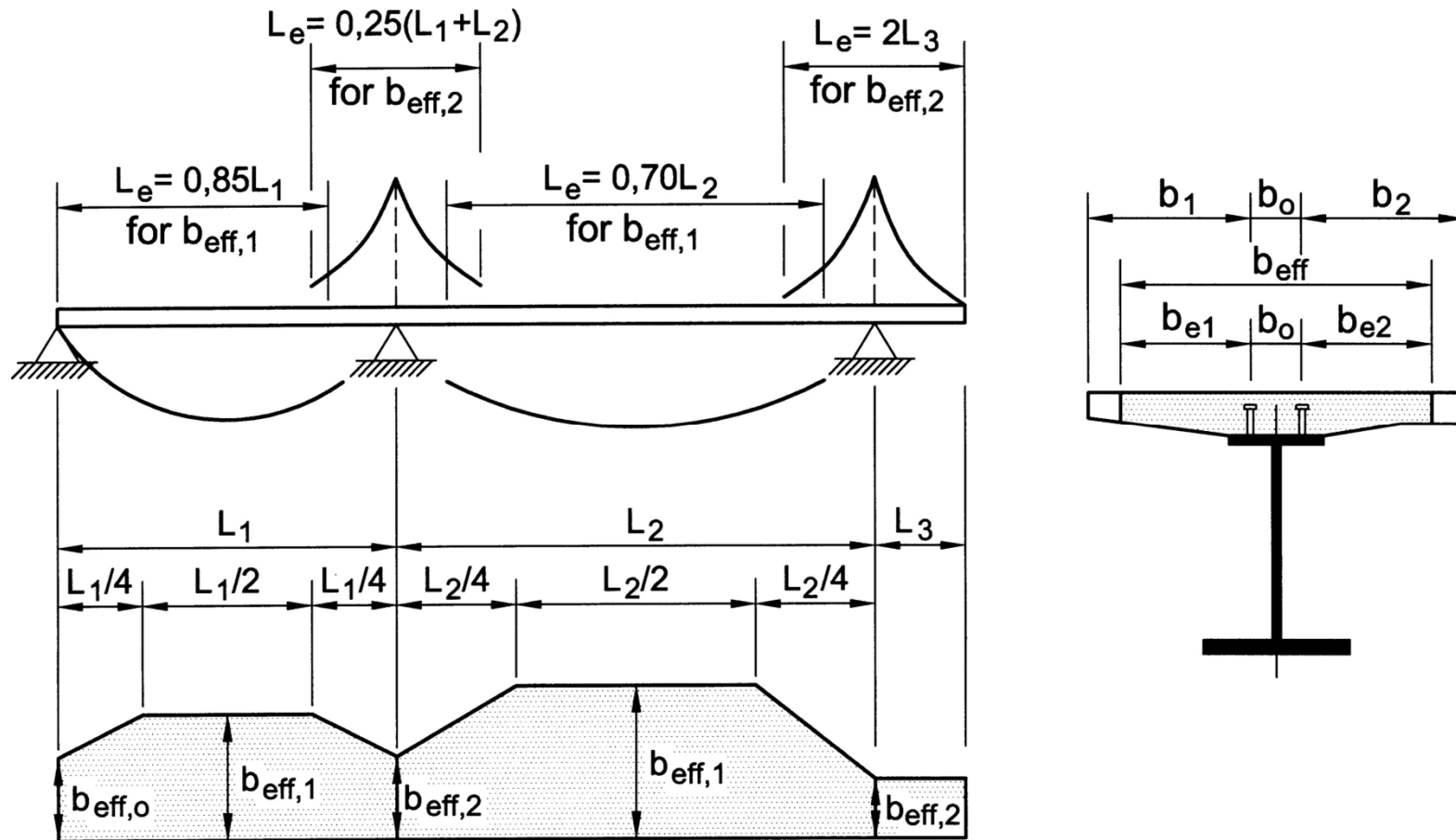
$$b_{eff} = b_0 + \sum b_{ei} ; \quad b_{ei} = \frac{L_e}{8} \leq b_i.$$

- Nad zunanjo podporo:

$$b_{eff} = b_0 + \sum \beta_i \cdot b_{ei}$$

$$\beta_i = \left(0,55 + 0,025 \frac{L_e}{b_{ei}}\right) \leq 1,0.$$

- Ekvivalentni razponi za sodelujočo širino betonske pasnice:



Tečenje in krčenje

- Tečenje upoštevamo z uporabo razmerja elastičnih modulov n_L betona:

$$n_L = n_0 (1 + \psi_L \cdot \varphi_t)$$

n_0 ... razmerje elastičnih modulov E_d/E_{cm} za kratkotrajno obtežbo

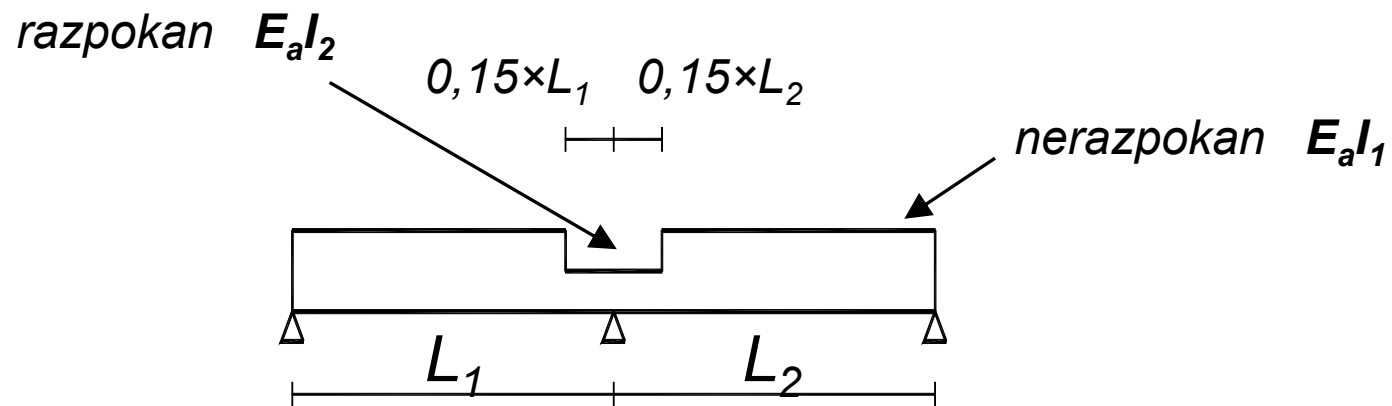
E_{cm} ... sekantni modul elastičnosti betona za kratkotrajno obtežbo

φ_t ... koeficient tečenja odvisen od starosti (t) betona v trenutku obravnave in starosti betona (t_0) ob obremenitvi

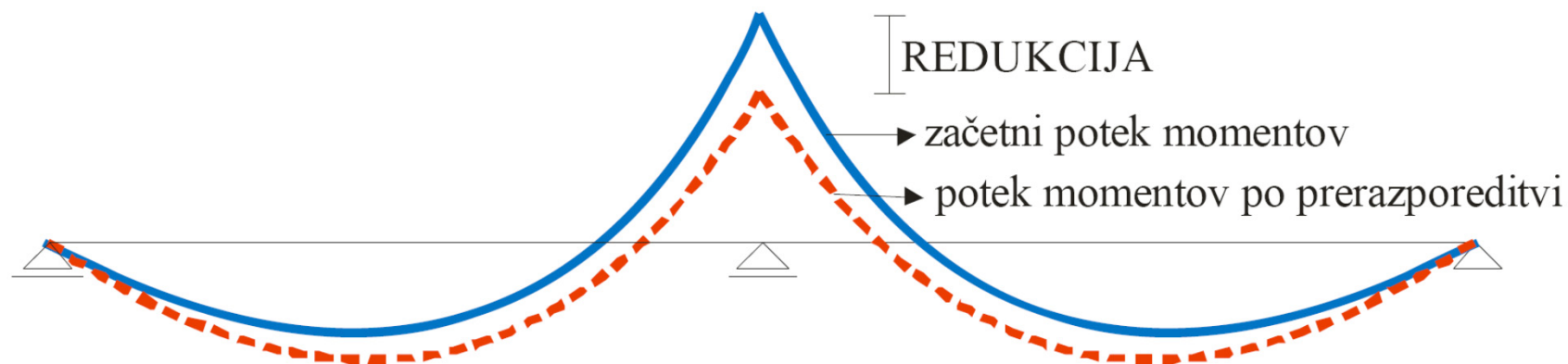
ψ_L ... faktor tečenja odvisen od vrste obtežbe (1,10 – stalna obtežba; 0,55 – krčenje; 1,50 – za prednapetje in vsiljene deformacije)

Vpliv razpokanosti betona

- 1. Korak:** Ob uporabi upogibne togosti $E_a I_1$ nerazpokanega prereza izračunamo ovojnico notranjih sil in momentov za karakteristične kombinacije, vključujoč dolgotrajne vplive.
- 2. Korak:** V območjih, kjer je največja napetost v betonu, zaradi ovojnice globalnih vplivov preseže $2 f_{ctm}$ je potrebno togost reducirati na $E_a I_2$ (I_2 ...zanemarimo beton v nategu in upoštevamo vpliv natezne armature).



Prerazporeditev upogibnih momentov

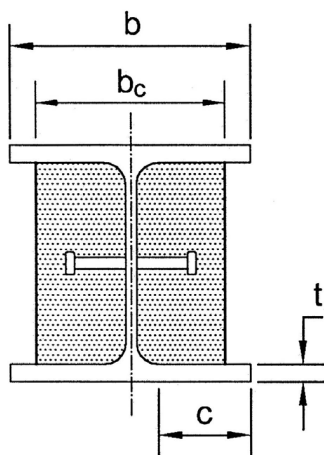


Razred kompaktnosti prečnega prereza v področju negativnih momentov nad podporo			1.razred	2.razred	3.razred	4.razred
Pri analizi nerazpokane konstrukcije	zmanjšanje	$f_y \leq 355\text{MPa}$	-40%	-30%	-20%	-10%
		$f_y > 355\text{MPa}$	-30%	-30%	0%	0%
	povečanje		+20%	+20%	0%	0%
Pri analizi razpokane konstrukcije	zmanjšanje	$f_y \leq 355\text{MPa}$	-25%	-15%	-10%	-0%
		$f_y > 355\text{MPa}$	-15%	-15%	0%	0%
	povečanje		+10%	+10%	0%	0%

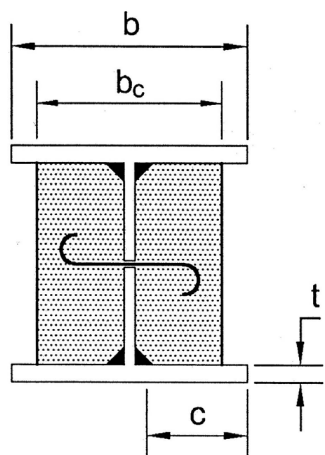
Prečni prerezi z obbetoniranjem

razred kompaktnosti	vrsta	mejno razmerje
1	valjan ali varjen	$c/t \leq 9\varepsilon$
2		$c/t \leq 14\varepsilon$
3		$c/t \leq 20\varepsilon$

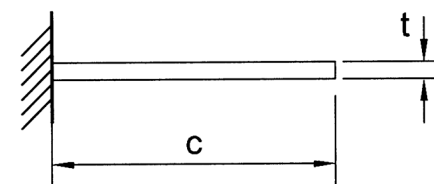
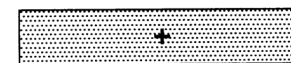
rolled section



welded section



$$0,8 \leq \frac{b_c}{b} \leq 1,0$$

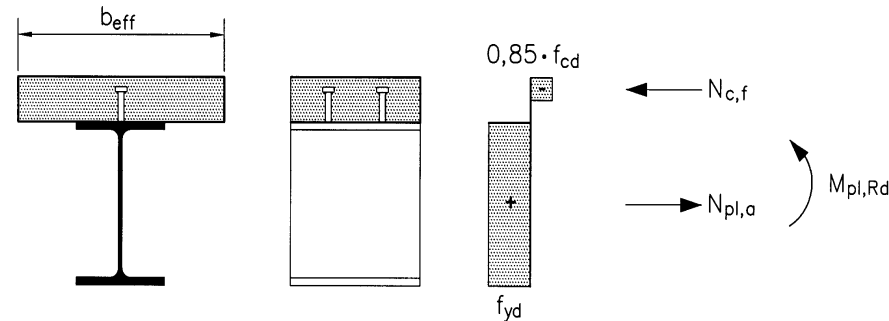


Razpored napetosti
(tlak pozitiven)

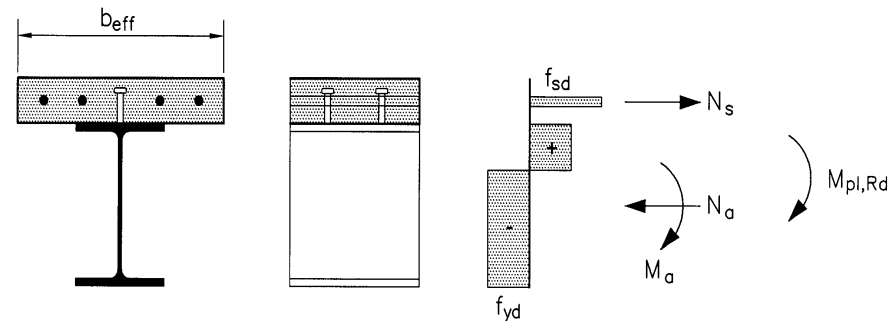
Plastična upogibna nosilnost $M_{pl,Rd}$

- ❑ Med konstrukcijskim jeklom, armaturo in betonom **polna interakcija**.
- ❑ Sodelujoča površina jekla obremenjena do f_{yd} v tlaku ali nategu.
- ❑ Sodelujoča površina vzdolžne armature v tlaku ali nategu obremenjena do f_{sd}
- ❑ Sodelujoči prerez betona v tlaku obremenjen do **$0,85f_{cd}$**

POZITIVNI
MOMENT:



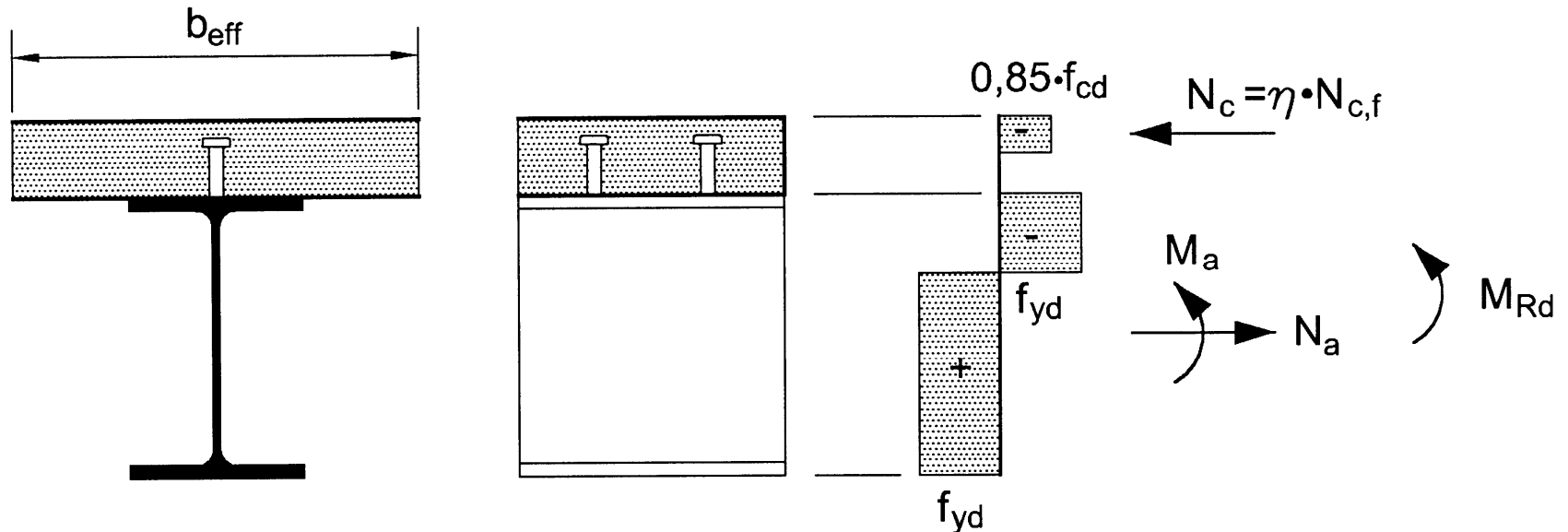
NEGATIVNI
MOMENT:



Plastična upogibna nosilnost z delno strižno povezavo

- ❑ V področju pozitivnih momentov, se lahko za sovprežne nosilce pri stavbah, uporabi metoda delne strižne povezave.
- ❑ V primeru negativnih momentov je potrebno zagotoviti ustrezno strižno povezavo, da pride do plastifikacije armature v nategu.

