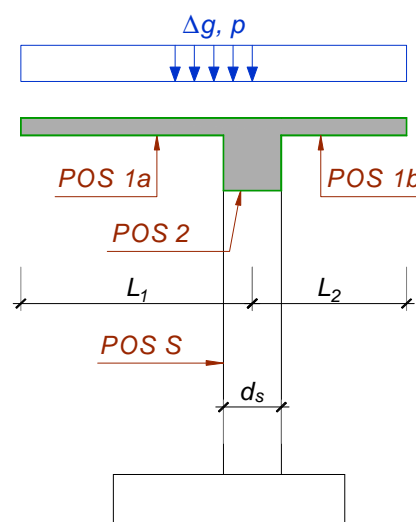


**P6.** Za neko srednje polje konstrukcije prikazane na skici desno (osovinski razmak stubova  $\lambda=6.0$  m) potrebno je:

1. dimenzionisati POS 1a, POS 1b (ploče su iste debljine  $d_p = 20$  cm);
2. dimenzionisati gredu POS 2 u karakterističnim preseccima. Dimenzije grede odrediti tako da napon smicanja usled dejstva momenta torzije bude maksimalno  $4\tau_r$ ;
3. dimenzionisati stub POS S prema merodavnim uticajima. Usvojiti da je visina stuba  $d_s$  jednaka širini grede POS 2, dok je širina stuba  $b_s = 25$  cm.



Pored sopstvene težine svih elemenata, konstrukcija je opterećena dodatnim stalnim opterećenjem  $\Delta g = 2 \text{ kN/m}^2$  i povremenim opterećenjem  $p = 5 \text{ kN/m}^2$ , koja deluju na ploču POS 1a, POS 1b. Povremeno opterećenje  $p$  ne mora istovremeno delovati na POS 1a, POS 1b. Usvojeni kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500.

Nacrtati sve usvojene poprečne preseke sa svim neophodnim kotama i oznakama. Prikazati šemu armiranja ploče i grede u osnovi, odnosno podužnom preseku.

## 1 PRORAČUN PLOČE POS 1

### 1.1 ANALIZA OPTEREĆENJA ZA POS 1A, POS 1B

#### stalno opterećenje

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

#### povremeno opterećenje

ukupno, povremeno opterećenje	$p$	$= 5.0 \text{ kN/m}^2$
-------------------------------	-----	------------------------

### 1.2 DIMENZIONISANJE POS 1A

$$M_g = 7.0 \times 3.0^2 / 2 = 31.5 \text{ kNm/m} ; \quad M_p = 5.0 \times 3.0^2 / 2 = 22.5 \text{ kNm/m}$$

$$T_g = 7.0 \times 3.0 = 21.0 \text{ kN/m} ; \quad T_p = 5.0 \times 3.0 = 15.0 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 1.6 \times 31.5 + 1.8 \times 22.5 = 90.9 \text{ kNm/m}$$

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_B = 20.5 \text{ MPa} = 2.05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{RA 400/500} \Rightarrow \sigma_v = 400 \text{ MPa} = 40.0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{pretp. } a_1 = 3 \text{ cm} \Rightarrow h = 20 - 3 = 17 \text{ cm} ; b = 100 \text{ cm} = 1.0 \text{ m}$$

$$k = \frac{17}{\sqrt{\frac{90.9}{2.05}}} = 2.553 \Rightarrow \epsilon_b / \epsilon_a = 2.825 / 10\text{‰} ; \bar{\mu} = 16.826\%$$

$$A_{a, \text{potr.}} = 16.826 \times 17 \times \frac{2.05}{40} = 14.66 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{R\text{Ø}14/10} \quad (15.40 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$A_{ap} = 0.2 \times 14.66 = 2.93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{pretp. } \emptyset 10 (a_a^{(1)} = 0.785 \text{ cm}^2) \Rightarrow e_{ap} = \frac{100 \times a_a^{(1)}}{A_{ap, \text{potr.}}} = \frac{100 \times 0.785}{2.93} = 26.8 \text{ cm}$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 10/25} \text{ (3.14 cm}^2/\text{m)}$$

### 1.3 DIMENZIONISANJE POS 1B

$$M_g = 7.0 \times 2.0^2 / 2 = 14.0 \text{ kNm/m} ; M_p = 5.0 \times 2.0^2 / 2 = 10.0 \text{ kNm/m}$$

$$T_g = 7.0 \times 2.0 = 14.0 \text{ kN/m} ; T_p = 5.0 \times 2.0 = 10.0 \text{ kN/m}$$

$$M_u = 1.6 \times 14.0 + 1.8 \times 10.0 = 40.4 \text{ kNm/m}$$

$$k = \frac{17}{\sqrt{\frac{40.4}{2.05}}} = 3.829 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.475/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.151\%$$

$$A_{a, \text{potr.}} = 7.151 \times 17 \times \frac{2.05}{40} = 6.23 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 14/20} \text{ (7.70 cm}^2/\text{m)}$$

$$A_{ap} = 0.2 \times 6.23 = 1.25 \text{ cm}^2/\text{m} < A_{ap, \text{min}} = 0.085 \times 20 = 1.70 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{R\emptyset 8/25} \text{ (2.01 cm}^2/\text{m)}$$

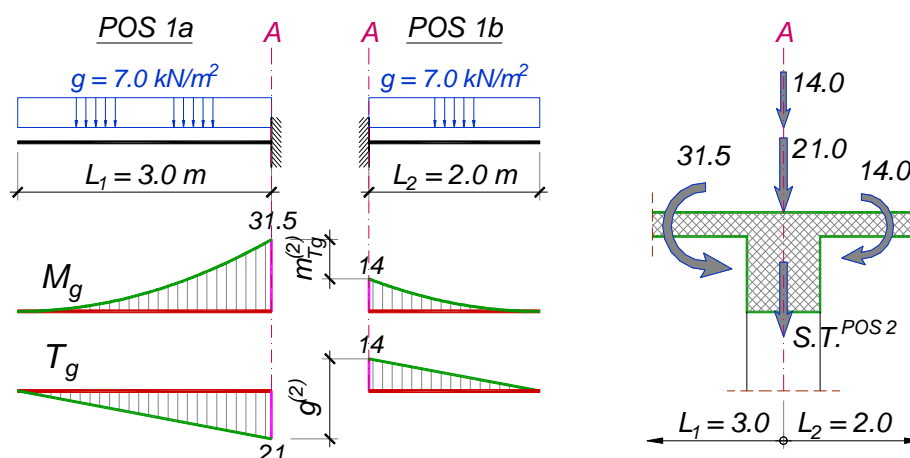
## 2 PRORAČUN GREDE POS 2

Greda je statičkog sistema kontinualnog nosača preko više oslonaca. Kada broj polja nije preciziran, nego se koristi termin »*neko srednje polje*«, podrazumeva se da je broj oslonaca veći od pet, pa se za statički sistem srednjeg polja usvaja obostrano uklještena greda ("K" štap), raspona jednakog razmaku stubova, tj.  $\lambda = 6.0 \text{ m}$ .

Greda je, pored sopstvene težine, opterećena i stalnim i povremenim opterećenjem od ploče POS 1a, 1b. Dimenzije grede će biti određene iz zadatog uslova koji se odnosi na naprezanje momentima torzije. Opterećenje sa ploče je prikazano na narednim šemama.

