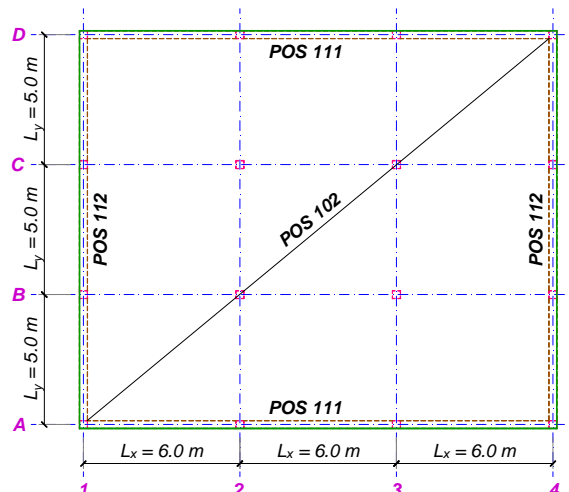


1 PRORAČUN PLOČE POS 102

- varijanta: ploča direktno oslonjena na stubove i ivične grede -

Dimenzionisati ploču oslonjenu na 4 stuba visine 4.0 m i ivične grede. Ploča je, pored sopstvene težine, opterećena i dodatnim stalnim opterećenjem $\Delta g = 2 \text{ kN/m}^2$ i povremenim opterećenjem $p = 8 \text{ kN/m}^2$, koja deluju po čitavoj površini ploče. Usvojeni kvalitet materijala: MB 35, RA 400/500.



1.1 USVAJANJE DEBLJINE PLOČE

Zadržavajući rešenje iz primera P5, usvaja se $d_p = 20 \text{ cm}$.

1.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

a. stalno opterećenje

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

b. povremeno opterećenje $p = 8.0 \text{ kN/m}^2$

1.3 PRORAČUN SILA U STUBOVIMA I USVAJANJE DIMENZIJA

Proračun je detaljno opisan u primeru P5, pa se ovde sprovodi bez ikakvih komentara.

Reakcije srednjih oslonaca kontinualnog nosača na tri polja, odnosno sile u stubovima su:

$$G = 1.1 \times 7.0 \times 5.0 \times 6.0 = 231 \text{ kN} \quad ; \quad P = 1.1 \times 8.0 \times 5.0 \times 6.0 = 264 \text{ kN}$$

$$A_{b, \text{potr.}} = \frac{N_u}{f_B \times (1 + \mu_{\min})} = \frac{1.9 \times 231 + 2.1 \times 264}{2.3 \times \left(1 + 0.6 \times 10^{-2} \times \frac{40}{2.3}\right)} = 391 \text{ cm}^2$$

Poštujući ostale uslove navedene u primeru P5 (vitkost¹, minimalna dimenzija stuba kod ploče direktno oslonjene na stubove), usvajaju se kvadratni stubovi dimenzija 30x30 cm.

1.4 KONTROLA U ODNOSU NA PROBIJANJE

Debljina ploče je zadržana, dok je opterećenje ploče povećano oko 25%, što će rezultirati povećanjem potrebne površine armature za savijanje i (neznatnim) smanjenjem statičke visine. Maksimalni smičući napon usled probijanja će biti određen sa procenjenom vrednošću srednje statičke visine h_s :

$$h_s = \frac{h_x + h_y}{2} \approx d_p - 4 = 16 \text{ cm} \quad ; \quad d_s = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times d^2} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times 30^2} = 33.9 \text{ cm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{231 + 264}{\pi \times (33.9 + 16) \times 16} = 0.198 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

¹ Misli se na Pravilnikom maksimalno dopuštenu vitkost stuba $\lambda=140$

Maksimalna vrednost dopuštenog napona smicanja τ_2 odgovara maksimalnom procentu armiranja $\mu=1.5\%$:

$$\tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.5} \times 0.24 = 0.172 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.198 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

S obzirom na prekoračenje dopuštenog napona od oko 15%, potpuno je bespredmetno redukovati silu G+P za vrednost opterećenja koje deluje unutar konusa probijanja ili raditi proračun prema momentima savijanja u cilju određivanja stvarne statičke visine h.

Moguća rešenja su:

- povećanje marke betona;
- povećanje dimenzije stuba;
- povećanje debljine ploče, bilo debljine cele ploče ili formiranjem lokalnog zadebljanja (kapitela).

1.4.1 Povećanje marke betona

Kao što je poznato, povećanje marke betona gotovo zanemarljivo utiče na smanjenje potrebne površine armature za savijanje. Takođe, povećanje modula deformacije (odnosno smanjenje ugiba ploče) je neznatno, pa je suštinska korist od prvog rešenja povećanje dopuštenog smičućeg napona τ_b . U konkretnom slučaju, zadržavajući maksimalni procenat armiranja u zoni stuba, potrebno je usvojiti:

$$\tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.5} \times \tau_b = \tau_{\max} = 0.198 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \tau_b \geq \frac{0.198}{0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.5}} = 0.276 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

što odgovara MB 45 (član 122 PBAB 87, $\tau_b = 2.8 \text{ MPa}$).

1.4.2 Povećanje dimenzije stuba

Ukoliko se zadrže debljina ploče i marka betona, potrebna dimenzija stuba se dobija kao:

$$\tau_{\max} = \frac{231 + 264}{\pi \times (d_s + 16) \times 16} = \tau_{2,\max} = 0.172 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow d_s \geq \frac{495}{\pi \times 0.172 \times 16} - 16 = 41.3 \text{ cm}$$

što, za slučaj kvadratnog, odnosno pravougaonog stuba definisane širine $b=30 \text{ cm}$, daje:

$$b = d = \sqrt{\frac{\pi}{4} \times d_s^2} = 36.6 \text{ cm} \quad - \text{usvojen stub kvadratnog preseka } 40 \times 40 \text{ cm}$$

$$d = \frac{\pi}{4} \times \frac{d_s^2}{b} = \frac{\pi}{4} \times \frac{41.3^2}{30} = 44.6 \text{ cm} \quad - \text{usvojen stub pravougaonog preseka } 30 \times 45 \text{ cm}^2$$

1.5 POVEĆANJE DEBLJINE CELE PLOČE

Dobre strane ovakvog rešenja bi bile zadržavanje jednostavnije oplata i armature, kao i smanjenje potrebne armature u svim presecima u odnosu na ploču gde bi se podebljanje sprovedo samo lokalno. Loša strana je povećanje ukupnog opterećenja, što se može odraziti i na dimenzije vertikalnih elemenata, temelja i veličinu seizmičkih sila. Koje će rešenje biti usvojeno, zavisi i od ukupnog broja tavanica, kao i velikog broja tehnoeekonomskih pokazatelja koji ovde neće biti razmatrani.

