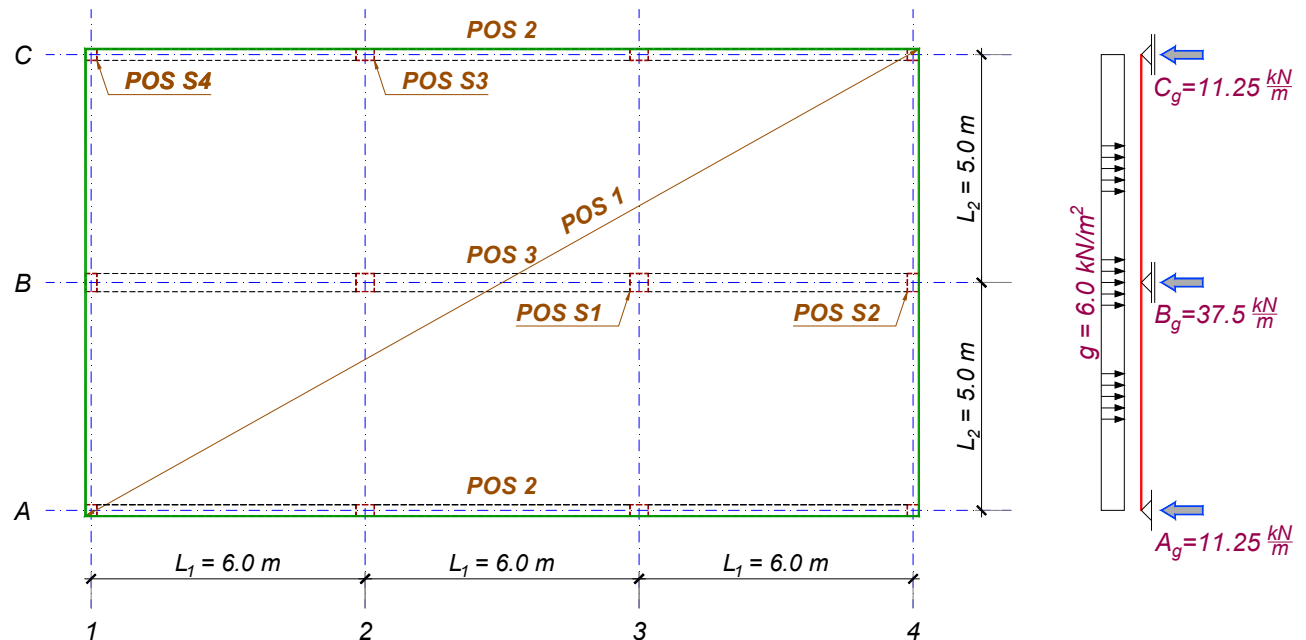


1 PRORAČUN PLOČE POS 1

- varijanta: kontinualna ploča preko dva polja, p u proizvoljnom položaju na ploči -

1.1 STATIČKI SISTEM



1.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

Konstrukcija obrađena u primeru P1. Zadržane su usvojene dimenzije elemenata i preuzeti uticaji usled stalnog opterećenja. Ovde se sprovodi proračun elemenata za najnepovoljniji položaj povremenog opterećenja i vrše odgovarajuća dimenzionisanja.

ukupno, stalno opterećenje	g	$= 6.0 \text{ kN/m}^2$
povremeno opterećenje:	p	$= 4.0 \text{ kN/m}^2$

1.3 STATIČKI UTICAJI

1.3.1 Maksimalni moment nad osloncem

Maksimalni moment nad osloncem se javlja kada su opterećena oba susedna raspona. Ovo odgovara slučaju iz primera P1, pa je usvojena ista količina armature:

usvojeno:	RØ16/15 ($13.40 \text{ cm}^2/\text{m}$)
usvojeno:	RØ10/25 ($3.14 \text{ cm}^2/\text{m}$)

Istovremeno, za ovaj položaj opterećenja se javlja i maksimalna reakcija srednjeg oslonca:

$$B_{p,\max} = 1.25 \times 4.0 \times 5.0 = 25.0 \text{ kN/m}$$

1.3.2 Maksimalni moment u polju

Maksimalni moment u polju se javlja kada se povremeno opterećenje nalazi samo u tom polju. Istovremeno se javlja maksimalna reakcija A_{p1} i minimalna reakcija C_{p1} . Nepoznata vrednost oslonačkog momenta savijanja je:

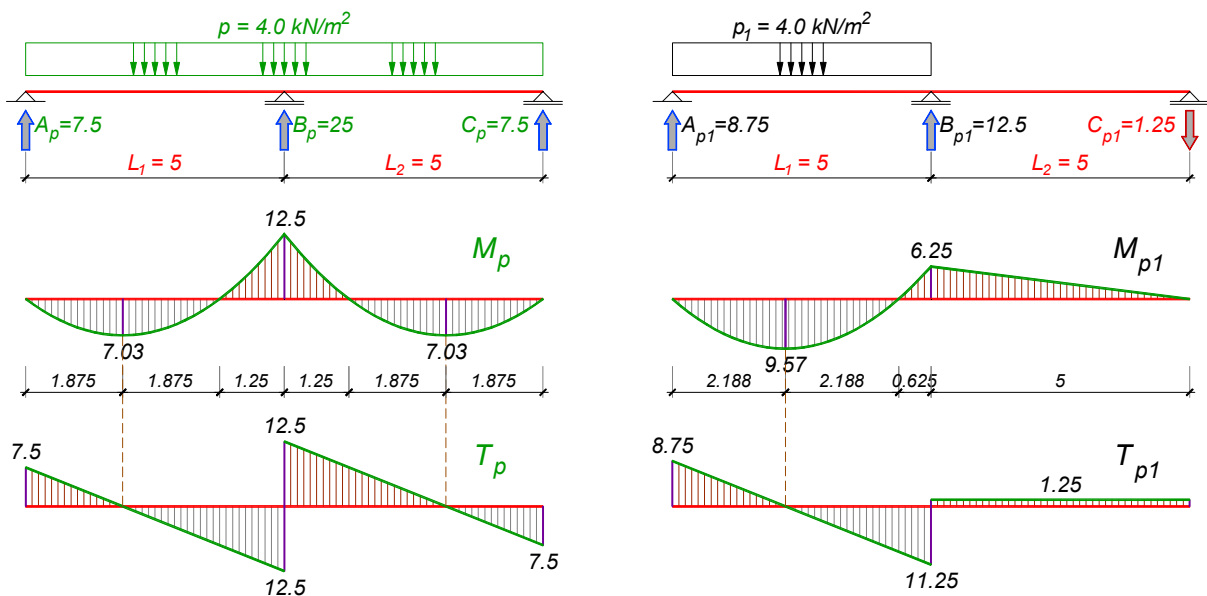
$$M_{p1} = -\frac{p_1 L_1^3}{8(L_1 + L_2)} = -\frac{p_1 L_1^2}{16} = -\frac{4.0 \times 5.0^2}{16} = -6.25 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

dok su odgovarajuće reakcije krajnjih oslonaca:

$$A_{p1} = \frac{p_1 L_1}{2} + \frac{M_{p1}}{L_1} = \frac{p_1 L}{2} - \frac{p_1 L^2}{16L_1} = \frac{7}{16} p_1 L = \frac{7}{16} \times 4.0 \times 5.0 = 8.75 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = A_{p,\max}$$

$$C_{p1} = \frac{M_1}{L_2} = -\frac{p_1 L^2}{16L_2} = -\frac{p_1 L}{16} = -\frac{4.0 \times 5.0}{16} = -1.25 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = C_{p,\min}$$

Na narednoj skici su prikazani dijagrami presečnih sila i reakcije oslonaca usled povremenog opterećenja koje deluje po čitavoj ploči, odnosno samo u prvom polju.



$$A_{u,\max} = 1.6 \times A_g + 1.8 \times A_{p1} = 1.6 \times 11.25 + 1.8 \times 8.75 = 33.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_u = 1.6 \times 6.0 + 1.8 \times 4.0 = 16.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \Rightarrow x_{\max} = \frac{33.8}{16.8} = 2.01 \text{ m}$$

$$M_{u,\max} = 33.8 \times 2.01 - \frac{16.8 \times 2.01^2}{2} = 33.9 \frac{\text{kNm}}{\text{m}}$$

pretp. $\emptyset 12 \Rightarrow h = d - (a_0 + \frac{\emptyset}{2}) = 14 - (2 + \frac{1.2}{2}) = 11.4 \text{ cm}$

$$k = \frac{11.4}{\sqrt{\frac{33.9}{2.05}}} = 2.803 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.366/10\% ; \bar{\mu} = 13.741\%$$

$$A_a = 13.741 \times 11.4 \times \frac{2.05}{40} = 8.03 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow e_a \leq \frac{100 \times 1.13}{8.03} = 14.1 \text{ cm}$$

usvojeno: **R \emptyset 12/12.5** (9.08 cm²/m)

$$A_{ap} = 0.2 \times 8.03 = 1.61 \text{ cm}^2/\text{m} > A_{ap,\min.} = 0.085 \times 14 = 1.19 \text{ cm}^2/\text{m}$$

usv. $\emptyset 8$ ($a_a^{(1)} = 0.503 \text{ cm}^2$): $e_{ap} \leq \frac{100 \times 0.503}{1.61} = 31.3 \text{ cm}$

usvojeno: **R \emptyset 8/30** (1.68 cm²/m)

2 PRORAČUN GREDE POS 3

Zadržavaju se dimenzije greda usvojene u primeru P1 – srednje grede POS 3 su dimenzija 40/50 cm, a fasadne grede POS 2 dimenzija 25/50 cm.

