

UNIVERZA V LJUBLJANI
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
Katedra za metalne konstrukcije

JEKLENE KONSTRUKCIJE 1

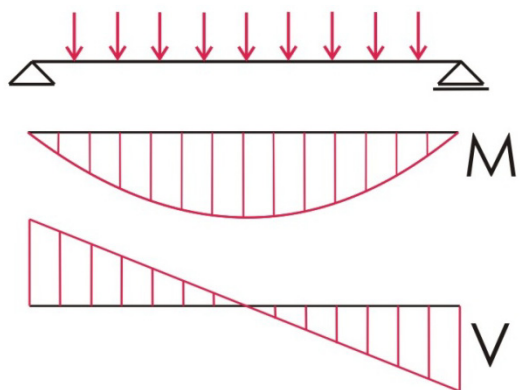
8.3 UPOGIBNI NOSILCI

prof. dr. Darko Beg

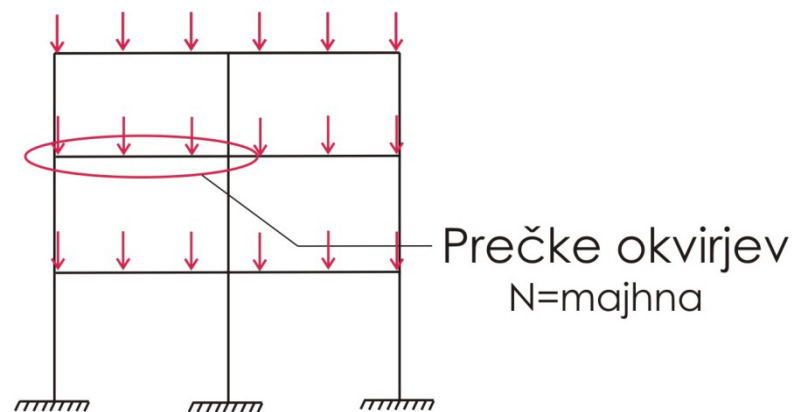
STATIČNI SISTEMI

M, V ($N=0$ ali majhna)

