

4. DIMENZIONIRANJE:

4.1. Općenito:

Stabilnost poprečnog presjeka provjerava se koristeći metodu ograničavanja naprezanja prema Fachbericht-u 103, dio III-10.

Stoga nije potrebna klasifikacija poprečnog presjeka.

(Universität Stuttgart, Uebung K. 5.3., Entwerfen und Konstruieren im Brückenbau, Verbundbrückenbau-Uebung 50. str.).

Prema Geissler Karsten: Zusammenfassung und Erläuterung des DIN Fachberichtes: 104, Verbundbrücken, str.19, preporučuje se kod mostova poprečne presjeke svrstati u klasu 3, te prema DIN 18800-3 dokazivati stabilnost na izbočavanje limova.

Metoda dokaza stabilnosti Elastično-Elastično:

Potrebno je dokazati (prema DIN 18800):

1.) Osigurana je stabilnost čitavog statičkog sustava

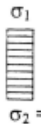
2.) Najveća računaska naprezanja u poprečnom presjeku su f_{yd}

Najveća dopuštena normalna naprezanja .
$$\sigma_{Rd} = f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_M} = \frac{35,5}{1,1} = 32,2 \text{ kN/cm}^2$$

Najveća dopuštena posmična naprezanja .
$$\tau_{Rd} = \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{32,2}{\sqrt{3}} = 18,6 \text{ kN/cm}^2$$

3.) Potrebno je dokazati sigurnost na izvijanje prema DIN 18800 dio 3 ili zadovoljiti odnose (b/t) prema sljedećoj tablici

Najčešće je racionalnije provesti proračun prema DIN 18800 dio 3, ali ako zadovoljava uvijete iz tablice tada nije potrebno provoditi dugotrajniji proračun.

Randspannungs-Verhältnis		beidseitig gelagerter Plattenstreifen	einseitig gelagerter Plattenstreifen	
ψ	Bild			
			σ_1 am gelagerten Rand	σ_1 am freien Rand
1		$37,8 \cdot \beta$	$12,9 \cdot \beta$	$12,9 \cdot \beta$
$1 > \psi > 0$		$27,1 \cdot (1 - 0,278\psi - 0,025\psi^2) \cdot \sqrt{\frac{8,2}{\psi + 1,05}} \cdot \beta$	$19,7 \cdot \sqrt{\frac{0,578}{\psi + 0,34}} \cdot \beta$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2} \cdot \beta$
0		$75,8 \cdot \beta$	$25,7 \cdot \beta$	$14,9 \cdot \beta$
$0 > \psi > -1$		$27,1 \cdot \sqrt{7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2} \cdot \beta$	$19,7 \cdot \sqrt{1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2} \cdot \beta$	$19,7 \cdot \sqrt{0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2} \cdot \beta$
-1		$133 \cdot \beta$	$96,1 \cdot \beta$	$18,2 \cdot \beta$

Falls auch Schubspannungen zu berücksichtigen sind gilt:

1) wenn $\tau \leq 0,2 \sigma_1$ dann $\beta = \sqrt{\frac{240}{(f_{y,k})}}$

2) wenn $\tau > 0,2 \sigma_1$ dann $\beta = \sqrt{\frac{240}{(\sigma_v * \gamma_M)}}$ für $\psi = 1$

(meist lohnt sich aber dann Beulsicherheitsnachweis nach DIN 18800 Teil 3)

Kontrola izvijanja hrpta:

OPIS METODE PRORAČUNA:

1.) Eulerova napreznja

$$\sigma_E = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot b^2} = 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2 \quad [\text{N/mm}^2]$$

2.) Faktor izbočavanja:

Faktor izbočavanja za normalna napreznja k_σ u odnosu o rasporedu normalnih tlačnih napreznja u ploči određuje se prema sljedećim tablicama. Razlikujemo ploče pridržane na 2 ruba ili na jednom rubu.

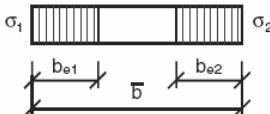
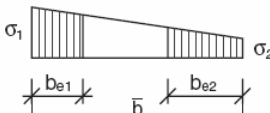
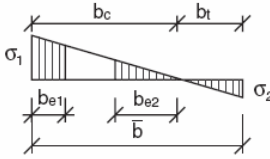
Djelotvorna površina: $A_{C,eff} = \rho \cdot A_C$

ρ - faktor redukcije za izbočavanje

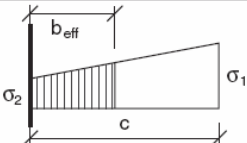
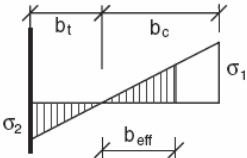
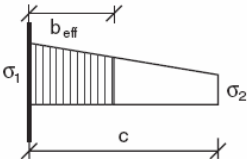
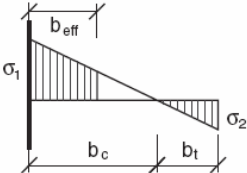
Za ploču pridržanu na 2 ruba: $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \leq 1,0$

Za ploču pridržanu na 1 rubu: $\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2}$

pri čemu je $\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr}}} = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$

Spannungsverteilung (Druck positiv)				Wirksame Breite b_{eff}		
				$\psi = 1:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = 0,5 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,5 b_{eff}$		
				$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho \bar{b}$ $b_{e1} = \frac{2}{5-\psi} b_{eff} \quad b_{e2} = b_{eff} - b_{e1}$		
				$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho \bar{b} / (1-\psi)$ $b_{e1} = 0,4 b_{eff} \quad b_{e2} = 0,6 b_{eff}$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$	-1	$-1 > \psi > -2$
Beulwert k_σ	4,0	$8,2 / (1,05 + \psi)$	7,8	$7,81 - 6,29\psi + 9,78\psi^2$	23,9	$5,98 (1 - \psi)^2$
Alternativ für $1 \geq \psi \geq -1:$				$k_\sigma = \frac{16}{\sqrt{(1+\psi)^2 + 0,112(1-\psi)^2 + (1+\psi)}}$		

Tablica: Tlačno naprezana ploča pridržana na 2 kraja

Spannungsverteilung (Druck positiv)		Wirksame Breite b_{eff}		
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$		
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	0	-1	$1 \geq \psi \geq -3$
Beulwert k_σ	0,43	0,57	0,85	$0,57 - 0,21\psi + 0,07\psi^2$
		$1 > \psi \geq 0:$ $b_{eff} = \rho c$		
		$\psi < 0:$ $b_{eff} = \rho b_c = \rho c / (1 - \psi)$		
$\psi = \sigma_2 / \sigma_1$	1	$1 > \psi > 0$	0	$0 > \psi > -1$
Beulwert k_σ	0,43	$0,578 / (\psi + 0,34)$	1,70	$1,7 - 5\psi + 17,1\psi^2$
				23,8

Tablica: Tlačno naprezana ploča pridržana na 1 kraju

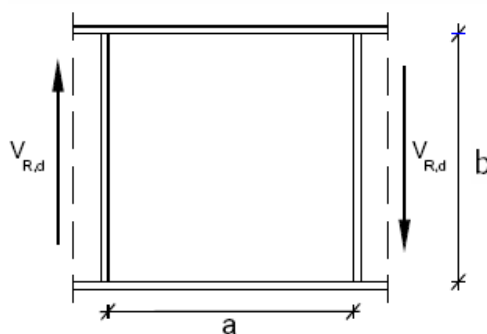
Faktor izbočavanja za posmična napreznja k_τ određuju se pomoću izraza:

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 + k_{\tau st} \quad \text{za } a / b \geq 1$$

$$k_\tau = 4,00 + 5,34 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 + k_{\tau st} \quad \text{za } a / b < 1$$

Prvi dio izraza odnosi se na poznate koeficijente za izbočavanje bez uzdužnih rebara, a dodatni dio je dodataka za ukručene limove između poprečnih rebara.

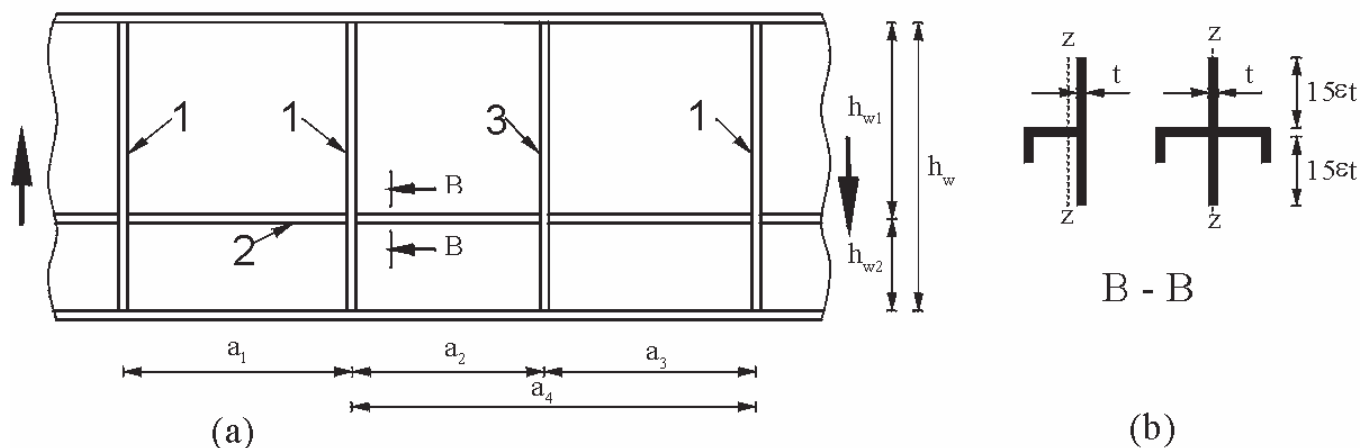
U slučaju jedne uzdužne ukrute: $k_{\tau st} = 9 \cdot \left(\frac{b}{a}\right)^2 \cdot \sqrt[4]{\left(\frac{I_{sl}}{t^3 \cdot b}\right)} \geq \frac{2,1}{t} \cdot \sqrt[3]{\left(\frac{I_{sl}}{b}\right)}$



a – razmak krutih poprečnih ukrućenja

I_{sl} - moment tromosti uzdužnih rebara s odgovarajućim dijelom lima oko z – osi prema sljedećoj slici (na svaku stranu od ukrućenja uzima se sudjelujuća širina hrpta od $15 \cdot \varepsilon$, što mora biti manje od udaljenosti između ukrućenja)