² Voditi računa da se 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

Povećanje debljine ploče će (razumno malo) povećati ukupno opterećenje, a time i momente savijanja u ploči. Istovremeno, statička visina se povećava, što smanjuje potrebnu površinu armature a time i dopušteni smičući napon. Postupak usvajanja debljine ploče je očito iterativan, pa ga je razumno rešavati usvajanjem pojedinih parametara i probanjem:

- zadržavaju se opterećenje, a time i sila proboja i vrednosti momenata savijanja u ploči, da se ne bi licitiralo sa povećanjem ovih vrednosti;
- zadržava se maksimalni procenat armiranja u zoni stuba, a time i maksimalni dopušteni napon smicanja (ovde: $\tau_2 = 0.172 \text{ kN/cm}^2$).

Kako bi povećanje opterećenja bilo što manje, u ovom slučaju se debljina ploče određuje iz dopuštenog napona τ_2 :

$$\tau_{\max} = \tau_2 = \frac{495}{\pi \times (33.9 + h_s) \times h_s} = 0.172 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$(33.9 + h_s) \times h_s = \frac{495}{\pi \times 0.172} = 916 \Rightarrow h_s = \frac{-33.9 + \sqrt{33.9^2 + 4 \times 916}}{2} = 17.8 \text{ cm}$$

$$h_s = \frac{h_x + h_y}{2} \approx d_p - 4 \text{ cm} \Rightarrow d_p \approx h_s + 4 = 21.8 \text{ cm}$$

Zbog svih procena koje su učinjene a nisu na strani sigurnosti (veće opterećenje i sila proboja, stvarni procenat armiranja a time i dopušteni napon smicanja verovatno manji od maksimalnog, manja statička visina od procenjene) za dalji proračun se usvaja $d_p = 24 \text{ cm}$.

$$g = 0.24 \times 25 + 2.0 = 8.0 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow G = 1.1 \times 8.0 \times 5.0 \times 6.0 = 264 \text{ kN}$$

$$p = 8.0 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow P = 1.1 \times 8.0 \times 5.0 \times 6.0 = 264 \text{ kN}$$

$$q_u = 1.6 \times g + 1.8 \times p = 1.6 \times 8.0 + 1.8 \times 8.0 = 27.2 \text{ kN/m}^2$$

1.5.1 Dimenzionisanje prema M - gornja zona, polutrake S₁ i S₂

$$M_{x,u}^{S1} = 2.1 \times \bar{M}_{x,osl} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_x^2}{10} = 2.1 \times \frac{27.2 \times 6.0^2}{10} = 205.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{21}{\sqrt{\frac{205.6}{2.3}}} = 2.221 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 3.5/8.828\% ; \bar{\mu} = 22.982\%$$

$$A_a = 22.982 \times 21 \times \frac{2.3}{40} = 27.75 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/10 \text{ (28.4 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{x,u}^{S2} = 1.4 \times \bar{M}_{x,osl} = 1.4 \times \frac{27.2 \times 6.0^2}{10} = 137.1 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{21}{\sqrt{\frac{137.1}{2.3}}} = 2.720 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.499/10\% ; \bar{\mu} = 14.661\%$$

$$A_a = 14.661 \times 21 \times \frac{2.3}{40} = 17.70 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usv. R}\mathbf{\emptyset}19/15 \text{ (18.9 cm}^2/\text{m)}$$

$$\text{pretp. } a_{1y} = 2 + 1.9 + 1.9/2 = 4.85 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 24 - 4.85 = 19.15 \text{ cm}$$

$$M_{y,u}^{S1} = 2.1 \times \bar{M}_{y,osl} = 2.1 \times \frac{q_u \times L_y^2}{10} = 2.1 \times \frac{27.2 \times 5.0^2}{10} = 142.8 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{19.15}{\sqrt{\frac{142.8}{2.3}}} = 2.430 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 3.127/10\text{‰}; \bar{\mu} = 18.745\%$$

$$A_a = 18.745 \times 19.15 \times \frac{2.3}{40} = 20.64 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\check{O}19/12.5} \quad (22.68 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$M_{y,u}^{S2} = 1.4 \times \bar{M}_{y,osl} = 1.4 \times \frac{27.2 \times 5.0^2}{10} = 95.2 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = \frac{19.15}{\sqrt{\frac{95.2}{2.3}}} = 2.977 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.134/10\text{‰}; \bar{\mu} = 12.091\%$$

$$A_a = 12.091 \times 19.15 \times \frac{2.3}{40} = 13.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\check{O}19/20} \quad (14.18 \text{ cm}^2/\text{m})$$

1.5.2 Kontrola maksimalnog napona smicanja za unutrašnji stub

$$h_x = 24 - 2 - \frac{1.9}{2} = 21.05 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_s = \frac{21.05 + 19.15}{2} = 20.1 \text{ cm}$$

$$\tau_{\max} = \frac{264 + 264}{\pi \times (33.9 + 20.1) \times 20.1} = 0.155 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\mu_x = \frac{A_{ax,sr}}{h_x} = \frac{28.4 + 18.9}{2 \times 21.05} = 1.12\% \quad ; \quad \mu_y = \frac{A_{ay,sr}}{h_y} = \frac{22.68 + 14.18}{2 \times 19.15} = 0.96\%$$

$$\mu = \frac{1.12 + 0.96}{2} = 1.04\% \quad \Rightarrow \quad \tau_2 = \gamma_2 \times \tau_b = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.04} \times 0.24 = 0.143 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Dopušteni napon smicanja τ_2 je prekoračen. S obzirom da je debljina ploče već povećana, dopušteni napon će biti povećan usvajanjem nešto većeg procenta armiranja (polutrake S_1 i S_2 će biti armirane istom armaturom). Sledi:

$$\mu_x = \frac{A_{ax}}{h_x} = \frac{28.4}{21.05} = 1.35\% \quad ; \quad \mu_y = \frac{A_{ay}}{h_y} = \frac{22.68}{19.15} = 1.18\%$$

$$\mu = \frac{1.35 + 1.18}{2} = 1.27\% \quad \Rightarrow \quad \tau_2 = 0.45 \times 1.3 \times \sqrt{1.27} \times 0.24 = 0.158 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_{\max}$$