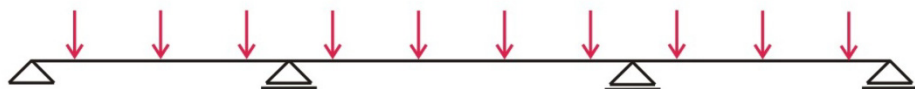
PROSTOLEŽEČI NOSILCI



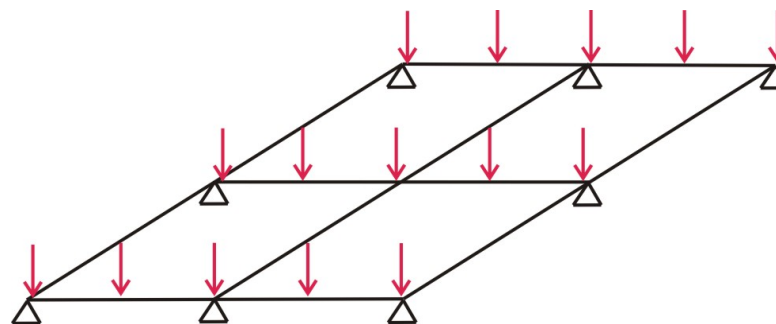
OKVIRJI



KONTINUIRNI NOSILCI



BRANE



UPORABA

Stropovi



Strešni nosilci



Podesti



Lege



Mostovi



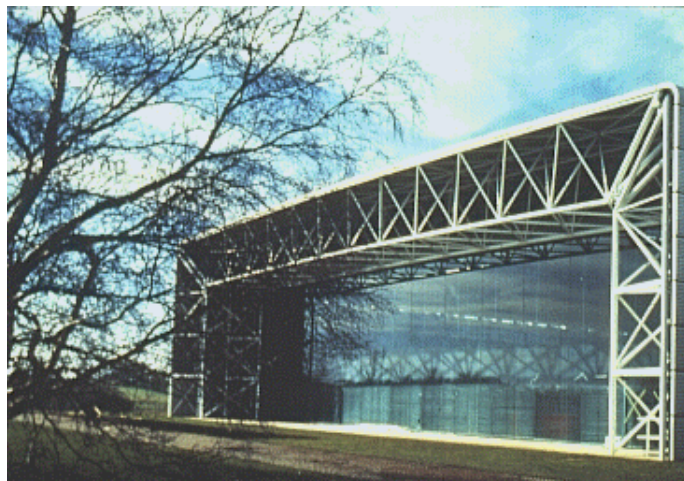
UPORABA

Nosilci v okvirih



VRSTE UPOGIBNIH NOSILCEV

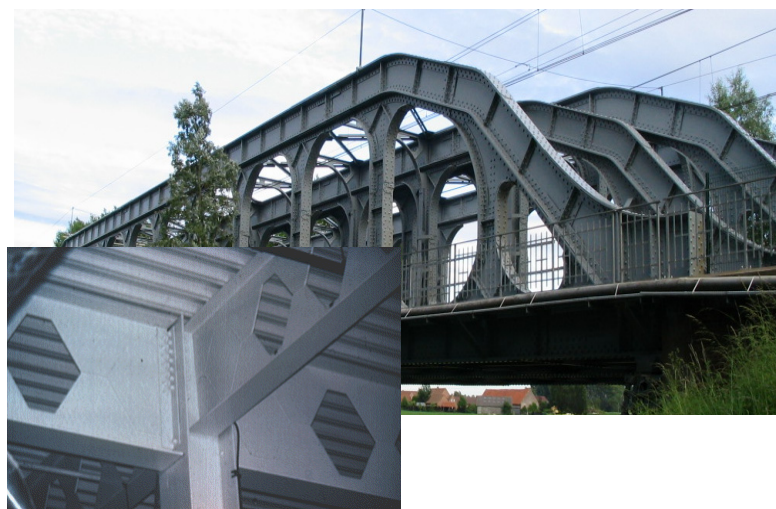
PALIČNI



POLNOSTENSKI



SATASTI IN VIERENDEEL

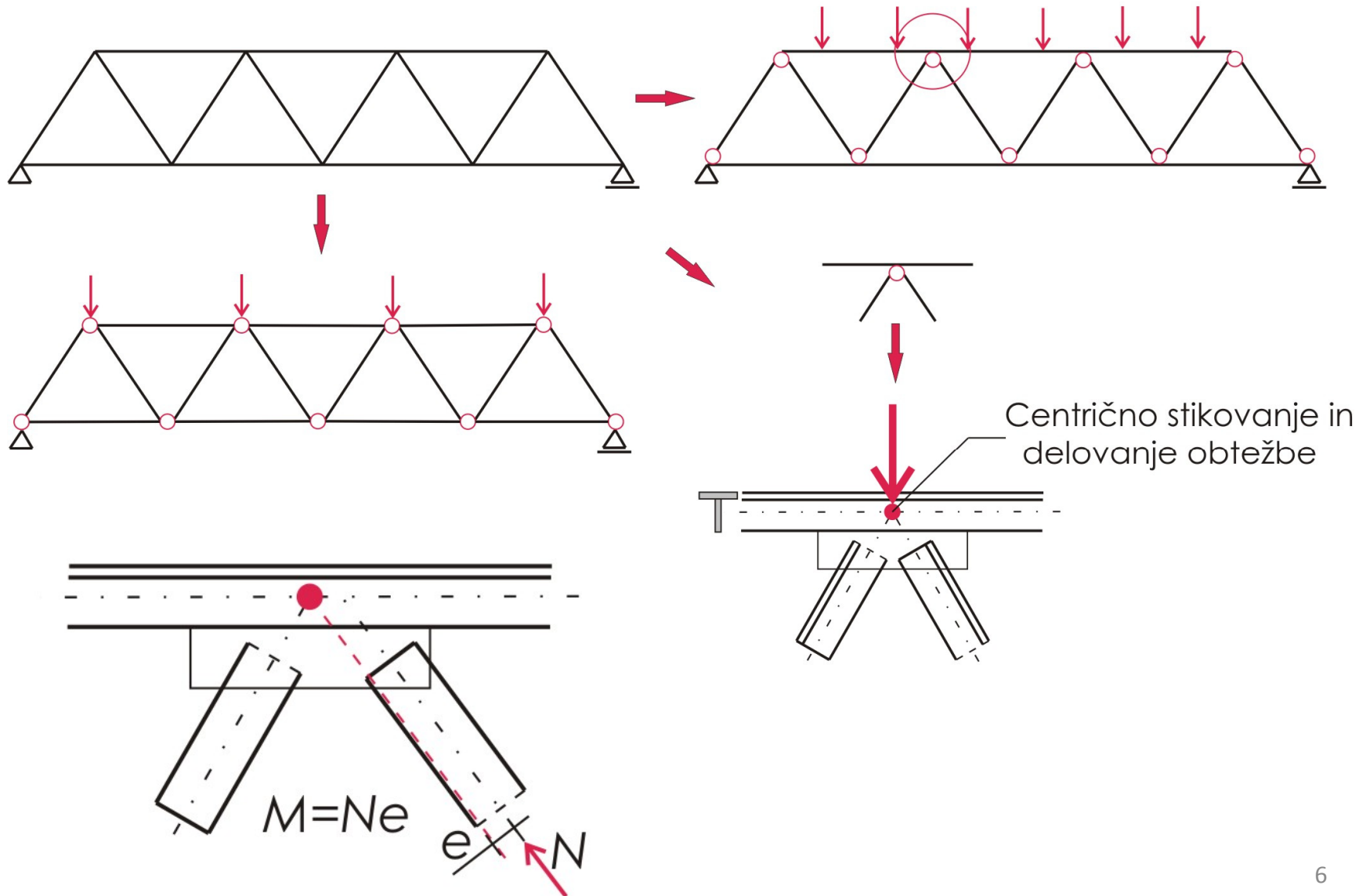


SOVPREŽNI



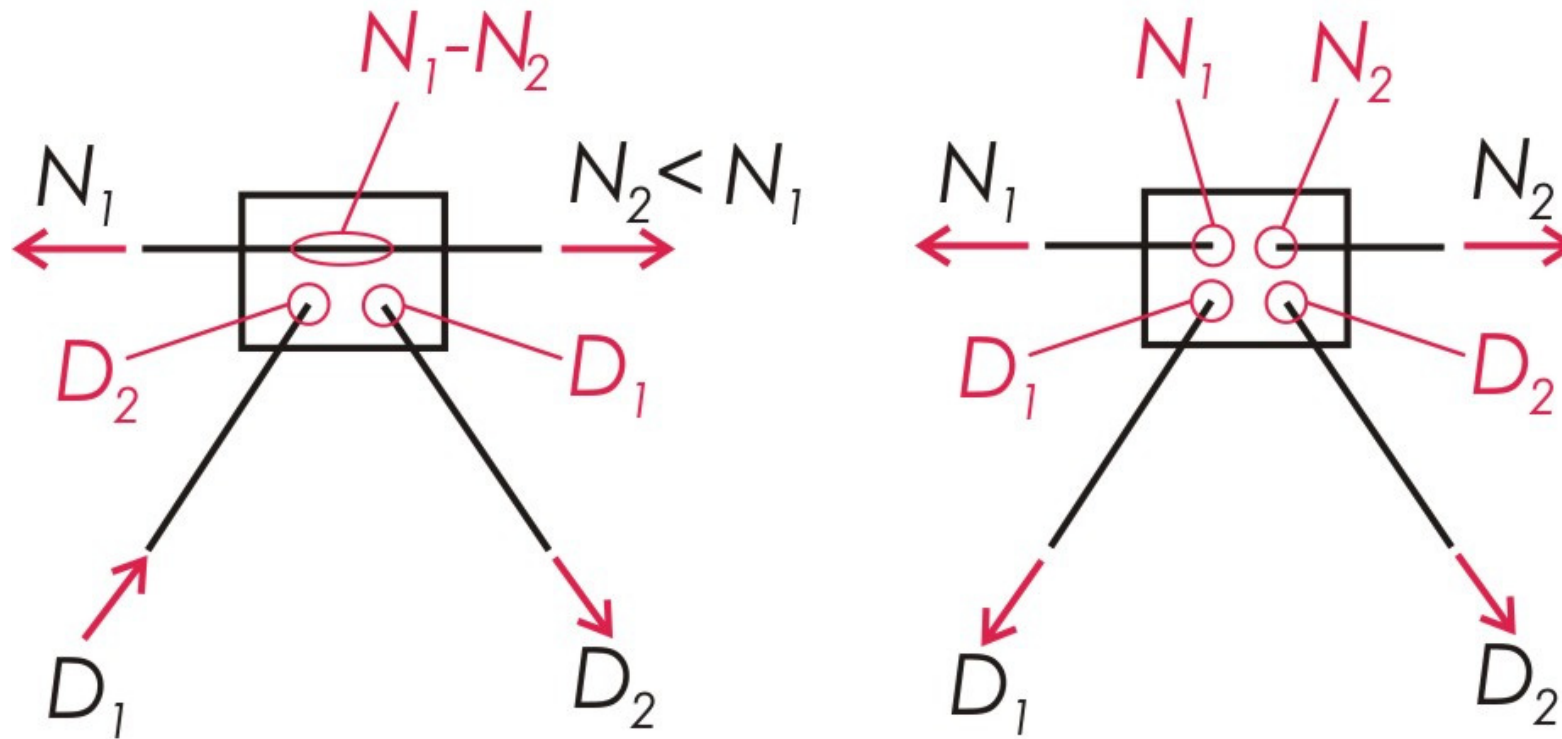
PALIČNI NOSILCI

OSNA SILA → tlačna ali natezna

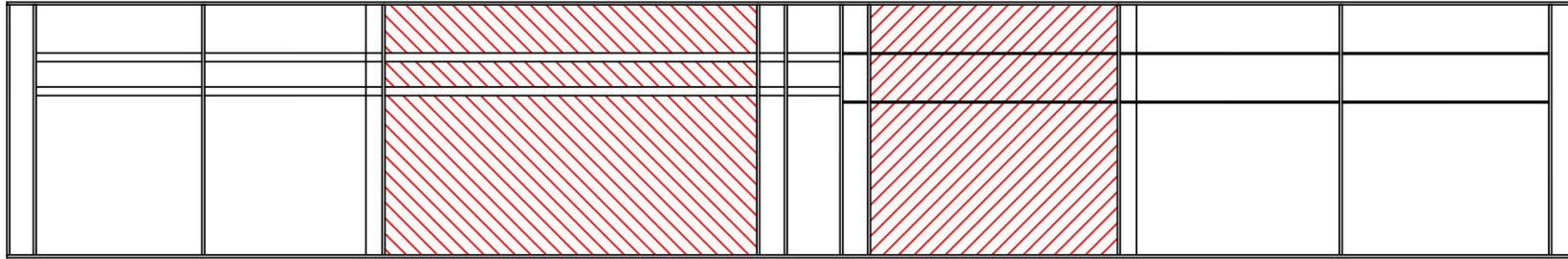


PALIČNI NOSILCI

dimenzioniranje stikov



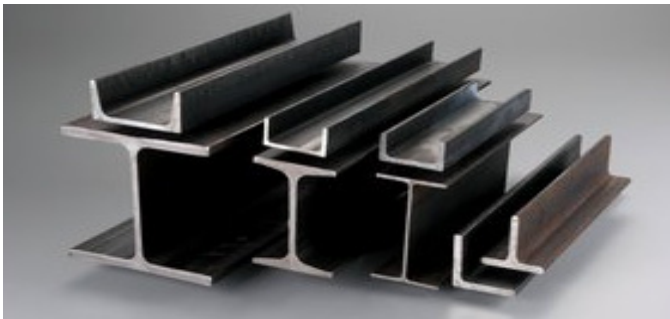
POLNOSTENSKI NOSILCI



VALJANI

Vroče valjani

Hladno valjani (HOP)

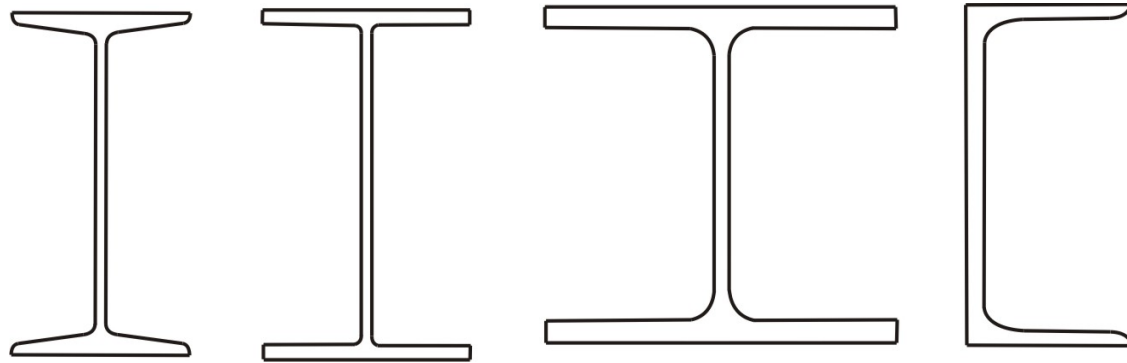


VARJENI

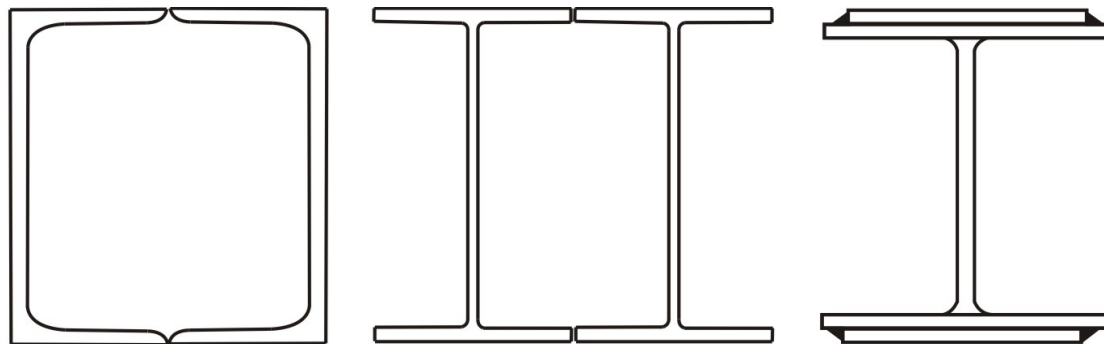


VROČE VALJANI NOSILCI

- Ni nevarnosti lokalnega izbočenja
- Zelo kompaktni
- Ne potrebujemo ojačitev
- Najpogosteje I profil – ugodna oblika



SESTAVLJENI PROFILI



HLADNO VALJANI NOSILCI (HOP)

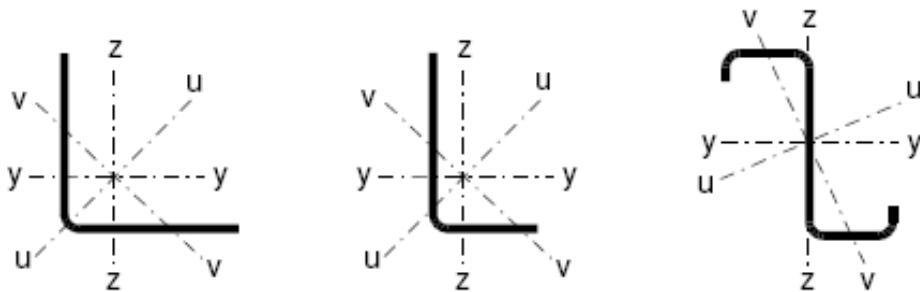
Lege



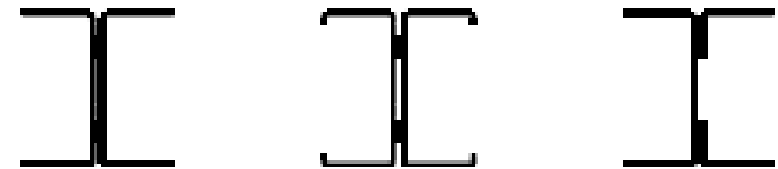
Sekundarni nosilci



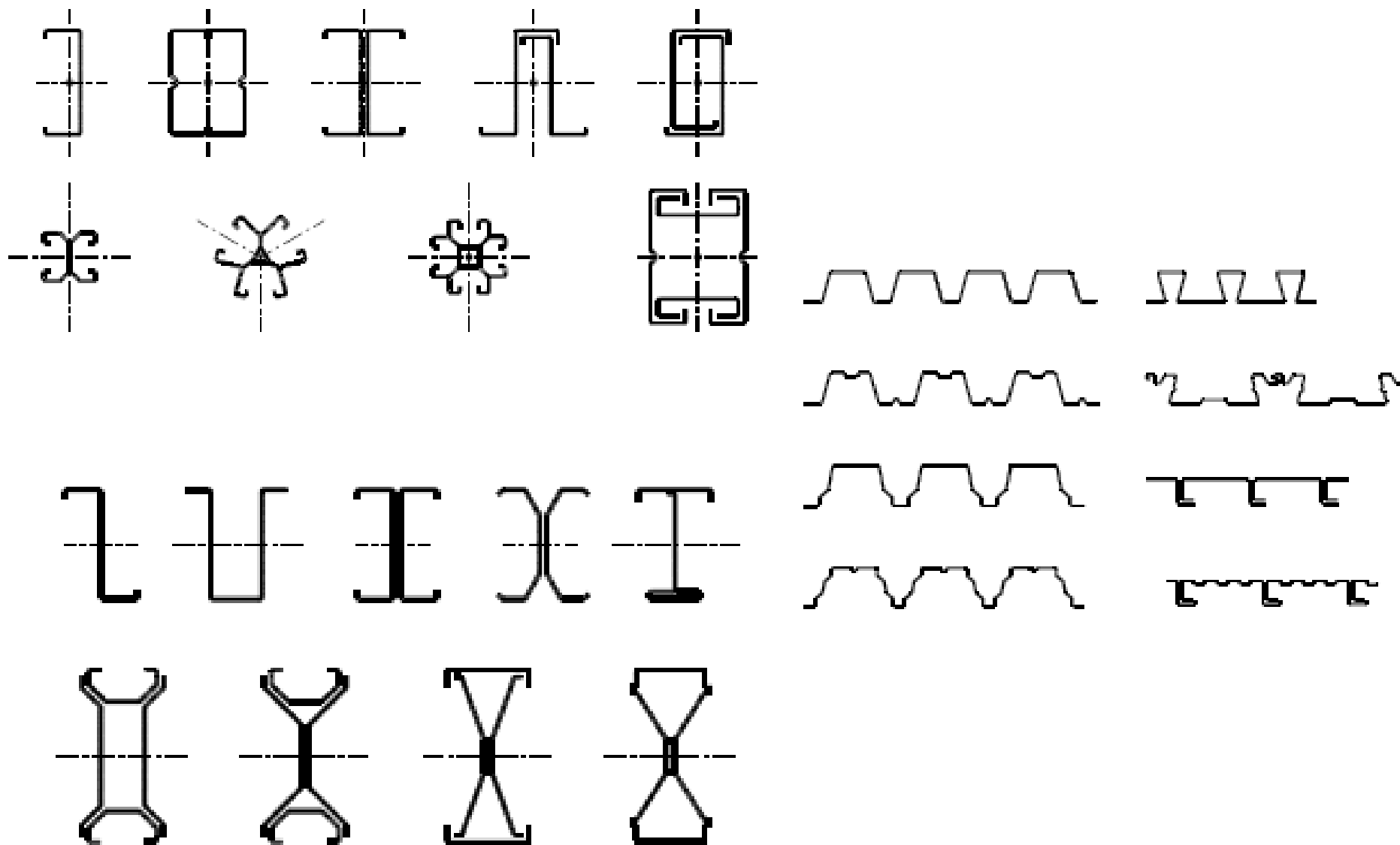
OSNOVNE OBLIKE



SESTAVLJENI PROFILI



HLADNO VALJANI NOSILCI (HOP)

