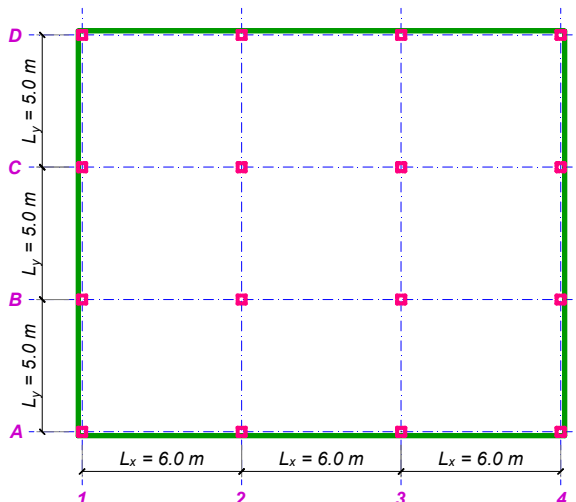


1 PRORAČUN PLOČE POS 101

- varijanta: ploča direktno oslonjena na stubove, bez kapitela -

Dimenzionisati ploču na skici, direktno oslonjenu na 16 stubova visine 4.0 m. Ploča je, pored sopstvene težine, opterećena i dodatnim stalnim opterećenjem $\Delta g = 2 \text{ kN/m}^2$ i povremenim opterećenjem $p = 5 \text{ kN/m}^2$, koja deluju po čitavoj površini ploče. Kvalitet materijala: MB 35, RA 400/500.



1.1 USVAJANJE DEBLJINE PLOČE

Obično je kriterijum za usvajanje debljine ploče vertikalno pomeranje (ugib). Proračun ugiba ploče se uglavnom sprovodi nekim računarskim programom (npr. Tower i slično).

Kako ne postoji jednostavno tablično rešenje, u odsustvu odgovarajućeg softvera se smatra da je ugib u dopuštenim granicama ukoliko su zadovoljene odredbe člana 222 Pravilnika BAB 87:

$$d_{p,\min.} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{\max}}{35} = \frac{600}{35} = 17.1 \text{ cm} \\ 15 \text{ cm} \end{array} \right\} = 17.1 \text{ cm}$$

Zbog nešto većeg povremenog opterećenja, pretpostavlja se $d_p = 20 \text{ cm}$.

1.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

a. stalno opterećenje

- sopstvena težina ploče	$d_p \times \gamma_b = 0.20 \times 25 =$	5.0 kN/m^2
- dodatno stalno opterećenje	$\Delta g =$	2.0 kN/m^2
ukupno, stalno opterećenje	$g =$	7.0 kN/m^2

b. povremeno opterećenje

$$p = 5.0 \text{ kN/m}^2$$

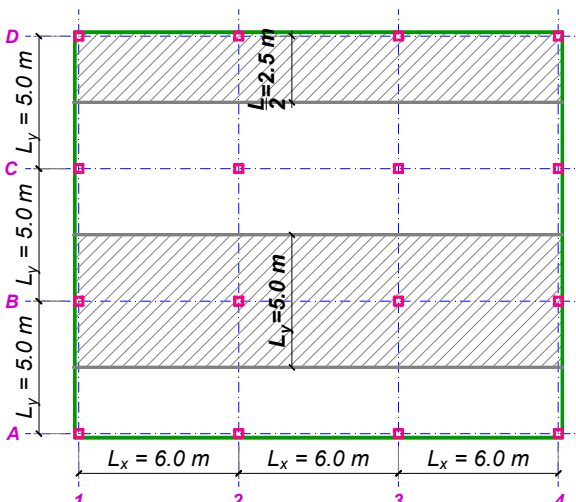
1.3 PRORAČUN STATIČKIH UTICAJA

1.3.1 Podužni pravac

Kako je odnos ortogonalnih raspona ploče:

$$0.75 < \frac{L_x}{L_y} = \frac{6.0}{5.0} = 1.2 < 1.33$$

a ploča opterećena jednako podeljenim opterećenjem, proračun se može sprovesti približnim postupkom, metodom zamenjujućih kontinualnih grednih nosača - traka (član 219. PBAB 87). Za širinu trake se uzima osovinsko rastojanje stubova upravnog pravca, a za visinu trake debljina ploče. Proračun se spro-



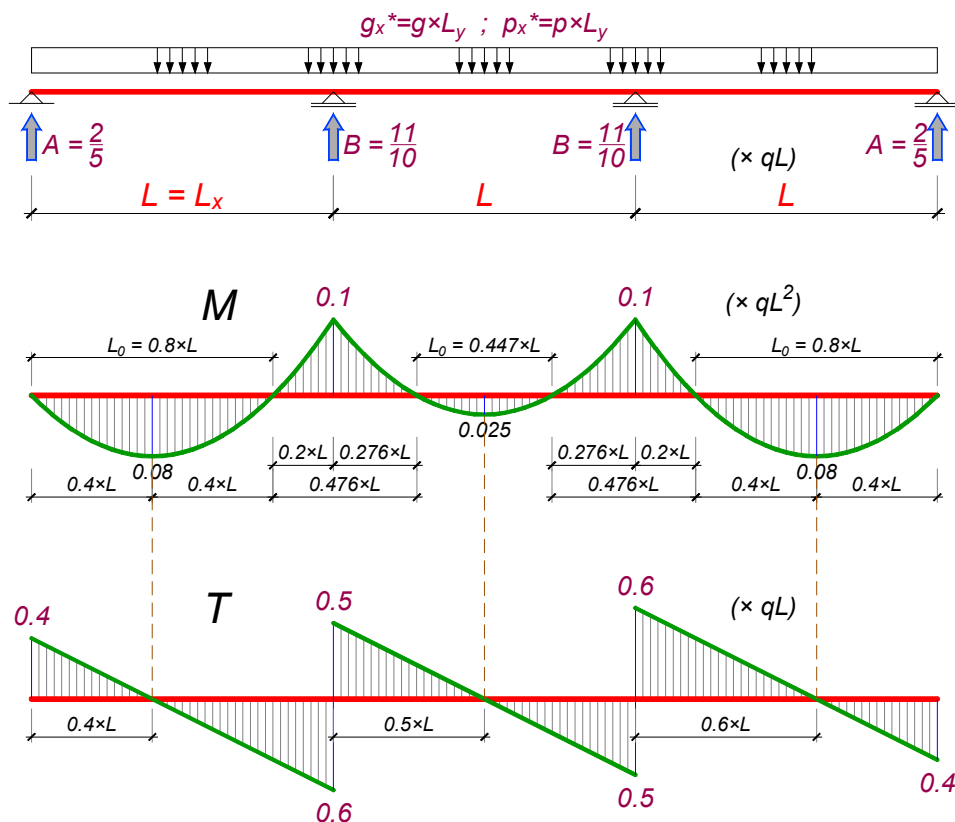
vodi za dva ortogonalna pravca, uzimajući u oba slučaja ukupno opterećenje.

Kontinualni nosači u dužem pravcu su raspona 3×6.0 m i širine $L_y = 5.0$ m u osama **B** i **C**, a širine $L_y/2 = 2.5$ m u osama **A** i **D**. Ukupno opterećenje na jedan srednji nosač je:

$$g_x^* = g \times L_y = 7.0 \times 5.0 = 35 \text{ kN/m}$$

$$p_x^* = p \times L_y = 5.0 \times 5.0 = 25 \text{ kN/m}$$

Dijagrami momenata savijanja, transverzalnih sila i vrednosti reakcija oslonaca za kontinualni nosač preko tri jednaka raspona, opterećen jednako raspodeljenim opterećenjem u svim poljima, prikazani su na narednoj skici:



Ukupne vrednosti momenata savijanja za nosač širine $L_y = 5.0$ m usled stalnog, povremenog i graničnog ($1.6 \times g + 1.8 \times p$) opterećenja su prikazani tabelarno.

		k	G	P	U
			$k \times g_x^* \times L_x^2$	$k \times p_x^* \times L_x^2$	$1.6 \times G + 1.8 \times P$
		–	kNm	kNm	kNm
krajnja polja	M_{0-1}	0.08	100.8	72	290.9
oslonac	$-M_1$	0.1	126	90	363.6
srednje polje	M_{1-2}	0.025	31.5	22.5	90.9