Konačno se usvaja debljina ploče $d_p = 24 \text{ cm}$, stubovi dimenzija $30 \times 30 \text{ cm}$ i marka betona MB 35. Sa ovako usvojenom armaturom dopušteni napon smicanja τ_1 iznosi:

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times \gamma_1 \times \tau_a = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{1.27} \times 0.09 = 0.114 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_{\max} = 0.155 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

i, s obzirom da je prekoračen, potrebno je izvršiti osiguranje armaturom:

$$A_a = \frac{0.75 \times T_{\max}}{\frac{\sigma_v}{1.8}} = \frac{1.35 \times 528}{40} = 17.82 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **4x3URØ10** ($4 \times 3 \times 2 \times 0.785 = 18.85 \text{ cm}^2$)

Detalj osiguranja uzengijama, postavljenim u skladu sa članom 220. Pravilnika BAB 87, potpuno je analogan onom u primeru P5 i nije posebno prikazan.

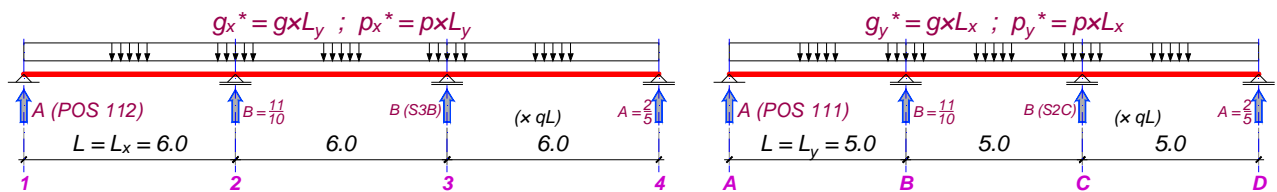
Stubovi u osama 1, 4, A i D (ivični i ugaoni stubovi) su u ovom primeru povezani ivičnim gredama, pa kod njih ne postoji problem probijanja.

1.5.3 Dimenzionisanje ploče

Kada je debljina ploče konačno usvojena iz uslova probijanja, može se sprovesti dimenzionisanje ostalih preseka ploče prema momentima savijanja. S obzirom da je proračun detaljno sproveden u primeru P5, ovde će biti izostavljen.

1.5.4 Proračun ivičnih greda POS 111, 112

Ivične grede prihvataju opterećenje od ploče kao krajnji oslonci kontinualnih nosača sa tri jednaka polja, opterećena jednako raspodeljenim opterećenjem sa ploče.



Kako su svi stubovi kvadratni, dimenzija 30x30 cm, usvojena je i širina greda $b=30$ cm. Visina greda se obično usvaja u granicama $L/10$ do $L/12$, pa je usvojeno $d=50$ cm.

1.5.4.1 POS 111 – grede u osama A i D

Grede POS 111 su kontinualne grede sa tri polja jednakih raspona $L=6.0$ m.

a. stalno opterećenje

- sopstvena težina grede $0.30 \times 0.50 \times 25 = 3.75$ kN/m
- od ploče POS 102 $A_g = 0.4 \times 8.0 \times 5.0 = 16.00$ kN/m
- ukupno, stalno opterećenje $g = 19.75$ kN/m

b. povremeno opterećenje

$$A_p = 0.4 \times 8.0 \times 5.0 = p = 16.00 \text{ kN/m}$$

$$q_u = 1.6 \times g + 1.8 \times p = 1.6 \times 19.75 + 1.8 \times 16.0 = 60.4 \text{ kN/m}$$

$$M_{u,\max} = 60.4 \times \frac{6.0^2}{8} = 271.8 \text{ kNm} ; \quad T_{u,\max} = 0.6 \times 60.4 \times 6.0 = 217.4 \text{ kN}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{271.8 \times 10^2}{30 \times 2.3}}} = 2.167 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 8.140\% \\ \mu = 24.342\% \end{cases}$$

$$A_a = 24.342 \times \frac{30 \times 43}{100} \times \frac{2.3}{40} = 18.06 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{5R\text{\O}22} \text{ (19.01 cm}^2\text{)}$$

$$\tau_{n,\max} = \frac{217.4}{30 \times 0.9 \times 43} = 0.187 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \tau_{Ru} = \frac{3}{2} \times (0.187 - 0.12) = 0.101 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda = 0.6 \times 600 \times \left(1 - \frac{0.12}{0.187}\right) = 129.3 \text{ cm}$$

usvojeno: $m = 2$; $\alpha = 90^\circ$; $\theta = 45^\circ$:

$$e_u = \frac{2 \times 0.503}{30 \times 0.101} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 13.3 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{UR\text{\O}8/12.5} \text{ (} m=2\text{)}$$

Usvojene su pretpostavljene dimenzije grede $b/d = 30/50$ cm.

1.5.4.2 POS 112 – grede u osama 1 i 4

Grede POS 112 su kontinualne grede sa tri polja jednakih raspona $L=5.0$ m.

a. stalno opterećenje

- sopstvena težina grede $0.30 \times 0.50 \times 25 = 3.75$ kN/m
- od ploče POS 102 $A_g = 0.4 \times 8.0 \times 6.0 = 19.20$ kN/m
- ukupno, stalno opterećenje $g = 22.95$ kN/m

b. povremeno opterećenje $A_p = 0.4 \times 8.0 \times 6.0 = p = 19.20$ kN/m

$$q_u = 1.6 \times g + 1.8 \times p = 1.6 \times 22.95 + 1.8 \times 19.2 = 71.28 \text{ kN/m}$$

$$M_{u,max} = 71.28 \times \frac{5.0^2}{8} = 222.8 \text{ kNm}; \quad T_{u,max} = 0.6 \times 71.28 \times 5.0 = 213.8 \text{ kN}$$

Podrazumeva se da je sve karakteristične preseke greda potrebno dimenzionisati prema momentima savijanja i transverzalnim silama. U ovom primeru to nije učinjeno, s obzirom da je fokus na proračunu ploča direktno oslonjenih na stubove.

