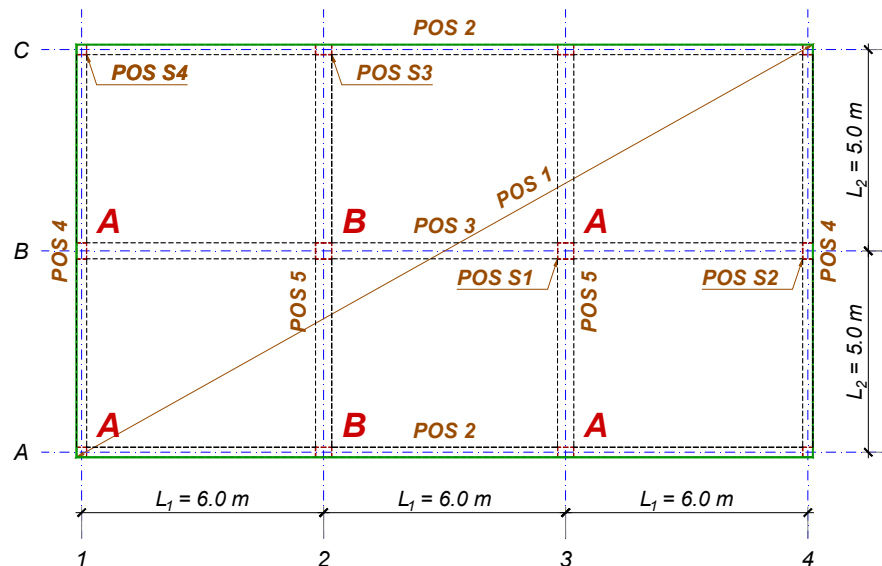


# 1 PRORAČUN PLOČE POS 1

- varijanta: krstasta ploča,  $p$  u proizvoljnom položaju na ploči -

## 1.1 STATIČKI SISTEM



## 1.2 ANALIZA OPTEREĆENJA

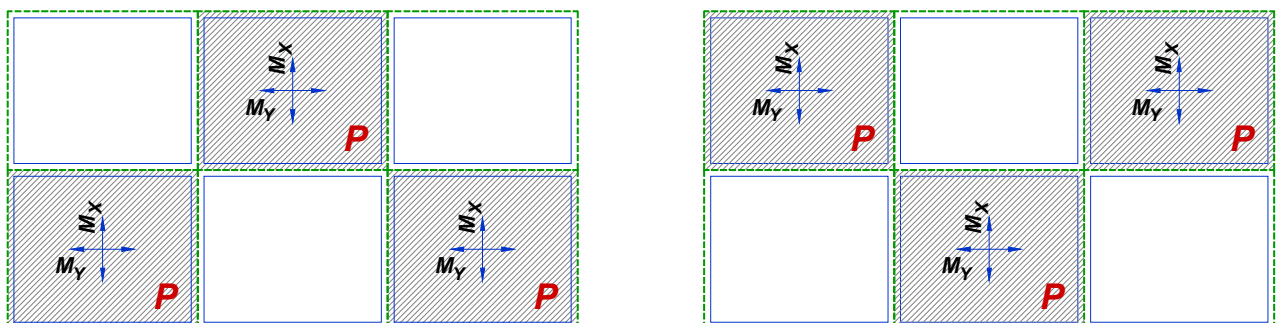
Konstrukcija obrađena u primeru P3. Zadržane su usvojene dimenzije elemenata i preuzeti uticaji usled stalnog opterećenja i dela povremenog opterećenja koje deluje po čitavoj ploči. Ovde se sprovodi proračun elemenata za najnepovoljniji položaj povremenog opterećenja i vrše odgovarajuća dimenzionisanja.

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 momenti u poljima

Maksimalni moment u nekom polju se javlja kada se povremeno opterećenje nalazi u tom polju a ne nalazi u svim susednim. Sledeća polja su opterećena (osenčeno) ili neopterećena (belo) na način prikazan na skici.



Ono što značajno povećava obim statičkog proračuna u odnosu na ploče koje prenose opterećenje u jednom pravcu je što je neophodno da se opterećenje na konstrukciju aplicira tako da konturni uslovi između pojedinih ploča odgovaraju uslovima u tablicama (potpuno uklještenje, odnosno potpuno slobodan oslonac). Kako to nije slučaj za označene položaje opterećenja, potrebno je povremeno opterećenje razdvojiti na:

- simetričnu komponentu – opterećenje  $p/2$  koje deluje po svim poljima istovremeno
- antimetričnu komponentu – opterećenje  $p/2$  (usmereno vertikalno naniže) deluje u poljima koja želimo da opteretimo (osencena polja na prethodnim skicama) a opterećenje  $-p/2$  (usmereno vertikalno naviše), deluje u poljima koja treba da ostanu neopterećena.

Superponiranjem ove dve komponente dobija se željeni intenzitet i položaj povremenog opterećenja, uz konturne uslove:

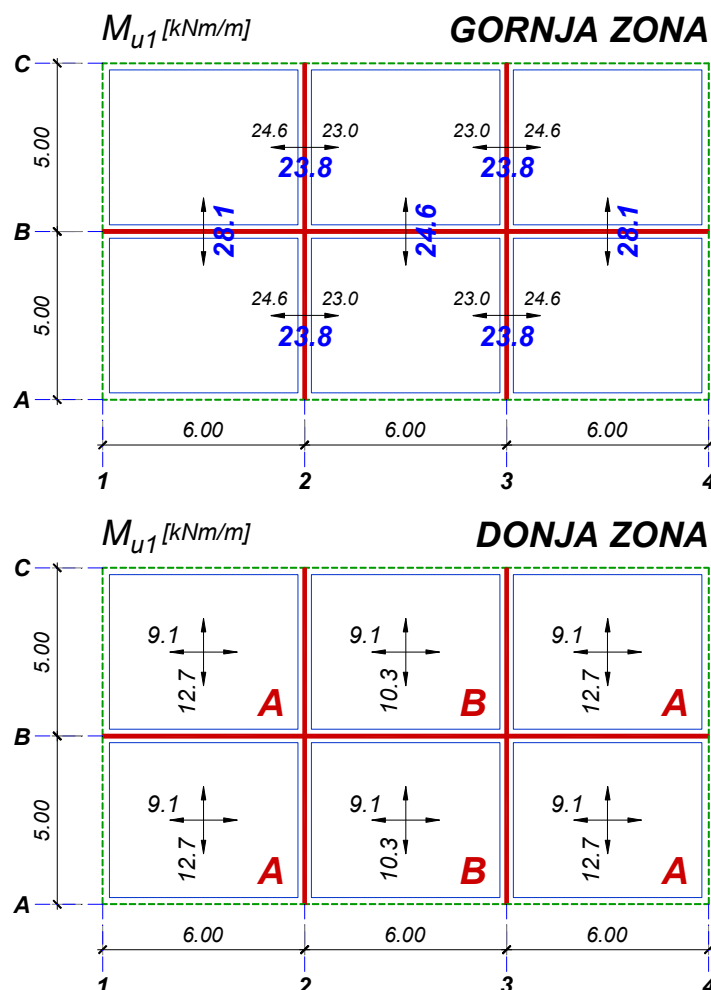
- uklještenje, kada su susedni delovi ploče opterećeni opterećenjem istog znaka;
- slobodan oslonac, kada su susedni delovi ploče opterećeni opterećenjem suprotnog znaka.

Naravno, smatra se da su ivični delovi ploče slobodno oslonjeni. Ostale napomene date u primeru P3, vezane za osrednjavanje momenata nad uklještenim ivicama i eventualnu interpolaciju tabulisanih vrednosti koeficijenata za proračun momenata savijanja i reakcija oslonaca ostaju u važnosti.

Uticaje usled simetrične komponente opterećenja ( $g$ ,  $p/2$  po celoj ploči) lako je dobiti na osnovu uticaja sračunatih u primeru P3. Konturni uslovi su isti kao u P3, pa je sračunate (i uprosečene) momente savijanja potrebno ponderisati vrednošću:

$$\frac{q_{u1}}{q_u} = \frac{1.6 \times g + 1.8 \times \frac{p}{2}}{1.6 \times g + 1.8 \times p} = \frac{1.6 \times 6.0 + 1.8 \times \frac{4.0}{2}}{1.6 \times 6.0 + 1.8 \times 4.0} = \frac{13.2}{16.8} = 0.786$$

Ovako ponderisane vrednosti su prikazane na donjoj skici.



Kako su sve pojedinačne ploče istih dimenzija i istih konturnih uslova za antimetrično opterećenje (slobodno oslonjena ploča na sve četiri strane), momenti savijanja  $M_{u2}$  koje je potrebno dodati simetričnoj komponenti su za sve delove (ploče A i B):

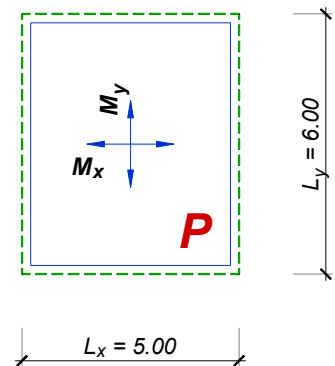
$$L_y/L_x = 6.0/5.0 = 1.2$$

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{p}{2} \times L_x \times L_y = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 \text{ kN}$$

$$Q_{u2} = \pm 1.8 \times 60 = \pm 108 \text{ kN}$$

$$M_{xu2} = \pm 0.049 \times 108 = \pm 5.3 \text{ kNm/m}$$

$$M_{yu2} = \pm 0.038 \times 108 = \pm 4.1 \text{ kNm/m}$$



Ukupni momenti savijanja u poljima u kraćem pravcu su:

$$M_{xu}^A = M_{xu1}^A + M_{xu2}^P = 12.7 + 5.3 = 18.0 \text{ kNm/m} > 16.1 \text{ kNm/m}$$

$$M_{xu}^B = M_{xu1}^B + M_{xu2}^P = 10.3 + 5.3 = 15.6 \text{ kNm/m} > 13.1 \text{ kNm/m}$$

odnosno, u dužem pravcu:

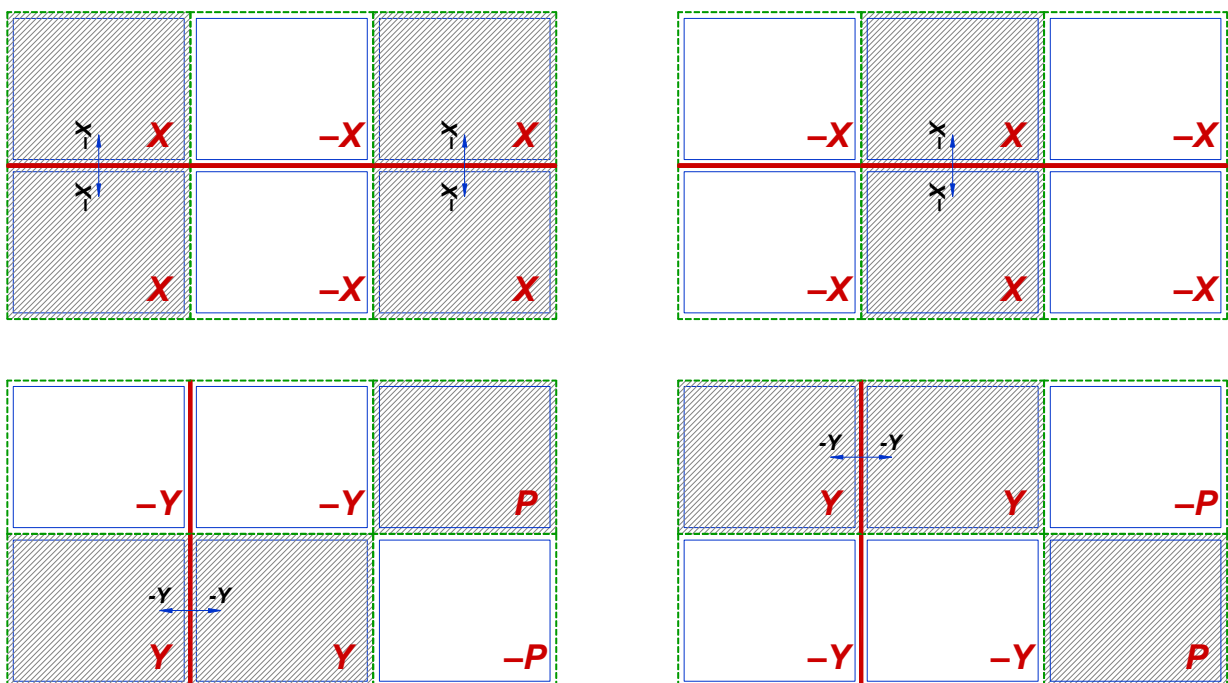
$$M_{yu}^A = M_{yu1}^A + M_{yu2}^P = 9.1 + 4.1 = 13.2 \text{ kNm/m} > 11.6 \text{ kNm/m}$$

$$M_{yu}^B = M_{yu1}^B + M_{yu2}^P = 9.1 + 4.1 = 13.2 \text{ kNm/m} > 11.6 \text{ kNm/m}$$

Kako su vrednosti momenata savijanja  $M_{u2}$  (od antimetrične komponente) manji od momenata  $M_{u1}$  (od simetrične komponente), ni na jednom delu ploče se u polju ne mogu javiti negativni momenti savijanja, odnosno nije potrebno armirati čitavu gornju zonu ploče.

