

**Primer 2.** Ploča dimenzija 6.0×6.0m u osnovi oslonjena je na dve paralelne grede, koje su oslonjene na stubove u uglovima ploče. Pored sopstvene težine, ploča je opterećena dodatnim stalnim opterećenjem  $\Delta g=2.0 \text{ kN/m}^2$  (slojevi poda i plafona), kao i povremenim opterećenjem  $p=4.0 \text{ kN/m}^2$ . Potrebno je dimenzionisati ploču i grede, nacrtati planove oplata i armature i uraditi specifikaciju i rekapitulaciju. Kvalitet materijala usvojiti po sopstvenom izboru.

### 1.1 ANALIZA OPTEREĆENJA I STATIČKI UTICAJI

$$d_{p,\min.} = \frac{L_0}{35} = \frac{600}{35} = 17.1 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno } d_p = 18 \text{ cm}$$

$$\text{sopstvena težina ploče } d_p \times \gamma_b = 0.18 \times 25 = 4.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{dodatno stalno opterećenje} = 2.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{ukupno, stalno opterećenje } g = 6.5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{povremeno opterećenje } p = 4.0 \text{ kN/m}^2$$

$$M_g = 6.5 \times 6.0^2 / 8 = 29.25 \text{ kNm/m} \quad ; \quad M_p = 4.0 \times 6.0^2 / 8 = 18.0 \text{ kNm/m}$$

$$T_g = 6.5 \times 6.0 / 2 = 19.5 \text{ kN/m} \quad ; \quad T_p = 4.0 \times 6.0 / 2 = 12.0 \text{ kN/m}$$

### 1.2 DIMENZIONISANJE

$$M_u = 1.6 \times 29.25 + 1.8 \times 18 = 79.2 \text{ kNm/m}$$

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

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

$$\text{pretp. } a_1 = 3 \text{ cm} \Rightarrow h = 18 - 3 = 15 \text{ cm} \quad ; \quad b = 100 \text{ cm} = 1.0 \text{ m}$$

$$k = \frac{15}{\sqrt{\frac{79.2 \times 10^2}{100 \times 2.05}}} = 2.413 \Rightarrow \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.177 / 10\text{‰} \quad ; \quad \bar{\mu} = 19.049\%$$

$$A_{a,\text{potr.}} = 19.049 \times \frac{100 \times 15}{100} \times \frac{2.05}{40} = 14.64 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{pretp. } \emptyset 14 (a_a^{(1)} = 1.54 \text{ cm}^2) \Rightarrow e_a = \frac{100 \times a_a^{(1)}}{A_{a,\text{potr.}}} = \frac{100 \times 1.54}{14.64} = 10.5 \text{ cm}$$

$$\text{usvojeno: } \emptyset 14/10 (15.40 \text{ cm}^2/\text{m})$$

$$A_{ap} = 0.20 \times A_{a,\text{potr.}} = 0.20 \times 14.64 = 2.93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

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

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

## 2. PRORAČUN DEFORMACIJA POS 1

Potrebne geometrijske karakteristike neisprskalog betonskog preseka i položaj težišta ukupne armature u preseku dati su sledećim izrazima:

$$A_b^I = b \times d = 100 \times 18 = 1800 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$y_{b1} = y_{b2} = d/2 = 18 / 2 = 9.0 \text{ cm}$$

$$J_b^I = \frac{b \times d^3}{12} = \frac{100 \times 18^3}{12} = 48600 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$A_{a1} = 15.40 \text{ cm}^2/\text{m} (\text{Ø}14/10) \quad ; \quad A_{a2} = 0 \quad \Rightarrow \quad A_a = A_{a1} + A_{a2} = 15.40 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Položaj težišta ukupne armature u odnosu na gornju ivicu preseka, kao i položajni moment inercije armature u odnosu na težište ukupne armature, određeni su kao:

$$y_{a2} = h = 15.0 \text{ cm} \quad ; \quad J_a = 0$$

### 2.1 ELASTIČNO REŠENJE

Ugib u sredini raspona proste grede opterećene jednako raspodeljenim opterećenjem  $q=g+p$  po čitavom rasponu, uvodeći u proračun moment inercije BRUTO BETONSKOG PRESEKA, određen je izrazom:

$$v_b = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E_b \times J_b} = \frac{5 \times (6.5 + 4.0) \times 6.0^4}{384 \times 31.5 \times 10^6 \times 48600 \times 10^{-8}} = 11.6 \times 10^{-3} \text{ m} = 11.6 \text{ mm}$$

### 2.2 PRORAČUN UGIBA U TRENUTKU NANOŠENJA OPTEREĆENJA

#### 2.2.1 POČETNI UGIB, UKUPNO OPTEREĆENJE

Posebno se mora sračunati ugib za stanje I (bez prslina) i za stanje II (sa prslinama).

##### 2.2.1.1 Stanje I (bez prslina) - ukupno opterećenje

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{210}{31.5} = 6.67$$

$$A_i^I = A_b^I + n \times A_a = 1800 + 6.67 \times 15.4 = 1902.6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$y_{i2}^I = y_{b2}^I + \frac{(y_{a2} - y_{b2}^I) \times n \times A_a}{A_i^I} = 9.0 + \frac{(15.0 - 9.0) \times 6.67 \times 15.40}{1902.6} = 9.32 \text{ cm}$$

Moment inercije idealizovanog preseka (beton + armatura) za stanje I određen je izrazom:

$$J_i^I = J_b^I + n \times J_a + A_b^I \times (y_{a2} - y_{b2}^I) \times (y_{i2}^I - y_{b2}^I)$$

$$J_i^I = 48600 + 0 + 1800 \times (15.0 - 9.0) \times (9.32 - 9.0) = 52095 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$k_a^I = \frac{J_b^I}{J_i^I} = \frac{48600}{52095} = 0.933$$

Ugib u trenutku  $t=0$  za ukupno ( $g+p$ ) opterećenje, za neisprskali presek (stanje I) iznosi:

$$v_0^I = k_a^I \times v_b = 0.933 \times 11.6 = 10.8 \text{ mm}$$

Da je čitav nosač bez prslina, konstantne krutosti, proračunski elastični ugib usled ukupnog,  $g+p$  opterećenja, iznosio bi  $v_{g+p,0} = 10.8 \text{ mm}$ .