### 2.1 STALNO OPTEREĆENJE SA POS 1A, POS 1B

- raspodeljeni moment torzije koji deluje na gredu POS 2 je RAZLIKA momenata savijanja na pločama POS 1a i POS 1b:



$$m_{Tg}^{(2)} = M_g^{(1a)} - M_g^{(1b)} = 31.5 - 14 = 17.5 \text{ kNm/m}$$

- raspodeljeno opterećenje koje deluje na gredu POS 2 je RAZLIKA transverzalnih sila na pločama POS 1a i POS 1b:

$$g^{(2)} = T_g^{(1b)} - T_g^{(1a)} = 14 - (-21) = 35.0 \text{ kN/m}$$

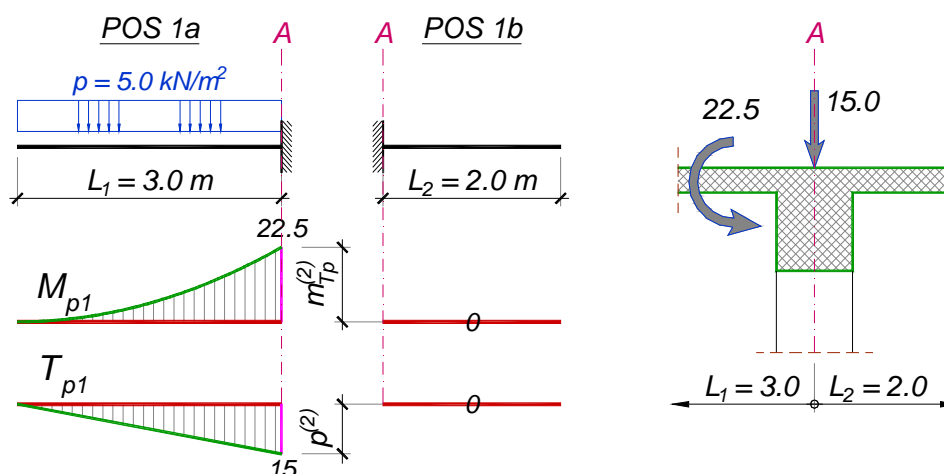
## 2.2 POVREMENO OPTEREĆENJE SA POS 1A, ODNOSNO POS 1B

Kako povremeno opterećenje ne mora delovati istovremeno na oba dela ploče, i analiza opterećenja za POS 2 se sprovodi posebno, za dva moguća slučaja:

### 2.2.1 Povremeno opterećenje sa POS 1a

$$m_{Tp1}^{(2)} = M_p^{(1a)} - M_p^{(1b)} = 22.5 - 0 = 22.5 \text{ kNm/m}$$

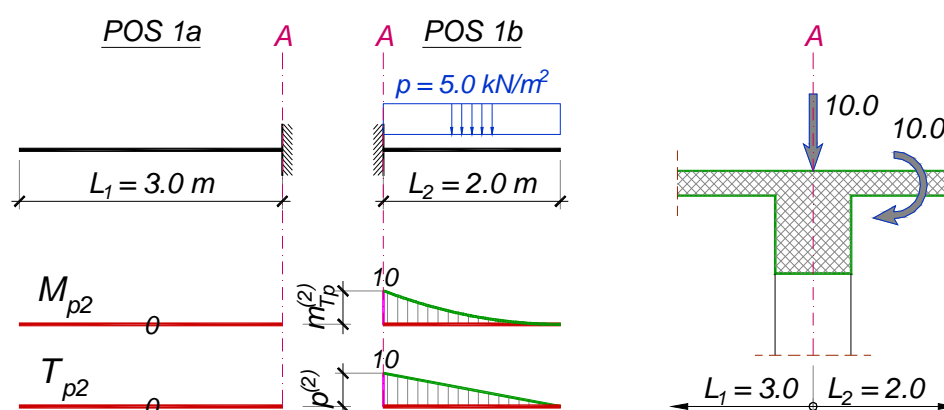
$$p_1^{(2)} = T_p^{(1b)} - T_p^{(1a)} = 0 - (-15.0) = 15.0 \text{ kN/m}$$



### 2.2.2 Povremeno opterećenje sa POS 1b

$$m_{Tp2}^{(2)} = M_p^{(1a)} - M_p^{(1b)} = 0 - 10 = -10.0 \text{ kNm/m}$$

$$p_2^{(2)} = T_p^{(1b)} - T_p^{(1a)} = 10 - 0 = 10.0 \text{ kN/m}$$

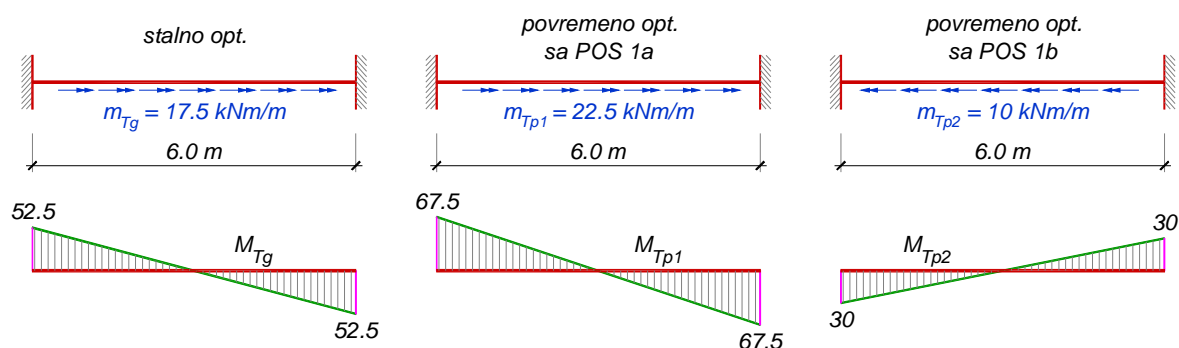


## 2.3 ODREĐIVANJE DIMENZIJA POS 2

Kao što je redovno slučaj kod elemenata koji su napregnuti, između ostalog, i momentima torzije, dimenzije poprečnog preseka grede POS 2 se određuju uslova da maksimalni nominalni napon smicanja  $\tau_n$  ne prekorači dopuštenu vrednost  $5\tau_r$ . Pritom se ostavlja »rezerva« za napon usled dejstva transverzalne sile, pa je ovde usvojeno:

$$\tau_{n(M_T)} = 4\tau_r = 0.44 \text{ kN/cm}^2$$

Dijagrami momenata torzije usled stalnog opterećenja, odnosno povremenog opterećenja koje deluje na POS 1a i POS 1b su prikazani na narednoj skici.



Očigledno je da se maksimalni moment torzije u gredi POS 2 javlja pri dejstvu stalnog opterećenja i povremenog opterećenja koje deluje samo na POS 1a. Sledi:

$$_{\max} M_{Tu} = 1.6 \times 52.5 + 1.8 \times 67.5 = 205.5 \text{ kNm}$$

$$\tau_n^{M_T} = \frac{M_{Tu}}{2 \times A_{b0} \times \delta_0} = 0.44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 4\tau_r$$

$$A_{b0} = b_0 \times d_0 = (b - 2a) \times (d - 2a) \quad ; \quad \delta_0 = \frac{d_m}{8} = \frac{\min(b_0, d_0)}{8} = \frac{\min(b - 2a, d - 2a)}{8}$$

Treba podsetiti da veličina **a** predstavlja rastojanje težišta podužne torzione armature u odnosu na najbližu ivicu preseka. S obzirom na očekivani prečnik uzengija ( $\varnothing 10$ ,  $\varnothing 12$ ) i podužne armature (retko preko  $\varnothing 14$ ), kao i minimalnu debljinu zaštitnog sloja od 2.5 cm (umereno agresivna sredina), očekivana vrednost veličine **a** je 4.0 do 4.5 cm.

pretpostavljeno:  $a = 4.5 \text{ cm}$ ,  $b \leq d$ :

$$A_{b0} = (b - 2 \times 4.5) \times (d - 2 \times 4.5) = (b - 9) \times (d - 9)$$

$$\delta_0 = \frac{b - 9}{8} \Rightarrow \frac{205.5 \times 10^2}{2 \times (b - 9) \times (d - 9) \times \frac{b - 9}{8}} = 0.44$$

$$(b - 9)^2 \times (d - 9) = \frac{8 \times 205.5 \times 10^2}{2 \times 0.44} = 186818 \text{ cm}^3$$

Iz poslednjeg izraza, za različite pretpostavljene vrednosti **b**, sledi:

	<b>b</b>	<b>d</b>	usv. <b>d</b>
1	<b>50</b>	120.1	<b>125</b>
2	<b>55</b>	97.3	<b>100</b>
3	<b>60</b>	80.8	<b>85</b>
4	<b>65</b>	68.6	<b>70</b>

Od nekoliko predloženih, usvojen je presek dimenzija 60/85 cm. Valja приметiti da je u prethodnim izrazima korišćena oznaka **b** za MANJU dimenziju preseka, ali je nosivost u odnosu na moment torzije ista bilo da je presek »uspravan« ili »položen«, odnosno da ta dimenzija predstavlja njegovu visinu ili širinu. U ovom slučaju, usvojen je »položeni« poprečni presek, širine 85 i visine 60 cm. Uslovom zadatka je precizirano da dimenzija stuba bude jednaka širini grede, pa je, u cilju dobijanja veće krutosti stuba na savijanje i manjih deformacija konstrukcije u celini, usvojen ovakav poprečni presek.