Reakcije oslonaca, odnosno sile u stubovima su:

$$G_1 = G_4 = 0.4 \times 35 \times 6.0 = 84 \text{ kN}$$

$$G_2 = G_3 = 1.1 \times 35 \times 6.0 = 231 \text{ kN}$$

$$P_1 = P_4 = 0.4 \times 25 \times 6.0 = 60 \text{ kN}$$

$$P_2 = P_3 = 1.1 \times 25 \times 6.0 = 165 \text{ kN}$$

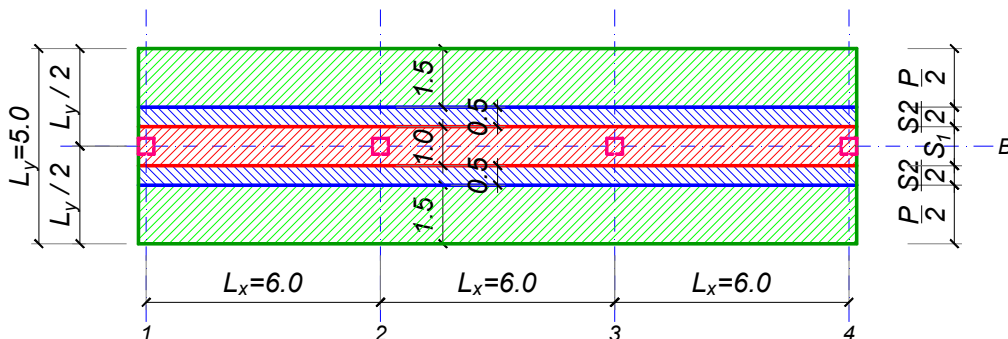
Maksimalna sila u stubu je $G+P = 231 + 165 = 396$ kN (stubovi B2, B3, C2, C3).

Kako su ivične trake (ose A i D) dvostruko manje širine, opterećenje i sile u stubovima su dvostruko manje.

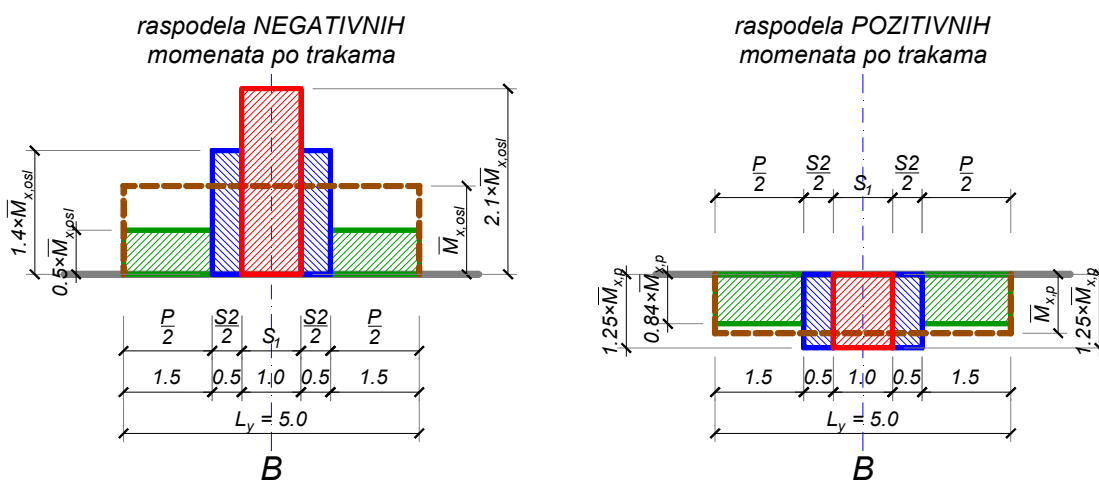
Sračunati momenti savijanja za nosač ukupne širine $L_y = 5.0$ m se raspodeljuju na:

- traku u polju (**P**), širine $0.60 \times L_y = 0.6 \times 5.0 = 3.0 \text{ m}$ i
- traku preko stubova (**S**), širine $0.40 \times L_y = 0.4 \times 5.0 = 2.0 \text{ m}$

Traka preko stubova se sastoji od dve polutrake S_1 i S_2 , širine $0.20 \times L_y = 1.0 \text{ m}$ svaka. Sve trake su postavljene simetrično u odnosu na osu stubova, prema skici:



Ukupno sračunati momenti savijanja za nosač širine L_y se raspoređuju na sledeći način:



gde su upotrebljene oznake:

$$\bar{M}_{x,osl} = \frac{M_{x,osl}}{L_y} \quad ; \quad \text{odnosno} \quad \bar{M}_{x,p} = \frac{M_{x,p}}{L_y}$$

za **prosečne** momente u gornjoj, odnosno donjoj zoni na širini L_y .

1.3.2 Poprečni pravac

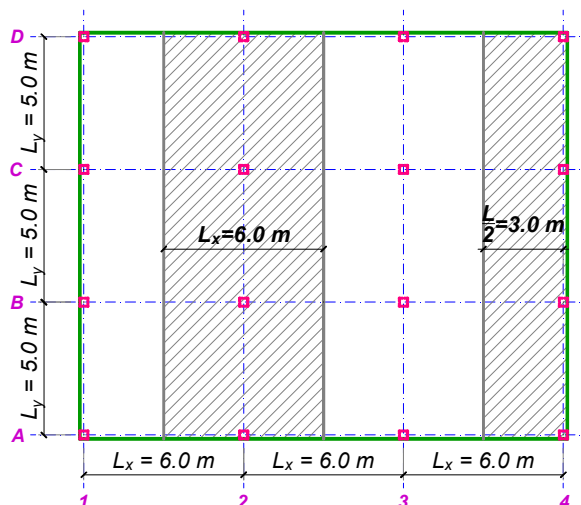
Kontinualni nosači u kraćem pravcu su raspoređeni na $3 \times 5.0 \text{ m}$ i širine $L_x = 6.0 \text{ m}$ u osama 2 i 3, a širine $L_x/2 = 3.0 \text{ m}$ u osama 1 i 4. Ukupno opterećenje na srednje nosače je:

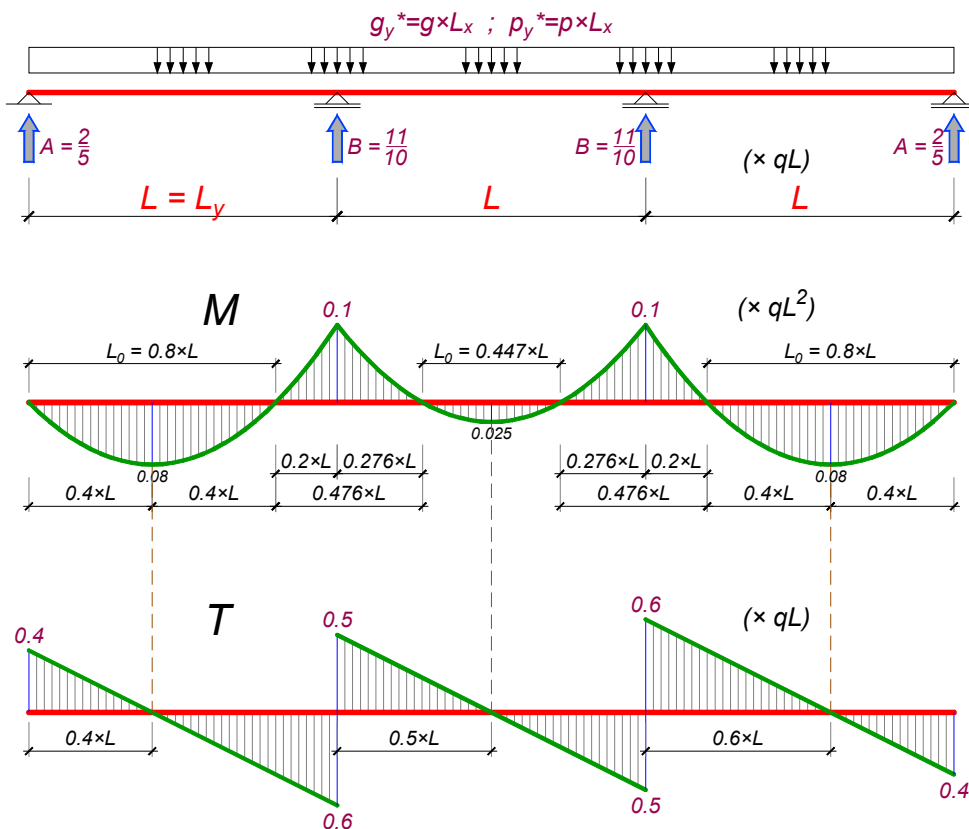
$$g_y^* = g \times L_x = 7.0 \times 6.0 = 42 \text{ kN/m}$$

$$p_y^* = p \times L_x = 5.0 \times 6.0 = 30 \text{ kN/m}$$

dok su vrednosti opterećenja za ivične nosače dvostruko manje.