### 1.3.2 Maksimalni momenti nad osloncima

Potrebno je da povremeno opterećenje deluje sa obe strane razmatranog oslonca, dok su preostala polja opterećena (osenačeno) ili neopterećena (belo) na način prikazan na skici.



Drugim rečima, cilj je da se opterećenje postavi tako da razmatrana oslonička linija bude jedino uključena na posmatranom delu ploče.

### 1.3.2.1 Kraći pravac (moment -X)

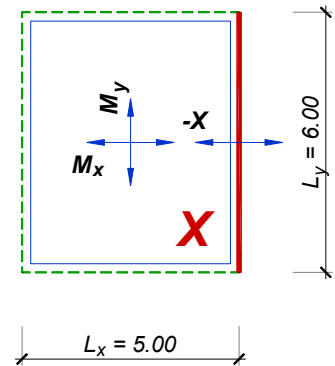
$$L_y / L_x = 6.0 / 5.0 = 1.2$$

$$Q_{u2} = \pm 1.8 \times \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 108 \text{ kN}$$

$$-X_{u2} = \pm 0.082 \times 108 = \pm 8.9 \text{ kNm/m}$$

$$-X_u^A = -X_{u1}^A + (-X_{u2}^X) = 28.1 + 8.9 = 37.0 \text{ kNm/m}$$

$$-X_u^B = -X_{u1}^B + (-X_{u2}^X) = 24.6 + 8.9 = 33.5 \text{ kNm/m}$$

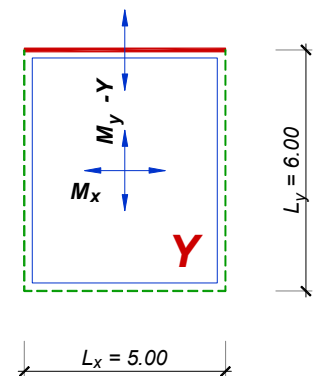


### 1.3.2.2 Duži pravac (moment -Y)

$$Q_{u2} = \pm 1.8 \times \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 108 \text{ kN}$$

$$-Y_{u2} = \pm 0.083 \times 108 = \pm 9.0 \text{ kNm/m}$$

$$-Y_u^{AB} = -Y_{u1}^{AB} + (-Y_{u2}^Y) = 23.8 + 9.0 = 32.8 \text{ kNm/m}$$



Naravno, oznaka »-« ispred oslonačkog momenta savijanja označava da je zategnuta gornja strana ploče.

I ovde su vrednosti momenata savijanja  $-X_{u2}$  i  $-Y_{u2}$  (od anti-simetrične komponente) manji od odgovarajućih momenata od simetrične komponente, pa se u oslonačkim delovima ne mogu javiti pozitivni momenti savijanja.

## 1.4 DIMENZIONISANJE

Sprovodi se potpuno analogno kao u primeru P3, istim redosledom. Kako su momenti u globalnom Y pravcu veći od momenata u X pravcu, šipke Y pravca se postavljaju u prvi, odnosno četvrti red, a šipke X pravca u drugi, odnosno treći red (sa manjom statičkom visinom i u gornjoj i u donjoj zoni).

### 1.4.1 Gornja zona - globalni pravac Y

$\max.M_u = M_{yu} = 37.0 \text{ kNm/m}$  (osa B: delovi 1-2, 3-4)

$$\text{pretp. } a_{1y} = 2.6 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 14 - 2.6 = 11.4 \text{ cm} ; b = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$k = \frac{11.4}{\sqrt{\frac{37 \times 10^2}{100 \times 2.05}}} = 2.684 \Rightarrow \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.562 / 10\text{‰} ; \bar{\mu} = 15.086\%$$

$$A_a = 15.086 \times \frac{100 \times 11.4}{100} \times \frac{2.05}{40} = 8.81 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\text{Ø}12/12.5} (9.05 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$A_{ap} = 0.2 \times 8.81 = 1.76 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\text{Ø}8/25} (2.01 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$M_{yu} = 33.5 \text{ kNm/m}$  (osa B: deo 2-3)

$$A_a \approx \frac{33.5}{37.0} \times 8.81 = 7.96 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\text{Ø}12/12.5} (9.05 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$A_{ap} = 0.2 \times 7.96 = 1.59 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\text{Ø}8/30} (1.68 \text{ cm}^2/\text{m})$$

### 1.4.2 Gornja zona - globalni pravac X

$$\text{pretp. } \emptyset 12 \Rightarrow a_{1x} = 2.0 + 1.2 + 1.2/2 = 3.8 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 14 - 3.8 = 10.2 \text{ cm}$$

$$M_{xu} = 32.7 \text{ kNm/m} \text{ (ose 2 i 3)}$$

$$k = \frac{10.2}{\sqrt{\frac{32.7}{2.05}}} = 2.553 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 2.825/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 16.826\%$$

$$A_a = 16.826 \times 10.2 \times \frac{2.05}{40} = 8.80 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 12/12.5} \text{ (9.05 cm}^2/\text{m)}$$

$$A_{ap} = 0.2 \times 8.80 = 1.76 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 8/25} \text{ (2.01 cm}^2/\text{m)}$$

### 1.4.3 Donja zona - globalni pravac Y

$$\text{pretp. } \emptyset 10 \Rightarrow a_{1y} = 2.0 + 1.0/2 = 2.5 \text{ cm} \Rightarrow h_y = 14 - 2.5 = 11.5 \text{ cm}$$

$$M_{yu} = 18.0 \text{ kNm/m} \text{ (polja 1-2 i 3-4)}$$

$$A_{ay} \approx \frac{18.0 \times 10^2}{0.9 \times 11.5 \times 40} = 4.34 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 10/15} \text{ (5.24 cm}^2/\text{m)}$$

$$M_{yu} = 15.6 \text{ kNm/m} \text{ (polja 2-3)}$$

$$A_{ay} \approx \frac{15.6 \times 10^2}{0.9 \times 11.5 \times 40} = 3.77 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 10/20} \text{ (3.93 cm}^2/\text{m)}$$

### 1.4.4 Donja zona - globalni pravac X

$$\text{pretp. } \emptyset 10 \Rightarrow a_{1x} = 2.0 + 1.0 + 1.0/2 = 3.5 \text{ cm} \Rightarrow h_x = 14 - 3.5 = 10.5 \text{ cm}$$

$$M_{xu} = 13.2 \text{ kNm/m} \text{ (sva polja)}$$

$$A_{ax} \approx \frac{13.2 \times 10^2}{0.9 \times 10.5 \times 40} = 3.50 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 10/20} \text{ (3.93 cm}^2/\text{m)}$$

Umesto rebraste armature, donju zonu je moguće armirati mrežastom armaturom:

$$A_a^{MA} = \frac{A_{a,\max}^{RA} \times \sigma_v^{RA}}{\sigma_v^{MA}} = \frac{4.34 \times 40}{50} = 3.47 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{Q378} \text{ (}\emptyset 8.5/15\text{)}$$

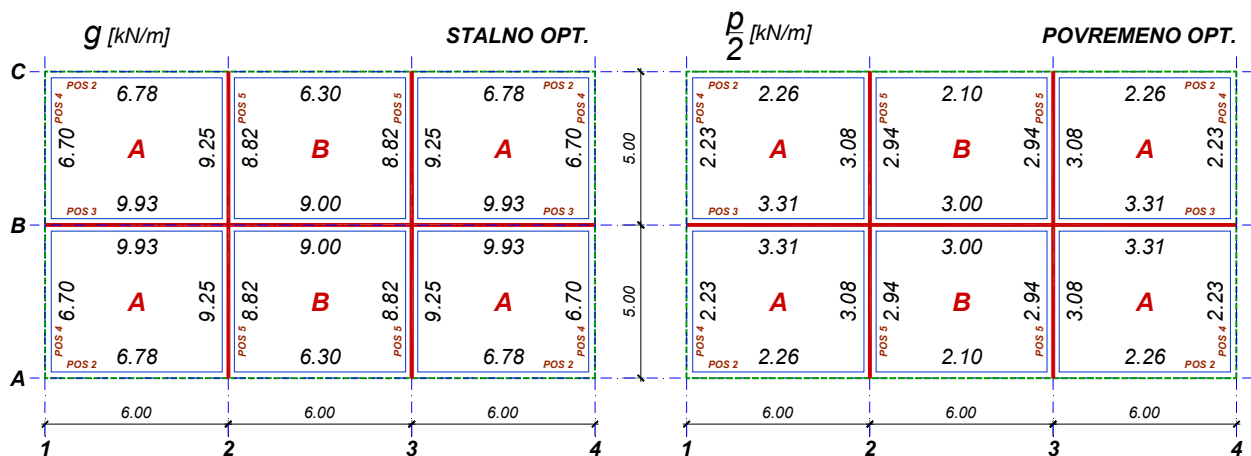
## 2 PRORAČUN GREDE POS 3

Zadržavaju se dimenzije greda usvojene u primeru P3 – srednje grede POS 3 i POS 5 su dimenzija 40/50 cm, a fasadne grede POS 2 i POS 4 dimenzija 25/50 cm.

### 2.1 STALNO OPTEREĆENJE I SIMETRIČNI DEO POVREMENOG OPTEREĆENJA

Određivanje merodavnih položaja povremenog opterećenja je detaljno objašnjeno u primeru P2 (ploča u jednom pravcu) i u tom delu nema suštinske razlike. Razlika je ponovo u tehnici proračuna (rastavljanje povremenog opterećenja na simetrični i antisimetrični deo).