Za više uzdužnih rebara, bez obzira za raspored uzima se zbroj tromosti svih pojedinačnih rebara (Metalni mostovi str. 308)



Poprečno ukrućenje mora zadovoljiti određenu minimalnu krutost (neovisno radilo se o krutim ili elastično popustljivim ukrućenjima):

$$I_{st} \geq 1,50 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t^3}{a^2} \quad \text{za} \quad \frac{a}{h_w} < \sqrt{2}$$

$$I_{st} \geq 0,75 \cdot h_w \cdot t^3 \quad \text{za} \quad \frac{a}{h_w} \geq \sqrt{2}$$

Kruta nepopustljiva međuukrućenja moraju se osim toga ispitati na uzdužnu silu koja je jednaka poprečnoj sili umanjenoj za dio koji prenosi hrbat:

$$N = V_{sd} - \chi_w \cdot f_{yw} \cdot h_w \cdot t / \sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}$$

χ_w se određuje za dvostruko polje izbočavanja desno i lijevo od poprečne ukrute, a promatrana poprečna ukruta ne uzima se u obzir. Za slučaj promjenjive posmične sile dokaz se provodi za posmičnu silu na razmaku od $0,5 h_w$ od ruba polja izbočavanja sa najvećom posmičnom silom.

3.) Idealno naprezanje izbočavanja:

$$\sigma_{crit} = k_\sigma \cdot \sigma_E$$

$$\tau_{crit} = k_\tau \cdot \sigma_E$$

4.) Faktor povećanja : α_{ult}

$$\frac{1}{\alpha_{ult}^2} = \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{f_y} \right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2$$

5.) Faktor povećanja : α_{crit}

$$\frac{1}{\alpha_{crit}} = \frac{1 + \psi_x}{4 \cdot \alpha_{crit,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4 \cdot \alpha_{crit,z}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4 \cdot \alpha_{crit,x}} + \frac{1 + \psi_z}{4 \cdot \alpha_{crit,z}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2 \cdot \alpha_{crit,x}^2} + \frac{1 - \psi_z}{2 \cdot \alpha_{crit,z}^2} + \frac{1}{\alpha_{crit,\tau}^2} \right]^{1/2}$$

gdje je :

$$\alpha_{crit,x} = \frac{\sigma_{crit,x}}{\sigma_{x,Ed}}$$

$$\alpha_{crit,z} = \frac{\sigma_{crit,z}}{\sigma_{z,Ed}}$$

$$\alpha_{crit,\tau} = \frac{\tau_{crit,\tau}}{\tau_{\tau,Ed}}$$

6.) Vitkost : $\overline{\lambda}_p$

$$\overline{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{crit}}}$$

7.) Koeficijenti redukcije:

a) ρ_x i ρ_z

Koeficijent redukcije ρ_C za određivanje graničnih naprezanja $\sigma_{x,Rd}$ i $\sigma_{z,Rd}$ za redukciju u interakciji izvijanja i izbočavanja:

$$\rho_C = (\rho - \chi_C) \cdot \xi \cdot (2 - \xi) + \chi_C$$

Za $\xi = 0$ imamo slučaj čistog izvijanja, a za $\xi = 1$ dobivamo slučaj čistog izbočavanja.

i) ρ - faktor redukcije za izbočavanje

Za ploču pridržanu na 2 ruba:
$$\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\overline{\lambda}_p^2} \leq 1,0$$

Za ploču pridržanu na 1 rubu:
$$\rho = \frac{\overline{\lambda}_p - 0,188}{\overline{\lambda}_p^2}$$

ii) $$\xi = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,c}} - 1 \quad 0 \leq \xi \leq 1$$

sa idealnim naprežanjem izbočavanja σ_{crit} , koji može uzrokovati ponašanje slično izvijanju štapova

$\sigma_{cr,p}$ - kritičan napon za izbočavanje ekvivalentne ortotropne ploče (Metalni mostovi, str. 300)

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E$$

Idealno naprezanje izvijanja: $\sigma_{cr,c}$

- za neukruženu ploču

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot t^2}{12 \cdot (1 - \nu^2) \cdot a^2} = 189800 \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2 \quad [\text{N/mm}^2]$$

- za ukruženu ploču

$$\sigma_{cr,c} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{x,St}}{A_{St} \cdot a^2}$$

gdje je

$I_{x,St}$ – moment tromosti ukrućenja kao zamjenskog štapa koji se izvija okomito na ravninu lima

A_{St} – bruto površina zamjenskog štapa na kojem promatramo izvijanje

iii)

$$\chi_c = \frac{1}{\varphi + \sqrt{\varphi^2 - \bar{\lambda}_c^2}}$$

sa

$$\varphi = 0,5 \cdot (1 + \alpha_e \cdot (\bar{\lambda}_c - 0,2) + \bar{\lambda}_c^2)$$

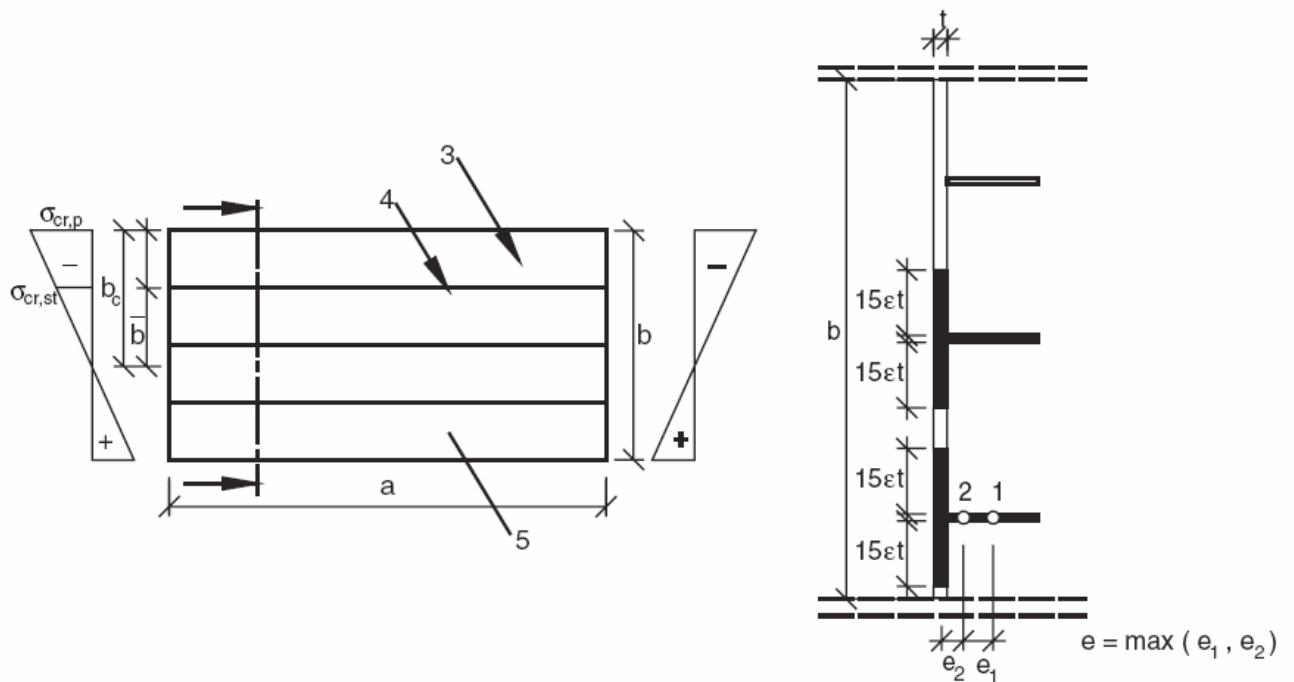
gdje je

α_e – kod neukrućenih polja : $\alpha_e = 0,21$

– kod ukrućenih polja : $\alpha_e = \alpha_0 + \frac{0,09}{i/e}$

$$i = \sqrt{\frac{I_{st}}{e}}$$

$e = \max(e1, e2)$ veća udaljenost sa slike ($e2$ – udaljenost od težišta ploče do težišta fiktivnog poprečnog presjeka, $e1$ – udaljenost od težišta fiktivnog poprečnog presjeka do težišta ukrute)



