

30 Dimenzionisati armiranobetonski element opterećen sledećim aksijalnim silama:

$$G = 1000 \text{ kN} \quad (\text{pritisak, stalno opterećenje})$$

$$P = -800 \text{ kN} \quad (\text{zatezanje, vertikalno povremeno opterećenje})$$

$$\Delta = \pm 250 \text{ kN} \quad (\text{alternativno dejstvo, dopunsko opterećenje})$$

Povremeno i dopunsko opterećenje mogu, ali i ne moraju delovati istovremeno. Kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500.

Očigledno je da element može biti i pritisnut (spoljašnju silu prihvataju i beton i armatura), ali i zategnut (ukupnu silu zatezanja preuzima armatura).

Kada dimenzije poprečnog preseka nisu poznate, proračun pritisnutih preseka počinje usvajanjem procenta armiranja. Uglavnom se usvaja minimalna vrednost ($\mu=0.6\%$) i iz uslova ravnoteže normalnih sila sračuna jedina nepoznata, potrebna površina betona. Kod centrično zategnutih elemenata se iz uslova ravnoteže normalnih sila sračunava jedina nepoznata, potrebna površina armature, nakon čega se presek podesno oblikuje.

Kako u ovom slučaju usvojena armatura mora da zadovolji i računski potrebnu za slučaj dejstva sile zatezanja, kao i minimalnu za slučaj dejstva sile pritiska, presek se najpre dimenzioniše prema sili zatezanja.

Ukoliko se u račun uzmu samo stalno i povremeno opterećenje, vrednosti koeficijenata sigurnosti su veće nego ako se uzmu u obzir sva opterećenja (član 80 PBAB 87). U slučaju centričnog zatezanja je $\varepsilon_a = 10\text{‰} > 3\text{‰}$, pa zavisno od broja opterećenja, sledi:

$$Z_{u1} = 1.6 \times G + 1.8 \times P$$

$$Z_{u2} = 1.3 \times G + 1.5 \times P + 1.3 \times \Delta$$

U ovom slučaju sila G je pritisak. Silu pritiska ne bi trebalo uzeti u obzir kada se traži maksimalno moguće zatezanje, ali u pitanju je stalno opterećenje, koje se mora uzeti u obzir u svakoj kombinaciji. Ovo je primer "povoljnog dejstva stalnog opterećenja", jer što je sila G veća, ukupna sila zatezanja je manja. Sila G se u prethodne izraze unosi sa negativnim znakom, a parcijalni koeficijent sigurnosti u oba slučaja ima vrednost $\gamma_{uG}=1.0$:

$$\left. \begin{aligned} Z_{u1} &= 1.0 \times (-1000) + 1.8 \times 800 = 440 \\ Z_{u2} &= 1.0 \times (-1000) + 1.5 \times 800 + 1.3 \times 250 = 525 \end{aligned} \right\} \Rightarrow Z_u = 525 \text{ kN}$$

$$RA \ 400/500 \Rightarrow \sigma_v = 400 \text{ MPa} = 40 \text{ kN/cm}^2$$

$$A_a = \frac{Z_u}{\sigma_v} = \frac{525}{40} = 13.13 \text{ cm}^2$$

Usvajanje armature i oblikovanje preseka nije smisljeno pre nego što se presek ne dimenzioniše i prema merodavnoj sili pritiska. U slučaju centričnog pritiska je $\varepsilon_a = -2\text{‰}$, pa zavisno od broja opterećenja u kombinaciji, sledi:

$$N_{u1} = 1.9 \times G + 2.1 \times P$$

$$N_{u2} = 1.5 \times G + 1.8 \times P + 1.5 \times \Delta$$

Kako je sila usled povremenog opterećenja sila zatezanja, neće biti uzeta u obzir, pa sledi:

$$\left. \begin{aligned} N_{u1} &= 1.9 \times 1000 = 1900 \\ N_{u2} &= 1.5 \times 1000 + 1.5 \times 250 = 1875 \end{aligned} \right\} \Rightarrow N_u = 1900 \text{ kN}$$

Uslov ravnoteže normalnih sila može se napisati u obliku:

$$N_u = A_b \times \sigma_b + A_a \times \sigma_a = A_b \times f_B + A_a \times \sigma_v$$

gde je jedina nepoznata potrebna površina betona. U prethodni izraz ispravno je uvrstiti stvarnu površinu armature, ali kako armatura još uvek nije usvojena, koristiće se računski potrebna vrednost, čime je proračun na strani sigurnosti:

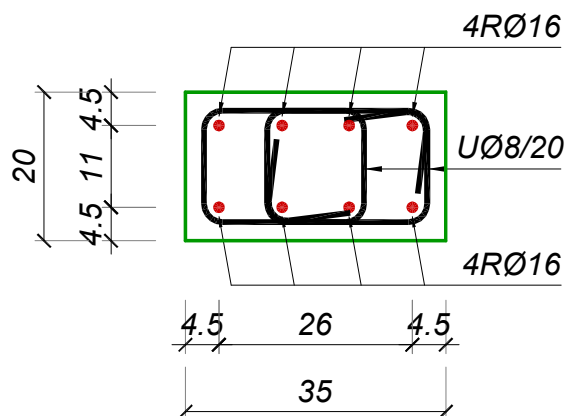
$$A_b = \frac{1900 - 13.13 \times 40}{2.05} = 671 \text{ cm}^2$$

Preostaje provera da li je zadovoljen procenat armiranja za pritisnut element:

$$\mu = \frac{13.13}{671} = 1.95\% > 0.6\% = \mu_{MIN}$$

usvojeno: **b/d = 35/20 cm**

8RØ16 (16.08 cm²)

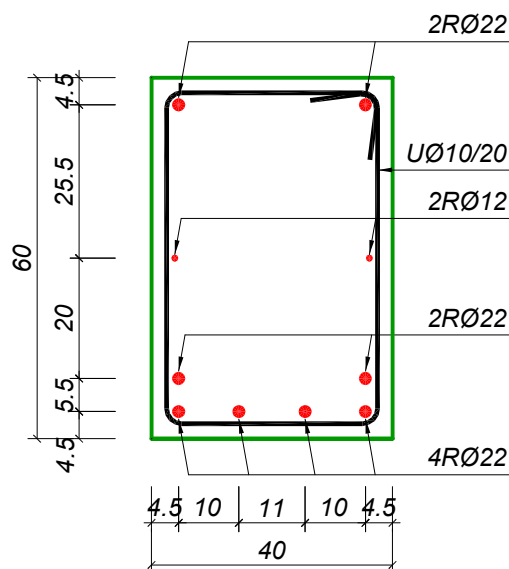


Pošto element može biti i pritisnut, potrebno je propisati i maksimalni razmak uzengija:

$$e_{u,max.} = \min. \left\{ \begin{array}{l} 15\varnothing = 15 \times 16 = 24 \text{ cm} \\ \min(b, d) = 20 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 20 \text{ cm} \Rightarrow \text{usv. } U\varnothing 8/20$$

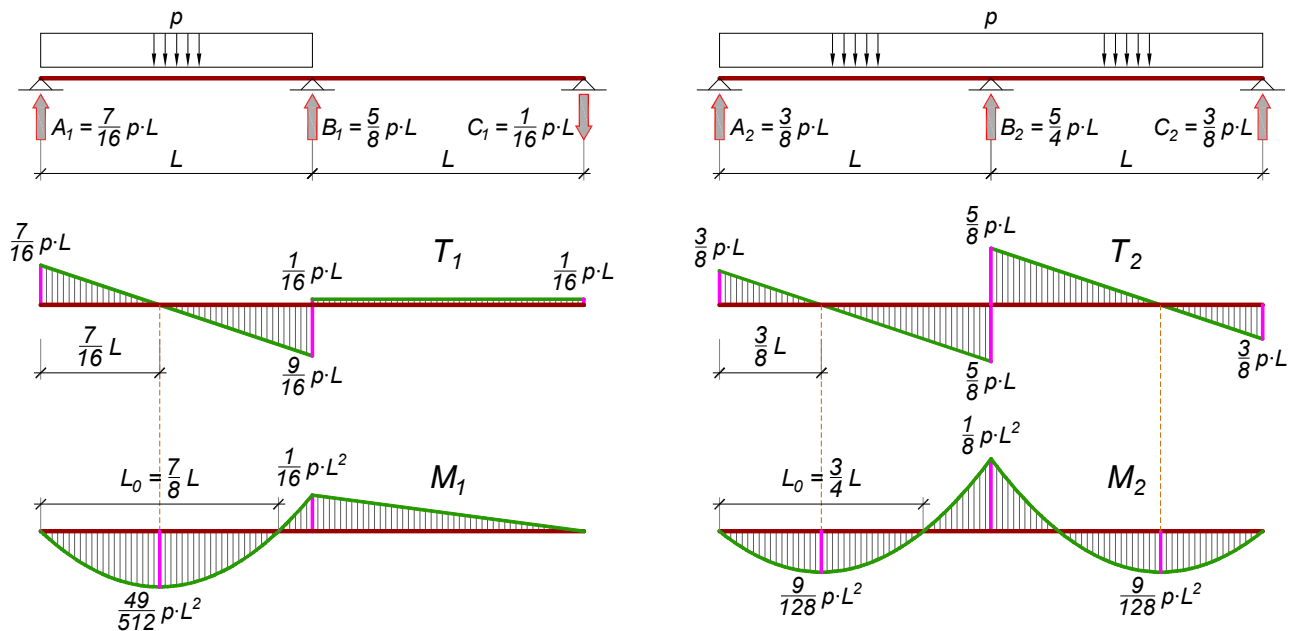
31 Kontinualna greda preko tri oslonca, raspona **2×6.0 m**, pravougaonog poprečnog preseka **b/d = 40/60 cm**, opterećena je jednako raspodeljenim stalnim opterećenjem **g=30 kN/m** (uključena i sopstvena težina nosača, deluje na oba raspona) i povremenim opterećenjem **p=60 kN/m** (deluje u proizvoljnom položaju na nosaču). Potrebno je:

- odrediti potrebnu površinu armature u karakterističnim presecima prema merodavnim momentima savijanja. Obezbediti da u svim poprečnim presecima dilatacija zategnute armature bude barem 7‰ (dimenzije preseka ne menjati);
- izvršiti osiguranje od glavnih napona zatezanja na svim delovima nosača gde je to potrebno (u slučaju primene koso povijenih profila, mesta povijanja odrediti konstrukcijom integralne krive);
- za usvojeni raspored armature nad osloncem sračunati napone u betonu i armaturi, srednje rastojanje i karakterističnu širinu prslina ($t=0$);
- usvajajući geometrijske karakteristike i armaturu preseka u polju, sračunati maksimalni ugib nosača usled stalnog opterećenja, vodeći računa o uticaju tečenja betona ($\varphi_{\infty}=2.5$);
- ukoliko je presek sa maksimalnim momentom savijanja u polju armiran kao na skici desno, sračunati koliko je povremeno opterećenje p_1 moguće naneti na nosač (u kombinaciji sa zadatim stalnim opterećenjem g) uz zadovoljenje propisanih koeficijenata sigurnosti. Smatrati da se i ovo opterećenje može naći u bilo kom položaju na nosaču. U obzir uzeti i nosivost pritisnute armature u preseku. Kvalitet materijala: **MB 30, RA 400/500**.



Dijagrami presečnih sila

Reakcije oslonaca, dijagrami momenata savijanja i transverzalnih sila na kontinualnom nosaču preko dva jednaka raspona, usled jednako raspodeljenog opterećenja na jednom, odnosno oba raspona, prikazani su na narednoj skici.

**DIMENZIONISANJE PREMA MOMENTIMA SAVIJANJA**

$$MB 30 \Rightarrow f_B = 20.5 \text{ MPa} = 2.05 \text{ kN/cm}^2 ; \tau_r = 1.1 \text{ MPa} = 0.11 \text{ kN/cm}^2$$

Presek nad osloncem

Maksimalni moment se dobija kada povremeno opterećenje deluje na čitavom nosaču:

$$q_u = 1.6 \times g + 1.8 \times p = 1.6 \times 30 + 1.8 \times 60 = 156 \text{ kN/m}$$

$$M_{u,max} = \frac{q_u \times L^2}{8} = \frac{156 \times 6.0^2}{8} = 702 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 40/60/53 \text{ cm}$$

$$k = \frac{53}{\sqrt{\frac{702 \times 10^2}{40 \times 2.05}}} = 1.811 \Rightarrow \varepsilon_a < 7.0\%$$

Dilatacija ε_{a1} se načelno može zadržati na zahtevanom nivou ili povećanjem dimenzije preseka (što u konkretnom primeru nije dopušteno, "dimenzije preseka ne menjati"), ili primeniti dvostruko armiranje, zadržavajući dilataciju na traženom nivou:

$$\text{usv. } \varepsilon_a = 7\% \Rightarrow k^* = 2.074 ; \bar{\mu}^* = 26.984\%$$

$$M_{abu} = \left(\frac{53}{2.074} \right)^2 \times 0.40 \times 2.05 = 535.4 \text{ kNm} \Rightarrow \Delta M_{au} = 702 - 535.4 = 166.6 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_2 = 5 \text{ cm} \Rightarrow A_{a2} = \frac{166.6 \times 10^2}{(53 - 5) \times 40} = 8.59 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 26.984 \times \frac{40 \times 53}{100} \times \frac{2.05}{40} + 8.59 = 37.91 \text{ cm}^2$$