Sada je moguće kompletirati analizu opterećenja, sračunati vrednosti statičkih uticaja i izvršiti odgovarajuća dimenzionisanja.

## 2.4 ANALIZA OPTEREĆENJA

### stalno opterećenje

- sopstvena težina	$0.85 \times 0.60 \times 25$	$= 12.8 \text{ kN/m}$
- od POS 1a, 1b		$= 35.0 \text{ kN/m}$
ukupno, stalno opterećenje:	$g$	$= 47.8 \text{ kN/m}$
raspodeljeni moment torzije	$m_{Tg}$	$= 17.5 \text{ kNm/m}$

### povremeno opterećenje sa POS 1a

raspodeljeno opterećenje	$p_1$	$= 15.0 \text{ kN/m}$
raspodeljeni moment torzije	$m_{Tp1}$	$= 22.5 \text{ kNm/m}$

### povremeno opterećenje sa POS 1b

raspodeljeno opterećenje	$p_2$	$= 10.0 \text{ kN/m}$
raspodeljeni moment torzije	$m_{Tp2}$	$= -10.0 \text{ kNm/m}$

## 2.5 DIJAGRAMI PRESEČNIH SILA

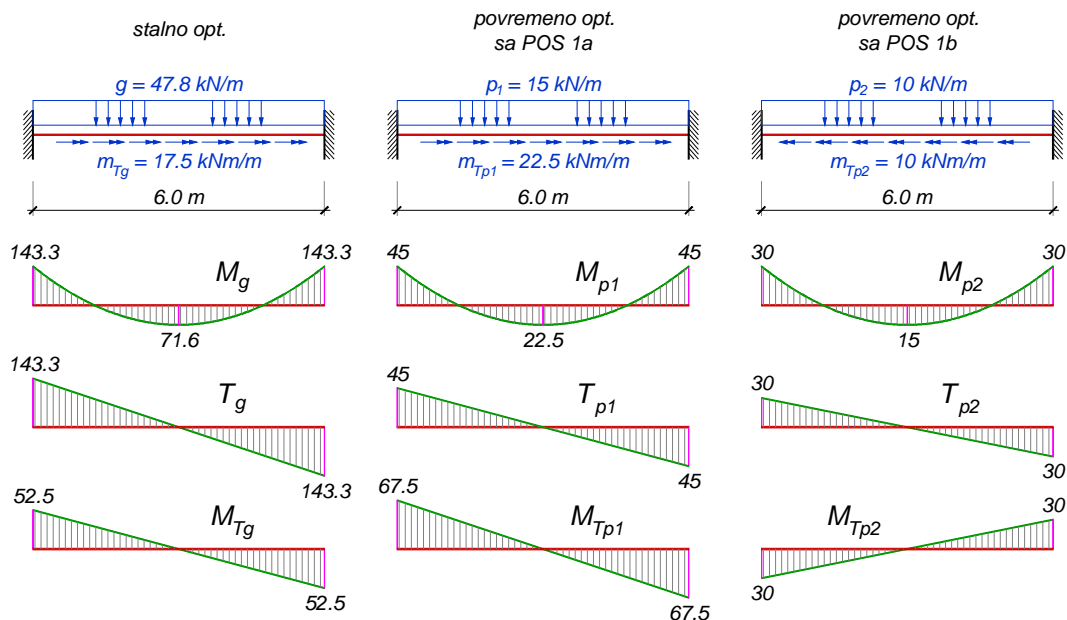
### stalno opterećenje

$$M_g^{osl} = 47.8 \times 6.0^2 / 12 = 143.3 \text{ kNm}$$

$$T_g = 47.8 \times 6.0 / 2 = 143.3 \text{ kN}$$

$$M_g^{polje} = 47.8 \times 6.0^2 / 24 = 71.6 \text{ kNm}$$

$$M_{Tg} = 17.5 \times 6.0 / 2 = 52.5 \text{ kNm}$$



### povremeno opterećenje na POS 1a

$$M_{p1}^{osl} = 15 \times 6.0^2 / 12 = 45 \text{ kNm}$$

$$T_{p1} = 15 \times 6.0 / 2 = 45 \text{ kN}$$

$$M_{p1}^{polje} = 15 \times 6.0^2 / 24 = 22.5 \text{ kNm}$$

$$M_{Tp1} = 22.5 \times 6.0 / 2 = 67.5 \text{ kNm}$$

### povremeno opterećenje na POS 1b

$$M_{p2}^{osl} = 10 \times 6.0^2 / 12 = 30 \text{ kNm}$$

$$T_{p2} = 10 \times 6.0 / 2 = 30 \text{ kN}$$

$$M_{p2}^{polje} = 10 \times 6.0^2 / 24 = 15 \text{ kNm}$$

$$M_{Tp2} = -10 \times 6.0 / 2 = -30 \text{ kNm}$$

## 2.6 DIMENZIONISANJE POS 2 PREMA MOMENTIMA SAVIJANJA

Maksimalni momenti savijanja se javljaju kada je poprečno opterećenje najveće, odnosno kada povremeno opterećenje deluje istovremeno na POS 1a i POS 1b.

### 2.6.1 Presek nad osloncem

$$M_u = 1.6 \times 143.3 + 1.8 \times (45 + 30) = 364.2 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_1 = 5 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

$$k = \frac{55}{\sqrt{\frac{364.2 \times 10^2}{85 \times 2.05}}} = 3.804 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.488/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.248\%$$

$$A_{a,\text{potr.}} = 7.248 \times \frac{85 \times 55}{100} \times \frac{2.05}{40} = 17.37 \text{ cm}^2$$

### 2.6.2 Presek u polju

$$M_u = 1.6 \times 71.6 + 1.8 \times (22.5 + 15) = 182.1 \text{ kNm}$$

Pritisnuta je gonja ivica preseka, pa je oblik pritisnute zone ili **T** ili pravougaoni, širine **B**:

$$B = \min. \left\{ \begin{array}{l} b + 20 \times d_p = 85 + 20 \times 20 = 485 \text{ cm} \\ b + 0.25 \times l_0 = 85 + 0.25 \times 0.6 \times 600 = 175 \text{ cm} \end{array} \right\} = 175 \text{ cm}$$

Pretpostavlja se da je neutralna linija u ploči. Sledi:

$$\text{pretp. } a_1 = 5 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

$$k = \frac{55}{\sqrt{\frac{182.1 \times 10^2}{175 \times 2.05}}} = 7.720 \Rightarrow \varepsilon_b/\varepsilon_a = 0.639/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 1.713\% ; s = 0.060$$

$$x = 0.060 \times 55 = 3.3 \text{ cm} < d_p = 20 \text{ cm}$$

$$A_{a,\text{potr.}} = 1.713 \times \frac{175 \times 55}{100} \times \frac{2.05}{40} = 8.45 \text{ cm}^2$$

$$A_{a,\text{min.}} = \mu_{\text{min.}} \times b \times d = \frac{0.2}{100} \times 85 \times 60 = 10.2 \text{ cm}^2 > A_{a,\text{potr.}}$$

## 2.7 OSIGURANJE OD GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA

Potrebno je razmotriti dve moguće kombinacije uticaja, od kojih jedna daje maksimalne momente torzije, a druga maksimalne transverzalne sile. Pri usvajanju poprečne armature treba voditi računa, u slučaju primene višesečnih uzengija, da sve uzengije u preseku prihvataju deo transverzalne sile (srazmerno njihovoj površini), dok samo spoljašnja uzengija prihvata uticaj momenta torzije.