Ukupne vrednosti momenata savijanja za nosač širine $L_x = 6.0 \text{ m}$ usled stalnog, povremenog i graničnog ($1.6 \times g + 1.8 \times p$) opterećenja su prikazani tabelarno.



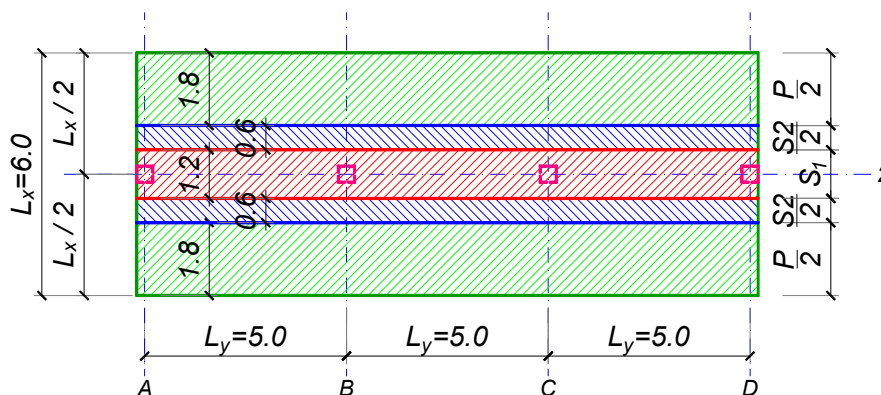


		k	G	P	U
			$k \times g_y^* \times L_y^2$	$k \times p_y^* \times L_y^2$	$1.6 \times G + 1.8 \times P$
		–	kNm	kNm	kNm
krajnja polja	M_{0-1}	0.08	84	60	242.4
oslonac	$-M_1$	0.1	105	75	303
srednje polje	M_{1-2}	0.025	26.3	18.8	75.8

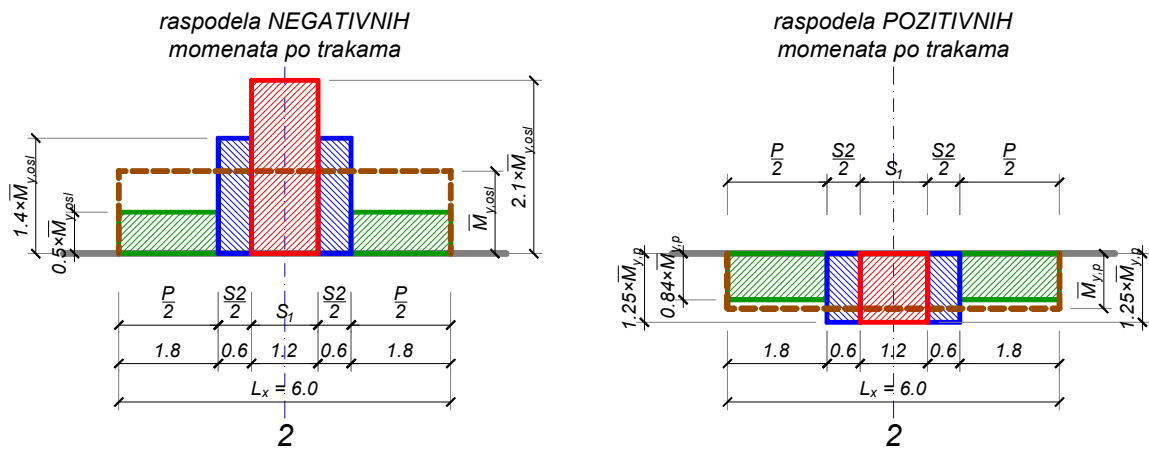
Sračunati momenti savijanja za nosač ukupne širine $L_x = 6.0$ m se raspodeljuju na:

- traku u polju (**P**), širine $0.60 \times L_x = 0.6 \times 6.0 = 3.6$ m
- traku preko stubova (**S**), širine $0.40 \times L_x = 0.4 \times 6.0 = 2.4$ m

Traka preko stubova se sastoji od dve polutrake S_1 i S_2 , širine $0.20 \times L_x = 1.2$ m svaka. Sve trake su postavljene simetrično u odnosu na ose stubova, prema skici:



Raspodela ukupnih momenata savijanja na trake u polju i preko stubova je analogna raspodeli u podužnom pravcu, s tim da su širine trake date u odnosu na raspon L_x .



gde su u ovom slučaju upotrebijene oznake:

$$\bar{M}_{y,osl} = \frac{M_{y,osl}}{L_x} ; \text{ odnosno } \bar{M}_{y,p} = \frac{M_{y,p}}{L_x}$$

za **prosečne** momente u gornjoj, odnosno donjoj zoni na širini L_x .

Reakcije oslonaca, odnosno sile u stubovima su:

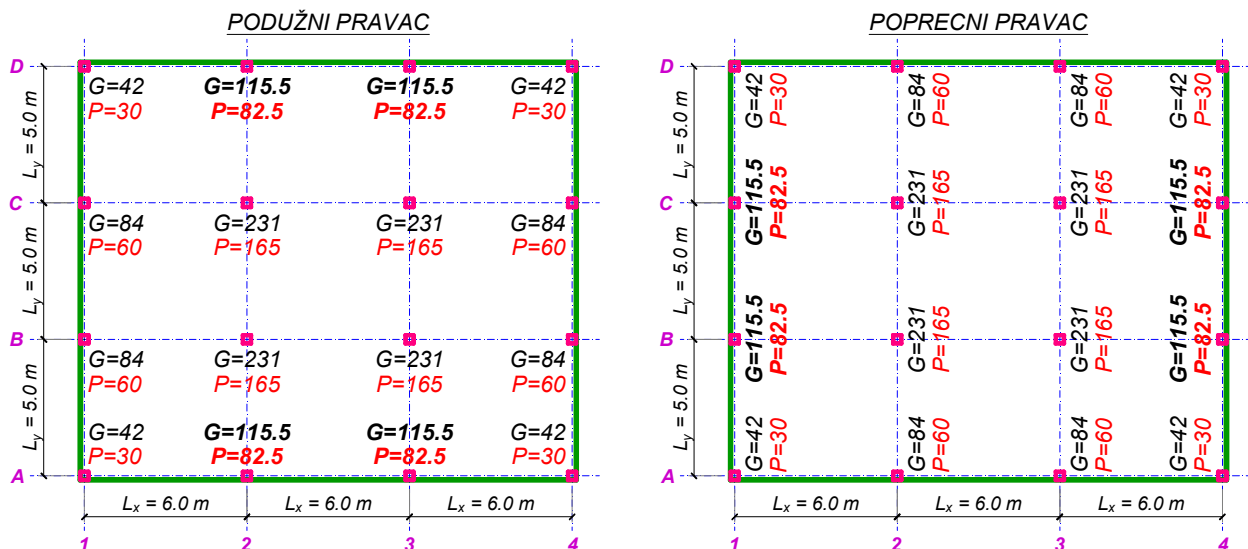
$$G_1 = G_4 = 0.4 \times 42 \times 5.0 = 84 \text{ kN} \quad G_2 = G_3 = 1.1 \times 42 \times 5.0 = 231 \text{ kN}$$

$$P_1 = P_4 = 0.4 \times 30 \times 5.0 = 60 \text{ kN} \quad P_2 = P_3 = 1.1 \times 30 \times 5.0 = 165 \text{ kN}$$

Maksimalna sila u stubu je $G+P = 231 + 165 = 396 \text{ kN}$ (stubovi B2, B3, C2, C3).

Kako su ivične trake (ose 1 i 4) dvostruko manje širine, opterećenje i sile u stubovima su dvostruko manje.

1.3.3 Sile u stubovima – konačno



Može se uočiti da se u pojedinim stubovima dobijaju različite sile pri proračunu podužnih i poprečnih traka (vrednosti sila ispisane vodoravno, odnosno uspravno na skici). Ovo je posledica primene približnog postupka, koji polazi od pretpostavke da su SVI zamenjujući kontinualni nosači iste širine, što naprosto ne odgovara stvarnom stanju. Stvarne reakcije prvih unutrašnjih oslonaca su oko 10% veće od vrednosti dobijenih približnim postupkom, što se može uočiti na primerima urađenom nekim računarskim programom. Bez daljeg elaboriranja, u slučaju dobijanja različitih sila u stubovima proračunom podužnog, odnosno poprečnog kontinualnog nosača ili rama, po pravilu se usvajaju veće dobijene vrednosti.

