

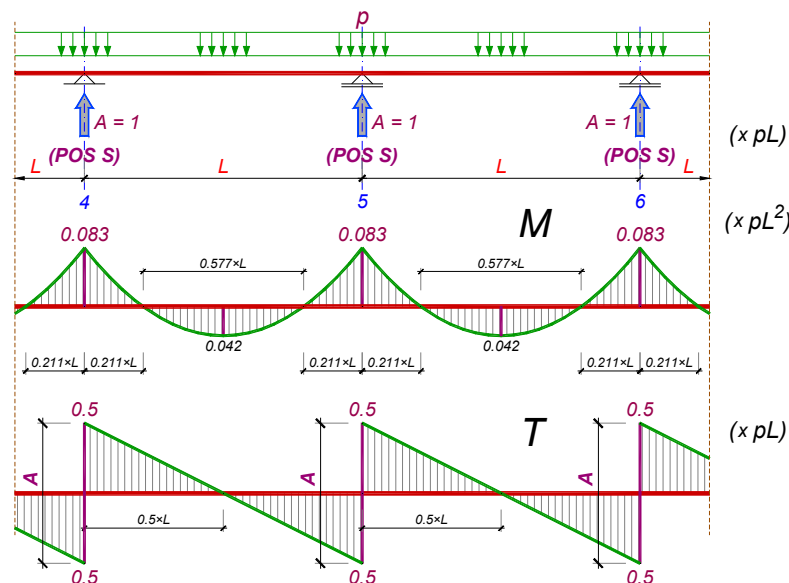
Tipska ploča međuspratne petospratne konstrukcije, debljine  $d_p = 20$  cm, direktno je oslonjena na stubove konstantnog kružnog preseka prečnika  $D = 40$  cm. Osovinsko rastojanje stubova u dva ortogonalna pravca je  $L_x = 6.0$  m, odnosno  $L_y = 5.0$  m. Spratna visina je 3.0 m. Pored sopstvene težine, ploča je opterećena i povremenim opterećenjem  $p = 10$  kN/m<sup>2</sup> (deluje istovremeno po svim pločama). Za neko srednje polje razmatrane konstrukcije:

- dimenzionisati stub POS S;
- dimenzionisati tipsku ploču prema momentima savijanja i izvršiti kontrolu probijanja. Usvojeni detalj osiguranja (osiguranje armaturom, kapitel) nacrtati u osnovi i preseku.
- Razmatrana konstrukcija je fundirana na temeljnoj ploči konstantne debljine. Sračunati potrebnu debljinu ploče i izvršiti kontrolu probijanja. Detalj osiguranja prikazati u pogodnoj razmeri.

Usvojeni kvalitet materijala: MB 35, RA 400/500.

## 1 PRORAČUN TIPSKE PLOČE

Termin »neko srednje polje« označava da je broj polja konstrukcije barem pet, da su rasponi jednaki i svi istovremeno opterećeni jednakim opterećenjem i da se ne razmatra prvo, nego sva ostala polja. Dijagrami  $M$  i  $T$  odgovaraju obostrano uklještenim nosačima.



### 1.1 ANALIZA OPTEREĆENJA

- sopstvena težina ploče  $g = 0.20 \times 25 = 5.0$  kN/m<sup>2</sup>
- povremeno opterećenje  $p = 10.0$  kN/m<sup>2</sup>

### 1.2 DIMENZIONISANJE STUBA POS S

Reakcije srednjih oslonaca kontinualnog nosača na više polja, odnosno sile u stubovima od jedne tipske tavanice su:

$$G_1 = 1.0 \times 6.0 \times 5.0 \times 5.0 = 150 \text{ kN} \quad ; \quad P_1 = 1.0 \times 6.0 \times 5.0 \times 10.0 = 300 \text{ kN}$$

Za zadatih  $n=5$  tavanica, maksimalna granična normalna sila u stubu je:

$$N_{u,\max} = n \times (1.9 \times G_1 + 2.1 \times P_1) = 5 \times (1.9 \times 150 + 2.1 \times 300) = 4575 \text{ kN}$$

Kako je prečnik stuba poznat, iz sume normalnih sila sledi:

$$A_b = \frac{40^2 \times \pi}{4} = 1257 \text{ cm}^2 \Rightarrow A_{a,\text{potr.}} = \frac{N_u - A_b \times f_B}{\sigma_v} = \frac{4575 - 1257 \times 2.3}{40} = 42.12 \text{ cm}^2$$

$$\text{usv. } 12R\emptyset 22 (45.62 \text{ cm}^2) \Rightarrow \mu = \frac{A_a}{A_b} = \frac{45.62}{1257} = 3.63\% \begin{cases} > \mu_{\min} = 0.6\% \\ < \mu_{\max} = 6\% \end{cases}$$

Kako je dobijena vrlo velika količina armature (voditi računa da se maksimalni procenat armiranja propisan članom 189 Pravilnika odnosi i na područja nastavaka armature), biće sprovedeno i spiralno armiranje.