2.1 MERODAVNI POLOŽAJI POVREMENOG OPTEREĆENJA

Radi sagledavanja merodavnih položaja opterećenja koji daju maksimalne momente savijanja u ploči, odnosno maksimalne reakcije oslonaca (maksimalno opterećenje na grede POS 2 i POS 3), biće sračunati uticaji usled opterećenja q_1 koje deluje u prvom, odnosno q_2 koje deluje u drugom polju nosača.

2.1.1 Opterećenje deluje u prvom polju

Korišćenjem tablice za proračun statičkih uticaja u kontinualnim nosačima, za nosač konstantnog poprečnog preseka preko tri polja jednakih raspona dobija se:

$$M_1 = -\frac{q_1 \times L_1^2}{15} \quad \text{- moment nad osloncem B, zateže gornju ivicu preseka}$$

$$M_2 = \frac{q_1 \times L_1^2}{60} \quad \text{- moment nad osloncem C, zateže donju ivicu preseka}$$

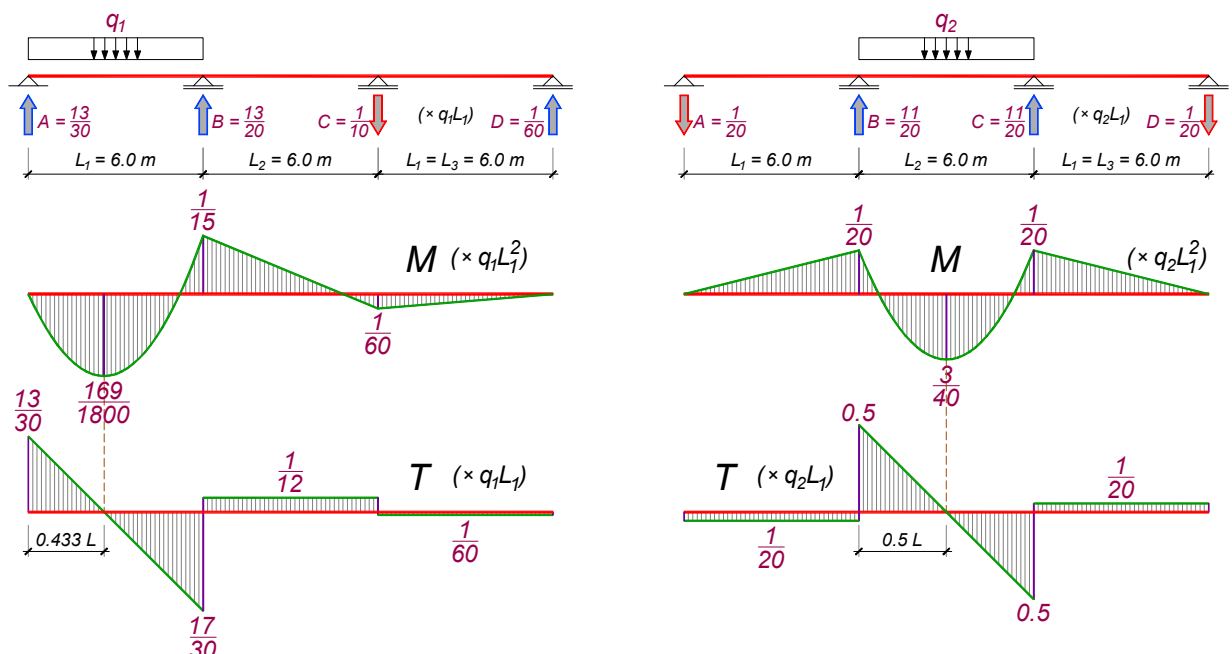
$$A = \frac{q_1 L_1}{2} + \frac{M_1}{L_1} = \frac{q_1 L_1}{2} - \frac{q_1 L_1^2}{15 L_1} = \frac{13}{30} q_1 L_1$$

$$B = \frac{1}{L_1} \left[q_1 L_1 \left(\frac{L_1}{2} + L_2 \right) + M_2 - A(L_1 + L_2) \right] = \frac{1}{L_1} \left(\frac{3}{2} q_1 L_1^2 + \frac{q_1 L_1^2}{60} - \frac{13}{30} q_1 \times 2L_1 \right) = \frac{13}{20} q_1 L_1$$

$$D = \frac{M_2}{L_1} = \frac{q_1 L_1^2}{60 L_1} = \frac{1}{60} q_1 L_1$$

$$C = q_1 L_1 - (A + B + D) = q_1 L_1 \left[1 - \left(\frac{13}{30} + \frac{13}{20} + \frac{1}{60} \right) \right] = -\frac{q_1 L_1}{10}$$

Kada se opterećenje nalazi u trećem polju, uticaji su slika u ogledalu ovde prikazanih.



2.1.2 Opterećenje deluje u drugom polju

Na isti način - korišćenjem tablica, dobija se:

$$M_1 = -\frac{q_2 \times L_1^2}{20} = M_2 \quad - \text{oslonički momenti, zatežu gornju ivicu preseka}$$

$$A = D = \frac{M_1}{L_1} = \frac{q_2 L_1^2}{20 L_1} = \frac{1}{20} q_2 L_1$$

$$B = C = \frac{q_2 L_2 - (A + D)}{2} = \frac{q_2 L_1}{2} \left[1 - \left(-\frac{1}{20} - \frac{1}{20} \right) \right] = \frac{11}{20} q_2 L_1$$

Posmatrajući prethodna dva seta dijagrama, može se zaključiti:

- maksimalni moment nad srednjim osloncem B se dobija kada su opterećena dva priležuća raspona (L_1 i L_2) – obe vrednosti M_1 su negativne. Za isti položaj opterećenja dobijaju se i maksimalne transversalne sile oko srednjeg oslonca i maksimalna reakcija oslonca B (opterećeni su rasponi L_1 i L_2) – sile B^{levo} su negativne a sile B^{desno} pozitivne za oba navedena opterećenja;
- maksimalni momenti savijanja u krajnjim poljima se dobijaju kada se opterete krajnja polja (rasponi L_1 i L_3). Za isti položaj opterećenja se dobijaju maksimalne reakcije krajnjih oslonaca (ujedno i transversalne sile u ovim presecima);
- maksimalni moment savijanja u srednjem polju se dobija kada se optereti srednji raspon L_2 . Za isti položaj opterećenja se dobijaju minimalne reakcije krajnjih oslonaca A i D ;
- minimalna reakcija oslonca C se dobija kada se optereti prvi raspon L_1 . Potpuno analogno, minimalna reakcija oslonca B se dobija kada se optereti treći raspon L_3 .

Naravno, stalno opterećenje deluje po čitavom rasponu nosača, a varira se samo položaj povremenog opterećenja. Tako izraz npr. »opterećeno je polje« treba shvatiti kao »polje je opterećeno maksimalno mogućim opterećenjem«.