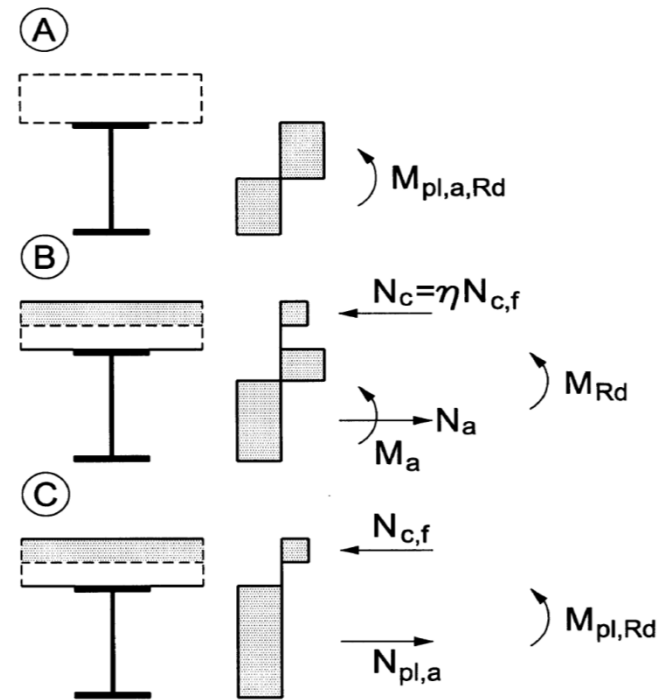
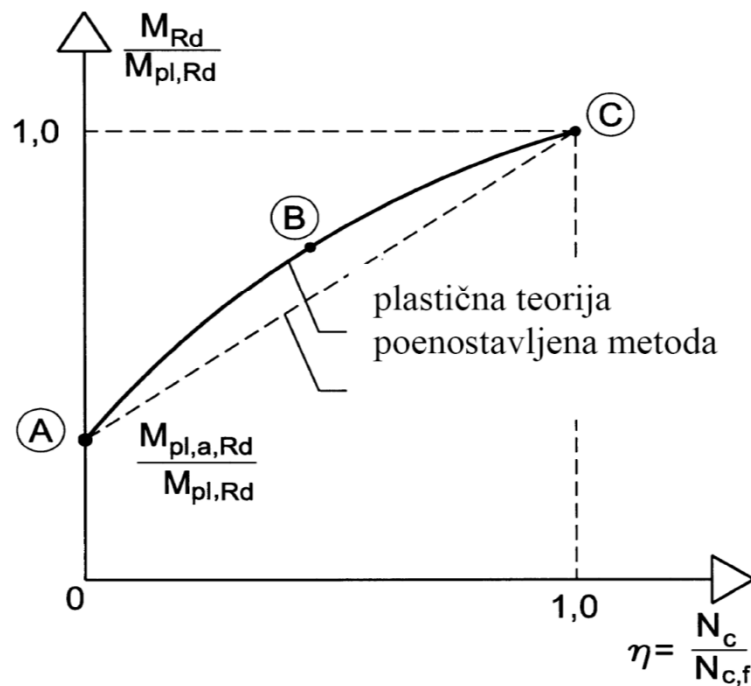
Plastična razporeditev napetosti v področju pozitivnih momentov pri delni strižni povezavi:



Plastična upogibna nosilnost z delno strižno povezavo

- Duktilna strižna vezna sredstva.
- Reducirano tlačno silo v betonski pasnici N_c .
- $\eta = N_c / N_{c,f}$ je stopnja strižne povezave.

$$M_{Rd} = M_{pl,a,Rd} + (M_{pl,Rd} - M_{pl,a,Rd}) \cdot \frac{N_c}{N_{c,f}}$$



Elastična upogibna nosilnost

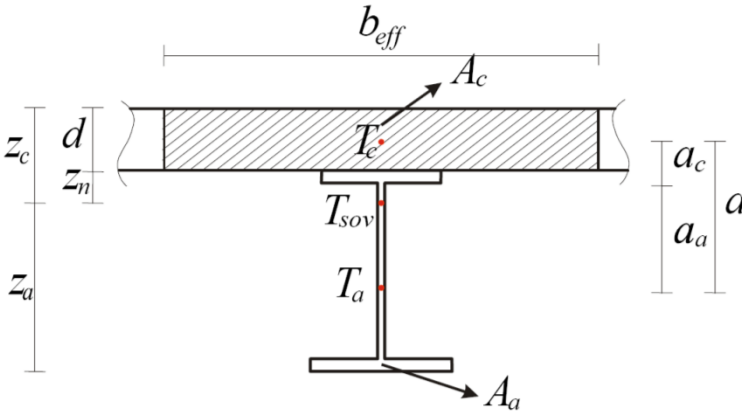
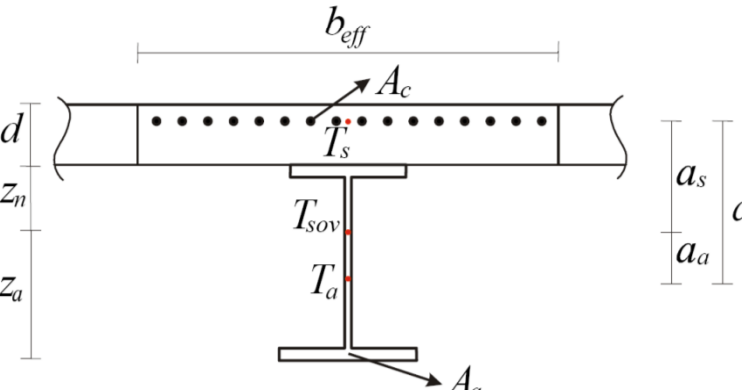
□ omejitve napetosti:

- f_{ck} / γ_c pri betonu v tlaku;
- f_{sk} / γ_s pri konstrukcijskem jeklu v nategu ali tlaku;
- f_y / γ_{M0} pri armaturi v nategu ali tlaku (vpliv armature v tlaku lahko zanemarimo).

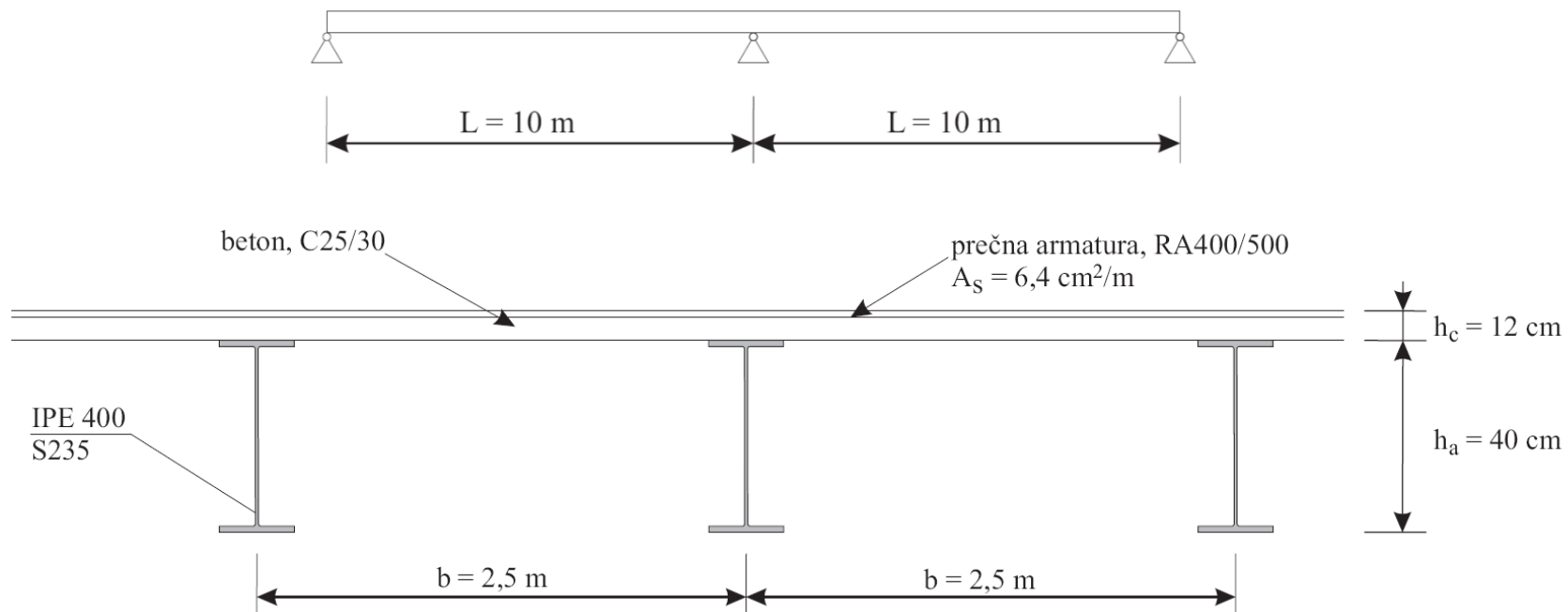
□ račun geometrijskih prerezov:

- za področje pozitivnih momentov (polje)
 - **nerazpokan prerez brez armature**
- za področje negativnih momentov (nad podporo)
 - **razpokan prerez z armaturo**

Računska modela za račun elastičnih karakteristik

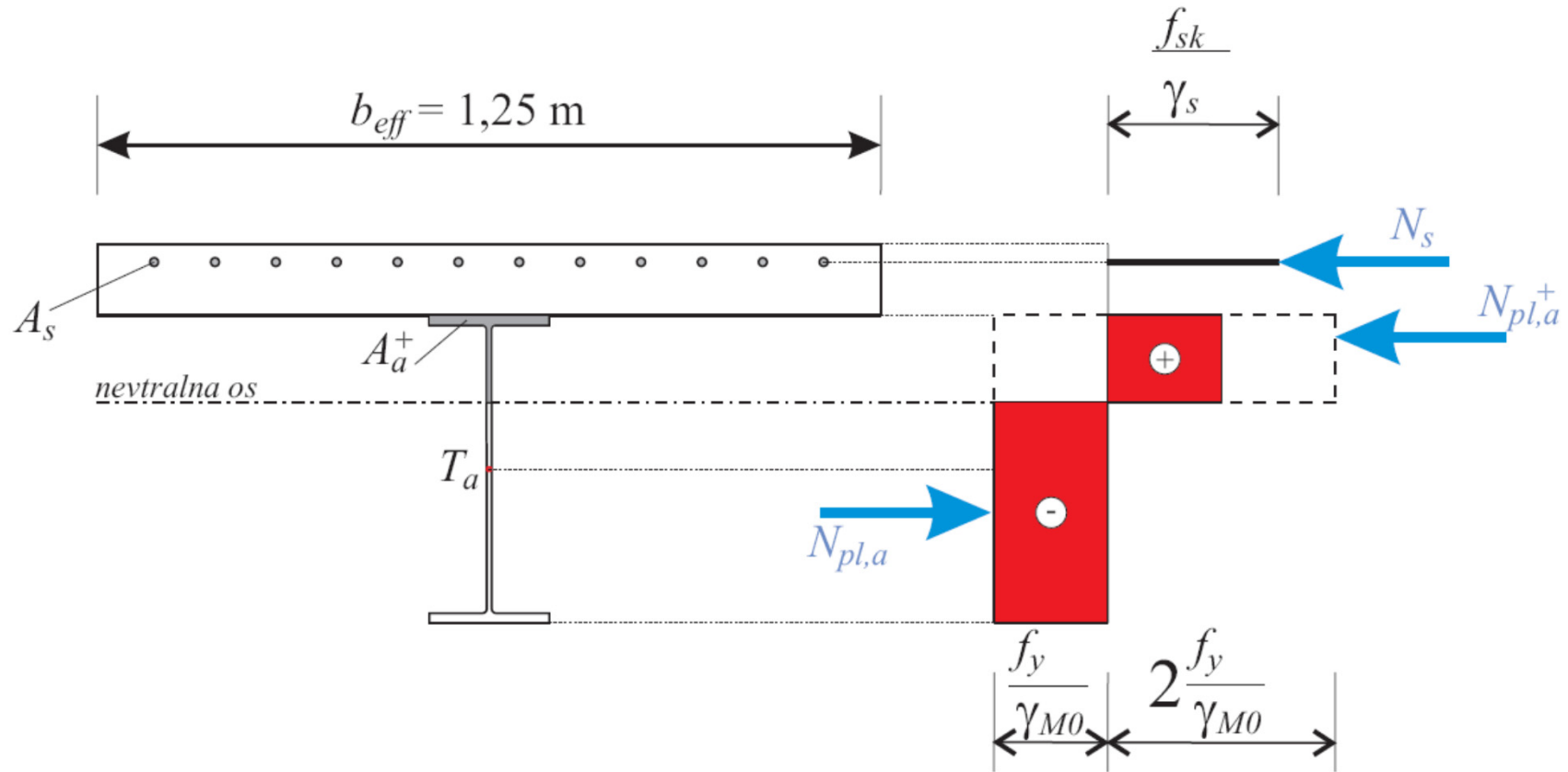
<p>a) nerazpokan prerez brez armature</p> 	$n = \frac{E_a}{E_c} \quad a_a = a \cdot \frac{A_c}{A_{sov} \cdot n_{\infty}} \quad a_c = a \cdot \frac{A_a}{A_{sov}}$ $A_{sov} = A_a + \frac{1}{n} A_c, \quad I_{sov} = I_a + A_a a_a^2 + \frac{1}{n} (I_c + A_c a_c^2)$ $\sigma_{a,sp} = \frac{M}{I_{sov}} z_a, \quad \sigma_{b,sp} = \frac{M}{n I_{sov}} z_n$ $\sigma_{a,zg} = \frac{M}{I_{sov}} z_n, \quad \sigma_{b,zg} = \frac{M}{n I_{sov}} z_c$ <p>z_a, z_c oddaljenost najbolj obremenjenega vlakna preseza od težišča sovprežnega preseza</p>
<p>b) razpokan prerez z armaturo</p> 	$A_{sov} = A_a + A_s, \quad I_{sov} = I_a + A_a a_a^2 + A_s a_s^2$ $\sigma_{a,sp} = \frac{M}{I_{sov}} z_a, \quad \sigma_s = \frac{M}{I_{sov}} a_s$ $\sigma_{a,zg} = \frac{M}{I_{sov}} z_n$