Konačno usvojeno za sve stubove:

- srednje: $G = 231 \text{ kN}$; $P = 165 \text{ kN}$ (stubovi B2,B3, C2,C3)
- ivične: $G = 115.5 \text{ kN}$; $P = 82.5 \text{ kN}$ (stubovi A2,A3, D2,D3, B1,C1, B4,C4)
- ugaone: $G = 42 \text{ kN}$; $P = 30 \text{ kN}$ (stubovi A1,A4, D1,D4)

1.3.4 Određivanje dimenzija stubova

U opštem slučaju, pri izboru oblika i dimenzija stubova mora se voditi računa o:

- arhitektonskim, saobraćajnim i sličnim zahtevima, koji ne spadaju u konstruktorske, ali ih je neophodno ispuniti. Zasad se mogu podvesti pod »projektujte stubove što manjih dimenzija«, bez daljeg elaboriranja;
- prihvatanju horizontalnih dejstava (vetar, seizmika). S obzirom da se razmatra jednospratna konstrukcija oslonjena samo na stubove, u cilju obezbeđivanja jednake krutosti u dva ortogonalna pravca biraju se stubovi kvadratnog ili kružnog poprečnog preseka. Bez detaljnijeg obrazlaganja, s obzirom da izlazi iz okvira ovog kursa, usvaja se da su svi stubovi istog poprečnog preseka, a verovatni kriterijum za određivanje njihove dimenzije (veličina horizontalnog pomerenja) se ne uzima u obzir;
- prihvatanju uticaja usled vertikalnog opterećenja. Pošto je usvojeno da su svi stubovi istog poprečnog preseka, potrebno ih je dimenzionisati za maksimalne sile $G=231 \text{ kN}$ i $P=165 \text{ kN}$, vodeći pritom i računa o izvijanju.

Za maksimalne sile u stubovima, zanemarujući uticaj izvijanja i usvajajući minimalni procenat armiranja, potrebna površina betonskog preseka se može odrediti kao:

$$A_{b, \text{potr.}} = \frac{N_u}{f_B \times (1 + \mu_{\min})} = \frac{1.9 \times 231 + 2.1 \times 165}{2.3 \times \left(1 + 0.6 \times 10^{-2} \times \frac{40}{2.3}\right)} = 309 \text{ cm}^2$$

U ovom slučaju (pomerljiv sistem bez zidova za ukrućenje, ploča bez greda), stubovi su konzolni, pa je dužina izvijanja jednaka $2H = 2 \times 4.0 = 8.0 \text{ m}$. Iz uslova maksimalno dopuštene vitkosti ($\lambda \leq 140$) sledi:

$$\lambda = \frac{L_i}{i_{\min}} = \frac{2H}{\sqrt{\frac{b \times d^3}{12}}}{\sqrt{\frac{12}{b \times d}}} = \frac{2H \times \sqrt{12}}{d} \leq 140 \Rightarrow d \geq \frac{2 \times 400 \times \sqrt{12}}{140} = 20.2 \text{ cm} \approx \frac{L_i}{40}$$

Iz navedenog sledi da je minimalna potrebna dimenzija stuba kvadratnog poprečnog preseka $d=25 \text{ cm}$.

Pored toga, u slučaju ploča direktno oslonjenih na stubove, minimalne dimenzije stubova su definisane članom 222. PBAB 87, kao:

$$d_{\min} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{L_{\min}}{20} = \frac{500}{20} = 25 \text{ cm} \\ \frac{H}{15} = \frac{400}{15} = 26.7 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 30 \text{ cm}$$

pri čemu je L_{\min} manji razmak stubova, a H spratna visina. Usvojeni su stubovi **30×30 cm**.

1.4 KONTROLA U ODNOSU NA PROBIJANJE

Postupak kontrole propisan je članovima 220 i 221 Pravilnika BAB 87. Zasniva se na nemačkim propisima DIN 1045 – provera se sprovodi za eksploataciona opterećenja i maksimalni smičući napon se upoređuje sa dopuštenim vrednostima.

Maksimalni smičući napon usled probijanja treba računati za presek 1-1 označen na skici, iz izraza:

$$\tau = \frac{T_{\max}}{O_{kp} \times h_s} \approx \frac{G + P}{\pi \times (d_s + h_s) \times h_s}$$

pri čemu je:

T_{\max} - najveća transverzalna sila pri eksploatacionom opterećenju za kritični presek 1-1, **može se** umanjiti za vrednost rezultante opterećenja koje deluje na krug prečnika d_{kp} ;

d_s - prečnik kružnog stuba (oslonca). Ukoliko je stub pravougaonog poprečnog preseka, veličinu d_s treba sračunati iz izraza:

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times b \times d}$$

kao prečnik ekvivalentnog kružnog stuba. U proračun zamenjujućeg prečnika d_s može se uzeti maksimalno **$d=1.5 \times b$** ($b < d$), bez obzira na stvarni odnos strana pravougaonog stuba;

h_s - srednja statička visina ploče za dva usvojena pravca armature

U izrazu za maksimalni smičući napon, vrednost O_{kp} treba zameniti sa $0.6 \times O_{kp}$ kod ivičnih, odnosno sa $0.3 \times O_{kp}$ kod ugaonih stubova.

Dopušteni naponi smicanja određeni su kao:

$\tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b$ - vrednost napona koja **mora** biti zadovoljena

$\tau_1 = \frac{2}{3} \times \gamma_1 \times \tau_a$ - vrednost napona koja zahteva osiguranje armaturom

U ovim izrazima figurišu dopušteni naponi τ_a i τ_b , zavisni od marke betona (član 122 PBAB 87) i bezdimenzioni koeficijenti γ_1 i γ_2 , određeni kao:

$$\gamma_1 = 1.3 \times \alpha_a \times \sqrt{\mu} \quad ; \quad \gamma_2 = 0.45 \times \alpha_a \times \sqrt{\mu}$$

Koeficijent α_a zavisi od vrste upotrebene armature i uzima sledeće vrednosti:

$\alpha_a = 1.0$ za GA 240/360

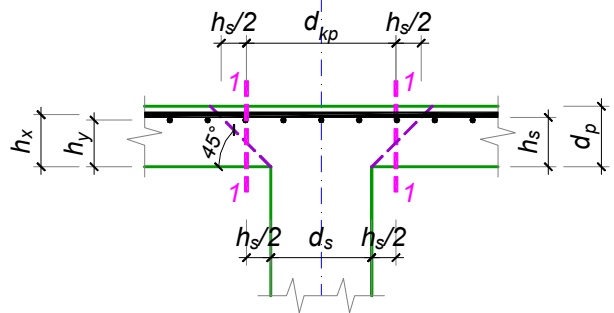
$\alpha_a = 1.3$ za RA 400/500

$\alpha_a = 1.4$ za MA 500/560

dok μ predstavlja srednju vrednost procenta armiranja preseka ploče gornjom (osloničkom) armaturom iz dva upravna pravca na širini osloničke trake $0.4 \times L_x$, odnosno $0.4 \times L_y$ i unosi se u procentima. Pri tome mora biti zadovoljeno:

$$0.5\% \leq \mu \leq 25 \frac{f_{bk}}{\sigma_v} \leq 1.5\%$$

bez obzira što stvarna vrednost procenta μ može biti i izvan navedenih granica.



Na osnovu napred iznetog, kontrola u odnosu na probijanje se sprovodi u nekoliko koraka:

- određivanje sila u stubu usled stalnog i povremenog opterećenja
- određivanje oslonačke armature u zoni stuba (A_{ax} , A_{ay})
- određivanje dopuštenih napona u betonu (funkcija armature A_{ax} , A_{ay})

Međutim, ovi koraci su međusobno povezani, što proračun čini iterativnim. Da bi se izbegli preobimni proračuni, potrebno je proceniti veličinu i uticaj svakog od parametara.

Pretpostavljena debljina ploče je, van svake sumnje, najvažniji parametar, jer od njega zavise i opterećenje (a time i statički uticaji), količina armature i dimenzije kritičnog preseka kod kontrole probijanja. Smisleno je debljinu ploče usvojiti iz kriterijuma deformacije (moгуće kod proračuna na računaru) ili iz nekog iskustvenog kriterijuma. U ovom slučaju usvojena je debljina ploče prema članu 222 PBAB, kao $L_{max}/35$, što posredno »obećava« zadovoljenje uslova po deformacijama.

Sa tako usvojenom debljinom ploče sračunate su sile u stubovima, potrebne za određivanje maksimalnog smičućeg napona usled probijanja. U izrazu za ovaj napon figurišu i dimenzija stuba d_s i srednja statička visina h_s .