Pretpostavljajući da će prečnik podužne armature biti  $\emptyset \leq 25$ , usvojena je debljina zaštitnog sloja betona  $a_0 = 2.5 \text{ cm}$ . Da bi odredili prečnik  $D_s$  jezgra unutar spiralne armature, potrebno je pretpostaviti prečnik spirale<sup>1</sup>:

$$\text{pretp. } \emptyset_s 12 \Rightarrow D_s = 40 - 2 \times 2.5 - 2 \times \frac{1.2}{2} = 33.8 \text{ cm} \Rightarrow A_{bs} = \frac{33.8^2 \times \pi}{4} = 897 \text{ cm}^2$$

Usvajajući minimalni procenat armiranja podužnom armaturom, sledi:

$$A_a = 0.6 \times 10^{-2} \times 897 = 5.38 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } 6R\emptyset 12 (6.78 \text{ cm}^2)$$

$$A_{as} = \frac{N_u - (A_{bs} \times f_B + A_a \times \sigma_v)}{2 \times \sigma_{vs}} = \frac{4575 - (897 \times 2.3 + 6.78 \times 40)}{2 \times 40} = 28.00 \text{ cm}^2$$

$$e_s = \frac{33.8 \times \pi \times a_{as}^{(1)}}{28.00} = 3.79 \times a_{as}^{(1)}$$

$$\emptyset_s 12 \Rightarrow a_{as}^{(1)} = 1.131 \text{ cm}^2 \Rightarrow e_s \leq 3.79 \times 1.31 = 4.29 \text{ cm}$$

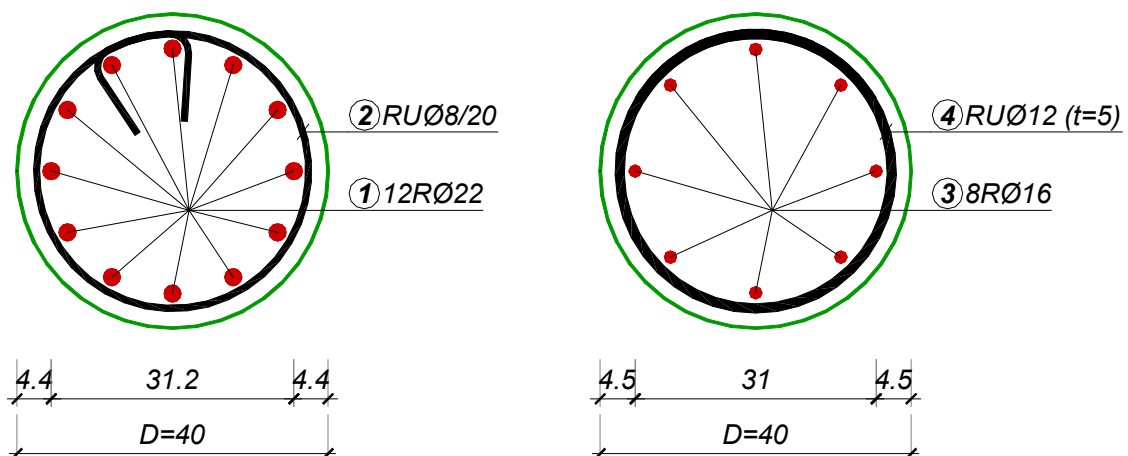
$$\emptyset_s 14 \Rightarrow a_{as}^{(1)} = 1.539 \text{ cm}^2 \Rightarrow e_s \leq 3.79 \times 1.539 = 5.84 \text{ cm}$$

Prednost u izboru spirale se daje armaturi koja se isporučuje u koturovima ( $\emptyset \leq 12 \text{ mm}$ ), kako bi se izbeglo nastavljanje. Druga mogućnost je da se usvoji površina (prečnik i hod) spiralne armature, a iz uslova ravnoteže sračuna potrebna površina podužne armature (recimo, kad sračunati hod spirale ne obezbeđuje propisano čisto rastojanje profila, ili je potrebna upotreba debljih profila i veliki broj nastavaka armature preklapanjem):

$$\text{usv. } \emptyset_s R\emptyset 12/5 \Rightarrow A_{as} = \frac{33.8 \times \pi \times 1.13}{5} = 24.02 \text{ cm}^2$$

$$A_a = \frac{4575 - (897 \times 2.3 + 2 \times 24.02 \times 40)}{40} = 14.74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv. } 8R\emptyset 16 (16.08 \text{ cm}^2)$$

Poprečni preseći mogućih rešenja (obično i spiralno armiran stub) su prikazani na skici.



<sup>1</sup> Čak i ukoliko je pretpostavka o prečniku spirale pogrešna, odstupanje je milimetarskog reda veličine i ne utiče bitno na usvojeno rešenje

### 1.3 KONTROLA U ODNOSU NA PROBIJANJE

Maksimalni smičući napon usled probijanja će biti određen sa procenjenom vrednošću srednje statičke visine  $h_s$ :

$$h_s = \frac{h_x + h_y}{2} \approx d_p - 4 = 16 \text{ cm} \quad ; \quad d_s = D = 40 \text{ cm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{150 + 300}{\pi \times (40 + 16) \times 16} = 0.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Maksimalna vrednost dopuštenog napona smicanja  $\tau_2$  odgovara maksimalnom procentu armiranja  $\mu=1.5\%$ :

$$\tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.5} \times 0.24 = 0.172 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_{\max} = 0.16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

S obzirom da je maksimalna vrednost dopuštenog napona  $\tau_2$  veća od maksimalnog napona smicanja  $\tau_{\max}$ , nije potrebno podebljavati ploču ili formirati kapitel.