### 2.7.1 Povremeno opterećenje samo na POS 1a

$$M_{Tu} = 1.6 \times 52.5 + 1.8 \times 67.5 = 205.5 \text{ kNm} = M_{Tu,\text{max.}}$$

$$T_u = 1.6 \times 143.3 + 1.8 \times 45 = 310.2 \text{ kN}$$

$$A_{b0} = (85 - 2 \times 4.5) \times (60 - 2 \times 4.5) = 76 \times 51 = 3876 \text{ cm}^2$$

$$O_{b0} = 2 \times (76 + 51) = 254 \text{ cm}$$

$$\delta_0 = \frac{51}{8} = 6.38 \text{ cm} \Rightarrow \tau_{n(M_T)} = \frac{205.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 6.38} = 0.416 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$z \approx 0.9 \times 55 = 49.5 \text{ cm} \Rightarrow \tau_{n(T)} = \frac{310.2}{85 \times 49.5} = 0.074 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_n = 0.416 + 0.074 = 0.49 \text{ kN/cm}^2 < 5 \tau_r = 0.55 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda = \frac{L}{2} \times \left( 1 - \frac{\tau_r}{\tau_n} \right) = \frac{600}{2} \times \left( 1 - \frac{0.11}{0.49} \right) = 233 \text{ cm}$$

Osiguranje se vrši vertikalnim uzengijama i horizontalnom armaturom. Potrebna površina uzengija se sračunava iz odgovarajućih redukovanih uticaja ( $M_{TRu}$ , odnosno  $\tau_{Ru}$ ), posebno za uticaj momenta torzije, odnosno transverzalne sile<sup>1</sup>.

$$\tau_n > 3 \tau_r = 0.33 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow T_{bu} = M_{Tbu} = 0$$

### 2.7.1.1 Potrebna armatura za prihvatanje transverzalne sile

Kako je procenat armiranja uzengijama potrebnim za osiguranje uticaja od transverzalne sile minimalno 0.2%, najpre će biti sračunat napon koji mogu prihvatiti ove uzengije:

$$\text{usvojeno: } \alpha = 90^\circ ; \theta = 45^\circ$$

$$\tau_{uu,min}^T = \frac{m \times a_{u,T}^{(1)}}{b \times e_u} \times \sigma_v \times (\cos \alpha + \sin \alpha \times \cot \theta) = \mu_{uz} \times \sigma_v = 0.2 \times 10^{-2} \times 40 = 0.08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{uu,min}^T > \tau_{Ru(T)} = \tau_{n(T)} = 0.074 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Radi lakšeg poređenja rezultata proračuna za dve potencijalno merodavne kombinacije uticaja, potrebna površina uzengija potrebnih za prihvatanje transverzalne sile biće sračunata za  $m=2$ , bez obzira što će, zbog širine poprečnog preseka, svakako biti usvojene višesečne uzengije:

$$a_{u,T}^{(1)} = \frac{b \times \tau_{Ru}^T}{m \times \sigma_v} \times \frac{1}{(\cos \alpha + \sin \alpha \times \cot \theta)} \times e_u = \frac{85 \times 0.080}{2 \times 40} \times \frac{1}{(0 + 1 \times 1)} \times e_u = 0.085 \times e_u$$

$$\Delta A_a = 0 \text{ ("špic" momenta)}$$

### 2.7.1.2 Potrebna armatura za prihvatanje torzije

$$a_{u,M_T}^{(1)} = \frac{M_{TRu}}{2 \times A_{b0} \times \sigma_v} \times \tan \theta \times e_u = \frac{205.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 40} \times 1.0 \times e_u = 0.066 \times e_u$$

$$\sum A_a = \frac{M_{Tu}}{2 \times A_{b0} \times \sigma_v} \times \cot \theta \times O_{b0} = \frac{205.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 40} \times 1.0 \times 254 = 16.83 \text{ cm}^2$$

## 2.7.2 Povremeno opterećenje istovremeno na POS 1a i POS 1b

$$T_u = 1.6 \times 143.3 + 1.8 \times (45 + 30) = 364.2 \text{ kN} = \max. T_u$$

$$M_{Tu} = 1.6 \times 52.5 + 1.8 \times (67.5 - 30) = 151.5 \text{ kNm}$$

<sup>1</sup> Obratiti pažnju da je nužno sračunati uzengije za prihvatanje transverzalnih sila, bez obzira što je  $\tau_{n,T} < \tau_r$ . Kriterijum da li je potrebno osiguranje je UKUPAN napon smicanja, a ne napon od pojedinačnog uticaja.

$$\tau_{n(T)} = \frac{364.2}{85 \times 49.5} = 0.087 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{n(M_T)} = \frac{151.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 6.38} = 0.307 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_n = 0.307 + 0.087 = 0.394 \text{ kN/cm}^2 < 5\tau_r = 0.55 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau_n > 3\tau_r = 0.33 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow T_{bu} = M_{Tbu} = 0$$

### 2.7.2.1 Potrebna armatura za prihvatanje transverzalne sile

$$a_{u,T}^{(1)} = \frac{85 \times 0.087}{2 \times 40} \times \frac{1}{(0 + 1 \times 1)} \times e_u = 0.092 \times e_u$$

$$\Delta A_a = 0 \text{ ("špic" momenta)}$$

### 2.7.2.2 Potrebna armatura za prihvatanje torzije

$$a_{u,M_T}^{(1)} = \frac{151.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 40} \times 1.0 \times e_u = 0.049 \times e_u$$

$$\sum A_a = \frac{151.5 \times 10^2}{2 \times 3876 \times 40} \times 1.0 \times 254 = 12.42 < 16.83 \text{ cm}^2$$

## 2.7.3 **Povremeno opterećenje samo na POS 1b**

Očigledno nije merodavna kombinacija, jer su i moment torzije i transverzalna sila manji nego u prethodnom slučaju.

## 2.8 **USVAJANJE ARMATURE GREDE POS 2**

### 2.8.1 **Usvajanje poprečne armature**

Upoređivanjem napred sračunatih potrebnih površina uzengija, može se zaključiti da je merodavan slučaj kada povremeno opterećenje deluje samo na POS 1a:

$$a_u^{(1)} = a_{u,T}^{(1)} + a_{u,M_T}^{(1)} = (0.085 + 0.066) \times e_u = 0.151 \times e_u \text{ (opterećenje } g + p_1)$$

$$a_u^{(1)} = a_{u,T}^{(1)} + a_{u,M_T}^{(1)} = (0.092 + 0.049) \times e_u = 0.141 \times e_u \text{ (opterećenje } g + p_1 + p_2)$$

Usvajajući ČETVOROSEČNE uzengije za prihvatanje transverzalne sile, sledi:

#### 2.8.1.1 Spoljašnja uzengija

$$a_u^{(1)} = \frac{a_{u,T}^{(1)}}{2} + a_{u,M_T}^{(1)} = \left( \frac{0.085}{2} + 0.066 \right) \times e_u = 0.109 \times e_u$$

$$U\emptyset 12 \text{ (} a_u^{(1)} = 1.13 \text{ cm}^2 \text{)} \Rightarrow e_u = 1.13 / 0.109 = 10.4 \text{ cm}$$

usvojeno: **UØ12/10**

#### 2.8.1.2 Unutrašnja uzengija

$$a_u^{(1)} = \frac{a_{u,T}^{(1)}}{2} = \frac{0.085}{2} \times e_u = 0.043 \times e_u$$

$$U\emptyset 12 \text{ (} a_u^{(1)} = 1.13 \text{ cm}^2 \text{)} \Rightarrow e_u = 1.13 / 0.043 = 26.6 \text{ cm}$$

