

Drugi sklop

Drugi del

- **Kontrola zvarov** v polnostenskem varjenem nosilcu žerjavne proge
- Lokalne napetosti zaradi kolesnega pritiska

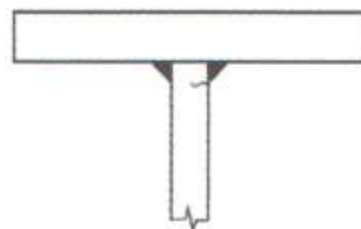
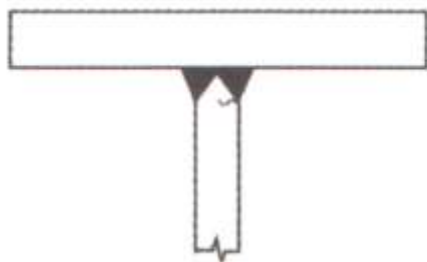
KONTROLA GLOBALNIH NAPETOSTI

Varjeni polnostenski nosilec
Prečni prerez je I

Globalne napetosti

**Globalne napetosti izračunamo iz
notranjih veličin dobljenimi iz
ravnotežja na nosilcu**

Kontrola napetosti v zvaru I prereza polnostenskega varjenega nosilca za dve izvedbi zvara: K zvar, kotni zvar



Možne izvedbe kotnih zvarov



**Prenos sile samo
preko zvarov**

**Prenos sile preko
kontakta in zvarov**

Izračun globalnih napetosti

Ravnotežje na nosilcu

Notranje veličine in prečni prerez

Varjeni polnostenski I prerez- podoben

HEB 300

Podatki (projektne vrednosti):

$$N=0$$

$$V_y = -11.52 \text{ kN}$$

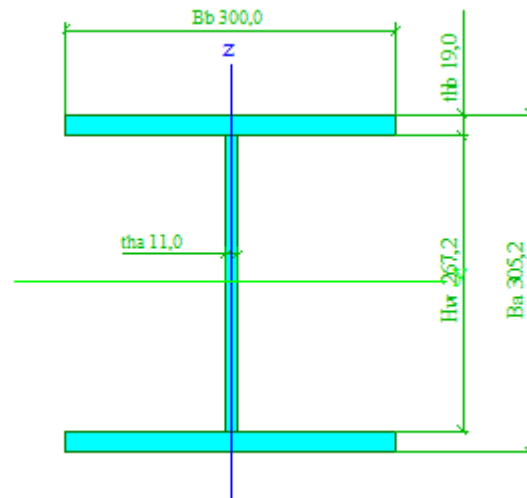
$$V_z = -49.68 \text{ kN}$$

$$M_x = -3.33 \text{ kNm}$$

$$M_y = 163.35 \text{ kNm}$$

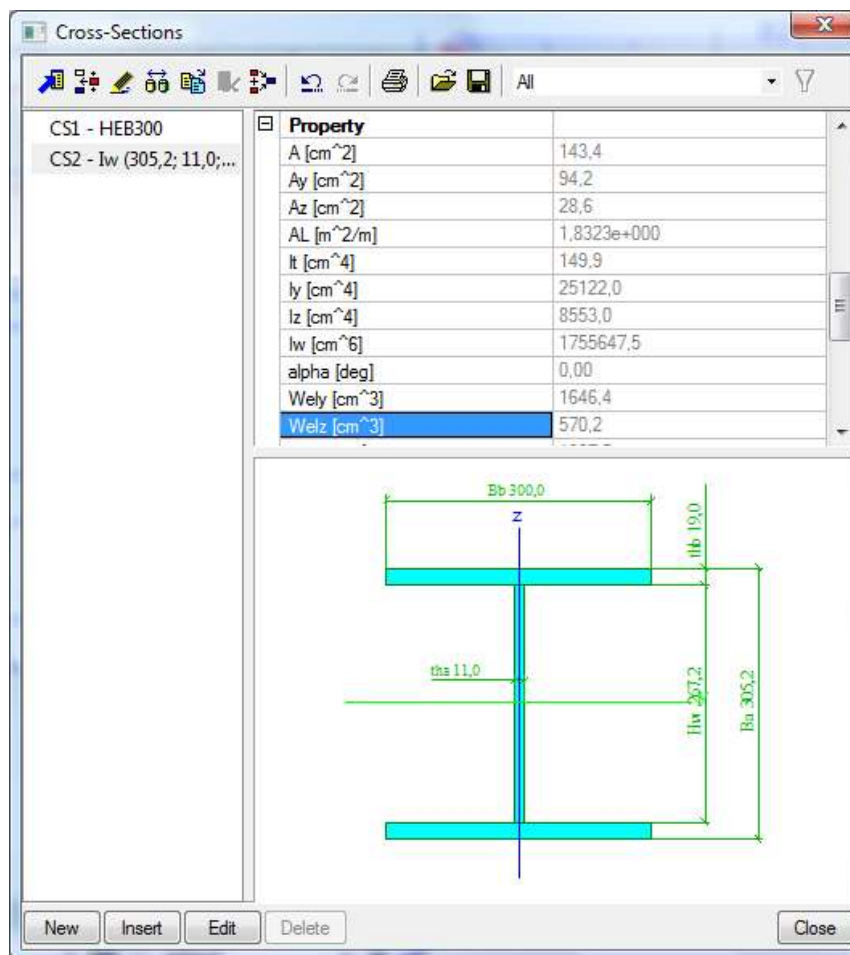
$$M_z = -12.41 \text{ kNm}$$

Mejna napetost: $f_y = 235 \text{ MPa}$

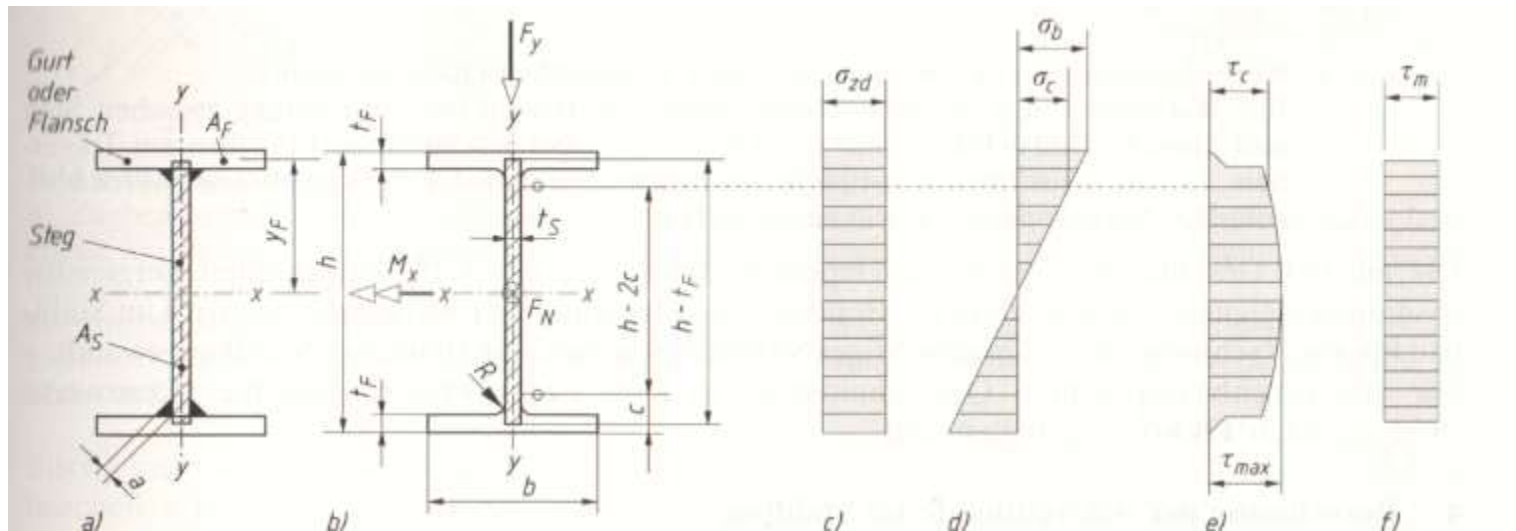


Varjeni polnostenski I prerez-
podoben HEB 300

Izračun statičnih vrednosti varjenega prereza. Prerez ima enake vrednosti kot valjani HEB 300. Zato je 5.2 mm višji.



SPLOŠNO v elastičnem področju; ne prekoračimo meje tečenja



Kontrolirali smo napetosti v kritični točki. Poznati moramo porazdelitev posameznih napetosti

Izračun največjih normalnih napetosti, upogiba M_y in M_z

Podatki (projektne vrednosti):

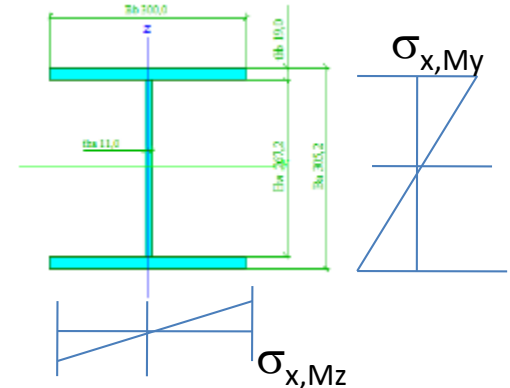
$$M_y = 163.35 \text{ kNm}$$

$$M_z = -12.41 \text{ kNm}$$

Podatki:

$$W_y = 1646.4 \text{ cm}_3$$

$$W_z = 570.2 \text{ cm}_3$$



$$\sigma_{x,My} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{16335 \text{ kNcm}}{1646.4 \text{ cm}^3} = 9.9216 \text{ kN/cm}^2 = 99.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Mz} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{3251 \text{ kNcm}}{570.2 \text{ cm}^3} = 5.7015 \text{ kN/cm}^2 = 57.0 \text{ MPa}$$

Primerjalna napetost (normalna napetost za dvojni upogib):

$$\sigma_{x, \text{maks}} = 99.2 + 57.0 = 156.2 \text{ MPa}$$

Izračun strižnih napetosti

Podatki (proje. vrednosti):

