

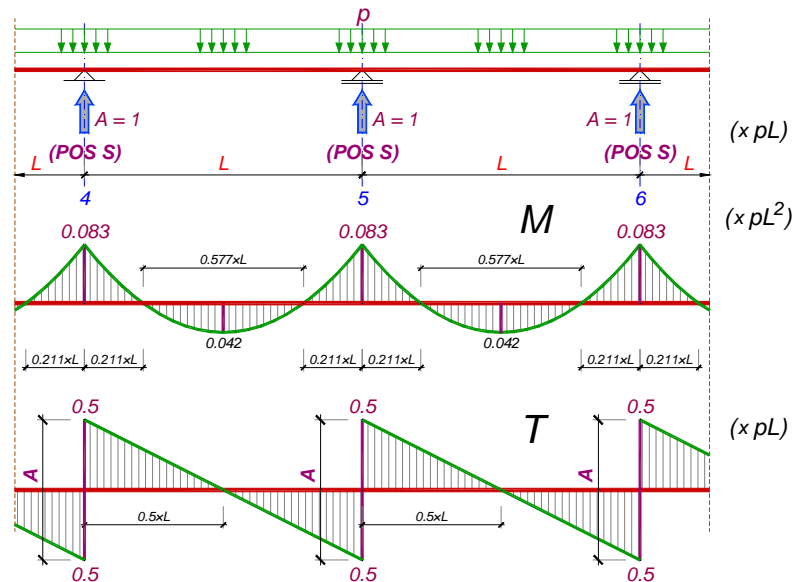
Tipska ploča međuspratne **petospratne** konstrukcije, debljine $d_p = 20 \text{ cm}$, direktno je oslonjena na stubove konstantnog kružnog preseka prečnika $D = 40 \text{ cm}$. Osovinsko rastojanje stubova u dva ortogonalna pravca je 6.0 m , odnosno 5.0 m . Spratna visina je 3.0 m . Pored sopstvene težine, ploča je opterećena i povremenim opterećenjem $p = 10 \text{ kN/m}^2$ (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 $g = 0.20 \times 25 = 5.0 \text{ kN/m}^2$
- povremeno opterećenje $p = 10.0 \text{ kN/m}^2$

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 spirale¹:

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

Usvajajući minimalni procenat armiranja podužnom armaturom, sledi:

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

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

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

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

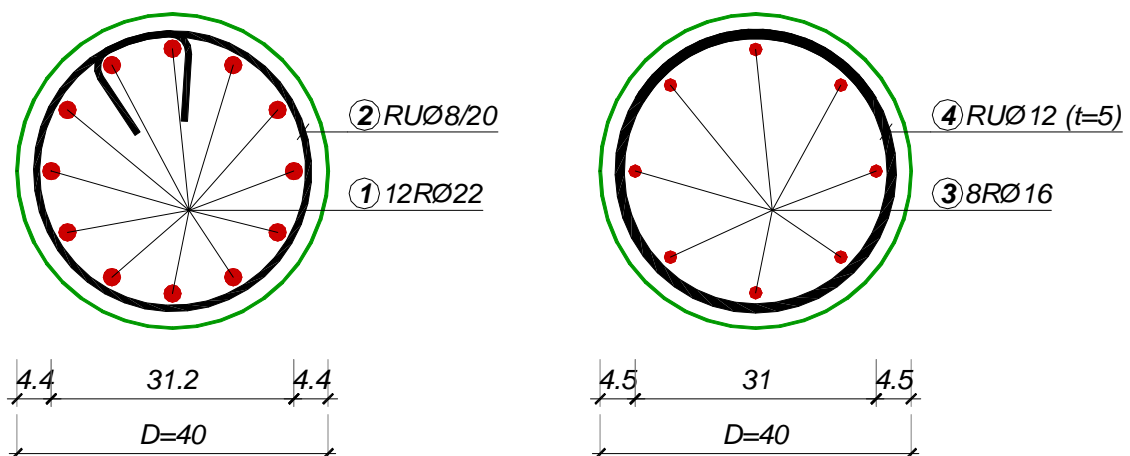
$$\emptyset_s 14 \Rightarrow a_{as}^{(1)} = 1.539 \text{ cm}^2 \Rightarrow e_s \leq 3.79 \times 1.539 = 5.84 \text{ cm}$$