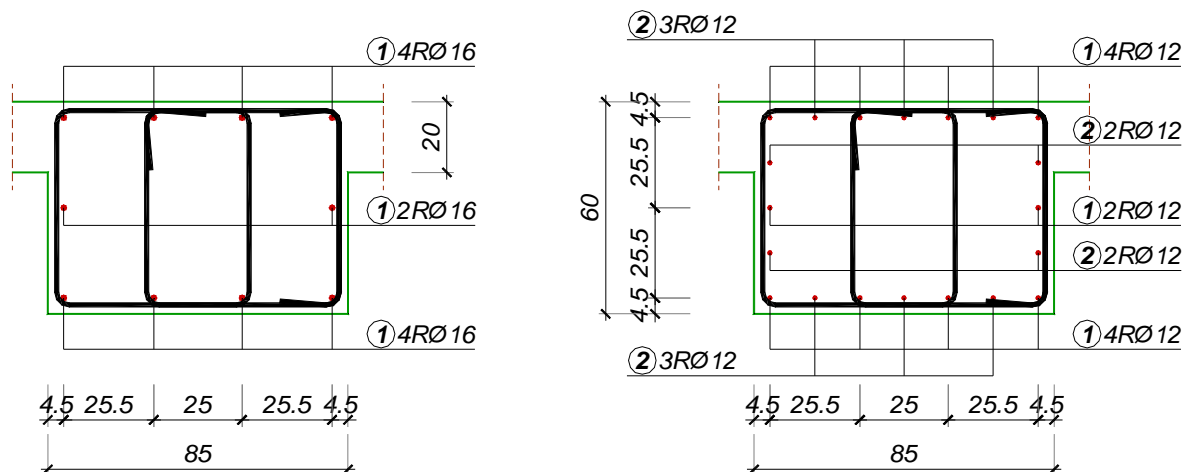
usvojeno: **UØ12/20**

## 2.8.2 Usvajanje podužne armature

U preseku nad osloncem se superponira sračunata podužna armatura za prihvatanje torzije sa armaturom za prihvatanje momenta savijanja u gornjoj zoni. U preseku u polju račun-ska armatura je samo ona u donjoj zoni, određena iz momenta savijanja. Računski potrebne uzengije (spoljašnja »torziona« i unutrašnja) su potrebne samo na sračunatoj dužini osiguranja. Četvorosečne uzengije u preseku u polju su usvojene zbog velike širine poprečnog preseka i ne moraju zadovoljiti odredbe propisa u pogledu minimalnog procenta armiranja ili maksimalnog rastojanja.

Širina poprečnog preseka i relativno mala potrebna površina armature za prihvatanje momenata savijanja dopuštaju da za trenutak njeno raspoređivanje ostavimo po strani.

Podužna armatura za prihvatanje momenta torzije ( $\Sigma A_{a, \text{potr.}} = 16.83 \text{ cm}^2$ , tačka 2.7.1.2) treba da bude raspoređena homogeno po čitavom obimu preseka, na približno jednakom rastojanju. Ova armatura je potrebna u zoni oslonaca i može se postepeno smanjivati ka preseku u polju, gde računski nije potrebna ( $M_T = 0$ ). S druge strane, rastojanje armature raspoređene po bočnim stranama greda ne sme da pređe 30 cm (član 180. PBAB), što se praktično odnosi na presek u polju gde je računski potrebna armatura raspoređena samo u donjoj zoni. Tako su dva moguća rasporeda podužnih šipki koje zadovoljavaju navedene zahteve prikazani na sledećoj skici:



U prvoj varijanti, skica levo, usvojen je osnovni »kostur« praktično ekvidistantnih šipki na gotovo maksimalnom ( $\leq 30 \text{ cm}$ ) rastojanju i na vertikalnim i na horizontalnim stranama. Šipki ukupno ima 10, pa je potrebna površina profila:

$$a_a^{(1)} \geq \frac{\Sigma A_{a, \text{potr.}}}{10} = \frac{16.83}{10} = 1.68 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno } \mathbf{10RØ16} (20.10 \text{ cm}^2)$$

U preseku u polju šest profila (gornja zona, bočne strane) predstavlja konstruktivnu armaturu a u donjoj zoni je potrebno dodati (tačka 2.6.2):

$$A_{a, \text{potr.}} - 4RØ16 = 10.20 - 8.04 = 2.16 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno } \mathbf{2RØ16} (4.02 \text{ cm}^2)$$

Što se tiče oslonačkog preseka, potrebno je u gornju zonu dodati potrebnu armaturu sračunatu u tački 2.6.1 ( $A_{a, \text{potr.}} = 17.37 \text{ cm}^2$ , usvojeno **5RØ22**), što se bez problema može rasporediti s obzirom na osovinsko rastojanje profila.

U drugoj varijanti, skica desno, na osnovni »kostur« šipki na maksimalnom rastojanju (šipke **1**) su dodate šipke **2** čija se dužina (i eventualno prečnik) prilagođava sračunatim uticajima. Šipki ukupno ima  $10+10 = 20$  pa je:

$$a_a^{(1)} \geq \frac{\Sigma A_{a, \text{potr.}}}{20} = \frac{16.83}{20} = 0.84 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno } \mathbf{20RØ12} (22.62 \text{ cm}^2)$$

Što se bočnih strana tiče, dužina umetnutih šipki **2** se određuje prema veličini momenta torzije. Kako površina podužne armature zavisi od neredukovanog momenta torzije  $M_{Tu}$ , ove šipke su računski potrebne na polovini dužine nosača, dok se moment torzije ne smanji na polovinu oslonačke vrednosti.

U donjoj zoni zasad usvojenih  $7R\emptyset 12$  ( $7.92 \text{ cm}^2$ ) nije dovoljno za prihvatanje momenta savijanja. Kako je osovinsko rastojanje šipki približno  $12.5 \text{ cm}$ , postavljanje dodatnih nije realna opcija, pa dodatne šipke (šipke **2** na skici) zapravo moraju biti većeg prečnika. Ukoliko se zadrži usvojeni prečnik šipki u uglovima uzengija, sledi:

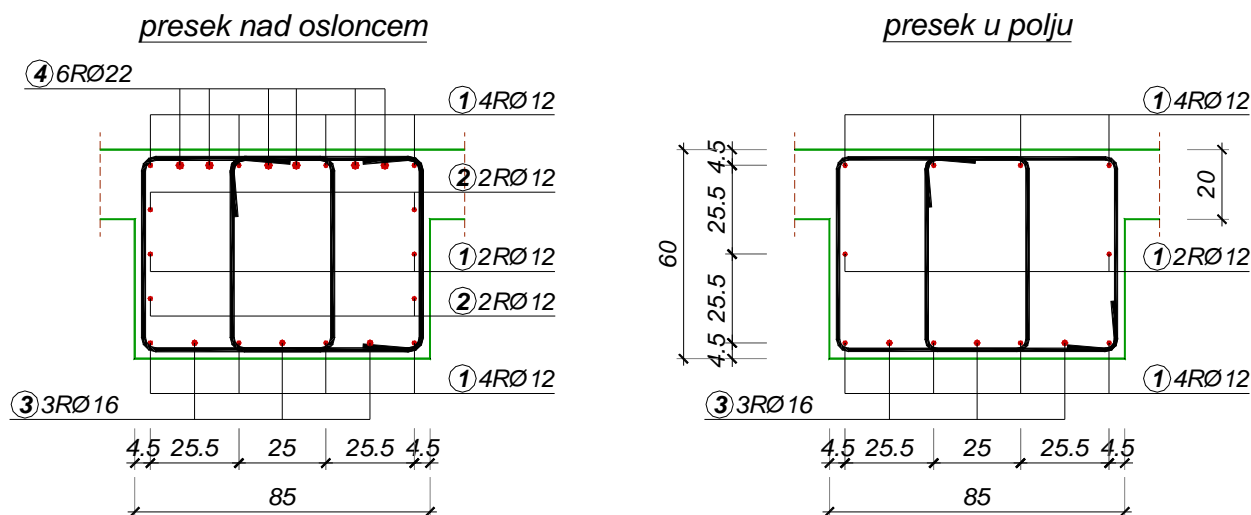
$$A_{a, \text{potr.}} - 4R\emptyset 12 = 10.20 - 4.52 = 5.68 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{usvojeno } 3R\emptyset 16 (6.03 \text{ cm}^2)$$

S obzirom da se oslonački presek (u donjoj zoni potrebno  $7R\emptyset 12$  za torziju) i presek u polju (u donjoj zoni potrebno  $4R\emptyset 12 + 3R\emptyset 16$  za savijanje) smenjuju na svakih  $L/2 = 3 \text{ m}$ , jedino moguće rešenje je da se po čitavom rasponu postavi armatura potrebna u polju.