Dimenzionisanje prema momentima savijanja još uvek nije sprovedeno, jer debljina ploče nije definitivno usvojena (nije sprovedena kontrola probijanja). Kako su drugi i treći korak ove kontrole povezani, u situaciji kada debljina ploče nije zadata, potrebno je ili:

- proceniti procenat armiranja, sračunati dopuštene napone i na osnovu toga usvojiti debljinu ploče iz uslova probijanja, proveriti pretpostavljenu vrednost μ (dimenzionisanje prema momentima) i dalje dimenzionisati sve karakteristične preseke;
- dimenzionisati sa pretpostavljenom debljinom ploče minimalan broj preseka (samo one preseke od kojih zavise vrednosti dopuštenih napona – oslonačke preseke na širini $0.4 \times L_x$, odnosno $0.4 \times L_y$). Sa dobijenim μ izvršiti kontrolu probijanja, a armaturu u ostalim presecima odrediti nakon usvajanja debljine ploče.

Pretpostavljajući potpuni nedostatak iskustva u dimenzionisanju ovakvih ploča, biće sproveden drugi postupak.

1.4.1 Dimenzionisanje prema M - gornja zona, podužni pravac

S obzirom da je statički sistem ploče u oba pravca isti (kontinualni nosač preko tri jednaka raspona), veći momenti savijanja se javljaju u dužem pravcu.

Na osnovu izloženog u tački 1.3.1, granični računski momenti savijanja u gornjoj zoni, u polutrakama S_1 i S_2 iznose:

$$M_{x,u}^{S1} = 2.1 \times \overline{M}_{x,osl} = 2.1 \times \frac{0.1 \times q_{xu}^* \times L_x^2}{L_y} = 2.1 \times \frac{0.1 \times q_u \times L_y \times L_x^2}{L_y} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_x^2}{10}$$

$$q_u = 1.6 \times 7.0 + 1.8 \times 5.0 = 20.2 \frac{kN}{m^2} \Rightarrow M_{x,u}^{S1} = 2.1 \times \frac{20.2 \times 6.0^2}{10} = 152.7 \frac{kNm}{m}$$

$$\text{pretp. } a_{1x} = 3 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 20 - 3 = 17 \text{ cm}$$

$$\text{MB 35} \Rightarrow f_B = 23 \text{ MPa}$$

$$\text{RA 400/500} \Rightarrow \sigma_v = 400 \text{ MPa}$$

$$k = \frac{17}{\sqrt{\frac{152.7}{2.3}}} = 2.086 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 3.5/7.146\% ; \bar{\mu} = 26.614\%$$

$$A_a = 26.614 \times 17 \times \frac{2.3}{40} = 26.02 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 19/10} \text{ (28.4 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{x,u}^{S_2} = 1.4 \times \bar{M}_{x,osl} = 1.4 \times \frac{0.1 \times q_{xu}^* \times L_x^2}{L_y} = 1.4 \times \frac{0.1 \times q_u \times L_y \times L_x^2}{L_y} = 1.4 \times \frac{q_u \times L_x^2}{10}$$

$$M_{x,u}^{S_2} = 1.4 \times \frac{20.2 \times 6.0^2}{10} = 101.8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{17}{\sqrt{\frac{101.8}{2.3}}} = 2.555 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.820/10\text{‰}; \bar{\mu} = 16.794\%$$

$$A_a = 16.794 \times 17 \times \frac{2.3}{40} = 16.42 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 19/15} \text{ (18.9 cm}^2/\text{m)}$$

1.4.2 Dimenzionisanje prema M - gornja zona, poprečni pravac

Na osnovu izloženog u tački 1.3.2, granični računski momenti savijanja u gornjoj zoni, u polutrakama S_1 i S_2 iznose:

$$M_{y,u}^{S_1} = 2.1 \times \bar{M}_{y,osl} = 2.1 \times \frac{0.1 \times q_{yu}^* \times L_y^2}{L_x} = 2.1 \times \frac{0.1 \times q_u \times L_x \times L_y^2}{L_x} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_y^2}{10}$$

$$M_{y,u}^{S_1} = 2.1 \times \frac{20.2 \times 5.0^2}{10} = 106.1 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

pretp. $a_{1y} = 2 + 1.9 + 1.6/2 = 4.7 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 20 - 4.7 = 15.3 \text{ cm}$

$$k = \frac{15.3}{\sqrt{\frac{106.1}{2.3}}} = 2.253 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 3.5/9.241\text{‰}; \bar{\mu} = 22.238\%$$

$$A_a = 22.238 \times 15.3 \times \frac{2.3}{40} = 19.56 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 16/10} \text{ (20.1 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{y,u}^{S_2} = 1.4 \times \frac{20.2 \times 5.0^2}{10} = 70.7 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{15.3}{\sqrt{\frac{70.7}{2.3}}} = 2.760 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.434/10\text{‰}; \bar{\mu} = 14.213\%$$

$$A_a = 14.213 \times 15.3 \times \frac{2.3}{40} = 12.50 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 16/15} \text{ (13.4 cm}^2/\text{m)}$$

1.4.3 Određivanje dopuštenih smičućih napona za unutrašnji stub

$$h_x = 20 - 2 - \frac{1.9}{2} = 17.05 \text{ cm} \Rightarrow \mu_x = \frac{A_{ax,sr}}{h_x} = \frac{28.4 + 18.9}{2} \times \frac{1}{17.05} = 1.39\%$$

$$\mu_y = \frac{A_{ay,sr}}{h_y} = \frac{20.1 + 13.4}{2} \times \frac{1}{15.3} = 1.10\% \Rightarrow \mu = \frac{1.39 + 1.10}{2} = 1.24\%$$

$$RA\ 400/500 \Rightarrow \alpha_a = 1.3 \Rightarrow \begin{cases} \gamma_1 = 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{1.24} = 1.88 \\ \gamma_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.24} = 0.65 \end{cases}$$

Dopušteni naponi smicanja τ_a i τ_b , propisani članom 122 PBAB, za MB 35 iznose:

$$\tau_a = \frac{0.8+1.0}{2} = 0.9\text{ MPa} \quad ; \quad \tau_b = \frac{2.2+2.6}{2} = 2.4\text{ MPa}$$

pa slede vrednosti dopuštenih napona:

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times \gamma_1 \times \tau_a = \frac{2}{3} \times 1.88 \times 0.09 = 0.113 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b = 0.65 \times 0.24 = 0.156 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

1.4.4 Kontrola maksimalnog napona smicanja za unutrašnji stub

$$h_s = \frac{17.05 + 15.3}{2} = 16.2\text{ cm}$$

$$d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times d^2} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 30^2} = 33.9\text{ cm}$$

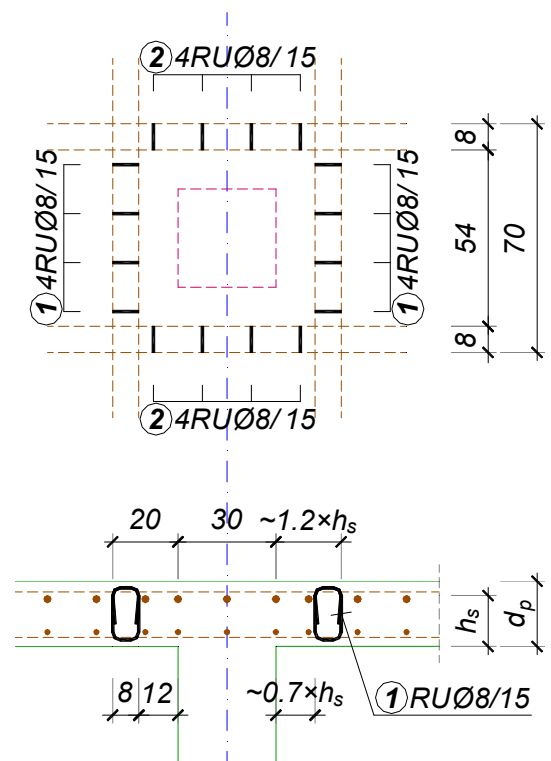
$$\tau = \frac{231 + 165}{\pi \times (33.9 + 16.2) \times 16.2} = 0.156 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \tau_2^1$$

Kako nije prekoračen dopušteni napon τ_2 , nije potrebno menjati debljinu ploče, dimenziju stuba ili marku betona. S obzirom da je prekoračen dopušteni napon τ_1 , potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{0.75 \times T_{\max}}{\frac{\sigma_v}{1.8}} = \frac{1.35 \times 396}{40} = 13.37\text{ cm}^2$$

usvojeno: **4×4URØ8/15**
(4×4×2×0.503 = 16.08 cm²)

Ovu armaturu treba rasporediti prema skici desno (osnova i presek), u skladu sa članom 220. Pravilnika BAB 87.



