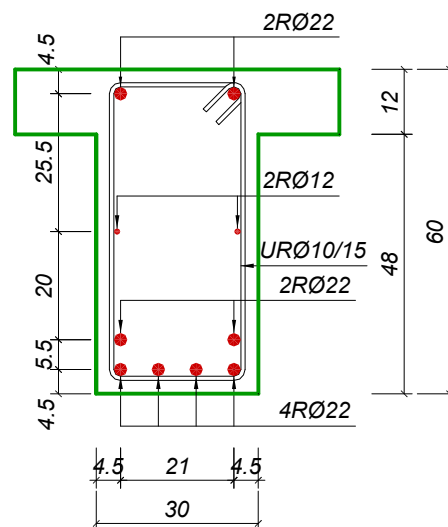


1 Odrediti veličinu jednako raspodeljenog povremenog opterećenja koju može prihvatiti nosač sistema proste grede, raspona $L=6$ m čiji je poprečni presek prikazan na skici. Prilikom proračuna nosivosti preseka uzeti u obzir i poprečnu i podužnu armaturu. Kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500. Računati samo sa zadatim opterećenjima.



NOSIVOST PREMA MOMENTIMA SAVIJANJA

Potrebno je naći moment loma zadatog preseka. Ovaj tip problema se može rešavati na nekoliko načina vrlo različitog stepena složenosti (zanemarujući ili uzimajući u obzir nosivost pritisnute armature, iterativnim - analitičkim postupkom ili primenom dijagrama interakcije) pa je potrebno uočiti da li se traži neki poseban način proračuna.

Prednost, naravno, uvek treba dati najjednostavnijim, a dovoljno tačnim rešenjima. Tekstom zadatka se ne traži da se proračunom tretira i armatura smeštena u pritisnutoj zoni preseka. Pored toga, kod preseka širine pritisnute zone 60 cm, doprinos pritisnute armature u slučaju čistog savijanja, nije veliki, odnosno teško da će premašiti 1-2%, što je reda veličine tačnosti iterativnog proračuna. Dakle, određivanje momenta loma uz zanemarenje nosivosti pritisnute armature.

Tip preseka zavisi od oblika pritisnute zone - ukoliko se proračunom dobije da je $x \leq d_p = 12$ cm, presek je **pravougaoni**, širine $B=60$ cm, u protivnom je oblika "T". Puno manje posla je u prvom slučaju, pa je logično poći od te pretpostavke i odmah je proveriti.

$$A_{a1} = 22.80 \text{ cm}^2 \text{ (6RØ22)}$$

$$a_1 = \frac{4 \times 4.5 + 2 \times 10}{6} = 6.33 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 6.33 = 53.67 \text{ cm}$$

U slučaju jednostruko armiranog pravougaonog preseka, uslov ravnoteže normalnih sila, iz koga se određuje položaj neutralne linije, može se napisati u obliku:

$$\bar{\mu}_1 = \frac{A_{a1} \times \sigma_v}{b \times h \times f_B} = \frac{22.80 \times 40}{60 \times 53.67 \times 2.05} = 13.821\% \xrightarrow{\text{TABLICE}} \begin{aligned} s &= 0.192 \\ k &= 2.797 \\ \varepsilon_b / \varepsilon_a &= 2.375 / 10\% \end{aligned}$$

$$x = 0.192 \times 53.67 = 10.3 \text{ cm} < d_p = 12 \text{ cm}$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije je dobra, pa se presek proračunava kao pravougaoni, širine 60 cm.

Zadovoljena je i druga učinjena pretpostavka, koja ovde nije eksplicitno navedena:

$$\varepsilon_{a1} > \varepsilon_v = \frac{\sigma_v}{E_a} = \frac{400}{210 \times 10^3} = 1.905\% \Rightarrow \sigma_{a1} = \sigma_v$$

U slučaju dimenzionisanja preseka postoji ograničenje $\varepsilon_{a1} \geq 3\%$, što obezbeđuje da armatura uđe u prag tečenja. Međutim, kod utvrđivanja nosivosti poznatog preseka ne možemo uvek biti sigurni da je ovaj uslov zadovoljen (recimo da je presek dimenzionisan prema nekim drugim propisima ili je prosto učinjen računski propust), pa je vrednost napona u zategnutoj armaturi potrebno formalno utvrditi.

Traženi moment loma se sračunava iz uslova ravnoteže momenata savijanja, koji se u ovom slučaju može napisati u obliku:

$$M_u = \left(\frac{h}{k}\right)^2 \times b \times f_B = \left(\frac{53.67}{2.797}\right)^2 \times 60 \times 2.05 \times 10^{-2} = 452.7 \text{ kNm}$$

Rezultat proračuna nije moment loma, već opterećenje koje nosač može prihvatiti. Uslovom zadatka nije definisano nijedno opterećenje (očito se i sopstvena težina nosača smatra zanemarljivom) pa sledi:

$$M_u = \gamma_{u,p} \times M_p = \gamma_{u,p} \times \frac{p_1 \times L^2}{8} \Rightarrow p_1 \leq \frac{8 \times M_u}{\gamma_{u,p} \times L^2} = \frac{8 \times 452.7}{1.8 \times 6.0^2} = 55.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Šta je moglo da iskomplikuje ovako jednostavan proračun?