Primerjava med elastično in plastično nosilnostjo



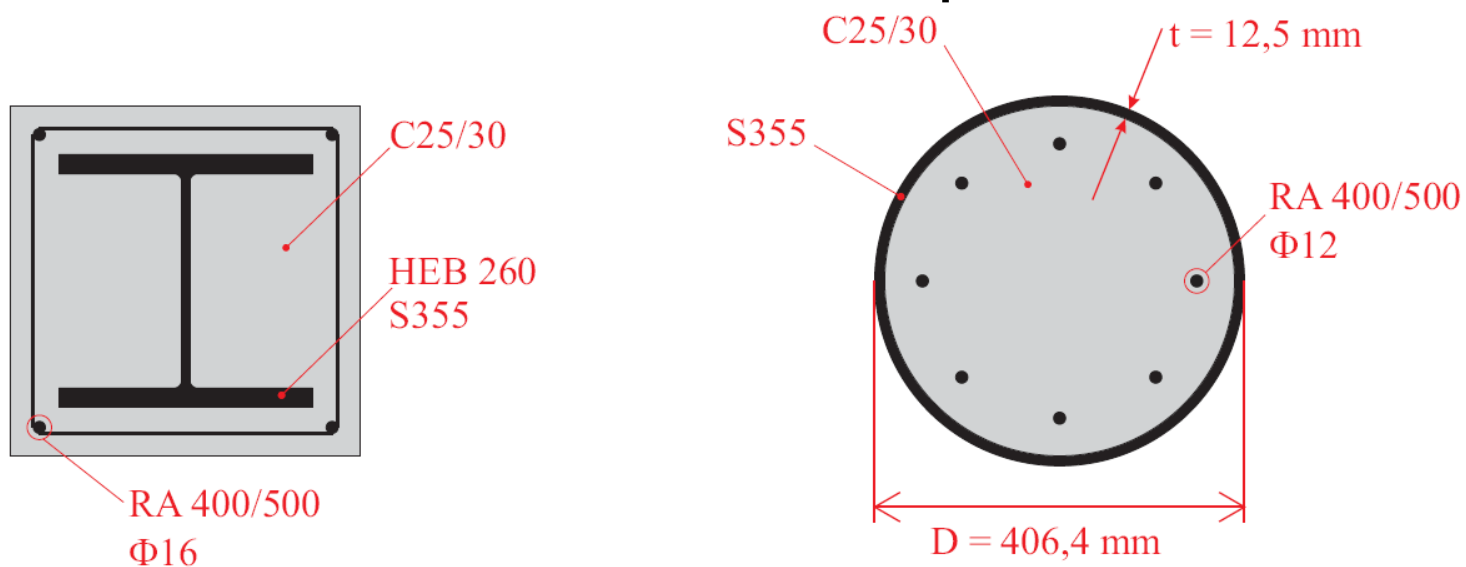
	<i>v polju</i>	<i>nad podporo</i>
$M_{el,Rd}$ [kNm]	263	116
$M_{pl,Rd}$ [kNm]	570	380



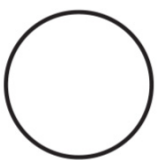
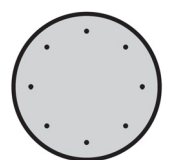
Vpliv prečne armature na upogibno plastično nosilnost nad podporo



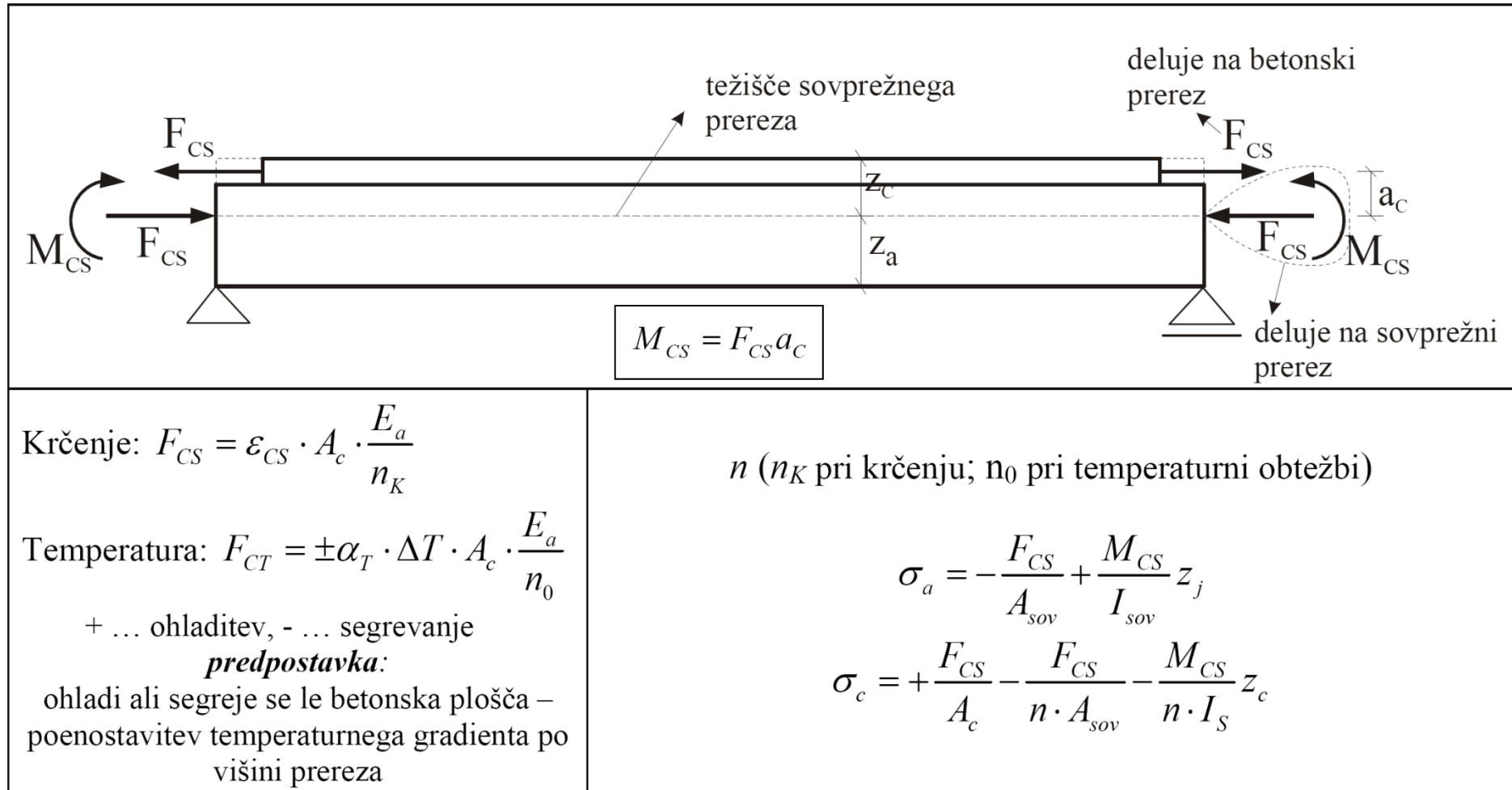
	$A_s \text{ [cm}^2\text{/}b_{eff}\text{]}$		
	6	8	10
$M_{pl,Rd} \text{ [kNm]}$	364	380	395

Tlačna in uklonska nosilnost sovprežnih stebrov



				
$N_{pl,Rd}$ [kN]	4189	6557	2790	4819
$N_{b,Rd}$ [kN]	233	1212	1192	1314

Dodatne napetosti zaradi krčenja in temp. obtežbe



Nosilnost na vertikalni strig

□ Plastična nosilnost na strig:

- Nosilnost na vertikalni strig je enaka nosilnosti jeklenega prereza $V_{pl,a,Rd}$

$$V_{pl,a,Rd} = \frac{f_y \cdot A_{a,s}}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}}$$

- Upoštevamo lahko tudi prispevek armiranega betona.

□ Nosilnost pri strižnem izbočenju:

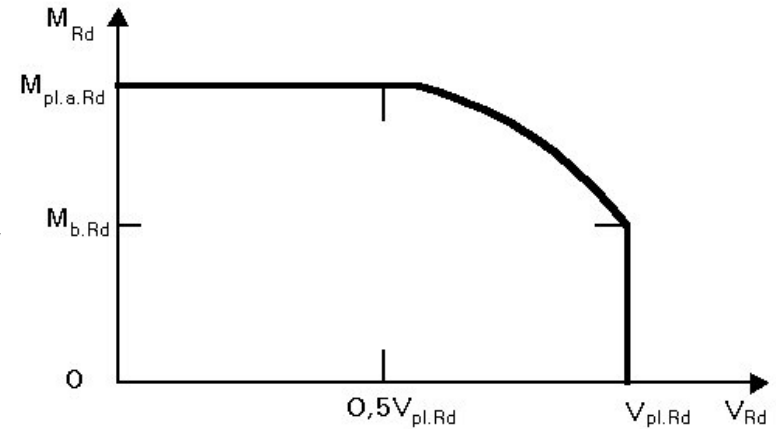
- Nosilnost pri strižnem izbočenju $V_{b,Rd}$ neobbetonirane stojine se določi skladno z EN 1993-1-5, pogl. 5.

Interakcija upogib - strig

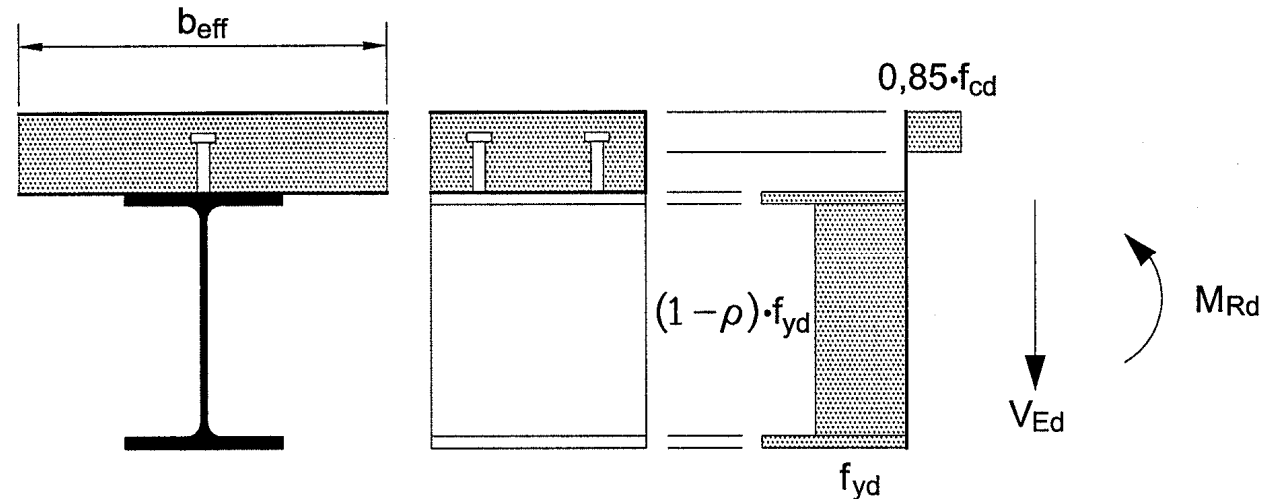
- Pri $V_{Ed} > 0,5V_{Rd}$ je potrebno reducirati trdnost jekla $(1-\rho)f_{yd}$ na področju strižne površine (stojina).

$$V_{Ed} \leq \{0,5 \cdot V_{Rd} \rightarrow \rho = 0$$

$$V_{Ed} > \{0,5 \cdot V_{Rd} \rightarrow \rho = (2V_{Ed} / V_{Rd} - 1)^2$$



- Plastična razporeditev napetosti, modificirana zaradi vpliva vertikalnega striga.



Bočna zvrnitev sovprežnih nosilcev

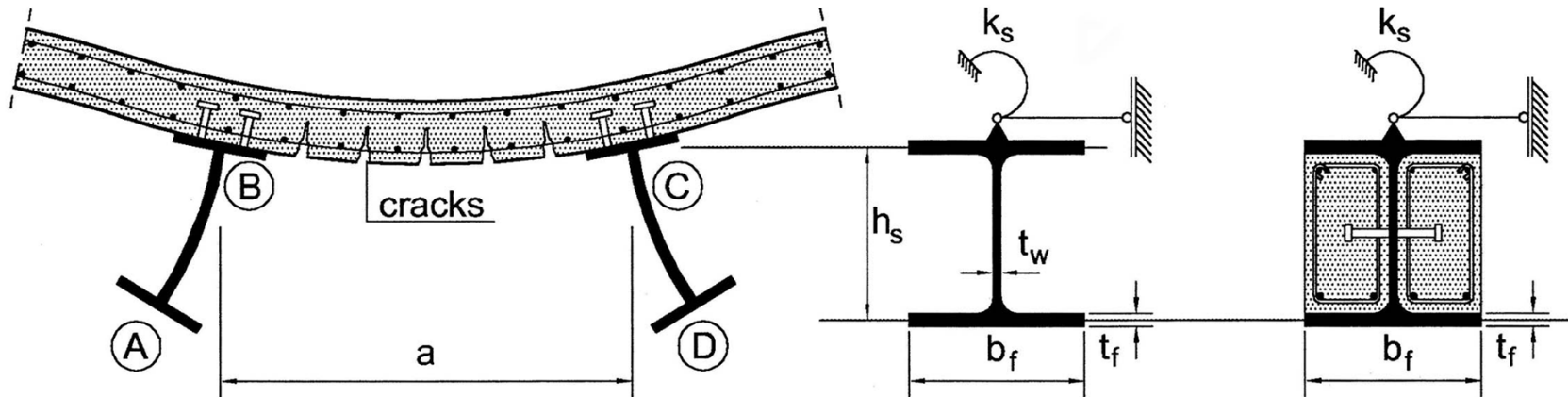
Za **jekleno pasnico**, ki je s **strižnimi** veznimi sredstvi pritrjena na betonsko ali sovprežno ploščo, lahko predpostavimo, da je **bočno podprta**. **Pozor spodnji pas jeklenega nosilca v območju negativnih momentov!!**

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} \rightarrow M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot M_{Rd}$$

- M_{Rk} ...upogibna nosilnost sovprežnega prereza ob uporabi karakterističnih materialnih vrednostih
- M_{cr} ...elastični kritični moment bočne zvrnitve, določen za notranjo podporo merodajnega razpona, kjer je negativni moment največji
- $\bar{\lambda}_{LT}$...relativna vitkost
- χ_{LT} ...redukcijski faktor bočne zvrnitve odvisen od relativne vitkosti
- M_{Rd} ...projektne negativne upogibne nosilnosti nad merodajno notranjo podporo (ali v spoju med nosilcem in stebrom)

Bočna zvrnitev sovprežnih nosilcev

- Kadar je plošča pritrjena na dva ali več jeklenih nosilcev, se lahko kritični moment izračuna ob uporabi modela “obrnjenega U okvira”.