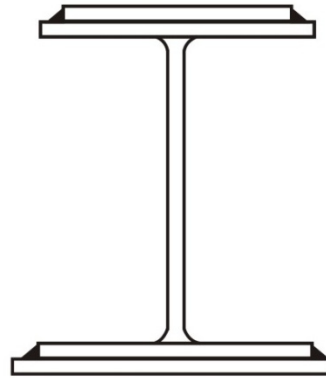
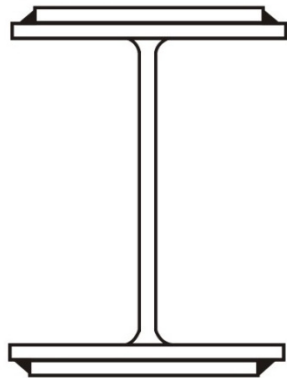


VALJANI PREREZI

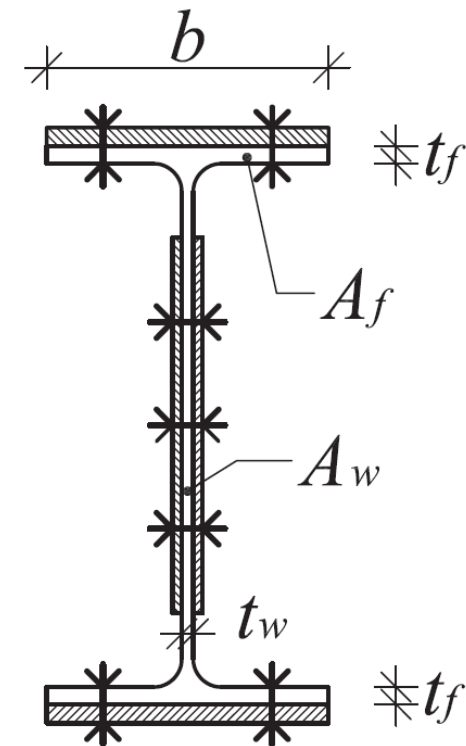
Imajo omejeno nosilnost, zato jih pogosto ojačamo z dodatnimi lamelami.

Privarjene lamele

VARJENJE V DELAVNICI VARJENJE NA GRADBIŠČU

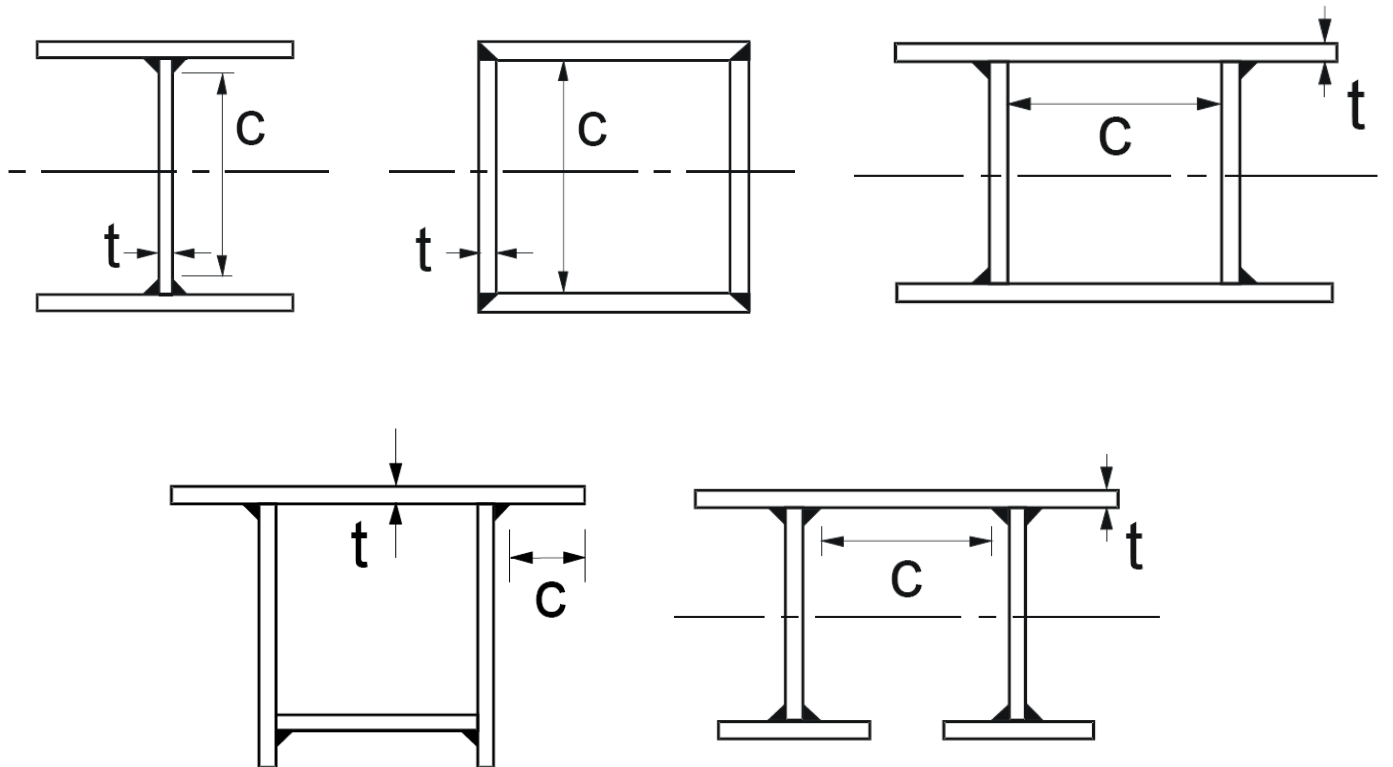


Prikovičene lamele



VARJENI NOSILCI

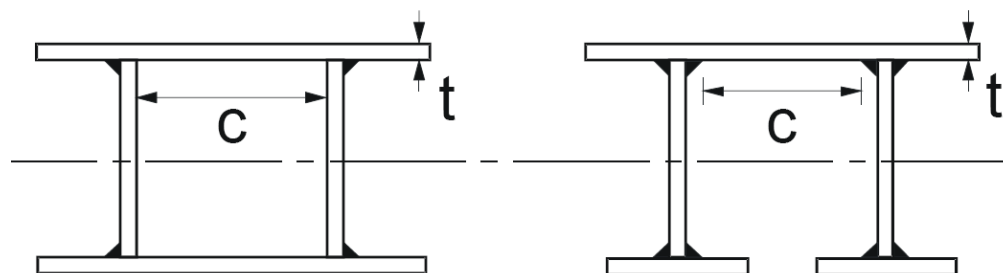
- Poljubno oblikovani
- Simetrični ali nesimetrični



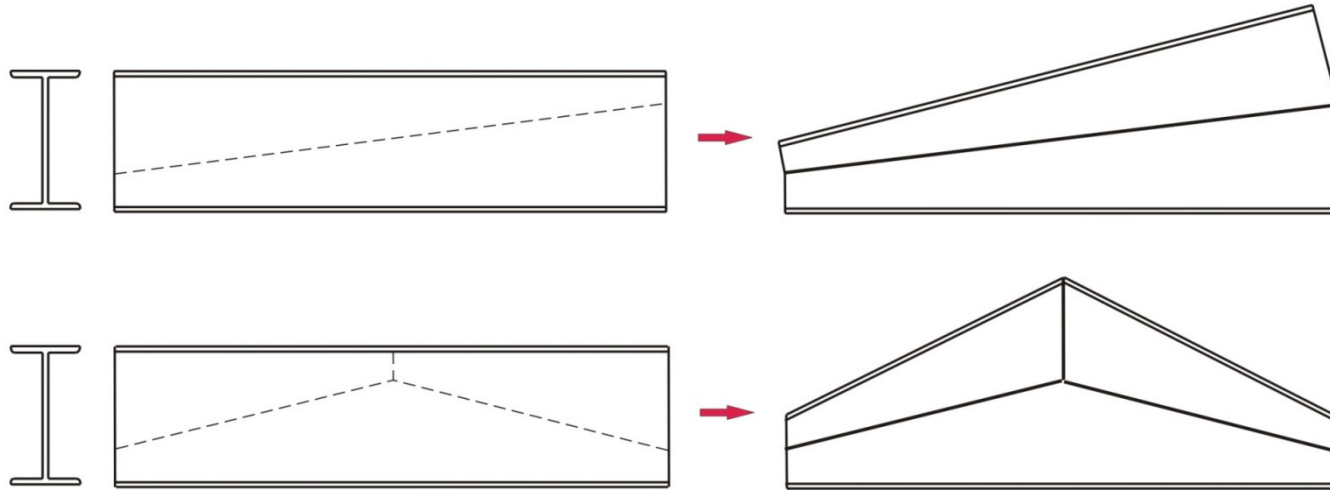
NOSILCI Z NEKONSTANTNO VIŠINO



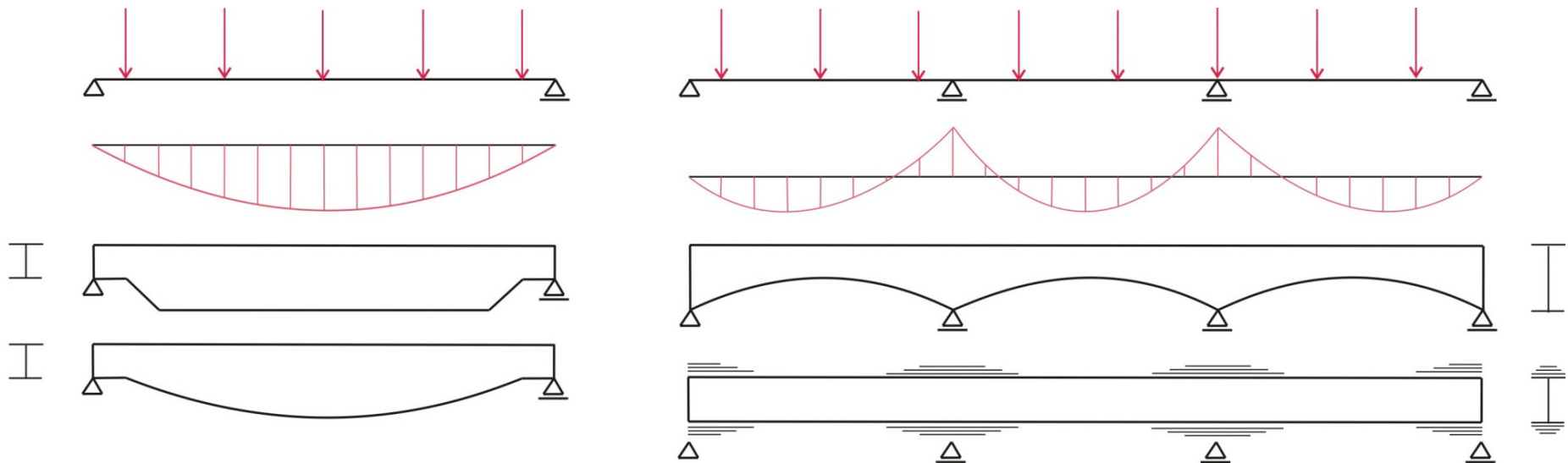
Za večje obremenitve uporabimo nosilce z več stenami.