### 2.2.1.2 Stanje II (sa prslinama) - ukupno opterećenje

Položaj neutralne linije se određuje rešavanjem kvadratne jednačine oblika:

$$s^2 + 2n \times (\mu_1 + \mu_2) \times s - 2n \times (\mu_1 + \mu_2 \times \alpha_2) = 0$$

$$\mu_1 = \frac{A_{a1}}{b \times h} = \frac{15.40}{100 \times 15.0} = 1.03\% ; \quad \mu_2 = \frac{A_{a2}}{b \times h} = 0 ; \quad \alpha_2 = \frac{a_2}{h} = 0$$

$$s^2 + 2 \times 6.67 \times 1.03 \times 10^{-2} \times s - 2 \times 6.67 \times 1.03 \times 10^{-2} = 0$$

$$s^2 + 0.137 \times s - 0.137 = 0 \Rightarrow s = 0.308$$

$$x'' = s \times h = 0.308 \times 15.0 = 4.62 \text{ cm}$$

$$A_b'' = b \times x'' = 100 \times 4.62 = 462 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$y_b'' = \frac{x''}{2} = \frac{4.62}{2} = 2.31 \text{ cm}$$

$$J_b'' = \frac{b \times (x'')^3}{12} = \frac{100 \times 4.62^3}{12} = 820 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$y_{i2}'' = x'' = 4.62 \text{ cm}$$

$$J_i'' = J_b'' + n \times J_a + A_b'' \times (y_{a2} - y_{b2}'') \times (y_{i2}'' - y_{b2}'')$$

$$J_i'' = 820 + 0 + 462 \times (15.0 - 2.31) \times (4.62 - 2.31) = 14344 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$k_a'' = \frac{J_b'}{J_i''} = \frac{48600}{14344} = 3.388$$

Ugib u trenutku  $t=0$  za ukupno ( $g+p$ ) opterećenje, za isprskali presek (stanje II) iznosi:

$$v_0'' = k_a'' \times v_b = 3.388 \times 11.6 = 39.2 \text{ mm}$$

Da je čitav nosač isprskao, konstantne krutosti koja odgovara preseku u sredini raspona, proračunski elastični ugib usled ukupnog,  $g+p$  opterećenja, iznosio bi  $v_{g+p,0} = 39.2 \text{ mm}$ .

### 2.2.1.3 Početni ugib u trenutku $t=0$ (ukupno opterećenje)

$$W_{i1}' = \frac{J_i'}{y_{i1}'} = \frac{J_i'}{d - y_{i2}'} = \frac{52095}{18 - 9.32} = 6004 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$f_{bzs} = 2.40 \times \left( 0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.18}} \right) = 2.91 \text{ MPa} = 0.291 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_r = 0.291 \times 6004 \times 10^{-2} = 17.5 \text{ kNm/m} < M = M_g + M_p = 47.25 \text{ kNm/m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_{0,g+p} = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \frac{17.5}{47.25} = 0.630$$

Ukupno, početni ugib u trenutku  $t=0$  se dobija iz izraza:

$$v_0 = (1 - \zeta) \times v_0' + \zeta \times v_0''$$

$$v_{g+p,0} = (1 - 0.630) \times 10.8 + 0.630 \times 39.2 = 28.7 \text{ mm}$$

Maksimalni ugib grede usled ukupnog, stalnog i povremenog opterećenja, u trenutku nanošenja opterećenja ( $t=0$ ), je  $v_{g+p,0} = 28.7 \text{ mm}$ .

## 2.2.2 POČETNI UGIB, STALNO OPTEREĆENJE

Kako položaj neutralne linije u preseku napregnutom na čisto savijanje ne zavisi od veličine momenta savijanja, lako je zaključiti:

### 2.2.2.1 Stanje I (bez prslina) - stalno opterećenje

$$v_{g,0}^I = \frac{g}{g+p} \times v_{g+p,0}^I = \frac{6.5}{6.5+4.0} \times 10.8 = 6.7 \text{ mm}$$

### 2.2.2.2 Stanje II (sa prslinama) - stalno opterećenje

$$v_{g,0}^{II} = \frac{g}{g+p} \times v_{g+p,0}^{II} = \frac{6.5}{6.5+4.0} \times 39.2 = 24.3 \text{ mm}$$

### 2.2.2.3 Početni ugib u trenutku $t=0$ (stalno opterećenje)

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_{0,g} = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \frac{17.5}{29.25} = 0.402$$

$$v_{g,0} = (1 - 0.402) \times 6.7 + 0.402 \times 24.3 = 13.7 \text{ mm}$$

## 2.3 PRORAČUN UGIBA U TOKU VREMENA

Geometrijske karakteristike idealizovanog poprečnog preseka (beton+armatura) se sračunavaju na isti način kao za stanje  $t=0$ , s tim da se u odgovarajuće izraze umesto modula deformacije betona  $E_b$  unosi korigovani efektivni modul  $E_b^*$ .

$$\left. \begin{array}{l} \chi_\infty = 0.8 \\ \varphi_\infty = 2.5 \end{array} \right\} \Rightarrow \chi_\infty \times \varphi_\infty = 0.8 \times 2.5 = 2.0$$

$$E_b^* = \frac{E_b}{1 + \chi_\infty \varphi_\infty} = \frac{31.5}{1 + 2.0} = 10.5 \text{ GPa} \Rightarrow n^* = \frac{E_a}{E_b^*} = \frac{210}{10.5} = 20$$

### 2.3.1 TRAJNI UGIB, STALNO OPTEREĆENJE

#### 2.3.1.1 Stanje I (bez prslina) - stalno opterećenje

$$A_i^{*I} = A_b^I + n^* \times A_a = 1800 + 20 \times 15.40 = 2108 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$y_{i2}^{*I} = y_{b2}^I + \frac{(y_{a2} - y_{b2}^I) \times n^* \times A_a}{A_i^{*I}} = 9.0 + \frac{(15.0 - 9.0) \times 20 \times 15.4}{2108} = 9.88 \text{ cm}$$

Moment inercije idealizovanog preseka (beton + armatura) za stanje I određen je izrazom:

$$J_i^{*I} = J_b^I + n^* \times J_a + A_b^I \times (y_{a2} - y_{b2}^I) \times (y_{i2}^{*I} - y_{b2}^I)$$

$$J_i^{*I} = 48600 + 0 + 1800 \times (15.0 - 9.0) \times (9.88 - 9.0) = 58065 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$k_\varphi^I = 1 - \frac{n^*}{J_i^{*I}} \times [J_a + A_a \times (y_{a2} - y_{i2}^{*I}) \times (y_{a2} - y_{i2}^{*I})]$$

$$k_\varphi^I = 1 - \frac{20}{58065} \times [0 + 15.40 \times (15.0 - 9.32) \times (15.0 - 9.88)] = 0.846$$

$$v_{\infty,g}^I = k_a^I \times (1 + k_\varphi^I \times \varphi_\infty) \times v_{b,g} = (1 + k_\varphi^I \times \varphi_\infty) \times v_{0,g}^I$$