Oznake:

- 1 – težište ukrute
- 2 – težište fiktivnog poprečnog presjeka = ukruta i pripadajući dio ploče
- 3 – dio polja
- 4 – ukruta
- 5 – debljina lima
- $\alpha_0 = 0,34$ (linija izvijanja b) za sandučaste poprečne presjeke
- $\alpha_0 = 0,49$ (linija izvijanja c) za otvorene poprečne presjeke

Svedena vitkost $\bar{\lambda}_c$ za izvijanje štapova:

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad - \text{ za neukružene limove}$$

$$\bar{\lambda}_c = \sqrt{\frac{\beta_{A,c} \cdot f_y}{\sigma_{cr,c}}} \quad - \text{ za ukružene limove}$$

gdje je $\beta_{A,c} = \frac{A_{eff,c}}{A_c}$

A_c - bruto površina tlačne zone ukružene ploče

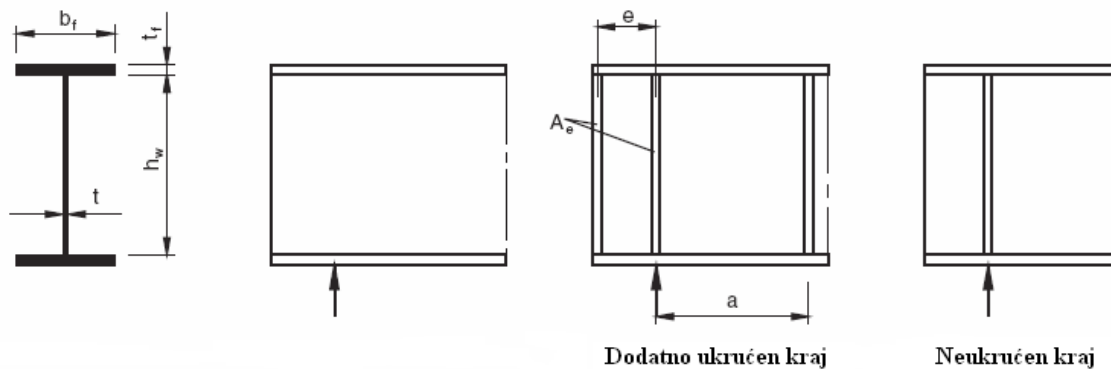
$A_{eff,c}$ - reducirana bruto površina svih elemenata tlačne zone ukružene ploče

b) χ_v

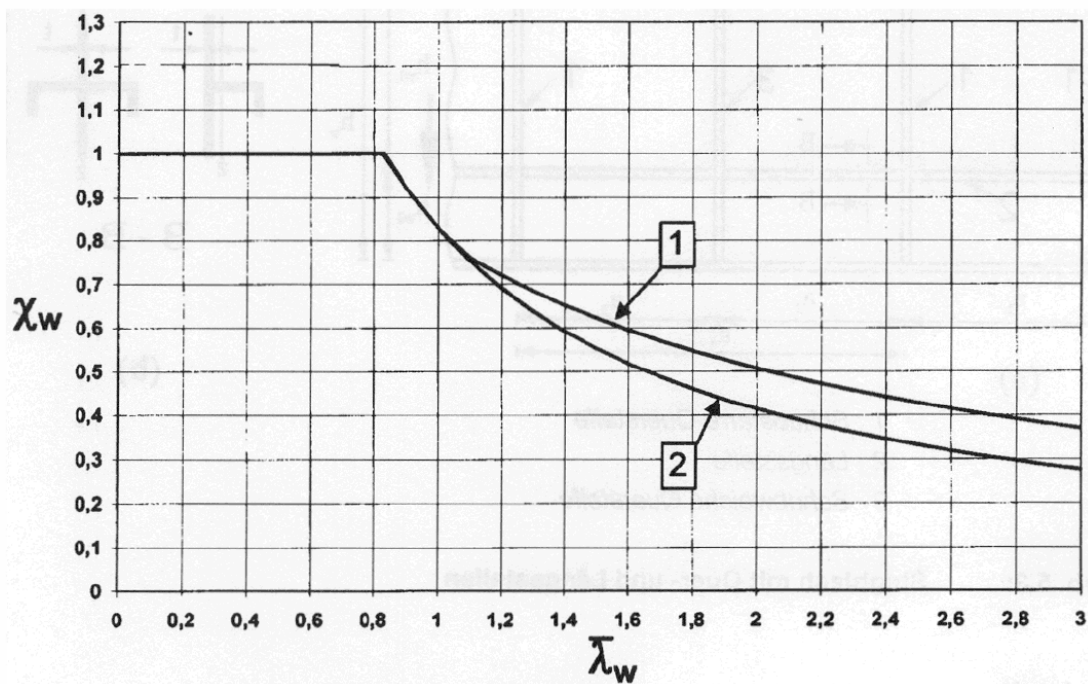
$$\chi_v = \chi_w + \chi_f \leq 1,0$$

$\chi_f = 0$ – faktor doprinosa pojasnice se kod mostova zanemaruje

Za dokaz izbočavanja se vrijednost $\bar{\lambda}_w$ zamjenjuje vrijednošću $\bar{\lambda}_p$ prema sljedećoj tablici:



	Dodatno ukrućen kraj	Neukrućen kraj
$\bar{\lambda}_w < 0,83$	1	1
$0,83 \leq \bar{\lambda}_w < 1,08$	$0,83/\bar{\lambda}_w$	$0,83/\bar{\lambda}_w$
$\bar{\lambda}_w \geq 1,08$	$1,37/(0,7 + \bar{\lambda}_w)$	$0,83/\bar{\lambda}_w$



- 1 – Dodatno ukrućeni kraj
 2 – Neukrućeni kraj

8. Dokaz nosivosti:

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 + \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 - \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{z,Ed}}{\rho_z \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right) + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_v \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1.0$$

Kontrola naprezanja

Opterećenje djeluje na čeličnom I presjeku.

Normalna naprezanja:

Tlačna naprezanja na gornjoj pojasnici:

$$\sigma_{f1} = \frac{M_G}{I_{st}} \cdot z_a$$

Vlačna naprezanja na donjoj pojasnici:

$$\sigma_{f2} = \frac{M_G}{I_{st}} \cdot (h - z_a)$$

Poprečnu silu preuzima čelični hrbat:

$$\tau = \frac{V}{A} < \tau_{Rd}$$

Dobivene vrijednosti za Granično stanje nosivosti (GSN) treba pomnožiti sa faktorom 1,35.

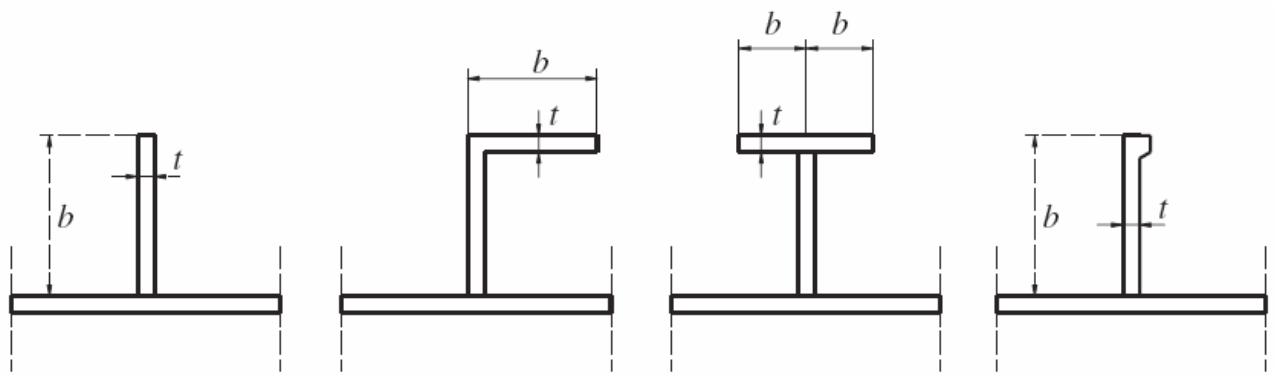
4.2. Kontrola izbočavanja gornje pojasnice:

Gornja pojasnica se promatra kao uzdužno ukrućenje.

Prema DIN FB 104 postavlja se stroži zahtjev za uzdužna ukrućenja nego za klasu (3).