¹ Napominje se da je pri određivanju sile probijanja T_{\max} , moguće silu u stubu (odnosno razliku sila u stubu iznad i ispod razmatrane tavanice u slučaju višespratnih objekata) umanjiti za deo raspodeljenog opterećenja koji deluje unutar kruga prečnika d_{kp} :

$$q = g + p = 7.0 + 5.0 = 12.0\text{ kN/m}^2$$

$$d_{kp} = d_s + 2 \frac{h_s}{2} = 33.9 + 16.2 = 50.0\text{ cm} \Rightarrow \Delta T = q \times \frac{\pi}{4} \times d_{kp}^2 = 12 \times \frac{\pi}{4} \times 0.5^2 = 3.1\text{ kN}$$

$$T_{\max}^{red} = T - \Delta T = 396 - 3.1 = 392.9\text{ kN} \Rightarrow \tau = \frac{392.9}{\pi \times 50 \times 16.2} = 0.155 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

U slučaju međuspratnih konstrukcija, s obzirom na malu debljinu ploče i malo opterećenje, ova redukcija je praktično beznačajna, ali je svakako treba sprovesti pri proračunu temelja.

1.4.5 Kontrola maksimalnog napona smicanja za ivični stub

Maksimalne sile u ivičnim stubovima su određene u tački 1.3.3. Maksimalni smičući napon se proračunava kao:

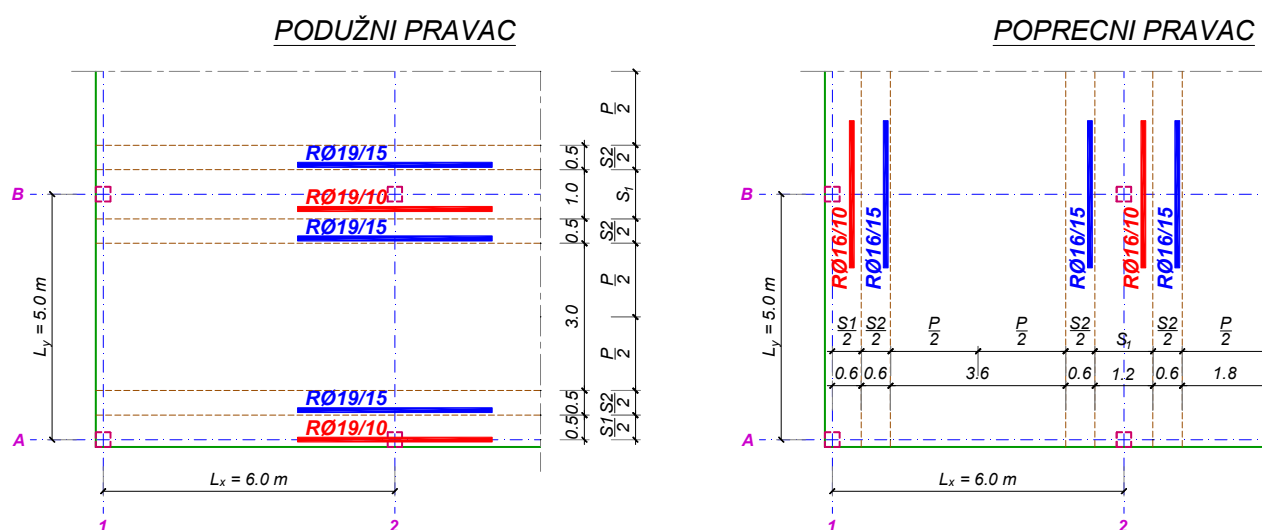
$$\tau = \frac{T_{\max}}{0.6 \times O_{kp} \times h_s} = \frac{115.5 + 82.5}{0.6 \times \pi \times (33.9 + 16.2) \times 16.2} = 0.130 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Vrednosti dopuštenih napona τ_1 i τ_2 potrebno je odrediti iz odgovarajućih procenata armiranja, slično kao u slučaju unutrašnjeg stuba. Na skici dole je šematski prikazana usvojena armatura u gornjoj zoni u polutrakama S_1 i S_2 , sračunata u tačkama 1.4.1 i 1.4.2. Ista armatura je usvojena i u trakama u osi A (podužni pravac), odnosno 1 (poprečni pravac), s obzirom na veličinu momenata savijanja. Međutim, u ovim trakama u upravnom pravcu nije potrebna računaska, već samo podeona armatura:

$$A_{a,p}^X = 0.2 \times 26.02 = 5.20 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad (\text{tačka 1.4.1}) \quad \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}12/20 \quad (5.65 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$A_{a,p}^Y = 0.2 \times 19.56 = 3.92 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad (\text{tačka 1.4.2}) \quad \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}10/20 \quad (3.93 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Kako su sile u stubovima A2 i B1 sile jednake (tačka 1.3.3), merodavan za kontrolu probijanja će biti onaj kod koga je ploča armirana manjom armaturom, odnosno sa manjim dopuštenim naponima (stub B1):



$$\mu_x = \frac{A_{ax}}{h_x} = \frac{3.93}{17.05} = 0.40\%$$

$$\mu_y = \frac{A_{ay,sr}}{h_y} = \frac{20.1 + 13.4}{2} \times \frac{1}{15.3} = 1.10\% \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{0.40 + 1.10}{2} = 0.75\%$$

$$\tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.75} \times 0.24 = 0.122 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.130 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako je prekoračen dopušteni napon τ_2 , potrebno je povećati debljinu ploče, dimenziju stuba ili marku betona ili problem eliminisati formiranjem ivične grede. Međutim, problem probijanja ivičnog stuba u ovom slučaju može biti rešen i povećanjem dopuštenog napona minimalnim povećanjem usvojene armature. Naime, u slučaju stuba A2, sa statički potrebnom armaturom sračunatom za podužni pravac i odgovarajućom podeonom, sledi:

$$\mu_x = \frac{A_{ax, sr}}{h_x} = \frac{28.4 + 18.9}{2} \times \frac{1}{17.05} = 1.39\%$$

$$\mu_y = \frac{A_{ay}}{h_y} = \frac{5.65}{15.3} = 0.37\% \quad \Rightarrow \quad \mu = \frac{1.39 + 0.37}{2} = 0.88\%$$

$$\tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.88} \times 0.24 = 0.132 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_{\max} = 0.130 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{0.88} \times 0.09 = 0.095 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.130 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

S obzirom da je prekoračen dopušteni napon τ_1 , potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{1.35 \times 198}{40} = 6.68 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } (2 \times 3 + 4) \text{UR}\varnothing 8/15 \text{ (} 10 \times 2 \times 0.503 = 10.05 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Radi obezbeđenja potrebnog procenta armiranja, u zonama ivičnih stubova u oba pravca biće postavljena armatura R \varnothing 19/10 u polutrakama S_1 , R \varnothing 19/15 u polutrakama S_2 i podeona armatura R \varnothing 12/20.

1.4.6 Kontrola maksimalnog napona smicanja za ugaoni stub

Maksimalne sile u ugaonim stubovima su određene u tački 1.3.3. Maksimalni smičući napon se proračunava kao:

$$\tau = \frac{T_{\max}}{0.3 \times O_{kp} \times h_s} = \frac{42 + 30}{0.3 \times \pi \times (33.9 + 16.2) \times 16.2} = 0.094 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako u gornjoj zoni nije potrebna nikakva računaska armatura, dopušteni naponi τ_1 i τ_2 se sračunavaju sa minimalnim propisanim koeficijentom armiranja $\mu=0.5\%$:

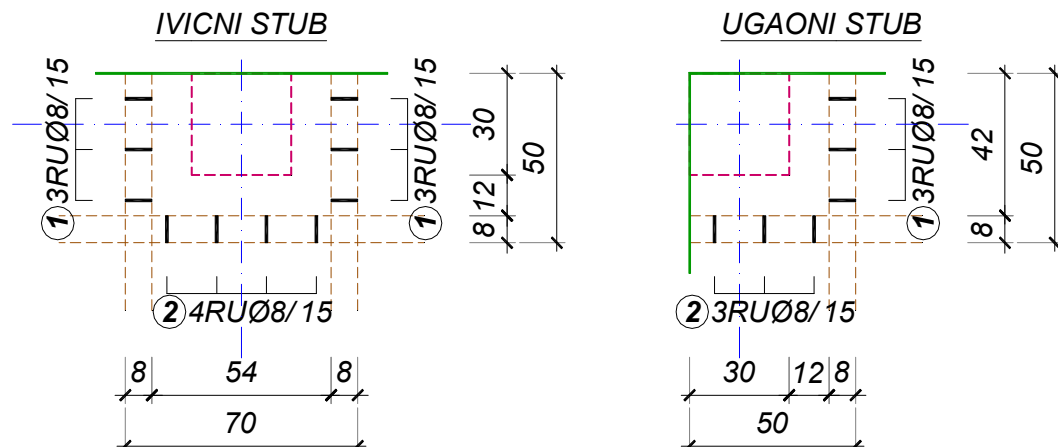
$$\tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.5} \times 0.24 = 0.099 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_{\max} = 0.094 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{0.5} \times 0.09 = 0.072 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max}$$

S obzirom da je prekoračen dopušteni napon τ_1 , potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{1.35 \times 72}{40} = 2.43 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } (3 + 3) \text{UR}\varnothing 8/15 \text{ (} 6 \times 2 \times 0.503 = 6.03 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Usvojeni detalji osiguranja u osnovi su prikazani na narednoj skici.