Ugib u vremenu  $t \rightarrow \infty$  usled stalnog opterećenja, za neisprskali presek (stanje I) iznosi:

$$v_{g,\infty}^I = (1+0.846 \times 2.5) \times 6.7 = 20.8 \text{ mm}$$

### 2.3.1.2 Stanje II (sa prslinama) - stalno opterećenje

$$A_i^{*II} = A_b^{II} + n^* \times A_a = 462 + 20 \times 15.40 = 770 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$y_{i2}^{*II} = y_{b2}^{II} + \frac{(y_{a2} - y_{b2}^{II}) \times n^* \times A_a}{A_i^{*II}} = 2.31 + \frac{(15.0 - 2.31) \times 20 \times 15.4}{770} = 7.39 \text{ cm}$$

$$J_i^{*II} = J_b^{II} + n^* \times J_a + A_b^{II} \times (y_{a2} - y_{b2}^{II}) \times (y_{i2}^{*II} - y_{b2}^{II})$$

$$J_i^{*II} = 820 + 0 + 462 \times (15.0 - 2.31) \times (7.39 - 2.31) = 30571 \text{ cm}^4/\text{m}$$

$$k_{\varphi}^{II} = 1 - \frac{n^*}{J_i^{*II}} \times [J_a + A_a \times (y_{a2} - y_{i2}^{*II}) \times (y_{a2} - y_{i2}^{*II})]$$

$$k_{\varphi}^{II} = 1 - \frac{20}{30571} \times [0 + 15.40 \times (15.0 - 4.62) \times (15.0 - 7.39)] = 0.204$$

$$v_{\infty,g}^{II} = k_a^{II} \times (1 + k_{\varphi}^{II} \times \varphi_{\infty}) \times v_{b,g} = (1 + k_{\varphi}^{II} \times \varphi_{\infty}) \times v_{0,g}^{II}$$

Ugib u vremenu  $t \rightarrow \infty$  usled stalnog opterećenja, za isprskali presek (stanje II) iznosi:

$$v_{g,\infty}^{II} = (1+0.204 \times 2.5) \times 24.3 = 36.6 \text{ mm}$$

### 2.3.1.3 Trajni ugib u trenutku $t \rightarrow \infty$ (stalno opterećenje)

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 0.5 \text{ (} t \rightarrow \infty \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_{\infty,g} = 1 - 1.0 \times 0.5 \times \frac{17.5}{29.25} = 0.701$$

$$v_{g,\infty} = (1 - 0.701) \times 20.8 + 0.701 \times 36.6 = 31.9 \text{ mm}$$

## 2.3.2 TRAJNI UGIB, UKUPNO OPTEREĆENJE

Konačna vrednost ugiba usled dejstva dugotrajnog (stalnog) i kratkotrajnog (povremenog) opterećenja dobija se kao trenutna vrednost ugiba od ukupnog opterećenja, uvećana za prirast ugiba kao posledice dugotrajnog dejstva stalnog opterećenja:

$$v_{g+p,\infty} = v_{g+p,0} + (v_{g,\infty} - v_{g,0})$$

$$v_{g+p,\infty} = v_{\max} = 28.7 + (31.9 - 13.7) = 46.9 \text{ mm}$$

$$v_{g+p,\infty} = v_{\max.} = 4.69 \text{ cm} > v_{\text{dop.}} = \frac{L}{300} = \frac{600}{300} = 2 \text{ cm}$$

Kako je prekoračen dopušteni ugib, definisan članom 117. Pravilnika BAB 87, potrebno je korigovati neki od parametara.

$$v_b = 11.6 \text{ mm} \quad - \text{ elastično rešenje, bruto betonski presek}$$

$$v_{g+p,0} = 28.7 \text{ mm} \quad - \text{ trenutni ugib, ukupno opterećenje, } t=0$$

$$v_{g+p,\infty} = 46.9 \text{ mm} \quad - \text{ trajni ugib, ukupno opterećenje, } t \rightarrow \infty$$

Kako je dopuštena vrednost ugiba znatno prekoračena, trebalo bi debljinu ploče povećati minimalno  $\sqrt[3]{46.9/20} = 1.33$  puta, što daje  $d_p = 1.33 \times 18 = 24 \text{ cm}$ . Međutim, povećanje debljine ploče sa 18 na 24 cm povećava i intenzitet stalnog opterećenja za  $1.5 \text{ kN/m}^2$ , što dodatno povećava računski ugib. Istovremeno, veća dimenzija ploče zahteva manju količinu

zategnute armature, čime se dodatno povećava koeficijent  $k_a^{II}$  koji uvodi u proračun uticaj isprskalosti preseka (smanjuje se  $A_{a1}$ , povećava  $h$  - po oba osnova povećava se  $k_a^{II}$ ). Stoga dimenzija od 24 cm sigurno neće biti dovoljna bez usvajanja dosta veće količine armature od potrebne za zadovoljenje graničnog stanja nosivosti.

Rezultati varijantnih proračuna su prikazani tabelarno, radi lakšeg poređenja. Najpre je ploča podebljana na 24 cm, uz usvajanje armature potrebne prema graničnom stanju nosivosti (očekivano, prekoračen dopušteni ugib). Zatim je za istu debljinu ploče usvojena nešto veća količina armature, dovoljna da se ugib nađe u dopuštenim granicama. Konačno, ploča je podebljana na potrebnih 28 cm, uz usvajanje armature potrebne prema graničnom stanju nosivosti. Usvojena je treća varijanta (ploča 24 cm, armatura  $\emptyset 16/10$ ).