Recimo, činjenica da se neutralna linija nađe u rebu. Sprovodi se proračun za "T" presek, dakle iterativno određivanje položaja neutralne linije iz uslova ravnoteže normalnih sila, bez obzira da li je potrebno u proračun uvesti i nosivost pritisnute armature u preseku. Ovo bi se u primeru dogodilo kada bi, umesto šipkama $\varnothing 22$, bio armiran šipkama $\varnothing 25$ sa istim rasporedom ($x = 12.34 \text{ cm}$, $M_u = 573.5 \text{ kNm}$).

Mali spas u ovoj situaciji može da bude uzimanje u obzir pritisnute armature u preseku. U varijanti sa šipkama $\varnothing 25$ i uzimanjem u obzir nosivosti pritisnute armature, dobija se da se neutralna linija u ploči ($x = 10.25 \text{ cm}$, $M_u = 584.1 \text{ kNm}$). U čemu je "spas", kad je postupak određivanja položaja neutralne linije iterativan? Ne mora da bude, ukoliko se iskoristi dijagram interakcije. Dokazano je da je presek pravougaoni ($B=60 \text{ cm}$), potrebno je odabrati odgovarajući dijagram, u konkretnom slučaju dijagram 104 (Najdanović, Alendar, Ješić), sračunati mehanički procenat armiranja ukupnom armaturom i očitati vrednost m_u .

NOSIVOST U ODNOSU NA TRANSVERZALNE SILE

Zadatkom nije precizirano postojanje koso povijenih profila, niti je dat plan armature iz koga bi se moglo zaključiti koliko šipki armature je prevedeno preko slobodnog oslonca (procena nosivosti dodatne podužne armature ΔA_a). Stoga preostaje da se nosivost u odnosu na transverzalne sile odredi iz nosivosti datih uzengija.

Napon koji mogu prihvatiti uzengije se sračunava kao:

$$\tau_{u,u} = \frac{m \times a_u^{(1)}}{b \times e_u} \times \sigma_v = \frac{2 \times 0.785}{30 \times 15} \times 40 = 0.14 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 1.4 \text{ MPa}$$

Potreban prečnik ili češće razmak uzengija se sračunavaju iz maksimalnog napona τ_{Ru} . Dakle, napon koji mogu prihvatiti uzengije $\tau_{u,u}$ treba da bude najmanje jednak naponu τ_{Ru} .

S druge strane, napon τ_{Ru} se sračunava kao:

$$\tau_{Ru} = \frac{3}{2} \times (\tau_n - \tau_r) \quad \text{za} \quad \tau_r \leq \tau_n \leq 3\tau_r$$

$$\tau_{Ru} = \tau_n \quad \text{za} \quad 3\tau_r \leq \tau_n \leq 5\tau_r$$

Kako je napon koji je sračunat:

$$\tau_{Ru} = \tau_{u,u} = 1.4 \text{ MPa} < 3\tau_r = 3 \times 1.1 = 3.3 \text{ MPa}$$

sledi:

$$\tau_n = \frac{2}{3} \times \tau_{Ru} + \tau_r = \frac{2}{3} \times 1.4 + 1.1 = 2.03 \text{ MPa} = 0.203 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_n = \frac{T_u}{b \times 0.9 \times h} \Rightarrow T_u = 0.203 \times 30 \times 0.9 \times 53.67 = 294.3 \text{ kN}$$

$$T_u = \gamma_{u,p} \times T_p = \gamma_{u,p} \times \frac{p_2 \times L}{2} \Rightarrow p_2 \leq \frac{2 \times T_u}{\gamma_{u,p} \times L} = \frac{2 \times 294.3}{1.8 \times 6.0} = 54.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Merodavno je, naravno, manje od dva sračunata opterećenja, dakle $p = p_2 = 54.5 \text{ kN/m}$.

2 Za nosač zadat u Zadatku 1, opterećenje $p = 30 \text{ kN/m}$ i presek u polju, sračunati napone u betonu i armaturi, srednje rastojanje i karakterističnu širinu prslina.