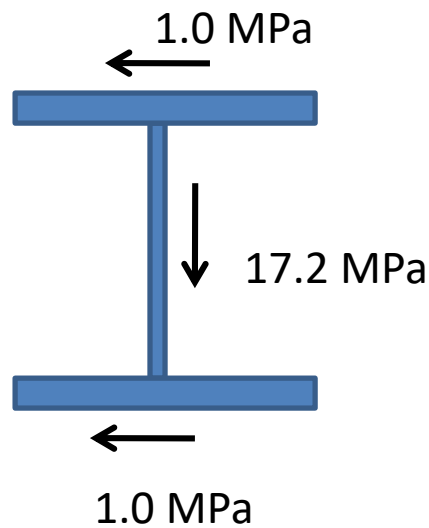
$$V_y = -11.52 \text{ kN}$$

$$V_z = -49.68 \text{ kN}$$

Podatki - strižni površini:

$$A_y = 2 \times 30.0 \times 1.9 = 114.0 \text{ cm}_2 \quad \text{pasnica}$$

$$A_z = 26.2 \times 1.1 = 28.82 \text{ cm}_2 \quad \text{stojina}$$



Strig v pasnici

$$\tau_{s,V_y} = \frac{V_y}{A_y} = \frac{11.52}{114.0} = 0.1011 \text{ kN/cm}^2 = 1.0 \text{ MPa}$$

Strig v stojini

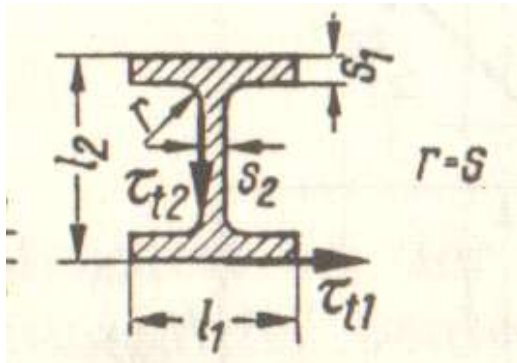
$$\tau_{s,V_z} = \frac{V_z}{A_z} = \frac{49.68}{28.82} = 1.7238 \text{ kN/cm}^2 = 17.2 \text{ MPa}$$

Izračun torzijskih napetosti

Potek torzijskih napetosti- tokovnice

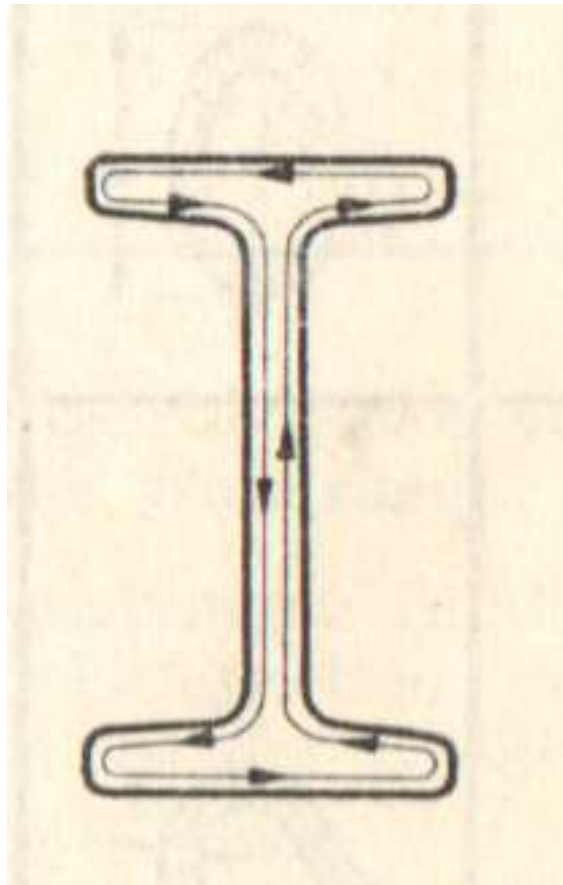
Porazdelitev torzijskih napetosti
zaradi primarnega M_x (St. Venant)

$$s=t$$

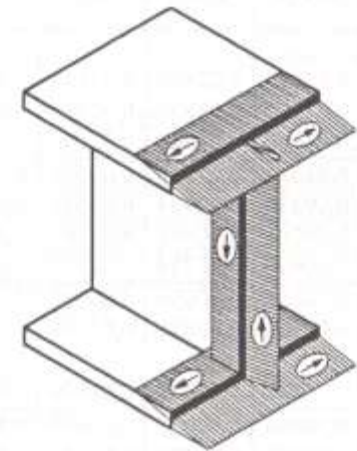


$$l_i \rightarrow h_i$$

$$s_i \rightarrow t_i$$



Schubspannungen infolge des positiven
primären Torsionsmoments M_{xp} :



im Steg: $\tau = M_{xp} \cdot s / I_T$
im Flansch: $\tau = M_{xp} \cdot t / I_T$ (Maximalwert)

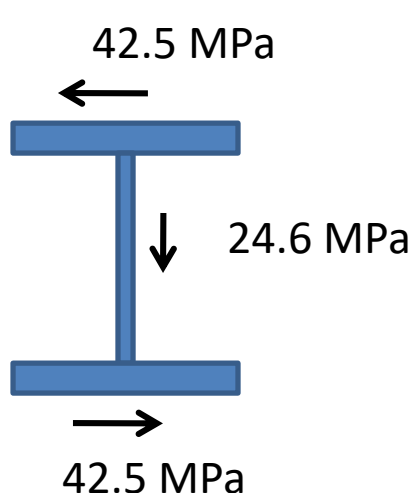
Izračun torzijskih napetosti

Podatek: (proj. vred.):

$$M_x = -3.33 \text{ kNm}$$

$$I_t = \frac{\sum(h_i \cdot t_i^3)}{3}$$

$$I_t = 148.80 \text{ cm}_4$$



Pasnica

Stojina

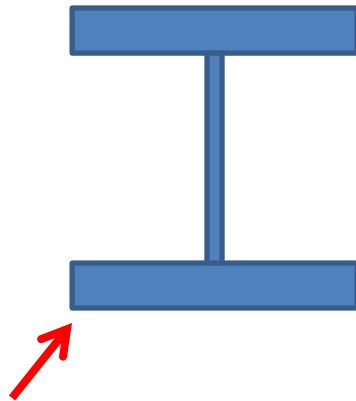
$$W_{t,\min} = \frac{I_t}{t_{maks}} = \frac{148.80}{1.9} = 78.3158 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{t,maks} = \frac{M_x}{W_{t,\min}} = \frac{333.0}{78.3158} = 4.2520 \text{ kN/cm}^2 = 42.5 \text{ MPa}$$

$$W_{t,s} = \frac{I_t}{t_s} = \frac{148.80}{1.1} = 135.2727 \text{ cm}^3$$

$$\tau_{t,s} = \frac{M_x}{W_{t,s}} = \frac{333.0}{135.27} = 2.4617 \text{ kN/cm}^2 = 24.6 \text{ MPa}$$

Izračun primerjalne napetosti v vogalu pasnice



$$\sigma_x = 156.2 \text{ MPa}$$

$$\tau = 42.5 + 1.0 = 43.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pr} = \sqrt{\sigma_x^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{156.2^2 + 3 \cdot 43.5^2} = 173.4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{R,d} = 235 \text{ MPa} - \text{mejna nosilnost}$$

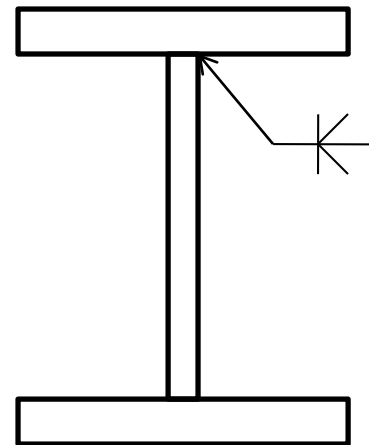
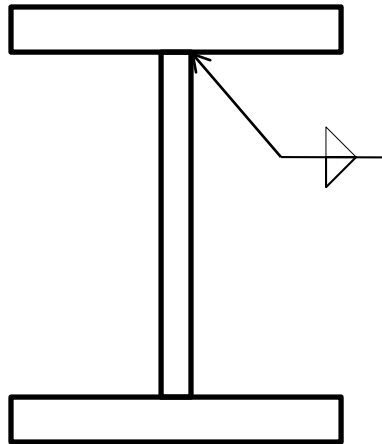
$$173.4 \text{ MPa} < 235 \text{ MPa}$$

$$173.4 / 235 = 0.738 < 1$$

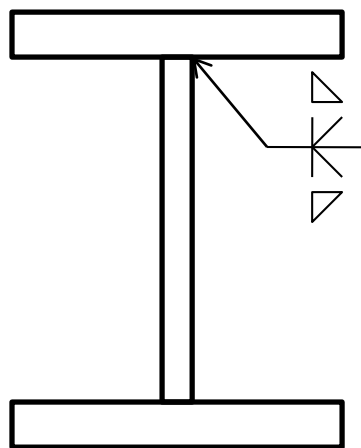
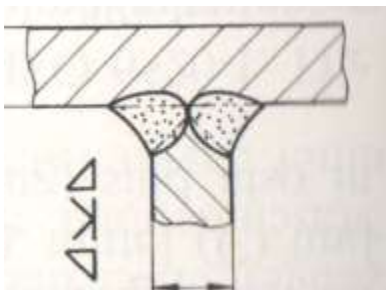
73.8 % izkoriščenost