#### 1.3.1 Dimenzionisanje prema M - gornja zona, polutrake $S_1$ i $S_2$

Sprovešće se dimenzionisanje prema momentima savijanja da se proveri da li usvajanje statički potrebne armature obezbeđuje dovoljan dopušteni napon smicanja  $\tau_2$  ili je potrebno povećati količinu armature u gornjoj zoni (recimo, armiranjem polutraka  $S_1$  i  $S_2$  istom količinom armature).

$$q_u = 1.6 \times g + 1.8 \times p = 1.6 \times 5.0 + 1.8 \times 10.0 = 26.0 \text{ kN/m}^2$$

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

$$M_{x,u}^{S1} = 2.1 \times \overline{M}_{x,osl} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_x^2}{12} = 2.1 \times \frac{26.0 \times 6.0^2}{12} = 163.8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 2.014 \Rightarrow A_a = 28.30 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/10 \text{ (28.35 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{x,u}^{S2} = 1.4 \times \overline{M}_{x,osl} = 1.4 \times \frac{26.0 \times 6.0^2}{12} = 109.2 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 2.474 \Rightarrow A_a = 17.67 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/15 \text{ (18.90 cm}^2/\text{m)}$$

$$\text{pretp. } a_{1y} = 2 + 1.9 + 1.9/2 = 4.85 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 20 - 4.85 = 15.15 \text{ cm}$$

$$M_{y,u}^{S1} = 2.1 \times \overline{M}_{y,osl} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_y^2}{12} = 2.1 \times \frac{26.0 \times 5.0^2}{12} = 113.8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 2.154 \Rightarrow A_a = 21.50 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/12.5 \text{ (22.68 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{y,u}^{S2} = 1.4 \times \overline{M}_{y,osl} = 1.4 \times \frac{26.0 \times 5.0^2}{12} = 75.8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 2.638 \Rightarrow A_a = 13.64 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/20 \text{ (14.18 cm}^2/\text{m)}$$

#### 1.3.2 Kontrola maksimalnog napona smicanja

$$h_x = 20 - 2 - \frac{1.9}{2} = 17.05 \text{ cm} \Rightarrow h_s = \frac{17.05 + 15.15}{2} = 16.1 \text{ cm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{150 + 300}{\pi \times (40 + 16.1) \times 16.1} = 0.159 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\mu_x = \frac{A_{ax,sr}}{h_x} = \frac{28.35 + 18.9}{2 \times 17.05} = 1.39\% \quad ; \quad \mu_y = \frac{A_{ay,sr}}{h_y} = \frac{22.68 + 14.18}{2 \times 15.15} = 1.22\%$$

$$\mu = \frac{1.39 + 1.22}{2} = 1.30\% \Rightarrow \tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.30} \times 0.24 = 0.160 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_{\max}$$

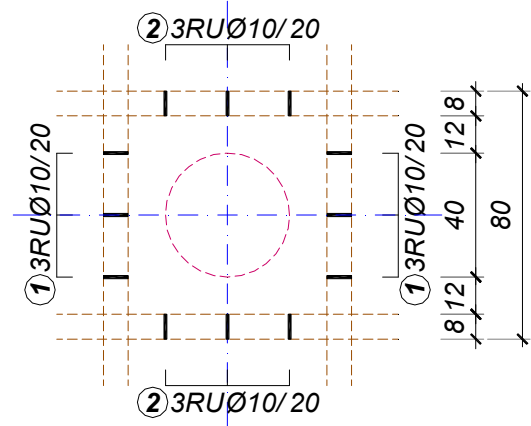
$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{1.30} \times 0.09 = 0.116 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.159 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako je dopušteni napon  $\tau_1$  prekoračen, potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{0.75 \times T_{\max}}{\frac{\sigma_v}{1.8}} = \frac{1.35 \times 450}{40} = 15.19 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **4×3URØ10/20**  
(4×3×2×0.785 = 18.85 cm<sup>2</sup>)

Detalj osiguranja uzengijama, postavljenim u skladu sa članom 220. Pravilnika BAB 87, analogan je onom u Primeru 5 i prikazan je u osnovi na skici desno.



## 1.4 DIMENZIONISANJE TIPSKE PLOČE

### 1.4.1 Dimenzionisanje – podužni pravac

Grafični računski momenti savijanja po trakama su:

#### a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka S<sub>1</sub>:  $M_o^{S_1} = 2.1 \times M_o/L_y = 2.1 \times 26 \times 6^2/12 = 163.8 \text{ kNm/m}$
- polutraka S<sub>2</sub>:  $M_o^{S_2} = 1.4 \times M_o/L_y = 1.4 \times 26 \times 6^2/12 = 109.2 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_o^P = 0.5 \times M_o/L_y = 0.5 \times 26 \times 6^2/12 = 39.0 \text{ kNm/m}$

#### b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

- polutrake S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>:  $M_p^S = 1.25 \times M_p/L_y = 1.25 \times 26 \times 6^2/24 = 48.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_p^P = 0.84 \times M_p/L_y = 0.84 \times 26 \times 6^2/24 = 32.5 \text{ kNm/m}$

#### 1.4.1.1 Gornja zona – traka P

Dimenzionisanje osloničkih preseka u polutrakama S<sub>1</sub> i S<sub>2</sub> je sprovedeno u tački 1.3.1. Potrebno je dimenzionisati samo oslonički deo trake P:

$$k = \frac{17.05}{\sqrt{\frac{39.0}{2.3}}} = 4.141 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.332/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 6.088\%$$

$$A_a^P = 6.088 \times 17.05 \times \frac{2.3}{40} = 5.97 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. RØ14/20 (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

#### 1.4.1.2 Donja zona - traka S

$$a_{1x} = 2 + 1.2/2 = 2.6 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 20 - 2.6 = 17.4 \text{ cm}$$

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{48.8}{2.3}}} = 3.779 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.501/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.347\%$$