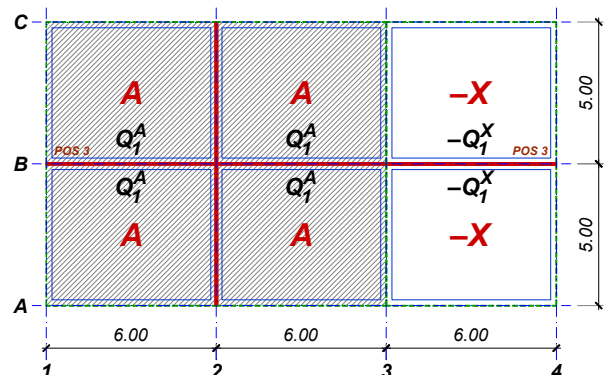
Jednako raspodeljeno opterećenje koje se sa ploče prenosi na pojedine grede, posebno za stalno, odnosno simetrični deo povremenog opterećenja ( $p/2$  po čitavoj površini ploče), sračunato je u primeru P3 i prikazano na narednoj šemi (pojedinačne cifre sa jedne, odnosno druge strane grede predstavljaju deo opterećenja od ploče šematski označenih sa »A« i »B«). Ovo opterećenje se uzima u obzir u svim kombinacijama koje se razmatraju.



Stalnom opterećenju je potrebno je dodati sopstvenu težinu grede i težinu fasade za ivične grede (POS 2, POS 4). Težina fasade je sračunata u primeru P1 ( $g_f = 16.95 \text{ kN/m}$ ).

## 2.2 PRESEK NAD SREDNJIM OSLONCEM

Maksimalni moment nad srednjim osloncem grede (osa 2) se javlja kada se priležuća polja optereće maksimalnim, a poslednje polje minimalno mogućim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalne transversalne sile levo i desno od predmetnog oslonca i maksimalna sila u odgovarajućem stubu (2B). Lako se uočava da je u pitanju isti položaj povremenog opterećenja kao u primeru P2 (ploča u jednom pravcu).



Kako simetrični deo opterećenja deluje po čitavoj ploči, potrebno je osenčena polja opteretiti opterećenjem  $p/2$  a neosenčena (neopterećena) opterećenjem  $-p/2$  radi postizanja željene šeme opterećenja i odgovarajućih konturnih uslova. Radi preglednosti, koriste se već upotrebljene oznake za pojedine tipove ploča (A,B,X,Y,P) pri čemu znak »+« označava opterećenje »nadole« a »-« opterećenje »nagore«. Neophodno je sračunati samo reakcije  $Q_i$  označene na šemi, ukupno povremeno opterećenje i zatim uticaje koji dostižu maksimalnu vrednost pri ovom položaju opterećenja (nešto krupnije cifre na dijagramima).

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 \text{ kN}$$

$$Q_1^A = \pm 0.331 \times 60 = \pm 19.9 \text{ kN}$$

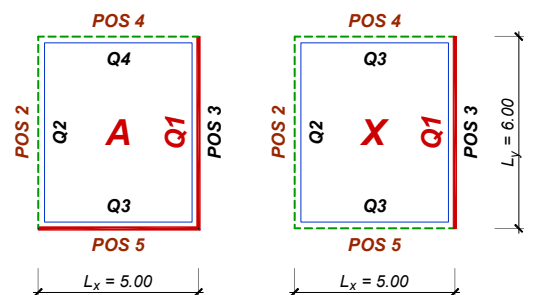
$$Q_1^X = \pm 0.362 \times 60 = \pm 21.7 \text{ kN}$$

Ukupno (simetrično i antisimetrično) povremeno opterećenje po pojedinim poljima grede POS 3 je:

$$p_1 = 2 \times \frac{Q_{1,sim}^A}{L_y} + 2 \times \frac{Q_{1,ant}^A}{L_y} = 2 \times 3.31 + 2 \times \frac{19.9}{6.0} = 13.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 = 2 \times \frac{Q_{1,sim}^B}{L_y} + 2 \times \frac{Q_{1,ant}^A}{L_y} = 2 \times 3.00 + 2 \times \frac{19.9}{6.0} = 12.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_3 = 2 \times \frac{Q_{1,sim}^A}{L_y} - 2 \times \frac{Q_{1,ant}^X}{L_y} = 2 \times 3.31 - 2 \times \frac{21.7}{6.0} = -0.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_{1p} = -\left(\frac{13.24}{15} + \frac{12.62}{20} - \frac{-0.62}{60}\right) \times 6^2 = -54.9 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{13.24 \times 6}{2} - \frac{54.9}{6} = 30.6 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\left(\frac{-0.62}{15} + \frac{12.62}{20} - \frac{13.24}{60}\right) \times 6.0^2 = -13.3 \text{ kNm}$$

$$B_{p,\max} = \frac{1}{6.0} \times \left[ 13.24 \times 6.0 \times \left(6.0 + \frac{6.0}{2}\right) + \frac{12.62 \times 6.0^2}{2} - 13.3 - 30.6 \times 12.0 \right] = 93.7 \text{ kN}$$

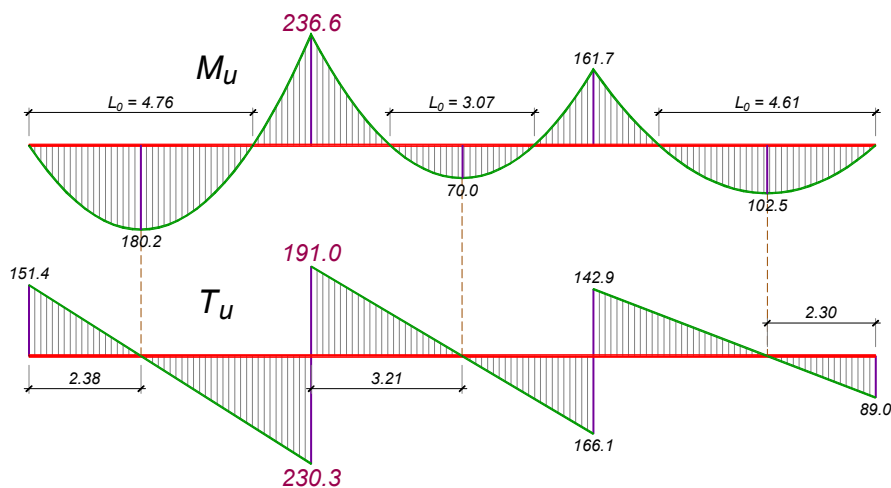
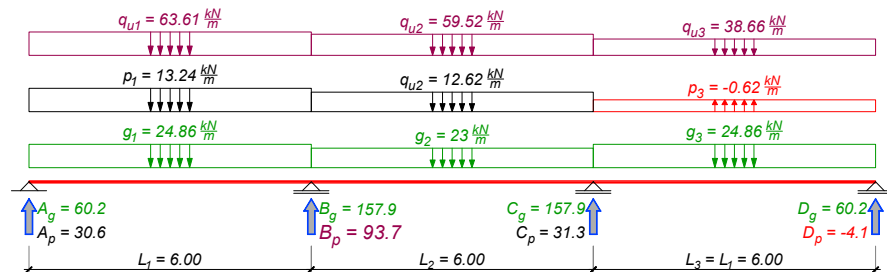
Reakcije oslonaca usled stalnog opterećenja su sračunate u primeru P3. Sledi:

$$q_{u1} = 1.6 \times 24.86 + 1.8 \times 13.24 = 63.61 \text{ kN/m}$$

$$q_{u2} = 1.6 \times 23 + 1.8 \times 12.62 = 59.52 \text{ kN/m}$$

$$q_{u3} = 1.6 \times 24.86 + 1.8 \times (-0.62) = 38.66 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = -\left(\frac{63.61}{15} + \frac{59.52}{20} - \frac{38.66}{60}\right) \times 6.0^2 = -236.6 \text{ kNm}$$



$$T_u^A = 1.6 \times 60.2 + 1.8 \times 30.6 = 151.4 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{levo}} = 151.4 - 63.61 \times 6.0 = -230.3 \text{ kN}$$

$$B_u = 1.6 \times 157.9 + 1.8 \times 93.7 = 421.3 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{desno}} = 421.3 - 230.3 = 191.0 \text{ kN}$$

## 2.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$\text{pretp. } a_1 = 6 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 40/50/44 \text{ cm}$$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{236.6 \times 10^2}{40 \times 2.05}}} = 2.590 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.744 / 10\% \\ \mu = 16.300\% \end{cases}$$

$$A_a = 16.300 \times \frac{40 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 14.70 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } \mathbf{8R\text{Ø}16} \text{ (16.08 cm}^2\text{)}$$

## 2.2.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja

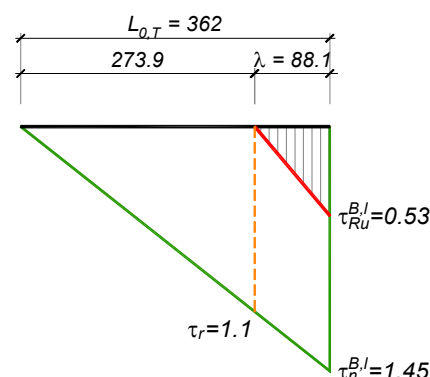
### 2.2.2.1 Presek $B^{levo}$ – od srednjeg oslonca ka krajnjem polju

$$\tau_n^{B,l} = \frac{230.3}{40 \times 0.9 \times 44} = 0.145 \frac{kN}{cm^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{230.3}{63.61} = 6.0 - 2.38 = 3.62 m$$

$$\lambda = 362 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.145}\right) = 88.1 cm$$

$$\tau_{Ru}^{B,l} = \frac{3}{2} \times (0.145 - 0.11) = 0.053 \frac{kN}{cm^2}$$



Rastojanje uzengija će biti sračunato iz uslova  $\mu_{uz} \geq 0.2\%$ :

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{40 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 12.6 cm \quad \Rightarrow \quad \text{usvojeno:} \quad \mathbf{UR\emptyset 8/12.5} \quad (m=2)$$

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

### 2.2.2.2 Presek $B^{desno}$ – od srednjeg oslonca ka srednjem polju

$$\tau_n^{B,d} = \frac{191.0}{40 \times 0.9 \times 44} = 0.121 \frac{kN}{cm^2} > \tau_r = 0.11 \frac{kN}{cm^2}$$

$$L_{0,T} = \frac{191.0}{59.52} = 3.21 m \quad \Rightarrow \quad \lambda = 321 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.121}\right) = 28.2 cm$$

$$\tau_{Ru}^{B,d} = \frac{3}{2} \times (0.121 - 0.11) = 0.016 \frac{kN}{cm^2} < \tau_{uu,min} = 0.2\% \times \sigma_v = 0.08 \frac{kN}{cm^2}$$

usvojeno: **UR $\emptyset$ 8/12.5** ( $m=2$ )

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

## 2.3 PRESECI U KRAJNJIJIM POLJIMA

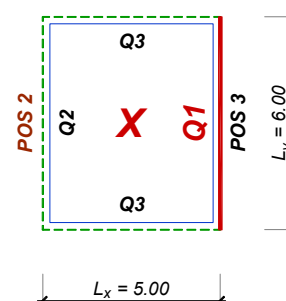
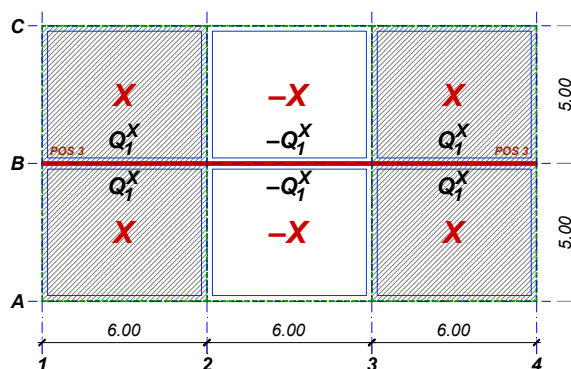
Maksimalni momenti se javljaju kada se krajnja polja optereite maksimalnim, a srednje polje minimalno mogućim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalna transverzalna sila na krajnjem osloncu i maksimalna sila u stubu (1B). Potrebno je osenčena polja opteretiti opterećenjem  $p/2$  a neosenčena (neopterećena) opterećenjem  $-p/2$ .