U gornjoj zoni oslonačkog preseka preliminarno je usvojeno  $4+3=7R\emptyset 12$  za torziju, čemu je potrebno dodati računski potrebnih  $A_{a, \text{potr.}} = 17.37 \text{ cm}^2$  za savijanje. Kako u preseku u polju računsa armatura nije potrebna, nameće se rešenje primenjeno za donju zonu preseka u polju: zadržaće se  $4R\emptyset 12$  u uglovima uzengija (šipke **1**) a nedostajuća armatura će biti raspoređena između ovih šipki (eventualno i u drugom redu, ukoliko je neophodno).

- potrebna armatura (torzija): usvojeno:  $7R\emptyset 12 = 7.92 \text{ cm}^2$
  - potrebna armatura (savijanje):  $A_{a, \text{potr.}} = 17.37 \text{ cm}^2$
  - ukupno, savijanje i torzija:  $17.37 + 7.92 = 25.29 \text{ cm}^2$
  - nedostajuće (dodatne šipke):  $25.29 - 4R\emptyset 12 = 25.29 - 4.52 = 20.76 \text{ cm}^2$
- usvojeno  **$6R\emptyset 22$**  ( $22.81 \text{ cm}^2$ )

Karakteristični preseki za ovo rešenje su prikazani na donjoj skici.



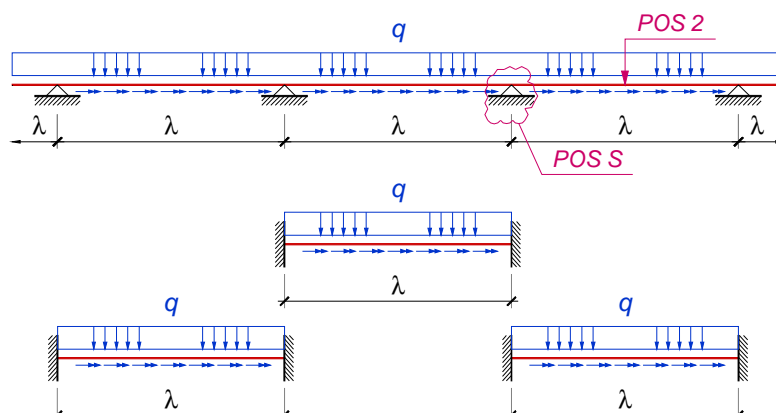
Osovinsko rastojanje profila u gornjoj zoni je  $25.5/3 = 8.5 \text{ cm}$ , što je dovoljno, ali kombinovanje profila  $R\emptyset 12$  i  $R\emptyset 22$  nije najbolje rešenje. S druge strane, ukupno potrebna površina armature od  $25.29 \text{ cm}^2$  će biti zadovoljena i ako se usvoji npr.  $7R\emptyset 22$  ( $26.61 \text{ cm}^2$ ), ali u tom slučaju četiri šipke u uglovima uzengija postaju velikih i nepotrebnih  $4R\emptyset 22$  pa u preseku u polju ima više armature u gornjoj, nego u zategnutoj - donjoj zoni.

Zbog navedenog usvojena je prva varijanta sa  $10R\emptyset 16$  po čitavom rasponu, pri čemu su gornje i bočne šipke nastavljene u polju a donje iznad stubova. U nastavku je prikazan plan armature POS 2 za jedno polje sa odgovarajućom specifikacijom.

Takođe je prikazan (u dve slične varijante) plan armature ploče POS 1.

### 3 PRORAČUN STUBA POS S

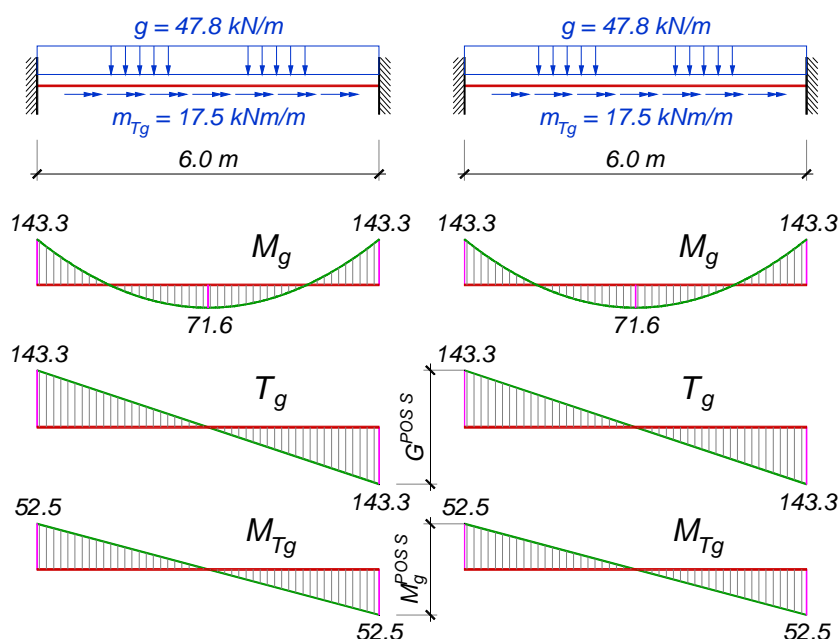
Stub je konzola, opterećena i stalnim i povremenim opterećenjem od grede POS 2. Poprečni presek je pravougaoni, dimenzija  $b/d = 25/85$  cm.



Opterećenje stuba, pored sopstvene težine, predstavljaju:

- vertikalne sile (reakcije oslonaca kontinualnog nosača POS 2), određene kao RAZLIKA TRANSVERZALNIH SILA zamenjujuće obostrano uklještene grede, posmatrano za dva susedna polja oslonjena na posmatrani stub;
- momenti savijanja, određeni kao RAZLIKA OSLONAČKIH MOMENATA TORZIJE zamenjujuće obostrano uklještene grede, posmatrano za dva susedna polja oslonjena na posmatrani stub.

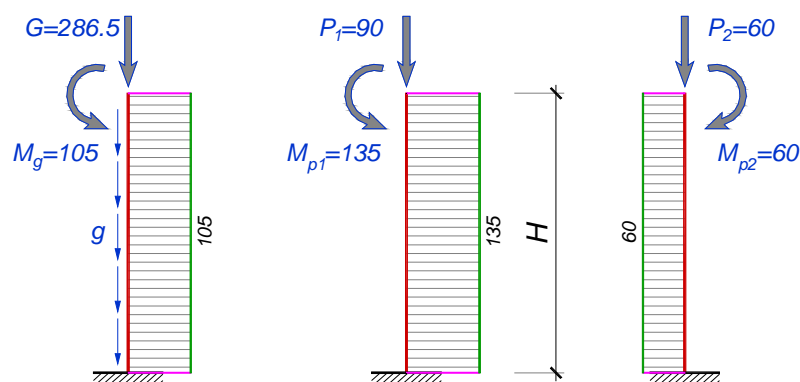
Kako su momenti savijanja POS 2 levo i desno od stuba jednaki, na stub se ne prenose momenti koji bi savijali presek oko stranice dimenzije  $b=25$  cm.



#### 3.1 ANALIZA OPTEREĆENJA

$$\begin{aligned}
 G &= 143.3 - (-143.3) = 286.5 \text{ kN} & M_g &= 52.5 - (-52.5) = 105 \text{ kNm} \\
 P_1 &= 45 - (-45) = 90 \text{ kN} & M_{p1} &= 67.5 - (-67.5) = 135 \text{ kNm} \\
 P_2 &= 30 - (-30) = 60 \text{ kN} & M_{p2} &= -30 - 30 = -60 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Sopstvena težina stuba je zanemarena.