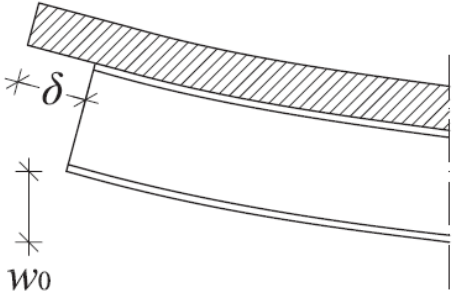
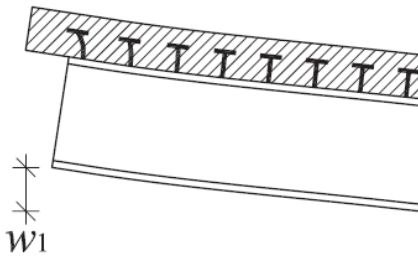
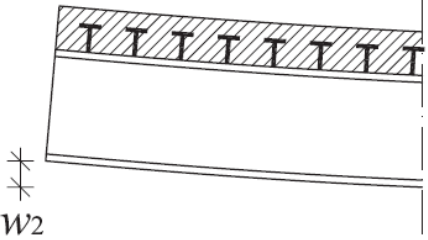
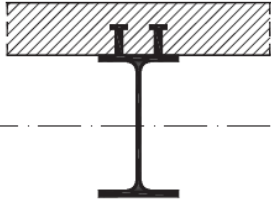
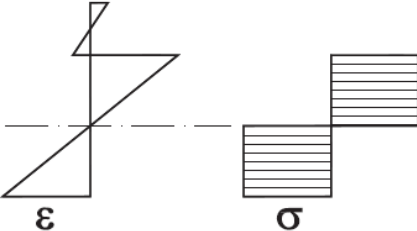
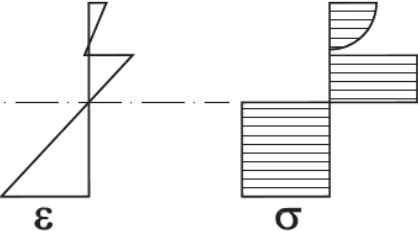
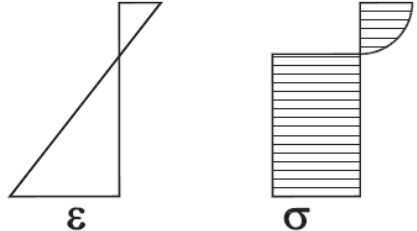


$$k_s = \frac{k_1 k_2}{k_1 + k_2} \quad k_1 = \alpha (EI)_2 / a \quad k_2 = \begin{cases} E_a t_w^3 / (4(1 - \nu_a^2) h_s) \dots \text{neobbetonirani} \\ E_a t_w b_c^2 / (16 h_s (1 + 4 n t_w / b_c)) \dots \text{obbetonirani} \end{cases}$$

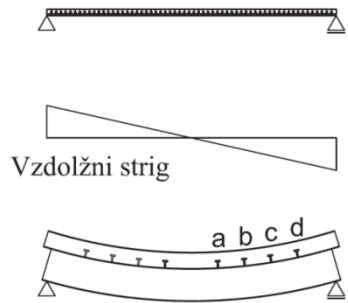
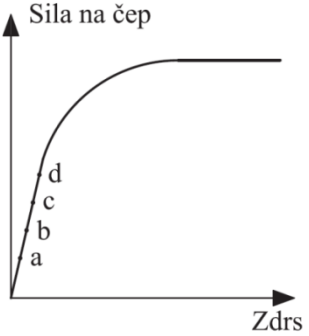
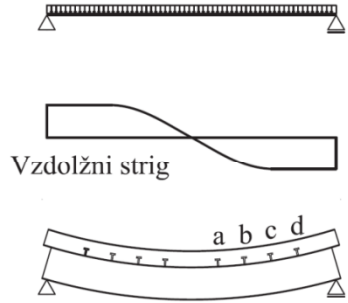
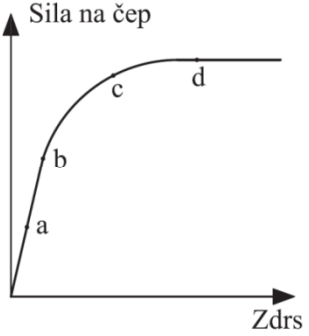
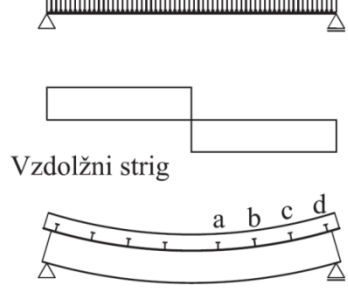
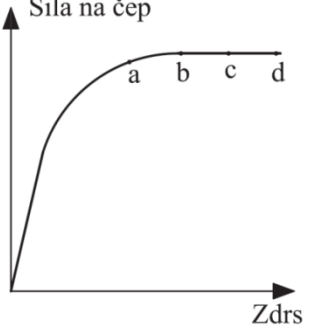
k_1 ...upogibna togost razpokane betonske plošče v smeri prečno na jeklene nosilce

k_2 ...upogibna togost stojine

Vzdolžni strig

		 <p>$w_0 > w_1 > w_2$</p>	
	<p>brez strižne povezave</p>	<p>delna strižna povezava</p>	<p>polna strižna povezava</p>
			

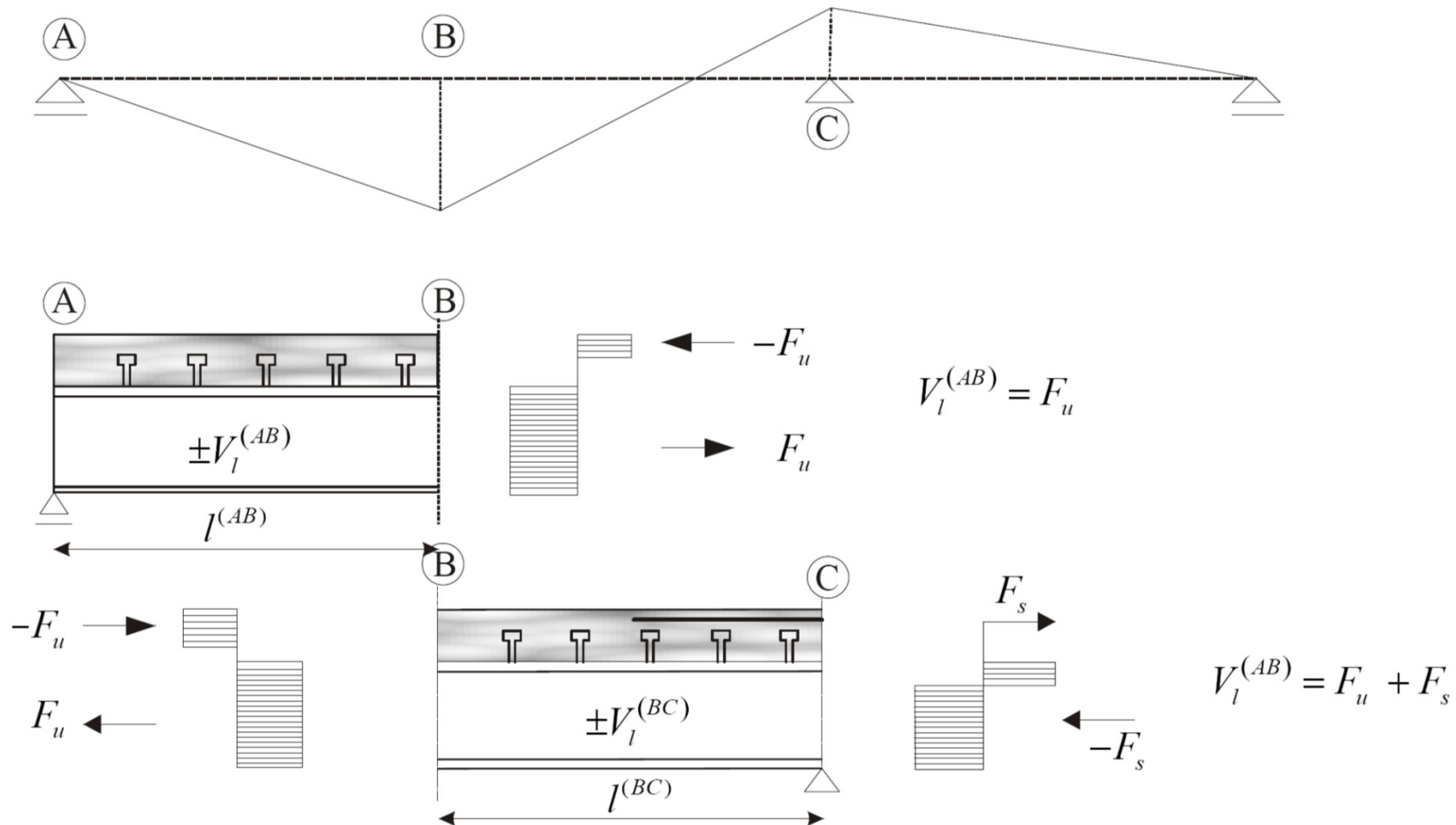
Elastični in plastični vzdolžni strig

<p>Elastično obnašanje</p>	 <p>Vzdolžni strig</p>	 <p>Sila na čep</p> <p>Zdrs</p>
<p>Elasto-plastično obnašanje</p>	 <p>Vzdolžni strig</p>	 <p>Sila na čep</p> <p>Zdrs</p>
<p>Plastično obnašanje</p>	 <p>Vzdolžni strig</p>	 <p>Sila na čep</p> <p>Zdrs</p>

Vzdolžni strig – plastična teorija

□ Strižni tok:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_l}{l}$$



Projektna nosilnost čepov

□ Duktilni mozniški:

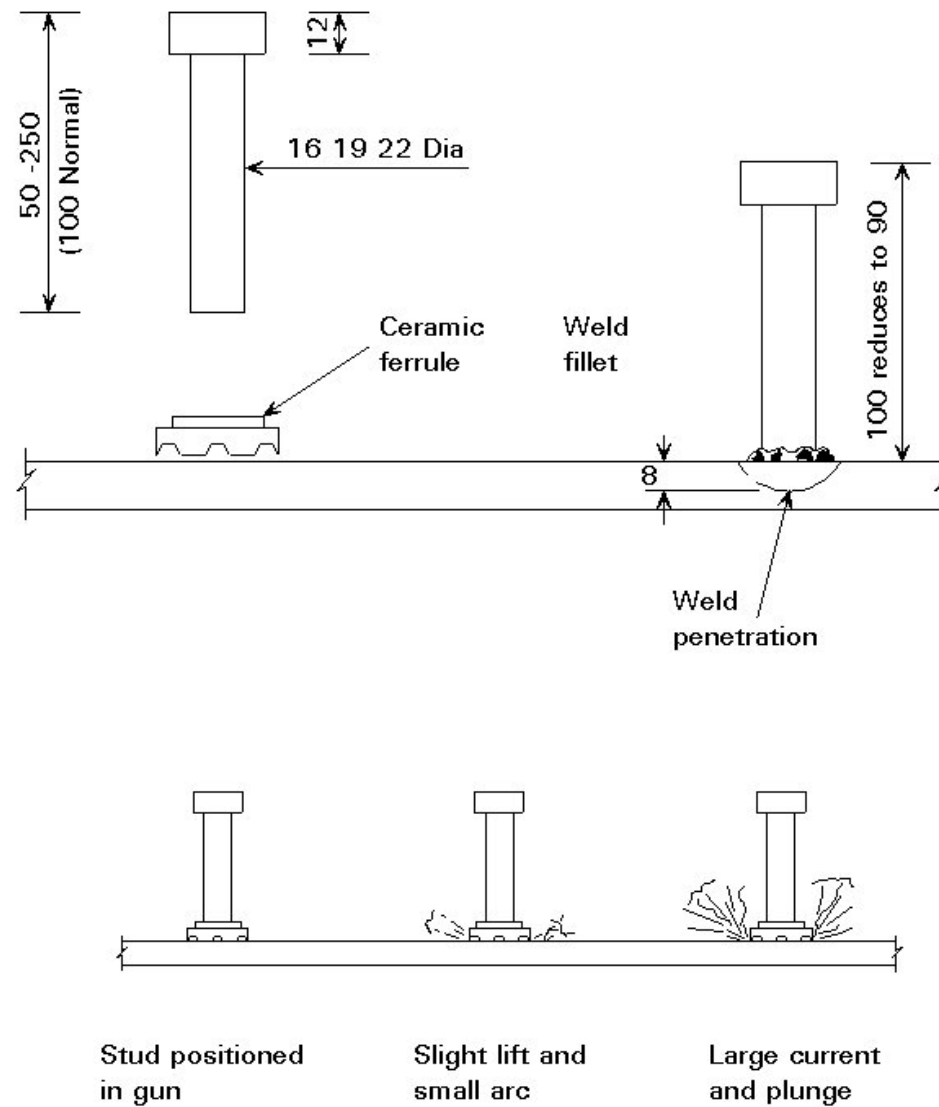
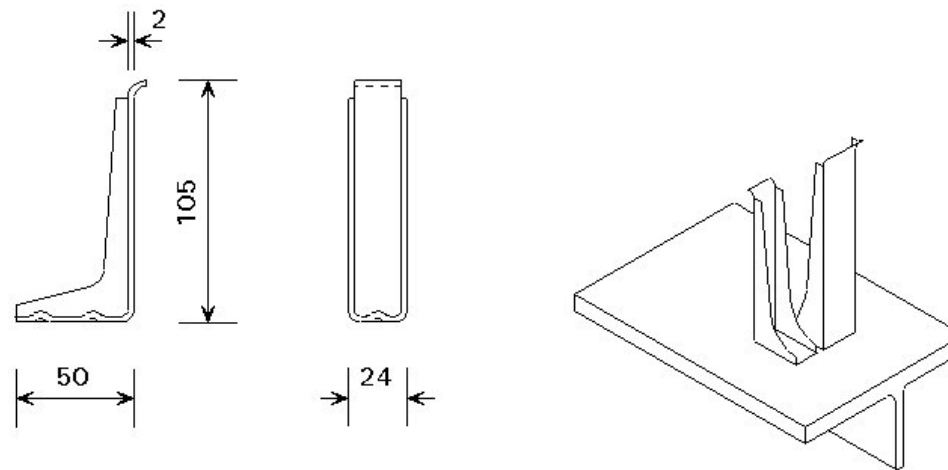


Figure 5 Stud connector welding

□ Duktilni mozniki:



Shot fired connectors

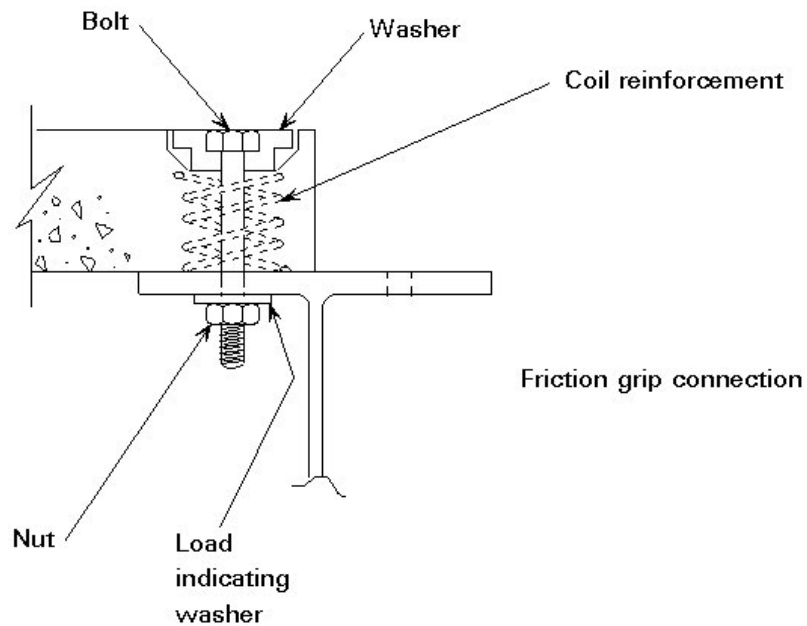


Figure 10 Alternative forms of connection

Projektna nosilnost čepov

- Projektna strižna nosilnost avtomatsko varjenega čepa z glavo:

$$P_{Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{0,8 f_u \pi d^2}{4 \gamma_v} \\ \frac{0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}}{\gamma_v} \end{array} \right. ; \quad \alpha = \begin{cases} 0,2 \left(\frac{h_{sc}}{d} + 1 \right) ; & 3 \leq \frac{h_{sc}}{d} \leq 4 \\ 1 & ; \frac{h_{sc}}{d} > 4 \end{cases}$$

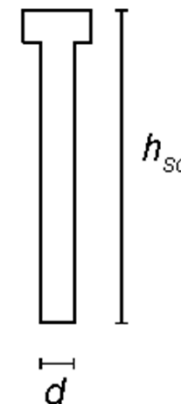
γ_v ... delni faktor (1,25)

d ... premer stebra čepa, 16 mm – 25 mm

f_u ... nominalna natezna trdnost materiala čepa

f_{ck} ... karakteristična cilindrična tlačna trdnost betona pri obravnavani starosti betona

h_{sc} ... skupna nominalna višina čepa



- V kolikor so čepi z glavo poleg s strigom obremenjeni tudi z nategom, je potrebno izračunati projektno natezno silo na čep F_{ten} , ki mora biti manjša od 10% strižne nosilnosti čepa.