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 kN$$

$$Q_1^x = \pm 0.362 \times 60 = \pm 21.7 kN$$

Ukupno povremeno opterećenje po pojedinim poljima POS 3 je:

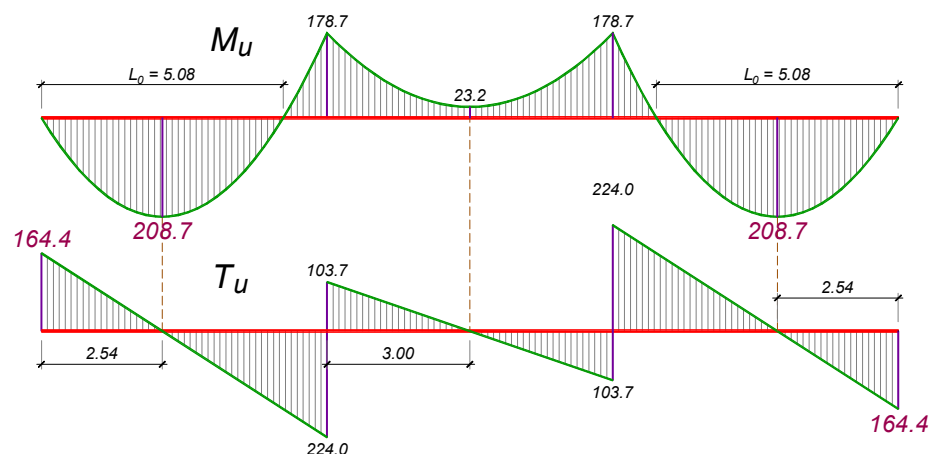
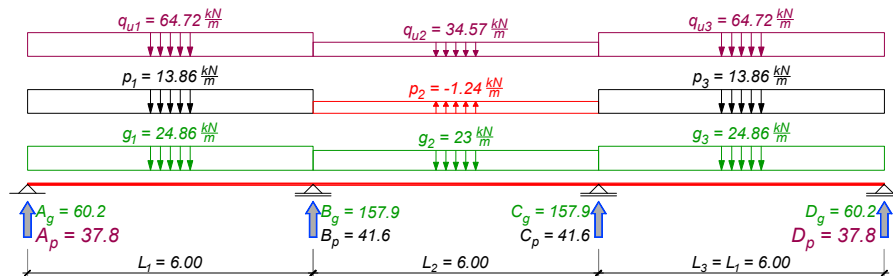
$$p_2 = 2 \times \frac{Q_{1,sim}^B}{L_y} - 2 \times \frac{Q_{1,ant}^x}{L_y} = 2 \times \frac{3.00}{6.0} - 2 \times \frac{21.7}{6.0} = -1.24 \frac{kN}{m}$$





$$p_1 = 2 \times \frac{Q_{1,sim}^A}{L_y} + 2 \times \frac{Q_{1,ant}^X}{L_y} = 2 \times 3.31 + 2 \times \frac{21.7}{6.0} = 13.86 \frac{kN}{m} = p_3$$

$$M_{1p} = -\left(\frac{13.86}{15} + \frac{-1.24}{20} - \frac{13.86}{60}\right) \times 6^2 = -22.7 kNm \Rightarrow A_p = \frac{13.86 \times 6}{2} - \frac{22.7}{6} = 37.8 kN$$



$$q_{u1} = 1.6 \times 24.86 + 1.8 \times 13.86 = 64.72 kN/m = q_{u3}$$

$$T_{u,max}^A = 1.6 \times 60.2 + 1.8 \times 37.8 = 164.4 kN$$

$$x_{max} = \frac{164.4}{64.72} = 2.54 m \Rightarrow M_{u,max} = 164.4 \times 2.54 - \frac{64.72 \times 2.54^2}{2} = 208.7 kNm$$

### 2.3.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = 2x_{max} = 2 \times 2.54 = 5.08 m \quad \Rightarrow \quad B = 40 + 0.25 \times 508 = 167 cm$$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{208.7 \times 10^2}{167 \times 2.05}}} = 5.635 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 0.914 / 10\text{‰} \\ s = 0.084 \Rightarrow x = 0.084 \times 44 = 3.68 cm < d_p = 14 cm \\ \mu = 3.244\% \end{cases}$$

$$A_a = 3.244 \times \frac{167 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 12.22 cm^2 \Rightarrow \text{usv.: } 7R\emptyset 16 (14.07 cm^2)$$

### 2.3.2 Kontrola glavnih napona zatezanja (presek uz oslonac A)

$$T_u^A = 164.4 kN \Rightarrow \tau_n^A = \frac{164.4}{40 \times 0.9 \times 44} = 0.104 \frac{kN}{cm^2} < \tau_r$$

Nije potrebna proračunska armatura za prihvatanje glavnih napona zatezanja.

usvojeno: **URØ8/25 (12.5) (m=2)**

## 2.4 PRESEK U SREDNJEM POLJU

Maksimalni moment se javlja kada se srednje polje opteretiti maksimalnim, a krajnja polja minimalno mogućim opterećenjem. Istovremeno se javlja i minimalna sila u stubu (1B). Potrebno je osenčena polja opteretiti opterećenjem  $p/2$  a neosenčena opterećenjem  $-p/2$ .

$$Q_1^X = \pm 0.362 \times 60 = \pm 21.7 \text{ kN}$$

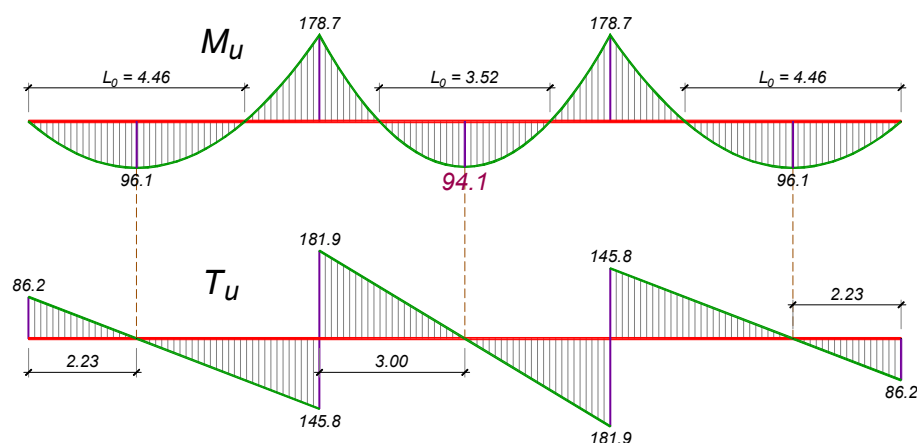
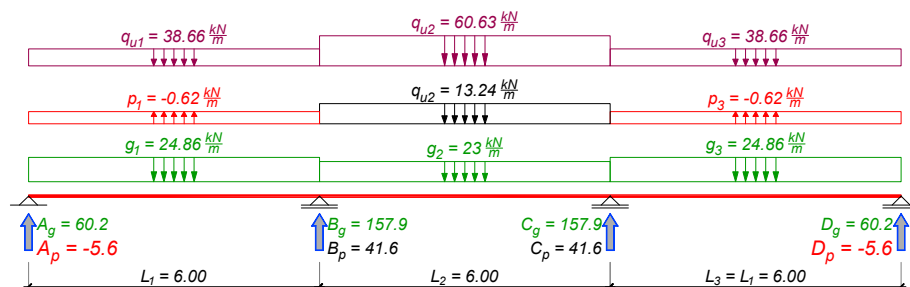
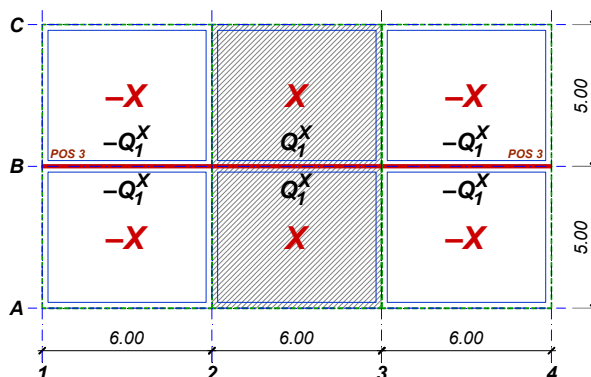
Ukupno povremeno opterećenje po pojedinim poljima POS 3 je:

$$p_1 = 2 \times \frac{Q_{1,\text{sim}}^A}{L_y} - 2 \times \frac{Q_{1,\text{ant}}^X}{L_y} = 2 \times 3.31 - 2 \times \frac{21.7}{6.0} = -0.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = p_3$$

$$p_2 = 2 \times \frac{Q_{1,\text{sim}}^B}{L_y} + 2 \times \frac{Q_{1,\text{ant}}^X}{L_y} = 2 \times 3.00 + 2 \times \frac{21.7}{6.0} = 13.24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{1p} = - \left( \frac{-0.62}{15} + \frac{13.24}{20} - \frac{-0.62}{60} \right) \times 6^2 = -22.7 \text{ kNm} = M_{2p}$$

$$A_{p,\text{min}} = \frac{-0.62 \times 6.0}{2} - \frac{22.7}{6.0} = -5.6 \text{ kN}$$



$$q_{u1} = 1.6 \times 24.86 + 1.8 \times (-0.62) = 38.66 \text{ kN/m} = q_{u3}$$

$$q_{u2} = 1.6 \times 23 + 1.8 \times 13.24 = 60.63 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = - \left( \frac{38.66}{15} + \frac{60.63}{20} - \frac{38.66}{60} \right) \times 6^2 = -178.7 \text{ kNm} = M_{2u}$$

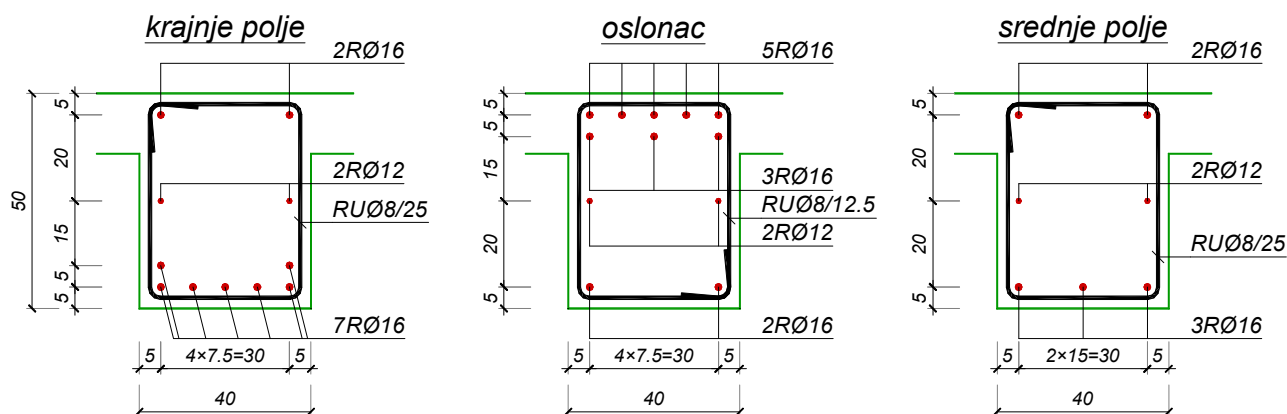
$$M_{u,\text{max}} = \frac{60.63 \times 6.0^2}{8} - 178.7 = 94.1 \text{ kNm}$$

### 2.4.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = \sqrt{\frac{8 \times 94.1}{60.63}} = 3.52 \text{ m} \Rightarrow B = 40 + 0.25 \times 352 = 128 \text{ cm}$$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{94.1 \times 10^2}{128 \times 2.05}}} = 7.517 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 0.658 / 10\text{‰} \\ s = 0.062 \Rightarrow x = 0.062 \times 45 = 2.8 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \mu = 1.808\% \end{cases}$$

$$A_a = 1.808 \times \frac{128 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 5.34 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } 3R\emptyset 16 \text{ (6.03 cm}^2\text{)}$$



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 PRESEK NAD SREDNJIM OSLONCEM

Merodavni položaj povremenog opterećenja koji daje maksimalni moment iznad srednjeg oslonca (osa 2), maksimalne transverzalne sile levo i desno od tog oslonca i maksimalnu silu u stubu 2A prikazan je na skici desno.