1.6 LOKALNO POVEĆANJE DEBLJINE PLOČE – FORMIRANJE KAPITELA

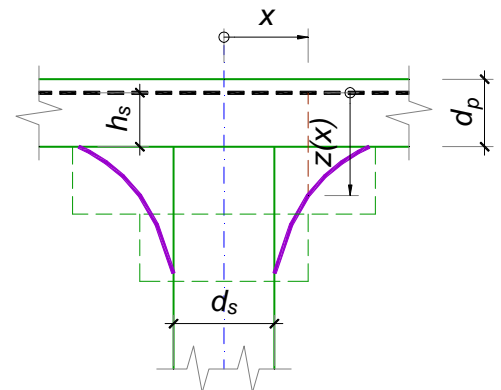
Dimenzije kapitela se određuju iz uslova da ne budu prekoračeni dopušteni naponi u betonu (uobičajeno je da ne bude prekoračen napon τ_1 , kako bi se izbeglo i osiguranje armaturom). Kapitel je moguće formirati tako da obuhvati **hiperbolu probijanja** – graničnu liniju dobijenu iz uslova da su naponi smicanja na proizvoljnoj udaljenosti od stuba jednaki dopuštenim:

$$\tau = \frac{G+P}{O \times z(x)} = \frac{G+P}{2\pi \times x \times z(x)} \leq \tau_1$$

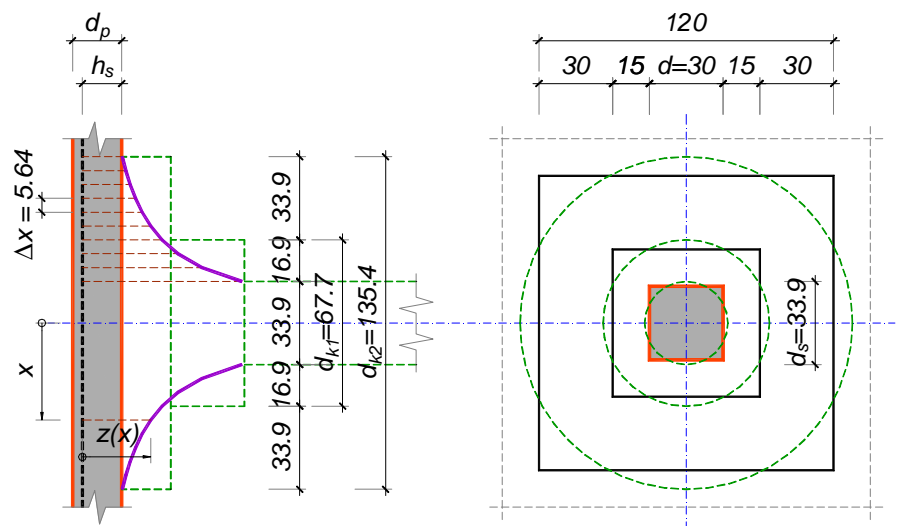
Mada u literaturi postoje i predlozi da se u slučaju kvadratnog stuba probijanje pretpostavi po zarubljenoj piramidi, to ovde nije učinjeno, jer se svi izrazi u propisima odnose na zarubljeni konus i ekvivalentni kružni poprečni presek.

Pretpostavljajući minimalnu vrednost dopuštenog napona smicanja τ_1 (sračunatu za minimalni procenat armiranja $\mu=0.5\%$), sledi:

$$\tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{0.5} \times 0.09 = 0.072 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow z(x) = \frac{231+264}{2\pi \times x \times 0.072} = \frac{1099}{x}$$



$x_{kv.}$	x	z
15	16.9	64.9
20	22.6	48.7
25	28.2	38.9
30	33.9	32.5
35	39.5	27.8
40	45.1	24.3
45	50.8	21.6
50	56.4	19.5
55	62.1	17.7
60	67.7	16.0



U tabeli i na skici su prikazani hiperbola proboja (ljubičasto) i usvojeni oblik kapitela kvadratnog oblika, koji prati oblik stuba. Ordinate hiperbole probijanja $z(x)$ su računane na svakih 5 cm od ivice stuba. Dobijene vrednosti $d_{k1} = 67.7$ cm i $d_{k2} = 135.4$ cm predstavljaju prečnike zamenjujućih krugova za kvadrate stranica 60 i 120 cm respektivno, kolike su usvojene dimenzije kapitela u osnovi.

$$\Delta x = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times 5 = 5.64 \text{ cm} ; \quad d_{k1} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times 60 = 67.7 \text{ cm} ; \quad d_{k2} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times 120 = 135.4 \text{ cm}$$

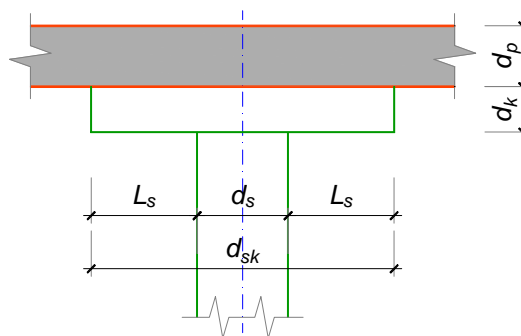
1.6.1 Kapitel u formi jastuka – »drop panel«

Umesto usvajanja oblika i dimenzija kapitela konstrukcijom hiperbole probijanja, vrlo čest slučaj u praksi je da se formira kapitel kružnog ili pravougaonog oblika u formi jastuka konstantne debljine, kako je prikazano na skici desno.

Ukoliko je strana kapitela na spoju sa pločom:

$$d_{sk} < 0.3 \times L_{\min} = 0.3 \times 500 = 150 \text{ cm}$$

proračun se može sprovesti, kao i u prethodnim primerima, metodom zamenjujućih kontinualnih grednih nosača (član 219. PBAB 87), jer se može smatrati da je promena krutosti nosača neznatna i da prisustvo kapitela neće bitno promeniti veličinu momenata savijanja u ploči.