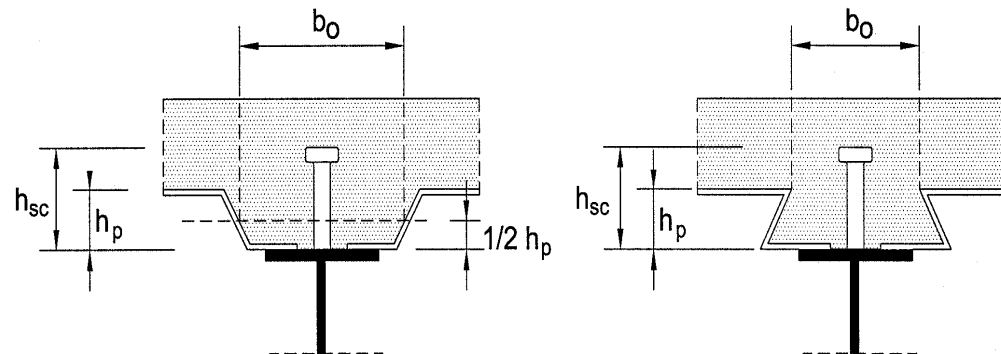
Projektna nosilnost čepov z glavo skupaj s profilirano pločevino

- Nosilci s profilirano jekleno pločevino vzporedno nosilcu:

$$k_l = 0,6 \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0$$

$$h_{sc} \leq h_p + 75\text{mm}$$

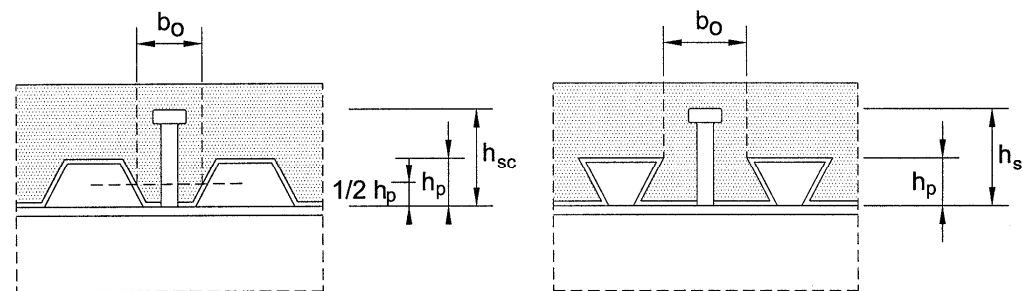
$$P'_{Rd} = k_l P_{Rd}$$



- Nosilci s profilirano jekleno pločevino prečno na nosilec:

$$k_t = \frac{0,7}{\sqrt{n_r}} \frac{b_0}{h_p} \left(\frac{h_{sc}}{h_p} - 1 \right) \leq 1,0$$

$$P'_{Rd} = k_t P_{Rd}$$



n_r ...število čepov na enem valu na presečišču z nosilcem, toda ne več kot 2

Vzdolžni strig – dvoosna obremenitev

- Kjer so strižna sredstva predvidena, da zagotavljajo sovprežnost tako za sovprežne nosilce kot za sovprežno ploščo, mora kombinacija sil, ki deluje na čep ustrezati pogoju:

$$\frac{F_l^2}{P_{l,Rd}^2} + \frac{F_t^2}{P_{t,Rd}^2} \leq 1$$

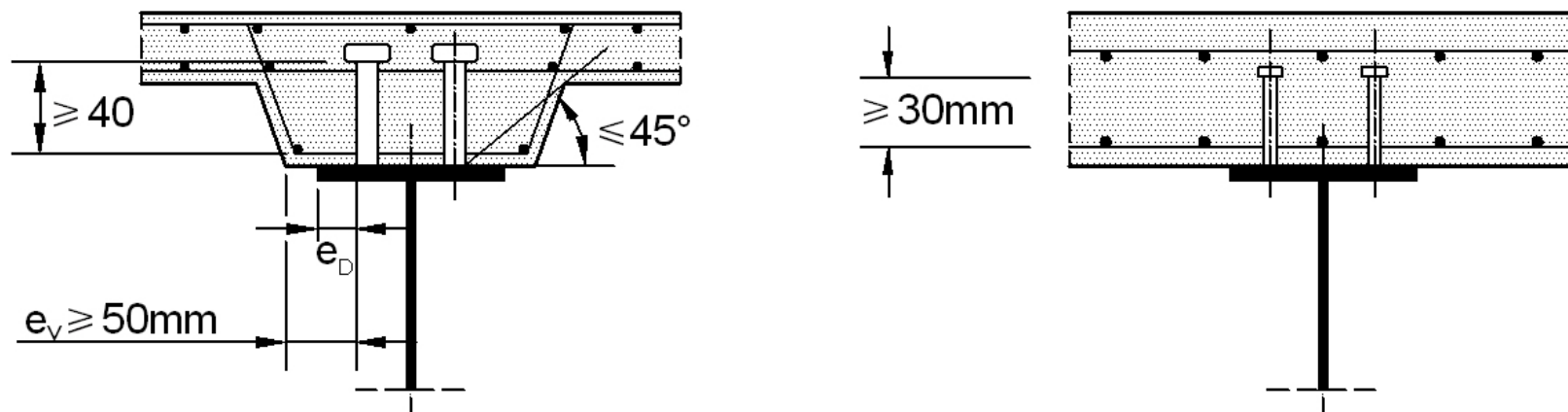
F_l ... projektna vzdolžna sila, kot posledica sovprežnega delovanja.

F_t ... projektna prečna sila, kot posledica sovprežnega delovanja plošče.

$P_{l,Rd}, P_{t,Rd}$... odgovarjajoči strižni nosilnosti čepa.

Detajli strižne povezave

- Nosilnost na razmak
- zaščitni sloj in betoniranje pri stavbah;
- lokalna armatura plošče;
- vute, ki niso oblikovane s pomočjo profilirane pločevine;

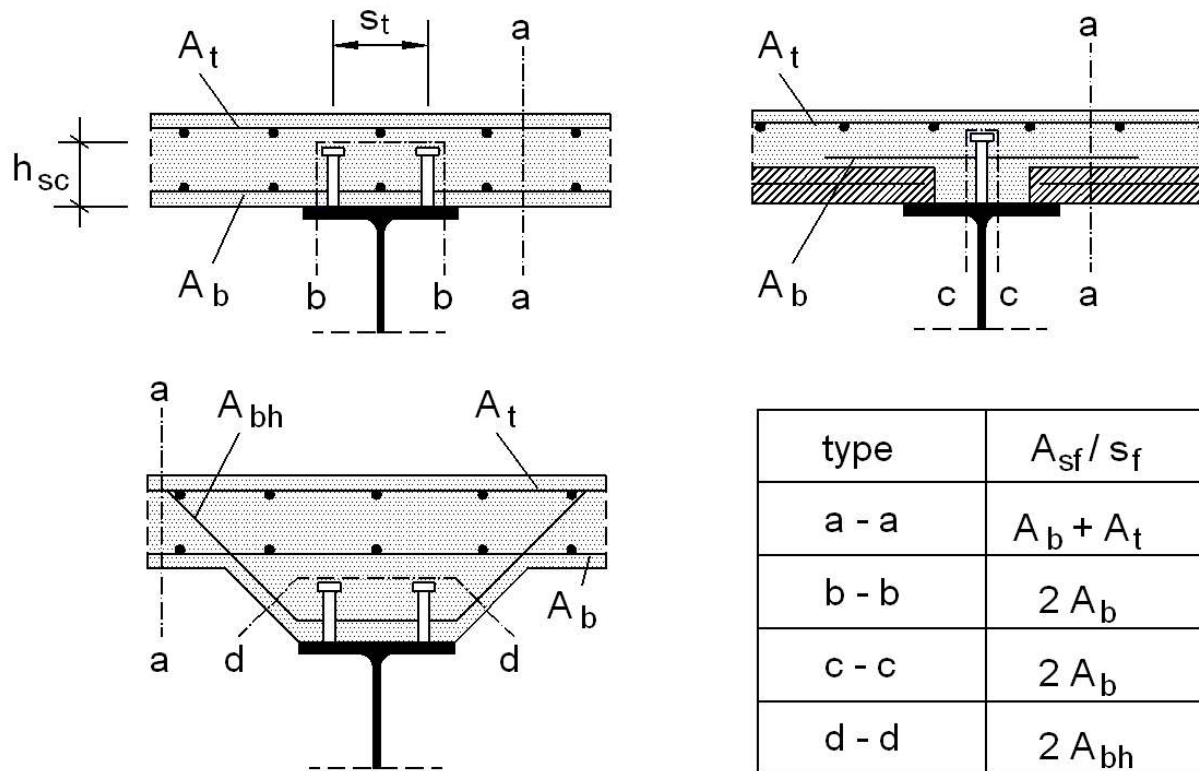


- razmak med strižnimi veznimi sredstvi;
- dimenzije jeklene pasnice;
- čepi z glavo kot strižna vezna sredstva;
- čepi z glavo uporabljeni skupaj s profilirano jekleno pločevino pri stavbah.

Vzdolžni strig v betonskih ploščah

$$\left(\frac{A_{sf}}{s_f} f_{yd} \right) > \frac{v_{Ed} h_f}{\cot \theta_f}; \quad v_{Ed} < v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f; \quad \theta_f \approx 45^\circ$$

- Značilne potencialne površine za strižno porušitev:

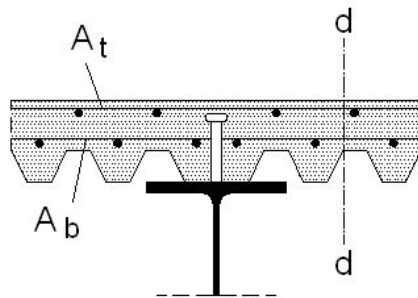
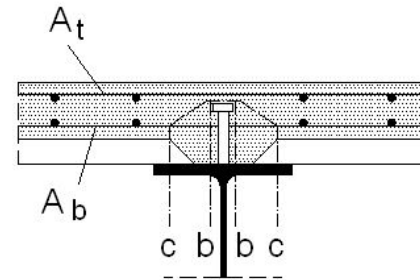
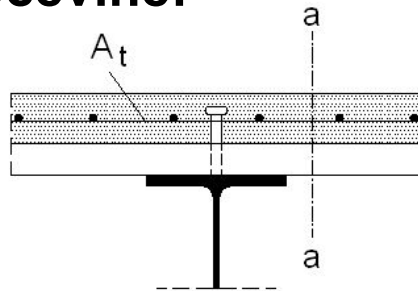


Vzdolžni strig v betonskih ploščah

$$\left(\frac{A_{sf}}{s_f} f_{yd} \right) + A_{pe} f_{yp,d} > \frac{v_{Ed} h_f}{\cot \theta_f}; \quad v_{Ed} < v f_{cd} \sin \theta_f \cos \theta_f; \quad \theta_f \approx 45^\circ$$

$A_{pe} \times f_{yp,d}$...prispevek prečnega prereza profilirane jeklene pločevine

- Značilne potencialne površine strižne porušitve ob uporabi **profilirane jeklene pločevine**:



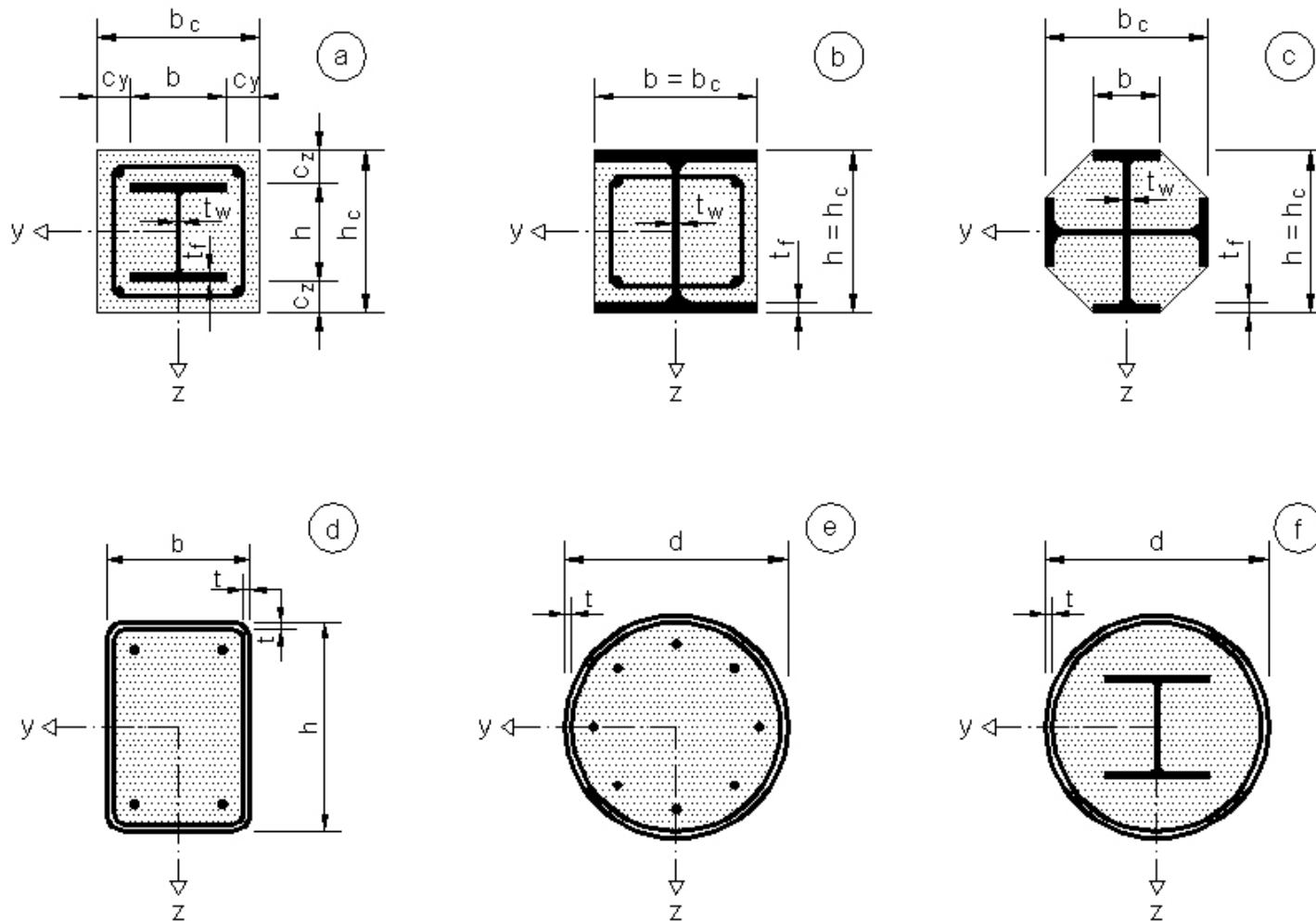
type	A_{sf}/s_f
a - a	A_t
b - b	$2 A_b$
c - c	$2 A_b$
d - d	$A_t + A_b$

Lokalna koncentrirana vzdolžna strižna sila

- ❑ Vpliv krčenja in temperaturne obtežbe.
- ❑ Dolžina vnosa → sodelujoča širina betonske pasnice.