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 \text{ kN}$$

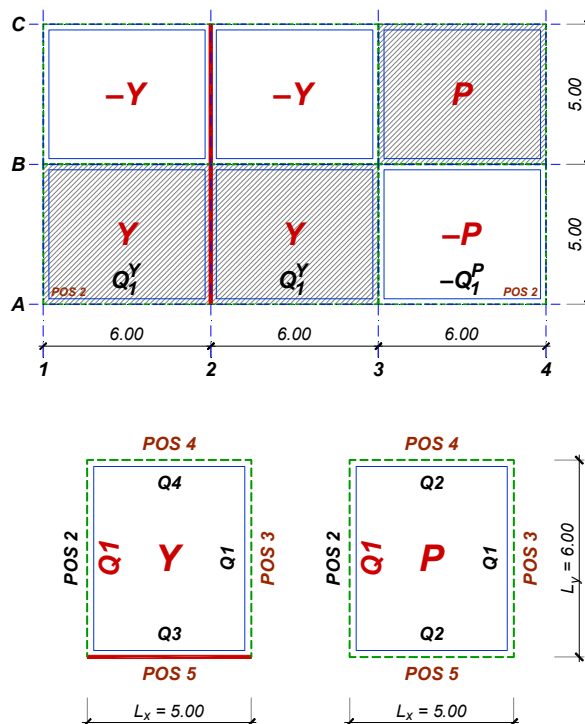
$$Q_1^Y = \pm 0.244 \times 60 = \pm 14.6 \text{ kN}$$

$$Q_1^P = \pm 0.272 \times 60 = \pm 16.3 \text{ kN}$$

$$p_1 = \frac{Q_{2,sim}^A}{L_y} + \frac{Q_{1,ant}^Y}{L_y} = 2.26 + \frac{14.6}{6.0} = 4.70 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 = \frac{Q_{2,sim}^B}{L_y} + \frac{Q_{1,ant}^Y}{L_y} = 2.10 + \frac{14.6}{6.0} = 4.54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_3 = \frac{Q_{1,sim}^A}{L_y} - \frac{Q_{1,ant}^P}{L_y} = 2.26 - \frac{16.3}{6.0} = -0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_{1p} = -\left(\frac{4.70}{15} + \frac{4.54}{20} - \frac{-0.46}{60}\right) \times 6^2 = -19.7 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{4.70 \times 6}{2} - \frac{19.7}{6} = 10.8 \text{ kN}$$

$$M_{2p} = -\left(\frac{-0.46}{15} + \frac{4.54}{20} - \frac{4.70}{60}\right) \times 6^2 = -4.2 \text{ kNm}$$

$$B_{p,\max} = \frac{1}{6.0} \times \left[ 4.70 \times 6.0 \times \left(6.0 + \frac{6.0}{2}\right) + \frac{4.54 \times 6.0^2}{2} - 4.2 - 10.8 \times 12.0 \right] = 33.6 \text{ kN}$$

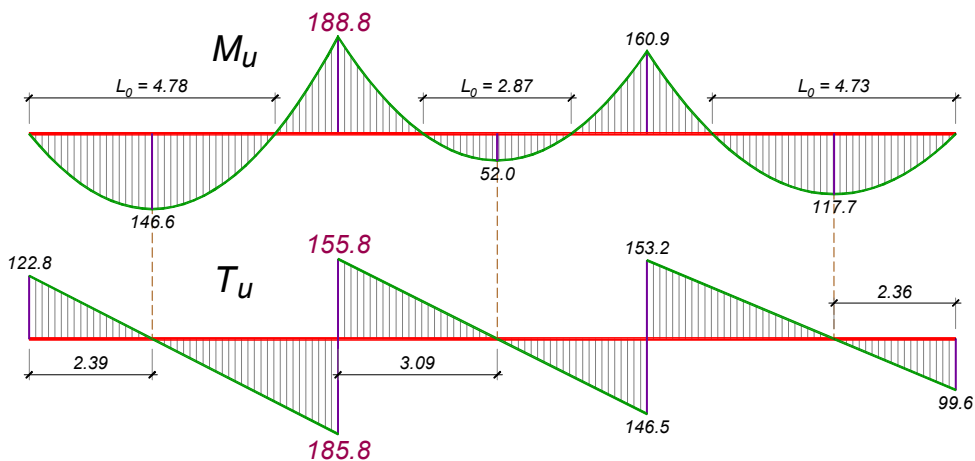
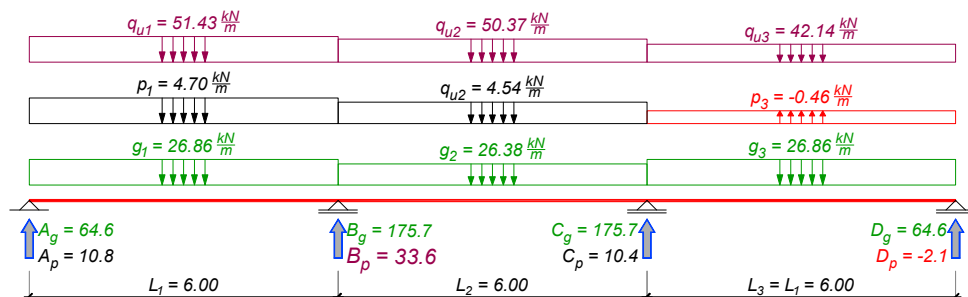
Reakcije oslonaca usled stalnog opterećenja su sračunate u primeru P3. Sledi:

$$q_{u1} = 1.6 \times 26.86 + 1.8 \times 4.70 = 51.43 \text{ kN/m}$$

$$q_{u2} = 1.6 \times 26.38 + 1.8 \times 4.54 = 50.37 \text{ kN/m}$$

$$q_{u3} = 1.6 \times 26.86 + 1.8 \times (-0.46) = 42.14 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = -\left(\frac{51.43}{15} + \frac{50.37}{20} - \frac{42.14}{60}\right) \times 6.0^2 = -188.8 \text{ kNm}$$



$$T_u^A = 1.6 \times 64.6 + 1.8 \times 10.8 = 122.8 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{levo}} = 122.8 - 51.43 \times 6.0 = -185.8 \text{ kN}$$

$$B_u = 1.6 \times 175.7 + 1.8 \times 33.6 = 341.6 \text{ kN} \Rightarrow T_u^{B,\text{desno}} = 341.6 - 185.8 = 155.8 \text{ kN}$$

### 3.1.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$\text{pretp. } a_1 = 6 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 25/50/44 \text{ cm}$$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{188.8 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.292 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 9.753\% \\ \mu = 21.378\% \end{cases}$$

$$A_a = 21.378 \times \frac{25 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 12.05 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } \mathbf{6R\text{Ø}16} \text{ (12.06 cm}^2\text{)}$$

### 3.1.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja

#### 3.1.2.1 Presek B<sup>levo</sup> – od srednjeg oslonca ka krajnjem polju

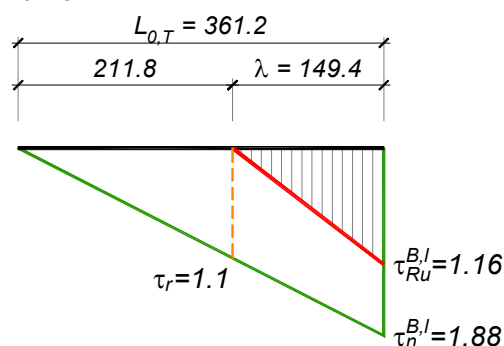
$$\tau_n^{B,l} = \frac{185.8}{25 \times 0.9 \times 44} = 0.188 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{185.8}{51.43} = 6.0 - 2.39 = 3.61 \text{ m}$$

$$\lambda = 361 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.188}\right) = 149.4 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,l} = \frac{3}{2} \times (0.188 - 0.11) = 0.116 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.116} = 13.8 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{UR\emptyset 8/12.5} \text{ (m=2)}$$



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

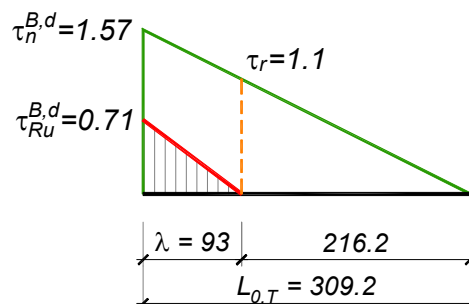
#### 3.1.2.2 Presek B<sup>desno</sup> – od srednjeg oslonca ka srednjem polju

$$\tau_n^{B,d} = \frac{155.8}{25 \times 0.9 \times 44} = 0.157 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0,T} = \frac{155.8}{50.37} = 3.09 \text{ m}$$

$$\lambda = 309 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.157}\right) = 93 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,d} = \frac{3}{2} \times (0.157 - 0.11) = 0.071 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



Rastojanje uzengija će biti sračunato iz uslova  $\mu_{uz} \geq 0.2\%$ :

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 20.1 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{UR\emptyset 8/20} \text{ (m=2)}$$

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

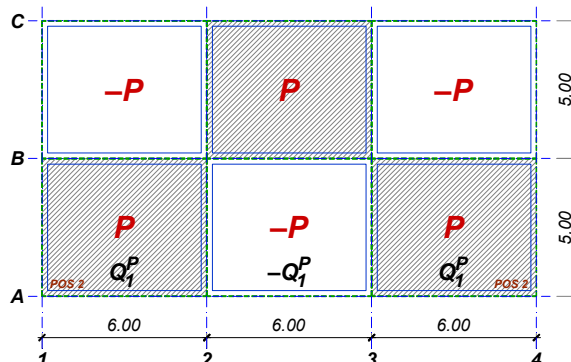
## 3.2 PRESECI U KRAJNJIJIM POLJIMA

Merodavni položaj povremenog opterećenja koji daje maksimalni moment u krajnjim poljima, maksimalnu transverzalnu silu na krajnjem osloncu i maksimalnu silu u stubu 1A prikazan je na skici desno.