Napetosti v zvarih

Dve izvedbi kotni zvar, K zvar



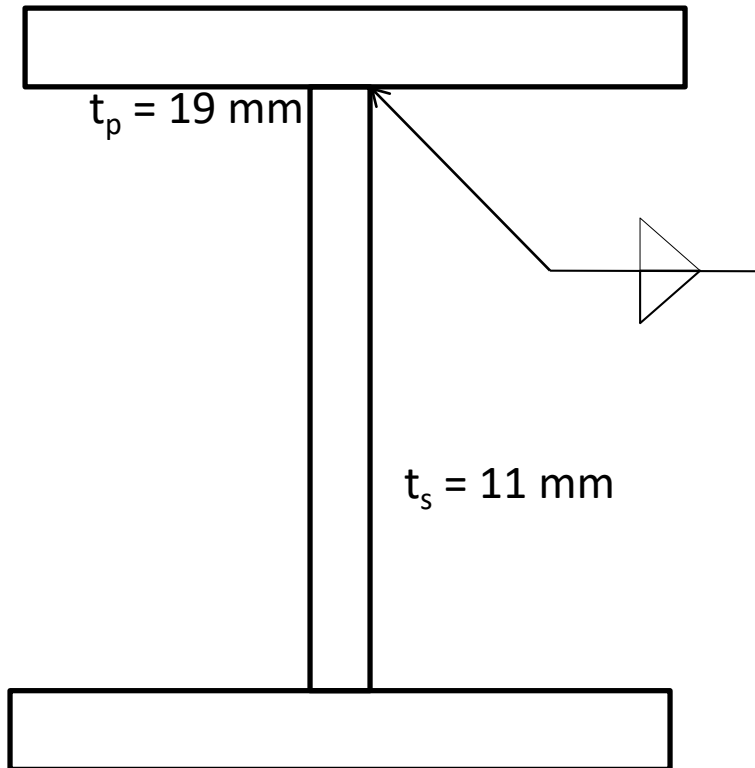
K zvar s polno penetracijo



Čelni zvari s polno penetracijo

Pri zvarih s polno penetracijo morata biti osnovni in dodajni material povsem zlita in spojena po celotni debelini pločevine. Prekinjeni čelni zvari niso dovoljeni. Projektne nosilnosti čelnih zvarov s polno penetracijo ni potrebno računati. Dovolj je kontrola nosilnosti v osnovnem materialu na mestu zvara, če tam nastopajo konice obremenitev. Za te zware se predpostavi, da je nosilnost zvara vedno večja ali enaka nosilnosti šibkejšega od spojenih elementov. Mehanske lastnosti v zvaru in toplotni vplivni coni morajo namreč biti večje od nominalnih mehanskih lastnosti osnovnega materiala (napetost tečenja, natezna trdnost, Charpy-V lomna žilavost). **Ta predpostavka se zagotovi z ustrezno zasnovo, izvedbo in kontrolo zvarov (skladno s SIST EN 1090-2).** Za projektanta tak pristop pomeni veliko olajšavo, breme odgovornosti pa se prenese na izdelovalca konstrukcije in kontrolorja.

Kotni zvar – izbira debeline zvara (a)



$$t_p = 19 \text{ mm}$$
$$t_s = 11 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 11 \text{ mm}$$

$$a \leq 0.7 t_{\min} = 0.7 \times 11 = 7.7 \text{ mm}$$
$$a = 4 \text{ mm (izberemo)}$$

Kontrola kotnega zvara v kritičnem prerezu

PODATKI

(projektne vrednosti):

$$N = 0$$

$$V_y = -11.52 \text{ kN}$$

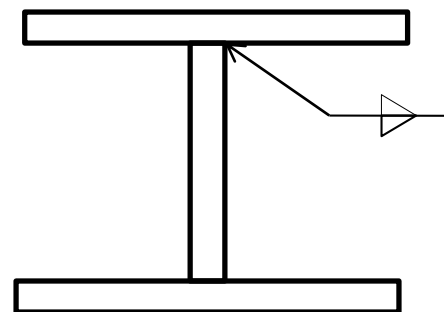
$$V_z = -49.68 \text{ kN}$$

$$M_x = -3.33 \text{ kNm}$$

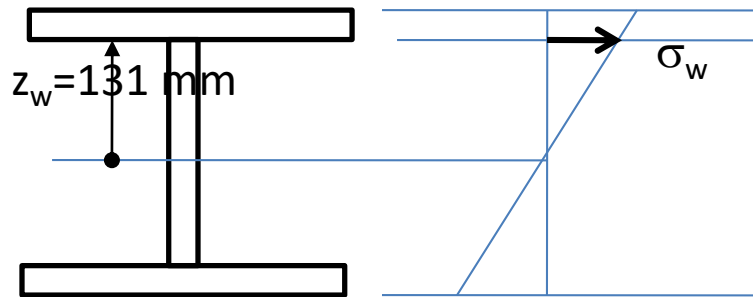
$$M_y = 163.35 \text{ kNm}$$

$$M_z = -12.41 \text{ kNm}$$

$$I_y = 25122 \text{ cm}_4$$



Izračun normalne napetosti v zvaru



$$\sigma_w = \frac{M_y \cdot z_w}{I_y}$$

$$\sigma_w = \frac{16335 \cdot 13.1}{25122} = 8.518 \text{ kN/cm}^2 = 85.2 \text{ MPa}$$

Izračun strižne napetosti v zvaru $\tau_{s,w}$

$$\tau_{s,w} = \frac{V_z \cdot S_p}{I_y \cdot \Sigma a}$$

V_z	strižna sila
S_p	statični moment pasnice
I_y	upogibni vztrajnostni moment
Σa	vsota debelin zvarov

Izračun statičnega momenta pasnice

S_p

Višina stojine:

$$305.2 - 2 \times 19 = 267.2 \text{ mm}$$

Razdalja med celotnim težiščem in težiščem pasnice

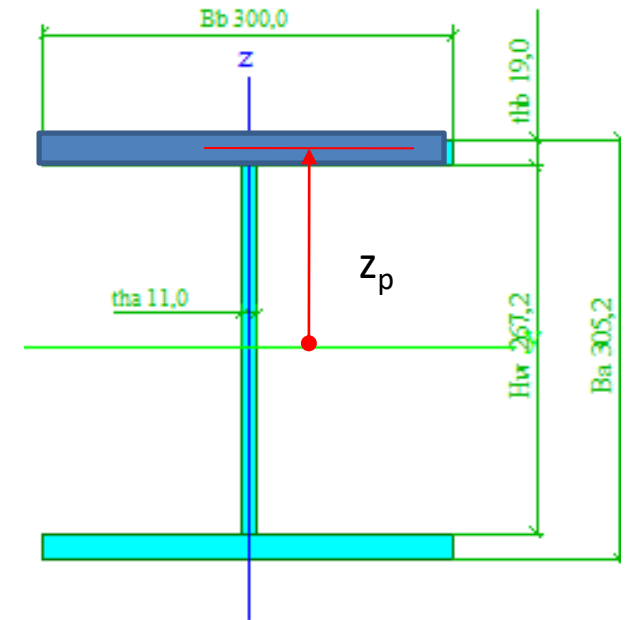
$$z_p = (267.2 + 19) / 2 = 143.1 \text{ mm}$$

$$A_p = 30.0 \times 1.9 = 57.0 \text{ cm}_2$$

Statični moment pasnice

$$S_p = A_p \times z_p = 57.0 \times 14.31 = 815.67 \text{ cm}_3$$

Dva kotna zvara $a = 4 \text{ mm}$



Izračun tangencialnih napetosti v zvaru zaradi Vz in Mx

Tangencialna napetost zaradi (Vz)

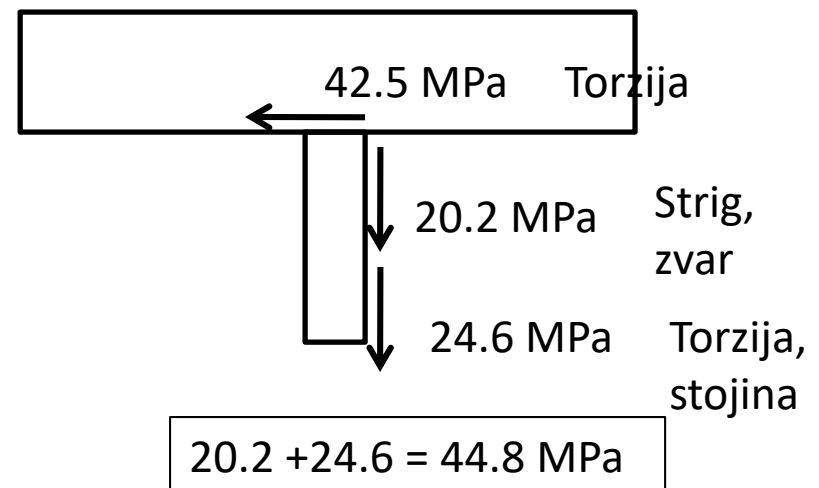
$$\tau_{s,w} = \frac{V_z \cdot S_p}{I_y \cdot \Sigma a} = \frac{49.68 \cdot 815.67}{25122 \cdot 2 \cdot 0.4} = 2.0163 \text{ kN/cm}^2 = 20.2 \text{ MPa}$$

Tangencialna napetost v pasnici in stojini zaradi Mx. Glej "peš" izračun torzijskih napetosti!

Torzijske napetosti v pasnici in stojini (Mx):

$$\tau_{t,p} = 42.5 \text{ MPa}$$

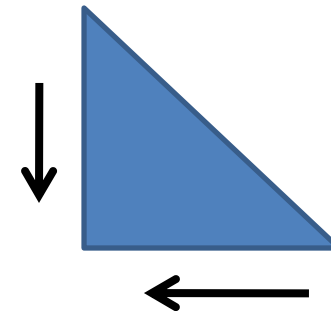
$$\tau_{t,s} = 24.6 \text{ MPa}$$



Izračun primerjalne napetosti v kotnem zvaru

$$\sigma_w = 85.2 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xz} = 44.8 \text{ MPa}$$



$$\tau_{xy} = 42.5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pr,w} = \sqrt{\sigma_w^2 + 3 \cdot (\tau_{xz}^2 + \tau_{xy}^2)} = 136.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{pr,w} = \sqrt{85.2^2 + 3 \cdot (44.8^2 + 42.5^2)} = 136.75 \text{ MPa}$$

Nosilnost kotnega zvara f_{vwd}

Poenostavljena metoda

$$f_{vwd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{\sqrt{3} \cdot 0.8 \cdot 1.25} = 207.8 MPa$$

S235

$f_u = 360 \text{ MPa}$

$\beta_w = 0.8$

$\gamma_{M2} = 1.25$

$t < 40 \text{ mm}$

korelacijski faktor

delni varnostni faktor za nosilnost

trdnost materiala

Dokaz nosilnosti kotnega zvara

$$136.74 \text{ MPa} < 207.5 \text{ MPa}$$

$$136.74 / 207.5 = 0.6590 < 1.0$$

Izkoriščenost 65.9% $\approx$ 66.0%

LOKALNE NAPETOSTI

Kolesni pritisk

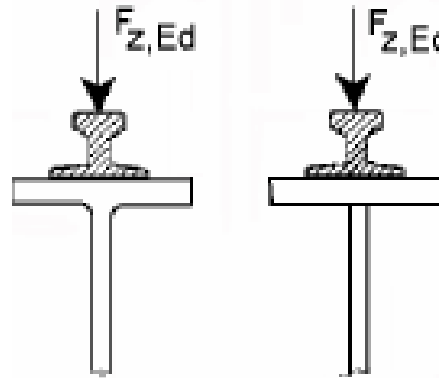
Standardi za kolesni pritisk:

- DIN 4132
- EC 3-6 Poglavje 5.4 (SIST EN 1993-6: 2007)

SIST EN 1993-6: 2007

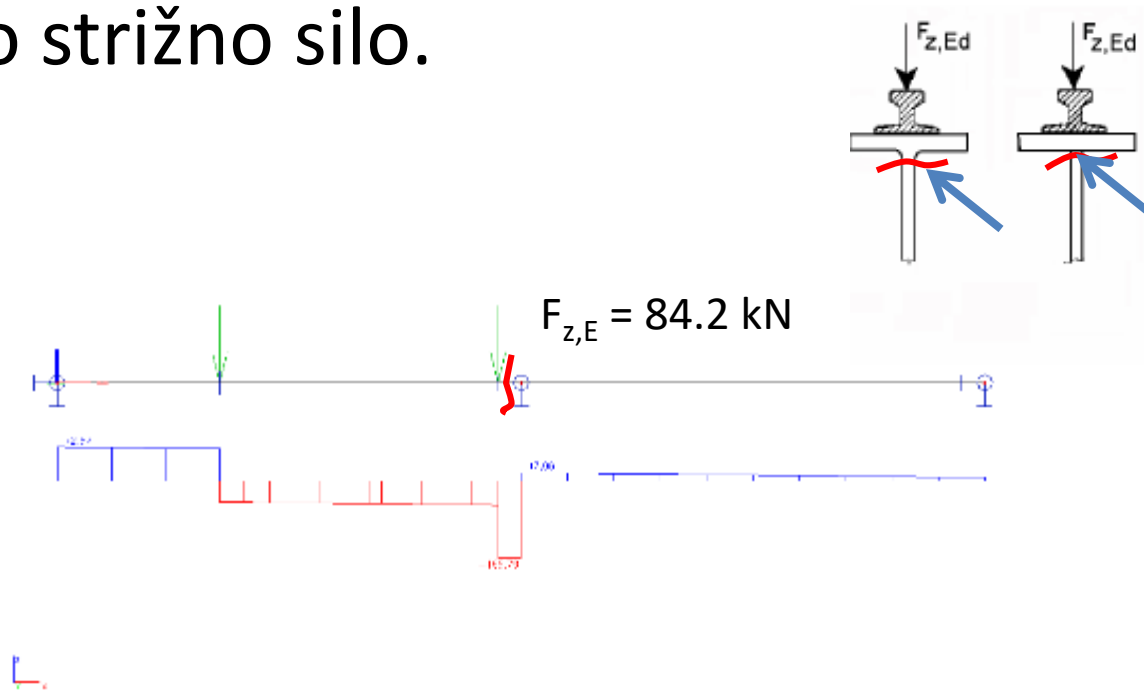
Kolesni pritisk

SIST EN 1993-6: 2007 Poglavje 5.4

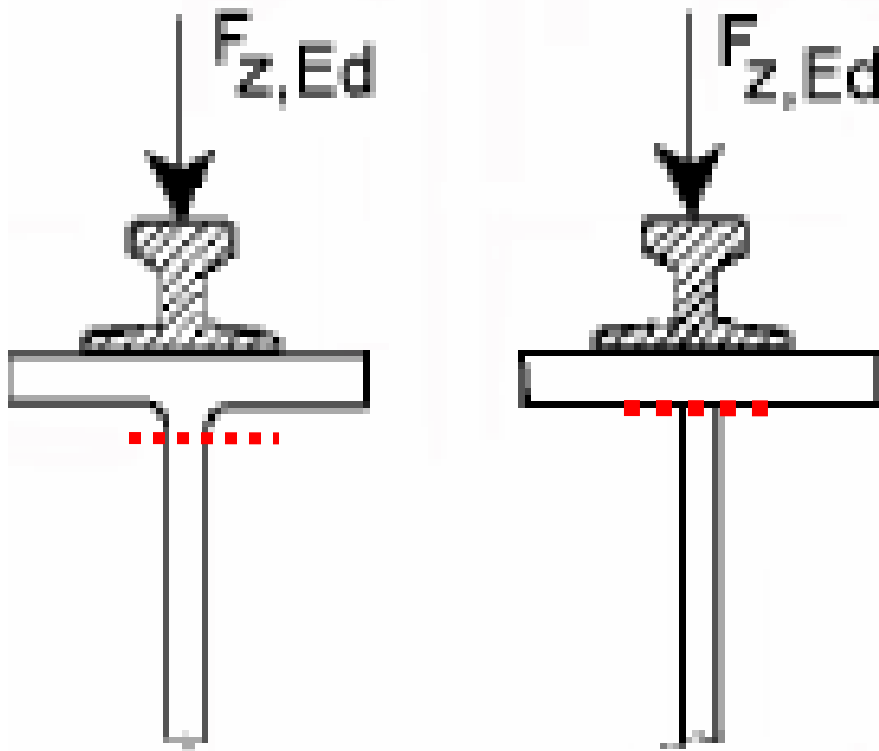


Kritično mesto na nosilcu

Kritična je zgornja točka na stojini v neposredni bližini podpore za pozicijo mačka, ki da največjo strižno silo.



Kritično mesto za kolesni pritisk: valjani in varjeni I profil



Detajl nosilca nad podporo

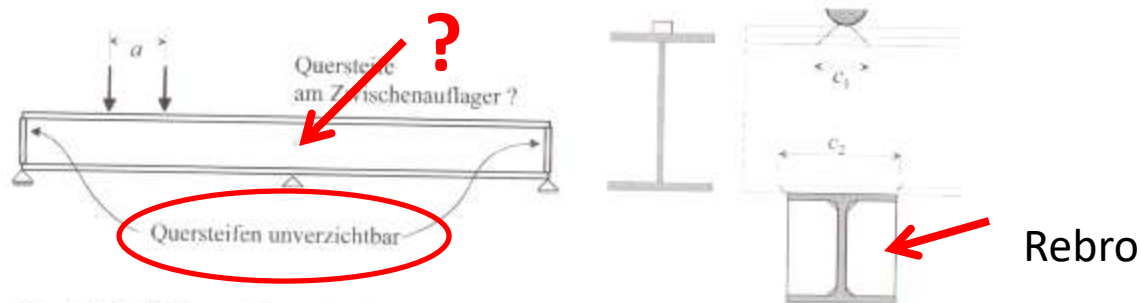
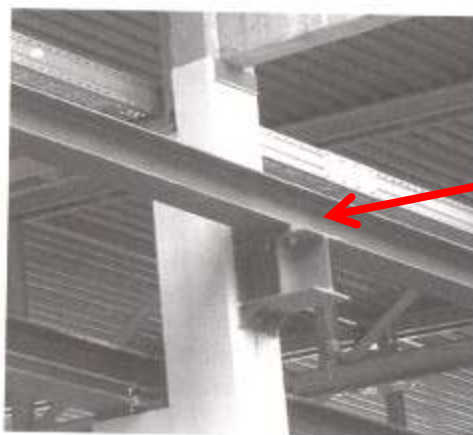


Abb. 7-8 Sind Quersteifen im Mittelauflegerbereich notwendig?



Manjka rebro

- Lokalni vnos reakcije
- Podpora pri bočni zvrnitvi

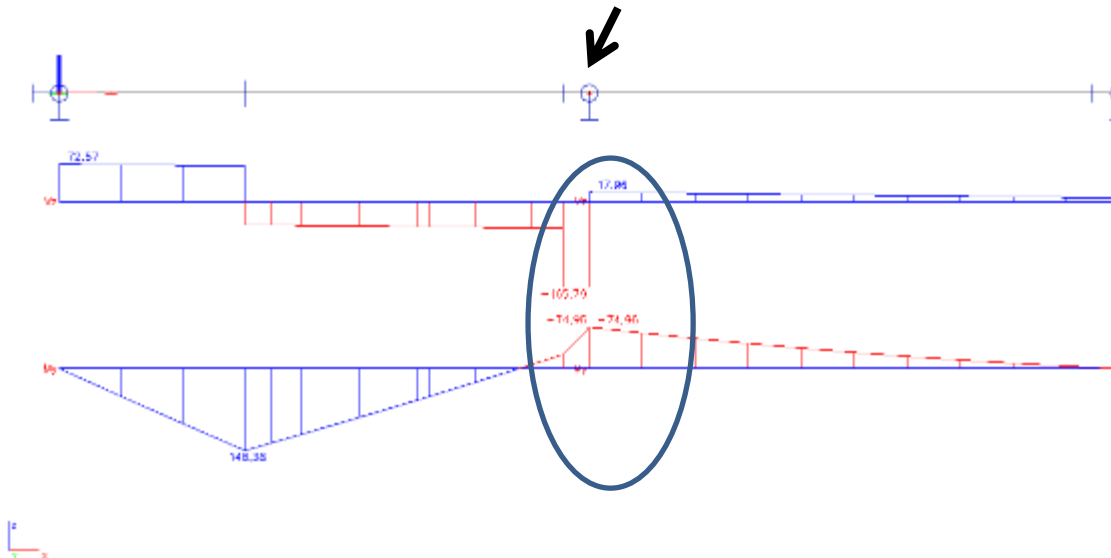
Abb. 7-9 Nicht grundsätzlich empfehlenswert: Zwischenauflager ohne Quersteife

Podatki

$F_{z,E} = 84.2 \text{ kN}$ (kolesni pritisk, upoštevali smo le faktorja udarcev ϕ_1 in ϕ_2)

$V_{z,max,Ed} = 165.79 \text{ kN}$ (strig nad podporo, projektna vrednost)

$M_{y,Ed} = 74.96 \text{ kNm}$ (upogib nad podporo, projektna vrednost)



Izračun projektne vrednosti kolesnega pritiska $F_{z,Ed}$

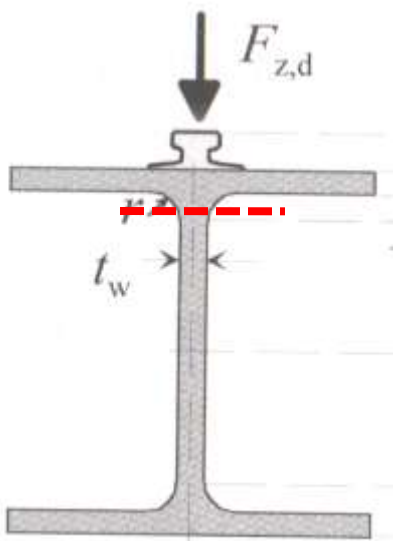
$$F_{z,Ed} = F_{z,E} \cdot \gamma_F$$

$\gamma_F = 1.35$ delni varnostni faktor za obremenitev

$$F_{z,Ed} = 84.2 \cdot 1.35 = 113.67 \text{ kN}$$

Kontrola napetosti v valjanem prečnem prerezu HEB 300.