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



¹ 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 τ_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 τ_2 veća od maksimalnog napona smicanja τ_{\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 τ_2 ili je potrebno povećati količinu armature u gornjoj zoni (recimo, armiranjem polutraka S_1 i S_2 istom količinom armature).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.3.2 Kontrola maksimalnog napona smicanja

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

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

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

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

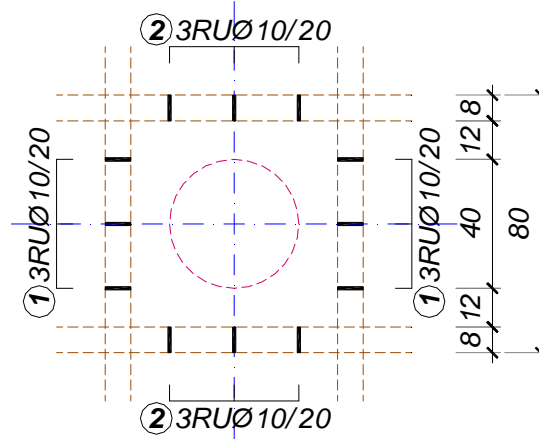
$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{1.30} \times 0.09 = 0.116 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.159 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kako je dopušteni napon τ_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: **4x3URØ10/20**
(4x3x2x0.785 = 18.85 cm²)

Principijelni detalj osiguranja uzengijama, postavljenim u skladu sa odredbama člana 220. Pravilnika BAB 87, prikazan je u osnovi na skici desno. Detaljno je obrađen u primeru P5.



1.4 DIMENZIONISANJE TIPSKE PLOČE

1.4.1 Dimenzionisanje – podužni pravac

Grafični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka S₁: $M_o^{S1} = 2.1 \times M_o/L_y = 2.1 \times 26 \times 6^2 / 12 = 163.8 \text{ kNm/m}$
- polutraka S₂: $M_o^{S2} = 1.4 \times M_o/L_y = 1.4 \times 26 \times 6^2 / 12 = 109.2 \text{ kNm/m}$
- 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 S₁, S₂: $M_p^S = 1.25 \times M_p/L_y = 1.25 \times 26 \times 6^2 / 24 = 48.8 \text{ kNm/m}$
- 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 S₁ i S₂ je sprovedeno u tački 1.3.1. Potrebno je dimenzionisati samo oslonički deo trake P:

$$k = \frac{17.05}{\sqrt{\frac{39.0}{2.3}}} = 4.141 \Rightarrow \epsilon_b/\epsilon_a = 1.332/10\% ; \bar{\mu} = 6.088\%$$

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

1.4.1.2 Donja zona - traka S

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

$$k = \frac{17.4}{\sqrt{\frac{48.8}{2.3}}} = 3.779 \Rightarrow \epsilon_b/\epsilon_a = 1.501/10\% ; \bar{\mu} = 7.347\%$$