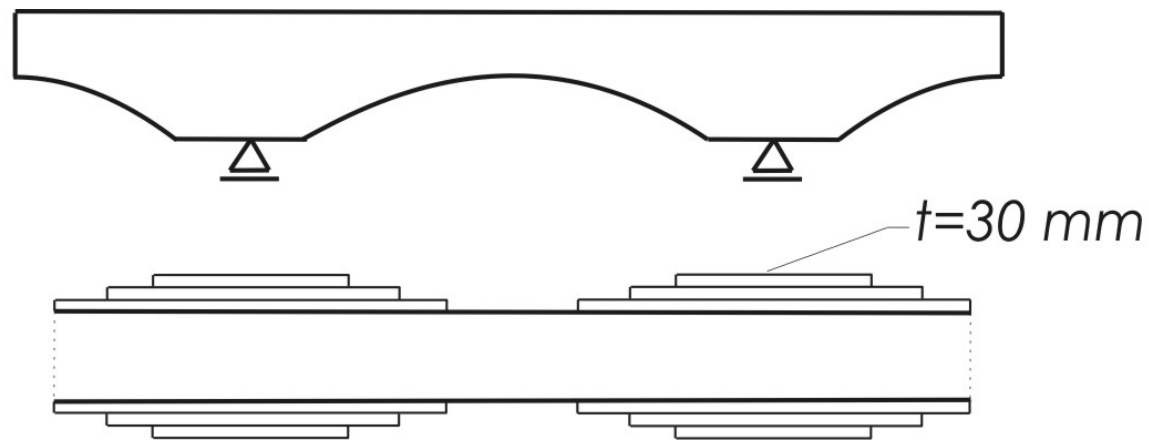
NOSILCI Z NEKONSTANTNO VIŠINO



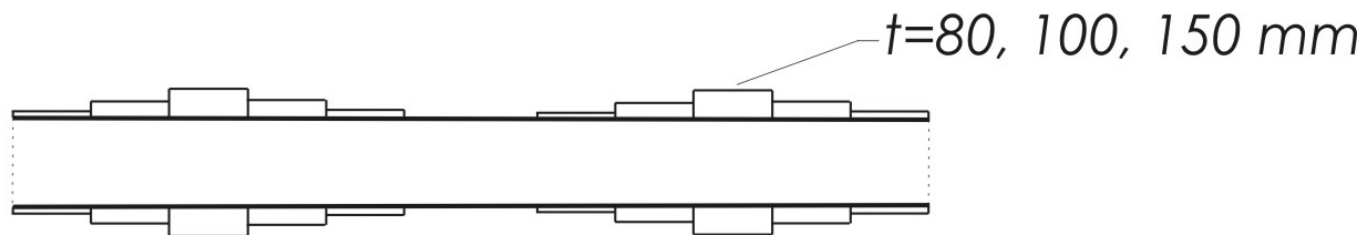
Tudi polnostenske nosilce izdelujemo z nekonstantno višino (prilagodimo se momentni liniji).



NOSILCI Z NEKONSTANTNO VIŠINO



VČASIH



DANES
moderen pristop

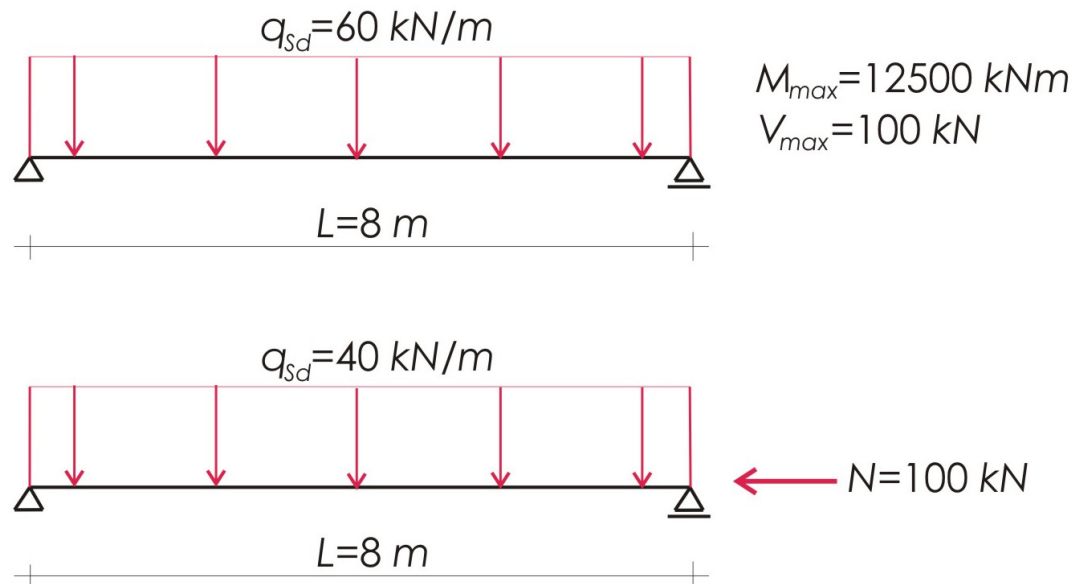
dobra duktilnost, žilavost, varivost

OBLIKOVANJE VARJENIH NOSILCEV

Prereze oblikujemo s pomočjo tabel za b/t in napotkov za višino nosilcev:

$$\left. \begin{array}{l} \text{PROSTOLEŽEČI: } h \approx \frac{L}{12} - \frac{L}{15} \\ \text{KONTINUIRNI: } h \approx \frac{L}{15} - \frac{L}{25} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{odvisno tudi od intenzitete} \\ \text{obtežbe} \end{array}$$

Primeri:



Kontrola nosilnosti polnostenskih nosilcev

- upogib (kompakni, vitki prerezi)
- strig (kompakni, vitki prerezi)
- interakcija M-V
- bočna zvrnitev
- vnos prečne sile
- dimenzioniranje ojačitev
- dimenzioniranje zvarov med pasnico in stojino

MEJNO STANJE UPORABNOSTI

- UPOGIBKI
- VIBRACIJE

KONTROLA NAPETOSTI NOSILEC

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_{ef}} \leq \sigma_{dop}$$

$$\tau_{\max} = \frac{V_{\max}}{A_s}$$

Neto presek

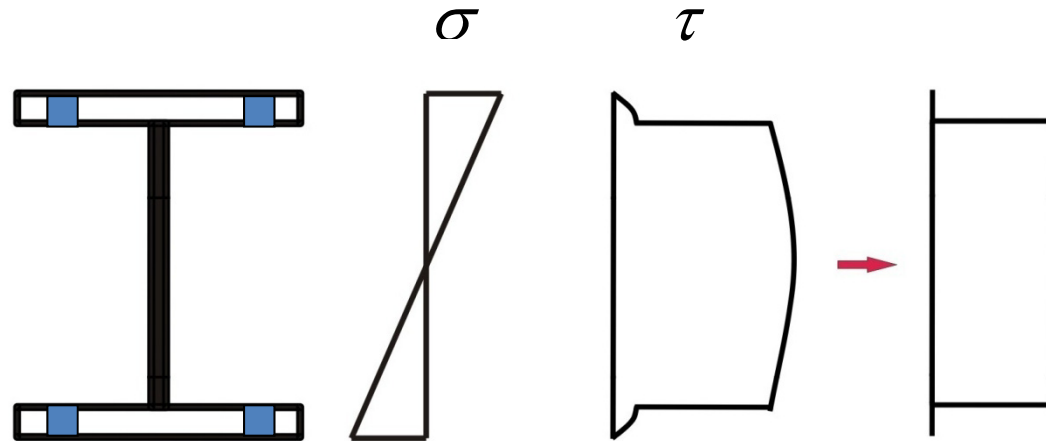
$$I_N = I_B - \Delta I$$

ΔI

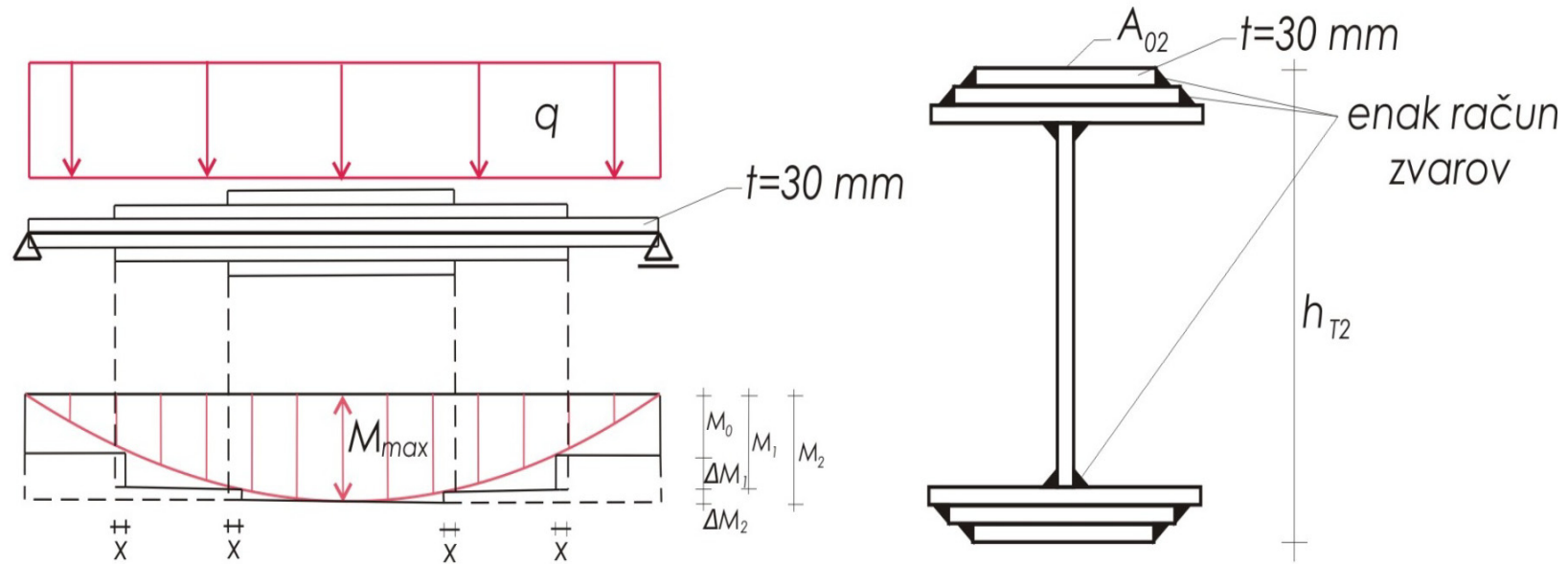


Spremembo težišča lahko zanemarimo!

Vztrajnostni moment lukenj glede na težišče neoslabljenega prereza



KONTROLA NAPETOSTI DODAJANJE OJAČITVENIH LAMEL



$$x \geq \frac{b}{2}$$

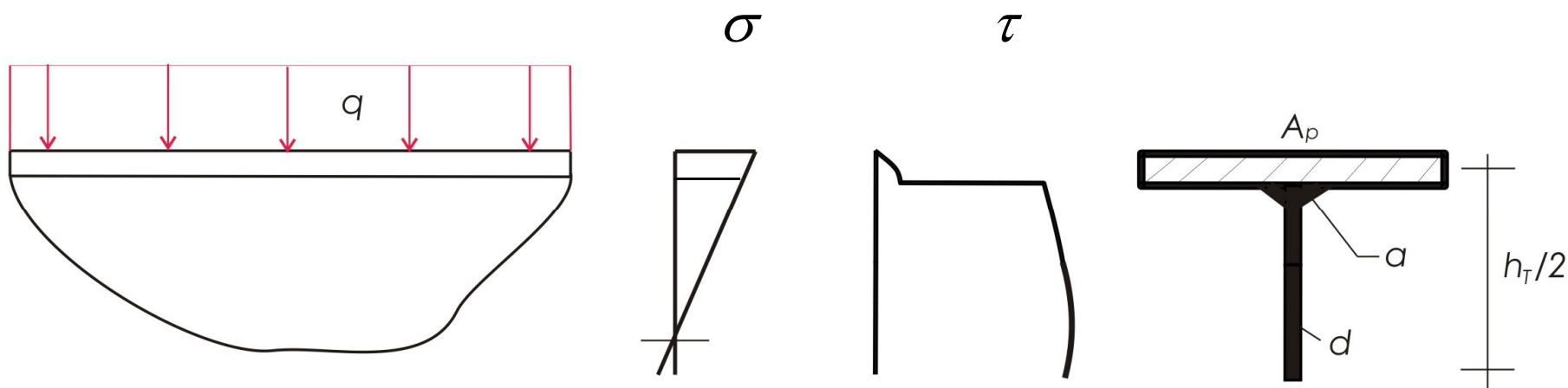
$$2ax\sigma_{z,dop} \geq F_{0i,max} = A_{0i}\sigma_{dop}$$

$$\Delta W_{0i} \approx A_{0i}h_{T2}$$

$$\Delta W_{0i} \geq \frac{\Delta M_i}{\sigma_{dop}}$$

$$A_{0i} \geq \frac{\Delta M_{0i}}{\sigma_{dop}h_{T2}}$$

KONTROLA NAPETOSTI ZVAR MED PASNICO IN STOJINO



$q \rightarrow v_{\perp}$ (redko velik q)

$\sigma \rightarrow \sigma_{z,\parallel}$ (enake napetosti v zvaru in osn. mat.)