Globalne in lokalne napetosti na vrhu stojine



Porazdelitev globalnih in lokalnih napetosti

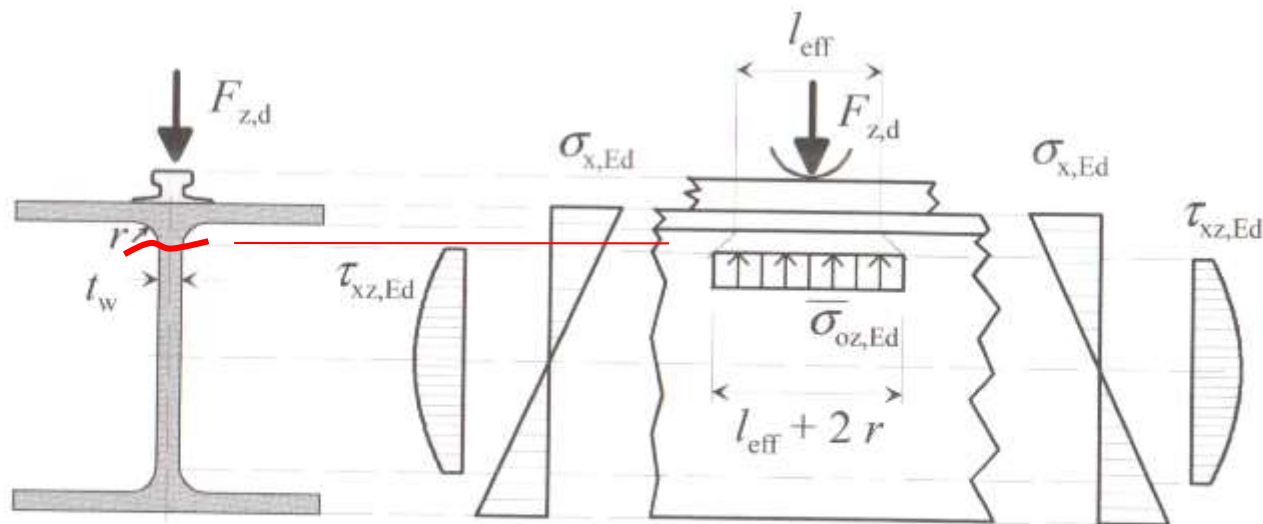


Abb. 12-2 Spannungen aus globaler Tragwirkung $\sigma_{x,Ed}$, $\tau_{xz,Ed}$ und Lasteinleitungsspannungen $\sigma_{oz,Ed}$ an der Nachweisstelle Stegoberkante

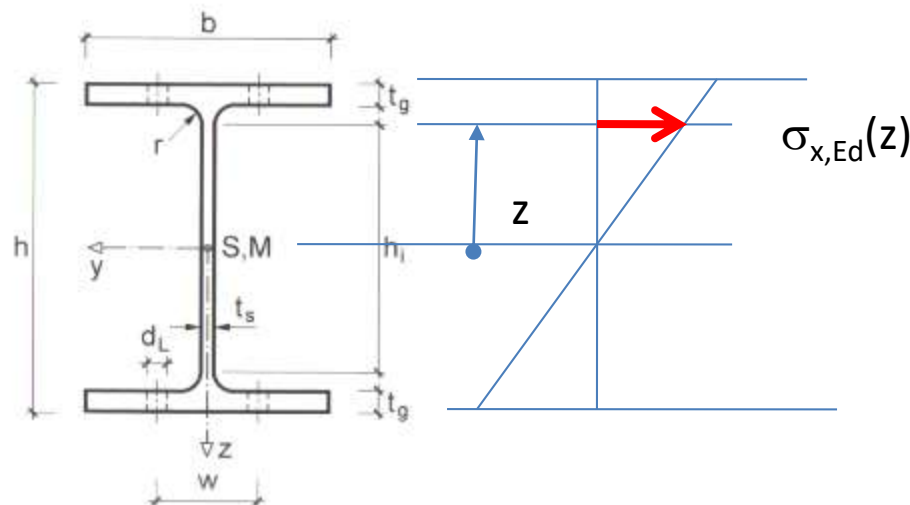
$\sigma_{x,Ed}$, $\tau_{xz,Ed}$

$\sigma_{oz,Ed}$

→ globalne napetosti, iz ravnotežja sil

→ lokalna napetost zaradi kolesnega pritiska

Izračun globalne napetosti $\sigma_{x,Ed}(z)$ na zgornjem robu stojine zaradi $M_y = 74.96 \text{ kNm}$



HEB 300

$I_y = 25166 \text{ cm}^4$

$t_g = t_f = 19 \text{ mm}$

$t_s = t_w = 11 \text{ mm}$

$r = 27 \text{ mm}$

$h_i = 208 \text{ mm}$

$$z = 300/2 - 19 - 27 = 104 \text{ mm} = 10.4 \text{ cm}$$

$$\sigma_{x,Ed}(z) = \frac{M_{y,Ed} \cdot z}{I_y} = \frac{7496 \cdot 10.4}{25166} = 3.0978 \text{ kN/cm}^2 \approx 31.0 \text{ MPa}$$

Nad podporo je upogibna napetost natezna (+)!

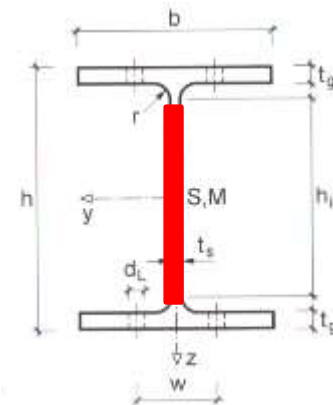
Izračun globalne strižne napetosti zaradi največje strižne sile $V_{z,Ed} = 165.79 \text{ kN}$

$$V_{z,Ed} = 165.79 \text{ kN}$$

$$h_i = 208 \text{ mm}$$

$$t_s = 11 \text{ mm}$$

$$A_s = h_i \cdot t_s = 20.8 \cdot 1.1 = 22.88 \text{ cm}^2$$



$$\tau_{xz,Ed} = \frac{V_{z,Ed}}{A_s} = \frac{165.79}{22.88} = 7.25 \text{ kN/cm}^2 = 72.5 \text{ MPa}$$

Izračun lokalnih napetosti $\sigma_{oz,Ed}$

EN 1993-6: 2007(E)

Poglavje 5.7

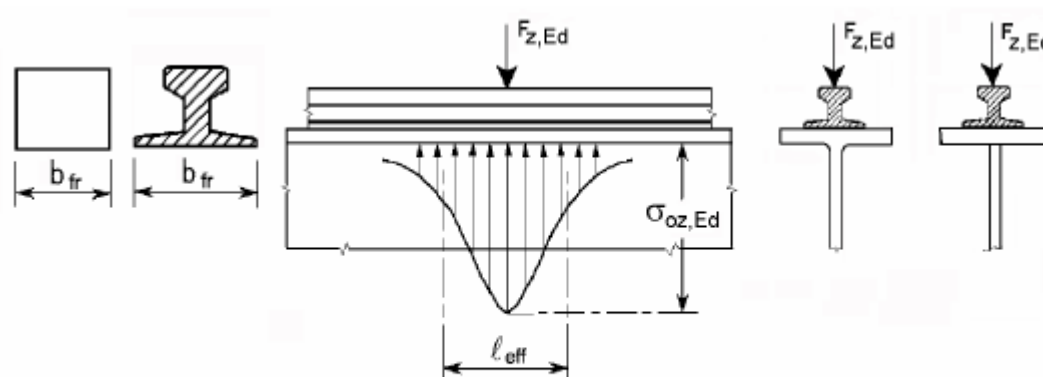
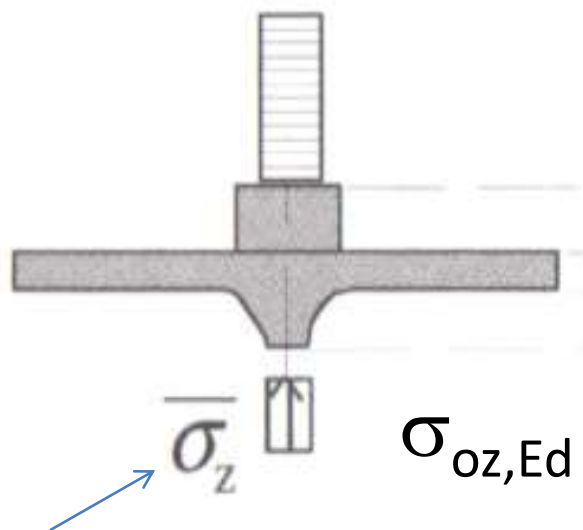