Pritisnuta je gornja ivica nosača, pa je oblik pritisnute zone preseka ili pravougaoni, širine $B=60 \text{ cm}$, ili, za slučaj da je neutralna linija u rebru, oblika T . Iz praktičnih razloga, pretpostavlja se da je neutralna linija u ploči, pa se položaj neutralne linije određuje kao za pravougaoni poprečni presek, rešavanjem kvadratne jednačine oblika:

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

$$MB 30 \Rightarrow E_b = 31.5 \text{ GPa (čl. 52. BAB 87)} \Rightarrow n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{210}{31.5} = 6.67$$

$$a_1 = \frac{4 \times 4.5 + 2 \times 10}{6} = 6.33 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 6.33 = 53.67 \text{ cm}$$

$$a_2 = 4.5 \text{ cm} \Rightarrow \frac{a_2}{h} = \frac{4.5}{53.67} = 0.084 ; \delta = \frac{d_p}{h} = \frac{12}{53.67} = 0.224$$

$$A_{a1} = 6R\emptyset 22 \Rightarrow \mu_1 = \frac{A_{a1}}{b \times h} = \frac{22.80}{60 \times 53.67} = 0.0071 = 0.71\%$$

$$A_{a2} = 2R\emptyset 22 \Rightarrow \mu_2 = \frac{A_{a2}}{b \times h} = \frac{7.60}{60 \times 53.67} = 0.0024 = 0.24\%$$

$$s^2 + 2 \times 6.67 \times (0.71 + 0.24) \times 10^{-2} \times s - 2 \times 6.67 \times (0.71 + 0.24 \times 0.084) \times 10^{-2} = 0$$

$$s^2 + 0.126 \times s - 0.097 = 0 \Rightarrow s = 0.255 > \delta = 0.224$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije nije zadovoljena, pa se presek mora proračunati kao T presek. U ovom slučaju položaj neutralne linije se sračunava iterativno, rešavanjem kvadratne jednačine oblika:

$$F_{(s)} = -n \times (\mu_1 + \mu_2) \times s - J_{lb} + n \times (\mu_1 + \mu_2 \times \alpha_2) = 0$$

pri čemu je:

$$J_{lb} = \frac{B}{b} \times \frac{s^2}{2} - \left(\frac{B}{b} - 1 \right) \times \frac{(s - \delta)^2}{2}$$

Pri tome treba uočiti da se MORA dobiti rezultat $s > 0.255$, koliko je dobijeno proračunom položaja neutralne linije za pravougaoni presek širine 60 cm .

$$\mu_1 = \frac{A_{a1}}{b \times h} = \frac{22.80}{30 \times 53.67} = 0.0142 = 1.42\%$$

$$\mu_2 = \frac{A_{a2}}{b \times h} = \frac{7.60}{30 \times 53.67} = 0.0047 = 0.47\%$$

$$\text{pretp. } s = 0.30 \Rightarrow J_{lb} = \frac{60}{30} \times \frac{0.30^2}{2} - \left(\frac{60}{30} - 1 \right) \times \frac{(0.3 - 0.224)^2}{2} = 0.087$$

$$F_{(s)} = -6.67 \times (1.42 + 0.47) \times 10^{-2} \times s - 0.087 + 6.67 \times (1.42 + 0.47 \times 0.084) \times 10^{-2}$$

$$F_{(s)} = -0.126 \times 0.30 - 0.087 + 0.0971 = -0.0278 \neq 0 \Rightarrow 0.255 < s < 0.30$$

$$\text{pretp. } s = 0.26 \Rightarrow J_{lb} = \frac{60}{30} \times \frac{0.26^2}{2} - \left(\frac{60}{30} - 1 \right) \times \frac{(0.26 - 0.224)^2}{2} = 0.067$$

$$F_{(s)} = -0.126 \times 0.26 - 0.067 + 0.0971 = -0.0026 \neq 0 \Rightarrow 0.255 < s < 0.26$$

$$\text{pretp. } s = 0.2557 \Rightarrow J_{lb} = \frac{60}{30} \times \frac{0.2557^2}{2} - \left(\frac{60}{30} - 1 \right) \times \frac{(0.2557 - 0.224)^2}{2} = 0.065$$

$$F_{(s)} = -0.126 \times 0.2557 - 0.065 + 0.0971 = 0 \Rightarrow s = 0.2557$$

Kada je određen položaj neutralne linije, sračunava se bezdimenzioni koeficijent J_{lb} :

$$J_{lb} = \frac{B}{b} \times \frac{s^2}{2} \times \left(1 - \frac{s}{3} \right) - \left(\frac{B}{b} - 1 \right) \times \frac{(s - \delta)^2}{2} \times \left(1 - \frac{s + 2 \times \delta}{3} \right)$$

$$\frac{B}{b} = \frac{60}{30} = 2.0 ; \frac{B}{b} - 1 = 1.0$$

$$J_{lb} = 2 \times \frac{0.2557^2}{2} \times \left(1 - \frac{0.2557}{3} \right) - \frac{(0.2557 - 0.224)^2}{2} \times \left(1 - \frac{0.2557 + 2 \times 0.224}{3} \right) = 0.059$$