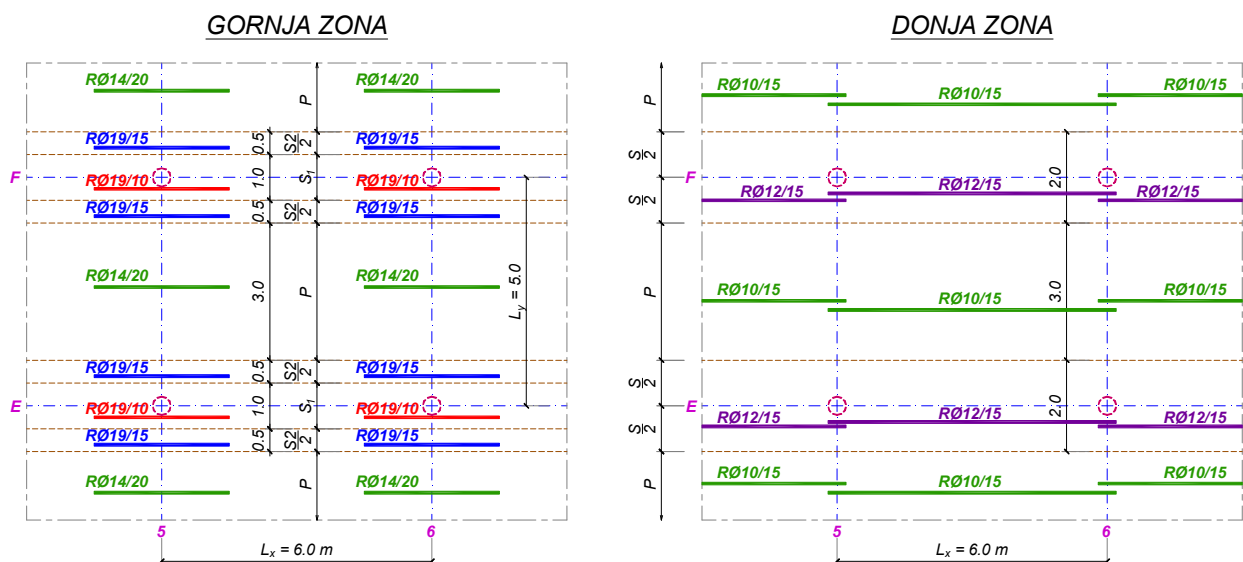
$$A_a^S = 7.347 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 7.35 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/15} \quad (7.54 \text{ cm}^2/\text{m})$$

#### 1.4.1.3 Donja zona - traka P

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{32.5}{2.3}}} = 4.629 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.157/10\text{‰}; \quad \bar{\mu} = 4.845\%$$

$$A_a^P = 4.845 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 4.85 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 10/15} \quad (5.24 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Usvojena armatura za karakteristično srednje polje je šematski prikazana na skici. Nedostajuća podeona armatura u gornjoj zoni usvojena je kod crtanja plana armature, kao minimalno 20% statički potrebne glavne armature.



#### 1.4.2 Dimenzionisanje – poprečni pravac

Grafični računski momenti savijanja po trakama su:

##### a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka  $S_1$ :  $M_o^{S_1} = 2.1 \times M_o/L_x = 2.1 \times 26 \times 5^2/12 = 113.8 \text{ kNm/m}$
- polutraka  $S_2$ :  $M_o^{S_2} = 1.4 \times M_o/L_x = 1.4 \times 26 \times 5^2/12 = 75.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_o^P = 0.5 \times M_o/L_x = 0.5 \times 26 \times 5^2/12 = 27.1 \text{ kNm/m}$

##### b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

- poltrake  $S_1, S_2$ :  $M_p^S = 1.25 \times M_p/L_x = 1.25 \times 26 \times 5^2/24 = 33.9 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_p^P = 0.84 \times M_p/L_x = 0.84 \times 26 \times 5^2/24 = 22.6 \text{ kNm/m}$

#### 1.4.2.1 Gornja zona – traka P

Dimenzionisanje osloničkih preseka u polutrakama  $S_1$  i  $S_2$  je sprovedeno u tački 1.3.1. Potrebno je dimenzionisati samo oslonički deo trake P:

$$k = \frac{15.15}{\sqrt{\frac{27.1}{2.3}}} = 4.415 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.228/10\text{‰}; \quad \bar{\mu} = 5.337\%$$

$$A_a^P = 5.337 \times 15.15 \times \frac{2.3}{40} = 4.65 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/20} \quad (5.65 \text{ cm}^2/\text{m})$$

### 1.4.2.2 Donja zona - traka S

$$a_{1y} = 2 + 1.2 + 1.2/2 = 3.8 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 20 - 3.8 = 16.2 \text{ cm}$$

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{33.9}{2.3}}} = 4.223 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.299/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 5.848\%$$