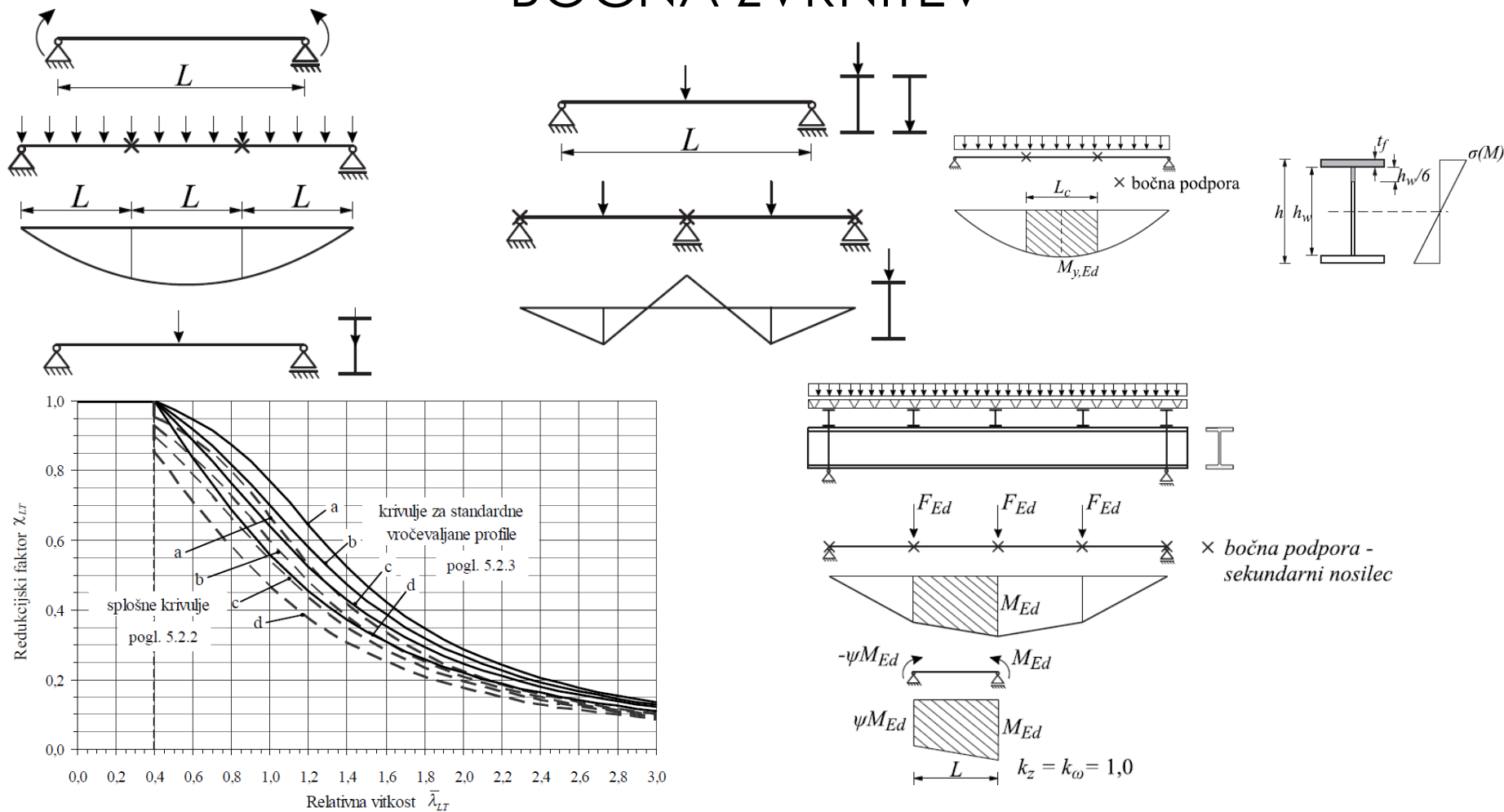
$$\tau \rightarrow v_{\parallel}$$

$$v_{\parallel} = \frac{VS}{2al} \leq \sigma_{z,dop}$$

$$S = A_p \frac{h_T}{2}$$

Zvar med pasnico in stojino prenaša kontinuirni strižni tok in zanj ne velja omejitev: $L_{z,max} = 150a$

KONTROLA STABILNOSTI BOČNA ZVRNITEV



Prezentacija: 11.0 BOČNA ZVRNITEV UPOGIBNIH NOSILCEV

Kontrola nosilnosti, metoda tlačene palice, obtežba na bočne podpore (izbočne sile)

KONTROLA STABILNOSTI

BOČNA ZVRNITEV – KONTROLA NOSILNOSTI

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$W_y = W_{pl,y}$ za 1. in 2. razred kompaktnosti
 $W_y = W_{el,y}$ za 3. razred kompaktnosti
 $W_y = W_{eff,y}$ za 4. razred kompaktnosti

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}}$$

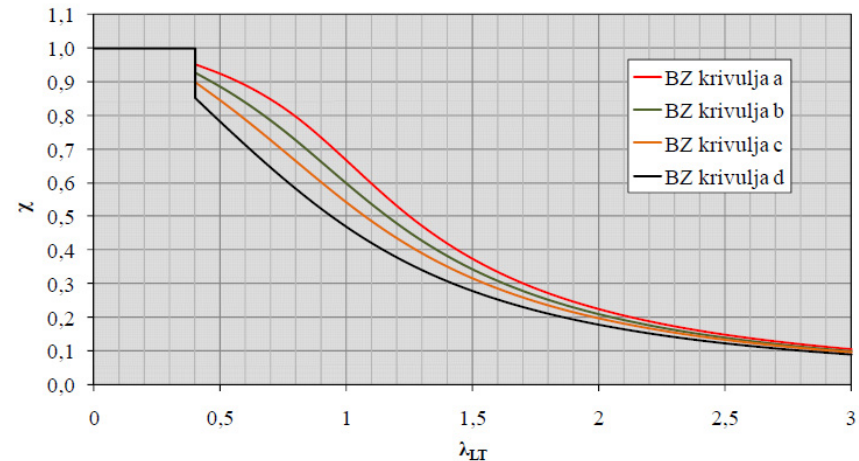
Ni nevarnosti bočne zvrnitve:

$$\bar{\lambda}_{LT} \leq \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}}, \text{ vendar } \chi_{LT} \leq 1,0$$

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

α_{LT} faktor nepopolnosti



KONTROLA STABILNOSTI

BOČNA ZVRNITEV – METODA TLAČENE PALICE

Ni nevarnosti bočne zvrnitve:

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

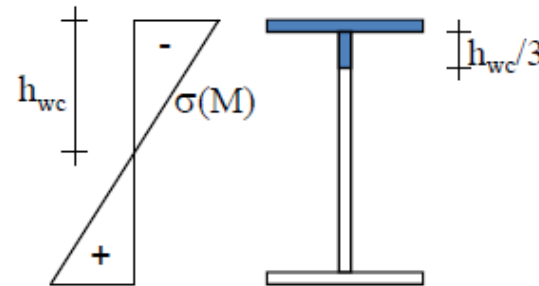
$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_f}{A_f + \frac{1}{6} A_w}}$$

$$M_{c,Rd} = W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$M_{y,Ed}$ največja projektna vrednost upogibnega momenta