2.2 ANALIZA OPTEREĆENJA ZA POS 3

Stalno opterećenje je sračunato u primeru P1:

$$\text{ukupno, stalno opterećenje} \quad g = 42.5 \text{ kN/m}$$

dok je maksimalna vrednost reakcije B_p usled povremenog opterećenja sračunata u 1.3.1. Kako se ni za jedan položaj povremenog opterećenja na ploči ne može dobiti negativna reakcija srednjeg oslonca, sledi:

$$\text{povremeno opterećenje od POS 1:} \quad B_{p,\text{max}} = p_{\text{max}} = 25.0 \text{ kN/m}$$

$$\text{povremeno opterećenje od POS 1:} \quad B_{p,\text{min}} = p_{\text{min}} = 0$$

2.3 DIMENZIONISANJE POS 3

2.3.1 Presek nad srednjim osloncem

$$q_{u,\text{max}} = 1.6 \times 42.5 + 1.8 \times 25.0 = 113 \text{ kN/m} = q_{u1} = q_{u2}$$

$$q_{u,\text{min}} = 1.6 \times 42.5 = 68 \text{ kN/m} = q_{u3}$$

$$M_{1u} = -\left(\frac{q_{u1}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u3}}{60} \right) \times L_1^2 = -\left(\frac{113}{15} + \frac{113}{20} - \frac{68}{60} \right) \times 6.0^2 = -433.8 \text{ kNm}$$

$$M_{2u} = -\left(\frac{q_{u3}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u1}}{60}\right) \times L_1^2 = -\left(\frac{68}{15} + \frac{113}{20} - \frac{113}{60}\right) \times 6.0^2 = -298.8 \text{ kNm}$$

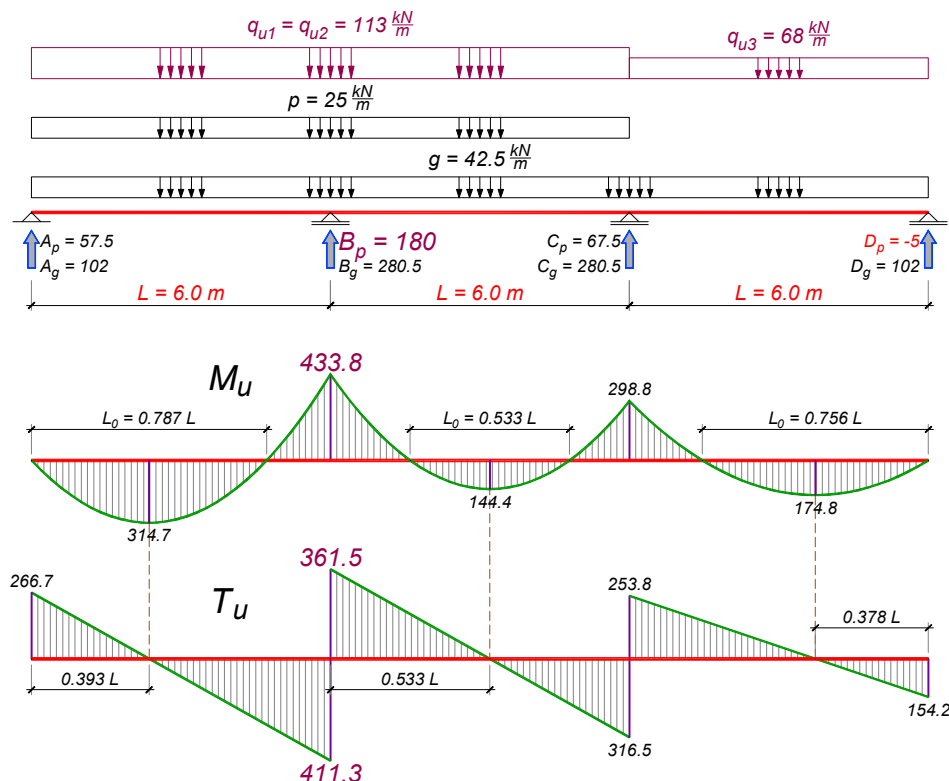
Maksimalna reakcija oslonca B usled povremenog opterećenja:

$$M_{1p} = -\left(\frac{25}{15} + \frac{25}{20}\right) \times 6.0^2 = -105 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{25 \times 6.0}{2} - \frac{105}{6.0} = 57.5 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\left(\frac{25}{20} - \frac{25}{60}\right) \times 6.0^2 = -30 \text{ kNm} \Rightarrow B_p = \frac{1}{6.0} \times \left(25 \times \frac{12.0^2}{2} - 30 - 57.5 \times 12.0\right) = 180 \text{ kN}$$

$$T_u^A = 1.6 \times 102 + 1.8 \times 57.5 = 266.7 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B, \text{levo}} = 266.7 - 113 \times 6.0 = -411.3 \text{ kN}$$

$$B_u = 1.6 \times 280.5 + 1.8 \times 180 = 772.8 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B, \text{desno}} = 772.8 - 411.3 = 361.5 \text{ kN}$$



2.3.1.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 40/50/43 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{433.8 \times 10^2}{40 \times 2.05}}} = 1.870 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 4.629\% \\ \mu = 34.853\% \end{cases}$$

$$A_a = 34.853 \times \frac{40 \times 43}{100} \times \frac{2.05}{40} = 30.72 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } 8R\emptyset 22 \text{ (30.41 cm}^2\text{)}$$

Umesto korekcije statičke visine, ovde je sproveden dokaz nosivosti usvojenog preseka:

$$a_1 = \frac{5 \times 4.5 + 3 \times 10}{8} = 6.56 \text{ cm} \Rightarrow h = 50 - 6.56 = 43.44 \text{ cm}$$

$$\bar{\mu} = \frac{30.41 \times 40}{40 \times 43.44 \times 2.05} = 0.34151 = 34.151\% \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a \approx 3.5 / 4.8\% \\ k = 1.885 \end{cases}$$

$$M_u = \left(\frac{43.44}{1.885} \right)^2 \times 40 \times 2.05 \times 10^{-2} = 435.4 \text{ kNm} > M_{u,\max} = 433.8 \text{ kNm}$$

Nosivost usvojenog preseka je dovoljna.

2.3.1.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja

2.3.1.2.1 Presek B levo

$$T_u^{B,\text{levo}} = 411.3 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^{B,l} = \frac{411.3}{40 \times 0.9 \times 43} = 0.266 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{411.3}{113} = 3.64 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 364 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.266} \right) = 213.3 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,l} = \frac{3}{2} \times (0.266 - 0.11) = 0.234 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$m = 2; \alpha = 90^\circ; \theta = 45^\circ \Rightarrow e_u = \frac{2 \times 0.785}{40 \times 0.234} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 6.73 \text{ cm}$$

Osiguranje će biti sprovedeno minimalnim uzengijama i koso povijenim profilima:

$$\mu_{uz} = \frac{m \times a_u^{(1)}}{b \times e_u} \Rightarrow e_u \leq \frac{2 \times 0.785}{40 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 19.6 \text{ cm} \Rightarrow \text{usv. } e_u = 15 \text{ cm}$$

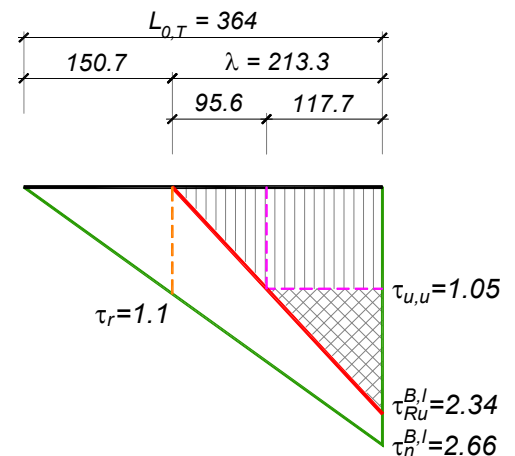
$$\tau_{u,u} = \frac{2 \times 0.785}{40 \times 15} \times 40 = 0.105 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_1 = \lambda \times \left(1 - \frac{\tau_{u,u}}{\tau_{Ru}} \right) = 213.3 \times \left(1 - \frac{0.105}{0.234} \right) = 117.7 \text{ cm}$$

$$H_{vu,k} = 40 \times \frac{0.234 - 0.105}{2} \times 117.7 = 303.1 \text{ kN}$$

$$A_{ak} = \frac{H_{vu,k}}{\sigma_v \times (\cos \alpha_k + \cot \theta \times \sin \alpha_k)} = \frac{303.1}{40 \times \sqrt{2}} = 5.36 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **2RØ22 (7.60 cm²)**



Kako se radi o »špicu« momenta, dodatna zategnuta armatura nije potrebna ($\Delta A_a = 0$).

2.3.1.2.2 Presek B desno

$$T_u^{B,d} = 361.5 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^{B,d} = \frac{361.5}{40 \times 0.9 \times 43} = 0.234 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

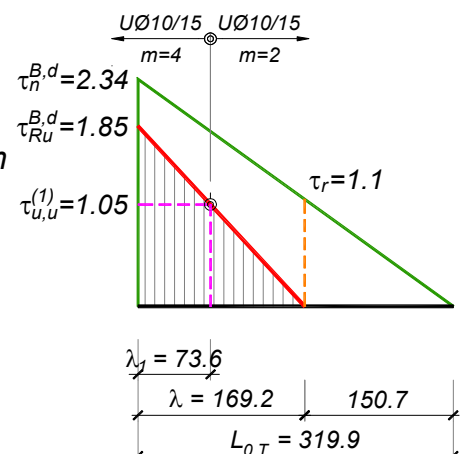
$$L_{0,T} = \frac{361.5}{113} = 3.20 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 320 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.234} \right) = 169.2 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,d} = \frac{3}{2} \times (0.234 - 0.11) = 0.185 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

usvojeno: $m = 4; \alpha = 90^\circ; \theta = 45^\circ$:

$$e_u = \frac{4 \times 0.785}{40 \times 0.185} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 17 \text{ cm}$$

usvojeno: **URØ10/15 (m=4)**



Dvosečne uzengije URØ10/15 prihvataju napon:

$$\tau_{u,u}^{(1)} = \frac{2 \times 0.785}{40 \times 15} \times 40 = 0.105 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \lambda_1 = 169.2 \times \left(1 - \frac{0.105}{0.185}\right) = 73.6 \text{ cm}$$

Na dužini λ_1 , mereno od oslonca B, potrebno je dodati i unutrašnju uzengiju URØ10/15. Kako se radi o »špicu« momenta, dodatna zategnuta armatura nije potrebna ($\Delta A_a = 0$).