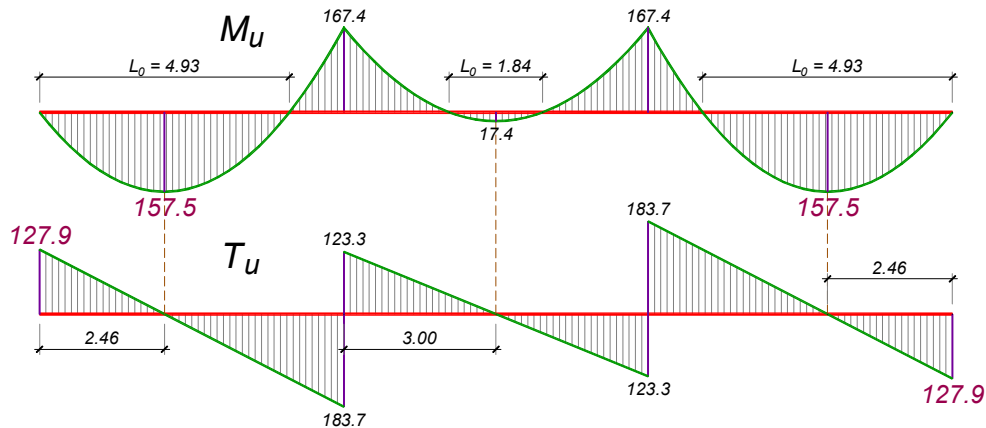
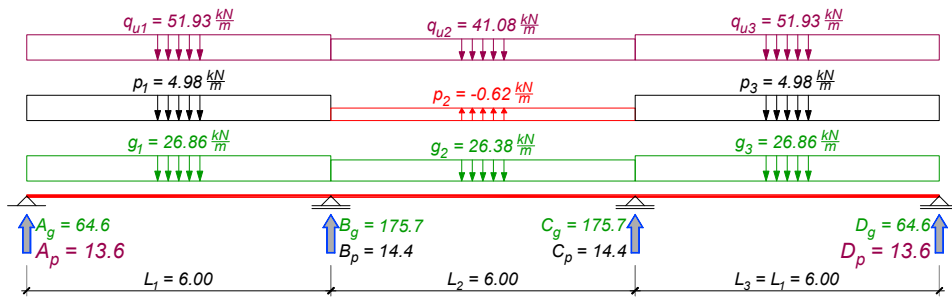
$$Q_1^P = \pm 0.272 \times 60 = \pm 16.3 \text{ kN}$$

$$p_1 = \frac{Q_{2,sim}^A}{L_y} + \frac{Q_{1,ant}^P}{L_y} = 2.26 + \frac{16.3}{6.0} = 4.98 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = p_3$$

$$p_2 = \frac{Q_{2,sim}^B}{L_y} - \frac{Q_{1,ant}^P}{L_y} = 2.10 - \frac{16.3}{6.0} = -0.62 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_{1p} = -\left(\frac{4.98}{15} + \frac{-0.62}{20} - \frac{4.98}{60}\right) \times 6.0^2 = -7.8 \text{ kNm} \Rightarrow A_p = \frac{4.98 \times 6.0}{2} - \frac{7.8}{6.0} = 13.6 \text{ kN}$$



$$q_{u1} = 1.6 \times 26.86 + 1.8 \times 4.98 = 51.93 \text{ kN/m} = q_{u3}$$

$$T_{u,\max}^A = 1.6 \times 64.6 + 1.8 \times 13.6 = 127.9 \text{ kN}$$

$$x_{\max} = \frac{127.9}{51.93} = 2.46 \text{ m} \Rightarrow M_{u,\max} = 127.9 \times 2.46 - \frac{51.93 \times 2.46^2}{2} = 157.5 \text{ kNm}$$

### 3.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = 2x_{\max} = 2 \times 2.46 = 4.92 \text{ m} \Rightarrow B = 25 + 492/12 = 66 \text{ cm}$$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{157.5 \times 10^2}{66 \times 2.05}}} = 4.080 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.357 / 10\text{‰} \\ s = 0.120 \Rightarrow x = 0.120 \times 44 = 5.26 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \mu = 6.276\% \end{cases}$$

$$A_a = 6.276 \times \frac{66 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 9.35 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } 5R\emptyset 16 \text{ (10.05 cm}^2\text{)}$$

### 3.2.2 Kontrola glavnih napona zatezanja (presek uz oslonac A)

$$T_u^A = 127.9 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^A = \frac{127.9}{25 \times 0.9 \times 44} = 0.129 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_r$$

$$\lambda = 246 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.129}\right) = 36.6 \text{ cm} ; \quad \tau_{Ru}^A = \frac{3}{2} \times (0.129 - 0.11) = 0.029 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Rastojanje uzengija će biti sračunato iz uslova  $\mu_{uz} \geq 0.2\%$ :

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 20.1 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno: } UR\emptyset 8/20 \text{ (m=2)}$$

### 3.3 PRESEK U SREDNJEM POLJU

Merodavni položaj povremenog opterećenja koji daje maksimalni moment u srednjem polju i minimalnu silu u stubu 1A prikazan je na skici.

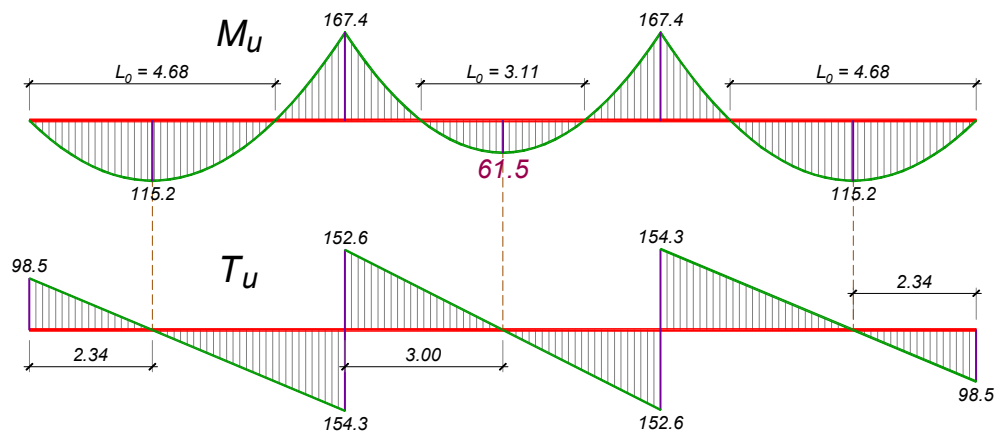
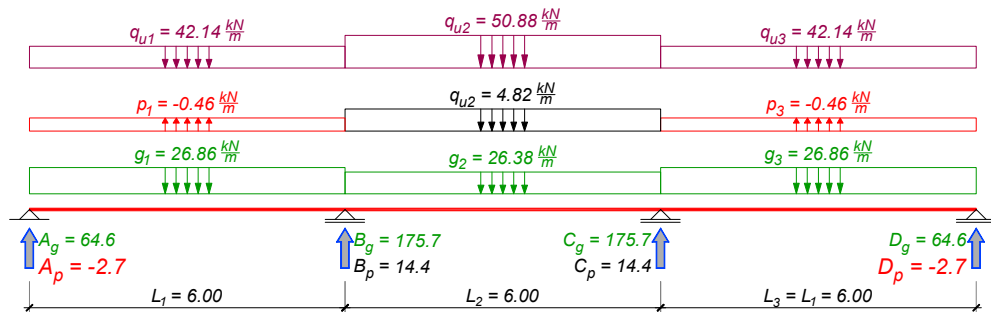
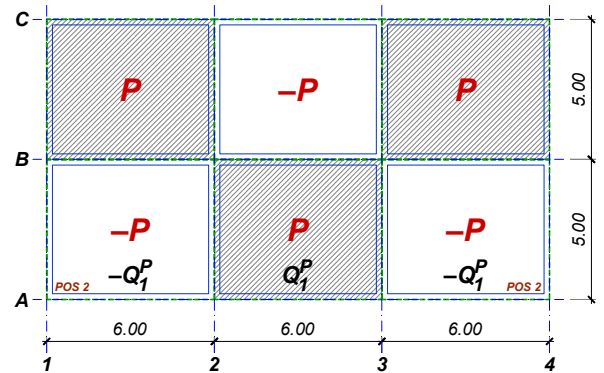
$$Q_1^P = \pm 0.272 \times 60 = \pm 16.3 \text{ kN}$$

$$p_1 = \frac{Q_{2,sim}^A}{L_y} - \frac{Q_{1,ant}^P}{L_y} = 2.26 - \frac{16.3}{6.0} = -0.46 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = p_3$$

$$p_2 = \frac{Q_{2,sim}^B}{L_y} - \frac{Q_{1,ant}^P}{L_y} = 2.10 + \frac{16.3}{6.0} = 4.82 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{1p} = - \left( \frac{-0.46}{15} + \frac{4.82}{20} - \frac{-0.46}{60} \right) \times 6.0^2 = -7.8 \text{ kNm} = M_{2p}$$

$$A_{p,min} = \frac{-0.46 \times 6.0}{2} - \frac{7.8}{6.0} = -2.7 \text{ kN}$$



$$q_{u1} = 1.6 \times 26.86 + 1.8 \times (-0.46) = 42.14 \text{ kN/m} = q_{u3}$$

$$q_{u2} = 1.6 \times 26.38 + 1.8 \times 4.82 = 50.88 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = - \left( \frac{42.14}{15} + \frac{50.88}{20} - \frac{42.14}{60} \right) \times 6.0^2 = -167.4 \text{ kNm} = M_{2u}$$

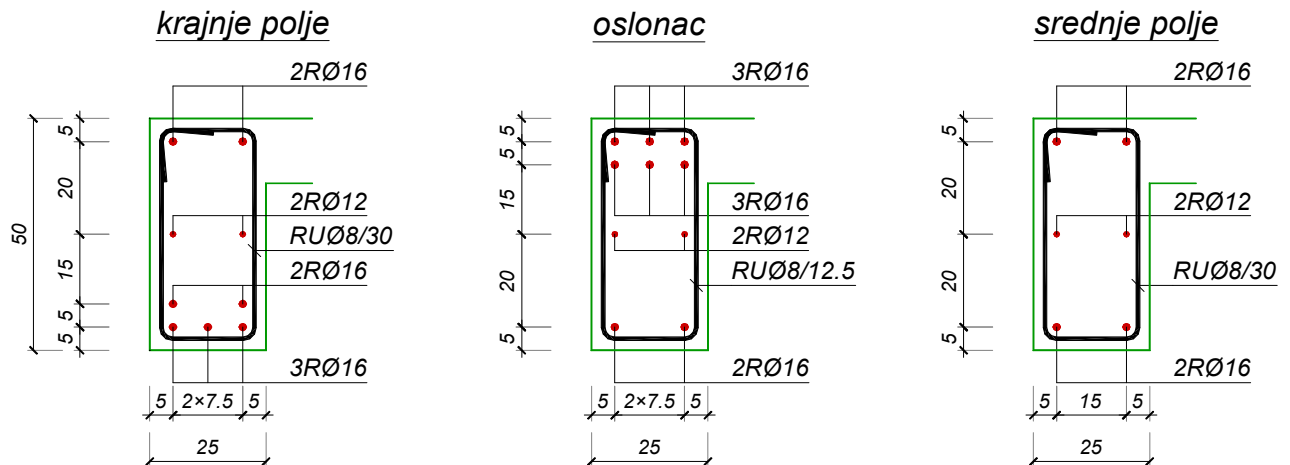
$$M_{u,max} = \frac{50.88 \times 6.0^2}{8} - 167.4 = 61.5 \text{ kNm}$$

#### 3.3.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = \sqrt{\frac{8 \times 61.5}{50.88}} = 3.11 \text{ m} \Rightarrow B = 25 + 311/12 = 51 \text{ cm}$$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{61.5 \times 10^2}{51 \times 2.05}}} = 5.862 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 0.873 / 10\% \\ s = 0.08 \Rightarrow x = 0.08 \times 45 = 3.6 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \mu = 2.994\% \end{cases}$$

$$A_a = 2.994 \times \frac{51 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 3.52 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } 2R\emptyset 16 \text{ (4.02 cm}^2\text{)}$$



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.