L_c razdalja med bočnimi podporami

$$\bar{\lambda}_{c0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,5$$



$$M_{b,Rd} = 1,10 \chi M_{c,Rd}$$

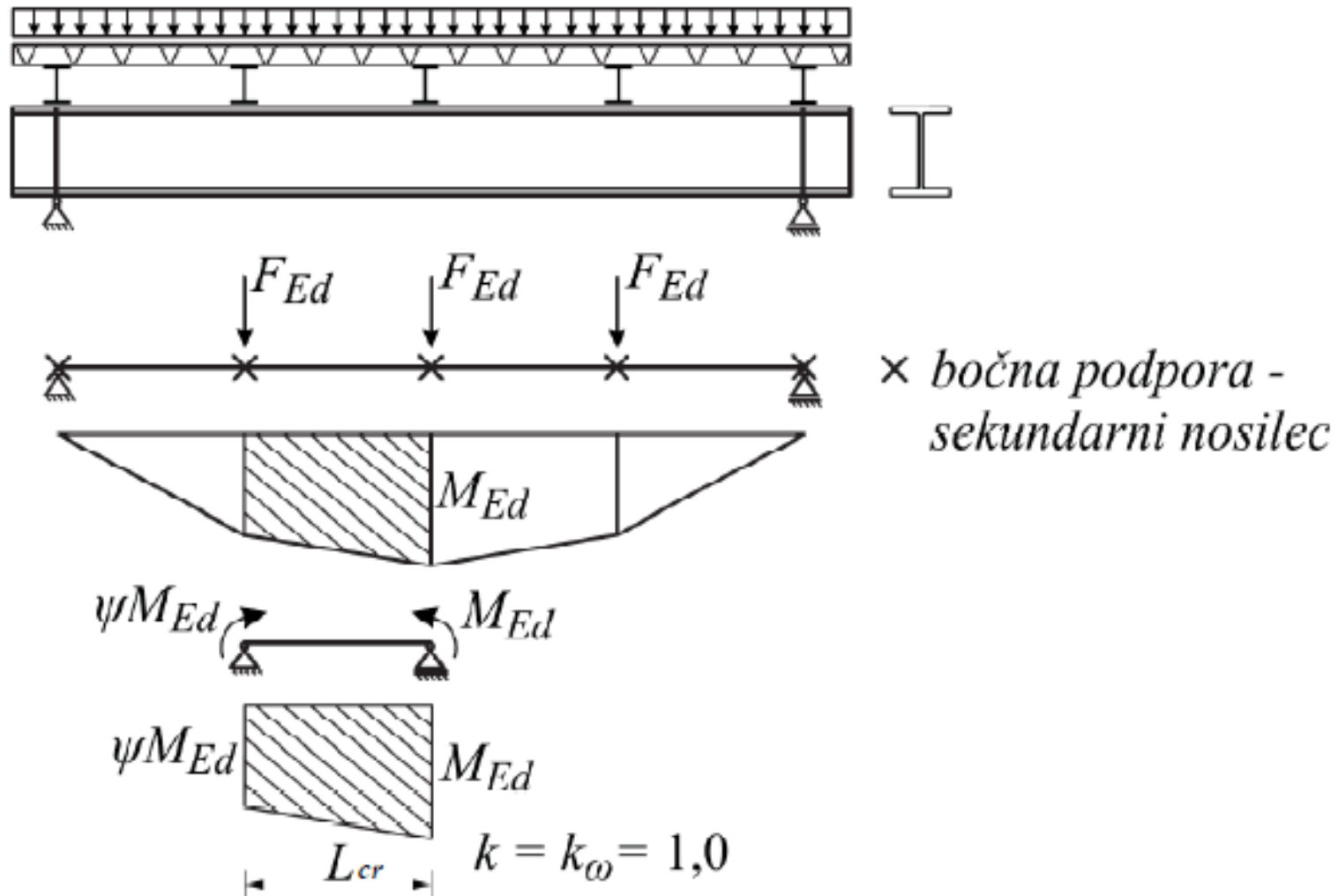
vendar $M_{b,Rd} \leq M_{c,Rd}$

Krivulja d: varjeni prerezi s $h/t_f \leq 44\epsilon$

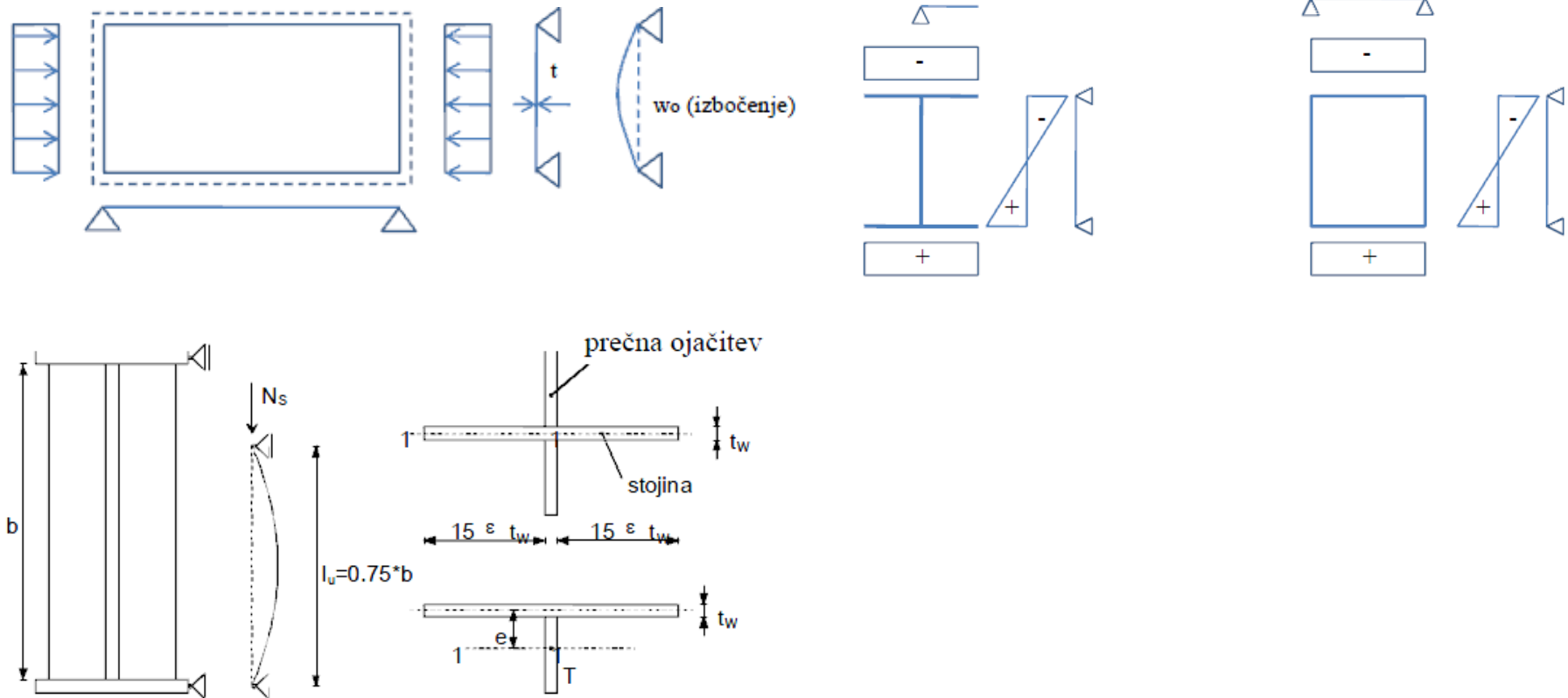
Krivulja c: ostali prerezi

KONTROLA STABILNOSTI

BOČNA ZVRNITEV – OBTEŽBA NA BOČNE PODPORE



KONTROLA LOKALNEGA IZBOČENJA

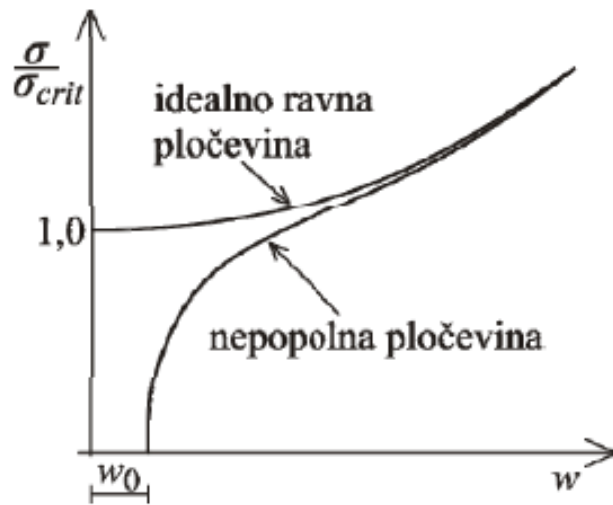
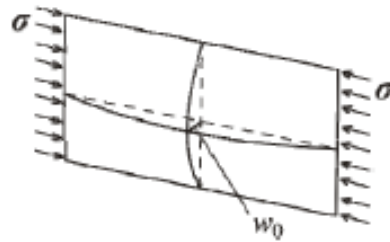


Prezentacija: **8.0 PREČNI PREREZI**

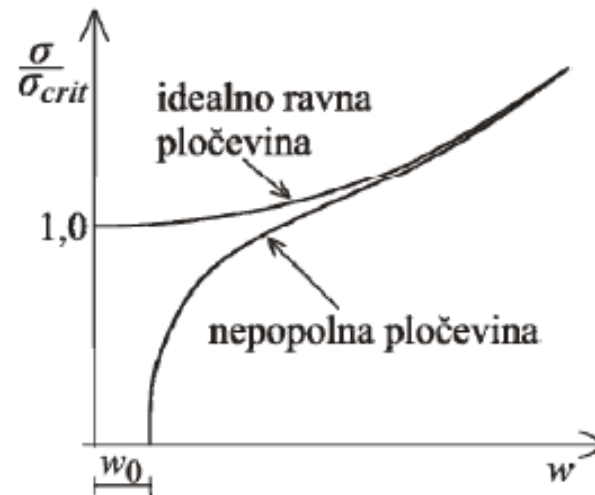
Vpliv geometrijskih nepopolnosti, pojem sodelujoče širine, ojačitvena rebra

KONTROLA STABILNOSTI

LOKALNO IZBOČENJE VITKIH PROFILOV – GEOMETRIJSKE NEPOPOLNOSTI



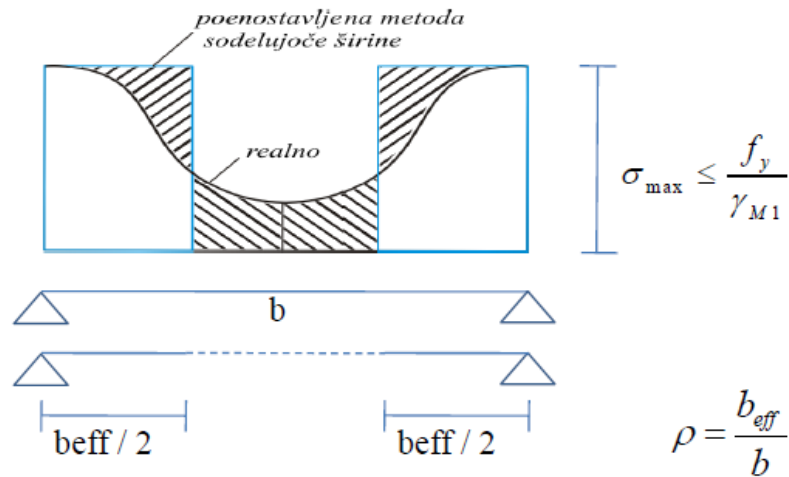
Elastični odziv vitkih pločevin



Elasto-plastični odziv pločevin

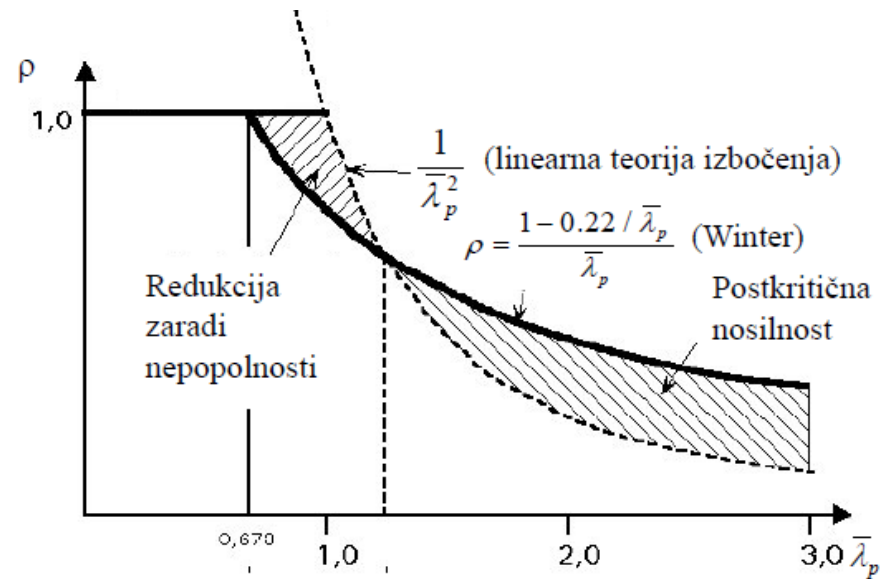
KONTROLA STABILNOSTI

LOKALNO IZBOČENJE VITKIH PROFILOV – SODELUJOČA ŠIRINA



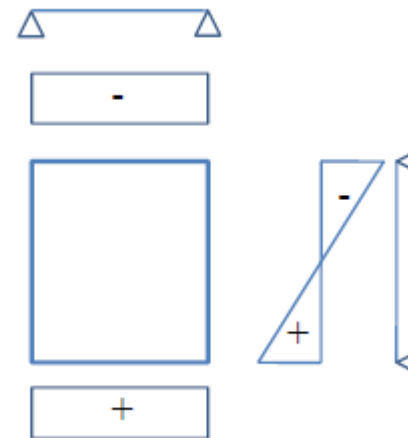
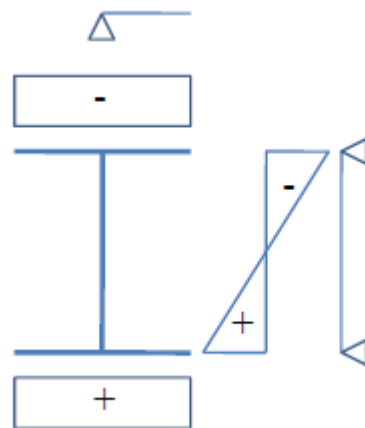
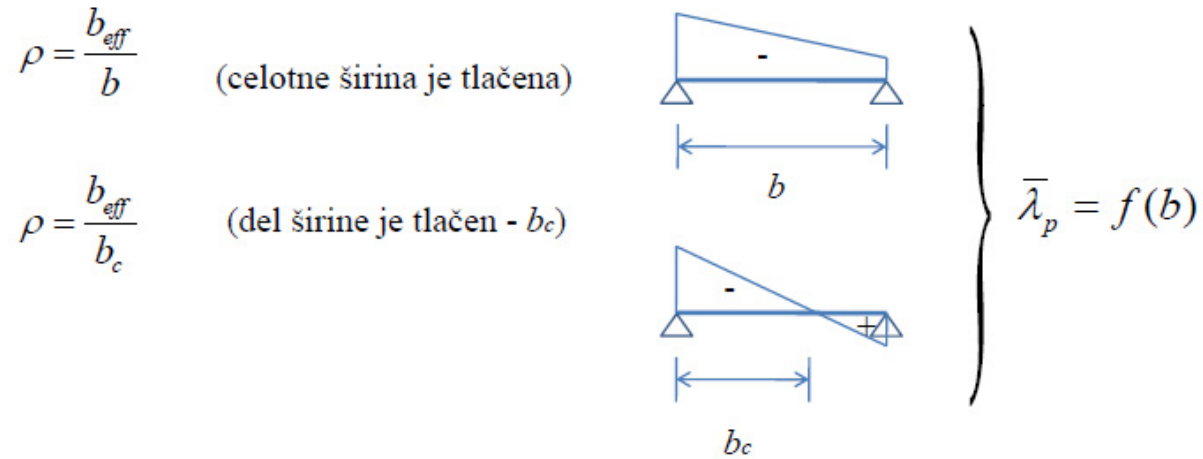
pri $\bar{\lambda} \leq 0.673$ $\rho = 1.0$

pri $\bar{\lambda} > 0.673$ $\rho = \frac{1}{\bar{\lambda}_p} \left(1 - \frac{0.22}{\bar{\lambda}_p} \right)$