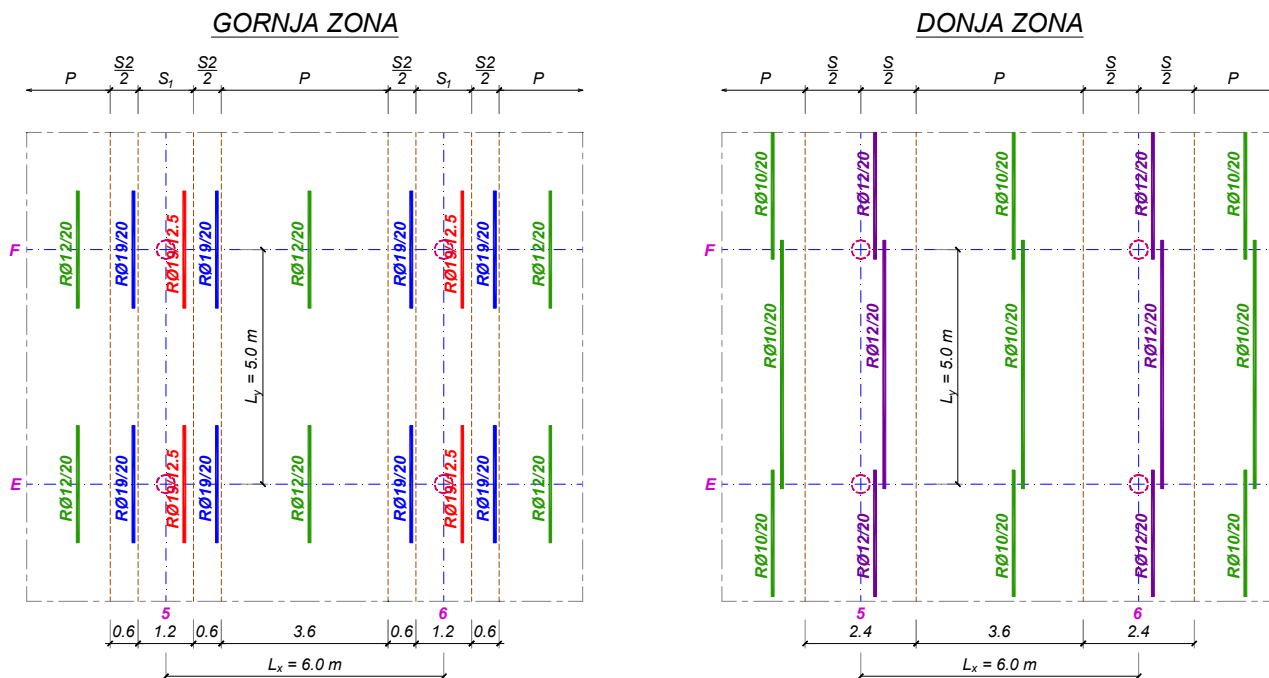
$$A_a^S = 5.848 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 5.45 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\varnothing 12/20} \text{ (5.65 cm}^2/\text{m)}$$

### 1.4.2.3 Donja zona - traka P

$$k = \frac{16.2}{\sqrt{\frac{22.6}{2.3}}} = 5.172 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.012/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 3.863\%$$

$$A_a^P = 3.863 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 3.60 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\varnothing 10/20} \text{ (3.93 cm}^2/\text{m)}$$

Usvojena armatura za karakteristično srednje polje je šematski prikazana na skici.



## 2 DIMENZIONISANJE TEMELJNE PLOČE

Temeljna ploča se može sračunati kao ploča direktno oslonjena na stubove, opterećena jednako raspoređenim reaktivnim opterećenjem:

$$q_R = \frac{\sum(G+P)}{A} = \frac{n \times (G+P)}{1.0 \times L_x \times L_y} = n \times (g+p) = 5 \times (5+10) = 75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kako je opterećenje  $n=5$  puta veće nego na tipskoj tavanici a rasponi jednaki, momenti savijanja (ukupni i pojedinačni po trakama) su  $n=5$  puta veći u odnosu na sračunate za tipsku tavanicu (sračunato u tačkama 1.4.1 i 1.4.2). Ovde je samo izostavljena sopstvena težina vertikalnih elemenata konstrukcije - stubova (mala veličina u odnosu na ostala opterećenja), dok (zasad nepoznata) sopstvena težina temeljne ploče ne utiče na reaktivno opterećenje, već samo na napon u temeljnoj spojnici (nije predmet proračuna).

## 2.1 ODREĐIVANJE DEBLJINE TEMELJNE PLOČE IZ USLOVA PROBIJANJA

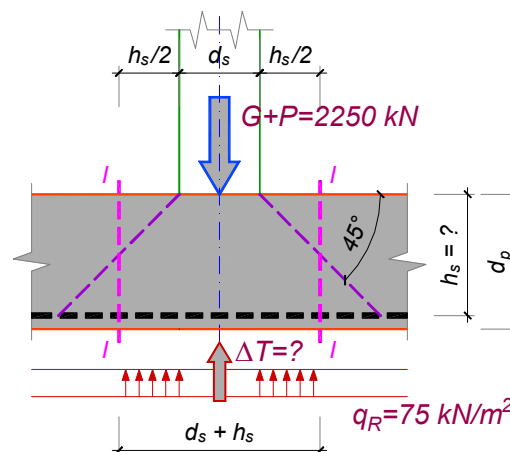
Uslov zadatka je da ploča bude konstantne debljine, pa formiranje kapitela kao mogućnost otpada. Kako debljina ploče utiče i na veličinu smičućeg napona, kao i na količinu armature za savijanje (tj. na veličinu dopuštenih napona smicanja), postupak je iterativan.