Konačno, sračunavaju se naponi u betonu i armaturi:

$$\sigma_b = \frac{M_a}{b \times h^2} \times \frac{s}{J_{lb} + n \times \mu_2 \times (s - \alpha_2) \times (1 - \alpha_2)}$$

$$M_a = M = M_p = 30.0 \times 6.0^2 / 8 = 135 \text{ kNm}$$

$$\sigma_b = \frac{135 \times 10^2}{30 \times 53.67^2} \times \frac{0.2557}{0.059 + 6.67 \times 0.0047 \times (0.2557 - 0.084) \times (1 - 0.084)} = 0.62 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_b = 6.2 \text{ MPa} \Rightarrow \varepsilon_b = \frac{\sigma_b}{E_b} = \frac{6.2}{31.5 \times 10^3} = 0.197\text{‰}$$

$$\sigma_{a1} = 6.67 \times 6.2 \times \frac{1 - 0.2557}{0.2557} = 120.4 \text{ MPa} \Rightarrow \varepsilon_{a1} = \frac{120.4}{210 \times 10^3} = 0.573\text{‰}$$

$$\sigma_{a2} = 6.67 \times 6.2 \times \frac{0.2557 - 0.084}{0.2557} = 27.8 \text{ MPa} \Rightarrow \varepsilon_{a2} = \frac{27.8}{210 \times 10^3} = 0.132\text{‰}$$

Naravno, doprinos pritisnute armature je mogao biti zanemaren. Međutim, za razliku od proračuna momenta loma poznatog preseka (Zad. 1), gde se zanemarenjem A_{a2} postupak

proračuna jako pojednostavljuje, kod proračuna napona u preseku položaj neutralne linije se u svakom slučaju određuje na isti način, rešavanjem kvadratne jednačine. U primeru je A_{a2} uzeta u račun jer njenim zanemarenjem beton prihvata veću silu, neutralna linija se spušta i smanjuje šansa da se nađe u ploči ($x \leq d_p$) a proračun pojednostavi (pravougaoni presek, rešenje kvadratne jednačine u zatvorenom obliku). Poređenja radi, da je A_{a2} zanemarena u proračunu, dobili bi se sledeći rezultati:

$$s = 0,2651 \quad ; \quad J_{Iib} = 0.063 \quad ; \quad \sigma_b = 6.5 \text{ MPa} \quad ; \quad \sigma_{a1} = 120.7 \text{ MPa}$$

Napominje se samo da su vrednosti sračunatih napona znatno ispod uobičajenih vrednosti, bliskih dopuštenim naponima. Razmotreni presek može prihvatiti gotovo dvaput veće opterećenje od onog za koje su naponi sračunati ($p_1 = 55.9 \text{ kN/m}$) pa su dobijene vrednosti napona potpuno realne.

ODREĐIVANJE ŠIRINE PRSLINA

Moment savijanja pri kome nastaje prslina M_r određen je izrazom:

$$M_r = f_{bzs} \times W_{i1} \approx f_{bzs} \times W_{b1}$$

$$MB 30 \Rightarrow f_{bzm} = 2.4 \text{ MPa (član 51. PBAB 87)}$$

$$d = 60 \text{ cm} = 0.6 \text{ m} \Rightarrow f_{bzs} = 0.7 \times 0.24 \times \left(0.6 + \frac{0.4}{\sqrt[4]{0.6}} \right) = 0.177 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$W_{b1} = \frac{30 \times 60^2}{6} = 18000 \text{ cm}^3 \Rightarrow M_r = 0.177 \times 18000 = 3190 \text{ kNcm}$$

$$M_r = 31.9 \text{ kNm} < M = M_p = 135 \text{ kNm} \Rightarrow \text{presek sa prslinom}$$

$$a_0 = a^I - \emptyset/2 = 4.5 - 2.2/2 = 3.4 \text{ cm}$$

$$\emptyset = 22 \text{ mm} = 2.2 \text{ cm}$$

$$e_\emptyset = 21.0/3 = 7.0 \text{ cm}$$

$$k_1 = 0.4 \text{ (RA 400/500)}$$

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

$$h_{bz,ef.} \leq \left\{ \begin{array}{l} 10 + 7.5 \times 2.2 = 26.5 \text{ cm} \\ d / 2 = 60 / 2 = 30 \text{ cm} \end{array} \right\} = 26.5 \text{ cm}$$

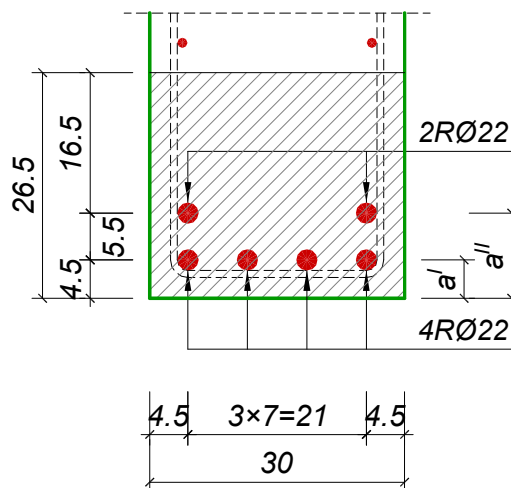
$$\mu_{z1,ef.} = \frac{A_{a1}}{A_{bz,ef.}} = \frac{22.80}{30 \times 26.5} = 0.0287 = 2.87\%$$