### 3.2 DIMENZIONISANJE

Sa prethodnih dijagrama momenata je očito da leva strana stuba ne može biti zategnuta. Stoga se dimenzioniše samo desna strana, uzimajući u obzir stalno opterećenje i povremeno samo na ploči POS 1a.

$$M_u = 1.6 \times 105 + 1.8 \times 135 = 411 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.6 \times 286.5 + 1.8 \times 90 = 620.4 \text{ kN}$$

pretp.  $a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow h = 85 - 7 = 78 \text{ cm}$

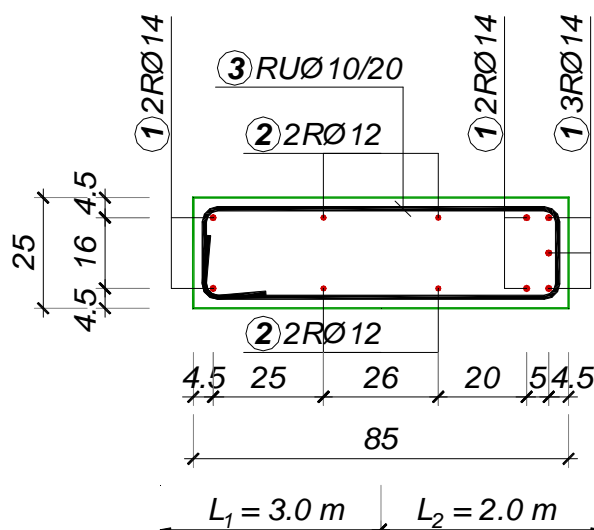
$$M_{au} = 411 + 620.4 \times \left( \frac{0.85}{2} - 0.07 \right) = 631.2 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{78}{\sqrt{\frac{631.2 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.223 \Rightarrow \epsilon_b / \epsilon_a = 3.5 / 8.845\% ; \bar{\mu} = 22.952\%$$

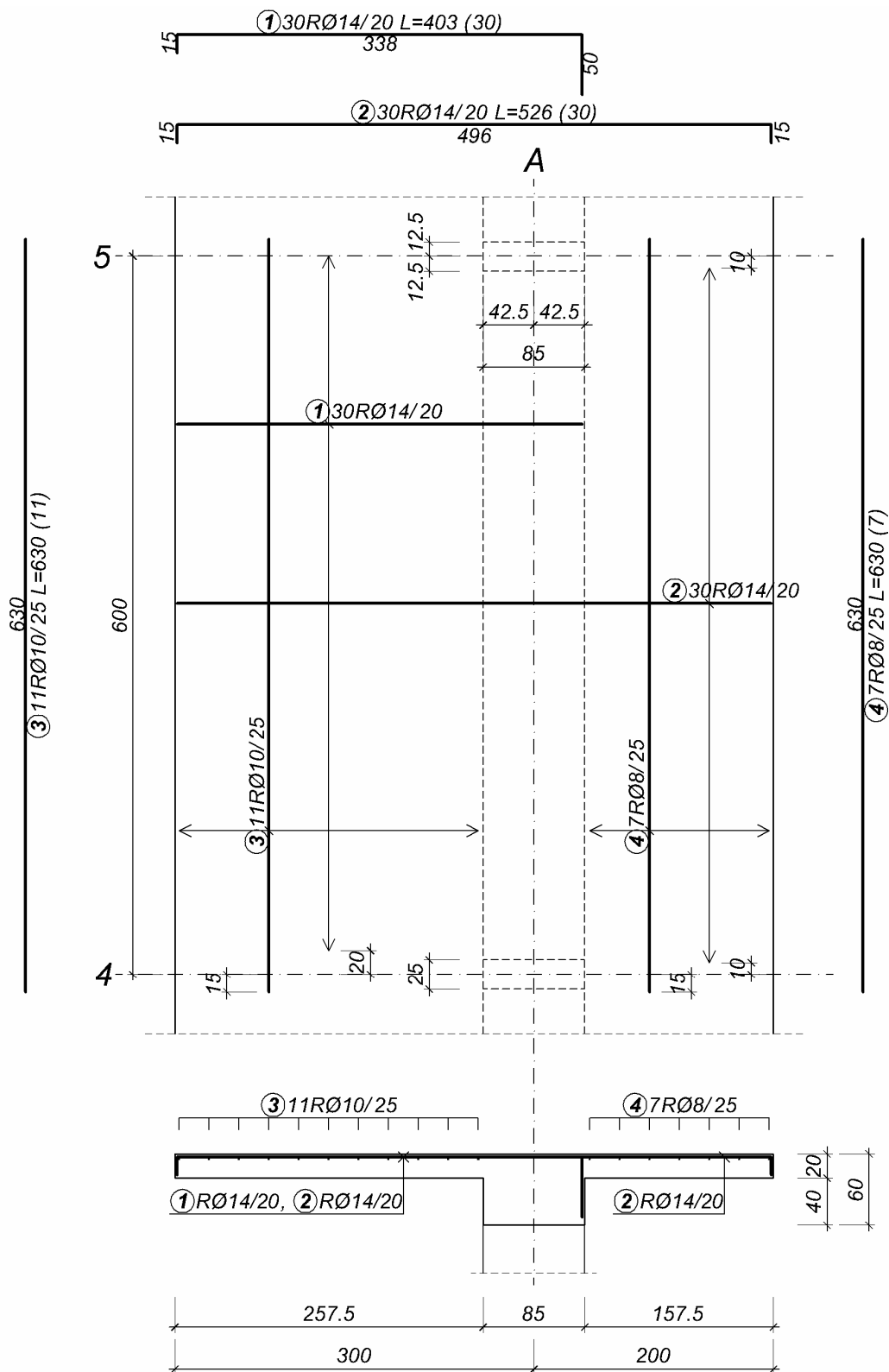
$$A_{a, \text{potr.}} = 22.952 \times \frac{25 \times 78}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{620.4}{40} = 7.43 \text{ cm}^2$$

$$A_{a, \text{min}} = \frac{0.2}{100} \times 25 \times 85 = 4.25 \text{ cm}^2 < A_{a, \text{potr.}}$$

usvojeno: **5RØ14 (7.70 cm<sup>2</sup>)**



Posebno u slučaju kada stub nije simetrično armiran, neophodno je jednoznačno odrediti sa koje strane je potrebno postaviti određenu armaturu (uvođenjem osa ili, kao u ovom slučaju, označavanjem raspona).