Debljina ploče se odredi iz maksimalnog smičućeg napona  $\tau_2$  (svesno se usvaja varijanta sa osiguranjem armaturom, kako bi se dobila što manja debljina temeljne ploče), za koji se, barem u prvom koraku, usvoji njegova minimalno moguća vrednost (dobijena za usvojeni kvalitet betona i minimalni procenat armiranja  $\mu=0.5\%$ ):

$$\tau_{2,\min} = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.5} \times 2.4 = 0.99 \text{ MPa}$$

$$T_{\max} = n \times (G + P) = 5 \times (150 + 300) = 2250 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = \frac{2250 - \Delta T}{\pi \times (40 + h_s) \times h_s} = 0.099 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = \tau_{2,\min}$$



Kako debljina ploče  $d_p$  nije poznata, nije moguće odrediti silu  $\Delta T$  koja smanjuje silu probodja, a predstavlja rezultantu reaktivnog opterećenja na krugu prečnika  $(d_s + h_s)$ . Iz poslednjeg izraza sledi:

$$(40 + h_s) \times h_s = \frac{2250}{\pi \times 0.099} = 7214 \Rightarrow h_s = \frac{-40 + \sqrt{40^2 + 4 \times 7214}}{2} = 67.3 \text{ cm}$$

Za ovako sračunatu statičku visinu, potrebno je odrediti potrebnu površinu armature u oslonjačkoj (u slučaju temeljne ploče, donjoj) zoni širine  $0.4 \times L$ . Kako je ovako dobijena visina  $h_s$  rezultat prve iteracije i verovatno nije konačna vrednost, proračun armature se sprovodi bez zaokruživanja ili vođenja računa o različitim statičkim visinama u dva pravca.

### 2.1.1 Dimenzionisanje oslonjačke zone ploče prema momentima savijanja

Kako su momenti savijanja  $n=5$  puta veći od momenta savijanja tipske ploče, sledi:

#### 2.1.1.1 Podužni pravac

- polutraka  $S_1$ :  $M_o^{S1} = 5 \times 163.8 = 819.0 \text{ kNm/m}$  (vidi tačku 1.4.1)

$$k = \frac{67.3}{\sqrt{\frac{819}{2.3}}} = 3.564 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.627/10\text{‰}; \bar{\mu} = 8.294\%$$

$$A_a^{S1} = 8.294 \times 67.3 \times \frac{2.3}{40} = 32.08 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 22/10} \text{ (38.01 cm}^2/\text{m)}$$

#### 2.1.1.2 Poprečni pravac

- polutraka  $S_1$ :  $M_o^{S1} = 5 \times 113.8 = 568.8 \text{ kNm/m}$  (vidi tačku 1.4.2)

$$k = \frac{67.3}{\sqrt{\frac{568.8}{2.3}}} = 4.277 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.278/10\text{‰}; \bar{\mu} = 5.696\%$$

$$A_a^{S1} = 5.696 \times 67.3 \times \frac{2.3}{40} = 22.03 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset 22/15} \text{ (25.34 cm}^2/\text{m)}$$



## 2.1.2 Kontrola dopuštenog napona smicanja

Sa ovako usvojenom armaturom vrši se provera dopuštenog napona  $\tau_2$ :

$$\mu_x = \frac{A_{ax}}{h_x} = \frac{38.01}{67.3} = 0.57\% \quad ; \quad \mu_y = \frac{A_{ay}}{h_y} = \frac{25.34}{67.3} = 0.38\%$$

$$\mu = \frac{0.57 + 0.38}{2} = 0.47\% < \mu_{\min} = 0.5\%$$

Dakle, za ovako dobijenu statičku visinu (debljinu ploče), procenat armiranja je manji od minimalnog, pa vrednost dopuštenog napona ostaje nepromenjena. S obzirom na ovako mali procenat armiranja, polutrake  $S_1$  i  $S_2$  će biti armirane istom armaturom.

**Formalno, proračun bi mogao da bude završen usvajanjem debljine ploče i određivanjem potrebne armature za osiguranje od proboja.** Međutim, ovako dobijena debljina temeljne ploče se može smanjiti, usvajajući određeni (veći od minimalno potrebnog) procenat armiranja, odnosno veći dopušteni napon smicanja.

## 2.1.3 Korekcija debljine ploče

Recimo da je na osnovu »iskustva« usvojena debljina ploče  $d_p = 65$  cm. Usvajajući da zaštitni slojevi kod temelja odgovaraju uslovima jako agresivne sredine, sledi:

$$a_{1x} = 3 + 2.2/2 = 4.1 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_x = 65 - 4.1 = 60.9 \text{ cm}$$

$$a_{1y} = 3 + 2.2 + 2.2/2 = 6.3 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_y = 65 - 6.3 = 58.7 \text{ cm}$$

### 2.1.3.1 Određivanje potrebne armature prema momentima savijanja

$$k = \frac{60.9}{\sqrt{\frac{819}{2.3}}} = 3.227 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.878/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 10.200\%$$

$$A_{ax}^{S1,S2} = 10.200 \times 60.9 \times \frac{2.3}{40} = 35.72 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. R}\mathbf{\varnothing 22/10} \quad (38.01 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$k = \frac{58.7}{\sqrt{\frac{568.8}{2.3}}} = 3.733 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.527/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.538\%$$

$$A_{ay}^{S1,S2} = 7.538 \times 58.7 \times \frac{2.3}{40} = 25.44 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. R}\mathbf{\varnothing 22/15} \quad (25.34 \text{ cm}^2/\text{m})$$