1.6.1.1 Analiza opterećenja

S obzirom da je težina kapitela zanemarljiva, a da je zadržana debljina ploče $d_p = 20$ cm, analiza opterećenja je data u tački 1.2.

$$q_u = 1.6 \times x_g + 1.8 \times x_p = 1.6 \times 7.0 + 1.8 \times 8.0 = 25.6 \text{ kN/m}^2$$

1.6.1.2 Dimenzionisanje ploče u zoni stuba – podužni pravac

$$M_{x,u}^{S1} = 2.1 \times \overline{M}_{x,osl} = 2.1 \times \frac{25.6 \times 6.0^2}{10} = 193.5 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 1.853 \Rightarrow A_a = 34.84 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } \mathbf{R\O22/10} \text{ (38.01 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{x,u}^{S2} = 1.4 \times \overline{M}_{x,osl} = 1.4 \times \frac{25.6 \times 6.0^2}{10} = 129.0 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$\text{stv. } a_{1x} = 2.2 + 2.2/2 = 3.3 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 20 - 3.3 = 16.7 \text{ cm}$$

$$k = 2.230 \Rightarrow A_a = 21.88 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } \mathbf{R\O22/15} \text{ (25.34 cm}^2/\text{m)}$$

1.6.1.3 Dimenzionisanje ploče u zoni stuba – poprečni pravac

$$a_{1y} = 2.2 + 2.2 + 1.9/2 = 5.35 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 20 - 5.35 = 14.65 \text{ cm}$$

$$M_{y,u}^{S1} = 2.1 \times \overline{M}_{y,osl} = 2.1 \times \frac{25.6 \times 5.0^2}{10} = 134.4 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 1.916 \Rightarrow A_a = 27.57 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } \mathbf{R\O19/10} \text{ (28.35 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{y,u}^{S2} = 1.4 \times \overline{M}_{y,osl} = 1.4 \times \frac{25.6 \times 5.0^2}{10} = 89.6 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

$$k = 2.347 \Rightarrow A_a = 17.07 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usv. } \mathbf{R\O19/15} \text{ (18.90 cm}^2/\text{m)}$$

1.6.1.4 Određivanje debljine kapitela

U praktičnim proračunima dimenzije kapitela se mnogo češće usvajaju na osnovu iskustva, raspoložive visine ili određenih preporuka, a zatim se vrši provera napona smicanja i eventualna korekcija pretpostavljenih veličina.

Pravilnik BAB 87 u članu 222, slika 57, preporučuje da debljina kapitela, ukoliko se izvodi kao »drop panel«, ne bude manja od usvojene debljine ploče ($d_k \geq d_p$, skica desno).

Poštujući ovu preporuku, za debljinu kapitela usvojeno je $d_k = 20$ cm. Provera smičućih napona u karakterističnim presecima biće sprovedena prema članu 220 PBAB 87, u zavisnosti od usvojenih dimenzija kapitela u osnovi.

1.6.1.5 Određivanje dimenzije kapitela u osnovi

Potrebno je pronaći presek u kome kapitel posmatran kao »stub« ekvivalentnog prečnika d_{sk} ne probija ploču debljine d_p (presek I-I na skici desno), odnosno u kome je zadovoljen dopušteni napon τ_1 . Dopušteni napon zavisi od površine armature (sračunata u 1.6.1.2 i 1.6.1.3) i poznate statičke visine h_s' :

$$h_x = 20 - \left(2.2 + \frac{2.2}{2} \right) = 16.7 \text{ cm}$$

$$h_y = 20 - \left(2.2 + 2.2 + \frac{1.9}{2} \right) = 14.65 \text{ cm}$$

$$\mu_x = \frac{38.01 + 25.34}{2 \times 16.7} = 1.90\%$$

$$\mu_y = \frac{28.35 + 18.90}{2 \times 14.65} = 1.61\%$$

$$\mu = \frac{1.90 + 1.61}{2} = 1.75\% > 1.5\% \Rightarrow \tau_1 = \frac{2}{3} \times 1.3 \times 1.3 \times \sqrt{1.5} \times 0.09 = 0.124 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$h_s' = \frac{16.7 + 14.65}{2} = 15.7 \text{ cm} \Rightarrow \tau_{\max} = \frac{495}{\pi \times (L_k + 15.7) \times 15.7} \leq \tau_1$$

$$d_{sk} \geq \frac{495}{\pi \times 0.124 \times 15.7} - 15.7 = 65.3 \text{ cm}$$

Potrebni zamenjujući prečnik kapitela je $d_{sk} \geq 65.3$ cm. Kako je usvojen kapitel kvadratnog preseka, potrebna dimenzija u osnovi je:

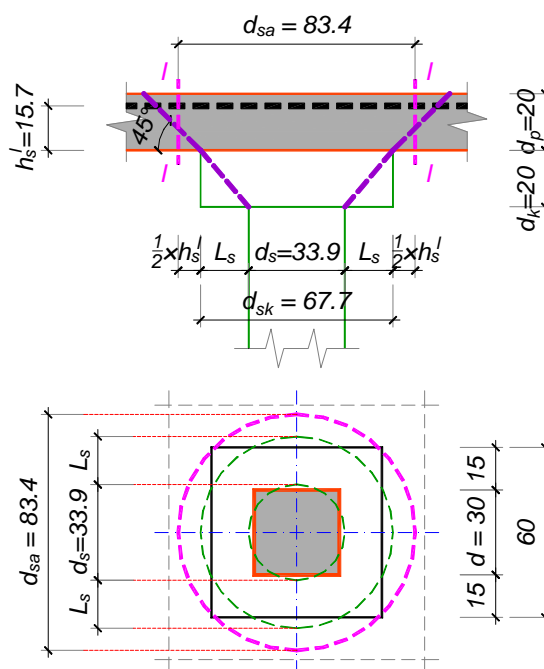
$$d_{sk} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \times b_k^2} \Rightarrow b_k \geq \sqrt{\frac{\pi}{4}} \times 65.3 = 57.8 \text{ cm}$$

$$d_{sk,stv.} = \sqrt{\frac{4}{\pi}} \times 60 = 67.7 \text{ cm} < 0.3 \times L_{\min} = 150 \text{ cm}$$

Usvojen je kapitel dimenzija 60x60 cm u osnovi, ukupne debljine 20+20=40 cm. Kako je:

$$L_s = \frac{d_{sk} - d_s}{2} = \frac{67.7 - 33.9}{2} = 16.9 \text{ cm} < d_k = 20 \text{ cm}$$

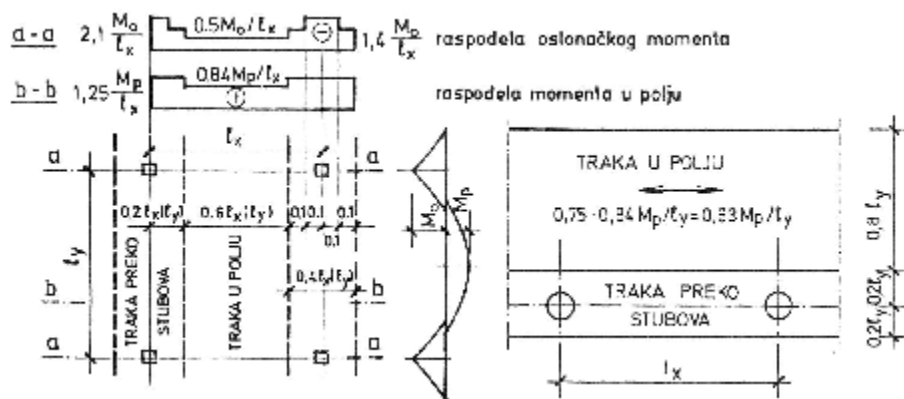
to nije potrebno vršiti kontrolu proboja u preseku uz stub. Za detaljnije informacije pogledati i objašnjenje uz članove 220 do 222 Priručnika za primenu Pravilnika BAB 87 (Tom 1, strane 623-629).