Ovaj zahtjev se poklapa sa zahtjevom DIN 18800 dio 3 prikazanim u tablici

$$\frac{b}{t} = 12,9 \cdot \varepsilon$$



mit $\frac{b}{t} \leq 12,5 \varepsilon$ und $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$

Duljina izvijanja gornje pojasnice:

b – širina gornjeg pojasna

t_w – debljina hrpta

a_w – debljina vara

$$c = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - a_w \cdot \sqrt{2} = 40/2 - 1,2/2 - 0,8 \cdot 1,41 = 18,27 \text{ cm}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$c / t = 18,27 / 2 = 9,13 < 12,5 \cdot 0,81 = 10,13 \quad \text{ZADOVOLJAVA}$$

4.3. Kontrola naprezanja u pojasnici uslijed savijanja u sredini raspona

Proračun naprezanja se provodi po fazama gradnje

4.3.1. Prosta greda - naprezanja po fazama

1.) Faza 1: Vlastita težina + svježi beton + oplata

Opterećenje djeluje na čeličnom presjeku.

$$M_G = 4109,5 \text{ kNm} = 410950 \text{ kNcm}$$

$$I_a = 1652701,2 \text{ cm}^4$$

$$z_a = 95,60 \text{ cm}$$

- GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{f1} = \frac{M_G}{I_a} \cdot z_a = \frac{410950}{1652701,2} \cdot 95,60 = 23,77 \text{ kN/cm}^2$$

- DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = \frac{M_G}{I_a} \cdot (h - z_a) = \frac{410950}{1652701,2} \cdot (146 - 95,60) = 12,53 \text{ kN/cm}^2$$

2.) Faza 2: Dodatno stalno

Opterećenje djeluje na spregnutom presjeku.

$$M_{\Delta G} = 1963 \text{ kNm} = 196300 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,p} = -59,79 \text{ cm}$$

- GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{f1} = \frac{M_{\Delta G}}{I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} + \frac{h_{KOLNIKA}}{2} \right) = \frac{196300}{4295507,2} \cdot \left(-59,79 + \frac{25}{2} \right) = -2,16 \text{ kN/cm}^2$$

- DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = \frac{M_{\Delta G}}{I_{i,p}} \times \left(h - \left| z_{ic,p} + \frac{h_{KOLNIKA}}{2} \right| \right) = \frac{196300}{4295507,2} \times \left(146 - \left| -59,79 + \frac{25}{2} \right| \right) = 4,51 \text{ kN/cm}^2$$

3.) Faza 3: Skupljanje

Opterećenje djeluje na spregnutom presjeku.

$$N_s = 2776 \text{ kN}$$

$$M_s = 1633 \text{ kNm} = 163300 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,s} = 4348186,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,s} = -58,81 \text{ cm}$$

$$A_{i,s} = 903,46 \text{ cm}^2$$

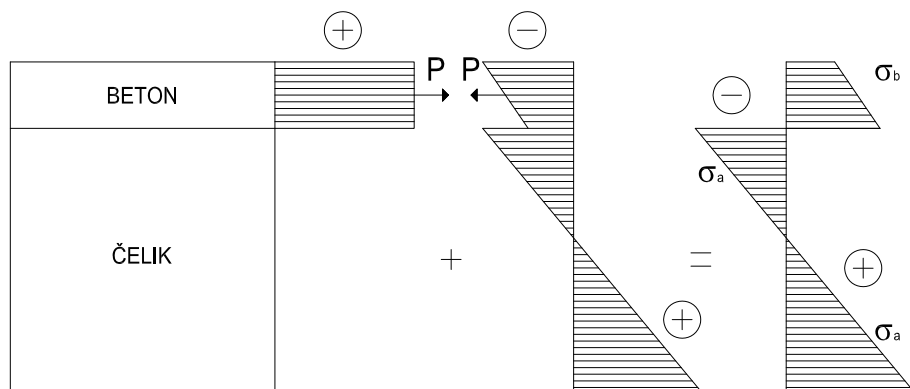
- GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{fl} = -\frac{N_s}{A_{i,s}} + \frac{M_s}{I_{i,s}} \cdot \left(z_{ic,s} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right) = -\frac{2776}{903,46} + \frac{163300}{4348186,2} \cdot (-58,81 + 12,5) = -4,81 \text{ kN/cm}^2$$

- DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = -\frac{N_s}{A_{i,s}} + \frac{M_s}{I_{i,s}} \cdot \left(h - \left| z_{ic,s} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right| \right) = -\frac{2776}{903,46} + \frac{163300}{4348186,2} \cdot (146 - |-58,81 + 12,5|) = -3,07 + 3,74 = 0,67 \text{ kN/cm}^2$$

RASPODJELA NAPREZANJA U POPREČNOM PRESJEKU



4.) Promet

Opterećenje djeluje na spregnutom presjeku.

$$M_Q = 2360 + 2134.78 = 4514.78 \text{ kNm} = 451478 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,PT} = 4768321.7 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,PT} = -51.04 \text{ cm}$$

GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{f1} = \frac{M_Q}{I_{i,PT}} + \frac{M_S}{I_{i,S}} \cdot \left(z_{ic,PT} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right) = \frac{451478}{4768321.7} \cdot (-51.04 + 12.5) = -3.65 \text{ kN/cm}^2$$

DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = \frac{M_Q}{I_{i,PT}} \cdot \left(h - \left| z_{ic,PT} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right| \right) = \frac{451478}{4768321.7} \cdot (146 - |-51.04 + 12.5|) = 10.17 \text{ kN/cm}^2$$

FAZA GRADNJE	GORNJA POJASNICA [kN/cm ²]	DONJA POJASNICA [kN/cm ²]
FAZA 1	-23.77	12.53
FAZA 2	-2.16	4.51
SKUPLJANJE	-4.81	0.67
PROMETNO	-3.65	10.17

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI

- GORNJA POJASNICA

$$\begin{aligned} \sigma_{f1,Ed} &= 1,35 (G + \Delta G) + 1,50 Q + 1,00 C_s \\ &= 1,35 (-23,77 - 2,16) + 1,50 (-3,65) + 1,00 (-4,01) \\ &= -35,00 - 5,48 + (-4,81) \\ &= -45,29 \text{ kN/m}^2 < 35,5 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

NE ZADOVOLJAVA!

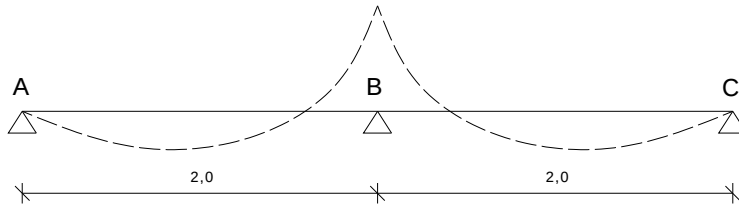
POTREBNO: 1) Promijeniti faze gradnje
2) Elemente poprečnog presjeka

ZAKLJUČAK

Poduprijeti čelične grede u sredini raspona prilikom betoniranja kolničke ploče

4.3.2. Privremeno poduprta greda u sredini raspona - naprezanja po fazama

Faza 1a



Opterećenje:

$$g = 8,47 + 28,125 + 4,50 = 41,095 \text{ kN/m}$$

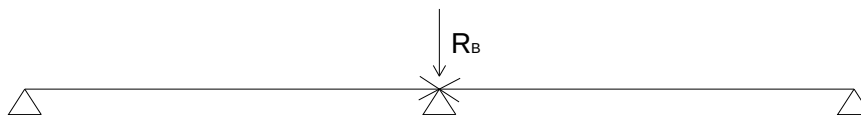
tablice Tomićić : (za dimenzioniranje kontinuiranih greda)

$$R_{B \max} = 1,250 \cdot g \cdot 20 = 1,250 \cdot 41,10 \cdot 20 = 1027,5 \text{ kN}$$

$$M_{B \max} = -0,125 \cdot g \cdot 20^2 = -0,125 \cdot 41,10 \cdot 20^2 = -2055 \text{ kNm}$$

$$M = 0,070 \cdot g \cdot L^2 = 0,070 \cdot 41,10 \cdot 20^2 = 1150,6 \text{ kNm}$$

Faza 2



-na spregnutom presjeku 28 dan ne djeluje R_B

$$M_{\max} = \frac{P \cdot L}{4} = \frac{R_B \cdot L}{4} = \frac{1027,5 \cdot 40}{4} = 10275 \text{ kNm}$$

-ovo su momenti na 1 sanduk, za pola sanduka je polovica sile tj. momenta

Faza 1a : Poduprt nosač

$$M_{G1a} = \frac{1}{2} \cdot (-2055) = -1027,5 \text{ kNm} = -102750 \text{ kNcm}$$

$$I_a = 1652701,2 \text{ cm}^4$$

$$z_a = 95,60 \text{ cm}$$

-GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{f1} = \frac{M_{G1a}}{I_a} \cdot z_a = \frac{-102750}{1652701,2} \cdot (-95,60) = 5,94 \text{ kN/cm}^2 - \text{vlak}$$

-DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = \frac{M_{G1b}}{I_a} \cdot (h - z_a) = \frac{-102750}{1652701,2} \cdot (146 - 95,60) = -3,13 \text{ kN/cm}^2 - \text{tlak}$$

Faza 1b : Spregnuti nosač, otpuštanje srednjeg privremenog stupa

$$M_{G1b} = \frac{1}{2} \cdot 10275 = 5137,5 \text{ kNm} = 513750 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,p} = -59,79 \text{ cm}$$

-GORNJA POJASNICA

$$\sigma_{f1} = \frac{M_{G1b}}{I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right) = \frac{513750}{4295507,2} \cdot \left(-59,79 + \frac{25}{2} \right) = -5,66 \text{ kN/cm}^2 - \text{tlak}$$

-DONJA POJASNICA

$$\sigma_{f2} = \frac{M_{G1b}}{I_{i,p}} \cdot \left(h - \left| z_{ic,p} + \frac{h_{KOLNIK}}{2} \right| \right) = \frac{513750}{4295507,2} \cdot \left(146 - \left| -59,79 + \frac{25}{2} \right| \right) = \frac{513750}{4295507,2} \cdot 98,71 = 11,81 \text{ kN/cm}^2$$

- vlak

NAPREZANJA U POJASNICAMA

FAZE GRADNJE	GORNJA POJASNICA [kN/cm ²]	DONJA POJASNICA [kN/cm ²]
FAZA 1a	5,94	-3,13
FAZA 1b	-5,66	11,81
FAZA 2	-2,16	4,51
SKUPLJANJE	-4,81	0,67
PROMETNO	-3,65	10,17

GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI:

- GORNJA POJASNICA:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f1,Ed} &= 1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,50 \cdot Q + 1,00 \cdot C_s = \\
 &= 1,35 \cdot (5,94 - 5,66 - 2,16) + 1,50 \cdot (-3,65) + 1,00 \cdot (-4,81) \\
 &= -2,54 - 5,475 - 4,81 = -12,83 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

- DONJA POJASNICA:

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f2,Ed} &= 1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,50 \cdot Q + 1,00 \cdot C_s = \\
 &= 1,35 \cdot (-3,13 + 11,81 + 4,54) + 1,50 \cdot 10,17 + 1,00 \cdot 0,67 \\
 &= 17,81 + 15,256 + 0,67 = 33,74 \leq 35,5 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

POJASNICA ZADOVOLJAVA NOSIVOST!!