usvojeno A_{a1} : **10RØ22** (38.00 cm²) – gornja zona

usvojeno A_{a2} : **3RØ22** (11.40 cm²) – donja zona

Presek u polju

Maksimalni moment se dobija kada povremeno opterećenje deluje samo u jednom polju. Maksimalne vrednosti momenata M_g i M_p nije potrebno sračunati, jer se ne javljaju u istom preseku. Potrebno je naći presek sa maksimalnim graničnim momentom M_u , a to je presek u kome je odgovarajuća transverzalna sila $T_u=0$:

$$A_g = \frac{3}{8} \times 30 \times 6.0 = 67.5 \text{ kN} ; A_{p1} = \frac{7}{16} \times 60 \times 6.0 = 157.5 \text{ kN}$$

$$A_u = 1.6 \times 67.5 + 1.8 \times 157.5 = 391.5 \text{ kN}$$

$$q_u = 1.6 \times 30 + 1.8 \times 60 = 156 \text{ kN/m}$$

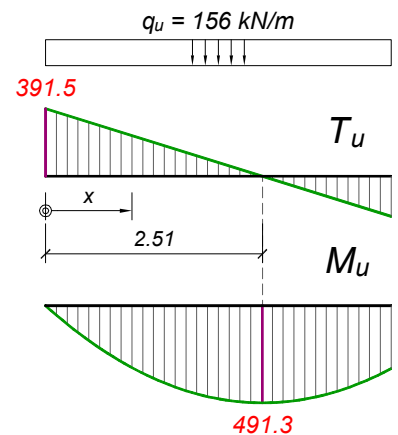
$$x = A_u / q_u = 391.5 / 156 = 2.51 \text{ m}$$

$$M_{u,max} = 391.5 \times 2.51 - \frac{156 \times 2.51^2}{2} = 491.3 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{53}{\sqrt{\frac{491.3 \times 10^2}{40 \times 2.05}}} = 2.165 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_{a1} = 3.5 / 8.128\% \\ \mu = 24.366\% \end{cases}$$

$$A_{a1} = 24.366 \times \frac{40 \times 53}{100} \times \frac{2.05}{40} = 26.47 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **7RØ22** (26.61 cm²) – donja zona



OSIGURANJE OD GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA

Presek kod srednjeg oslonca

Maksimalna sila T_u se dobija kada se povremeno opterećenje nalazi na oba raspona:

$$T_g = 5/8 \times 30 \times 6.0 = 112.5 \text{ kN}$$

$$T_p = 5/8 \times 60 \times 6.0 = 225 \text{ kN}$$

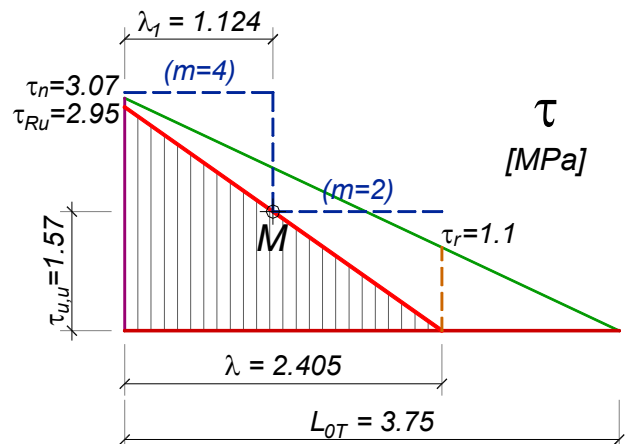
$$T_u = 1.6 \times 112.5 + 1.8 \times 225 = 585 \text{ kN}$$

$$\tau_n = \frac{585}{40 \times 0.9 \times 53} = 0.307 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r \\ < 3\tau_r \end{cases}$$

$$L_{0T} = T_u / q_u = 585 / 156 = 3.75 \text{ m}$$

$$\lambda = 3.75 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.307}\right) = 2.405 \text{ m}$$

$$\tau_{Ru} = \frac{3}{2} \times (0.307 - 0.11) = 0.295 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