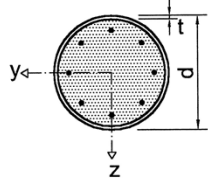
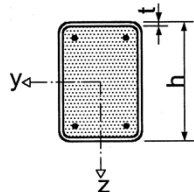
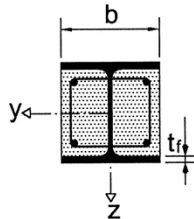
Sovprežni stebri in sovprežni tlačni elementi

□ Značilni prečni prerezi sovprežnih stebrov:



Sovprežni stebri in sovprežni tlačni elementi

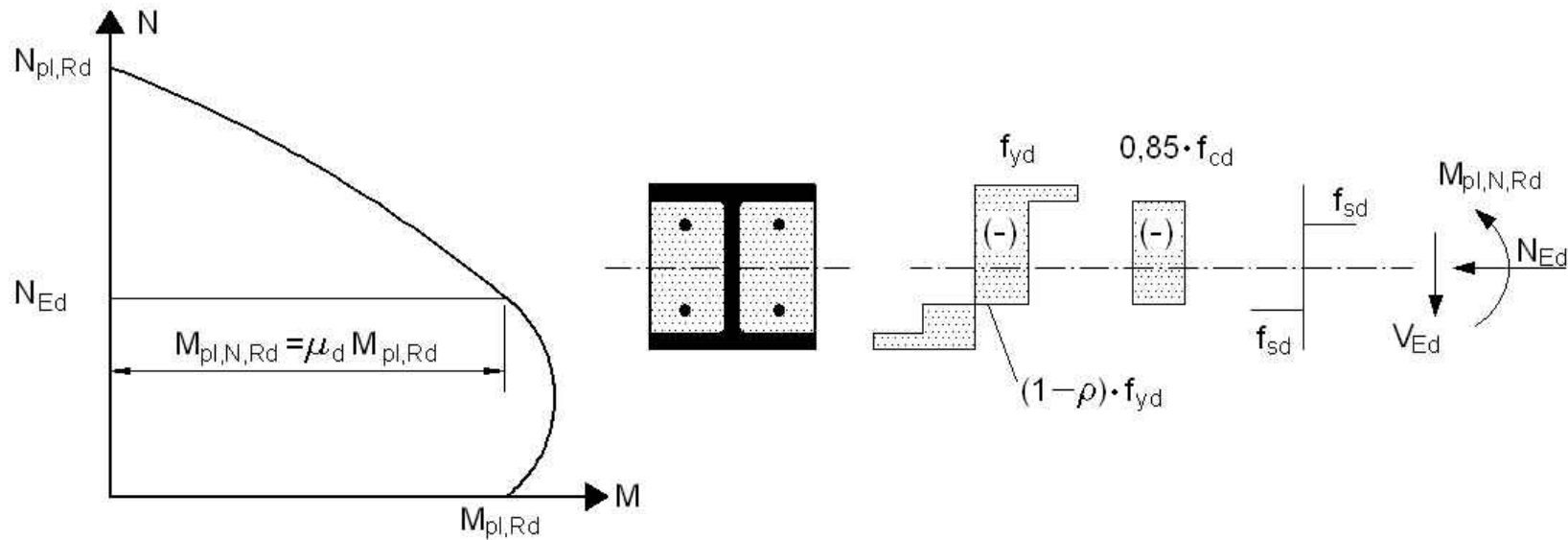
- Največje vrednosti (d/t) , (h/t) in (b/t_f) z f_y v N/mm^2 , da je preprečeno lokalno izbočenje:

Prečni prerez	$\max (d/t)$, $\max (h/t)$ in $\max (b/t)$
<p>Okrogli votli jekleni prerezi</p> 	$\max (d/t) = 90 \frac{235}{f_y}$
<p>Pravokotni votli jekleni prerezi</p> 	$\max (h/t) = 52 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$
<p>Delno obbetonirani I-prerezi</p> 	$\max (b/t_f) = 44 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

Nosilnost prečnega prereza

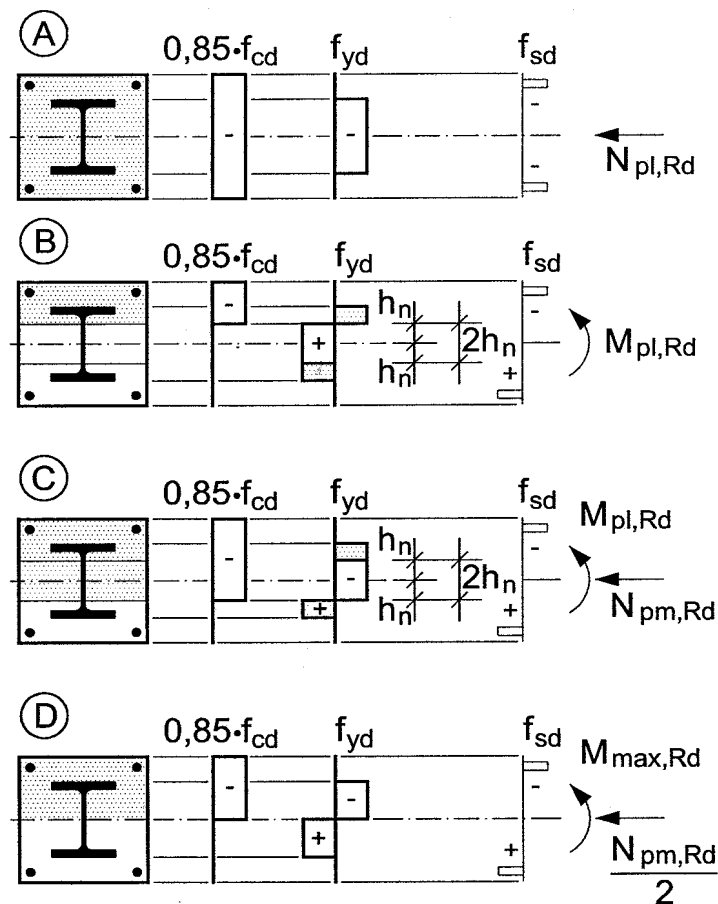
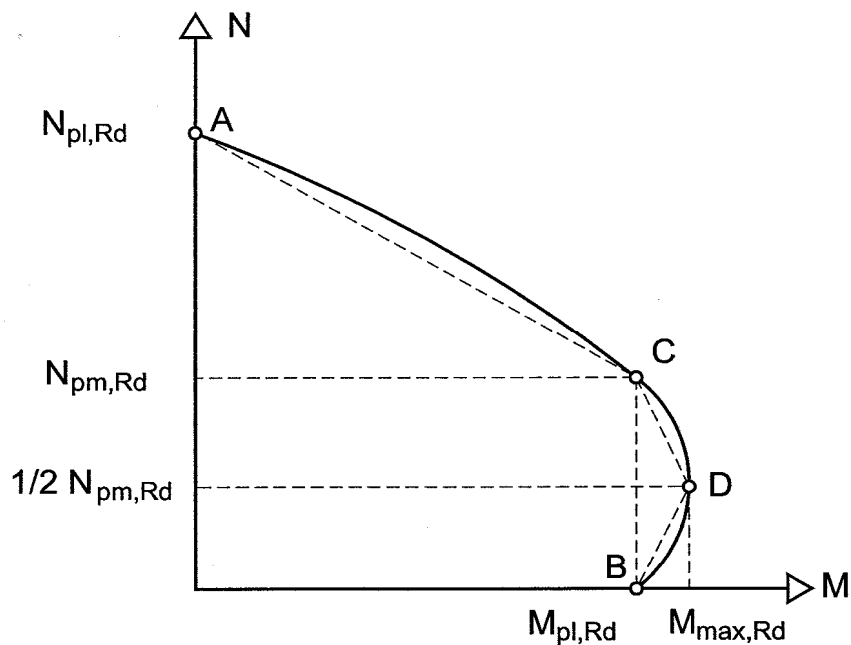
$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd}$$

Nosilnost prečnega prereza na kombinacijo tlaka in upogiba se lahko izračuna ob upoštevanju pravokotnega razporeda napetosti, ob upoštevanju projektne strižne sile V_{ed} . Natezno trdnost betona zanemarimo.



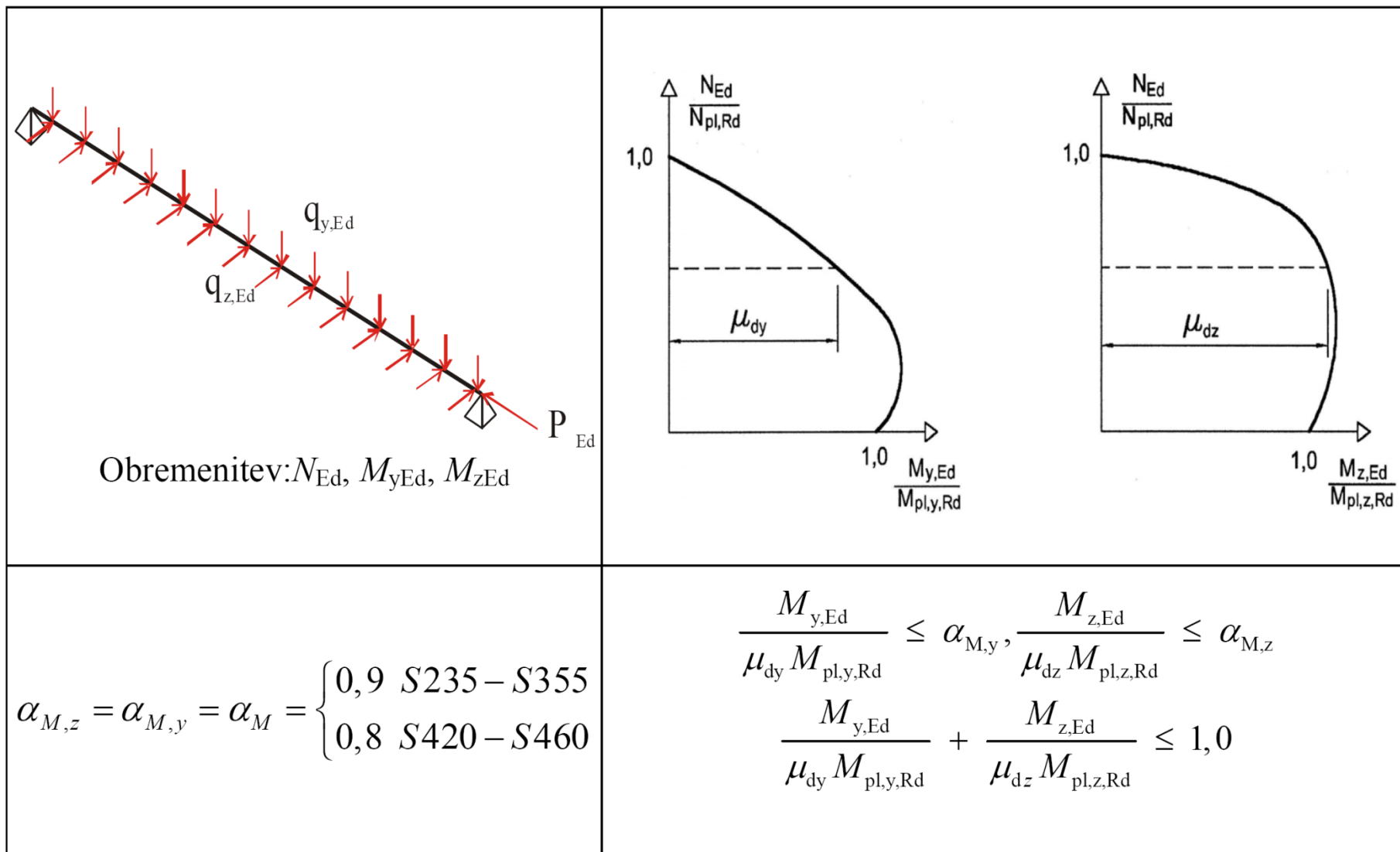
Interakcijski diagram M - N

Konstrukcija interakcijskega diagrama – poenostavljen pristop:



$$N_{pm,Rd} = \begin{cases} 0,85 f_{cd} A_c & \dots \text{ pri obbetoniranih in delno obbetoniranih prerezih} \\ f_{cd} A_c & \dots \text{ pri votlih prerezih napolnjenih z betonom} \end{cases}$$

Kombinacija tlaka in enosnega ali dvoosnega upogiba



Uklon, vpliv teorije drugega reda

- Relativna vitkost v ravnini obravnavanega upogiba je podana z:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \quad N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{l_u^2}$$

- Sodelujočo efektivno togost prečnega prereza sovprežnega stebra določimo iz:

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_e E_{cm} I_c$$

K_e ...korekcijski faktor za sodelovanje betona (0,6)

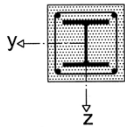
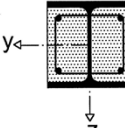
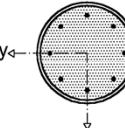
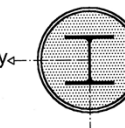
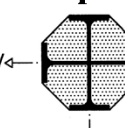
I_a, I_c, I_s ...vztrajnostni momenti jeklenega prereza, nerazpokanega prereza betona in armature za obravnavano ravnino upogiba

Kontrola nosilnosti – tlačno obremenjen element

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} \leq 1,0$$

$N_{pl,Rd}$... plastična nosilnost prereza

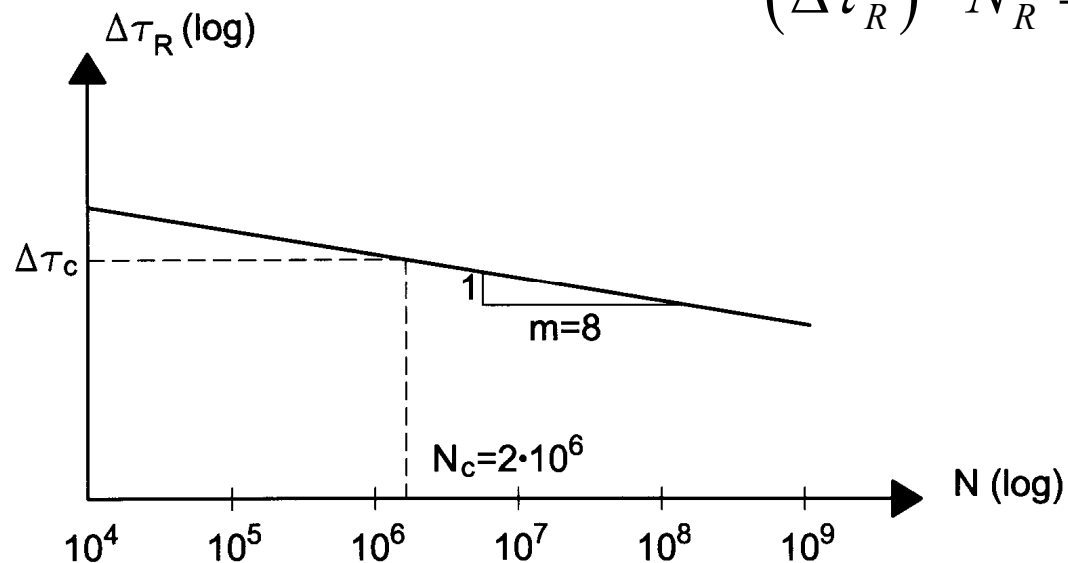
χ ... redukcijski faktor

Prečni prerez	Omejitve	Os uklona	Uklonska krivulja	Nepopolnosti elementa
obbetoniran prerez 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
delno obbetoniran prerez 		y-y	b	$L/200$
		z-z	c	$L/150$
okrogel in pravokoten votel jeklen prerez 	$\rho_s \leq 3\%$	z-z y-y	a	$L/300$
	$3\% < \rho_s \leq 6\%$	z-z y-y	b	$L/200$
okrogel votel jeklen prerez z dodatnim I prerezom 		y-y	b	$L/200$
		z-z	b	$L/200$
delno obbetoniran prerez s križanima I prerezoma 		z-z y-y	b	$L/200$