$d_p$	cm	<b>18</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>28</b>	
$g$	kN/m <sup>2</sup>	6.5	8	8	9	
$p$	kN/m <sup>2</sup>	4	4	4	4	
$M_g$	kNm/m	29.25	36	36	40.5	
$M_p$	kNm/m	18	18	18	18	
$M_u$	kNm/m	79.2	90	90	97.2	
$h$	cm	15	21	21	25	
$A_{a,potr.}$	cm <sup>2</sup> /m	14.64	11.40	11.40	10.23	
$A_{a,usv.}$	$\emptyset/e_a$	<b><math>\emptyset 14/10</math></b>	<b><math>\emptyset 12/10</math></b>	<b><math>\emptyset 16/10</math></b>	<b><math>\emptyset 12/10</math></b>	
	cm <sup>2</sup> /m	<b>15.39</b>	<b>11.31</b>	<b>20.11</b>	<b>11.31</b>	
$J_b^I$	cm <sup>4</sup> /m	48600	115200	115200	182933	
$v_{b,g+p}$	mm	<b>11.57</b>	<b>5.58</b>	<b>5.58</b>	<b>3.81</b>	
$g+p, t=0$	$J_i^I$	cm <sup>4</sup> /m	52095	121121	125483	191817
	$k_a^I$	-	0.933	0.951	0.918	0.954
	$v_{g+p,0}^I$	mm	10.80	5.31	5.12	3.63
	$J_i^{II}$	cm <sup>4</sup> /m	14344	23465	37300	34213
	$k_a^{II}$	-	3.388	4.909	3.089	5.347
	$v_{g+p,0}^{II}$	mm	39.21	27.40	17.23	20.36
	$M_r$	kNm/m	17.5	29	30.6	38.6
	$\zeta_{0,g+p}$	-	0.63	0.462	0.433	0.34
	$v_{g+p,0}$	mm	<b>28.69</b>	<b>15.52</b>	<b>10.37</b>	<b>9.32</b>
$g, t=0$	$v_{g,0}^I$	mm	6.68	3.54	3.42	2.51
	$v_{g,0}^{II}$	mm	24.28	18.26	11.49	14.09
	$\zeta_{0,g}$	-	0.402	0.193	0.15	0.047
	$v_{g,0}$	mm	<b>13.75</b>	<b>6.38</b>	<b>4.62</b>	<b>3.05</b>
$g, t \rightarrow \infty$	$J_i^{*I}$	cm <sup>4</sup> /m	58065	131944	143098	208257
	$k_\phi^I$	-	0.846	0.877	0.815	0.882
	$v_{g,t}^I$	mm	20.82	11.30	10.38	8.05
	$J_i^{*II}$	cm <sup>4</sup> /m	30571	54259	80264	80637
	$k_\phi^{II}$	-	0.204	0.149	0.197	0.136
	$v_{g,t}^{II}$	mm	36.64	25.05	17.15	18.90
	$\zeta_{t,g}$	-	0.701	0.597	0.575	0.523
	$v_{g,t}$	mm	<b>31.91</b>	<b>19.50</b>	<b>14.27</b>	<b>13.73</b>
$v_{g+p,t}$	mm	<b>46.85</b>	<b>28.64</b>	<b>20.02</b>	<b>19.99</b>	

### 3. PRORAČUN KARAKTERISTIČNE ŠIRINE PRSLINA

#### 3.1 SREDNJE RASTOJANJE PRSLINA

$$a_0 = a' - \emptyset/2 = 3.0 - 1.6/2 = 2.2 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 16 \text{ mm} = 1.6 \text{ cm} \quad ; \quad k_1 = 0.4 \text{ (RA 400/500)}$$

$$e_{\emptyset} = 10 \text{ cm} \quad ; \quad k_2 = 0.125 \text{ (čisto savijanje)}$$

$$h_{bz,ef} = \min. \left\{ \begin{array}{l} 3 + 7.5 \times 1.6 = 15 \text{ cm} \\ d - x' \approx d/2 = 24/2 = 12 \text{ cm} \end{array} \right\} = 12 \text{ cm}$$

$$\mu_{z1,ef} = \frac{A_{a1}}{A_{bz,ef}} = \frac{20.11}{100 \times 12.0} = 0.0168 = 1.68\%$$

$$I_{ps} = 2 \times \left( 2.2 + \frac{10.0}{10} \right) + 0.4 \times 0.125 \times \frac{1.6}{1.68 \times 10^{-2}} = 11.2 \text{ cm}$$

#### 3.2 ODREĐIVANJE NAPONA U ZATEGNUTOJ ARMATURI

$$n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{210}{31.5} = 6.67 \quad ; \quad \alpha_2 = \frac{a_2}{h} = 0$$

$$\mu_1 = \frac{A_{a1}}{b \times h} = \frac{20.11}{100 \times 21} = 0.96\% \quad ; \quad \mu_2 = \frac{A_{a2}}{b \times h} = 0$$

$$s^2 + 2 \times 6.67 \times 0.96 \times 10^{-2} \times s - 2 \times 6.67 \times 0.96 \times 10^{-2} = 0$$

$$s^2 + 0.128 \times s - 0.128 = 0 \Rightarrow s = 0.299$$

Koeficijent kraka unutrašnjih sila određuje se iz izraza:

$$\zeta_b = 1 - \frac{s}{3} = 1 - \frac{0.299}{3} = 0.900 \Rightarrow z_b = \zeta_b \times h = 0.900 \times 25 = 18.91 \text{ cm}$$

$$\sigma_{a1} = \frac{M}{z_b \times A_{a1}} = \frac{(36 + 18) \times 10^2}{18.91 \times 20.11} = 14.21 \text{ kN/cm}^2 = 142.1 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{a1} = \frac{\sigma_{a1}}{E_a} = \frac{142.1}{210 \times 10^3} = 0.676\text{‰}$$

#### 3.3 ODREĐIVANJE KARAKTERISTIČNE ŠIRINE PRSLINA

$$MB 30 \Rightarrow f_{bz,m} = 2.4 \text{ MPa} \Rightarrow f_{bz} = 0.7 \times f_{bz,m} = 0.7 \times 2.4 = 1.68 \text{ MPa}$$

$$f_{bzs} = 1.68 \times \left( 0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.24}} \right) = 1.97 \text{ MPa} = 0.197 \text{ kN/cm}^2$$

$$W_{b1} = \frac{100 \times 24^2}{6} = 9600 \text{ cm}^3/\text{m}$$

$$M_r = 0.197 \times 9600 \times 10^{-2} = 18.9 \text{ kNm/m} < M = 36 + 18 = 54 \text{ kNm/m}$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_a = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \left( \frac{18.9}{54} \right)^2 = 0.878$$

$$a_{pk} = 1.7 \times 0.878 \times 0.676 \times 10^{-3} \times 11.2 = 11.3 \times 10^{-3} \text{ cm} = 0.113 \text{ mm} < a_u = 0.2 \text{ mm}$$

Kako se pretpostavlja da se element nalazi u uslovima umereno agresivne sredine ("napo-  
lju"), dopuštena vrednost karakteristične širine prslina je  $a_{pk,dop.} = 0.2 \text{ mm}$ . Dakle, sa as-  
pekta graničnog stanja prslina, element je korektno dimenzionisan.

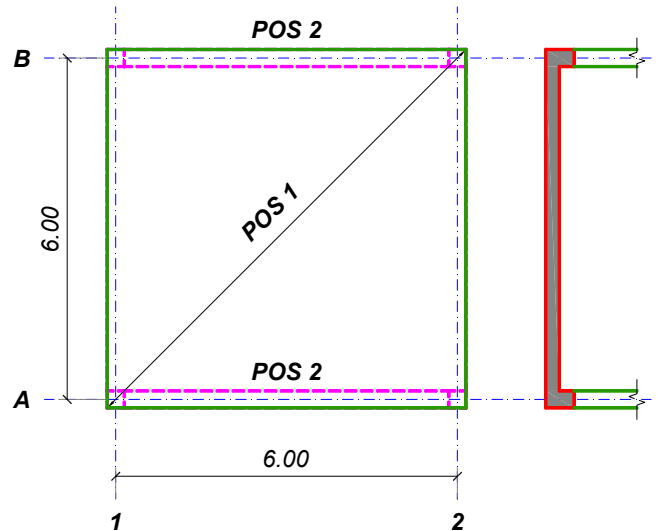
#### 4. PRORAČUN GREDE POS 2

Grede POS 2 su slobodno oslonjene, raspona 6.0 m, opterećene stalnim i povremenim opterećenjem sa ploče POS 1 i sopstvenom težinom.