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

$$e_u \leq \frac{2 \times a_u^{(1)}}{40 \times 0.295} \times 40 \times (\cos 90^\circ + \sin 90^\circ \times \cot 45^\circ) = 6.78 \times a_u^{(1)}$$

pretp. RØ10 ($a_u^{(1)} = 0.785 \text{ cm}^2$) $\Rightarrow e_u \leq 6.78 \times 0.785 = 5.33 \text{ cm}$

Ako se usvoje četvorosečne uzengije, potrebno rastojanje je dvaput veće, $e_u \leq 10.66 \text{ cm}$.

usvojeno: **URØ10/10** ($m=4$)

Korektno je sračunati dužinu λ_1 na kojoj su potrebne četvorosečne uzengije (od tačke M do oslonca). Napon koji mogu prihvatiti dvosečne uzengije je:

$$\tau_{u,u} = \frac{2 \times 0.785}{40 \times 10} \times 40 = 0.157 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \lambda_1 = 2.405 \times \left(1 - \frac{0.157}{0.295}\right) = 1.124 \text{ m}$$

Na ostalom delu dužine osiguranja usvojene su dvosečne uzengije URØ10/10. Kao alternativa, umesto unutrašnje uzengije mogu se postaviti koso povijeni profili.

$$\Delta A_a = 0 \quad (\text{»špic« momenta})$$

Presek kod krajnjeg oslonca

Maksimalna sila T_u u ovom preseku se dobija kada povremeno opterećenje deluje samo u razmatranom polju - ista kombinacija daje i maksimalni moment savijanja u polju, pa je maksimalna transverzalna sila već sračunata:

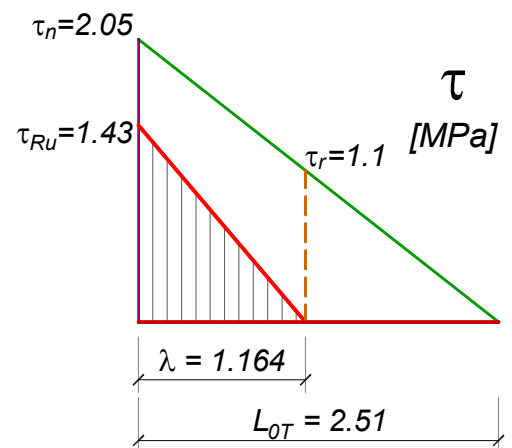
$$T_u = 1.6 \times 67.5 + 1.8 \times 157.5 = 391.5 \text{ kN}$$

$$\tau_n = \frac{391.5}{40 \times 0.9 \times 53} = 0.205 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \left\{ \begin{array}{l} > \tau_r = 1.1 \text{ MPa} \\ < 3\tau_r \end{array} \right.$$

$$L_{OT} = 391.5 / 156 = 2.51 \text{ m}$$

$$\lambda = 2.51 \times \left(1 - \frac{0.11}{0.205}\right) = 1.164 \text{ m}$$

$$\tau_{Ru} = \frac{3}{2} \times (0.205 - 0.11) = 0.143 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



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

$$e_u \leq \frac{2 \times a_u^{(1)}}{40 \times 0.143} \times 40 \times (\cos 90^\circ + \sin 90^\circ \times \cot 45^\circ) = 14.01 \times a_u^{(1)}$$

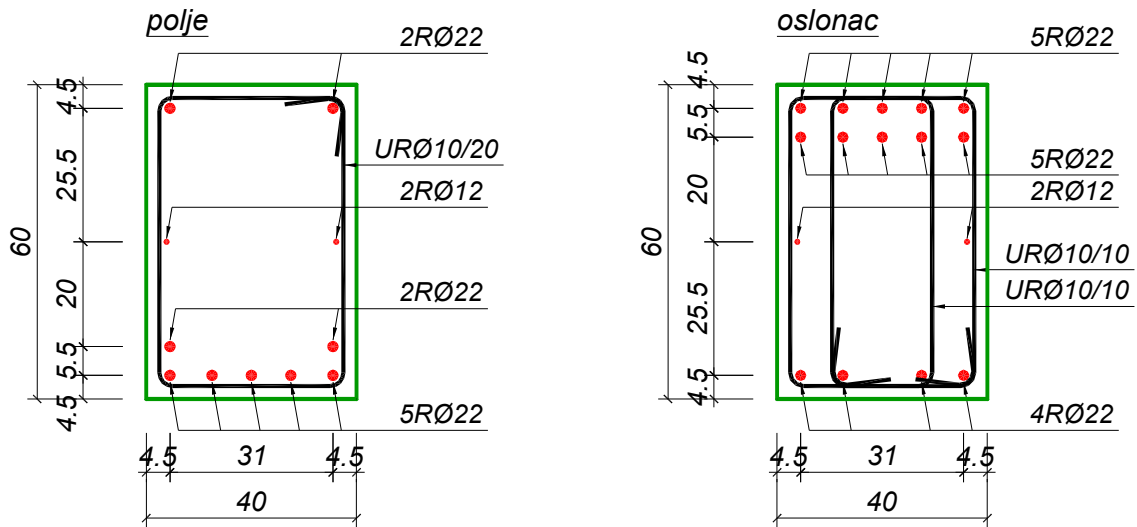
pretp. RØ10 ($a_u^{(1)} = 0.785 \text{ cm}^2$) $\Rightarrow e_u \leq 14.01 \times 0.785 = 11.0 \text{ cm}$