Figure 5.2: Effective loaded length l_{eff}

$l_{eff} \rightarrow$ vplivna dolžina za kolesno silo

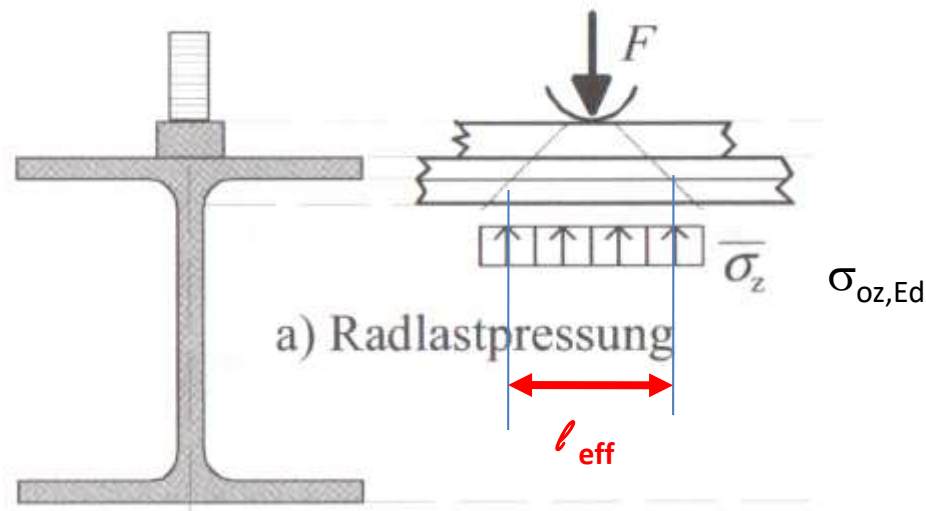
Slika lokalnih napetosti $\sigma_{oz,Ed}$



DIN oznaka

Izračun lokalnih napetosti $\sigma_{oz,Ed}$ v prehodu zaokrožitve v stojino

- Napetosti v stojini zaradi centričnega kolesnega pritiska
- Izračun vplivna širine kolesnega pritiska ℓ_{eff}

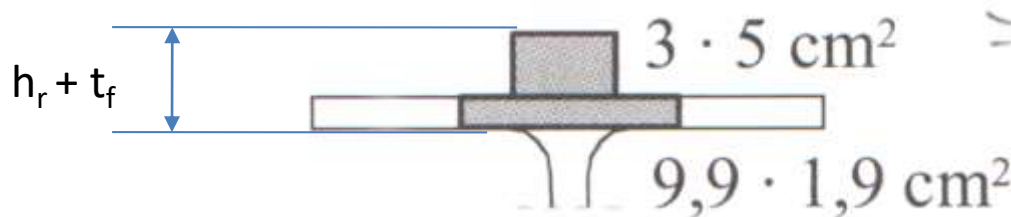


Razdalja med vrhom tirnice in spodnjim robom pasnice $h_r + t_f$

$b_{fr} = 50 \text{ mm}$ širina tirnice 50×30

$h_r = 30 \text{ mm}$ višina obrabljene tirnice

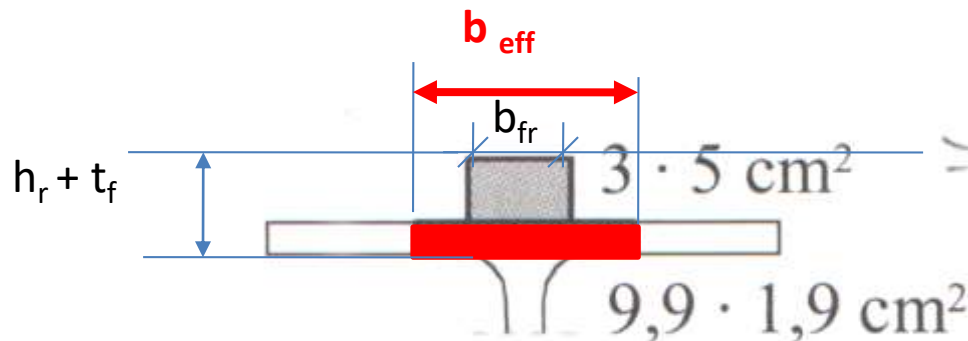
$$h_r + t_f = 3 \text{ cm} + 1.9 \text{ cm} = 4.9 \text{ cm}$$



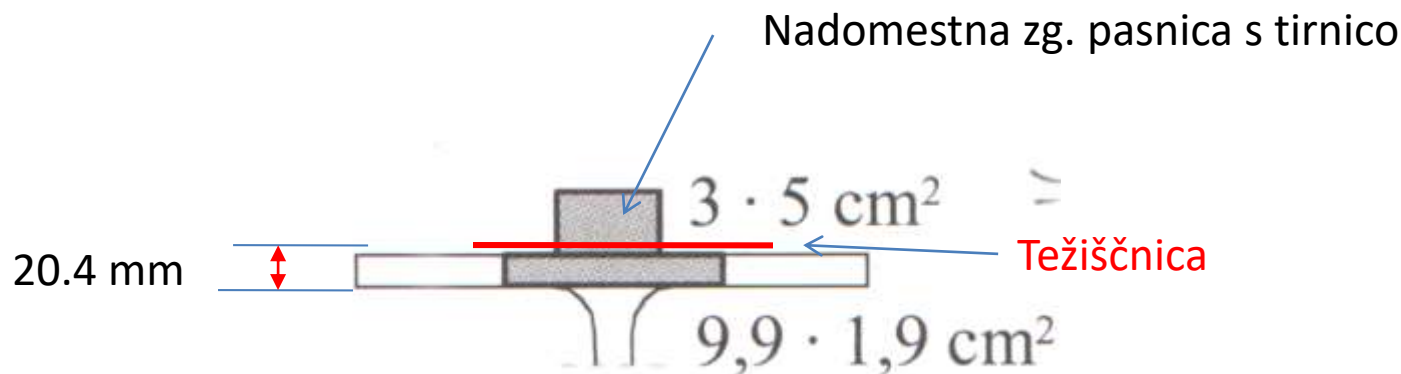
Efektivna širina pasnice b_{eff}

Del pasnice, ki sodeluje pri prenosu kolesne sile v stojino

$$b_{\text{eff}} = b_{\text{fr}} + h_r + t_f = 5 \text{ cm} + 4,9 \text{ cm} = 9,9 \text{ cm} \leq b = 30 \text{ cm}$$



Izračun vztrajnostnega momenta nadomestne zgornje pasnice s privarjeno tirnico za vodoravno lokalno težiščno os

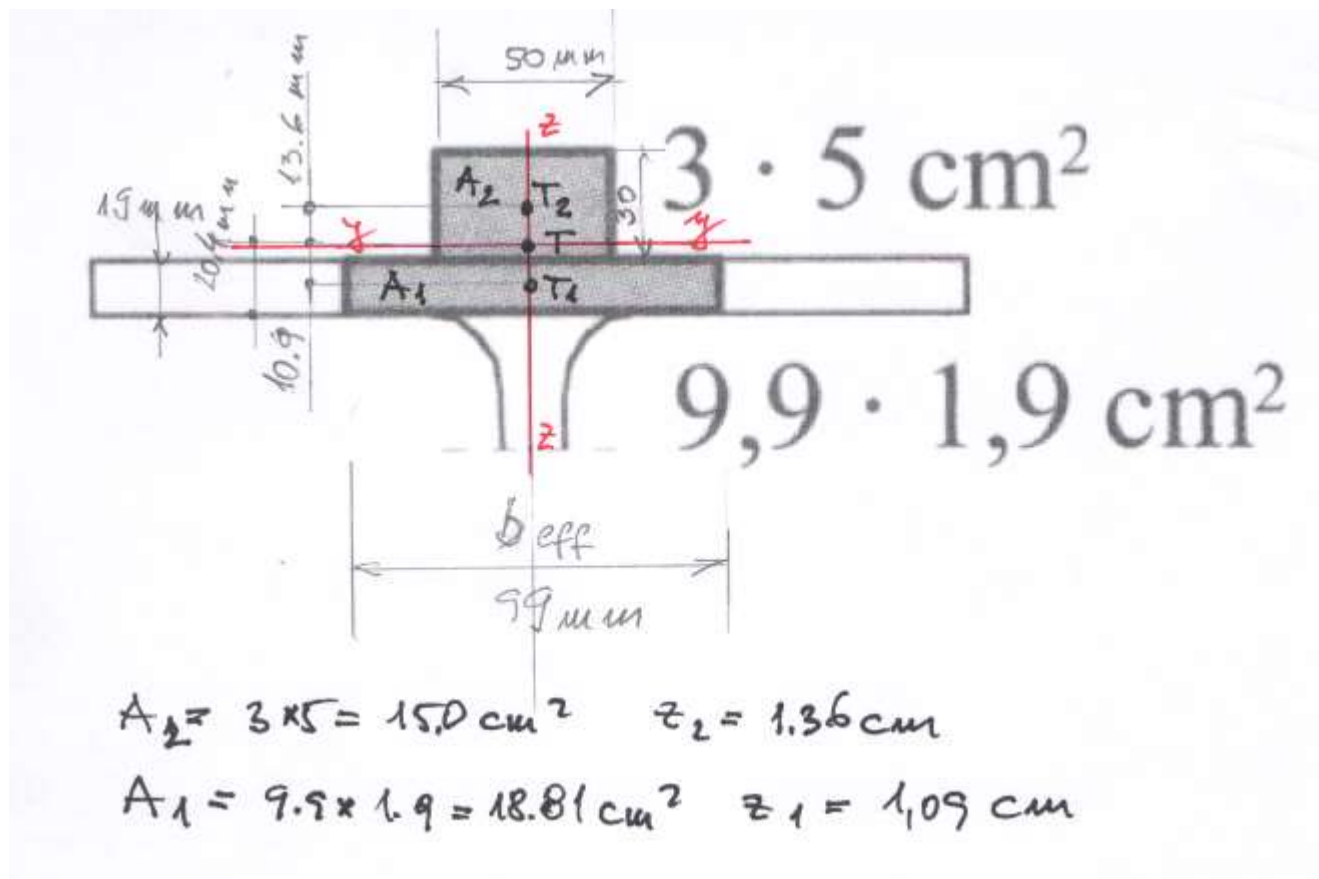


Izračun vztrajnostnega momenta za vodoravno os:

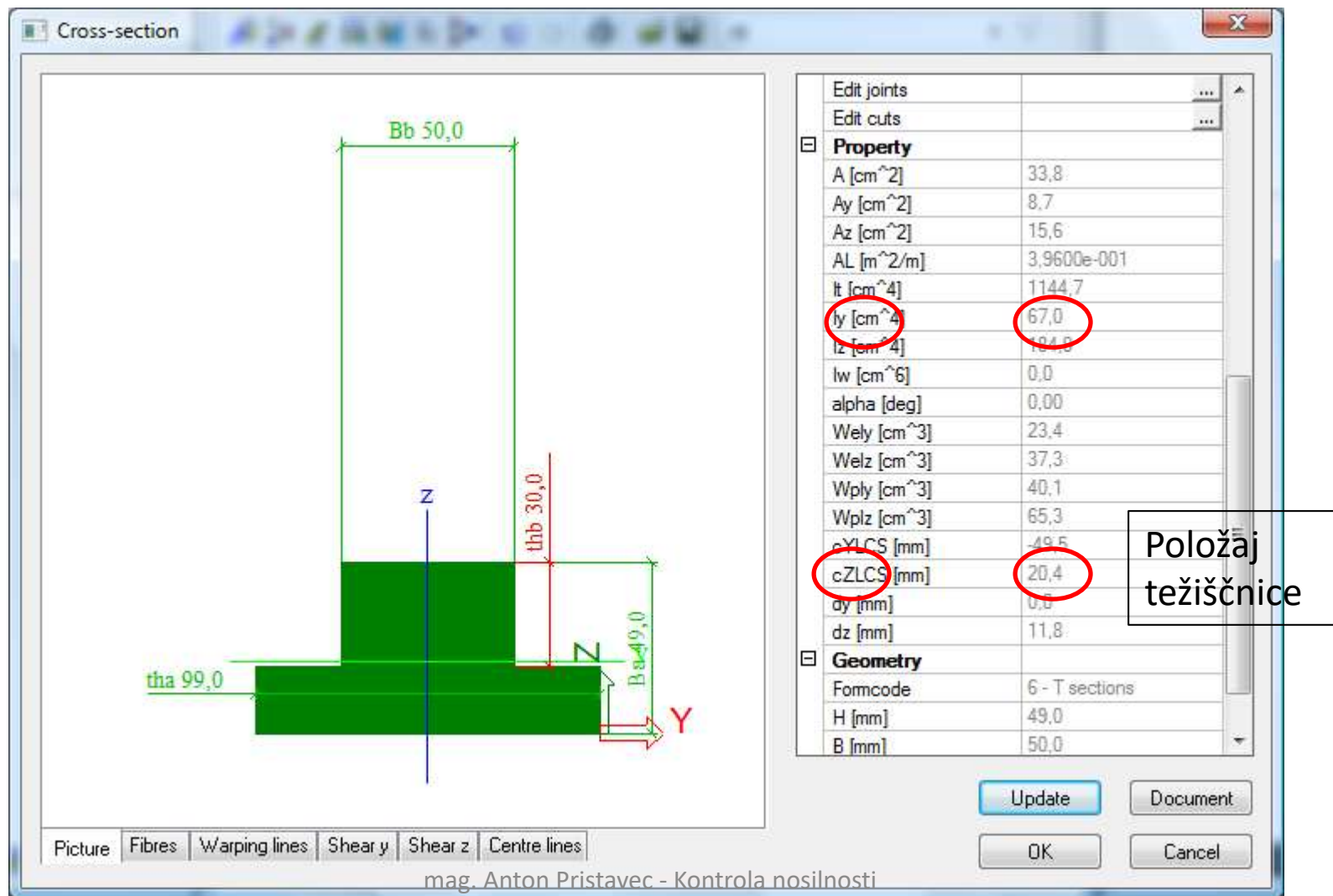
$$\begin{aligned} I^* = I_{\text{rf}} &= \frac{5 \cdot 3^3}{12} + \frac{9,9 \cdot 1,9^3}{12} + 15 \cdot 1,36^2 + 18,81 \cdot 1,09^2 \\ &= 11,25 + 5,66 + 27,74 + 22,35 = 67,0 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Podatki za izračun I^* so na naslednjem diapozitivu

Podatki za izračun I^*



Izračun I^* s programom



Vplivna dolžina na stojini za kolesni pritisk

$$t_w = t_s = 11 \text{ mm}$$

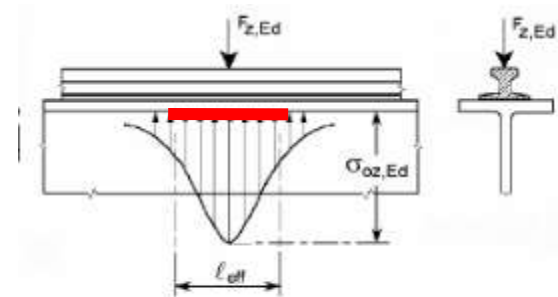


Figure 5.2: Effective loaded length ℓ_{eff}

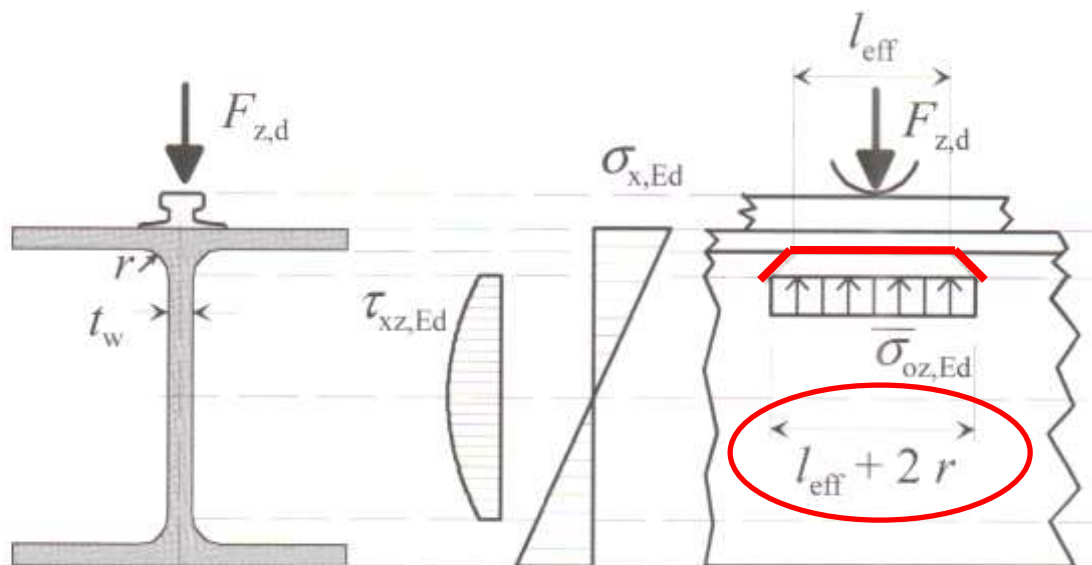
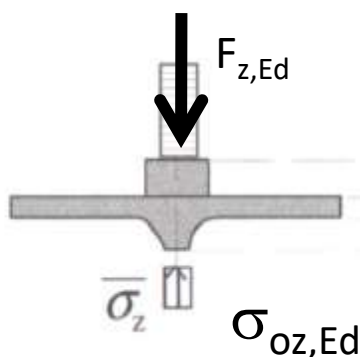
$$\ell_{\text{eff}} = 3,25 \cdot \left(\frac{I^*}{t_w} \right)^{\frac{1}{3}} = 3,25 \cdot \left(\frac{67,0}{1,1} \right)^{\frac{1}{3}} = 12,8 \text{ cm}$$

Table 5.1: Effective loaded length ℓ_{eff}

Case	Description	Effective loaded length ℓ_{eff}
(a)	Crane rail rigidly fixed to the flange	$\ell_{\text{eff}} = 3,25 [I_{\text{ff}} / t_w]^{\frac{1}{3}}$

Lokalna napetost v stojini

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{t_w (l_{eff} + 2 \cdot r)} = -\frac{1,35 \cdot 84,2}{1,1 \cdot (12,8 + 2 \cdot 2,7)} = -5,7 \text{ kN/cm}^2$$



Lokalna strižna napetost

$$\tau_{\text{oxz,Ed}} = 0,2 \cdot \sigma_{\text{oz,Ed}} = 0,2 \cdot 5,7 = 1,1 \text{ kN/cm}^2$$

Kontrola lokalnih napetosti

- Nachweise: $\frac{|\sigma_{\text{oz,Ed}}|}{f_y / \gamma_{\text{M0}}} = \frac{5,7}{23,5 / \gamma_{\text{M0}}} = 0,24 \cdot \gamma_{\text{M0}} < 1,0 \quad (\checkmark)$
 $\frac{|\tau_{\text{oxz,Ed}}|}{f_y / (\gamma_{\text{M0}} \cdot \sqrt{3})} = \frac{1,1 \cdot \sqrt{3}}{23,5 / \gamma_{\text{M0}}} = 0,08 \cdot \gamma_{\text{M0}} < 1,0 \quad (\checkmark)$

Primerjalna napetost na vrhu stojine nad podporo

$$\sigma_{x,Ed} = 30.98 \text{ MPa}$$

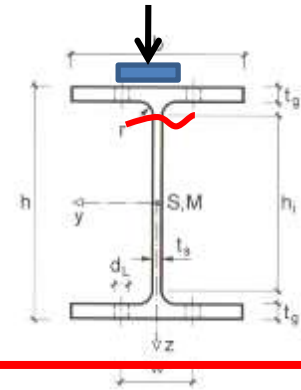
$$\tau_{x,Ed} = 72.50 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = -57.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oz,Ed} = 11.0 \text{ MPa}$$

$$f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1.0$$



$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{oz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{oz,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + \left(\frac{\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed}}{f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})} \right)^2 \leq 1.0$$

$$\left(\frac{30.98}{235} \right)^2 + \left(\frac{57.0}{235} \right)^2 - \left(\frac{30.98}{235} \right) \cdot \left(-\frac{57.0}{235} \right) + \left(\frac{72.50 + 11.0}{235} \right)^2 \leq 1.0$$

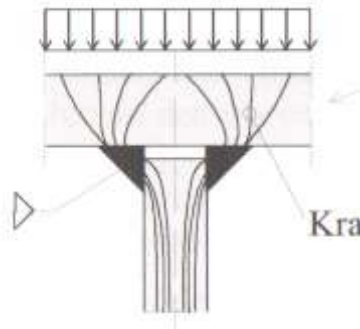
$$0.2344 \leq 1.0$$

KOTNI ZVARI

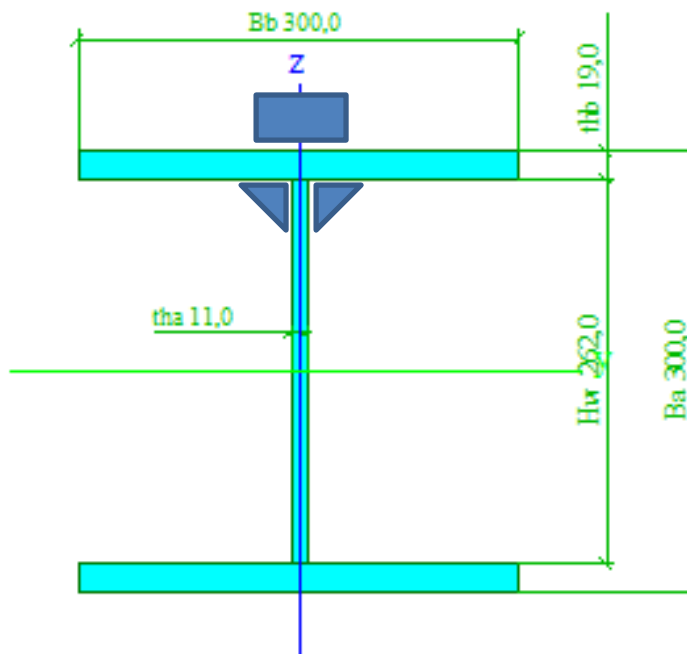
Kontrola napetosti v varjenem
prečnem prerezu podobnem
HEB 300.