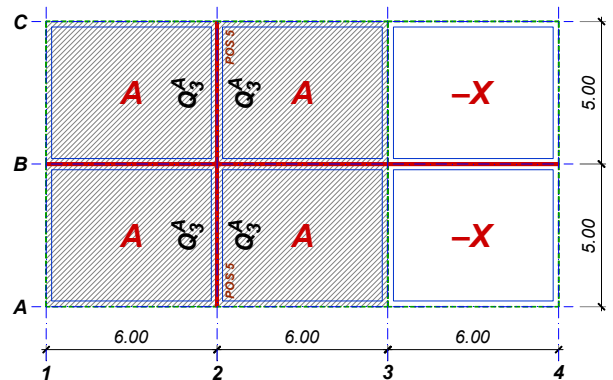
## 4 PRORAČUN GREDE POS 5

### 4.1 PRESEK NAD SREDNJIM OSLONCEM

Maksimalni moment nad srednjim osloncem grede (osa B) se javlja kada se priležuća polja optereće maksimalnim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalne transverzalne sile levo i desno od predmetnog oslonca i maksimalna sila u odgovarajućem stubu (2B).

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 \text{ kN}$$

$$Q_3^A = \pm 0.257 \times 60 = \pm 15.4 \text{ kN}$$



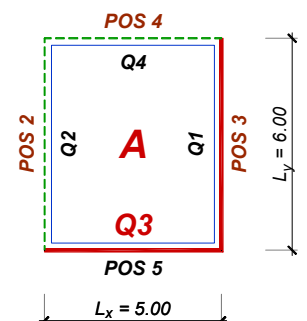
Ukupno (simetrično i antisimetrično) povremeno opterećenje po pojedinim poljima grede POS 5 je:

$$p_1 = \frac{Q_{3,sim}^A}{L_x} + \frac{Q_{3,sim}^B}{L_x} + 2 \times \frac{Q_{3,ant}^A}{L_x} = p_2$$

$$p_1 = 3.08 + 2.94 + 2 \times \frac{15.4}{5.0} = 12.19 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = p_2$$

$$M_{1p} = -\frac{12.19}{8} \times 5.0^2 = -38.1 \text{ kNm}$$

$$B_{p,max} = \frac{5}{4} \times 12.19 \times 5.0 = 76.2 \text{ kN}$$





Reakcije oslonaca usled stalnog opterećenja su sračunate u primeru P3. Sledi:

$$q_u = 1.6 \times 23.07 + 1.8 \times 12.19 = 58.86 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = -\frac{58.86 \times 5.0^2}{8} = -183.9 \text{ kNm}$$

$$T_u^{B,I} = \frac{5 \times 58.86 \times 5.0}{8} = 183.9 \text{ kN} = T_u^{B,d}$$

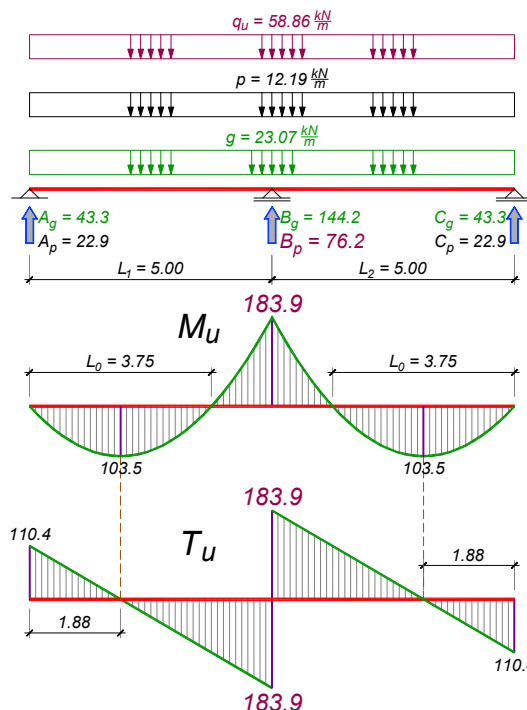
#### 4.1.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

pretp.  $a_1 = 6 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 40/50/44 \text{ cm}$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{183.9 \times 10^2}{40 \times 2.05}}} = 2.938 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.181 / 10\text{‰} \\ \mu = 12.435\% \end{cases}$$

$$A_a = 12.435 \times \frac{40 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 11.22 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6RØ16** (12.06 cm<sup>2</sup>)



#### 4.1.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja (srednji oslonac)

$$\tau_n^{B,I} = \frac{183.9}{40 \times 0.9 \times 44} = 0.116 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \approx \tau_r ; \lambda = \frac{5}{8} \times 500 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.116}\right) = 16.5 \text{ cm}$$

Rastojanje uzengija će biti sračunato iz uslova  $\mu_{uz} \geq 0.2\%$ :

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{40 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 12.6 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno: } \mathbf{URØ8/12.5} \text{ (m=2)}$$

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

## 4.2 PRESECI U POLJIMA

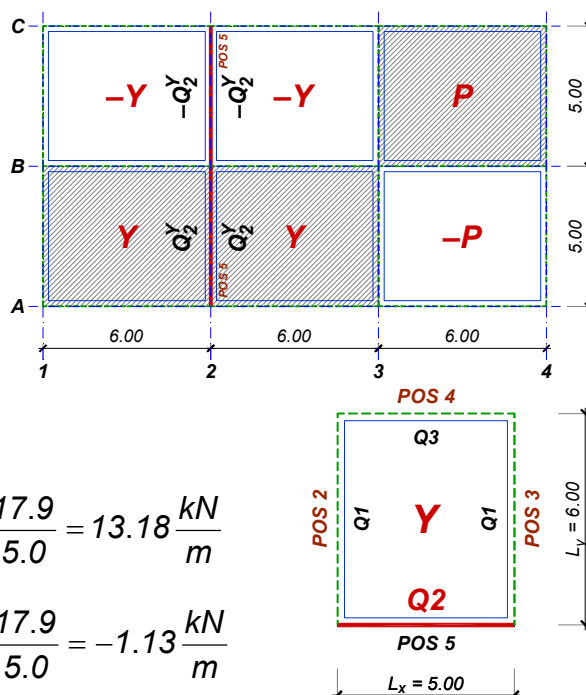
Maksimalni momenti se javljaju kada se jedno polje optereti maksimalno, a drugo polje minimalno mogućim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalna transverzalna sila na krajnjem osloncu i maksimalna sila u stubu (2A). Potrebno je oščenjena polja opteretiti opterećenjem  $p/2$  a neoščenjena (neopterećena) opterećenjem  $-p/2$ .

$$Q_2^Y = \pm 0.298 \times 60 = \pm 17.9 \text{ kN}$$

Ukupno povremeno opterećenje po pojedinim poljima POS 5 je:

$$p_1 = \frac{Q_{3,sim}^A}{L_x} + \frac{Q_{3,sim}^B}{L_x} + 2 \times \frac{Q_{2,ant}^Y}{L_x} = 3.08 + 2.94 + 2 \times \frac{17.9}{5.0} = 13.18 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 = \frac{Q_{3,sim}^A}{L_x} + \frac{Q_{3,sim}^B}{L_x} - 2 \times \frac{Q_{2,ant}^Y}{L_x} = 3.08 + 2.94 - 2 \times \frac{17.9}{5.0} = -1.13 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$M_{1p} = -\frac{13.18 + (-1.13)}{2} \times \frac{5.0^2}{8} = -18.8 \text{ kNm}$$

$$A_{p,\max} = \frac{7 \times 13.18 - (-1.13)}{16} \times 5.0 = 29.2 \text{ kN}$$

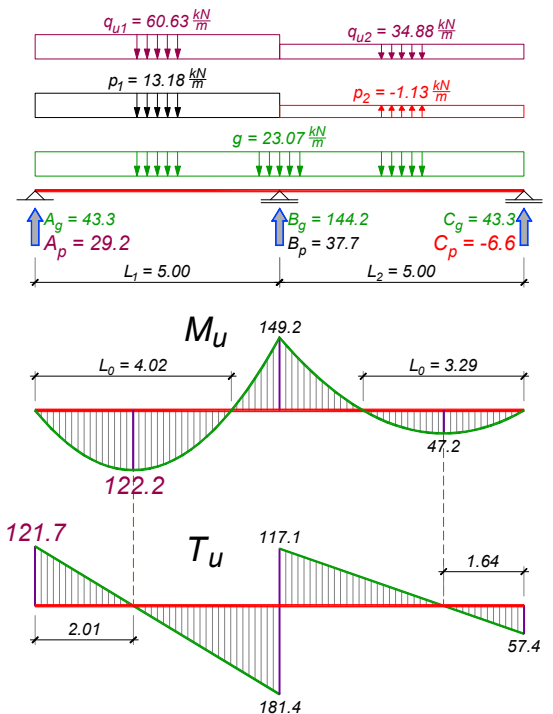
$$C_{p,\min} = \frac{7 \times (-1.13) - 13.18}{16} \times 5.0 = -6.6 \text{ kN}$$

$$q_{u1} = 1.6 \times 23.07 + 1.8 \times 13.18 = 60.63 \text{ kN/m}$$

$$T_{u,\max}^A = 1.6 \times 43.3 + 1.8 \times 29.2 = 121.7 \text{ kN}$$

$$x_{\max} = \frac{121.7}{60.63} = 2.01 \text{ m}$$

$$M_{u,\max} = \frac{121.7^2}{2 \times 60.63} = 122.2 \text{ kNm}$$



#### 4.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = 2x_{\max} = 2 \times 2.01 = 4.02 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad B = 40 + 0.25 \times 402 = 140 \text{ cm}$$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{122.2 \times 10^2}{140 \times 2.05}}} = 6.906 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 0.724 / 10\text{‰} \\ s = 0.067 \Rightarrow x = 0.067 \times 45 = 3.04 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \mu = 2.147\% \end{cases}$$

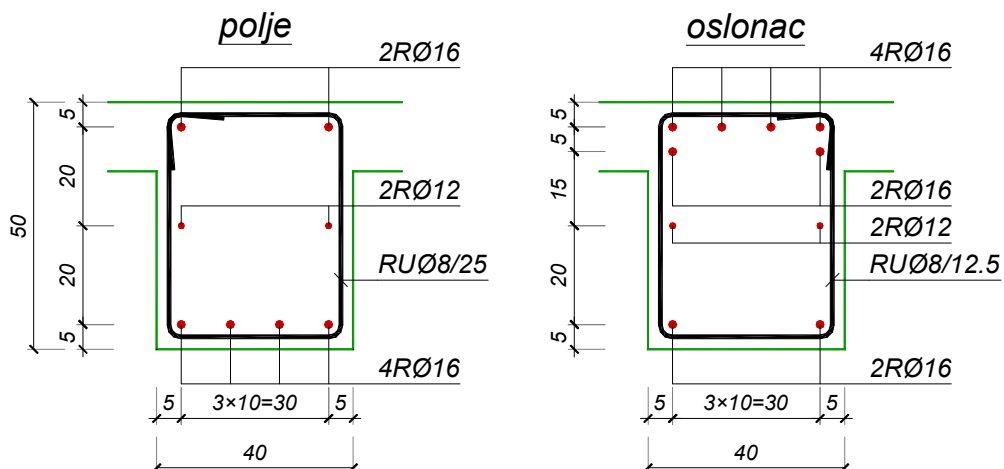
$$A_a = 2.147 \times \frac{140 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 6.95 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{usv.: } \mathbf{4R\text{Ø}16} \quad (8.04 \text{ cm}^2)$$

#### 4.2.2 Kontrola glavnih napona zatezanja (presek uz oslonac A)

$$T_u^A = 121.7 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^A = \frac{121.7}{40 \times 0.9 \times 44} = 0.077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_r$$

Nije potrebna proračunska armatura za prihvatanje glavnih napona zatezanja.

usvojeno: **URØ8/25 (12.5) (m=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.