$$I_{ps} = 2 \times \left(3.4 + \frac{7}{10} \right) + 0.4 \times 0.125 \times \frac{2.2}{0.0287} = 12.0 \text{ cm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA400 / 500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_a = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \left(\frac{31.9}{135} \right)^2 = 0.944$$

$$a_{pk} = 1.7 \times \zeta_a \times \varepsilon_{a1} \times I_{ps}$$

$$a_{pk} = 1.7 \times 0.944 \times 0.573 \times 10^{-3} \times 12.0 = 11 \times 10^{-3} \text{ cm} = 0.11 \text{ mm}$$



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

$$\begin{aligned} M_g &= 100 \text{ kNm} & ; & & N_g &= 200 \text{ kN} & & (\text{stalno opterećenje}) \\ M_p &= 0 & & & N_p &= 400 \text{ kN} & & (\text{vertikalno povremeno opterećenje}) \\ M_w &= \pm 200 \text{ kNm} & ; & & N_w &= 0 & & (\text{vetar, alternativno dejstvo}) \end{aligned}$$

Kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500.

Tok razmišljanja bi trebalo da bude otprilike ovakav:

- stub je napregnut na složeno savijanje, (verovatno) u fazi velikog ekscentriciteta¹;
- u takvoj proračunskoj situaciji **momenti savijanja su dominantni uticaji**, pa treba pronaći njihove maksimalne vrednosti. Jasno, potrebno je u proračun uvesti i odgovarajuće vrednosti normalnih sila;
- momenti savijanja mogu zatezati i jednu i drugu ivicu preseka – uticaj vetra, koji je alternativan, je veći od momenta M_g koji ne menja znak;
- kako su dimenzije preseka poznate, sprovodi se postupak vezanog dimenzionisanja, posebno za jednu, odnosno drugu ivicu.

U opštem slučaju, neophodno je sprovesti proračun za DVE kombinacije uticaja (maksimalni momenti savijanja koji zatežu dve ivice preseka), ali se u određenim slučajevima može pojaviti još jedna potencijalno moguća kombinacija, kako će u primeru biti pokazano. Konačno, što se tiče izbora opterećenja u kombinacijama:

- stalno opterećenje se MORA nalaziti na konstrukciji, samim tim i u svim razmatranim kombinacijama (makar kao POVOLJNO dejstvo)
- vetar i vertikalno povremeno opterećenje se NE moraju uzeti u razmatranje, a mogu i delovati nezavisno jedno od drugog

ZATEGNUTA "LEVA" STRANA STUBA

Moguće je u račun uzeti samo stalno opterećenje. Međutim, postoji i uticaj od vetra koji je istog znaka kao M_g . Povećanjem momenta dobija se veću površinu armature, pa uticaj samo stalnog opterećenja nema potrebe razmatrati. S druge strane, vertikalno opterećenje P samo povećava normalnu silu pritiska, što smanjuje potrebnu površinu zategnute armature. Kako je opterećenje povremeno, ne mora biti i neće biti uzeto u razmatranje.

$$M_u = 1.6 \times 100 + 1.8 \times 200 = 520 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.6 \times 200 = 320 \text{ kN}$$

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$$

$$M_{au} = 520 + 320 \times \left(\frac{0.60}{2} - 0.07 \right) = 593.6 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{53}{\sqrt{\frac{593.6 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.557 \Rightarrow \varepsilon_a < 3.0\text{‰} \Rightarrow A_{a2} > 0$$

¹ Ukoliko u proračunu najopterećenijeg preseka, potrebna površina armature bude negativna, ili se dobije da je proračunska $A_{a2} > A_{a1}$, presek treba armirati **simetrično** i dimenzionisati pomoću dijagrama interakcije

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

$$M_{abu} = \left(\frac{53}{1.719} \right)^2 \times 0.25 \times 2.05 = 487.0 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{au} = 593.6 - 487.0 = 106.6 \text{ kNm}$$

$$pretp. a_2 = 5 \text{ cm} \Rightarrow A_{a2} = \frac{106.6 \times 10^2}{(53 - 5) \times 40} = 5.55 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 43.590 \times \frac{25 \times 53}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{320}{40} + 5.55 = 27.15 \text{ cm}^2$$

Od ove vrednosti nije moguće dobiti veću zategnutu armaturu. Međutim, povećanjem sile pritiska (vertikalno povremeno opterećenje) sigurno se povećava potrebna pritisnuta armatura. Stoga sledeća kombinacija koja se razmatra uključuje i povremeno opterećenje:

$$M_u = 1.6 \times 100 + 1.8 \times 200 = 520 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.6 \times 200 + 1.8 \times 400 = 1040 \text{ kN}$$

$$M_{au} = 520 + 1040 \times \left(\frac{0.60}{2} - 0.07 \right) = 759.2 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{au} = 759.2 - 487.0 = 272.2 \text{ kNm} \Rightarrow A_{a2} = \frac{272.2 \times 10^2}{(53 - 5) \times 40} = 14.18 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 43.590 \times \frac{25 \times 53}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{1040}{40} + 14.18 = 17.78 \text{ cm}^2 < 27.15 \text{ cm}^2$$