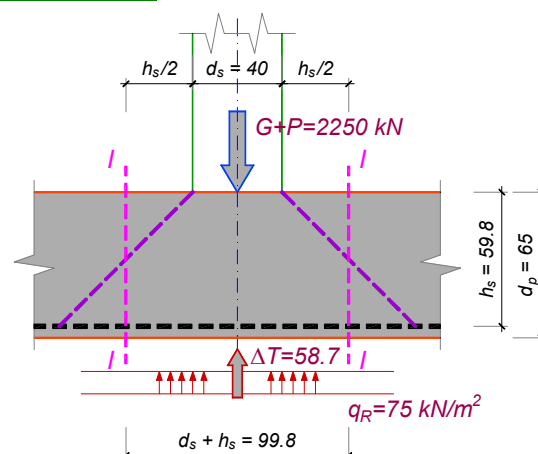
### 2.1.3.2 Kontrola proboja sa pretpostavljenom debljinom ploče

$$h_s = \frac{60.9 + 58.7}{2} = 59.8 \text{ cm}$$

$$d_s + h_s = 40 + 59.8 = 99.8 \text{ cm} = 0.998 \text{ m}$$

$$\Delta T = 75 \times \frac{0.998^2 \times \pi}{4} = 58.7 \text{ kN}$$

$$\tau_{\max} = \frac{2250 - 58.7}{\pi \times (40 + 59.8) \times 59.8} = 0.117 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$





$$\mu_x = \frac{A_{ax}}{h_x} = \frac{38.01}{60.9} = 0.62\% \quad ; \quad \mu_y = \frac{A_{ay}}{h_y} = \frac{25.34}{58.7} = 0.43\%$$

$$\mu = \frac{0.62 + 0.43}{2} = 0.53\% \Rightarrow \tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.53} \times 2.4 = 1.02 \text{ MPa} < \tau_{\max}$$

Kako je dopušteni napon prekoračen, a ne želimo da povećamo debljinu temeljne ploče, potrebno je povećati dopušteni napon povećanjem količine armature.

$$\tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{\mu} \times 2.4 = 1.17 \text{ MPa} = \tau_{\max} \Rightarrow \mu = 0.693\%$$

Dakle, količinu armature je potrebno povećati u odnosu  $0.912/0.53 = 1.31$  puta u odnosu na količinu usvojenu iz momenata savijanja. Usvaja se:

$$A_{ax} \approx 1.31 \times 38.01 = 49.89 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}25/10 \Rightarrow \mu_x = \frac{49.09}{60.9} = 0.81\%$$

$$A_{ay} \approx 1.31 \times 25.34 = 33.20 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}22/10 \Rightarrow \mu_y = \frac{38.01}{58.7} = 0.65\%$$

$$\mu = \frac{0.81 + 0.65}{2} = 0.73\% \Rightarrow \tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{0.73} \times 2.4 = 1.20 \text{ MPa} > \tau_{\max}$$

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{0.73} \times 0.09 = 0.087 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.117 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako je dopušteni napon  $\tau_1$  prekoračen, potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{1.35 \times (2250 - 58.7)}{40} = 73.97 \text{ cm}^2$$

Ovako sračunato  $A_{ak}$  predstavlja vertikalnu komponentu potrebne površine armature, pa je za slučaj povijanja armature pod uglom od  $45^\circ$  potrebno:

$$A_{ak} = \frac{73.97}{\sin 45^\circ} = 104.60 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } 2 \times 6 \times 2 \times R\text{Ø}25 \quad (2 \times 6 \times 2 \times 4.91 = 117.81 \text{ cm}^2)$$

Detalj osiguranja je prikazan na skici na narednoj strani.

## 2.1.4 Dimenzionisanje temeljne ploče – podužni pravac

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

### a. oslonački momenti savijanja – donja zona

- polutraka  $S_1$ :  $M_o^{S1} = 5 \times 163.8 = 819.0 \text{ kNm/m}$  (vidi tačku 1.4.1)
- polutraka  $S_2$ :  $M_o^{S2} = 5 \times 109.2 = 546.0 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_o^P = 5 \times 39.0 = 195.0 \text{ kNm/m}$

### b. momenti savijanja u polju – gornja zona

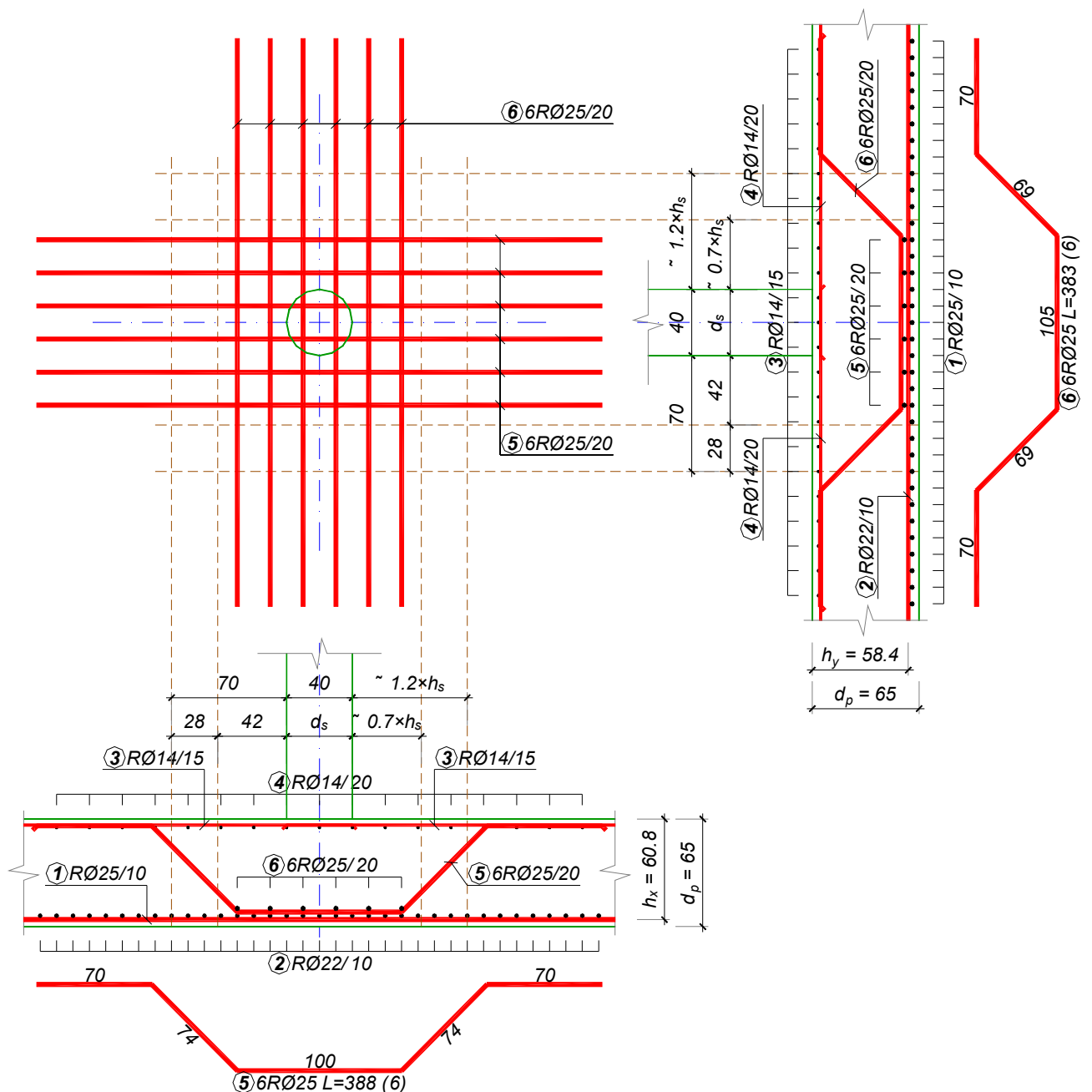
- polutrake  $S_1, S_2$ :  $M_p^S = 5 \times 48.8 = 243.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_p^P = 5 \times 32.5 = 162.5 \text{ kNm/m}$