2.3.2 Preseci u krajnjim poljima

Kao što je pokazano u tački 2.1, potrebno je u krajnja polja naneti maksimalne, a u srednje polje minimalnu reakciju usled povremenog opterećenja sa ploče.

2.3.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

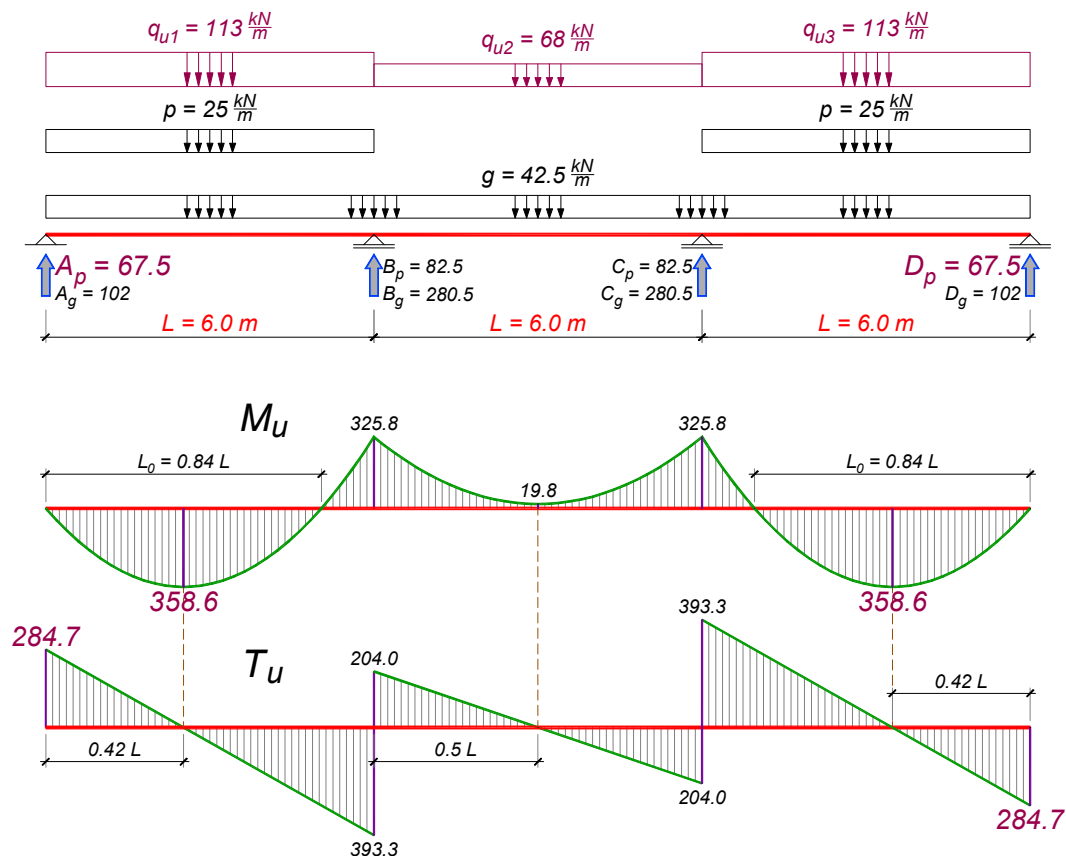
$$M_{1u} = -\left(\frac{q_{u1}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u3}}{60}\right) \times L_1^2 = -\left(\frac{113}{15} + \frac{68}{20} - \frac{113}{60}\right) \times 6.0^2 = -325.8 \text{ kNm} = M_{2u}$$

Maksimalna reakcija oslonca A usled povremenog opterećenja:

$$M_{1p} = -\left(\frac{25}{15} - \frac{25}{60}\right) \times 6.0^2 = -45 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{25 \times 6.0}{2} - \frac{45}{6.0} = 67.5 \text{ kN} = A_{p,\max}$$

$$T_u^A = 1.6 \times 102 + 1.8 \times 67.5 = 284.7 \text{ kN} \Rightarrow x_{\max} = \frac{284.7}{113} = 2.52 \text{ m}$$

$$M_{u,\max}^{01} = 284.7 \times 2.52 - \frac{113 \times 2.52^2}{2} = 358.6 \text{ kNm}$$



$$L_0^{01} = 2x_{\max} = 2 \times 2.52 = 5.04 \text{ m} \Rightarrow B = \min \left\{ \begin{array}{l} 40 + 20 \times 14 = 320 \\ 40 + 0.25 \times 504 = 166 \end{array} \right\} = 166 \text{ cm}$$

Pretpostavlja se da će se neutralna linija naći u ploči:

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow B/b/d/h/d_p = 166/40/50/43/14 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{358.6 \times 10^2}{166 \times 2.05}}} = 4.188 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.312 / 10\text{‰} \\ s = 0.116 \Rightarrow x = 0.116 \times 43 = 5.0 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \bar{\mu} = 5.947\% \end{cases}$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije je tačna, pa sledi:

$$A_a = 5.947 \times \frac{166 \times 43}{100} \times \frac{2.05}{40} = 21.75 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6RØ22** (22.81 cm²)

2.3.2.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja – presek uz oslonac A

$$T_u^A = 284.7 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^A = \frac{284.7}{40 \times 0.9 \times 43} = 0.184 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$\lambda = 252 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.184}\right) = 101.3 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^A = \frac{3}{2} \times (0.184 - 0.11) = 0.111 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

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

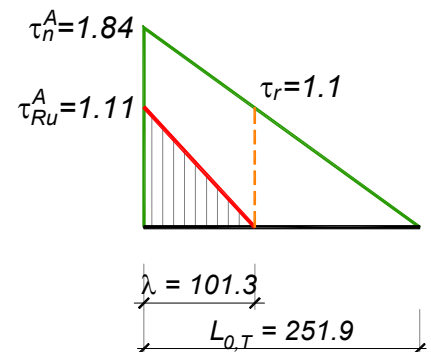
$$e_u = \frac{2 \times 0.785}{40 \times 0.111} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 14.2 \text{ cm}$$

usvojeno: **URØ10/12.5** ($m=2$)

$$\Delta A_a = \frac{284.7}{2 \times 40} \times (\cot 45^\circ - \cot 90^\circ) = 3.56 \text{ cm}^2$$

Po članu 168 PBAB, ova armatura ne sme biti manja od trećine armature iz polja:

usvojeno: **2RØ22** (7.60 cm²)



2.3.3 Presek u srednjem polju

Kao što je pokazano u tački 2.1, potrebno je u krajnja polja naneti minimalne, a u srednje polje maksimalnu reakciju usled povremenog opterećenja sa ploče.

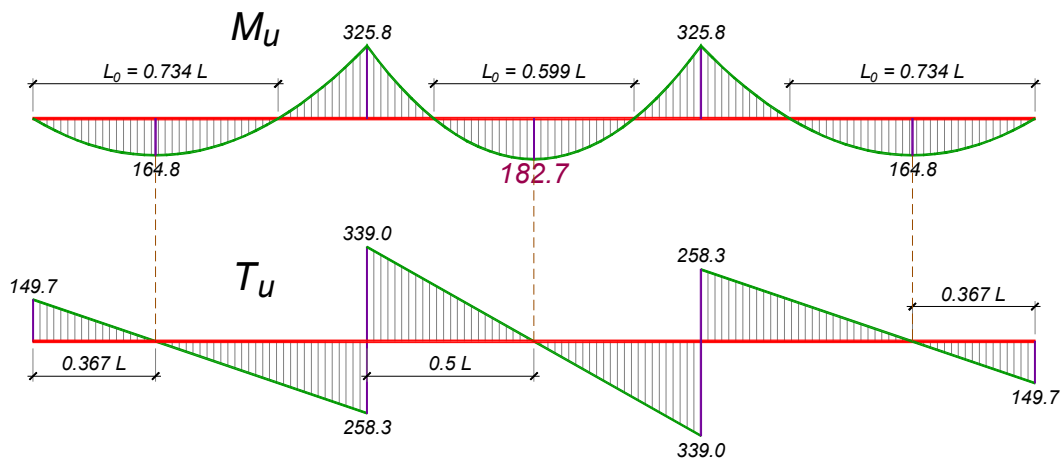
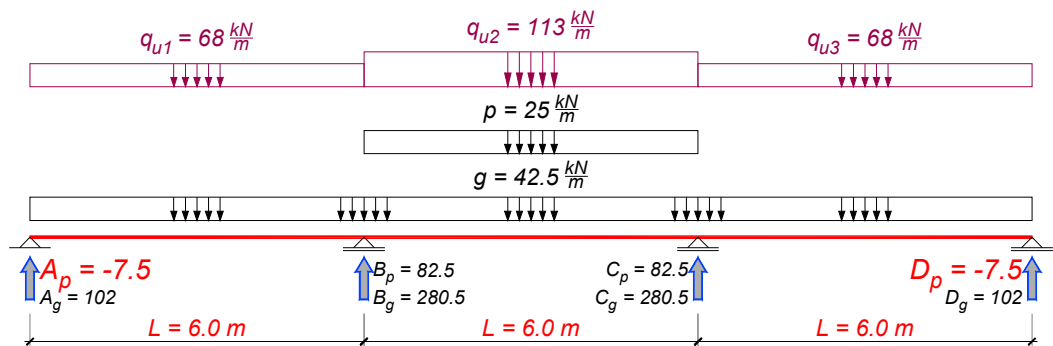
2.3.3.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$M_{1u} = -\left(\frac{q_{u1}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u3}}{60}\right) \times L_1^2 = -\left(\frac{113}{15} + \frac{68}{20} - \frac{113}{60}\right) \times 6.0^2 = -325.8 \text{ kNm} = M_{2u}$$