ZATEGNUTA "DESNA" STRANA STUBA

Kako je M_w veći od M_g , može se dogoditi da je desna strana stuba zategnuta. Stalno opterećenje se MORA uzeti u obzir. Kako smanjuje uticaj (moment savijanja), tretira se kao povoljno dejstvo i uzima u obzir sa odgovarajućim koeficijentom sigurnosti **1.0**:

$$M_u = 1.0 \times (-100) + 1.8 \times 200 = 260 \text{ kNm}$$

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

Naglašava se da se vrednost koeficijenata sigurnosti za stalno opterećenje određuje prema momentima savijanja kao dominantnim uticajima. Znak momenta savijanja je odabran tako da rezultat bude pozitivan (u ovom slučaju, to je moment koji zateže "desnu" ivicu stuba, koja postaje ivica "1" pri proračunu armature). Sila P od vertikalnog povremenog opterećenja je pritisak, pa bi smanjila površinu armature i neće biti uzeta u obzir.

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

$$M_{au} = 260 + 200 \times \left(\frac{0.60}{2} - 0.05 \right) = 310.0 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{55}{\sqrt{\frac{310 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.236 \Rightarrow \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 9.022\text{‰} ; \bar{\mu} = 22.627\%$$

$$A_{a1} = 22.627 \times \frac{25 \times 55}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{200}{40} = 10.94 \text{ cm}^2 < A_{a2} = 14.18 \text{ cm}^2 \text{ (slučaj 2)}$$

Ova armatura se smešta uz "desnu" ivicu preseka i upoređuje sa armaturom A_{a2} iz prethodne tačke. Kako vetar ne može istovremeno duvati u oba smera, usvaja se veća od dve sračunate vrednosti.

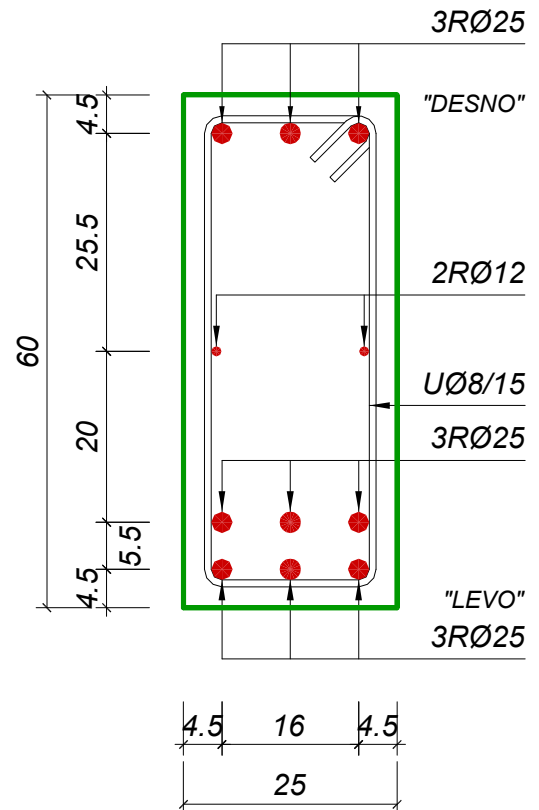
Ovde nije razmatrana kombinacija koja bi pored vetra "sdesna" uključila i silu P . Armatura A_{a1} bi se smanjila, a eventualna A_{a2} nije realna (daleko iznad granice od 3‰). Sve i da se A_{a2} u proračunu pojavi, trebalo bi da bude veća od potrebne armature uz levu ivicu preseka (zategnuta iz prvog primera), što je potpuno nemoguće.

Rezime je prikazan tabelarno:

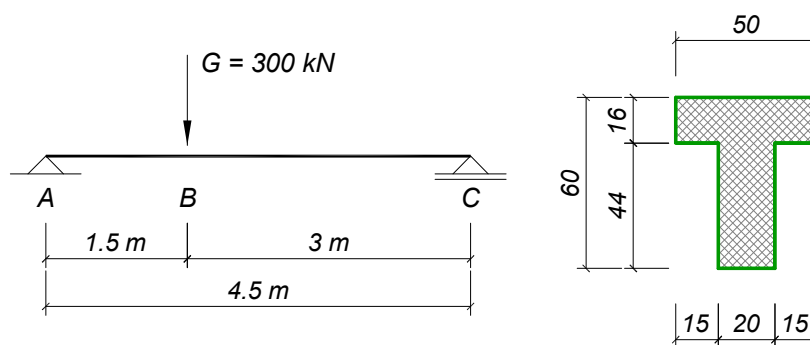
		LEVO	DESNO	
$G+W$	A_{a1}	27.15	5.55	
$G+P+W$	A_{a1}	17.78	14.18	A_{a2}
$G-W$		—	10.94	A_{a1}
max.		27.15	14.18	
usv.		6RØ25	3RØ25	