Usvojena je širina poprečnog preseka  $b=30 \text{ cm}$ , dok se visina usvaja najčešće u granicama od  $1/10$  do  $1/12$  raspona. Za proračun statičkih uticaja usvojena je visina poprečnog preseka

$$d = L/12 = 600/12 = 50 \text{ cm}$$

koja će, po potrebi, biti korigovana ukoliko ne bude zadovoljeno neko od graničnih stanja.



##### 4.1 ANALIZA OPTEREĆENJA I STATIČKI UTICAJI

$$\text{sopstvena težina POS 2} \quad b \times d \times \gamma_b = 0.3 \times 0.5 \times 25 = 3.75 \text{ kN/m}$$

$$\text{od ploče POS 1} \quad R_g^{\text{POS 1}} = \frac{8.0 \times 6.0}{2} = 24.00 \text{ kN/m}$$

$$\text{ukupno, stalno opterećenje} \quad g = 27.75 \text{ kN/m}$$

$$\text{povremeno opterećenje} \quad R_p^{\text{POS 1}} = \frac{4.0 \times 6.0}{2} = 12.00 \text{ kN/m}$$

$$M_g = 27.75 \times 6.0^2 / 8 = 124.9 \text{ kNm} \quad ; \quad M_p = 12.0 \times 6.0^2 / 8 = 54.0 \text{ kNm}$$

$$T_g = 27.75 \times 6.0 / 2 = 83.3 \text{ kN} \quad ; \quad T_p = 12.0 \times 6.0 / 2 = 36.0 \text{ kN}$$

##### 4.2 DIMENZIONISANJE

$$M_u = 1.6 \times 124.9 + 1.8 \times 54 = 297 \text{ kNm/m}$$

$$\text{pretp. } a_1 = 6.5 \text{ cm} \Rightarrow h = 50 - 6.5 = 43.5 \text{ cm}$$

$$B = \min. \left\{ \begin{array}{l} b_1 + b + \frac{0.25}{3} \times l_o \\ b_1 + b + 8 \times d_p \\ e / 2 \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0 + 30 + \frac{0.25}{3} \times 600 = 80 \\ 0 + 30 + 8 \times 24 = 222 \\ 600 / 2 = 300 \end{array} \right\} = 80 \text{ cm}$$

Pretpostavlja se da je neutralna linija u ploči, pa se presek dimenzioniše kao pravougaoni, širine  $B = 80 \text{ cm}$ :

$$k = \frac{43.5}{\sqrt{\frac{297 \times 10^2}{80 \times 2.05}}} = 3.232 \Rightarrow \varepsilon_b / \varepsilon_a = 1.874 / 10\text{‰} \quad ; \quad \bar{\mu} = 10.166\% \quad ; \quad s = 0.158$$



$$x = s \times h = 0,158 \times 43,5 = 6,9 \text{ cm} < d_p = 24 \text{ cm}$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije je dobra, pa sledi:

$$A_a = 10,166 \times \frac{80 \times 43,5}{100} \times \frac{2,05}{40} = 18,13 \text{ cm}^2/\text{m}$$

usvojeno: **5 RØ 22** (19,01 cm<sup>2</sup>)

#### 4.3 KONTROLA GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA

$$T_u = 1,6 \times 83,3 + 1,8 \times 36 = 198 \text{ kNm/m}$$

$$z \approx 0,9 \times h = 0,9 \times 43,5 = 39,2 \text{ cm}$$

$$\tau_n = \frac{198}{30 \times 39,2} = 0,169 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} > \tau_r = 0,11 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda = \frac{600}{2} \times \left(1 - \frac{0,11}{0,169}\right) = 104,3 \text{ cm}$$

$$\tau_n < 3\tau_r = 0,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow T_{bu} = \frac{1}{2} \times (3 \times 0,11 - 0,169) \times 30 \times 39,2 = 94,8 \text{ kN}$$

$$T_{Ru} = 198 - 94,8 = 103,2 \text{ kN} \Rightarrow \tau_{Ru} = \frac{103,2}{30 \times 39,2} = 0,088 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

usvojeno:  $m = 2$  ,  $\theta = 45^\circ$  ,  $\alpha = 90^\circ$  (vertikalne uzengije)

$$e_u = \frac{2 \times a_u^{(1)}}{30 \times 0,088} \times 40 \times (\cos 90^\circ + \sin 90^\circ \times \text{ctg} 45^\circ) = 30,4 \times a_u^{(1)}$$