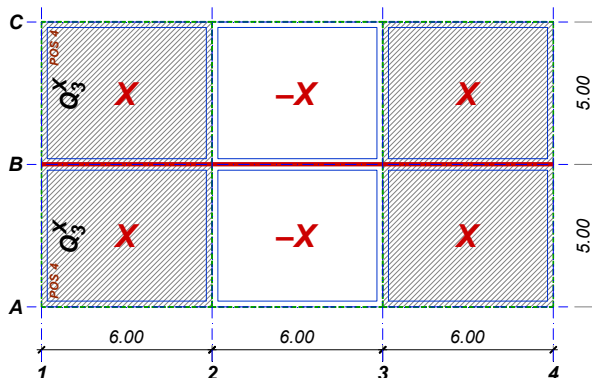
## 5 PRORAČUN GREDE POS 4

### 5.1 PRESEK NAD SREDNJIM OSLONCEM

Maksimalni moment nad srednjim osloncem grede (osa B) se javlja kada se priležuća polja optereće maksimalnim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalne transverzalne sile levo i desno od predmetnog oslonca i maksimalna sila u odgovarajućem stubu (1B).

$$\pm \frac{P}{2} = \pm \frac{4.0}{2} \times 5.0 \times 6.0 = \pm 60 \text{ kN}$$

$$Q_3^X = \pm 0.196 \times 60 = \pm 11.8 \text{ kN}$$

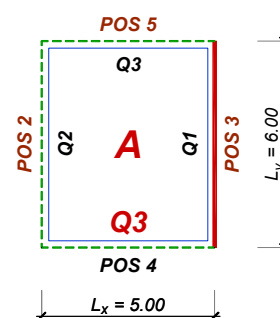


Ukupno (simetrično i antisimetrično) povremeno opterećenje po poljima grede POS 4 je:

$$p_1 = \frac{Q_{3,sim}^A}{L_x} + \frac{Q_{3,ant}^X}{L_x} = 2.23 + \frac{11.8}{5.0} = 4.58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = p_2$$

$$M_{1p} = -\frac{4.58}{8} \times 5.0^2 = -14.3 \text{ kNm}$$

$$B_{p,max} = \frac{5}{4} \times 4.58 \times 5.0 = 28.7 \text{ kN}$$

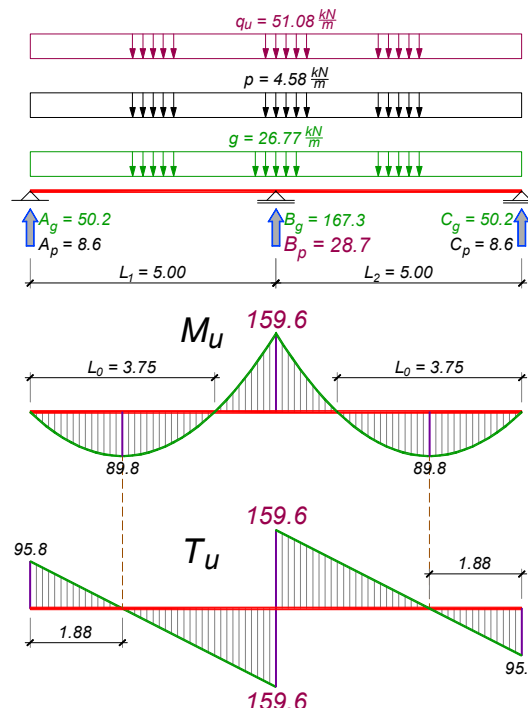


Reakcije oslonaca usled stalnog opterećenja su sračunate u primeru P3. Sledi:

$$q_u = 1.6 \times 26.77 + 1.8 \times 4.58 = 51.08 \text{ kN/m}$$

$$M_{1u} = -\frac{51.08 \times 5.0^2}{8} = -159.6 \text{ kNm}$$

$$T_u^{B,l} = \frac{5 \times 51.08 \times 5.0}{8} = 159.6 \text{ kN} = T_u^{B,d}$$



#### 5.1.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

pretp.  $a_1 = 6 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 40/50/44 \text{ cm}$

$$k = \frac{44}{\sqrt{\frac{159.6 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.493 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.965 / 10\% \\ \mu = 17.727\% \end{cases}$$

$$A_a = 17.727 \times \frac{25 \times 44}{100} \times \frac{2.05}{40} = 9.99 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **5RØ16** (10.05 cm<sup>2</sup>)

#### 5.1.2 Osiguranje od glavnih napona zatezanja (srednji oslonac)

$$\tau_n^{B,l} = \frac{159.6}{25 \times 0.9 \times 44} = 0.161 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_r ; \lambda = \frac{5}{8} \times 500 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.161}\right) = 99.3 \text{ cm}$$

$$\tau_{Ru}^{B,l} = \frac{3}{2} \times (0.161 - 0.11) = 0.077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Rastojanje uzengija će biti sračunato iz uslova  $\mu_{uz} \geq 0.2\%$ :

$$e_u \leq \frac{2 \times 0.503}{25 \times 0.2 \times 10^{-2}} = 20.1 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad \text{usvojeno:} \quad \mathbf{UR\text{Ø}8/20} \quad (m=2)$$

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

## 5.2 PRESECI U POLJIMA

Maksimalni momenti se javljaju kada se jedno polje optereti maksimalno, a drugo polje minimalno mogućim opterećenjem. Istovremeno se javljaju i maksimalna transverzalna sila na krajnjem osloncu i maksimalna sila u stubu (2A). Potrebno je osenčena polja opteretiti opterećenjem  $p/2$  a neosenčena (neopterećena) opterećenjem  $-p/2$ .

$$Q_2^P = \pm 0.228 \times 60 = \pm 13.7 \text{ kN}$$

Ukupno povremeno opterećenje po pojedinim poljima POS 4 je:

$$p_1 = \frac{Q_{4,sim}^A}{L_x} + \frac{Q_{2,ant}^P}{L_x} = 2.23 + \frac{13.7}{5.0} = 4.97 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$p_2 = \frac{Q_{4,sim}^A}{L_x} - \frac{Q_{2,ant}^P}{L_x} = 2.23 - \frac{13.7}{5.0} = -0.50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{1p} = -\frac{4.97 + (-0.50)}{2} \times \frac{5.0^2}{8} = -7.0 \text{ kNm}$$

$$A_{p,max} = \frac{7 \times 4.97 - (-0.50)}{16} \times 5.0 = 11.0 \text{ kN}$$

$$C_{p,min} = \frac{7 \times (-0.50) - 4.97}{16} \times 5.0 = -2.7 \text{ kN}$$

$$q_{u1} = 1.6 \times 26.77 + 1.8 \times 4.97 = 51.78 \text{ kN/m}$$

$$T_{u,max}^A = 1.6 \times 50.2 + 1.8 \times 11.0 = 100.2 \text{ kN}$$

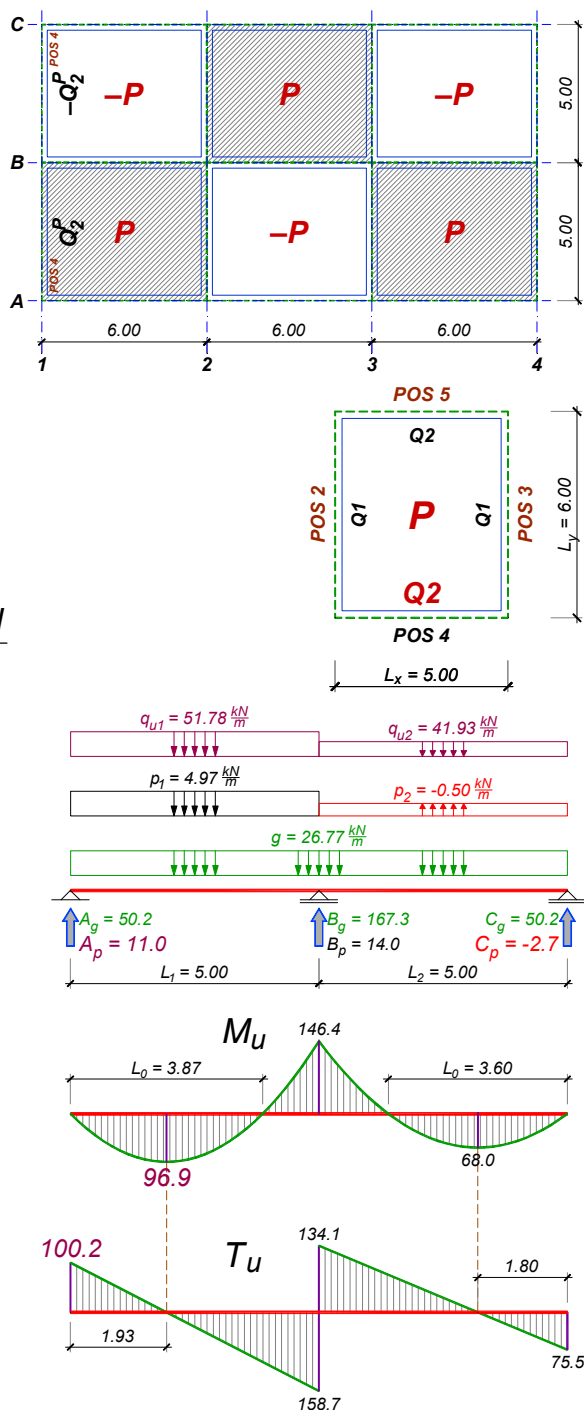
$$x_{max} = \frac{100.2}{51.78} = 1.93 \text{ m}$$

$$M_{u,max} = \frac{100.2^2}{2 \times 51.78} = 96.9 \text{ kNm}$$

### 5.2.1 Dimenzionisanje prema momentu savijanja

$$L_0 = 2x_{max} = 2 \times 1.93 = 3.87 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad B = 25 + 387/12 = 57 \text{ cm}$$

$$k = \frac{45}{\sqrt{\frac{96.9 \times 10^2}{57 \times 2.05}}} = 4.953 \quad \Rightarrow \quad \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.066 / 10\% \\ s = 0.096 \Rightarrow x = 0.096 \times 45 = 4.33 \text{ cm} < d_p = 14 \text{ cm} \\ \bar{\mu} = 4.220\% \end{cases}$$



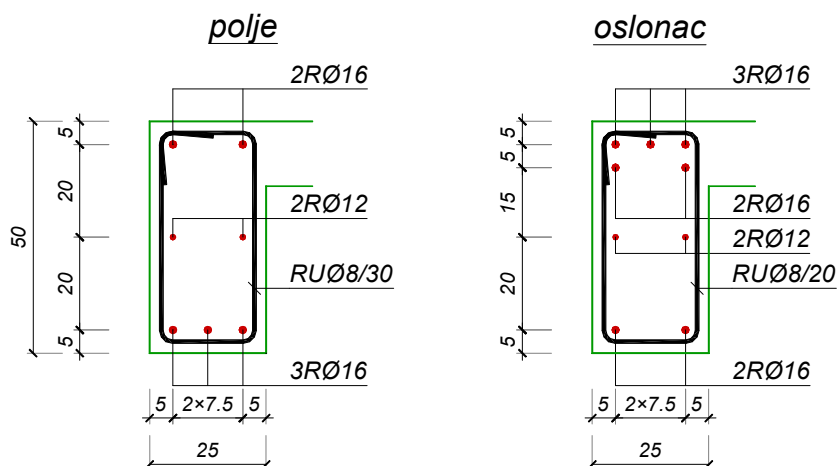
$$A_a = 4.220 \times \frac{57 \times 45}{100} \times \frac{2.05}{40} = 5.57 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usv.: } 3R\emptyset 16 \text{ (6.03 cm}^2\text{)}$$

### 5.2.2 Kontrola glavnih napona zatezanja (presek uz oslonac A)

$$T_u^A = 100.2 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^A = \frac{100.2}{25 \times 0.9 \times 45} = 0.101 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \tau_r$$

Nije potrebna proračunska armatura za prihvatanje glavnih napona zatezanja.

usvojeno: **UR $\emptyset$ 8/30 (20)** ( $m=2$ )



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.