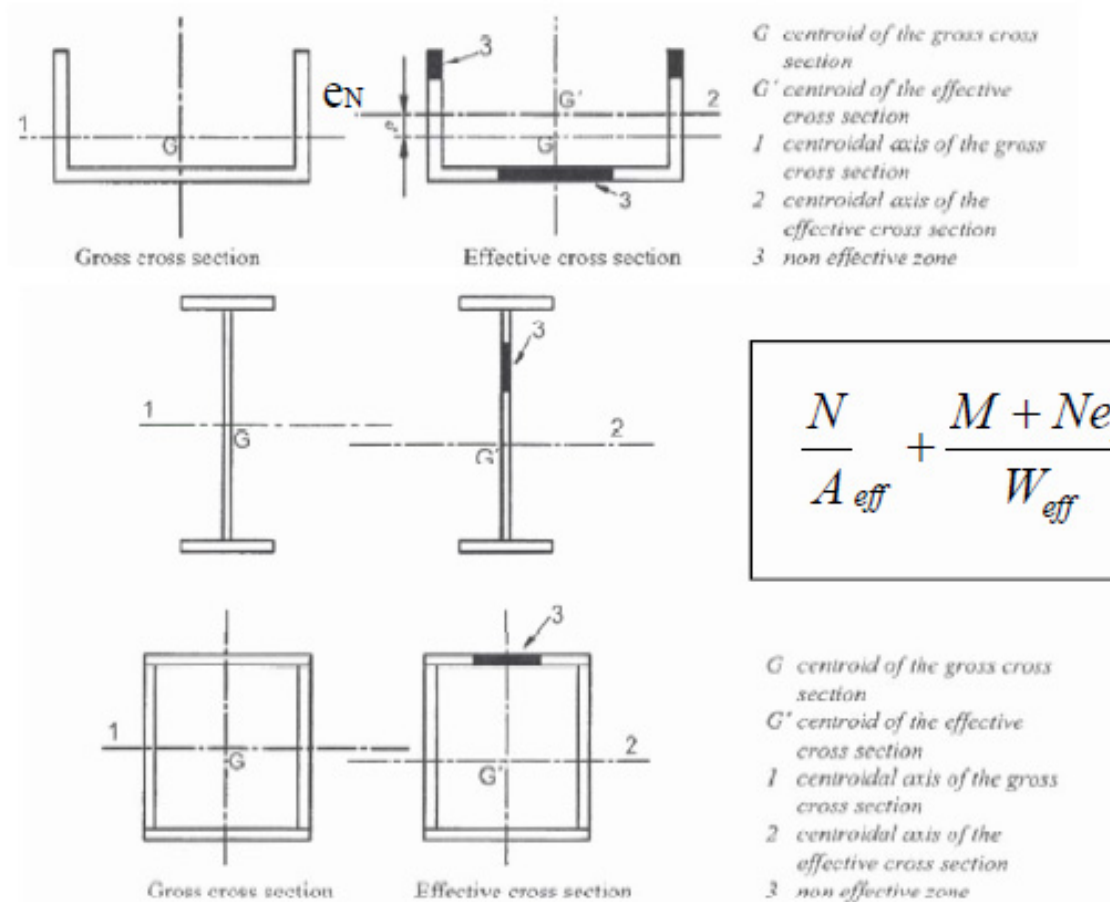
KONTROLA STABILNOSTI

LOKALNO IZBOČENJE VITKIH PROFILOV – SODELUJOČA ŠIRINA



KONTROLA STABILNOSTI

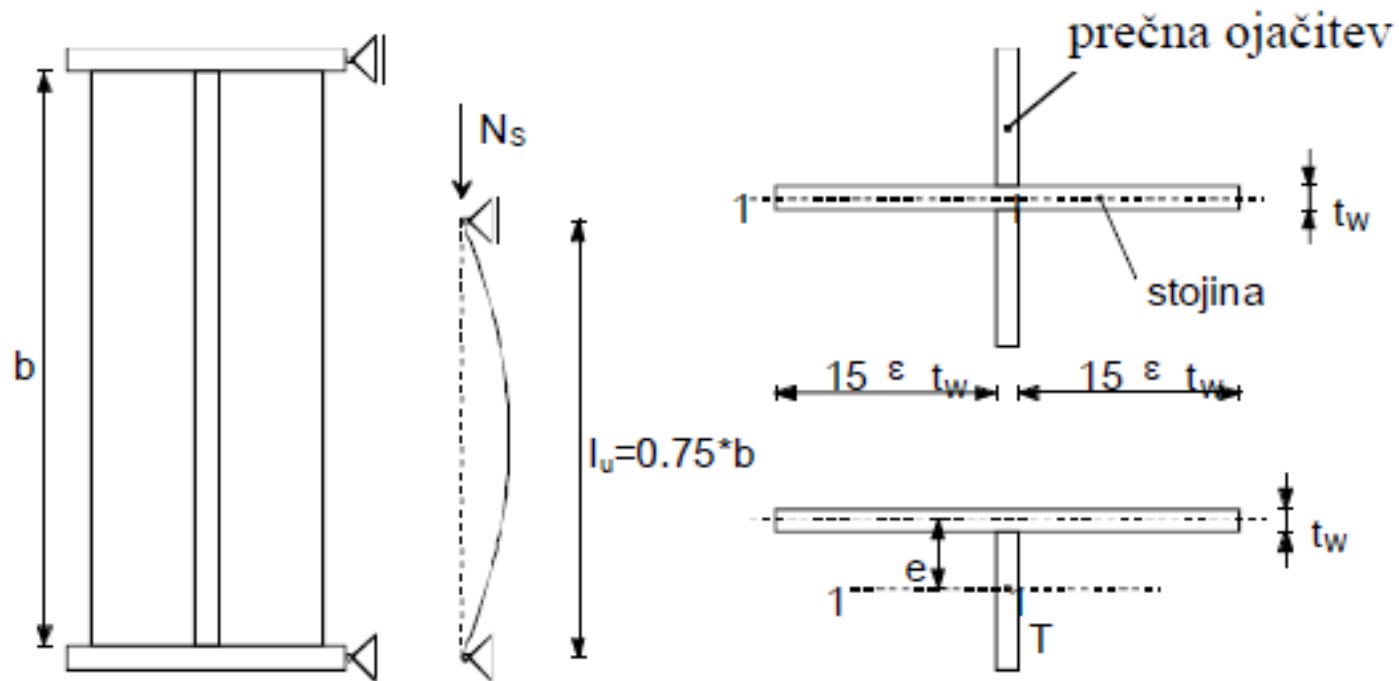
LOKALNO IZBOČENJE VITKIH PROFILOV – SODELUJOČA ŠIRINA



4. razred kompaktnosti

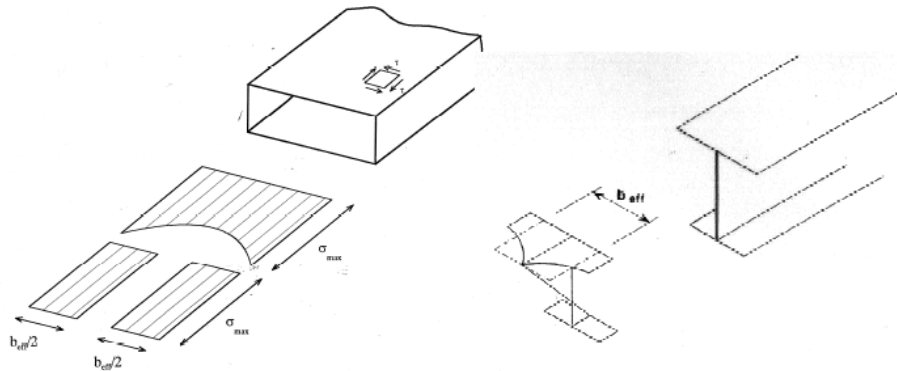
KONTROLA STABILNOSTI

LOKALNO IZBOČENJE VITKIH PROFILOV – OJAČITVENA REBRA



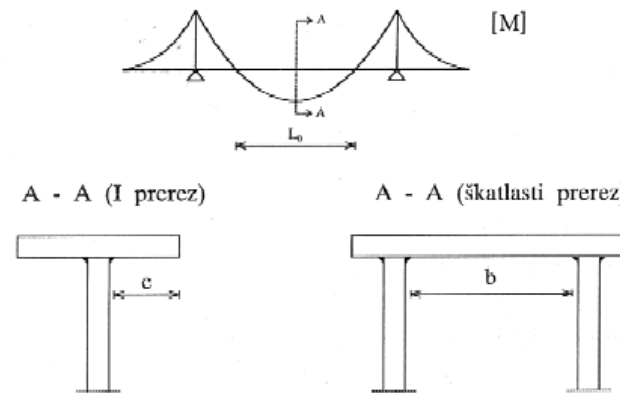
uklonska krivulja c, uklon okoli osi 1-1

SHEAR LAG EFEKT



Pri širokih pasnicah se zaradi strižne podajnosti pojavi neenakomeren razpored napetosti (shear lag). Upoštevamo ga lahko z metodo sodelujoče širine – v tlaku in nategu.