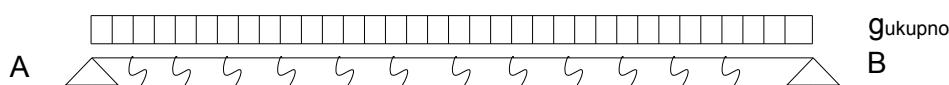
-NAPOMENA:

- Prilikom podupiranja u sredini raspona, javlja se problem puzanja i skupljanja nakon uklanjanja oslonca u sredini.

- Radi se o prisilnoj deformaciji te bi trebalo računati sa drugačijim momentima tromosti poprečnog presjeka.

- Zbog jednostavnosti proračuna uzimamo slučaj kao da je greda poduprta na više mjesta duž raspona, te se radi o kontinuiranom podupiranju.

- Čitava vlastita težina djeluje na spregnutom poprečnom presjeku.



Opterećenje

$$g = 8,47 + 28,125 + 4,50 = 41,10 \text{ kN/m'}$$

Faza 1

Poduprti nosač:

$$M_G = \frac{1}{2} \cdot (41,10) \cdot \frac{40^2}{8} = 41,10 \text{ kNm} = 411000 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,p} = -59,79 \text{ cm}$$

Gornja pojasnica:

$$\sigma_{f1} = \frac{M_G}{I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right) = \frac{411000}{4295507,2} \cdot \left(-59,79 + \frac{25}{2} \right) = -4,52 \text{ kN/cm}^2$$

Donja pojasnica:

$$\sigma_{f2} = \frac{M_G}{I_{i,p}} \cdot \left(h - \left| z_{ic,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right| \right) = \frac{411000}{4295507,2} \cdot \left(146 - \left| -59,79 + \frac{25}{2} \right| \right) = \frac{411000}{4295507,2} \cdot 98,8 = 9,45 \text{ kN/cm}^2$$

Naprezanja u pojasnicama:

FAZE GRADNJE	GORNJA POJASNICA [kN/cm ²]	DONJA POJASNICA [kN/cm ²]
FAZA 1	-4,52	9,44
FAZA 2	-2,16	4,51
SKUPLJANJE	-4,81	0,67
PROMETNO	-3,65	10,17

Granično stanje nosivosti

Gornja pojasnica:

$$\begin{aligned}\sigma_{f1,Ed} &= 1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,50 \cdot Q + 1,00 \cdot C_s = \\ &= 1,35 \cdot (-4,52 - 2,16) + 1,50 \cdot (-3,65) + 1,00 \cdot (-4,81) = \\ &= -19,30 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Donja pojasnica:

$$\begin{aligned}\sigma_{f2,Ed} &= 1,35 \cdot (G + \Delta G) + 1,50 \cdot Q + 1,00 \cdot C_s = \\ &= 1,35 \cdot (9,44 + 4,51) + 1,50 \cdot 10,17 + 1,00 \cdot 0,67 = \\ &= 34,76 \text{ kN/cm}^2 < 35,5 \text{ kN/cm}^2\end{aligned}$$

Zadovoljava !

4.4. Kontrola naprezanja u betonu uslijed savijanja u sredini raspona:

Faza 1 (poduprt nosač):

$$M_G = 4110 \text{ kNm} = 411000 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,p} = -59,79 \text{ cm}$$

$$n_p = 16,7$$

Donji rub betona:

$$\sigma_d = -\frac{N}{n \cdot A_i} + \frac{M}{n \cdot I_{i,p}} \cdot z_i = \frac{M_G}{n_p \cdot I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} - \frac{h_{kolnik}}{2} \right)$$

$$\sigma_d = \frac{411000}{16,7 \cdot 4295507,2} \cdot \left(-59,79 + \frac{25}{2} \right) = -0,27 \text{ kN/cm}^2 = -2,7 \text{ N/mm}^2$$

Gornji rub betona:

$$\sigma_g = \frac{M_G}{n_p \cdot I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right)$$

$$\sigma_g = \frac{411000}{16,7 \cdot 4295507,2} \cdot \left(-59,79 - \frac{25}{2} \right) = -0,41 \text{ kN/cm}^2 = -4,1 \text{ N/mm}^2$$

Faza 2 (dodatno stalno):

$$M_{\Delta G} = 1963 \text{ kNm} = 196300 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,p} = -59,79 \text{ cm}$$

Donji rub betona:

$$\sigma_d = \frac{M_{\Delta G}}{n_p \cdot I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} - \frac{h_{kolnik}}{2} \right)$$

$$\sigma_d = \frac{196300}{16,7 \cdot 4295507,2} \cdot \left(-59,79 + \frac{25}{2} \right) = -0,13 \text{ kN/cm}^2 = -1,3 \text{ N/mm}^2$$

Gornji rub betona:

$$\sigma_g = \frac{M_{\Delta G}}{n_p \cdot I_{i,p}} \cdot \left(z_{ic,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right)$$

$$\sigma_g = \frac{196300}{16,7 \cdot 4295507,2} \cdot \left(-59,79 - \frac{25}{2} \right) = -0,20 \text{ kN/cm}^2 = -2,0 \text{ N/mm}^2$$

Faza 3: Skupljanje

$$N_s = 2776 \text{ kN}$$

$$M_s = 1633 \text{ kNm} = 163300 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,s} = 4348186,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{i,cs} = -58,81 \text{ cm}$$

$$A_c = 5625 \text{ cm}^2$$

$$A_{i,s} = 903,46 \text{ cm}^2$$

$$n_{s,to} = 16,0$$

$$\sigma_b = + \frac{N_s}{A_c} - \frac{N_s}{n_s \cdot A_{i,s}} + \frac{M_s}{n_s \cdot I_{i,s}} \cdot z_i$$

Donji rub betona :

$$\begin{aligned} \sigma_d &= \frac{N_s}{A_c} - \frac{N_s}{n_s \cdot A_{i,s}} + \frac{M_s}{n_s \cdot I_{i,s}} \cdot \left(z_{i,cs} - \frac{h_{kolnika}}{2} \right) \\ &= \frac{2776}{5625} - \frac{2776}{16,0 \cdot 903,46} + \frac{163300}{16,0 \cdot 4348186,2} \cdot \left(-58,81 + \frac{25}{2} \right) \\ &= 0,49 - 0,19 - 0,11 = +0,19 \text{ kN/cm}^2 = 1,9 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Gornji rub betona :

$$\begin{aligned} \sigma_g &= \frac{N_s}{A_c} - \frac{N_s}{n_s \cdot A_{i,s}} + \frac{M_s}{n_s \cdot I_{i,s}} \cdot \left(z_{i,cs} - \frac{h_{kolnika}}{2} \right) \\ &= \frac{2776}{5625} - \frac{2776}{16,0 \cdot 903,46} + \frac{163300}{16,0 \cdot 4348186,2} \cdot \left(-58,81 - \frac{25}{2} \right) \\ &= 0,49 - 0,19 - 0,11 = +0,14 \text{ kN/cm}^2 = 1,4 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Prometno opterećenje :

$$M_Q = 2380 + 2134,78 = 4514,78 \text{ kNm} = 451478 \text{ kNcm}$$

$$I_{i,pt} = 4768321,7 \text{ cm}^4$$

$$z_{ic,pt} = -51,04 \text{ cm}$$

$$n_{pt} = 11,5$$

Donji rub betona :

$$\sigma_d = \frac{M_Q}{n_{pt} \cdot I_{i,pt}} \cdot \left(z_{ic,pt} - \frac{h_{kolnika}}{2} \right) = \frac{451478}{11,5 \cdot 4768321,7} \cdot \left(-51,04 + \frac{25}{2} \right) = -0,32 \text{ kN/cm}^2$$

Gornji rub betona :

$$\sigma_d = \frac{M_Q}{n_{pt} \cdot I_{i,pt}} \cdot \left(z_{ic,pt} + \frac{h_{kolnika}}{2} \right) = \frac{451478}{11,5 \cdot 4768321,7} \cdot \left(-51,04 - \frac{25}{2} \right) = -0,52 \text{ kN/cm}^2$$



Naprezanja u betonu :

Faza građenja	Beton dolje [N/mm ²]	Beton gore [N/mm ²]
Faza 1	-2,7	-4,1
Faza 2	-1,3	-2,0
Skupljanje	1,9	1,4
Promet	-0,32	-0,52

Za kombinaciju opterećenja beton je u tlaku.