Utrujanje

- ❑ Za konstrukcijsko jeklo in zware →EN 1993-1-9,7.
- ❑ Za armaturno jeklo in jeklo za prednapetje →EN 1992-1-1.
- ❑ Za beton →EN 1992-1-1.
- Krivulja odpornosti na utrujanje avtomatično varjenih čepov z glavo je za normalno težak beton podana z izrazom:

$$(\Delta\tau_R)^m N_R = (\Delta\tau_c)^m N_c$$



- $\Delta\tau_R$...odpornost na utrujanje, ki se nanaša na prečni prerez stebra
- $\Delta\tau_c$...referenčna vrednost pri 2 milijonih ciklov s $\Delta\tau_c = 90 \text{ N/mm}^2$
- m ...naklon krivulje nosilnosti zaradi utrujanja
- N_R ...število napetostnih ciklov

Kontrola utrujanja čepov

- Kontrola utrujanja čepov varjenih na jekleno pasnico, ki je v tlaku:

$$\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2} \leq \Delta \tau_c / \gamma_{Mf,s}$$

$\Delta \tau_{E,2}$...ekvivalentna konstantna razlika strižnih napetosti za 2 milijona ciklov

$\Delta \tau_c$...referenčna vrednost odpornosti na utrujanje pri 2 milijona ciklov

- Kontrola utrujanja čepov varjenih na jekleno pasnico, ki je v nategu:

$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} + \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,3$$
$$\frac{\gamma_{Ff} \Delta \sigma_{E,2}}{\Delta \sigma_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0 \quad \frac{\gamma_{Ff} \Delta \tau_{E,2}}{\Delta \tau_c / \gamma_{Mf}} \leq 1,0$$

$\Delta \sigma_{E,2}$...razlika napetosti v pasnici

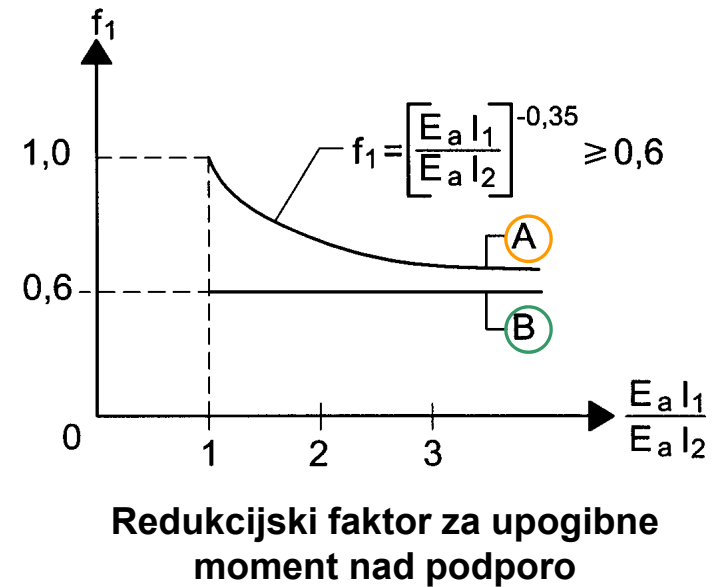
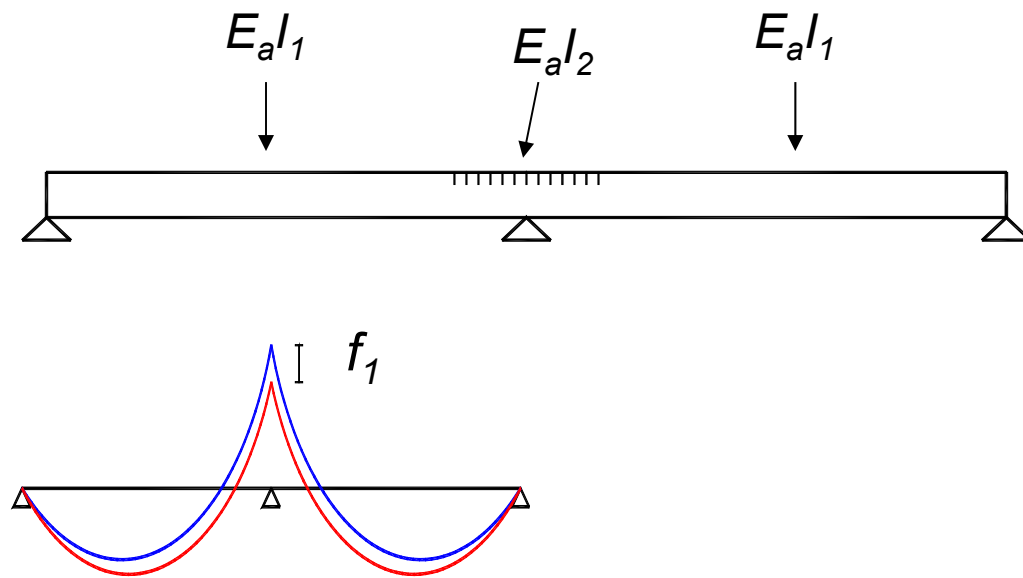
$\Delta \sigma_c$...referenčna vrednost odpornosti na utrujanje podana v EN1993-1-9, 7, ob uporabi kategorije 80

Mejna stanja uporabnosti - MSU

- ❑ Napetosti (upoštevanje tečenja, krčenja, razpokanje, postopnost gradnje, povečana podajnost, neelastično obnašanje, torzijsko in distorzijsko izbočenje).
- ❑ Kontrola razpok v betonu (določitev najmanjše potrebne armature), SIST EN 1992.

Mejna stanja uporabnosti - MSU

- pomiki (elastična analiza, upoštevati vpliv razpokanosti v območju negativnih momentov, možnost prerazporeditve upogibnih momentov, tečenje).



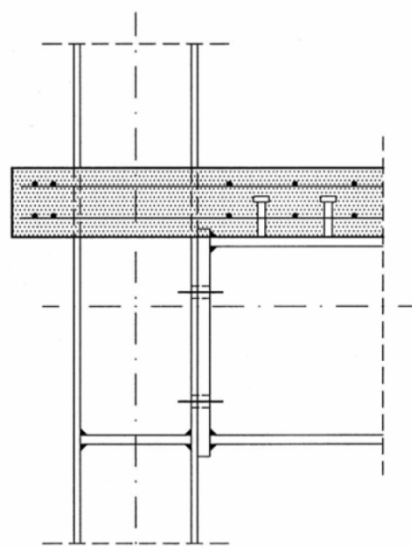
$$\Delta L_i \leq 25\% L_{(i+1,i-1)}$$

Sovprežni spoji okvirjev v stavbah

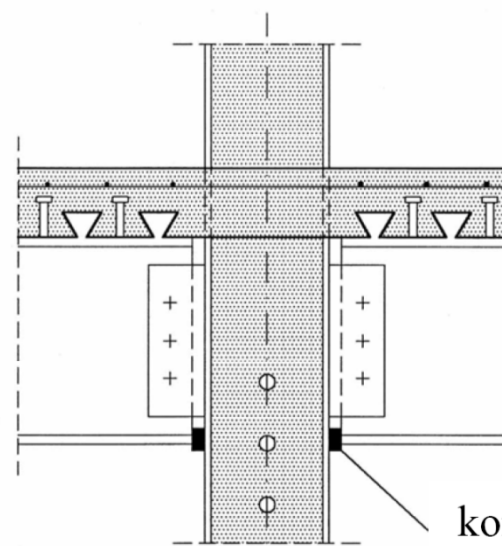
- ❑ Dopolnjuje in modificira SIST EN 1993-1-8.
- ❑ Upoštevanje SIST EN 1992-1-1, SIST EN 1993-1-8.
- ❑ Sovprežni spoji v okvirih stavb: SIST EN 1994-1-1, 8 in aneks A.

- Primer spoja:

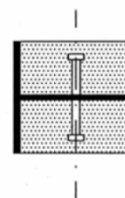
enostranska konfiguracija



dvostranska konfiguracija



kontaktna pločevina

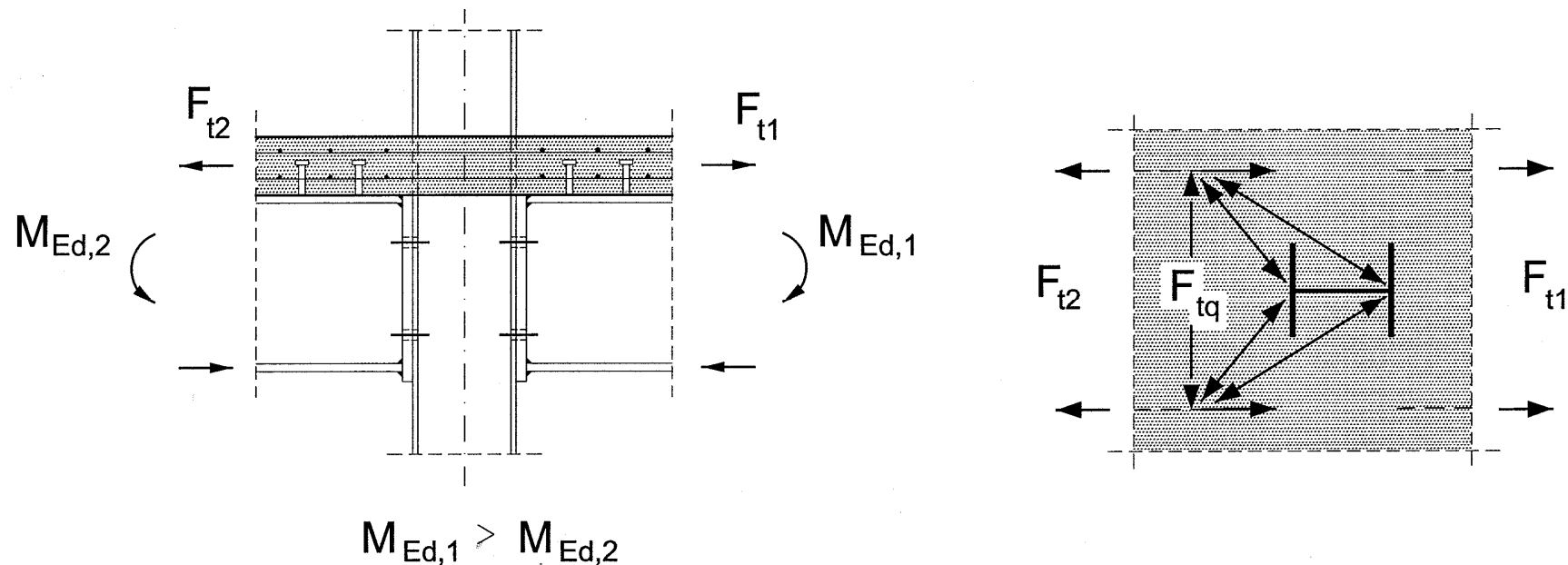


Nosilnost spojev

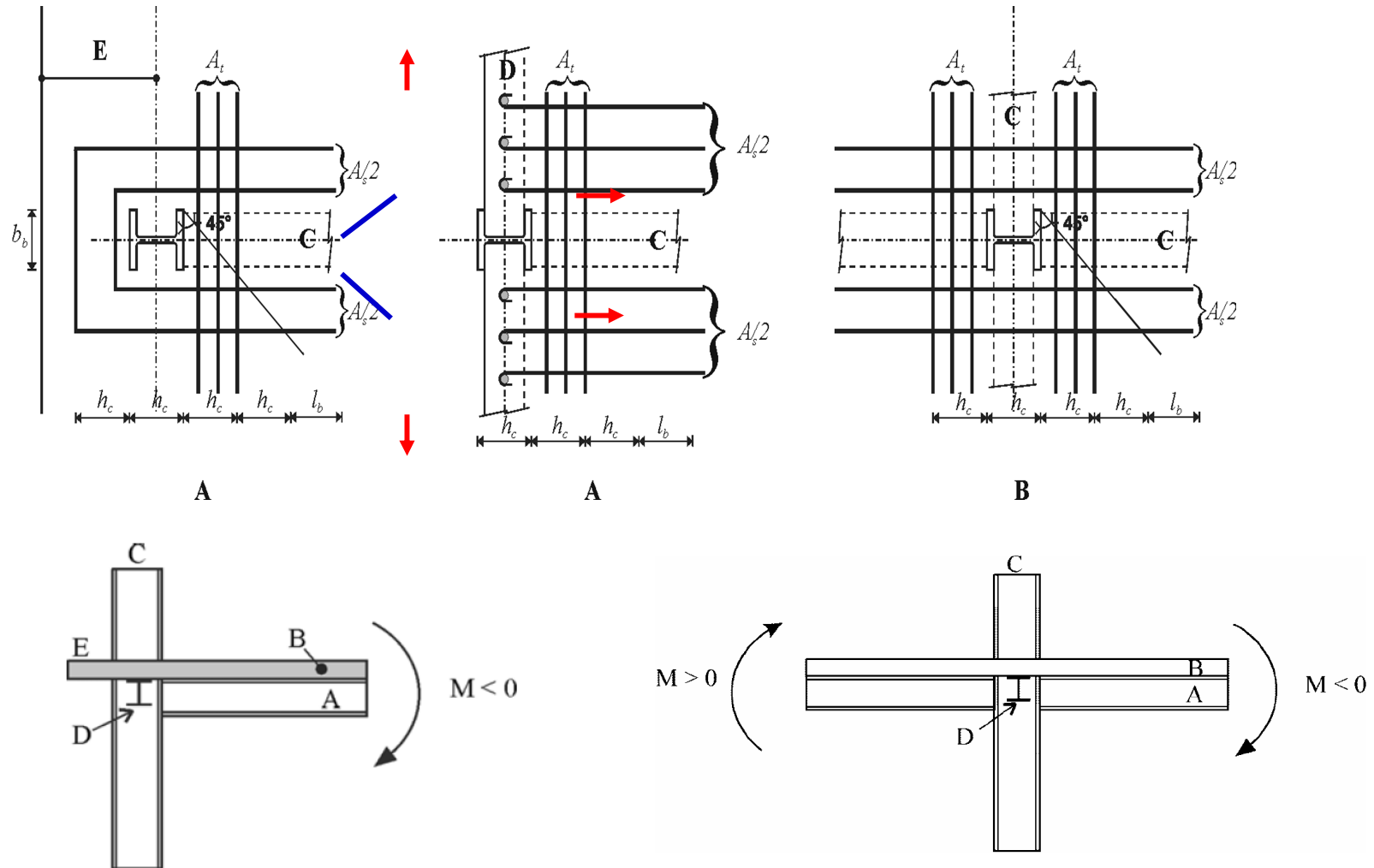
Za osnovo se uporablja **EN 1993-1-8**, ob pogoju, da **jekleni del spoja sodi v okvir tega poglavja**.

VZDOLŽNA JEKLENA ARMATURA V NATEGU:

- Pri neuravnoteženi obtežbi se lahko uporabi palični model za kontrolo vnosa sile betonske plošče v steber.



