

Primer 1. Odrediti potrebnu površinu armature za stub poznatih dimenzija, pravougaonog poprečnog preseka, opterećen momentima savijanja usled stalnog (M_g) i povremenog (M_w) opterećenja vetrom. Podaci za proračun:

$$\begin{array}{lll} M_g = 100 \text{ kNm} & b = 25 \text{ cm} & \text{MB 30} \\ M_w = \pm 200 \text{ kNm} & d = 65 \text{ cm} & \text{RA 400/500} \end{array}$$

1. zategnuta spoljašnja strana stuba

Očigledno je da slučaj kada samo stalno opterećenje deluje na konstrukciju nije merodavan, jer se istovremenim apliciranjem i stalnog i odgovarajućeg povremenog opterećenja dobija veći moment savijanja. Sledi:

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

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

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

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h = 65 - 7 = 58 \text{ cm}$$

$$k = \frac{58}{\sqrt{\frac{520 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.821 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 4.093\%, \quad \bar{\mu} = 37.317\%$$

$$A_a = 37.317 \times \frac{25 \times 58}{100} \times \frac{2.05}{40} = 27.73 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6 RØ25 (29.45 cm²)**

$$a_1 = \frac{3 \times 4.5 + 3 \times 10}{6} = 7.25 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_{\text{stv.}} = 65 - 7.25 = 57.75 \text{ cm} \approx 58 \text{ cm} = h_{\text{pretp.}}$$

2. zategnuta unutrašnja strana stuba

Numerički posmatrano, maksimalni moment savijanja koji zateže unutrašnju ivicu stuba se dobija kada na konstrukciju deluje samo povremeno opterećenje odgovarajućeg smera. Međutim, kako stalno opterećenje UVEK deluje na konstrukciju, njegov uticaj MORA biti uzet u obzir u svakoj razmatranoj kombinaciji. S obzirom da u ovom slučaju stalno opterećenje SMANJUJE maksimalni uticaj u preseku, primenjuje se parcijalni koeficijent sigurnosti koji se odnosi na POVOLJNO dejstvo stalnog opterećenja. Sledi:

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

$$\text{pretp. } a_1 = 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h = 65 - 5 = 60 \text{ cm}$$

$$k = \frac{60}{\sqrt{\frac{260 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.664 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 2.599 / 10\%, \quad \bar{\mu} = 15.338\%$$

$$A_a = 15.338 \times \frac{25 \times 60}{100} \times \frac{2.05}{40} = 11.79 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **3 RØ25 (14.73 cm²)**

Primer 2. Odrediti potrebnu površinu armature za stub poznatih dimenzija, pravougaonog poprečnog preseka, opterećen momentima savijanja M_g i povremenog M_w , kao i normalnom silom usled stalnog opterećenja N_g . Podaci za proračun:

$$\begin{array}{llll} M_g = 100 \text{ kNm} & N_g = 500 \text{ kN} & b = 25 \text{ cm} & \text{MB 30} \\ M_w = \pm 200 \text{ kNm} & & d = 65 \text{ cm} & \text{RA 400/500} \end{array}$$

1. zategnuta spoljašnja strana stuba

Kao i u prethodnom primeru, očigledno je da slučaj kada samo stalno opterećenje deluje na konstrukciju nije merodavan, jer se istovremenim apliciranjem i stalnog i odgovarajućeg povremenog opterećenja dobija veći moment savijanja pri istoj aksijalnoj sili. Sledi:

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

$$N_u = 1.6 \times 500 = 800 \text{ kN}$$

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

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

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow h = 65 - 7 = 58 \text{ cm}$$

$$M_{au} = 520 + 800 \times \left(\frac{0.65}{2} - 0.07 \right) = 724 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{58}{\sqrt{\frac{724 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.543 \Rightarrow \varepsilon_a < 3\text{‰} \Rightarrow \text{dvostruko armiranje}$$

usvojeno: $\varepsilon_{a1}^* = 3\text{‰} \Rightarrow k^* = 1.719, \bar{\mu}^* = 43.590\%$

$$M_{abu} = \left(\frac{58}{1.719} \right)^2 \times 25 \times 2.05 = 58320 \text{ kNcm} = 583.2 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{au} = 724 - 583.2 = 140.8 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_2 = 5 \text{ cm} \Rightarrow A_{a2} = \frac{140.8 \times 10^2}{(65 - 5) \times 40} = 6.64 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 43.590 \times \frac{25 \times 58}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{800}{40} + 6.64 = 19.03 \text{ cm}^2$$

2. zategnuta unutrašnja strana stuba

Potpuno analogno Primeru 1, stalno opterećenje SMANJUJE maksimalni uticaj (moment savijanja) u preseku, pa se primenjuju parcijalni koeficijenti sigurnosti koji se odnose na POVOLJNO dejstvo stalnog opterećenja. Sledi:

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

$$N_u = 1.0 \times 500 = 500 \text{ kN}$$

$$\text{pretp. } a_2 = 5 \text{ cm} \Rightarrow h = 65 - 5 = 60 \text{ cm}$$

$$M_{au} = 260 + 500 \times \left(\frac{0.65}{2} - 0.05 \right) = 397.5 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{60}{\sqrt{\frac{397.5 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 2.154 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 7.984\%, \quad \bar{\mu} = 24.673\%$$

$$A_{a1} = 24.673 \times \frac{25 \times 60}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{500}{40} = 6.47 \text{ cm}^2$$

Pošto su razmotrene kombinacije dejstava koje daju maksimalne potrebne površine armature na obe strane poprečnog preseka, potrebno je usvojiti broj i prečnik profila. Pri tome je potrebno:

- (1) $A_{a1} = 19.03 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz spoljnu ivicu stuba) i
 $A_{a2} = 6.64 \text{ cm}^2$ pritisnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba), odnosno
- (2) $A_{a1} = 6.47 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba), dok pritisnuta armatura (uz spoljnu ivicu stuba) u ovom slučaju nije računski potrebna.