4.5. Nosivost hrpta

Kontrola stabilnosti hrpta napraviti će se nakon provjere normalnih naprezanja u pojasnicama.

Pretpostavlja se da hrbat čeličnog sanduka prenosi posmičnu silu.

Kontrola stabilnosti se provodi na razini naprezanja.

Poprečna sila i torzija uzrokuju posmična naprezanja u hrptovima.

Čelični hrbat prenosi normalna i sva posmična naprezanja.

Normalna naprezanja na rubovima hrpta:

- mijenja se položaj težišta za pojedina djelovanja.
- stoga se za svaku fazu izračunavaju naprezanja.

FAZA 1:

$$M_G = 411000 \text{ kNcm}$$

$$I_{t,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{t0,p} = -59,79 \text{ cm}$$

- gornji rub hrpta:

$$\sigma_{hg} = \frac{M_G}{I_{t,p}} \left(z_{t0,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} + t_{fg} \right)$$

$$\sigma_{hg} = \frac{411000}{4295507,2} \left(-59,79 + \frac{25}{2} + 2 \right) = -4,33 \text{ kN/cm}^2$$

- donji rub hrpta:

$$\sigma_{hd} = \frac{M_G}{I_{t,p}} \left(h - \left| z_{t0,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right| - t_{fd} \right)$$

$$\sigma_{hd} = \frac{411000}{4295507,2} \left(746 - \left| -59,79 + \frac{25}{2} \right| - 4 \right) = 6,67 \text{ kN/cm}^2$$

FAZA 2:

$$M_{AG} = 1963 \text{ kNm} = 196300 \text{ kNcm}$$

$$I_{t,p} = 4295507,2 \text{ cm}^4$$

$$z_{t0,p} = -59,79 \text{ cm}$$

- gornji rub hrpta:

$$\sigma_{hg} = \frac{M_G}{I_{t,p}} \left(z_{t0,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} + t_{fg} \right)$$

$$\sigma_{hg} = \frac{196300}{4295507,2} \left(-59,79 + \frac{25}{2} + 2 \right) = -2,07 \text{ kN/cm}^2$$

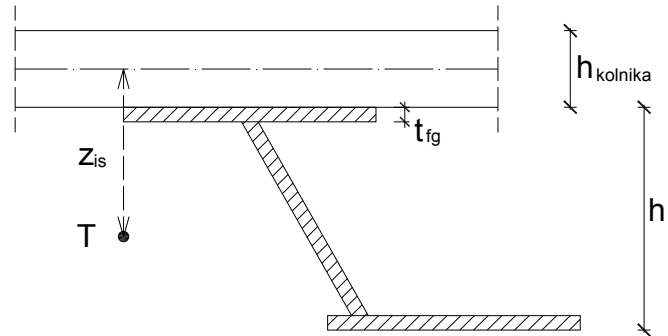
- donji rub hrpta:

$$\sigma_{hd} = \frac{M_G}{I_{t,p}} \left(h - \left| z_{t0,p} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right| - t_{fd} \right)$$

$$\sigma_{hd} = \frac{196300}{4295507,2} \left(746 - \left| -59,79 + \frac{25}{2} \right| - 4 \right) = 3,19 \text{ kN/cm}^2$$

FAZA 3: SKUPLJANJE

$$\begin{aligned}
 N_s &= 2776 \text{ kN} \\
 M_s &= 1633 \text{ kNm} = 163300 \text{ kNcm} \\
 I_{i,s} &= 4348186,2 \text{ cm}^4 \\
 z_{ic,s} &= -58,81 \text{ cm} \\
 A_{i,s} &= 903,46 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$



GORNJA POJASNICA

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f1} &= -\frac{N_s}{A_{i,s}} + \frac{M_s}{I_{i,s}} \left(z_{ic,s} + \frac{h_{kolnik}}{2} + t_{fg} \right) = -\frac{2776}{903,46} + \frac{163300}{4348186,2} \left(-58,81 + \frac{25}{2} + 2 \right) = \\
 &= -3,07 - 1,66 = -4,73 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

DONJA POJASNICA

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f2} &= -\frac{N_s}{A_{i,s}} + \frac{M_s}{I_{i,s}} \left(h - \left| z_{ic,s} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right| - t_{fd} \right) = -\frac{2776}{903,46} + \frac{163300}{4348186,2} \left(146 - \left| -58,81 + \frac{25}{2} \right| - 4 \right) = \\
 &= -3,07 + 3,65 = 0,58 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

4) PROMET

$$\begin{aligned}
 M_Q &= 2360 + 2134,78 = 4514,78 \text{ kNm} = 451478 \text{ kNcm} \\
 I_{i,PT} &= 4768321,7 \text{ cm}^4 \\
 z_{ic,PT} &= -51,04 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

GORNJA POJASNICA

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f1} &= \frac{M_Q}{I_{i,PT}} \left(z_{ic,PT} + \frac{h_{kolnik}}{2} + t_{fg} \right) = \frac{451478}{4768321,7} \left(-51,04 + \frac{25}{2} + 2 \right) = \\
 &= -3,46 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

DONJA POJASNICA

$$\begin{aligned}
 \sigma_{f2} &= \frac{M_Q}{I_{i,PT}} \left(h - \left| z_{ic,PT} + \frac{h_{kolnik}}{2} \right| - t_{fd} \right) = \frac{451478}{4768321,7} \left(146 - \left| -51,04 + \frac{25}{2} \right| - 4 \right) = \\
 &= \frac{451478}{4768321,7} \cdot 103,46 = 9,80 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

FAZA GRAĐENJA	GORNJI RUB HRPTA [kN/cm ²]	DONJI RUB HRPTA [kN/cm ²]
FAZA 1	-4,33	6,67
FAZA 2	-2,07	3,19
SKUPLJANJE	-4,73	0,58
PROMETNO	-3,46	9,80

ZA GRANIČNO STANJE NOSIVOSTI (GSN):

$$\begin{aligned}
 \sigma_{hg} &= 1,35 \times (G + \Delta G) + 1,50Q + 1,00 \times C_s = \\
 &= 1,35 \times (-4,33 - 2,07) + 1,50 \times (-3,46) + 1,00 \times (-4,73) = \\
 &= -18,56 \text{ kN/cm}^2 \\
 \sigma_{hd} &= 1,35 \times (G + \Delta G) + 1,50Q + 1,00 \times C_s = \\
 &= 1,35 \times (6,67 + 3,19) + 1,50 \times 9,60 + 1,00 \times 0,58 = \\
 &= 28,29 \text{ kN/cm}^2
 \end{aligned}$$

KONTROLA IZVIJANJA HRPTA – SREDNJA POLJA:

1. Eulerova naprezanja:

$$\sigma_E = 189800 \left(\frac{t}{b} \right)^2 = 189800 \left(\frac{1,2}{146} \right)^2 = 12,82 \text{ N/mm}^2$$

2. Faktor izbočavanja za normalna naprezanja:

$$\Psi = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{28,59}{-18,56} = -1,54$$

$$-1 \geq \Psi \geq -2 \rightarrow k_\sigma = 5,98(1 - \Psi)^2 = 5,98(1 + 1,54)^2 = 38,58$$

FAKTOR IZBOČAVANJA ZA POSMIČNA NAPREZANJA

a / b ≥ 1

$$k_\tau = 5,34 + 4,00 \left(\frac{b}{a} \right)^2 = 5,34 + 4,00 \left(\frac{146}{600} \right)^2 = 5,58$$

3. Idealno naprezanje izbočavanja

$$\sigma_{\text{crit}} = k_{\sigma} \cdot \sigma_E = 38.58 \cdot 12.82 = 494.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\tau_{\text{crit}} = k_{\tau} \cdot \sigma_E = 5.58 \cdot 12.82 = 71.53 \text{ N/mm}^2$$

4. Faktor povećanja: α_{ULT}

$$\frac{1}{\alpha_{\text{ULT}}^2} = \left(\frac{\sigma_{x,\text{Ed}}}{f_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{\tau_{\text{Ed}}}{f_y} \right)^2$$

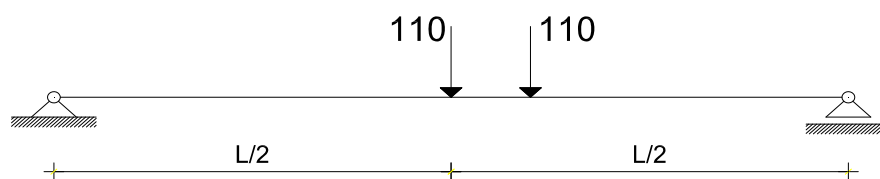
$$\sigma_x = -18.56 \text{ kN/cm}^2$$

Posmična naprezanja:

a) Od poprečne sile

$$V_{\text{sd}} = 1.5 \cdot (110.04 \cdot 0.97) = 160 \text{ kN}$$

$$\tau = \frac{V_{\text{sd}}}{A_w} = \frac{160}{1.2 \cdot 146} = 0.91 \text{ kN/cm}^2 = 9.1 \text{ N/mm}^2$$



b) Od torzije

$$M_T = 1.50 \cdot 140.08 = 210.12 \text{ kNm}$$

Naprezanja od torzije :

$$M = \frac{M_t}{2 \cdot A_m} \quad \tau = \frac{T}{t}$$

$$A = 1,946 \text{ m}^2$$

$$t = 12 \text{ mm} = 0,012 \text{ m}$$

$$\tau_{\text{torzija}} = \frac{M_t}{2 \cdot A_m \cdot t} = \frac{210,12}{2 \cdot 1,946 \cdot 0,012} = 4499 \text{ kN/m}^2 = 0,45 \text{ kN/cm}^2$$