$$M_{1p} = -\left(\frac{25}{15} - \frac{25}{60}\right) \times 6.0^2 = -45 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = -\frac{45}{6.0} = -7.5 \text{ kN} = A_{p,\min}$$

$$M_{u,\max}^{12} = \frac{113 \times 6.0^2}{8} + M_{1u} = 508.5 - 325.8 = 182.7 \text{ kNm}$$

$$L_0^{12} = L \sqrt{\frac{M_{u,\max}^{12}}{f}} = 6.0 \times \sqrt{\frac{182.7}{508.5}} = 3.60 \text{ m} = \sqrt{\frac{8 \times M_{u,\max}^{12}}{q_u}}$$



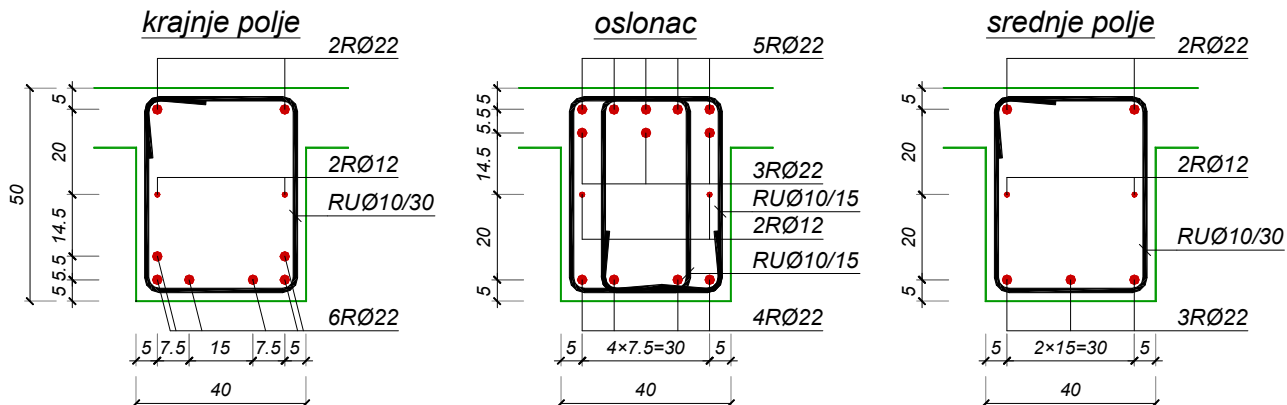
$$B = \min. \left\{ \begin{array}{l} 40 + 20 \times 14 = 320 \\ 40 + 0.25 \times 360 = 130 \end{array} \right\} = 130 \text{ cm}$$

pretp. $a_1 = 5 \text{ cm} \Rightarrow B/b/d/h/d_p = 130/40/50/45/14 \text{ cm}$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{182.7 \times 10^2}{130 \times 2.05}}} = 5.433 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 0.954 / 10\text{‰} \\ s = 0.087 \Rightarrow x = 0.087 \times 45 = 3.9 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \bar{\mu} = 3.494\% \end{cases}$$

$$A_a = 3.494 \times \frac{130 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 10.47 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3RØ22** (11.40 cm²)



I ovde se podrazumeva se da je dopušteno kod crtanja planova armature izmeniti preliminarno usvojeni raspored armature, odnosno prečnik i raspored profila prilagoditi svim delovima proračuna.

3 PRORAČUN GREDE POS 2

3.1 MERODAVNI POLOŽAJI POVREMENOG OPTEREĆENJA

U svemu kao za srednju gredu POS 3.

3.2 ANALIZA OPTEREĆENJA ZA POS 2

Stalno opterećenje je sračunato u primeru P1:

ukupno, stalno opterećenje $g = 31.325 \text{ kN/m}$

dok su maksimalna, odnosno minimalna vrednost reakcije A_p (C_p) usled povremenog opterećenja sračunate u tački 1.3.2:

povremeno opterećenje od POS 1: $A_{p,max} = p_{max} = 8.75 \text{ kN/m}$

povremeno opterećenje od POS 1: $C_{p,min} = p_{min} = -1.25 \text{ kN/m}$

3.3 DIMENZIONISANJE POS 2

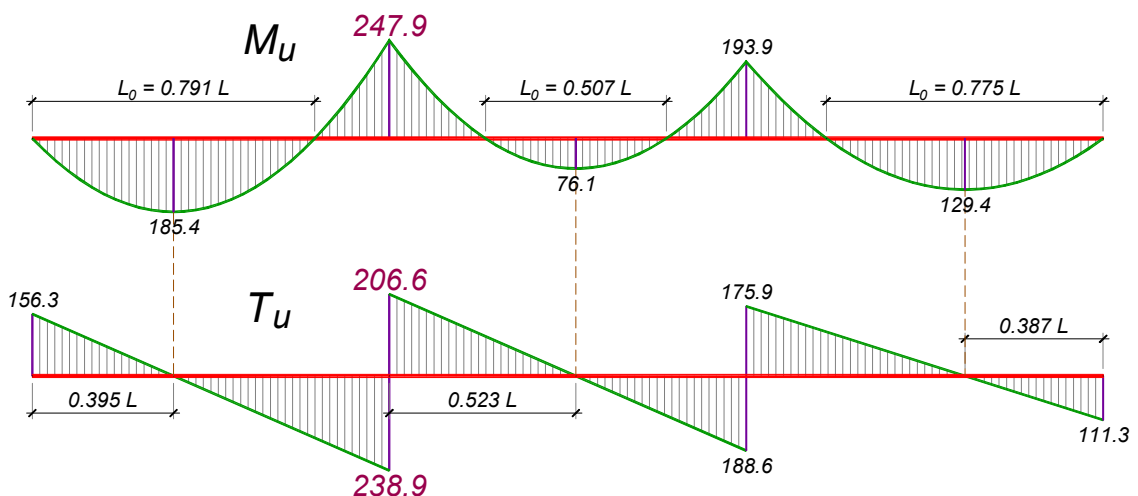
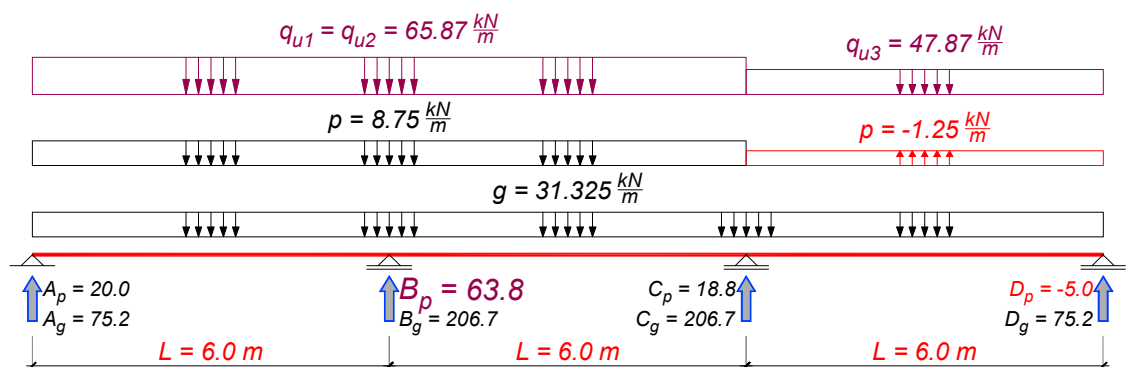
3.3.1 Presek nad srednjim osloncem

$$q_{u,max} = 1.6 \times 31.325 + 1.8 \times 8.75 = 65.87 \text{ kN/m} = q_{u1} = q_{u2}$$

$$q_{u,min} = 1.6 \times 31.325 - 1.8 \times 1.25 = 47.87 \text{ kN/m} = q_{u3}$$

$$M_{1u} = -\left(\frac{q_{u1}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u3}}{60}\right) \times L_1^2 = -\left(\frac{65.87}{15} + \frac{65.87}{20} - \frac{47.87}{60}\right) \times 6.0^2 = -247.9 \text{ kNm}$$

$$M_{2u} = -\left(\frac{q_{u3}}{15} + \frac{q_{u2}}{20} - \frac{q_{u1}}{60}\right) \times L_1^2 = -\left(\frac{47.87}{15} + \frac{65.87}{20} - \frac{65.87}{60}\right) \times 6.0^2 = -193.9 \text{ kNm}$$