1.5 DIMENZIONISANJE PLOČE – PODUŽNI PRAVAC

Nakon provere probijanja sva tri karakteristična tipa stubova, konačno su usvojeni oblik i dimenzije stubova i debljina ploče, pa se proračun može završiti dimenzionisanjem ploče prema momentima savijanja. Ukupni momenti za traku širine $L_y = 5.0$ m su sračunati u tački 1.3.1. Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonачki) momenti savijanja

$$\begin{aligned} - \text{polutraka } S_1: & \quad M_1^{S1} = 2.1 \times M_1 / L_y = 2.1 \times 363.6 / 5.0 = 152.7 \text{ kNm/m} \\ - \text{polutraka } S_2: & \quad M_1^{S2} = 1.4 \times M_1 / L_y = 1.4 \times 363.6 / 5.0 = 101.8 \text{ kNm/m} \\ - \text{traka u polju:} & \quad M_1^P = 0.5 \times M_1 / L_y = 0.5 \times 363.6 / 5.0 = 36.4 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

krajnja polja:

$$\begin{aligned} - \text{polutrake } S_1, S_2: & \quad M_{0-1}^S = 1.25 \times M_{0-1} / L_y = 1.25 \times 290.9 / 5.0 = 72.7 \text{ kNm/m} \\ - \text{traka u polju:} & \quad M_{0-1}^P = 0.84 \times M_{0-1} / L_y = 0.84 \times 290.9 / 5.0 = 48.5 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

srednje polje:

$$\begin{aligned} - \text{polutrake } S_1, S_2: & \quad M_{1-2}^S = 1.25 \times M_{1-2} / L_y = 1.25 \times 90.9 / 5.0 = 22.7 \text{ kNm/m} \\ - \text{traka u polju:} & \quad M_{1-2}^P = 0.84 \times M_{1-2} / L_y = 0.84 \times 90.9 / 5.0 = 15.2 \text{ kNm/m} \end{aligned}$$

1.5.1 Dimenzionisanje - gornja zona

Dimenzionisanje oslonачkih preseka u polutrakama S_1 i S_2 je već sprovedeno u tački 1.4.1. Potrebno je dimenzionisati samo oslonачki deo trake P:

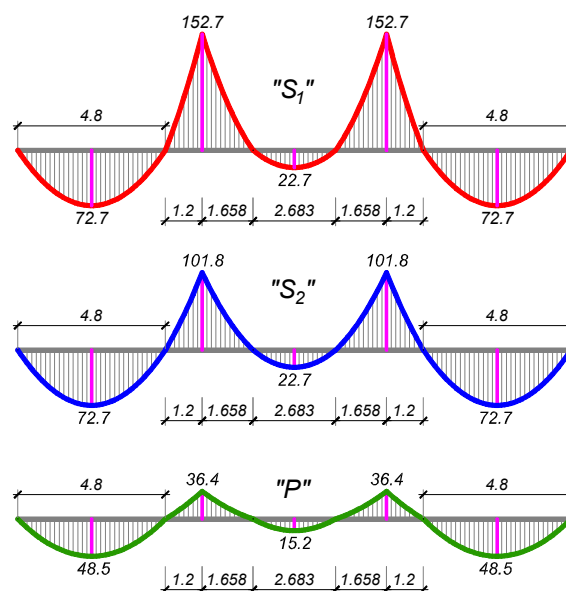
$$h_x = 20 - 2 - 1.9/2 = 17.05 \text{ cm}$$

$$k = \frac{17.05}{\sqrt{\frac{36.4}{2.3}}} = 4.288$$

$$\varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.273 / 10\% ; \bar{\mu} = 5.665\%$$

$$A_a = 5.665 \times 17.05 \times \frac{2.3}{40} = 5.55 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

usvojeno: **RØ12/20** (5.65 cm²/m)



1.5.2 Dimenzionisanje - donja zona

$$h_x = 20 - 2 - 1.2/2 = 17.4 \text{ cm}$$

1.5.2.1 krajnja polja, traka S

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{72.7}{2.3}}} = 3.094 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.004 / 10\% ; \bar{\mu} = 11.140\%$$

$$A_a^S = 11.140 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 11.15 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ12/10 (11.31 cm}^2/\text{m)}$$

1.5.2.2 krajnja polja, traka P

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{48.5}{2.3}}} = 3.790 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.495 / 10\% ; \bar{\mu} = 7.303\%$$

$$A_a^P = 7.303 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 7.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ12/15 (7.53 cm}^2/\text{m)}$$

1.5.2.3 srednje polje, traka S

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{22.7}{2.3}}} = 5.536 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.933/10\text{‰}; \bar{\mu} = 3.364\%$$

$$A_a^S = 3.364 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 3.37 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 10/20} \quad (3.93 \text{ cm}^2/\text{m})$$

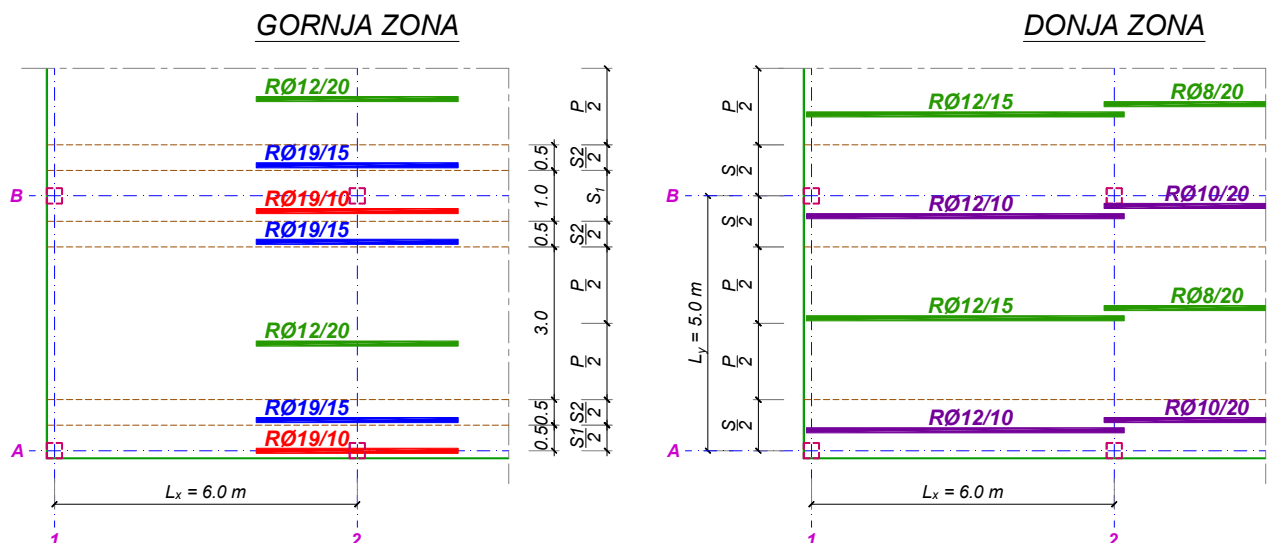
1.5.2.4 srednje polje, traka P

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{15.2}{2.3}}} = 6.780 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.739/10\text{‰}; \bar{\mu} = 2.229\%$$

$$A_a^P = 2.229 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 2.23 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 8/20} \quad (2.51 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Proračun nosača u osama A i D se ne sprovodi posebno, jer su prosečne vrednosti momenata savijanja iste kao i za ose B i C, pa je usvojena armatura ista.