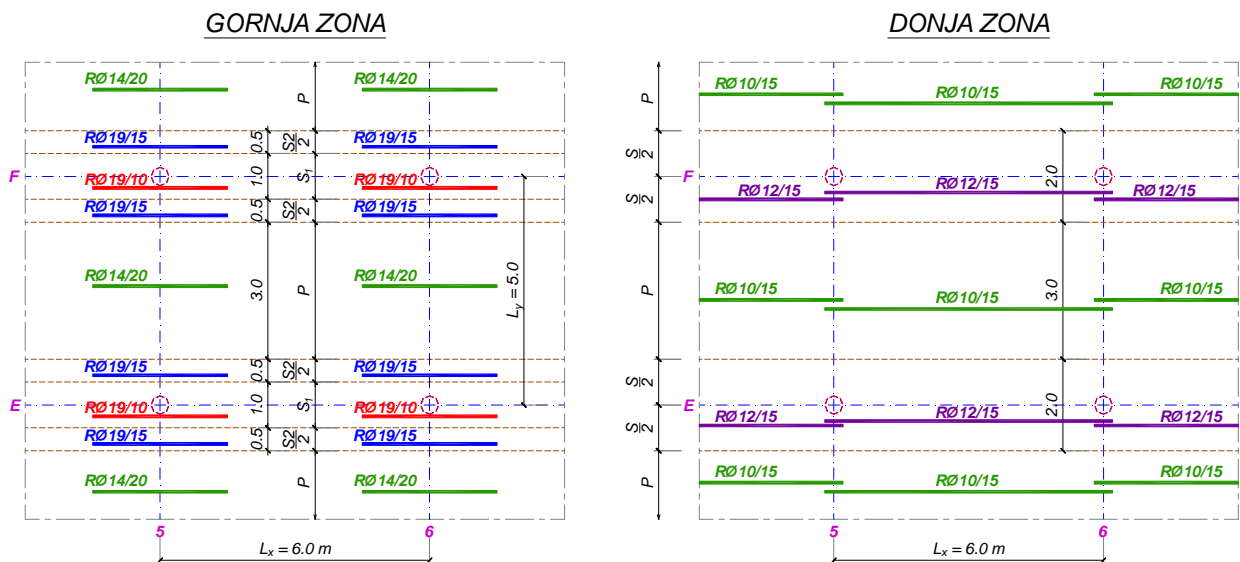
$$A_a^S = 7.347 \times 17.4 \times \frac{2.3}{40} = 7.35 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\O 12/15} \quad (7.54 \text{ cm}^2/\text{m})$$

1.4.1.3 Donja zona - traka P

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

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

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

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonачki) momenti savijanja

- polutraka S_1 : $M_o^{S1} = 2.1 \times M_o/L_x = 2.1 \times 26 \times 5^2/12 = 113.8 \text{ kNm/m}$
- polutraka S_2 : $M_o^{S2} = 1.4 \times M_o/L_x = 1.4 \times 26 \times 5^2/12 = 75.8 \text{ kNm/m}$
- 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

- polutrake 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 oslonачkih preseka u polutrakama S_1 i S_2 je sprovedeno u tački 1.3.1. Potrebno je dimenzionisati samo oslonачki deo trake P:

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

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

1.4.2.2 Donja zona - traka S

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

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

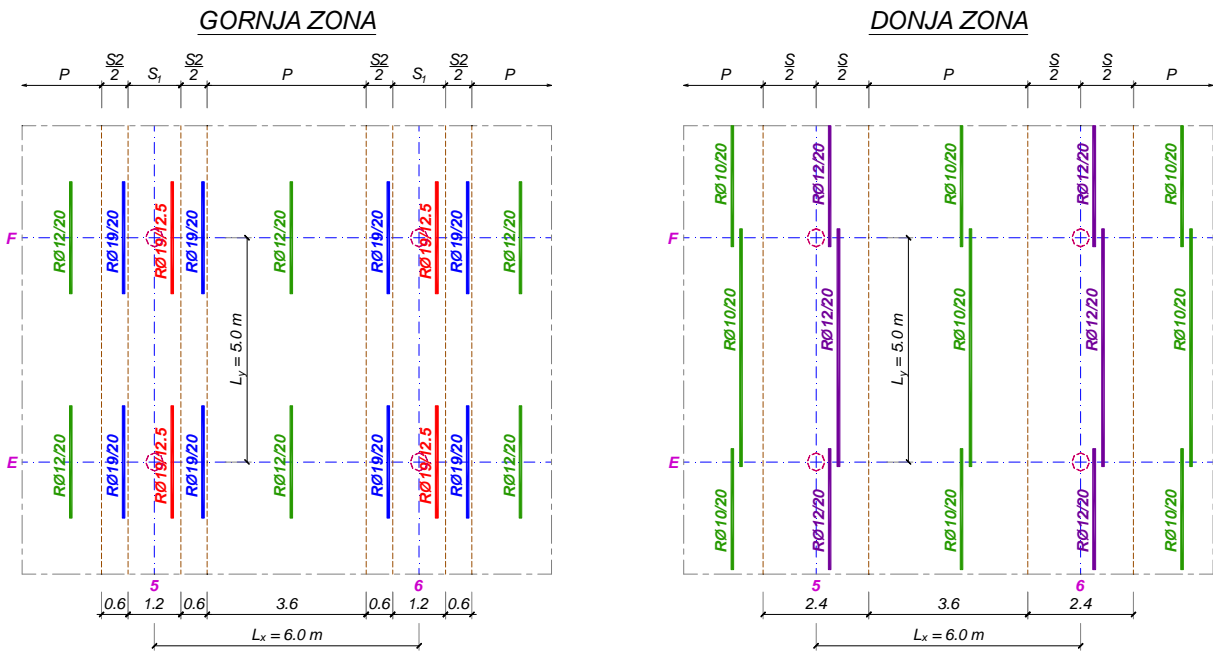
$$A_a^S = 5.848 \times 16.2 \times \frac{2.3}{40} = 5.45 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\bar{\text{O}}12/20 \text{ (5.65 cm}^2/\text{m)}$$