Maksimalna reakcija oslonca B usled povremenog opterećenja:

$$M_{1p} = -\left(\frac{8.75}{15} + \frac{8.75}{20} - \frac{-1.25}{60}\right) \times 6.0^2 = -37.5 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{8.75 \times 6.0}{2} - \frac{37.5}{6.0} = 20 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\left(\frac{-1.25}{15} + \frac{8.75}{20} - \frac{8.75}{60}\right) \times 6.0^2 = -7.5 \text{ kNm}$$

$$B_p = \frac{1}{6.0} \times \left(8.75 \times \frac{12.0^2}{2} - 7.5 - 20 \times 12.0\right) = 63.75 \text{ kN} = B_{p,\max}$$

$$T_u^A = 1.6 \times 75.2 + 1.8 \times 20 = 156.3 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{levo}} = 156.3 - 65.87 \times 6.0 = -238.9 \text{ kN}$$

$$B_u = 1.6 \times 206.7 + 1.8 \times 63.75 = 445.5 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{desno}} = 445.5 - 238.9 = 206.6 \text{ kN}$$

3.3.1.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 25/50/43 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{247.9 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.955 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 5.596\% \\ \mu = 31.150\% \end{cases}$$

$$A_a = 31.150 \times \frac{25 \times 43}{100} \times \frac{2.05}{40} = 17.16 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno: } 5R\text{Ø}22 (19.01 \text{ cm}^2)$$

3.3.1.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja

3.3.1.2.1 Presek B levo

$$T_u^{B,\text{levo}} = 238.9 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^{B,l} = \frac{238.9}{25 \times 0.9 \times 43} = 0.247 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{238.9}{65.87} = 3.63 \text{ m} \Rightarrow \lambda = 363 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.247}\right) = 201.2 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,l} = \frac{3}{2} \times (0.247 - 0.11) = 0.205 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

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

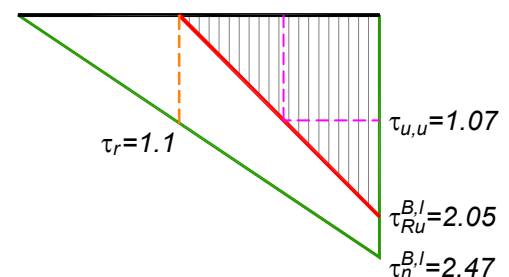
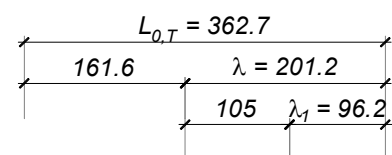
$$e_u = \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.205} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 7.8 \text{ cm}$$

usvojeno: **URØ8/7.5**

Osiguranje je izvršeno na potpuno isti način kao u primeru P1 na istom delu nosača POS 3. Proređene uzengije URØ8/15 mogu prihvatiti napon:

$$\tau_{u,u} = \frac{2 \times 0.503}{25 \times 15} \times 40 = 0.107 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_1 = 201.6 \times \left(1 - \frac{0.107}{0.205}\right) = 96.2 \text{ cm}$$



Na dužini $\lambda_1 = 96.2 \text{ cm}$ konačno su usvojene udvojene uzengije 2URØ8/15, a na preostalom delu dužine osiguranja jednostruke URØ8/15. Kako se radi o »špicu« momenta, dodatna zategnuta armatura nije potrebna ($\Delta A_a = 0$).

3.3.1.2.2 Presek B desno

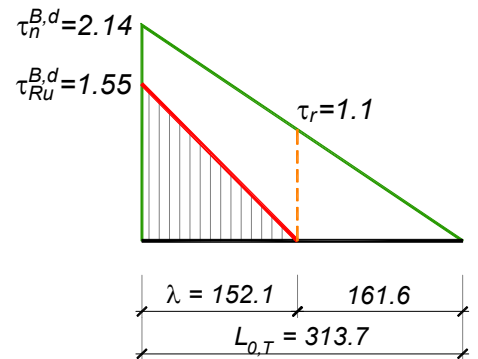
$$T_u^{B,desno} = 206.6 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^{B,d} = \frac{206.6}{25 \times 0.9 \times 43} = 0.214 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{206.6}{65.87} = 3.14 \text{ m}$$

$$\lambda = 314 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.214}\right) = 152.1 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,d} = \frac{3}{2} \times (0.214 - 0.11) = 0.155 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$e_u = \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.155} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 10.4 \text{ cm}$$



usvojeno: **URØ8/10** ($m=2$)

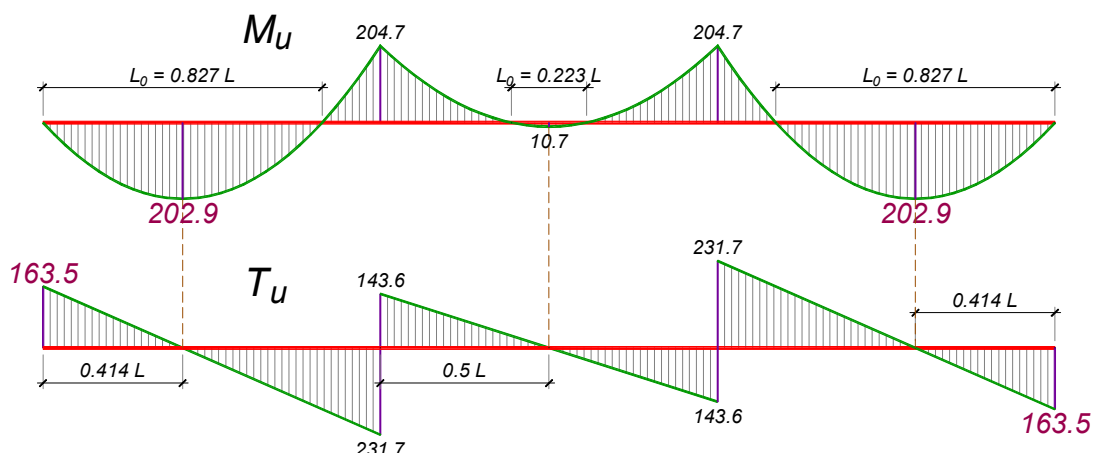
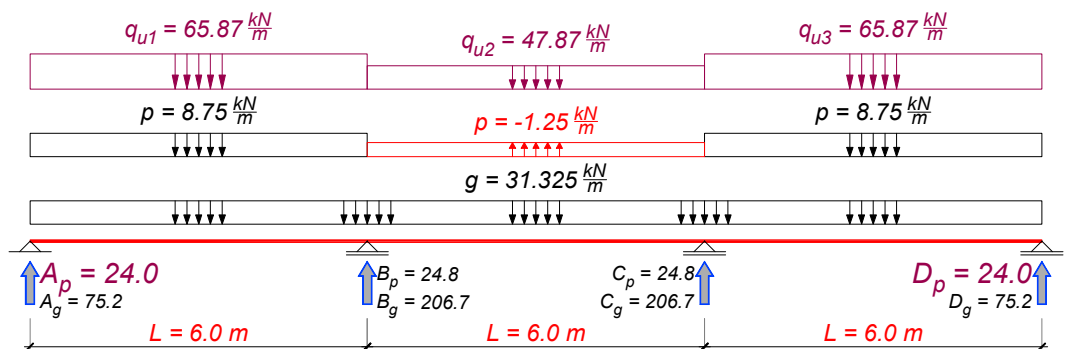
Kako se radi o »špicu« momenta, dodatna zategnuta armatura nije potrebna ($\Delta A_a = 0$).

3.3.2 Preseci u krajnjim poljima

Kao što je pokazano u tački 2.1, potrebno je u krajnja polja naneti maksimalne, a u srednje polje minimalnu reakciju usled povremenog opterećenja sa ploče.