usvojeno: **URØ10/10** ($m=2$)

$$\Delta A_a = \frac{T_{mu}}{2\sigma_v} \times (\cot \theta - \cot \alpha) = \frac{391.5}{2 \times 40} \times (1 - 0) = 4.89 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3RØ22** (11.40 cm^2)¹

¹ Minimalno trećina armature iz polja (usvojeno **7RØ22**)



PRORAČUN NAPONA – PRESEK NAD OSLONCEM

$$MB\ 30 \Rightarrow E_b = 31.5\ GPa \Rightarrow n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{210}{31.5} = 6.67$$

$$a_1 = \frac{5 \times 4.5 + 5 \times 10}{10} = 7.25\ cm \Rightarrow h = 60 - 7.25 = 52.75\ cm$$

$$a_2 = 4.5\ cm \Rightarrow \frac{a_2}{h} = \frac{4.5}{52.75} = 0.085$$

$$A_{a1} = 10RØ22 \Rightarrow \mu_1 = \frac{38.00}{40 \times 52.75} = 0.0180 = 1.80\%$$

$$A_{a2} = 4RØ22 \Rightarrow \mu_2 = \frac{7.60}{40 \times 52.75} = 0.0072 = 0.72\%$$

$$s^2 + 2 \times 6.67 \times (1.80 + 0.72) \times 10^{-2} \times s - 2 \times 6.67 \times (1.80 + 0.72 \times 0.085) \times 10^{-2} = 0$$

$$s^2 + 0.336 \times s - 0.248 = 0 \Rightarrow s = 0.358$$

$$J_{Iib} = \frac{0.358^2}{2} \times \left(1 - \frac{0.358}{3}\right) = 0.056$$

$$M_a = M_g + M_p = \frac{(30 + 60) \times 6.0^2}{8} = 405\ kNm$$

$$\sigma_b = \frac{405 \times 10^2}{40 \times 52.75^2} \times \frac{0.358}{0.056 + 6.67 \times 0.0072 \times (0.358 - 0.085) \times (1 - 0.085)} = 19.0\ \frac{kN}{cm^2}$$

$$\sigma_b = 19.0\ MPa \Rightarrow \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} = \frac{19.0}{31.5 \times 10^3} = 0.605\%$$

$$\sigma_{a1} = 6.67 \times 19.0 \times \frac{1 - 0.358}{0.358} = 227.8\ MPa \Rightarrow \varepsilon_{a1} = \frac{227.8}{210 \times 10^3} = 1.085\%$$

$$\sigma_{a2} = 6.67 \times 19.0 \times \frac{0.358 - 0.085}{0.358} = 96.7\ MPa \Rightarrow \varepsilon_{a2} = \frac{96.7}{210 \times 10^3} = 0.460\%$$

PRORAČUN RAZMAKA I ŠIRINE PRSLINA – PRESEK NAD OSLONCEM

$$MB\ 30 \Rightarrow f_{bzm} = 2.4\ MPa \Rightarrow f_{bzs} = 0.7 \times 0.24 \times \left(0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.6}} \right) = 0.177 \frac{kN}{cm^2}$$

$$W_{b1} = \frac{40 \times 60^2}{6} = 24000\ cm^3 \Rightarrow M_r = 0.177 \times 24000 \times 10^{-2} = 42.50\ kNm < M = 405\ kNm$$

$$a_0 = a' - \emptyset/2 = 4.5 - 2.2/2 = 3.4\ cm$$

$$\emptyset = 22\ mm = 2.2\ cm$$

$$e_{\emptyset} = 31.0/4 = 7.75\ cm$$

$$k_1 = 0.4\ (RA\ 400/500)$$

$$k_2 = 0.125\ (\text{čisto savijanje})$$

$$h_{bz,ef} \leq \left\{ \begin{array}{l} 10 + 7.5 \times 2.2 = 26.5\ cm \\ d/2 = 60/2 = 30\ cm \end{array} \right\} = 26.5\ cm \Rightarrow \mu_{z1,ef} = \frac{38.00}{40 \times 26.5} = 0.0359 = 3.59\%$$