#### 2.1.4.1 Donja zona – traka P

Usvajanje armature u oslonačkim presecima u polutrakama  $S_1$  i  $S_2$  je sprovedeno u tački 2.1.3.2. Potrebno je dimenzionisati samo oslonački deo trake P:

$$M_u = 195 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 6.598 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.762/10\% ; \bar{\mu} = 2.355\%$$

$$A_a = 8.23 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}14/15 \quad (10.26 \text{ cm}^2/\text{m})$$



### 2.1.4.2 Gornja zona - traka S

$$a_{1x} = 3 + 1.4/2 = 3.7 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 65 - 3.7 = 61.3 \text{ cm}$$

$$M_u = 243.8 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 5.955 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.857/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 2.900\%$$

$$A_a = 10.22 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}14/15 \text{ (10.26 cm}^2/\text{m)}$$

### 2.1.4.3 Gornja zona - traka P

$$M_u = 162.5 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 7.293 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.681/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 1.922\%$$

$$A_a = 6.78 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } R\text{Ø}14/20 \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

$$A_{a,\min} = 0.1 \times 10^{-2} \times 100 \times 65 = 6.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

### 2.1.5 Dimenzionisanje temeljne ploče – poprečni pravac

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. oslonачki momenti savijanja – donja zona

- polutraka  $S_1$ :  $M_o^{S1} = 5 \times 113.8 = 568.8 \text{ kNm/m}$  (vidi tačku 1.4.2)
- polutraka  $S_2$ :  $M_o^{S2} = 5 \times 75.8 = 379.2 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_o^P = 5 \times 27.1 = 135.4 \text{ kNm/m}$

b. momenti savijanja u polju – gornja zona

- polutrake  $S_1, S_2$ :  $M_p^S = 5 \times 33.9 = 169.3 \text{ kNm/m}$
- traka u polju:  $M_p^P = 5 \times 22.6 = 112.8 \text{ kNm/m}$

#### 2.1.5.1 Donja zona – traka P

Usvajanje armature u oslonачkim presecima u polutrakama  $S_1$  i  $S_2$  je sprovedeno u tački 2.1.3.2. Potrebno je dimenzionisati samo oslonачki deo trake P:

$$a_{1y} = 3 + 2.5 + 2.2/2 = 6.6 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 65 - 6.6 = 58.4 \text{ cm}$$

$$M_u = 135.4 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 7.611 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.649/10\text{‰}; \bar{\mu} = 1.763\%$$

$$A_a = 5.92 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{a,\min} \Rightarrow \text{usv. } R\emptyset 14/20 \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

#### 2.1.5.2 Gornja zona - traka S

$$a_{1y} = 3 + 1.4 + 1.4/2 = 5.1 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 65 - 5.1 = 59.9 \text{ cm}$$

$$M_u = 169.3 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 6.982 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.715/10\text{‰}; \bar{\mu} = 2.099\%$$

$$A_a = 7.23 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } R\emptyset 14/20 \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

#### 2.1.5.3 Gornja zona - traka P

$$M_u = 112.8 \text{ kNm/m} \Rightarrow k = 8.552 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.571/10\text{‰}; \bar{\mu} = 1.393\%$$

$$A_a = 4.80 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{a,\min} \Rightarrow \text{usv. } R\emptyset 14/20 \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

Usvojena armatura za karakteristično srednje polje je šematski prikazana na skici. Nedostajuća podeona armatura u donjoj zoni usvojena je kod crtanja plana armature. Napominje se da je uobičajeno armirati čitavu donju zonu temeljne ploče i to barem minimalnom armaturom ( $A_{a,\min} = 0.1 \times d_p = 6.5 \text{ cm}^2/\text{m}$  – u ovom slučaju usvojeno  $R\emptyset 14/20$ ).