Ukupno posmično naprezanje :

$$\tau_{ED} = 1,50 \cdot \tau_Q = 1,50 \cdot (0,91 + 0,45) = 2,04 \text{ kN/cm}^2$$

Faktor povećanja

$$\frac{1}{\alpha_{ult}} = \left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{f_y} \right)^2 + 3 \left(\frac{\tau_{Ed}}{f_y} \right)^2 = \left(\frac{-18,65}{35,5} \right)^2 + 3 \left(\frac{2,04}{35,5} \right)^2$$

$$\frac{1}{\alpha_{ult}} = 0,276 + 0,010 = 0,286$$

$$\alpha_{ult}$$

$$\alpha_{ult} = 1,87$$

5) Faktor povećanja α_{crit} :

$$\frac{1}{\alpha_{crit}} = \frac{1 + \psi_x}{4 \cdot \alpha_{crit,x}} + \left[\left(\frac{1 + \psi_x}{4 \cdot \alpha_{crit,x}} \right)^2 + \frac{1 - \psi_x}{2 \cdot \alpha_{crit,x}^2} + \frac{1}{\alpha_{crit,\tau}^2} \right]^{1/2}$$

$$\alpha_{crit,x} = \frac{\alpha_{crit,x}}{\alpha_{x,Ed}} = \frac{494,6}{-186,5} = -2,65$$

$$\psi_x = -1,54$$

$$\alpha_{crit,\tau} = \frac{\tau_{crit,x}}{\tau_{x,Ed}} = \frac{71,53}{20,4} = 3,51$$

$$\frac{1}{\alpha_{crit}} = \frac{1 - 1,54}{4 \cdot (-2,65)} + \left[\left(\frac{1 - 1,54}{4 \cdot (-2,65)} \right)^2 + \frac{1 - (-1,54)}{2 \cdot (2,65)^2} + \frac{1}{(3,51)^2} \right]^{1/2}$$

$$\frac{1}{\alpha_{crit}} = +0,05 + [0,003^2 + 0,18 + 0,08]^{1/2} = 0,55$$

$$\alpha_{crit} = 1,786$$

6.) Vitkost λ_p

$$\bar{\lambda}_p = \sqrt{\frac{\sigma_{ult}}{\sigma_{crit}}} = \sqrt{\frac{1,87}{1,786}} = 1,02$$

7.) Koeficijent redukcije

$$a) \quad \rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \varepsilon \cdot (2 - \varepsilon) + \chi_c$$

$$i. \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055 \cdot (3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p} = \frac{1,02 - 0,055 \cdot (3 - 1,54)}{1,02^2} = \frac{0,9397}{1,04} = 0,903$$

$$ii. \quad \varepsilon = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,0}} - 1$$

$$\sigma_{cr,p} = k_{\sigma,p} \cdot \sigma_E = k_{\sigma,p} \cdot 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2$$

$$\sigma_{cr,0} = 189800 \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma_{cr,p}}{\sigma_{cr,0}} - 1 = \frac{k_{\sigma,p} \cdot 189800 \cdot \left(\frac{t}{b}\right)^2}{189800 \cdot \left(\frac{t}{a}\right)^2} - 1 = k_{\sigma,p} \cdot \left(\frac{a}{b}\right)^2 - 1$$

$$\varepsilon = 38,58 \cdot \left(\frac{600}{145}\right)^2 - 1 = 659 \rightarrow \varepsilon = 1$$

$$\rho_c = (\rho - \chi_c) \cdot \varepsilon \cdot (2 - \varepsilon) + \chi_c = (0,903 - \chi_c) \cdot 1 \cdot 1 + \chi_c = 0,903$$

b) λ_v

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_{yw}}{\tau_{crit}}} = \sqrt{\frac{35,5}{7,153}} = 2,23$$

$$\bar{\lambda}_w \geq 1,08 \rightarrow \chi_w = \frac{0,83}{\bar{\lambda}_w} = \frac{0,83}{2,23} = 0,37$$

$$\chi_v = \chi_w + \chi_f \leq 1,0 \rightarrow \chi_v = 0,37$$

8.) Dimenzioniranje

$$\left(\frac{\sigma_{x,Ed}}{\rho_x \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{Ed}}{\chi_v \cdot f_y / \gamma_{M1}} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{-18,65}{0,903 \cdot 35,5} \right)^2 + \left(\frac{2,04}{0,37 \cdot 35,5} \right)^2 = 0,34 + 0,07 = 0,41 \leq 1,0$$

SPREGNUTI MOSTOVI:

Str. 84: Naprezanja u betonu

$$\sigma_{gore} = -4.1 - 2.0 + 1.4 - 0.52 = -5.22 \text{ N/mm}^2$$

C35 / 45

$$\rho = \frac{\sigma_{gore}}{f_{ck}} = \frac{-5.22}{35} = 0.15 = 15\%$$

Za granično stanje nosivosti (GSN) naprezanja u betonu iznose 15% karakteristične čvrstoće betona. Stoga ne postoji problem nelinearnog puzanja betona.

9. Proračun spoja betonske kolničke ploče i gornjeg pojasa gornjeg nosača.

9.1. Nosivost moždanika

Za granično stanje nosivosti:

BETON: C35/45
MOŽDANICI $f_u = 450 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow \Phi 22 \times 175$

Otkazivanje moždanika

$$P_{Rd} = 0.80 \cdot f_u \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot \frac{1}{\gamma_v} = 0.80 \cdot 450 \cdot \frac{\pi \cdot (22)^2}{4} \cdot \frac{1}{1.25} = 109.42 \text{ kN}$$

Otkazivanje preko sloma betona

$$P_{Rd} = 0.25 \cdot \alpha \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_{cm}} \cdot \frac{1}{\gamma_v}$$

$$\gamma_v = 1.25$$

$$\alpha = 1.0 \text{ za } h / d > 4$$

$$h / d = 170 / 22 = 7.73$$

$$P_{Rd} = 0.25 \cdot 1.0 \cdot 22^2 \cdot \sqrt{35 \cdot 33000} \cdot \frac{1}{1.25} = 104.03 \text{ kN} \rightarrow \text{MJERODAVNO}$$

Mjerodavno je otkazivanje betona

Za granično stanje uporabivosti

$$0.60 \cdot P_{Rd} = 0.60 \cdot 104.03 = 62.58 \text{ kN}$$

4.6. Uzdužna posmična sila

- Maksimalna uzdužna sila između čelika i betonske kolničke ploče:

$$V_{L,Ed} = \left| \text{extr } V_{c,Ed,L} \cdot \frac{S_{i,L}}{I_{i,L}} \right|$$

- $S_{i,L}$ - statički moment u spojnoj fugi za promatrano stanje

- $I_{i,L}$ - moment tromosti u promatranoj fazi

Faktor redukcije n_0	$S_{i,c+s,L} [\text{cm}^3]$	$I_{i,L} [\text{cm}^4]$
n_0	35057	5547264,18
$n_{p,t0=28d}$	23744	4295507,2
$n_{pt,t0=28d}$	28042,91	4768321,7
n_s	24221,5	4348186,2

$$V_{EdG} = V_G \cdot \frac{S_{i,c+s,P,t0=28d}}{I_{i,P,t0=28d}} = 410.95 \cdot \frac{35057}{5547284.18} = 2.597 \text{ kNcm} = 259.7 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed\Delta G} = V_{\Delta G} \cdot \frac{S_{i,c+s,P,t0=28d}}{I_{i,P,t0=28d}} = 196.3 \cdot \frac{35057}{5547284.18} = 1.24 \text{ kNcm} = 124 \text{ kNm}$$

$$V_{EdQ} = V_Q \cdot \frac{S_{i,c+s,PT,t0=28d}}{I_{i,PT,t0=28d}} = (238 + 216.78) \cdot \frac{28042.91}{4768321.7} = 2.67 \text{ kNcm} = 267 \text{ kNm}$$

$$V_{EdS} = V_S \cdot \frac{S_{i,c+s,S}}{I_{i,PT,S}} = 0$$

Za granično stanje nosivosti:

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot (V_{EdG} + V_{Ed\Delta G}) + 1.50 \cdot V_{EdQ} = 1.35 \cdot (259.7 + 124) + 1.50 \cdot 267 = 918.5 \text{ kN/m}$$

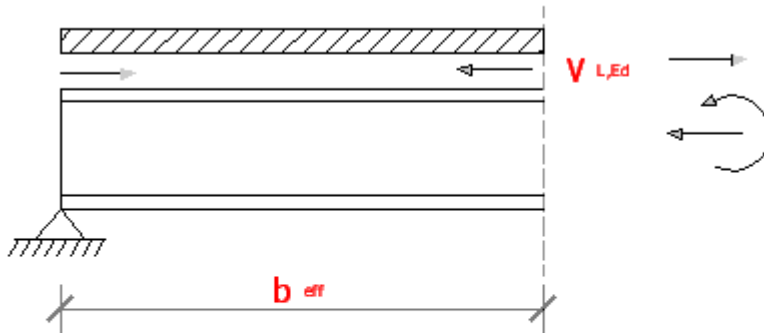
Potreban broj moždanika:

$$n = \frac{V_{Ed}}{P_{Rd}} = \frac{918.5}{104.03} = 8.8 = 9 \text{ moždanika/m}$$

4.7. Moždanici neophodni za preuzimanje posmika od skupljanja Betona na rubu nosača: (metalni mostovi, str. 235.)

$$T_{s,T} = N_{sh} = 2776 \text{ kN} = \sigma_c \cdot A_c$$

- OVA SE SILA RASPODJELEJUJE Približno po pravcu na nekoliko moždanika u dužini $x = L/10$ ili $x = b_{eff}$



$$T_{max} = \frac{2 \cdot T_{s,T}}{b_{eff}}$$

-MAKSIMALNA SILA NA KRAJNI MOŽDANIK



$$V_{L,Ed \max}$$

- PRORAČUN ĆE SE PROVESTI PREMA (PRŽULJ: SPREGNUTE KONSTRUKCIJE STR.57.) (LEITFADEN ZUM DIN FACHBERICHT 104, VERBUNDBRÜCKEN, AUSGABE 2003, STR. 27.)