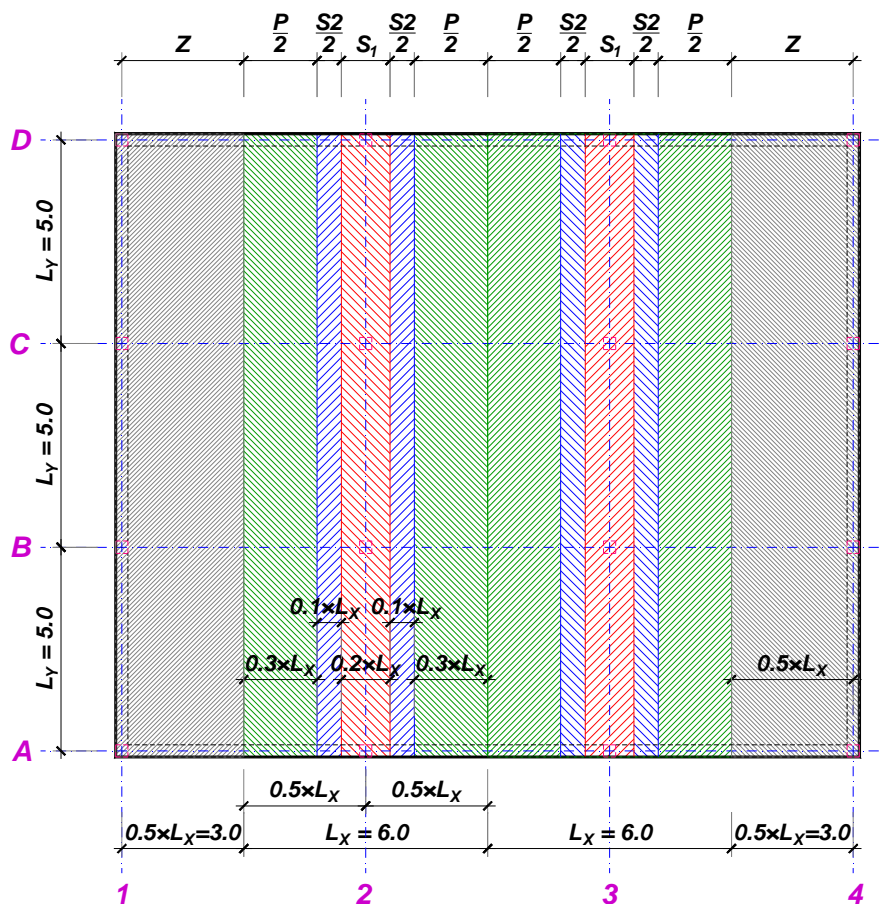
1.7 DIMENZIONISANJE PLOČE

Nakon provere proboja i usvajanja konačnih dimenzija ploče i stubova, proračun se završava dimenzionisanjem ploče prema momentima savijanja. U primeru P5 je proračun detaljno sproveden za ploču direktno oslonjenu na 16 stubova, pa je glavna razlika u odnosu na taj slučaj tretiranje trake uz ivične grede.

U Priručniku za primenu Pravilnika za beton i armirani beton, u delu koji se odnosi na tumačenje člana 219 Pravilnika, Tom 1, str. 611, definisan je statički tretman ovog dela ploče: »Ako se ploča po ivici oslanja linijski na zid ili podvlaku, tada se dimenzionisanje preseka za traku u krajnjem polju paralelnu oslonačkoj ivici sprovodi u odnosu na 75% momenta u polju, tj. na iznos $0.63 \times M_{px}/L_y$, odnosno $0.63 \times M_{py}/L_x$, slika 219/2«.



Iz prethodne preporuke se može zaključiti da je traku uz zid, odnosno ivičnu gredu, na širini od $0.8 \times L$ potrebno armirati samo u donjoj zoni, što prosto ne odgovara dijagramima uticaja dobijenim iz referentnih programskih paketa (Tower, SAN i slično), kojima je proračunat veliki broj izvedenih objekata. Stoga se, umesto preporuke definisane u pojašnjenju člana 219 PBAB, predlaže se da se podela na trake izvrši na sledeći način:



Dakle, da se u delu krajnjih polja uz linijske oslonce formira, uz polutraku S_2 , traka P/2 (kao u srednjem polju, i pozitivni i negativni momenti savijanja), širine $0.3 \times L_x$ odnosno $0.3 \times L_y$ a preostali deo, širine $0.5 \times L_x$ odnosno $0.5 \times L_y$ armira samo u donjoj zoni, sračunatim momentima $0.63 \times M_{px}/L_y$, odnosno $0.63 \times M_{py}/L_x$. Ovakva raspodela momenata savijanja bolje odgovara numerički dobijenim vrednostima.