1.4.2.3 Donja zona - traka P

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

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

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 raspodeljenim 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

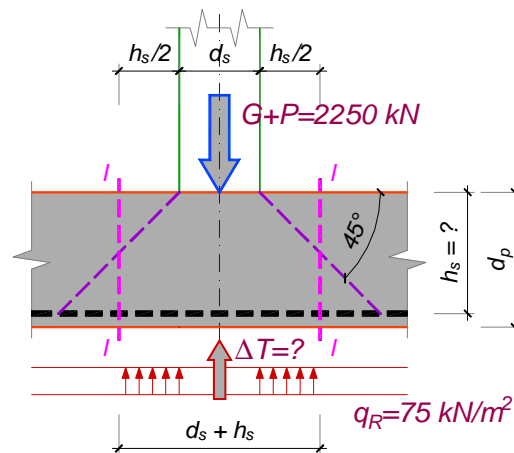
Uslov zadatka je da ploča bude konstantne debljine, pa formiranje kapitela kao mogućnost otpada. Kako debljina ploče utiče i na veličinu smičućeg napona, kao i na količinu armature za savijanje (tj. na veličinu dopuštenih napona smicanja), postupak je iterativan.

Debljina ploče se odredi iz maksimalnog smičućeg napona τ_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 ΔT 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)

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

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

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)

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

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

2.1.2 Kontrola dopuštenog napona smicanja

Sa ovako usvojenom armaturom vrši se provera dopuštenog napona τ_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

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

$$A_{ax}^{S1,S2} = 10.200 \times 60.9 \times \frac{2.3}{40} = 35.72 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\O22/10} \quad (38.01 \text{ cm}^2/\text{m})$$

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

$$A_{ay}^{S1,S2} = 7.538 \times 58.7 \times \frac{2.3}{40} = 25.44 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\O22/15} \quad (25.34 \text{ cm}^2/\text{m})$$

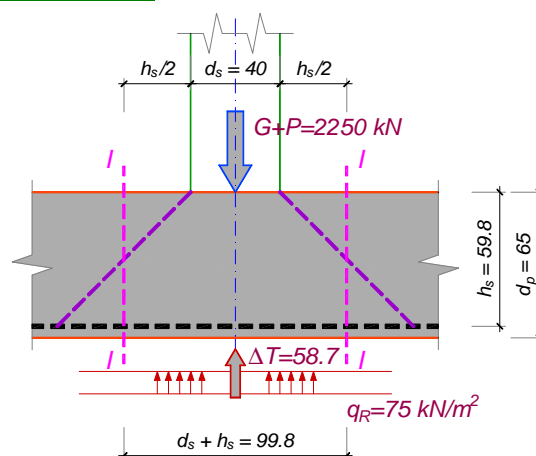
2.1.3.2 Kontrola proboja sa pretpostavljenom debljinom ploče

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

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

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

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



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

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

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:

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

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

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

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

Kako je dopušteni napon τ_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° potrebno:

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

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

b. momenti savijanja u polju – gornja zona

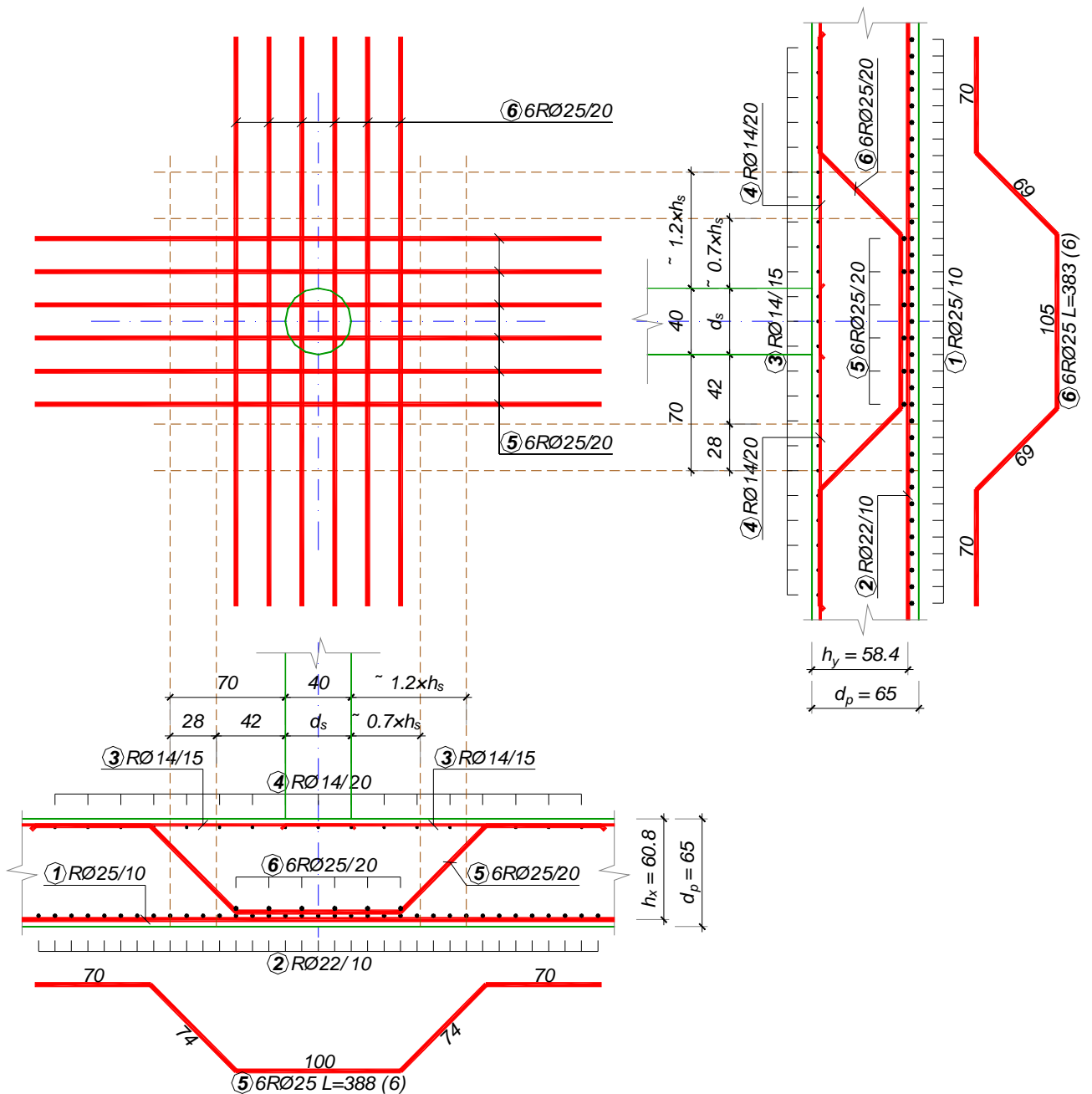
- polutrake S_1, S_2 : $M_p^S = 5 \times 48.8 = 243.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_p^P = 5 \times 32.5 = 162.5 \text{ kNm/m}$

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:

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

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



2.1.4.2 Gornja zona - traka S

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

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

$$A_a = 10.22 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } RØ14/15 \text{ (10.26 cm}^2/\text{m)}$$

2.1.4.3 Gornja zona - traka P

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

$$A_a = 6.78 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } RØ14/20 \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

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

2.1.5 Dimenzionisanje temeljne ploče – poprečni pravac

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. oslonački 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 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:

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

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

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

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 $R\emptyset 14/20$).