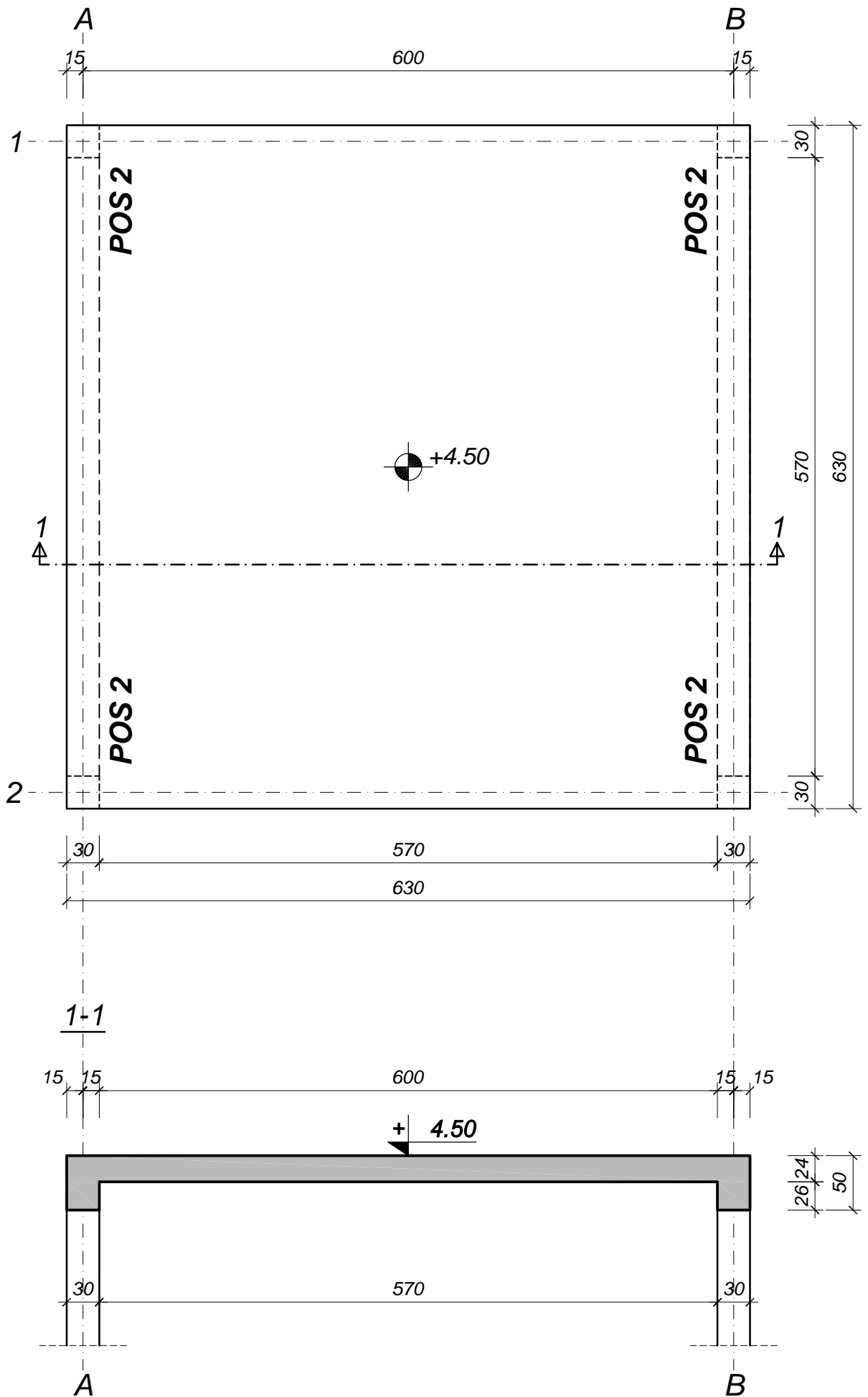
pretp. URØ8 ( $a_u^{(1)} = 0,503 \text{ cm}^2$ )  $\Rightarrow e_u = 30,4 \times 0,503 = 15,3 \text{ cm}$

usvojeno: **URØ8/15** ( $m=2$ )

$$\Delta A_a = \frac{T_{mu}}{2\sigma_v} \times (\text{ctg}\theta - \text{ctg}\alpha) = \frac{198}{2 \times 40} \times (1 - 0) = 2,48 \text{ cm}^2$$

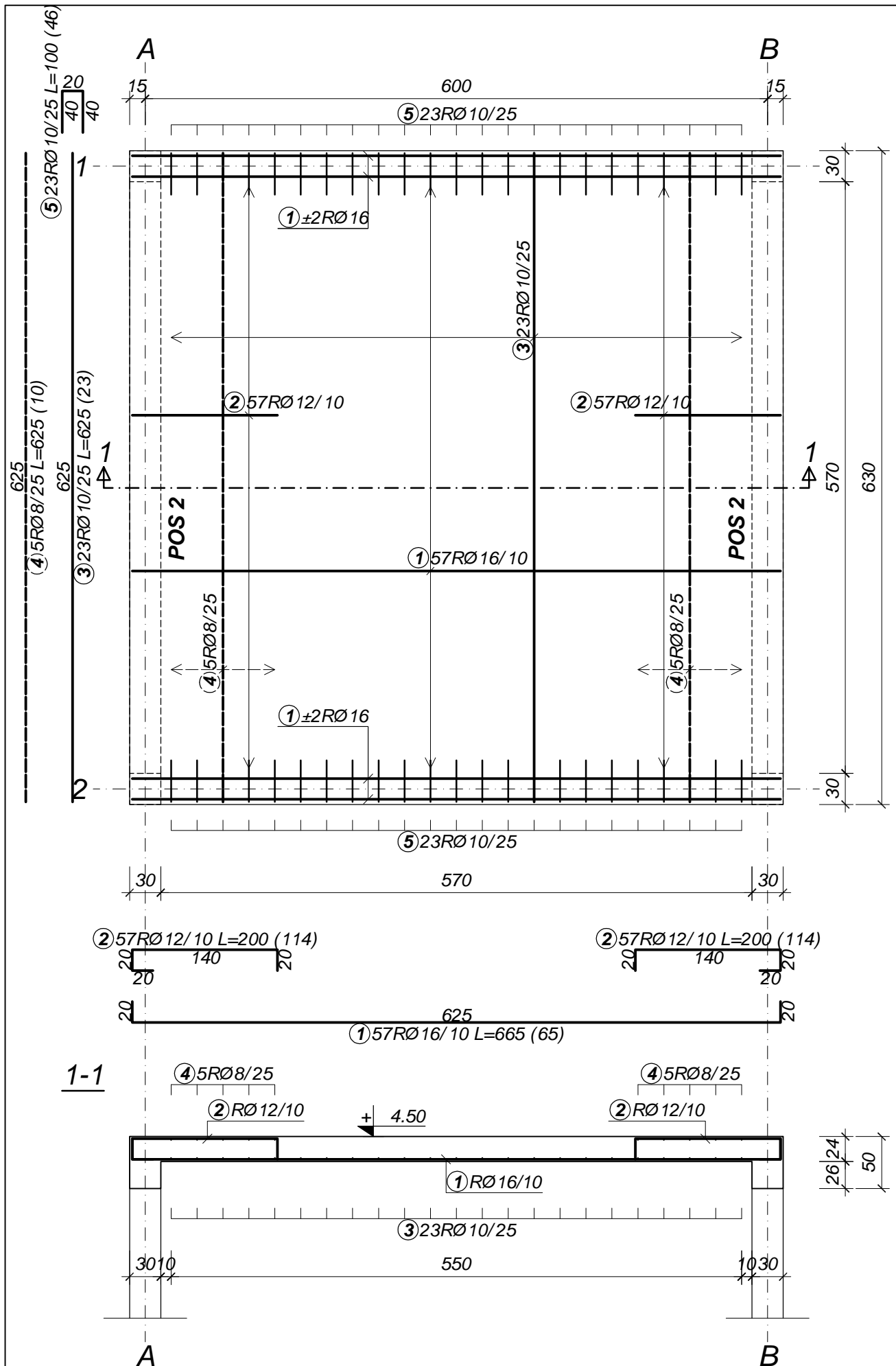
usvojeno: **2 RØ 22** (7,60 cm<sup>2</sup>)<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Usvojene su 2RØ22 kao MINIMALNO TREĆINA šipki iz polja koje se moraju prevesti preko slobodnog oslonca (član 168. Pravilnika BAB 87)