$$I_{ps} = 2 \times \left(3.4 + \frac{7.75}{10} \right) + 0.4 \times 0.125 \times \frac{2.2}{0.0359} = 11.4\ cm$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0\ (RA\ 400/500) \\ \beta_2 = 1.0\ (t = 0) \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_a = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \left(\frac{42.5}{405} \right)^2 = 0.989$$

$$a_{pk} = 1.7 \times 0.989 \times 1.085 \times 10^{-3} \times 11.4 = 21 \times 10^{-3}\ cm = 0.21\ mm$$

PRORAČUN UGIBA

$$J_b = \frac{40 \times 60^3}{12} = 720000\ cm^4 ; \quad W_b = \frac{40 \times 60^2}{6} = 24000\ cm^3$$

Usvaja se za elastično rešenje ugib preseka u sredini raspona, mada je maksimalni ugib nosača cca. 4% veći (Prilog 5.1, tabela 3.6, str. 497, Tom 2 PBAB 87):

$$v_b = \frac{2}{384} \times \frac{30 \times 6.0^4}{31.5 \times 10^6 \times 720000 \times 10^{-8}} = 0.89 \times 10^{-3}\ m = 0.89\ mm$$

Kod grednih nosača se kao reprezentativni usvaja presek u polju.

$$a_1 = \frac{5 \times 4.5 + 2 \times 10}{7} = 6.07\ cm \Rightarrow h = 60 - 6.07 = 53.93\ cm$$

$$A_{a1} = 26.61\ cm^2\ (7R\emptyset22)$$

$$A_{a2} = 7.60\ cm^2\ (2R\emptyset22) \Rightarrow A_{a2}/A_{a1} = 0.286 \approx 0.3$$

Koeficijenti za proračun krivine elementa pravougaonog preseka izloženog složenom savijanju su grafički očitavani (PBAB 87, Tom 2, Prilog 3.4).

$$\alpha_1 = \frac{a_1}{d} = \frac{6.07}{60} \approx 0.1 ; \quad \alpha_2 = \frac{a_2}{d} = \frac{4.5}{60} = 0.075 ; \quad \frac{n \times A_{a1}}{b \times h} = \frac{6.67 \times 26.61}{40 \times 53.97} = 0.0822$$

Ugib u trenutku t=0

$$k_a^I = 0.85\ (\text{dijagram 3.4.2}) \Rightarrow v_0^I = 0.85 \times 0.89 = 0.76\ mm$$

$$k_a^{II} = 2.25\ (\text{dijagram 3.4.6}) \Rightarrow v_0^{II} = 2.25 \times 0.89 = 2.01\ mm$$

$$M_g \approx \frac{9}{128} \times 30 \times 6.0^2 = 75.9 \text{ kNm}$$

$$f_{bzs} = 0.24 \times \left(0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.6}} \right) = 0.253 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \Rightarrow M_r = 0.253 \times 24000 \times 10^{-2} = 60.7 \text{ kNm} < M_g$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_{0,g} = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \frac{60.7}{75.9} = 0.200$$

$$v_{g,0} = (1 - \zeta) \times v_0^I + \zeta \times v_0^{II} = (1 - 0.200) \times 0.76 + 0.200 \times 2.01 = 1.01 \text{ mm}$$

Ugib u trenutku $t \rightarrow \infty$

$$\chi_\infty = 0.8 \quad ; \quad \varphi_\infty = 2.5 \Rightarrow \chi_\infty \times \varphi_\infty = 0.8 \times 2.5 = 2$$

$$k_\varphi^I = 0.67 \text{ (dijagram 3.4.14)} \Rightarrow v_\infty^I = (1 + 0.67 \times 2.5) \times 0.76 = 2.03 \text{ mm}$$