3.3.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$M_{1u} = -\left(\frac{65.87}{15} + \frac{47.87}{20} - \frac{65.87}{60}\right) \times 6.0^2 = -204.7 \text{ kNm} = M_{2u}$$



Maksimalna reakcija oslonca A usled povremenog opterećenja:

$$M_{1p} = -\left(\frac{8.75}{15} + \frac{-1.25}{20} - \frac{8.75}{60}\right) \times 6.0^2 = -13.5 \text{ kNm} = M_{1p}$$

$$A_p = \frac{8.75 \times 6.0}{2} - \frac{13.5}{6.0} = 24 \text{ kN} = A_{p,\max}$$

$$T_u^A = 1.6 \times 75.2 + 1.8 \times 24 = 163.5 \text{ kN} \Rightarrow x_{\max} = \frac{163.5}{65.87} = 2.48 \text{ m}$$

$$M_{u,\max}^{01} = 163.5 \times 2.48 - \frac{65.87 \times 2.48^2}{2} = 202.9 \text{ kNm}$$

$$L_0^{01} = 2x_{\max} = 2 \times 2.48 = 4.96 \text{ m} \Rightarrow B = \min \left\{ \begin{array}{l} 25 + 8 \times 14 = 137 \\ 25 + \frac{0.25}{3} \times 496 = 66 \end{array} \right\} = 66 \text{ cm}$$

Pretpostavlja se da će se neutralna linija naći u ploči:

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow B/b/d/h/d_p = 66/25/50/43/14 \text{ cm}$$

$$k = \frac{43}{\sqrt{\frac{202.9 \times 10^2}{66 \times 2.05}}} = 3.521 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.655 / 10\% \\ s = 0.142 \Rightarrow x = 0.142 \times 43 = 6.1 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \bar{\mu} = 8.506\% \end{cases}$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije je tačna, pa se potrebna površina armature određuje za pravougaoni presek širine $B = 66 \text{ cm}$:

$$A_a = 8.506 \times \frac{66 \times 43}{100} \times \frac{2.05}{40} = 12.44 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **2RØ22 + 3RØ16** (13.63 cm^2)

$$a_1 = \frac{(7.6 + 2.01) \times 4.5 + 4.02 \times 9.5}{13.63} = 5.98 \text{ cm} \Rightarrow h_{\text{stv.}} = 44.02 \text{ cm}$$

3.3.2.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja – presek uz oslonac A

$$T_u^A = 163.5 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^A = \frac{163.5}{25 \times 0.9 \times 43} = 0.169 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$\lambda = 248 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.169}\right) = 86.6 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^A = \frac{3}{2} \times (0.169 - 0.11) = 0.088 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

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

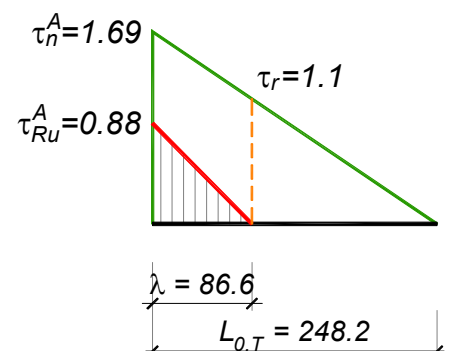
$$e_u = \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.088} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 18.2 \text{ cm}$$

usvojeno: **URØ8/15** ($m=2$)

$$\Delta A_a = \frac{163.5}{2 \times 40} \times (\cot 45^\circ - \cot 90^\circ) = 2.04 \text{ cm}^2$$

Prema članu 168 PBAB, ova armatura ne sme biti manja od trećine armature iz polja:

usvojeno: **2RØ22** (7.60 cm^2)



3.3.3 Presek u srednjem polju

Kao što je pokazano u tački 2.1, potrebno je u krajnja polja naneti minimalne, a u srednje polje maksimalnu reakciju usled povremenog opterećenja sa ploče.

3.3.3.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

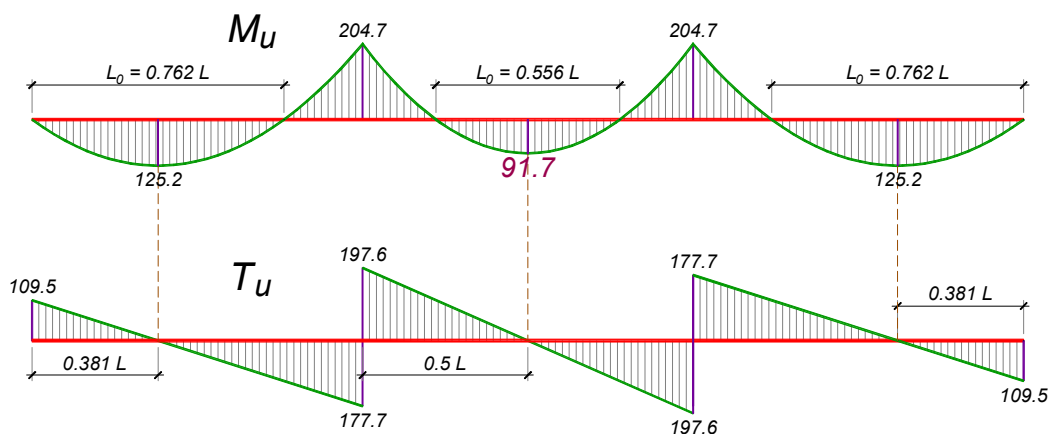
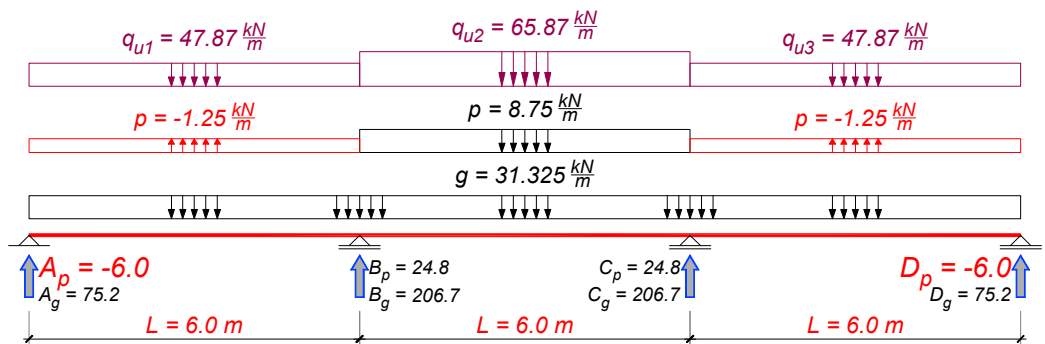
$$M_{1u} = -\left(\frac{47.87}{15} + \frac{65.87}{20} - \frac{47.87}{60}\right) \times 6.0^2 = -204.7 \text{ kNm} = M_{2u}$$

$$M_{1p} = -\left(\frac{-1.25}{15} + \frac{8.75}{20} - \frac{-1.25}{60}\right) \times 6.0^2 = -13.5 \text{ kNm} = M_{2p}$$

$$A_p = \frac{-1.25 \times 6.0}{2} - \frac{13.5}{6.0} = -6 \text{ kN} = A_{p,\min}$$

$$M_{u,\max}^{12} = \frac{65.87 \times 6.0^2}{8} + M_{1u} = 296.4 - 204.7 = 91.7 \text{ kNm}$$

$$L_0^{12} = L \sqrt{\frac{M_{u,\max}^{12}}{f}} = 6.0 \times \sqrt{\frac{91.7}{296.4}} = 3.34 \text{ m} = \sqrt{\frac{8 \times M_{u,\max}^{12}}{q_u}}$$



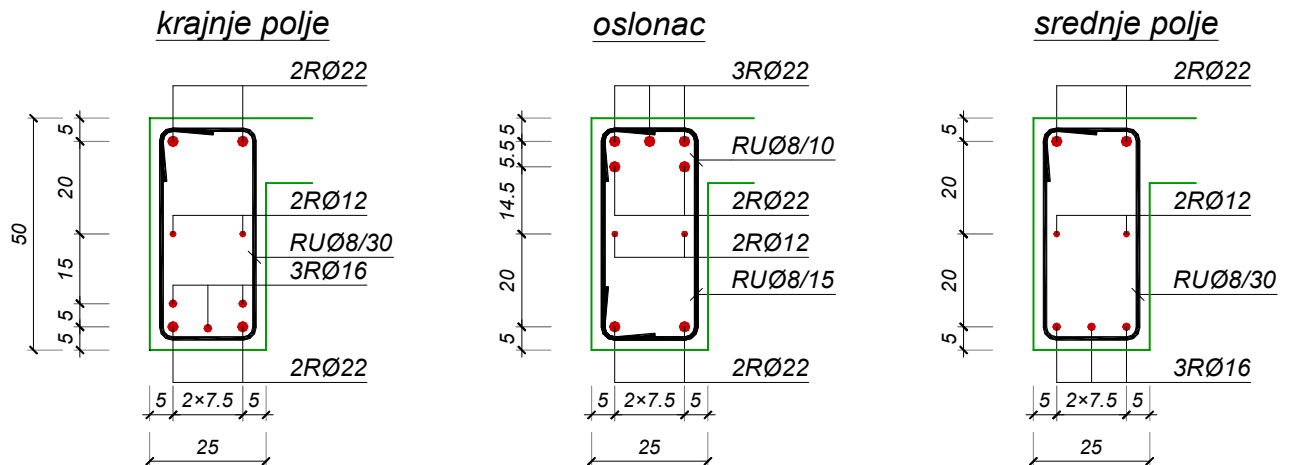
$$B = \min \left\{ \begin{array}{l} 25 + 8 \times 14 = 137 \\ 25 + \frac{0.25}{3} \times 334 = 52.8 \end{array} \right\} = 52.8 \text{ cm}$$

pretp. $a_1 = 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad B/b/d/h/d_p = 52.8/25/50/45/14 \text{ cm}$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{91.7 \times 10^2}{52.8 \times 2.05}}} = 4.890 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.082 / 10\% \\ s = 0.098 \Rightarrow x = 0.098 \times 45 = 4.4 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \bar{\mu} = 4.331\% \end{cases}$$

$$A_a = 4.331 \times \frac{52.8 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 5.27 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3RØ16** (6.03 cm^2)



I ovde se podrazumeva se da je dopušteno kod crtanja planova armature izmeniti preliminarno usvojeni raspored armature, odnosno prečnik i raspored profila prilagoditi svim delovima proračuna.