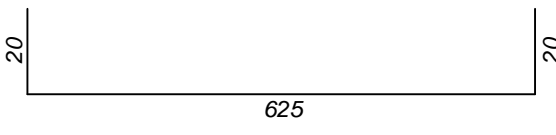
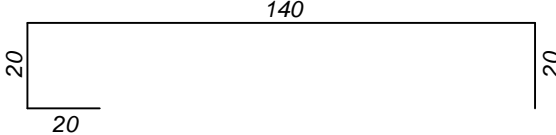
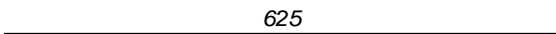
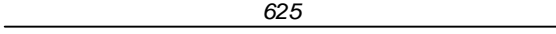
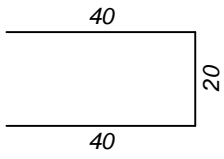
PLAN OPLATE **POS 1**

R 1:50

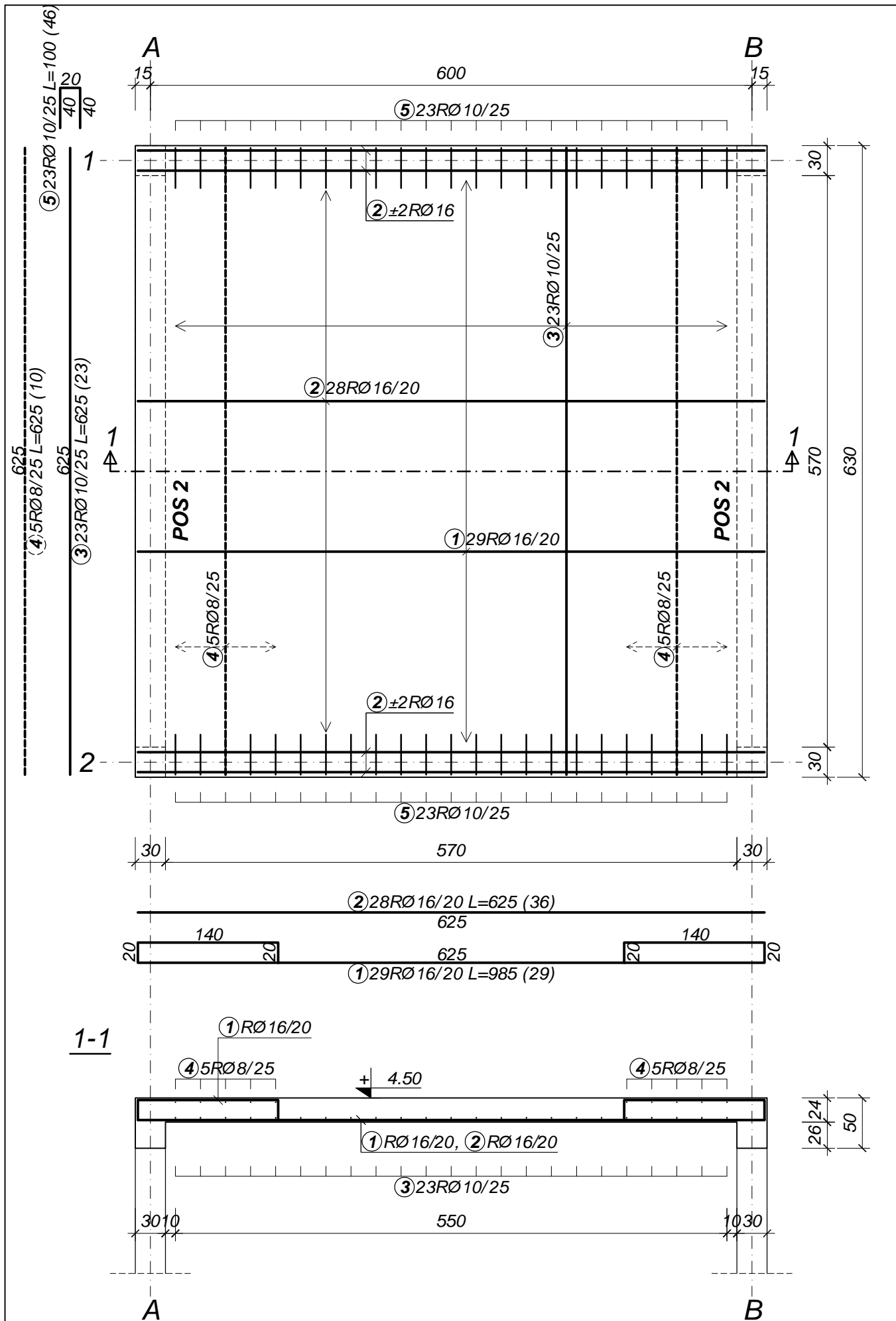


PLAN ARMATURE **POS 1**  
 VARIJANTA 1 R 1:50

## Armatura ploče POS 1

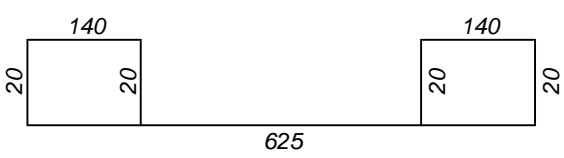
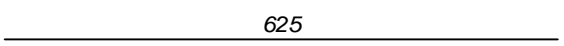
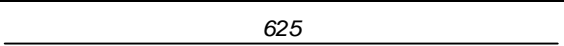
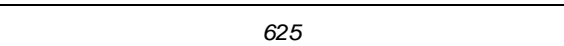
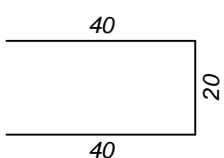
Šipke - specifikacija						
ozn.	oblik i mere [cm]	ozn.	Ø	lg [cm]	n [kom]	lgn [m]
POS 1 - varijanta 1 (1 kom)						
1		RA2	16	665	65	432.25
2		RA2	12	200	114	228.00
3		RA2	10	625	23	143.75
4		RA2	8	625	10	62.50
5		RA2	10	100	46	46.00

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']	Težina [kg]
RA2			
8	62.50	0.405	25.31
10	189.75	0.633	120.11
12	228.00	0.911	207.71
16	432.25	1.621	700.68
Ukupno			1053.81