1.7.1 Dimenzionisanje – podužni pravac

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka S_1 : $M_1^{S1} = 2.1 \times M_1/L_y = 2.1 \times 25.6 \times 6^2 / 10 = 193.5 \text{ kNm/m}$
- polutraka S_2 : $M_1^{S2} = 1.4 \times M_1/L_y = 1.4 \times 25.6 \times 6^2 / 10 = 129.0 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_1^P = 0.5 \times M_1/L_y = 0.5 \times 25.6 \times 6^2 / 10 = 46.1 \text{ kNm/m}$

b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

krajnja polja:

- polutrake S_1, S_2 : $M_{0-1}^S = 1.25 \times M_{0-1}/L_y = 1.25 \times 0.08 \times 25.6 \times 6^2 = 92.2 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_{0-1}^P = 0.84 \times M_{0-1}/L_y = 0.84 \times 0.08 \times 25.6 \times 6^2 = 61.4 \text{ kNm/m}$
- traka uz gredu: $M_{0-1}^Z = 0.63 \times M_{0-1}/L_y = 0.63 \times 0.08 \times 25.6 \times 6^2 = 46.1 \text{ kNm/m}$

srednje polje:

- polutrake S_1, S_2 : $M_{1-2}^S = 1.25 \times M_{1-2}/L_y = 1.25 \times 0.025 \times 25.6 \times 6^2 = 28.8 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_{1-2}^P = 0.84 \times M_{1-2}/L_y = 0.84 \times 0.025 \times 25.6 \times 6^2 = 19.2 \text{ kNm/m}$
- traka uz gredu: $M_{1-2}^Z = 0.63 \times M_{1-2}/L_y = 0.63 \times 0.025 \times 25.6 \times 6^2 = 14.4 \text{ kNm/m}$

1.7.2 Dimenzionisanje - gornja zona

Dimenzionisanje osloničkih preseka u polutrakama S_1 i S_2 je sprovedeno u tački 1.6.1.2. Potrebno je dimenzionisati samo oslonički deo trake P:

$$k = \frac{16.7}{\sqrt{\frac{46.1}{2.3}}} = 3.731 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.528/10\% ; \bar{\mu} = 7.546\%$$

$$A_a^P = 7.546 \times 16.7 \times \frac{2.3}{40} = 7.25 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ14/20 (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3 Dimenzionisanje - donja zona

1.7.3.1 krajnja polja, traka S

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{92.2}{2.3}}} = 2.733 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.477/10\% ; \bar{\mu} = 14.513\%$$

$$A_a^S = 14.513 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 14.44 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ14/10 (15.39 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3.2 krajnja polja, traka P

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{61.4}{2.3}}} = 3.347 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.779/10\% ; \bar{\mu} = 9.451\%$$

$$A_a^P = 9.451 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 9.40 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ14/15 (10.26 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3.3 krajnja polja, traka Z

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{46.1}{2.3}}} = 3.865 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.457/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.015\%$$

$$A_a^Z = 7.015 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 6.98 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ14/20 (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3.4 srednje polje, traka S

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{28.8}{2.3}}} = 4.889 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.082/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 4.333\%$$

$$A_a^S = 4.333 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 4.31 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ8/10 (5.03 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3.5 srednje polje, traka P

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{19.2}{2.3}}} = 5.988 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.852/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 2.867\%$$

$$A_a^P = 2.867 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 2.85 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. RØ8/15 (3.35 cm}^2/\text{m)}$$

1.7.3.6 srednje polje, traka Z

$$k = \frac{17.3}{\sqrt{\frac{14.4}{2.3}}} = 6.914 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.723/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 2.142\%$$

$$A_a^Z = 2.142 \times 17.3 \times \frac{2.3}{40} = 2.13 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} > A_{a,\text{min}} \Rightarrow \quad \text{usv. RØ8/20 (2.51 cm}^2/\text{m)}$$

1.8 DIMENZIONISANJE PLOČE – POPREČNI PRAVAC

Granični računski momenti savijanja po trakama su:

a. negativni (oslonički) momenti savijanja

- polutraka S₁: $M_1^{S1} = 2.1 \times M_1/L_x = 2.1 \times 25.6 \times 5^2 / 10 = 134.4 \text{ kNm/m}$
- polutraka S₂: $M_1^{S2} = 1.4 \times M_1/L_x = 1.4 \times 25.6 \times 5^2 / 10 = 89.6 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_1^P = 0.5 \times M_1/L_x = 0.5 \times 25.6 \times 5^2 / 10 = 32.0 \text{ kNm/m}$

b. pozitivni (u polju) momenti savijanja

krajnja polja:

- polutrake S₁, S₂: $M_{0-1}^S = 1.25 \times M_{0-1}/L_x = 1.25 \times 0.08 \times 25.6 \times 5^2 = 64.0 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_{0-1}^P = 0.84 \times M_{0-1}/L_x = 0.84 \times 0.08 \times 25.6 \times 5^2 = 42.7 \text{ kNm/m}$
- traka uz gredu: $M_{0-1}^Z = 0.63 \times M_{0-1}/L_x = 0.63 \times 0.08 \times 25.6 \times 5^2 = 32.0 \text{ kNm/m}$

srednje polje:

- polutrake S₁, S₂: $M_{1-2}^S = 1.25 \times M_{1-2}/L_x = 1.25 \times 0.025 \times 25.6 \times 5^2 = 20.0 \text{ kNm/m}$
- traka u polju: $M_{1-2}^P = 0.84 \times M_{1-2}/L_x = 0.84 \times 0.025 \times 25.6 \times 5^2 = 13.3 \text{ kNm/m}$
- traka uz gredu: $M_{1-2}^Z = 0.63 \times M_{1-2}/L_x = 0.63 \times 0.025 \times 25.6 \times 5^2 = 10.0 \text{ kNm/m}$

1.8.1 Dimenzionisanje - gornja zona

Dimenzionisanje osloničkih preseka u polutrakama S₁ i S₂ je sprovedeno u tački 1.6.1.3. Potrebno je dimenzionisati samo oslonički deo trake P:

$$a_{1y} = 2.2 + 2.2 + 1.9/2 = 5.35 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_y = 20 - 5.35 = 14.65 \text{ cm}$$

$$k = \frac{14.65}{\sqrt{\frac{32.0}{2.3}}} = 3.928 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.426/10\text{‰}; \bar{\mu} = 6.787\%$$

$$A_a^P = 6.787 \times 14.65 \times \frac{2.3}{40} = 5.72 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/20} \text{ (5.65 cm}^2/\text{m)}$$

1.8.2 Dimenzionisanje - donja zona

$$a_{1y} = 2.0 + 1.4 + 1.2/2 = 4.0 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_y = 20 - 4.0 = 16.0 \text{ cm}$$

1.8.2.1 krajnja polja, traka S

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{64.0}{2.3}}} = 3.033 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.069/10\text{‰}; \bar{\mu} = 11.621\%$$

$$A_a^S = 11.621 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 10.69 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/10} \text{ (11.31 cm}^2/\text{m)}$$

1.8.2.2 krajnja polja, traka P

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{42.7}{2.3}}} = 3.715 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.537/10\text{‰}; \bar{\mu} = 7.613\%$$

$$A_a^P = 7.613 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 7.00 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/15} \text{ (7.54 cm}^2/\text{m)}$$