Strižno podajnost pri stavbah upoštevamo le izjemoma. Pri standardnih vroče valjanih in podobnih varjenih profilih ga zanemarimo, pri ostalih profilih pa, če je izpolnjen pogoj:

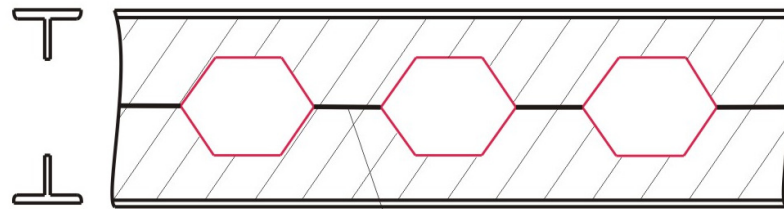
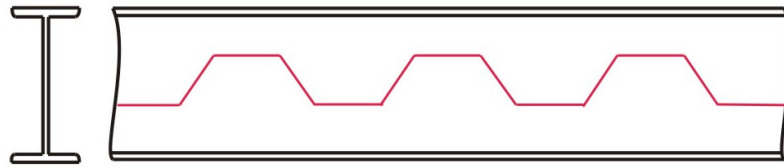


previsni elementi $c \leq L_0/20$
notranji element $b \leq L_0/10$

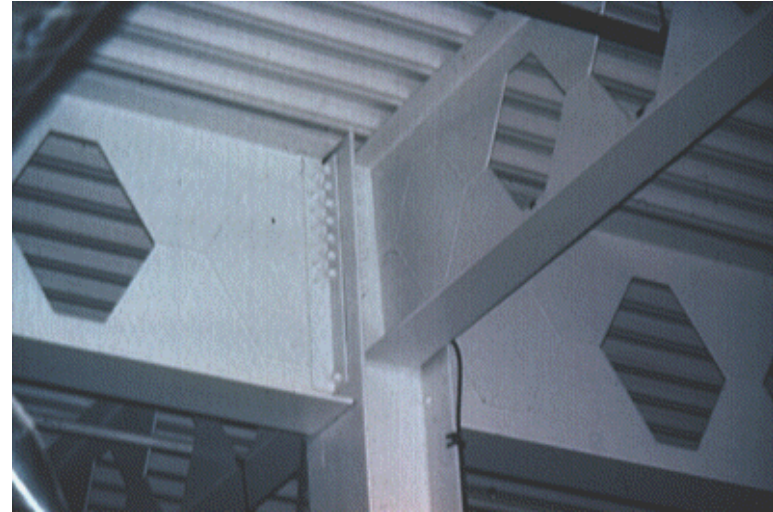
Točnejši izračun – glej SIST EN 1993-1-5

SATASTI IN VIERENDEEL NOSILCI

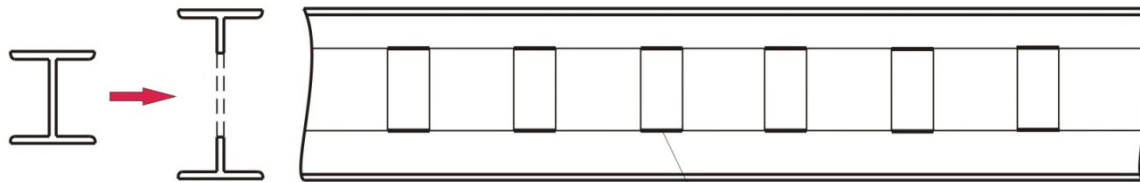
SATASTI NOSILCI



Zvar



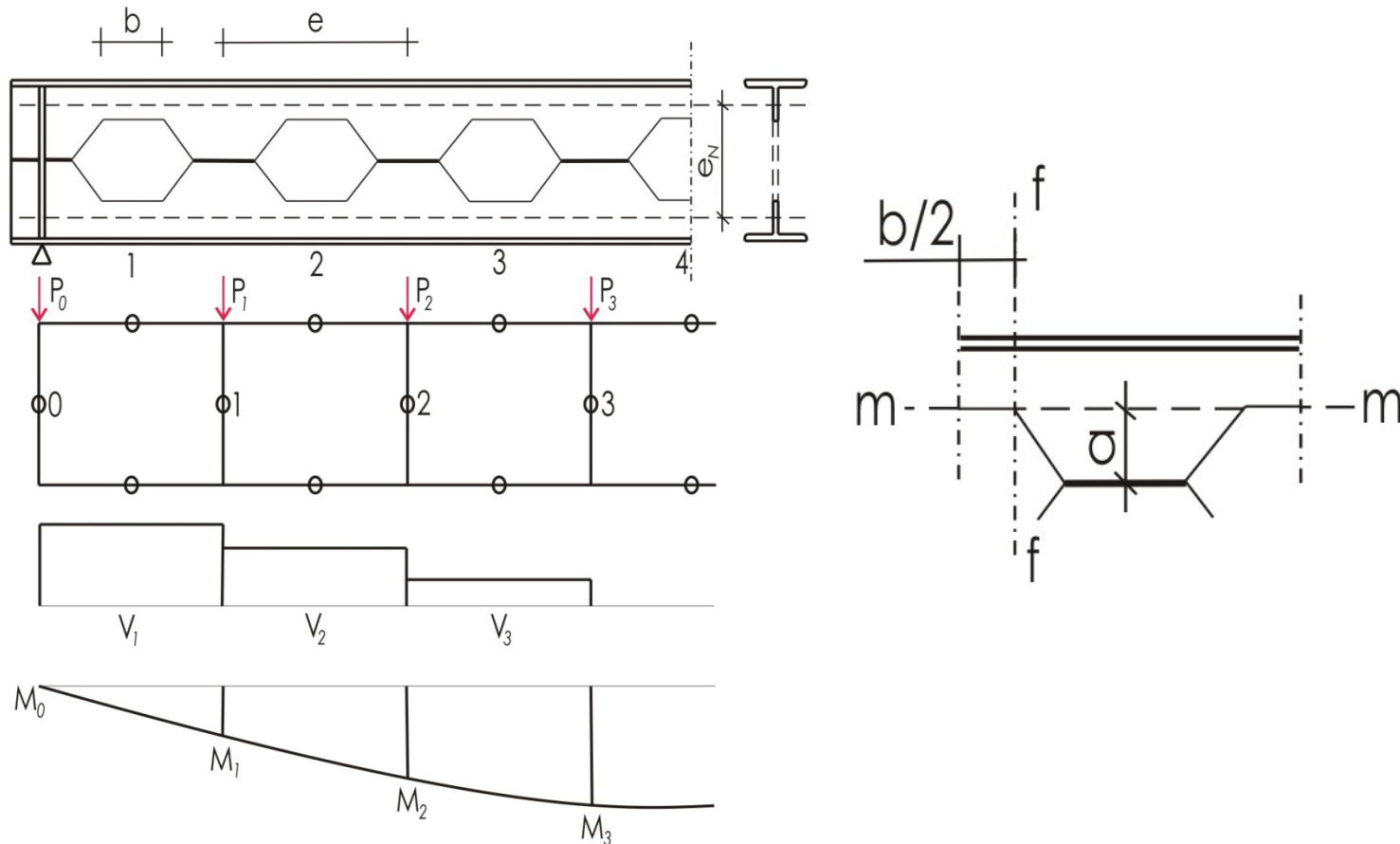
VIERENDEEL NOSILCI



Zvar

SATASTI IN VIERENDEEL NOSILCI

- Primerni predvsem kot stropni nosilci (omogočajo nemoten prehod instalacij skozi njihove odprtine)
- Notranje statično nedoločeni (natančen račun mogoč z uporabo računalnika – okvirji) → približen račun – predpostavimo členke v sredini dolžine pasov in vertikal



SATASTI IN VIERENDEEL NOSILCI

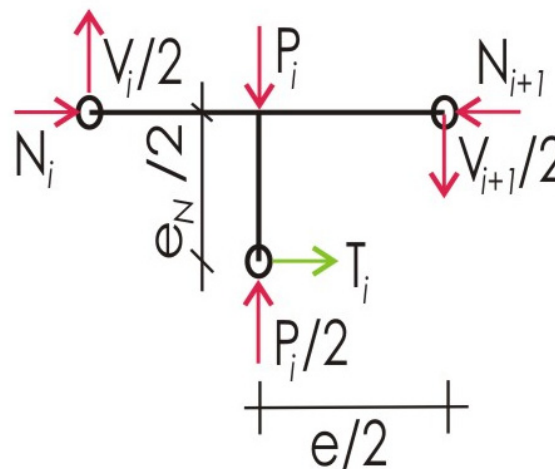
Vso obtežbo nadomestimo s koncentriranimi silami na mestih vertikal in zanje določimo potek upogibnih momentov in prečnih sil (prečno silo V_i razdelimo na polovico \rightarrow zgornji + spodnji pas). T_i dobimo iz ravnotežnega pogoja:

$$T_i \cdot \frac{e_N}{2} = \frac{V_i}{2} \cdot \frac{e}{2} + \frac{V_{i+1}}{2} \cdot \frac{e}{2} = \frac{e}{4} \cdot (V_i + V_{i+1}) \Rightarrow T_i = \frac{(V_i + V_{i+1}) \cdot e}{2 \cdot e_N}$$

Osne sile N_i dobimo, če moment na mestu členka v pasu delimo z višino e_N (simetrija \rightarrow samo zgornji pas):

$$N_i = -\frac{M_{i-1} + M_i}{2 \cdot e_N}$$

$$N_{i+1} = -\frac{M_i + M_{i+1}}{2 \cdot e_N}$$



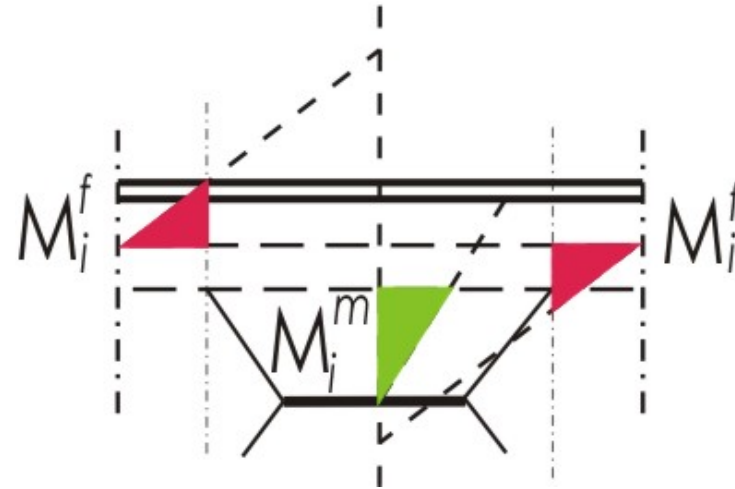
SATASTI IN VIERENDEEL NOSILCI

Prečne sile V_i povzročajo v pasovih momente
(prerez f-f):

$$M_i^f = \frac{V_i}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{V_i \cdot b}{4}$$

Prečna sila T_i pa v vertikalni moment
(prerez m-m):

$$M_i^m = T_i \cdot a$$



Pas i kontroliramo v prerezu f-f:

$$\sigma_i^f = \frac{N_i}{A_p} + \frac{M_i^f}{W_p}$$

$$\tau_i^f = \frac{V_i}{2 \cdot A_s}$$

$$\sigma_{i,v}^f = \sqrt{\sigma_i^{f^2} + 3 \cdot \tau_i^{f^2}} \leq \sigma_{dop}$$

Vertikalno i pa v prerezu m-m:

$$\sigma_i^m = \frac{P_i}{2 \cdot A_m} + \frac{M_i^m}{W_m}$$

$$\tau_i^m = \frac{T_i}{A_m}$$

$$\sigma_{i,v}^m = \sqrt{\sigma_i^{m^2} + 3 \cdot \tau_i^{m^2}} \leq \sigma_{dop}$$

SATASTI IN VIERENDEEL NOSILCI

Račun upogibkov (upoštevamo vse obremenitve palic nosilca → virtualno delo):

$$\delta = \int \frac{MM^v}{EI} dx + \int \frac{NN^v}{EA} dx + \int \kappa \frac{VV^v}{GA} dx$$

$$\kappa = \frac{A_p}{A_s} \text{ (pasovi)}$$

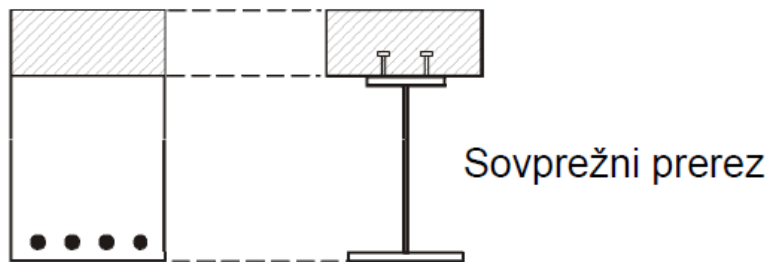
$$\kappa = 1.0 \text{ (vertikale)}$$

Če so napetosti v prerezih f-f in m-m večje od dopustnih, običajno odprtino ojačamo.

SOVPREŽNI NOSILCI

BETONSKA PLOŠČA → TLAK
 JEKLENI NOSILEC → NATEG

	brez strižne povezave	delna strižna povezava	polna strižna povezava



A.B.