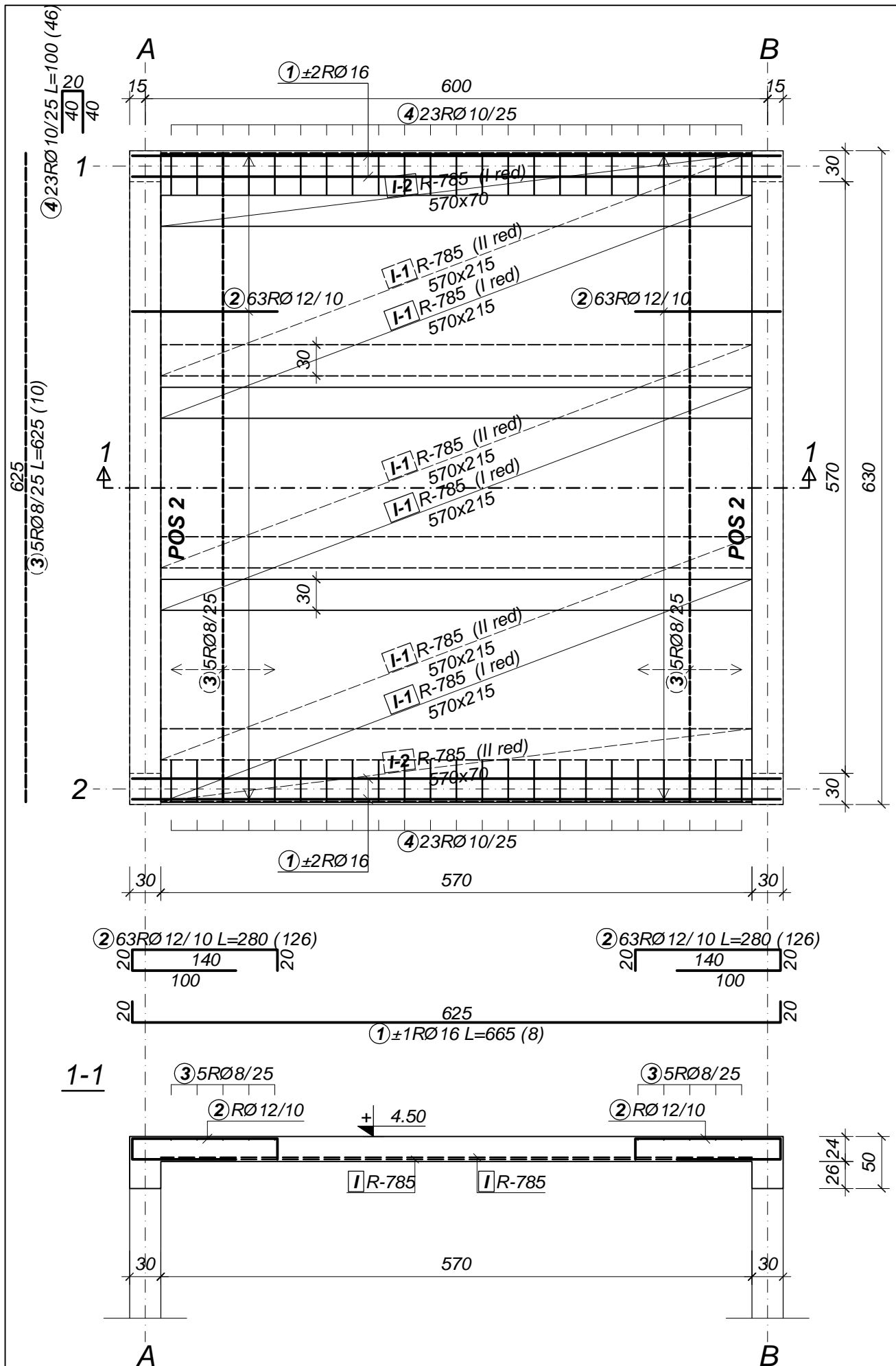


PLAN ARMATURE **POS 1**  
 VARIJANTA 2 R 1:50

# Armatura ploče POS 1

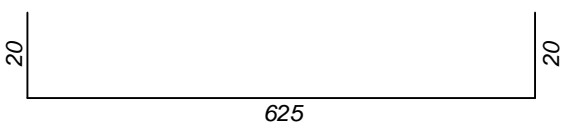
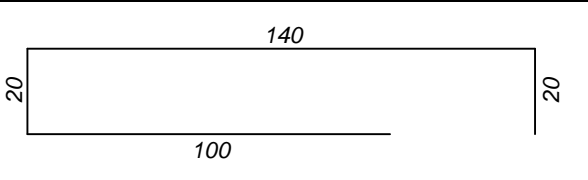
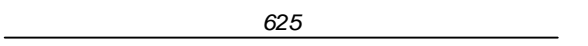
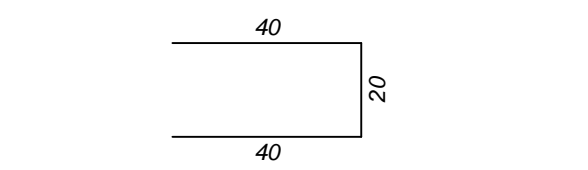
Šipke - specifikacija						
ozn.	oblik i mere [cm]	ozn.	Ø	lg [cm]	n [kom]	lgn [m]
POS 1 - varijanta 2 (1 kom)						
1		RA2	16	985	29	285.65
2		RA2	16	625	36	225.00
3		RA2	10	625	23	143.75
4		RA2	8	625	10	62.50
5		RA2	10	100	46	46.00

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']	Težina [kg]
RA2			
8	62.50	0.405	25.31
10	189.75	0.633	120.11
16	510.65	1.621	827.76
Ukupno			973.19



PLAN ARMATURE **POS 1**  
 VARIJANTA 3 (mreže) R 1:50

# Armatura ploče POS 1

Šipke - specifikacija						
ozn.	oblik i mere [cm]	ozn.	Ø	lg [cm]	n [kom]	lgn [m]
POS 1 - varijanta 3 (1 kom)						
1		RA2	16	665	8	53.20
2		RA2	12	280	126	352.80
3		RA2	8	625	10	62.50
4		RA2	10	100	46	46.00

Šipke - rekapitulacija			
Ø [mm]	lgn [m]	Jedinična težina [kg/m']	Težina [kg]
RA2			
8	62.50	0.405	25.31
10	46.00	0.633	29.12
12	352.80	0.911	321.40
16	53.20	1.621	86.24
Ukupno			462.07



## Armatura ploče POS 1

Mreže - specifikacija						
Pozicija	Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
POS 1 - varijanta 3 (1 kom)						
I-1	R-785	215	570	6	7.04	517.65
I-2	R-785	70	570	2	7.04	56.18
Ukupno						573.83

Mreže - rekapitulacija					
Oznaka mreže	B [cm]	L [cm]	n	Jedinična težina [kg/m <sup>2</sup> ]	Ukupna težina [kg]
R-785	215	605	7	7.04	641.01
Ukupno					641.01

Mreže - plan sečenja	
POS 1 - varijanta 3	
R-785	