1.8.2.3 krajnja polja, traka Z

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{32.0}{2.3}}} = 4.290 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.273/10\text{‰}; \bar{\mu} = 5.662\%$$

$$A_a^Z = 5.662 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 5.21 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 12/20} \text{ (5.65 cm}^2/\text{m)}$$

1.8.2.4 srednje polje, traka S

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{20.0}{2.3}}} = 5.426 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.956/10\text{‰}; \bar{\mu} = 3.503\%$$

$$A_a^S = 3.503 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 3.22 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 8/15} \text{ (3.35 cm}^2/\text{m)}$$

1.8.2.5 srednje polje, traka P

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{13.3}{2.3}}} = 6.645 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.756/10\text{‰}; \bar{\mu} = 2.321\%$$

$$A_a^P = 2.321 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 2.14 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \quad \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\emptyset 8/20} \text{ (2.51 cm}^2/\text{m)}$$

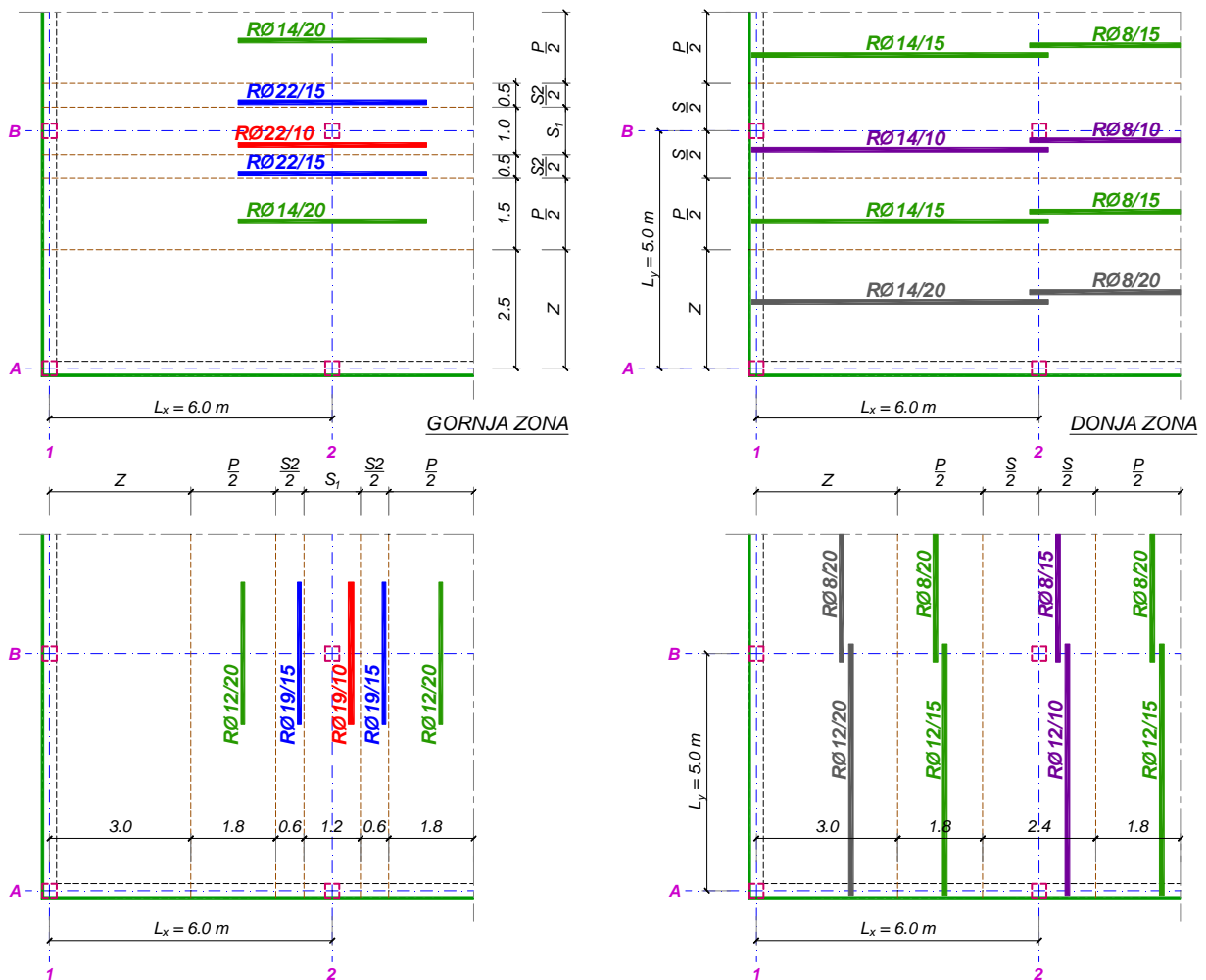
1.8.2.6 srednje polje, traka Z

$$k = \frac{16.0}{\sqrt{\frac{10.0}{2.3}}} = 7.673 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.643/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 1.734\%$$

$$A_{a,\min} = 0.1 \times \frac{b \times d}{100} = 0.1 \times \frac{100 \times 20}{100} = 2.0 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_a^Z = 1.734 \times 16.0 \times \frac{2.3}{40} = 1.60 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} < A_{a,\min} \Rightarrow \quad \text{usv. } \mathbf{R\text{Ø}8/20} \quad (2.51 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Usvojena armatura u oba pravca je šematski prikazana na donjim skicama (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. Isto tako, nije prikazana potrebna armatura u gornjoj zoni upravno na ivične grede (član 209 PBAB).



Kao ilustracija izrečenog u tački 1.7 o armiranju trake uz ivičnu gredu ili zid, priloženi su dijagrami momenata savijanja M_x i M_y u dva ortogonalna pravca i dijagram vertikalnih pomeranja za ploču koja je u podužnom pravcu oslonjena na stubove, a u poprečnom i na AB zidove u osama 1 i 4. Uticaji su sračunati pomoću programskog paketa »Tower 6«. U podužnom pravcu (momenti M_x) se vidi da se i u osi D (preko stubova) dobijaju slične vrednosti momenata savijanja kao i preko srednjih stubova u osi C. Na srednjem dijagramu (momenti M_y) se vidi da u krajnjem levom preseku praktično nema negativnih momenata savijanja, a u krajnjem desnom ima (preseki koji bi odgovarao traci »P« između stubova u osi 3 i zida u osi 4). Isto tako, vidi se da je raspodela momenata savijanja preko srednjih stubova praktično ista u oba pravca.