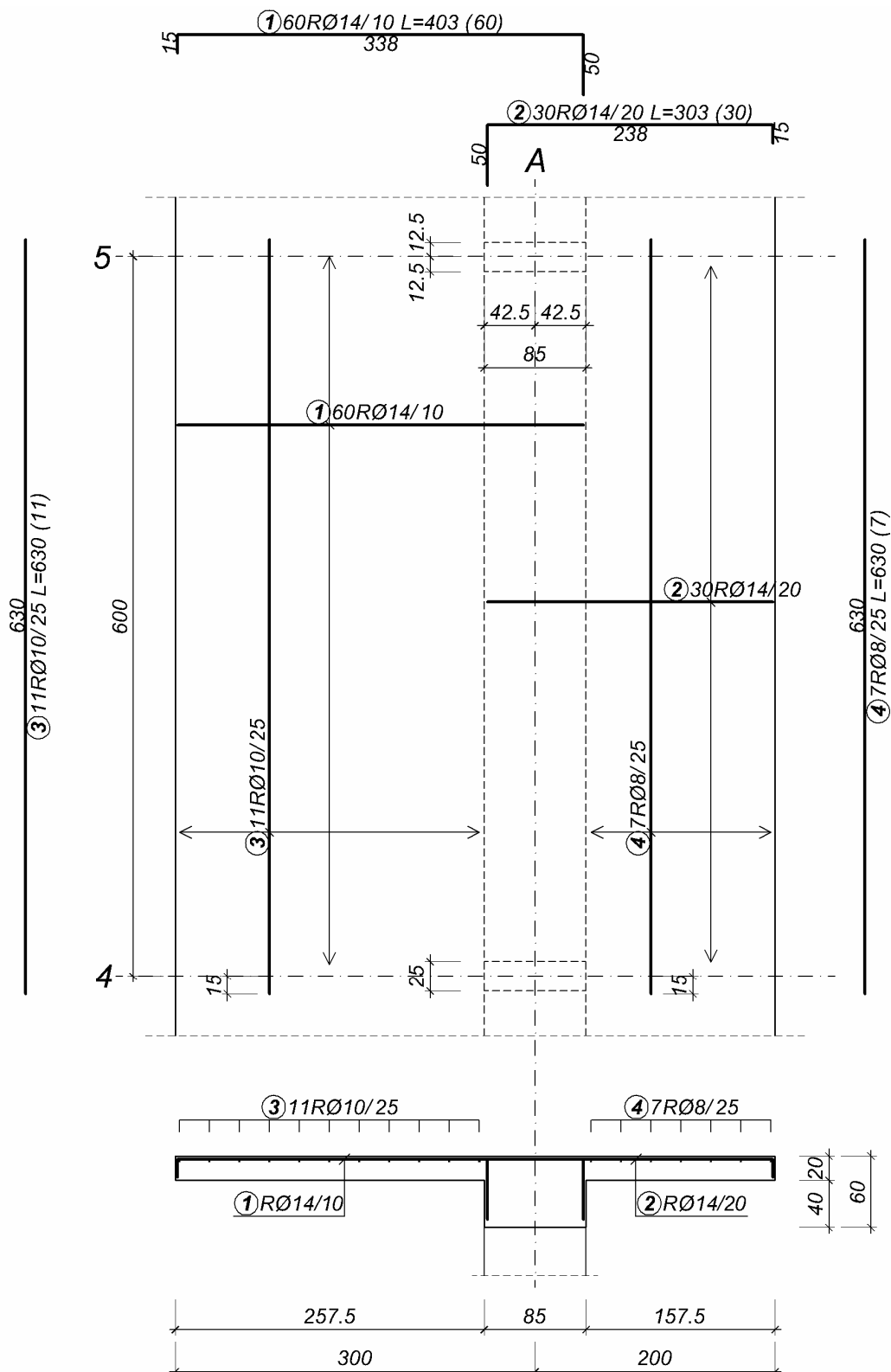


Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jed. težina [kg/m³]	Težina [kg]
RA2			
8	44.10	0.405	17.86
10	69.30	0.633	43.87
14	278.70	1.242	346.15
Ukupno			407.87

KOLIČINA BETONA:  $V_b = 6.0 \text{ m}^3$

KOLIČINA ARMATURE:  $\frac{407.87}{6.0} = 68.0 \text{ kg/m}^3$

PRIMER P6 - LIST br. 1  
**PLAN ARMATURE POS 1** (varijanta 1)  
 MB 30 RA 400/500 R 1:50

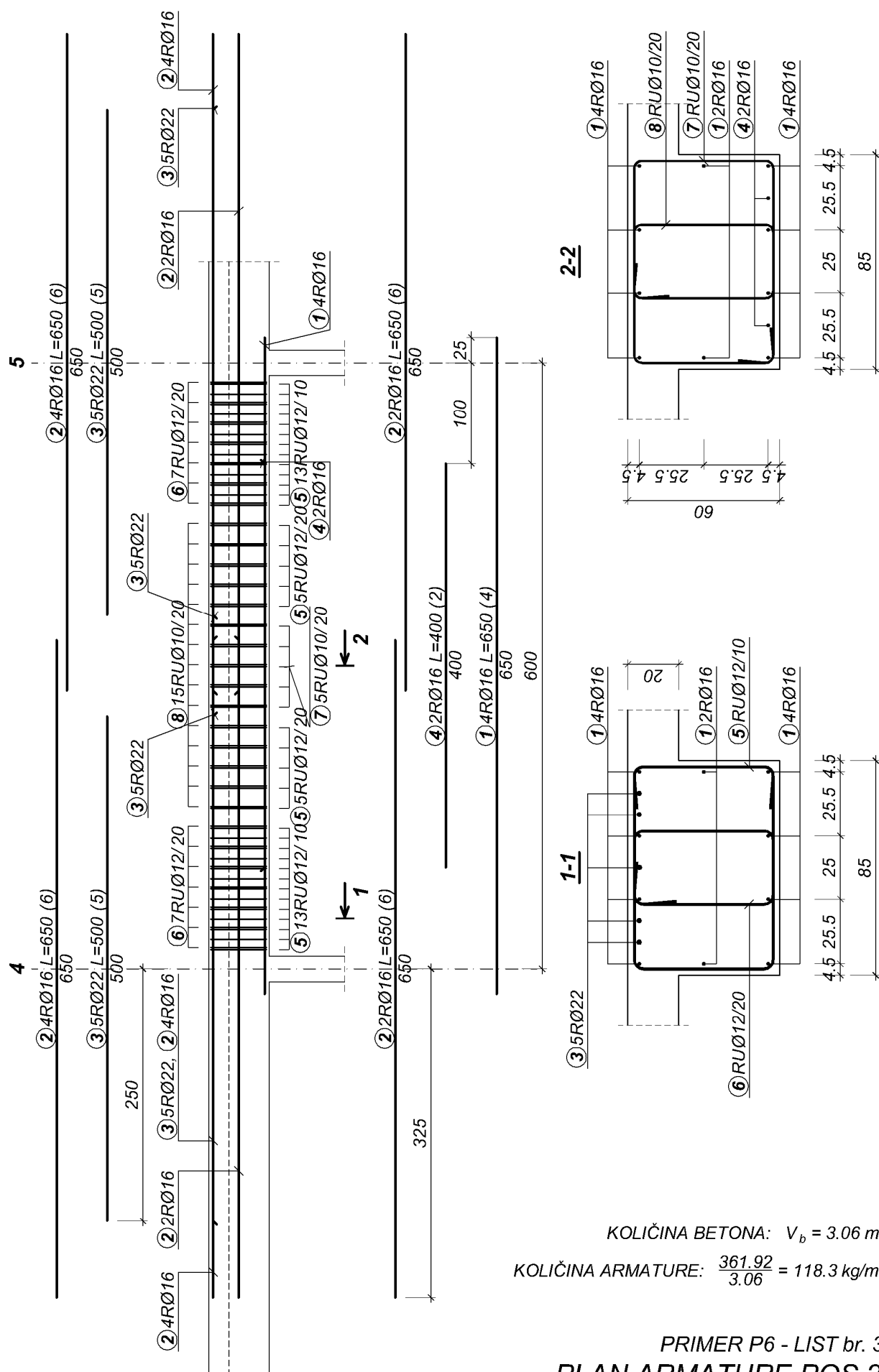


Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jed. težina [kg/m³]	Težina [kg]
RA2			
8	44.10	0.405	17.86
10	69.30	0.633	43.87
14	332.70	1.242	413.21
Ukupno			474.94

KOLIČINA BETONA:  $V_b = 6.0 \text{ m}^3$

KOLIČINA ARMATURE:  $\frac{474.94}{6.0} = 79.2 \text{ kg/m}^3$


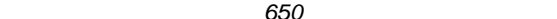


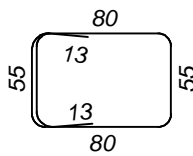
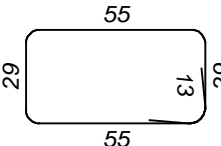
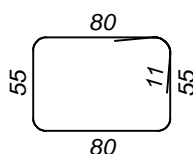

PRIMER P6 - LIST br. 2  
**PLAN ARMATURE POS 1** (varijanta 2)  
 MB 30 RA 400/500 R 1:50



KOLIČINA BETONA:  $V_b = 3.06 \text{ m}^3$

KOLIČINA ARMATURE:  $\frac{361.92}{3.06} = 118.3 \text{ kg/m}^3$

PRIMER P6 - LIST br. 3  
**PLAN ARMATURE POS 2**  
 MB 30 RA 400/500 R 1:50/20

Šipke - specifikacija						
ozn.	oblik i mere [cm]	Č	Ø	lg [cm]	n [kom]	lgn [m]
POS 2 - jedno polje (1 kom)						
1		RA2	16	650	4	26.00
2		RA2	16	650	6	39.00
3		RA2	22	500	5	25.00
4		RA2	16	400	2	8.00
5		RA2	12	351	36	126.36
6		RA2	12	194	14	27.16
7		RA2	10	292	5	14.60
8		RA2	10	190	15	28.50
Šipke - rekapitulacija						
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']		Težina [kg]		
RA2						
10	43.10	0.633		27.28		
12	153.52	0.911		139.86		
16	73.00	1.621		118.33		
22	25.00	3.058		76.45		
Ukupno						361.92