- UKUPNA POSMIČNA SILA:

$$\begin{aligned}
 T_{Sk} &= \epsilon_s \cdot E_C \cdot n_{s,t_0} \cdot \frac{S_{i,c+s,s}}{a_{st} \cdot I_{i,s}} \left(I_{st} + \frac{I_C}{n_s} \right) \\
 &= 0,000376 \cdot 3330 \cdot 16 \cdot \frac{24221,5}{(83,78 - (-12,5)) \cdot 4348186,2} \left(2339084,2 + \frac{292968,75}{16} \right) \\
 &= 20,03 \cdot 5,7657 \cdot 10^{-5} \cdot 2357394,75 = 2732 \text{ Kn}
 \end{aligned}$$

POTREBAN BROJ MOŽDANIKA:

$$n = \frac{T_{Sk}}{P_{Rd}} = \frac{2732}{104,03} = 26,19 = 27 \text{ MOŽDANIKA}$$

MOŽDANICI SE RASPROSTIRU NA $L/10=4\text{m}$

$$27/4 = 6,75 = 7 \text{ MOŽDANIKA}$$

RAZMAK MOŽDANIKA:

Uzdužni smjer:

- debljina gornje čelične pojasnice: $t_f = 20 \text{ mm}$

$$\max e_L = 22 \cdot t_f \cdot \varepsilon = 22 \cdot 20 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 356 \text{ mm} = 35.6 \text{ cm}$$

$$e \leq 4 \cdot d_{pl} = 4 \cdot 250 = 1000 \text{ mm} = 100 \text{ cm} \leq 800 \text{ mm} = 80 \text{ cm}$$

$$\min e_L = 5 \cdot d = 5 \cdot 22 = 110 \text{ mm} \rightarrow \text{Minimalni razmak}$$

Odabire se raspored tri moždanika u redu

$$e \leq 0.60 \cdot \frac{P_{Rd}}{T_x} = 0.60 \cdot \frac{3 \cdot 104.03}{918.5} = 0.20 \text{ m}$$

Na cijeloj duljini rasponskog sklopa se iz konstruktivnih razloga postavljaju po 3 moždanika u jednom redu na razmaku od 20 cm.

PRORAČUN POSMIČNE SILE U BETONU OKO MOŽDANIKA:

$$V_{Rd,max} = \frac{L_v \cdot a_v \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\text{ctg}\Theta + \text{tg}\Theta} = \frac{L_v \cdot 100 \text{ cm} / \text{m} \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\text{ctg}\Theta + \text{tg}\Theta}$$

L_v - karakteristična duljina posmične plohe

α_c - koeficijent redukcije za tlačne dijagonale $\alpha_c = 0.75$

$\text{ctg}\Theta$ - kotanges kuta nagiba tlačne dijagonale, kada je betonska ploča u tlaku

$\text{ctg}\Theta = 1.2$

$$f_{cd} = \alpha \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 0.85 \cdot \frac{3.5}{1.5} = 1.983 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Nosivost tlačnih dijagonala:

$$V_{Rd,max} = \frac{L_v \cdot 100 \text{ cm} / \text{m} \cdot \alpha_c \cdot f_{cd}}{\text{ctg}\Theta + \text{tg}\Theta} = \frac{25 \cdot 100 \cdot 0.75 \cdot 1.98}{\frac{1}{1.2} + 1.2} = 1825 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 916.5 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 1825 \text{ kN}$$

Provjera vlačnih dijagonala

$$V_{Rd,sy} = \sum a_{su} \cdot f_{sd} \cdot \text{ctg}\Theta$$

$\sum a_{su}$ - poprečna armatura u ploči (u gornjoj i donjoj zoni)

$$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{50}{1.15} = 43.48 \text{ kN} / \text{cm}^2$$

Nosivost vlačnih dijagonala

$$V_{Rd,sy} = 2 \cdot 20.11 \cdot 43.48 \cdot 1.2 = 2098 \text{ kN}$$

Poprečna armatura u gornjoj zoni $\Phi 16/10 \text{ cm} = 20.11 \text{ cm}^2/\text{m}$

Poprečna armatura u donjoj zoni $\Phi 16/10 \text{ cm} = 20.11 \text{ cm}^2/\text{m}$

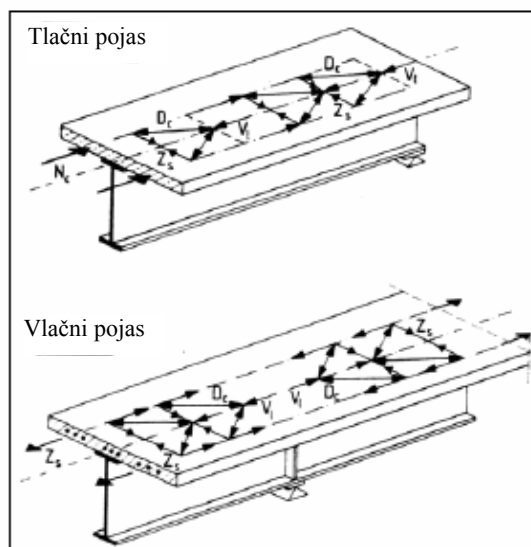
$$V_{Ed} = 918.5 \text{ kN} \leq V_{Rd,sy} = 2098 \text{ kN}$$

Dodatno:

Poprečna armatura i betonski pojas dimenzioniraju se za GSN tako da je prijevremeno odkazivanje uslijed uzdužnog posmika i lokalnog uvođenja opterećenja izbjegnuto.

Proračunska vrijednost djelujuće uzdužne posmične sile $v_{L,Ed}$ na jedinicu duljine mora u za odkazivanje od uzdužnog posmika mjerodavnim presjecima prema sl.5-7 biti manja od nosivosti na uzdužni posmik $v_{L,Rd}$ u svakom promatranom presjeku.

Potrebna poprečna armatura određuje se prikladnim rešetkastim modelima, ovisnim o tome da li je betonska ploča u vlaklu ili tlaku.

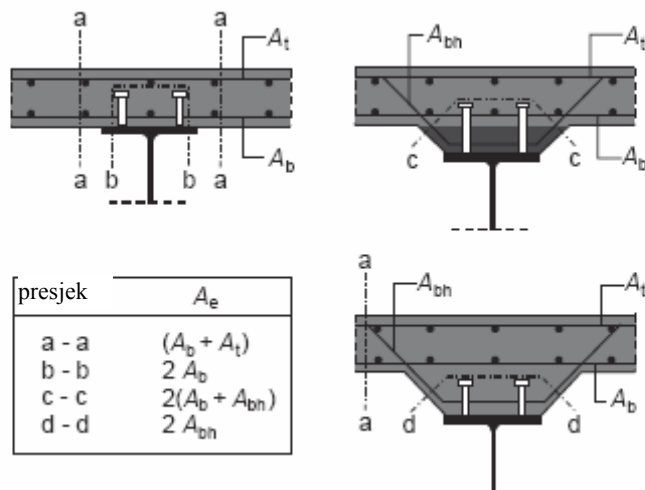


Sl.5-7 Rešetkasti modeli za određivanje poprečne armature od posmičnih sila

Kose glavne tlačne sile D_c su u ravnoteži s uzdužnim posmičnim silama V_t i vlačnim silama Z_s u poprečnoj armaturi.

Proračunske vrijednosti uzdužnih poprečnih sila koje treba preuzeti u pojedinom presjeku proračunavaju se u odnosu pripadnih površina (za tlačne pojaseve: površina betona pripadne ploče, za vlačne pojaseve: površina armature pripadne ploče).

Proračunske vrijednosti nosivosti na posmik u pojedinom presjeku proračunavaju se prema gore navedenim formulama.



Sl.5-7 Tipični presjeci kod odkazivanja betonskog pojasa od uzdužnog posmika

Ako je kod spregnutih nosača razmak između slobodnog ruba i susjednog reda moždanika manji od 300 mm, donja poprečna armatura treba biti izvedena sa što niže postavljenim petljama sa ($D \geq 0,5 \times$ promjer moždanika), da se obuhvate moždanici. Razmak između slobodnog ruba i osi najbližeg moždanika ne smije biti manja od $6 \times$ promjer tijela moždanika.