4 PRORAČUN SILA U STUBOVIMA

Sile usled stalnog opterećenja sračunate su u primeru P1. U ovom primeru su sračunate maksimalne sile usled povremenog opterećenja koje su korišćene prilikom određivanja merodavnih uticaja za dimenzionisanje. Međutim, minimalne sile u unutrašnjim stubovima (ose 2 i 3) nisu određene, jer odgovarajući položaj povremenog opterećenja nije merodavan za maksimalne vrednosti momenata savijanja i transverzalnih sila (opterećenje samo u krajnjem polju, tačka 2.1).

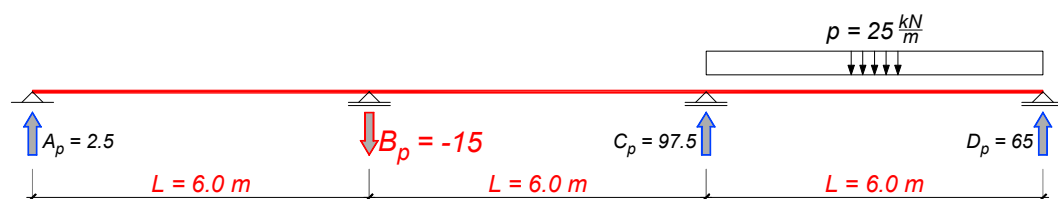
4.1 STUBOVI POS S1

Srednja dva, nazvani po osama u kojima se nalaze: 2B i 3B. Prihvataju srednje reakcije greda POS 3:

$$G^{S1} = B_g^{\text{POS } 3} = 280.5 \text{ kN}$$

$$P_{\text{max}}^{S1} = B_{p,\text{max}}^{\text{POS } 3} = 180.0 \text{ kN (tačka 2.3.1)}$$

Minimalna sila usled povremenog opterećenja u ovom stubu će se javiti u slučaju da se maksimalno opterećenje nađe u trećem polju (odnosno, u prvom polju za stub C):



$$M_{1p} = \frac{25}{60} \times 6.0^2 = 15 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{15}{6.0} = 2.5 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\frac{25}{15} \times 6.0^2 = -60 \text{ kNm} \Rightarrow B_p = \frac{1}{6.0} \times (-60 - 2.5 \times 12.0) = -15 \text{ kN}$$

$$P_{\text{min}}^{S1} = B_{p,\text{min}}^{\text{POS } 3} = -15 \text{ kN}$$

4.2 STUBOVI POS S2

Dva ivična stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 1B i 4B. Prihvataju krajnje reakcije grede POS 3 i pripadajući deo fasade u osama 1 i 4:

$$B_F = 1.25 \times 16.95 \times 5.0 = 105.9 \text{ kN}$$

$$G^{S2} = A_g^{POS3} + B_F = 102.0 + 105.9 = 207.9 \text{ kN}$$

$$P_{\max}^{S2} = A_{p,\max}^{POS3} = 67.5 \text{ kN (tačka 2.3.2.1)}$$

$$P_{\min}^{S2} = A_{p,\min}^{POS3} = -7.5 \text{ kN (tačka 2.3.3.1)}$$

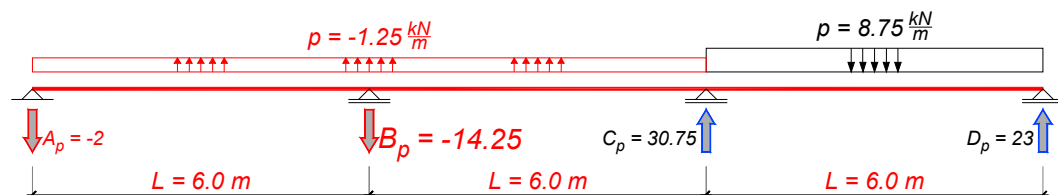
4.3 STUBOVI POS S3

Četiri ivična stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 2A, 2C, 3A i 3C. Prihvataju srednje reakcije grede POS 2:

$$G^{S3} = B_g^{POS2} = 206.7 \text{ kN}$$

$$P_{\max}^{S3} = B_{p,\max}^{POS2} = 63.75 \text{ kN (tačka 3.3.1)}$$

Minimalna sila usled povremenog opterećenja u ovom stubu će se javiti u slučaju da se maksimalna reakcija sa ploče nađe u trećem, a minimalne u prva dva polja (odnosno, maksimalna reakcija u prvom, a minimalne u drugom i trećem polju za stub C):



$$M_{1p} = -\left(\frac{-1.25}{15} + \frac{-1.25}{20} - \frac{8.75}{60}\right) \times 6.0^2 = 10.5 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{-1.25 \times 6.0}{2} + \frac{10.5}{6.0} = -2.0 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\left(\frac{8.75}{15} + \frac{-1.25}{20} - \frac{-1.25}{60}\right) \times 6.0^2 = -19.5 \text{ kNm}$$

$$B_{p,\min} = \frac{1}{6.0} \times \left(\frac{-1.25 \times 12.0^2}{2} - 19.5 + 2.0 \times 12.0\right) = -14.25 \text{ kN}$$

$$P_{\min}^{S3} = B_{p,\min}^{POS2} = -14.25 \text{ kN}$$

4.4 STUBOVI POS S4

Četiri ugaona stuba, nazvani po osama u kojima se nalaze: 1A, 1C, 4A i 4C. Prihvataju krajnje reakcije grede POS 2 i pripadajući deo fasade u osama 1 i 4:

$$A_F = 0.375 \times 16.95 \times 5.0 = 31.8 \text{ kN}$$

$$G^{S4} = A_g^{POS2} + A_F = 75.2 + 31.8 = 107.0 \text{ kN}$$

$$P_{\max}^{S4} = A_{p,\max}^{POS2} = 24 \text{ kN (tačka 3.3.2.1)}$$

$$P_{\min}^{S4} = A_{p,\min}^{POS2} = -6 \text{ kN (tačka 3.3.3.1)}$$

5 POREĐENJE UTICAJA IZ PRIMERA P1 I P2

Prikaz maksimalnih vrednosti graničnih vrednosti momenata savijanja i transverzalnih sila u ploči i gredama, kao i maksimalne i minimalne vrednosti sila u stubovima, su prikazane u narednoj tabeli.

		totalno	ekstremi	Δ
POS 1	$M_u^{osl.}$	52.5	52.5	0.00%
	M_u^{polje}	29.5	33.9	14.80%
	T_u	52.5	52.5	0.00%
POS 2	M_u^{0-1}	183.2	202.9	10.73%
	M_u^1	229.0	247.9	8.25%
	M_u^{12}	57.3	91.7	60.12%
	T_u^A	152.7	163.5	7.07%
	T_u^{Bl}	229.0	238.9	4.32%
	T_u^{Bd}	190.9	206.6	8.25%
POS 3	M_u^{0-1}	325.4	358.6	10.20%
	M_u^1	406.8	433.8	6.64%
	M_u^{12}	101.7	182.7	79.65%
	T_u^A	271.2	284.7	4.98%
	T_u^{Bl}	406.8	411.3	1.11%
	T_u^{Bd}	339.0	361.5	6.64%
S1	G	280.5	280.5	0.00%
	P_{max}	165.0	180.0	9.09%
	P_{min}		-15.0	-
S2	G	207.9	207.9	0.00%
	P_{max}	60.0	67.5	6.25%
	P_{min}		-7.5	-
S3	G	206.7	206.7	0.00%
	P_{max}	49.5	63.8	36.36%
	P_{min}		-14.3	-
S4	G	107.0	107.0	0.00%
	P_{max}	18.0	24.0	33.33%
	P_{min}		-6.0	-