$$a_1 = \frac{3 \times 4.5 + 3 \times 10}{6} = 7.25 \text{ cm}$$

$$h_{stv.} = 60 - 7.25 = 52.75 \text{ cm} \approx h_{pretp.} = 53 \text{ cm}$$



4 Za gredu datog poprečnog preseka, opterećenu koncentrisanom silom usled stalnog opterećenja prema skici, potrebno je:



- odrediti potrebnu površinu armature u karakterističnom preseku u polju
- izvršiti osiguranje od glavnih napona zatezanja na delu B-C
- izvršiti osiguranje od glavnih napona zatezanja na delu A-B, zadržavajući prečnik i rastojanje uzengija kao na delu B-C, uz dodavanje odgovarajuće površine koso povijenih profila

Proračunom obuhvatiti samo zadato opterećenje. Kvalitet materijala: MB 30, RA 400/500.

DIMENZIONISANJE PREMA MOMENTIMA SAVIJANJA

$$A_g = 300 \times \frac{3.0}{4.5} = 200 \text{ kN} ; C_g = 300 \times \frac{1.5}{4.5} = 100 \text{ kN}$$

$$M_g = 200 \times 1.5 = 300 \text{ kNm} \Rightarrow M_u = 1.6 \times 300 = 480 \text{ kNm}$$

Pretpostavlja se da će se neutralna linija naći u rebru, pa se presek dimenzioniše kao pravougaoni, širine 50 cm.

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$$

$$k = \frac{53}{\sqrt{\frac{480 \times 10^2}{50 \times 2.05}}} = 2.449 \Rightarrow \begin{cases} \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.078 / 10\text{‰} \\ s = 0.235 \\ \bar{\mu} = 18.435\% \end{cases}$$

$$x = s \times h = 0.235 \times 53 = 12.47 \text{ cm} < d_p = 16 \text{ cm}$$

Pretpostavka o položaju neutralne linije je tačna. Sledi:

$$A_a = 18.435 \times \frac{50 \times 53}{100} \times \frac{2.05}{40} = 25.04 \text{ cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } 6R\text{Ø}25 \text{ (29.45 cm}^2\text{)}$$

OSIGURANJE OD GLAVNIH NAPONA ZATEZANJA

Usvojeno duž čitavog raspona:

$$z \approx 0.9 h = 0.9 \times 53 = 47.7 \text{ cm} = \text{const.}$$

$$T_u^{B-C} = 1.6 \times 100 = 160 \text{ kN}$$

$$\tau_n^{B-C} = \frac{160}{20 \times 47.7} = 0.168 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > \tau_r = 0.11 \text{ kN/cm}^2 \\ < 3\tau_r = 0.33 \text{ kN/cm}^2 \end{cases}$$

Kako je na čitavom delu B-C prekoračen napon τ_r , dužina osiguranja je $\lambda = 3.0 \text{ m}$.

$$\tau_{Ru}^{B-C} = \frac{3}{2} \times (0.168 - 0.11) = 0.087 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

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

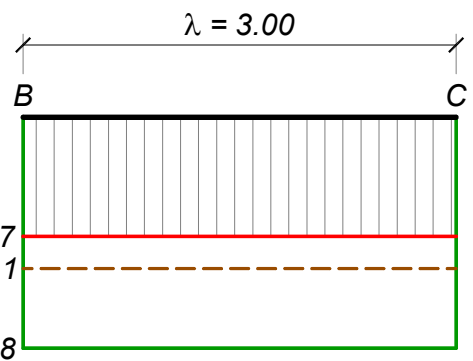
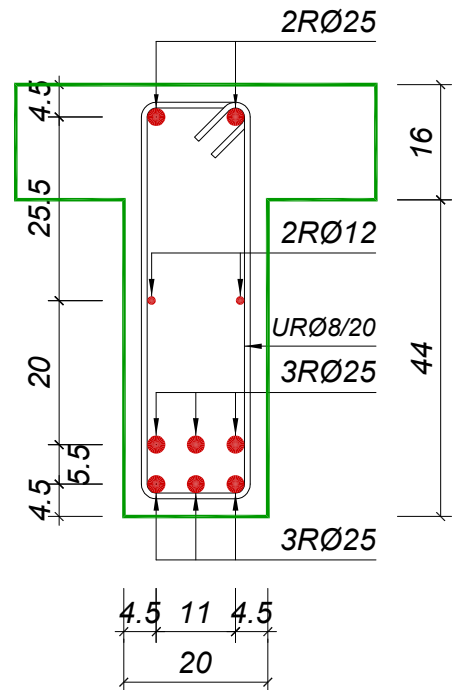
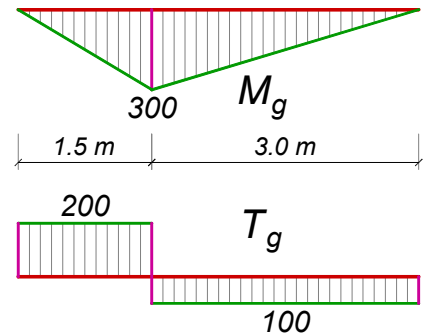
$$e_u = \frac{2 \times a_u^{(1)}}{20 \times 0.087} \times 40 = 46.2 \times a_u^{(1)}$$