Usvojena armatura je šematski prikazana na donjoj skici (prikazana je četvrtina ploče u osnovi). Nedostajuća podeona armatura u gornjoj zoni usvojena je kod crtanja plana armature, kao minimalno 20% statički potrebne glavne armature.



1.6 DIMENZIONISANJE PLOČE – POPREČNI PRAVAC

Ukupni momenti za traku širine $L_x = 6.0 \text{ m}$ su sračunati u tački 1.3.2. Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka S_1 :	$M_1^{S1} = 2.1 \times M_1/L_x$	$= 2.1 \times 303/6.0 = 106.1 \text{ kNm/m}$
- polutraka S_2 :	$M_1^{S2} = 1.4 \times M_1/L_x$	$= 1.4 \times 303/6.0 = 70.7 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:	$M_1^P = 0.5 \times M_1/L_x$	$= 0.5 \times 303/6.0 = 25.3 \text{ kNm/m}$

b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

krajnja polja:

- polutrake S_1, S_2 :	$M_{0-1}^S = 1.25 \times M_{0-1}/L_x$	$= 1.25 \times 242.4/6.0 = 50.5 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:	$M_{0-1}^P = 0.84 \times M_{0-1}/L_x$	$= 0.84 \times 242.4/6.0 = 33.7 \text{ kNm/m}$

srednje polje:

- polutrake S_1, S_2 :	$M_{1-2}^S = 1.25 \times M_{1-2}/L_x$	$= 1.25 \times 75.8/6.0 = 15.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:	$M_{1-2}^P = 0.84 \times M_{1-2}/L_x$	$= 0.84 \times 75.8/6.0 = 10.5 \text{ kNm/m}$

1.6.1 Dimenzionisanje - gornja zona

Dimenzionisanje oslonačkih preseka u polutra-kama S_1 i S_2 je već sprovedeno u tački 1.4.2. Potrebno je dimenzionisati samo oslonački deo trake P:

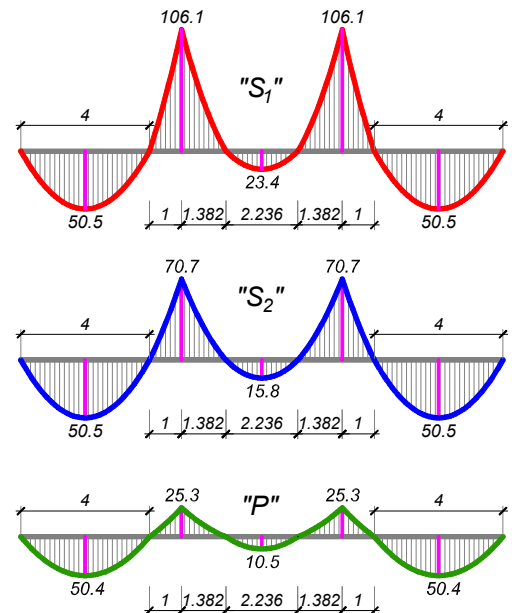
$$h_y = 20 - 2 - 1.9 - 1.6/2 = 15.3 \text{ cm}$$

$$k = \frac{15.3}{\sqrt{\frac{25.3}{2.3}}} = 4.618$$

$$\varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.161/10\text{‰}; \bar{\mu} = 4.868\%$$

$$A_a = 4.868 \times 15.3 \times \frac{2.3}{40} = 4.28 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

usvojeno: **RØ12/20** (5.65 cm²/m)



1.6.2 Dimenzionisanje - donja zona

$$h_y = 20 - 2 - 1.2 - 1.2/2 = 16.2 \text{ cm}$$

1.6.2.1 krajnja polja, traka S

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{50.5}{2.3}}} = 3.457 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.698/10\text{‰}; \bar{\mu} = 8.835\%$$

$$A_a^S = 8.835 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 8.23 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ12/20+RØ10/20 (9.58 cm}^2/\text{m)}$$

1.6.2.2 krajnja polja, traka P

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{33.7}{2.3}}} = 4.234 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.294/10\text{‰}; \bar{\mu} = 5.814\%$$

$$A_a^P = 5.814 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 5.42 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ12/20 (5.65 cm}^2/\text{m)}$$

1.6.2.3 srednje polje, traka S

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{15.8}{2.3}}} = 6.185 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.820/10\text{‰}; \bar{\mu} = 2.685\%$$

$$A_a^S = 2.685 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 2.50 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ8/20 (2.51 cm}^2/\text{m)}$$

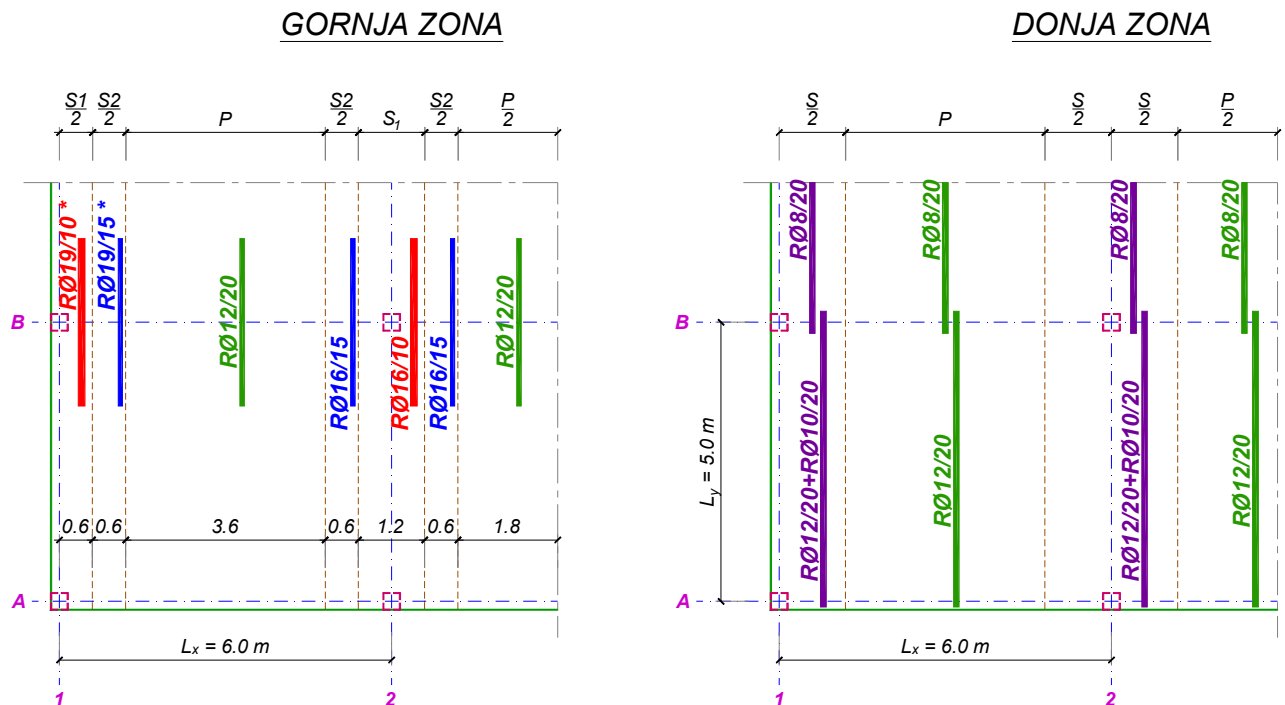
1.6.2.4 srednje polje, traka P

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{10.5}{2.3}}} = 7.574 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.652/10\text{‰}; \bar{\mu} = 1.780\%$$

$$A_a^P = 1.780 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 1.66 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{a,\min} = 0.1 \times 10^{-2} \times 100 \times 20 = 2.0 \text{ cm}^2/\text{m} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ8/20 (2.51 cm}^2/\text{m)}$$

Proračun nosača u osama 1 i 4 se ne sprovodi posebno, jer su prosečne vrednosti momenta savijanja iste kao i za ose 2 i 3, pa je usvojena armatura ista.



Usvojena armatura je šematski prikazana na gornjoj skici (prikazana je četvrtina ploče u osnovi). Šipke označene zvezdicom (zona oko stuba B1, važi i za C1, B4 i C4) su usvojene iz uslova zadovoljenja dopuštenog napona τ_2 kod kontrole probijanja ivičnih stubova (tačka 1.4.5). Nedostajuća podeona armatura u gornjoj zoni usvojena je kod crtanja plana armature, kao minimalno 20% statički potrebne glavne armature.