Globalne in lokalne napetosti v
kotnem zvaru pasnica/stojina

Kotni zvar in potek napetostnih silnic



Potek napetostnih
silnic ; napetostni
tok



Opomba

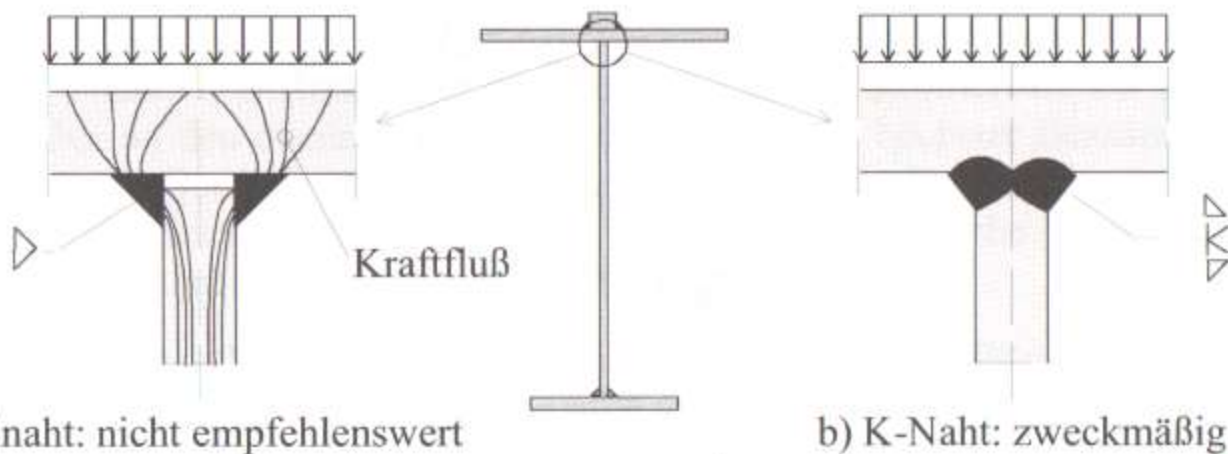
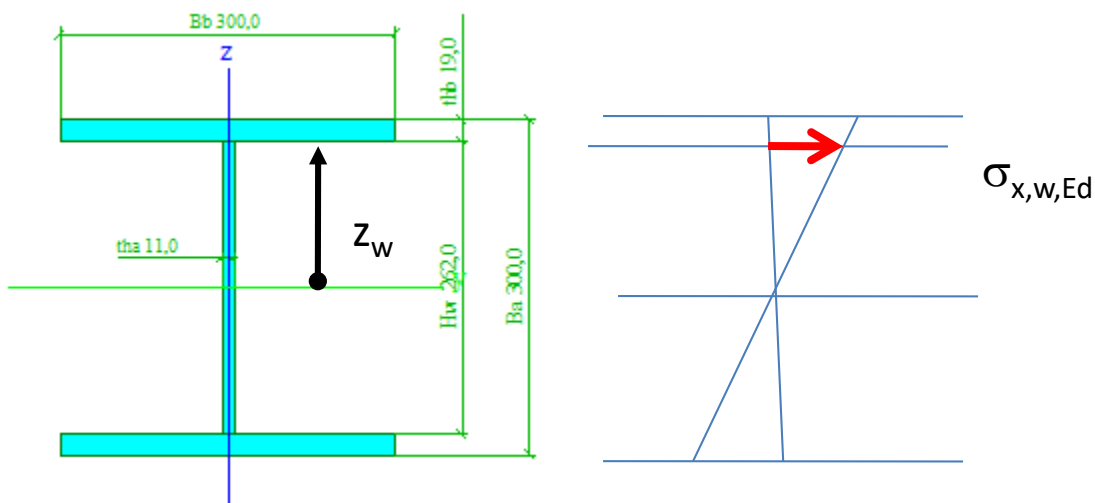


Abb. 3-33 Ausführung der oberen Halsnaht beim I-Schweißprofil

Izvedba zgornjega zvara na stiku stojina/pasnica

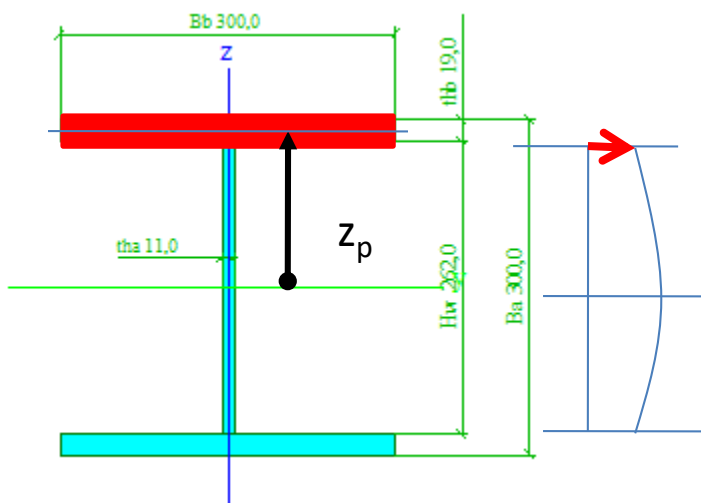
- a) Kotni zvari niso primerni zaradi utrujanja
- b) K zvar - priporočljiv

Formule za izračun globalne normalne napetosti ($\sigma_{x,w,Ed}$) v kotnem zvaru



$$\sigma_{x,w,Ed} = \frac{M_{y,Ed} \cdot z_w}{I_y}$$

Formule za izračun strižne globalnih napetosti v kotnem zvaru $\tau_{xz,w,Ed}$



A_p površina pasnice
 z_p razdalja med celotnim težiščem
in težiščem pasnice
 a_w debelina kotnega zvara

Statični moment pasnice
 $S_p = A_p \cdot z_p$

$$\tau_{xz,w,Ed} = \frac{V_{z,Ed} \cdot S_p}{I_y \cdot 2a_w}$$

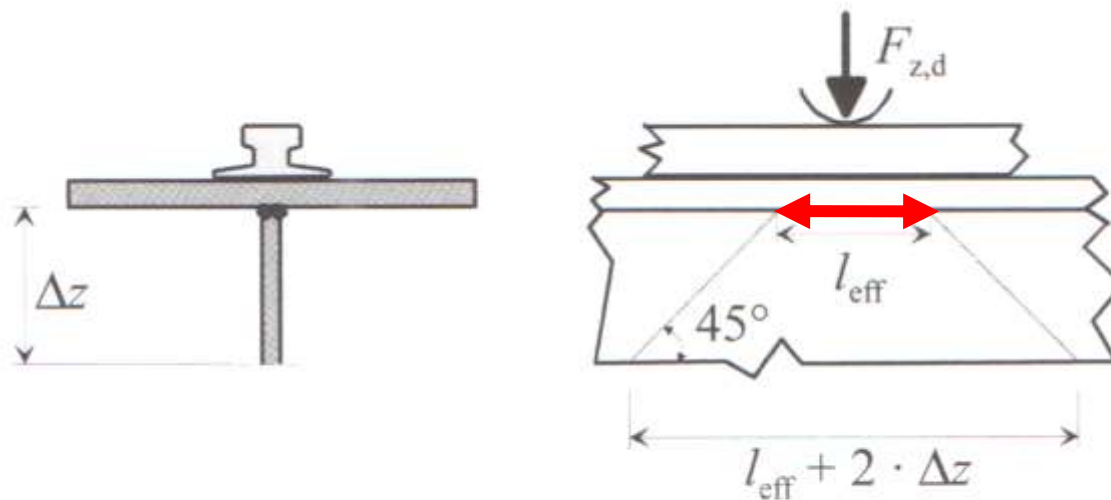
Formule za izračun lokalnih napetosti v kotnem zvaru

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{\ell_{eff} t_w} \quad \tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed}$$

where: $F_{z,Ed}$ is the design value of the wheel load;
 ℓ_{eff} is the effective loaded length;
 t_w is the thickness of the web plate.

t_w nadomestimo z $2a_w$

Vplivnica za zvar



bb. 12-3 Lastausbreitung und effektive Länge l_{eff} , nach EC 3-6, Kap. 5.7

Kontrola napetosti v zvaru

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y / \gamma_{M0}} \right) + \left(\frac{\tau_{xz,Ed} + \tau_{oxz,Ed}}{f_y / (\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3})} \right)^2 \leq 1.0$$

$f_u / (\beta_w \gamma_{M2})$ Nosilnost zvara po **EN 1993-1-8 : 2005 (E)**

f_u is the nominal ultimate tensile strength of the weaker part joined;

β_w is the appropriate correlation factor taken from Table 4.1. $\beta_w = 0.8 \dots 1.0$

$$\gamma_{M2} = 1.25$$