$$UR\text{Ø}8 \Rightarrow e_u = 46.2 \times 0.503 = 23.2 \text{ cm}$$

usvojeno: **URØ8/20** ($m=2$)

$$\Delta A_a = \frac{T_{mu}}{2 \times \sigma_v} \times (\cot \theta - \cot \alpha) = \frac{160}{2 \times 40} \times (1 - 0) = 2.0 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **2RØ25** (9.82 cm^2)



Ovde tendenciozno nije ispisana formalna provera minimalnog procenta armiranja uzengijama, koji je, naravno, zadovoljen. Uostalom, ni kod armiranja podužnom armaturom nije kontrolisan minimalni procenat armiranja, a očigledno je (!?) da je zadovoljen. Takođe, nisu formalno ispisani i uslovi koje mora da zadovolji usvojeno rastojanje uzengija na dužini osiguranja (a svi uslovi su, naravno, zadovoljeni). Nije sračunat napon koji mogu prihvatiti usvojene uzengije. Zašto bi? Usvojeno je manje rastojanje uzengija od računski potrebnog, što znači da je armature dovoljno. Koliki tačno napon usvojena armatura može prihvatiti zapravo nije bitno - ovaj proračun bi bio identičan dokazu momenta loma za svaki dimenzionisani presek, što se naravno ne radi. Konačno, usvojena dodatna podužna armatura predstavlja zahtevani procenat armature iz polja koji je potrebno prevesti preko slobodnog oslonca.

$$T_u^{A-B} = 1.6 \times 200 = 320 \text{ kN} \Rightarrow \tau_n^{A-B} = \frac{320}{20 \times 47.7} = 0.335 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \begin{cases} > 3\tau_r = 0.33 \text{ kN/cm}^2 \\ < 5\tau_r \end{cases}$$

Kako je na čitavom delu A-B prekoračen napon τ_r , dužina osiguranja je $\lambda = 1.5 \text{ m}$.

$$\tau_n^{A-B} > 3\tau_r \Rightarrow \tau_{Ru}^{A-B} = \tau_n^{A-B} = 0.335 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Po uslovu zadatka, usvojene su iste uzengije kao na delu B-C, dakle **URØ8/20** ($m=2$). Napon koji mogu prihvatiti ove uzengije je:

$$\tau_{u,u} = \frac{2 \times 0.503}{20 \times 20} \times 40 \times (0 + 1 \times 1) = 0.101 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Preostali deo sile biće prihvaćen koso povijenim profilima:

$$H_{vu,k} = (0.335 - 0.101) \times 150 \times 20 = 704.7 \text{ kN}$$

$$\alpha_k = 45^\circ \Rightarrow A_{ak} = \frac{704.7}{40 \times (0.707 + 0.707 \times 1)} = 12.46 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3RØ25** (14.73 cm^2)

Određivanje tačnog mesta povijanja kosih profila nije sprovedeno, jer nije eksplicitno traženo u zadatku. S obzirom na oblik dijagrama $\tau_{Ru} - \tau_{u,u}$ (deo dijagrama napona smicanja šrafiran ukrštenom šrafurom), ne bi bilo sprovedeno konstrukcijom integralne krive, jer je predmetni dijagram lako podeliti na potreban broj jednakih delova i bez te konstrukcije.

Kod proračuna dodatne zategnute armature treba obratiti pažnju da ugao α koji figuriše u izrazu ima različite vrednosti za kosu armaturu ($\alpha = 45^\circ$) odnosno uzengije ($\alpha = 90^\circ$). Stoga je potrebno proračunom obuhvatiti samo deo sile koji prihvata beton (ovde je $T_{bu} = 0$, jer je prekoračen napon $3\tau_r$) i uzengije:

$$T_{mu}^{red.} = T_{bu} + T_{u,u} = 0 + \tau_{u,u} \times b \times z = 0.101 \times 20 \times 47.7 = 95.9 \text{ kN}$$

$$\Delta A_a = \frac{T_{mu}^{red.}}{2 \times \sigma_v} \times (\cot \theta - \cot \alpha) = \frac{95.9}{2 \times 40} \times (1 - 0) = 1.2 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **2RØ25** (9.82 cm^2)