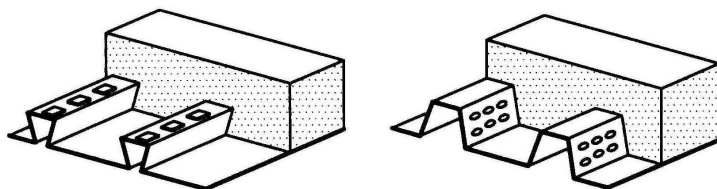
Značilni razpored armature v okolici stebra



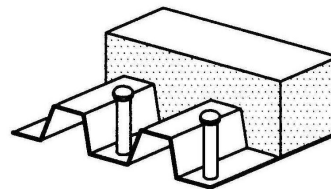
Sovprežne pločevine s profilirano jekleno pločevino v stavbah

□ Značilne oblike vezi v sovprežnih povezavah:

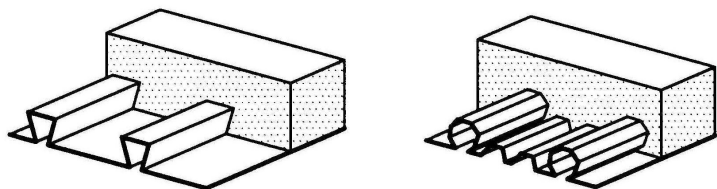
mehanska povezava



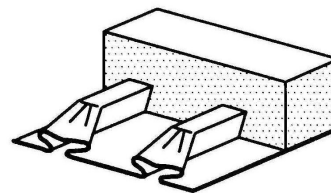
**končno sidranje s
čepi varjenimi skozi
pločevino**



povezava s trenjem



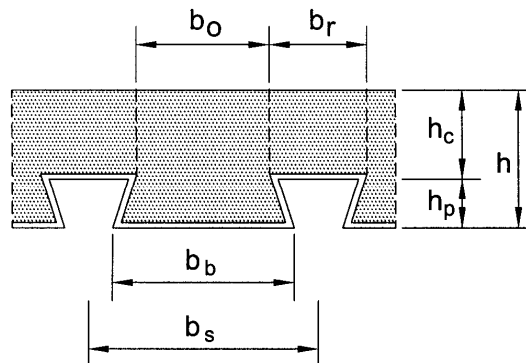
**končno sidranje z
deformacijo valov**



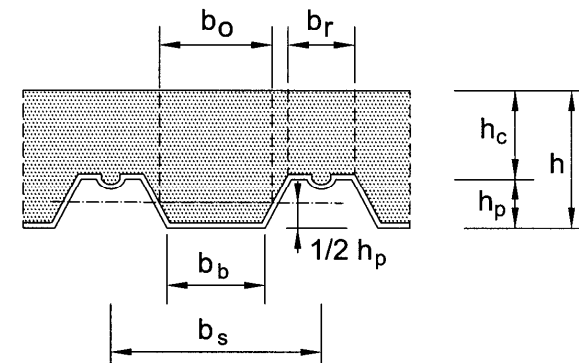
Pogoji detajliranja – debelina plošče in armatura

- Skupna višina sovprežne plošče $h > 80 \text{ mm}$, debelina betona h_c nad ravno površino na vrhu valov ne sme biti manjša od 40 mm ;
 - če pločevina deluje sovprežno skupaj z nosilcem ali se jo uporablja kot diafragma, ne sme biti manjša od 90 mm in h_c ne sme biti manjši od 50 mm ;
 - prečno in vzdolžno armaturo namestimo v okviru debeline h_c ;
 - količina armature v obeh smereh ne sme biti manjša od $80 \text{ mm}^2/\text{m}$;
 - razmak med armaturnimi palicami ne sme presegati manjše dimenzije od $2h$ in 350 mm .
- Dimenzije pločevine in plošče:

nazaj izbočen valovit profil



odprt valovit profil



Pogoji detajliranja – zahteve za ležišča

Dolžina ležišč mora biti taka, da se **preprečijo poškodbe ležišč in plošče**, da je **pritrjevanje** pločevine na ležišče **možno brez poškodb ležišča** in da **ni možna porušitev** kot posledica nezgodnih pomikov med gradnjo

□ dolžina ležišč l_{bc} in l_{bs} ne sme biti manjša od:

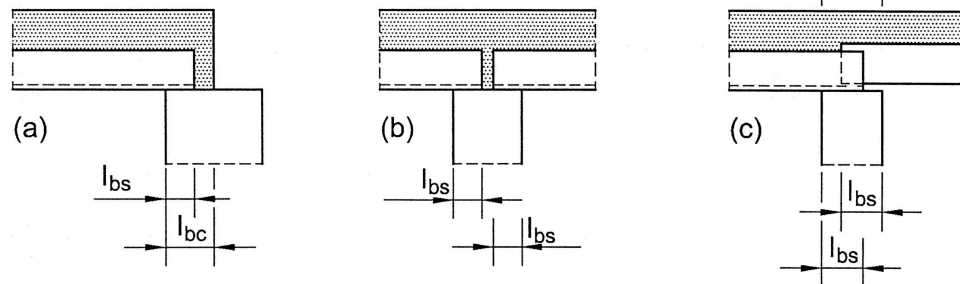
- za sovprežne plošče, ki ležijo na jeklu ali betonu:

$$l_{bc} = 75 \text{ mm in } l_{bs} = 50 \text{ mm}$$

- za sovprežne plošče, ki ležijo na ostalih materialih:

$$l_{bc} = 100 \text{ mm in } l_{bs} = 70 \text{ mm}$$

Najmanjše dolžine ležišč:



Koncentrirane obtežbe

Koncentrirano točkovno ali linijsko obtežbo vzporedno razponu plošče je potrebno obravnavati kot prerazporejeno preko širine b_m , merjeno takoj nad valovi pločevine.

RAZPOREDITEV KONCENTRIRANE OBTEŽBE

ZA UPOGIB IN VZDOLŽNI STRIG:

- pri prostoležečih in robnih razponih kontinuiranih plošč:

$$b_{em} = b_m + 2L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{širina plošče}$$

- pri notranjih razponih kontinuiranih plošč:

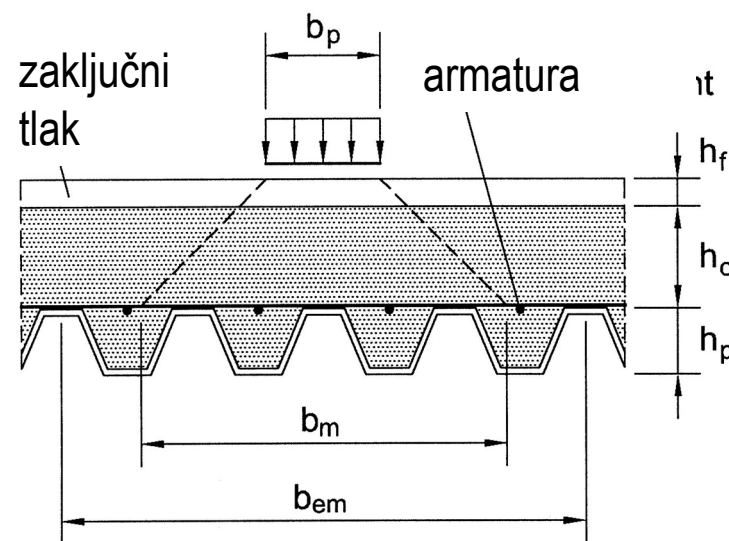
$$b_{em} = b_m + 1,33L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{širina plošče}$$

ZA VERTIKALNI STRIG:

$$b_{ev} = b_m + L_p \left(1 - \frac{L_p}{L} \right) \leq \text{širina plošče}$$

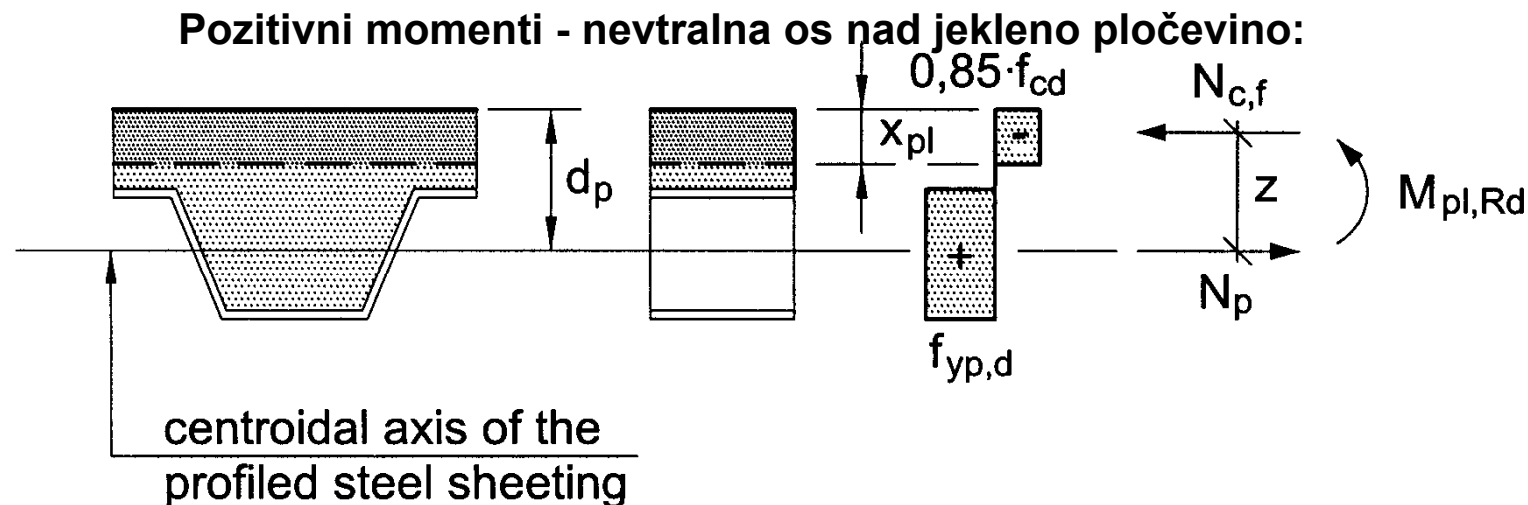
L_p ...razdalja od središča obtežbe do najbližje podpore

L ...dolžina razpona



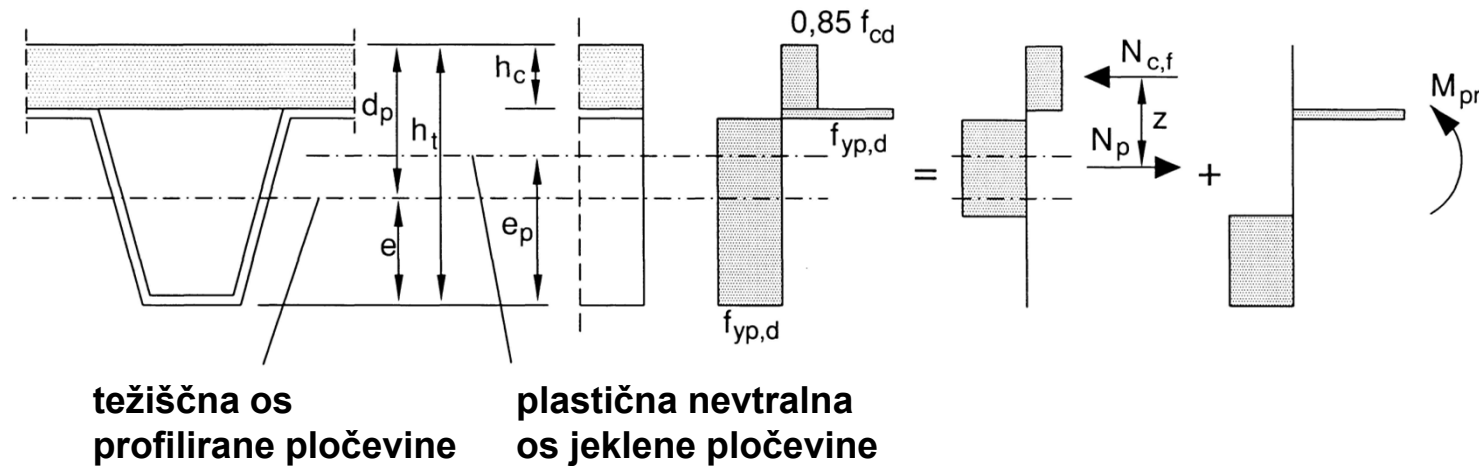
Sovprežne plošče – mejno stanje nosilnosti

- V primeru polne sovprežnosti – upogibna nosilnost po plastični teoriji.
- V področju negativnih momentov – možno upoštevati prispevek pločevin.
- Pri sodelujoči površini jeklene pločevine je potrebno zanemariti širino izboklin in izbočenja.
- Vpliv lokalnega izbočenja tlačnih delov pločevine upoštevamo z uporabo sodelujoče širine.



Sovprežne plošče – mejno stanje nosilnosti

- Pozitivni momenti - nevtralna os v jekleni pločevini:



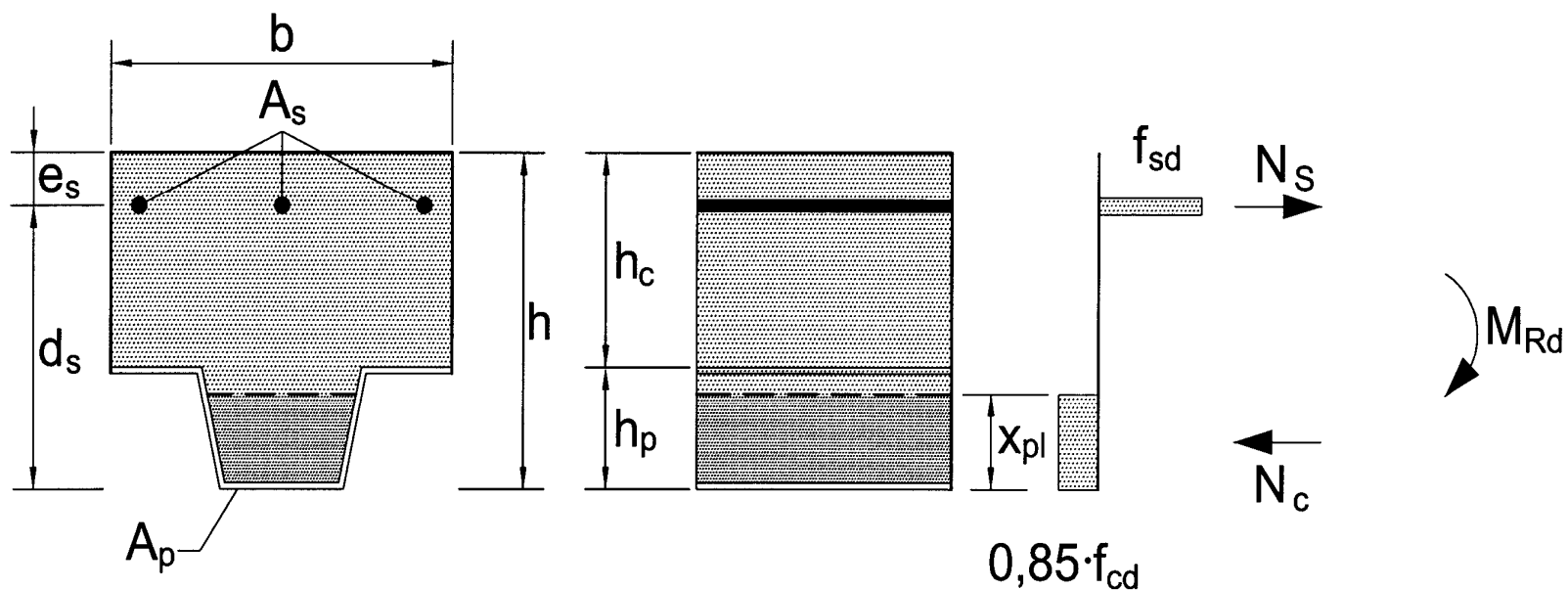
- Poenostavljeno se z in M_{pr} lahko določita z uporabo enačb:

$$z = h - 0,5h_c - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{A_{pe} f_{yp,d}}$$

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} \left(1 - \frac{N_{cf}}{A_{pe} f_{yp,d}} \right) \leq M_{pa}$$

Sovprežne plošče – mejno stanje nosilnosti

- ❑ Negativni momenti
- ❑ Pločevina v tlaku ni upoštevana



Preboj plošče

- ❑ Nosilnost na preboj plošče pod vplivom koncentrirane sile $V_{p,Rd}$ se določi v skladu s SIST EN 1992-1-1;
- ❑ upoštevanje kritičnega obsega.