Interpolacijom vrednosti očitanih sa dijagrama 3.4.25 i 3.4.26 sledi:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha_2 = 0.05 \Rightarrow k_\varphi^{II} = 0.16 \\ \alpha_2 = 0.10 \Rightarrow k_\varphi^{II} = 0.17 \end{array} \right\} \Rightarrow k_\varphi^{II} = 0.16 + \frac{0.075 - 0.05}{0.1 - 0.05} \times (0.17 - 0.16) = 0.165$$

$$k_\varphi^{II} = 0.148 \text{ (dijagrami 3.4.25, 26)} \Rightarrow v_\infty^{II} = (1 + 0.165 \times 2.5) \times 2.01 = 2.84 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA 400 / 500)} \\ \beta_2 = 0.5 \text{ (} t \rightarrow \infty \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_{\infty,g} = 1 - 1.0 \times 0.5 \times \frac{60.7}{75.9} = 0.600$$

$$v_{g,\infty} = (1 - \zeta) \times v_\infty^I + \zeta \times v_\infty^{II} = (1 - 0.600) \times 2.03 + 0.600 \times 2.84 = 2.51 \text{ mm}$$

32 Dimenzionisati stub pravougaonog poprečnog preseka, dimenzija $b/d = 25/60$ cm, opterećen sledećim uticajima:

$$\begin{array}{ll} M_g = 100 \text{ kNm} & ; \quad N_g = 200 \text{ kN} \text{ (stalno opterećenje)} \\ M_p = 50 \text{ kNm} & ; \quad N_p = 400 \text{ kN} \text{ (vertikalno povremeno opterećenje)} \\ M_\Delta = \pm 200 \text{ kNm} & ; \quad N_\Delta = 0 \text{ (dopunsko opterećenje, alternativno dejstvo)} \end{array}$$

Povremeno i dopunsko opterećenje mogu, ali i ne moraju delovati istovremeno. Kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500.

Sva neophodna objašnjenja data su u Primeru 28. Bitna razlika je što je alternativno dejstvo u ovom slučaju dopunsko opterećenje, o čemu treba povesti računa kod određivanja vrednosti parcijalnih koeficijenata sigurnosti (član 80. PBAB 87).

Zategnuta "leva" ivica preseka, $G+\Delta$

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

$$\text{pretp. } a_1 = 7.5 \text{ cm} \Rightarrow b/d/h = 25/60/52.5 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} M_u = 1.3 \times 100 + 1.3 \times 200 = 390 \text{ kNm} \\ N_u = 1.3 \times 200 = 260 \text{ kN} \end{array} \right\} \Rightarrow M_{au} = 390 + 260 \times \left(\frac{0.6}{2} - 0.075 \right) = 448.5 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{52.5}{\sqrt{\frac{451.1 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.775 \Rightarrow \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 3.592\text{‰} ; \bar{\mu} = 39.952\%$$

$$A_a = 39.952 \times \frac{25 \times 52.5}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{260}{40} = 20.37 \text{ cm}^2$$

Zategnuta "leva" ivica preseka, G+P+Δ

$$M_u = 1.3 \times 100 + 1.5 \times 50 + 1.3 \times 200 = 465 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.3 \times 200 + 1.5 \times 400 = 860 \text{ kN}$$

$$M_{au} = 465 + 860 \times \left(\frac{0.6}{2} - 0.075 \right) = 658.5 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{52.5}{\sqrt{\frac{658.5 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.465 \Rightarrow \varepsilon_a < 3.0\text{‰} \Rightarrow A_{a2} > 0$$

$$\text{usv. } \varepsilon_a = 3\text{‰} \Rightarrow k^* = 1.719 ; \bar{\mu}^* = 43.590\%$$

$$M_{abu} = \left(\frac{52.5}{1.719} \right)^2 \times 0.25 \times 2.05 = 477.8 \text{ kNm} \Rightarrow \Delta M_{au} = 658.5 - 477.8 = 180.7 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_2 = 5 \text{ cm} \Rightarrow A_{a2} = \frac{180.7 \times 10^2}{(52.5 - 5) \times 40} = 9.51 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 43.590 \times \frac{25 \times 52.5}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{860}{40} + 9.51 = 17.33 < 20.37 \text{ cm}^2$$

Zategnuta "desna" ivica preseka, G-Δ

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

$$M_u = 1.0 \times (-100) + 1.3 \times 200 = 160 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.0 \times 200 = 200 \text{ kN}$$

$$M_{au} = 160 + 200 \times \left(\frac{0.6}{2} - 0.05 \right) = 210 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{55}{\sqrt{\frac{210 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.717 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.504 / 10\text{‰} \\ \bar{\mu} = 14.697\% \end{cases}$$

$$A_{a1} = 14.697 \times \frac{25 \times 55}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{200}{40} = 5.36 < 9.51 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6RØ22** (22.80 cm²) – "levo"

3RØ22 (11.40 cm²) – "desno"