Kako povremeno opterećenje ne može ISTOVREMENO delovati u oba smera za koje je proračun sproveden, armatura koju je potrebno smestiti uz svaku ivicu preseka je MAKSIMALNA od napred sračunatih vrednosti (a ne njihov zbir). Sledi:

$$\text{spolja: } A_{a,\text{potr.}} = 19.03 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{usv.: } \mathbf{5 R\O22} (19.01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{unutra: } A_{a,\text{potr.}} = \max \left\{ \begin{matrix} 6.64 \\ 6.47 \end{matrix} \right\} = 6.64 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{usv.: } \mathbf{2 R\O22} (7.60 \text{ cm}^2)$$

$$a_1 = \frac{3 \times 4.5 + 2 \times 10}{5} = 6.7 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h_{\text{stv.}} = 65 - 6.7 = 58.3 \text{ cm} > 58 \text{ cm} = h_{\text{pretp.}}$$

Primer 3. Odrediti potrebnu površinu armature za stub poznatih dimenzija, pravougaonog poprečnog preseka, opterećen momentima savijanja M_g i povremenog M_w , kao i normalnom silom usled vertikalnog povremenog opterećenja N_p . Povremena opterećenja p i w NE MORAJU delovati istovremeno. Podaci za proračun:

$$M_g = 100 \text{ kNm} \quad N_p = 500 \text{ kN} \quad b = 25 \text{ cm} \quad \text{MB 30}$$

$$M_w = \pm 200 \text{ kNm} \quad d = 65 \text{ cm} \quad \text{RA 400/500}$$

1. zategnuta spoljašnja strana stuba

Kao i u prethodnim primerima, očigledno je da slučaj kada samo stalno opterećenje deluje na konstrukciju nije merodavan. Međutim, moguće je napraviti dve kombinacije uticaja koje rezultiraju istim momentom savijanja:

- (1a) deluju stalno opterećenje i odgovarajući vetar (G, \bar{W}):

$$M_u = 1.6 \times 100 + 1.8 \times 200 = 520 \text{ kNm} \quad , \quad N_u = 0 \quad ; \quad \text{odnosno}$$

- (1b) deluju stalno, vertikalno povremeno opterećenje i odgovarajući vetar (G, P, \bar{W}):

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

$$N_u = 1.8 \times 500 = 900 \text{ kN}$$

U ranijem toku kursa je pokazano da se maksimalna ZATEGNUTA armatura preseka napregnutog na pravo složeno savijanje u fazi velikog ekscentriciteta dobija ukoliko, pri istom momentu savijanja, presek opteretimo MAKSIMALNOM mogućom silom ZATEZANJA (odnosno, minimalno mogućom silom pritiska). Međutim, istovremeno je konstatovano da se

maksimalna PRITISNUTA armatura dobija ukoliko, pri istom momentu savijanja, presek opteretimo MAKSIMALNOM mogućom silom PRITISKA (odnosno, minimalno mogućom silom zatezanja). Praktično, u navedenom primeru znači da se maksimalna zategnuta armatura dobija za slučaj (1a), a maksimalna pritisnuta armatura, ukoliko računski postoji, za slučaj (1b).

Armatura za slučaj (1a) odgovara onoj sračunatoj u Primeru 1, tj. $A_{a1} = 27.73 \text{ cm}^2$. Dalje sledi provera da li je za slučaj dejstva maksimalne moguće aksijalne sile potrebna računaska pritisnuta armatura u preseku - slučaj (1b):

$$\text{pretp. } a_1 = 7 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h = 65 - 7 = 58 \text{ cm}$$

$$M_{au} = 520 + 900 \times \left(\frac{0.65}{2} - 0.07 \right) = 749.5 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{58}{\sqrt{\frac{749.5 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.517 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_a < 3\text{‰} \quad \Rightarrow \quad \text{dvostruko armiranje}$$

$$\text{usvojeno: } \varepsilon_{a1}^* = 3\text{‰} \quad \Rightarrow \quad k^* = 1.719, \quad \bar{\mu}^* = 43.590\%$$

$$M_{abu} = \left(\frac{58}{1.719} \right)^2 \times 25 \times 2.05 = 58320 \text{ kNcm} = 583.2 \text{ kNm}$$

$$\Delta M_{au} = 749.5 - 583.2 = 166.3 \text{ kNm}$$

$$\text{pretp. } a_2 = 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad A_{a2} = \frac{166.3 \times 10^2}{(65 - 5) \times 40} = 7.85 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1} = 43.590 \times \frac{25 \times 58}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{900}{40} + 7.85 = 17.74 \text{ cm}^2 < 27.73 \text{ cm}^2 \text{ (slučaj 1a)}$$

Dakle, za razmotreni slučaj dejstva vetra potrebno je presek armirati sa $A_{a1} = 27.73 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz spoljnu ivicu stuba) i $A_{a2} = 7.85 \text{ cm}^2$ pritisnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba).

2. zategnuta unutrašnja strana stuba

Potpuno analogno sračunava se potrebna površina armature za slučaj dejstva vetra koje zateže unutrašnju ivicu preseka stuba. Pri tome je moguće napraviti dve kombinacije uticaja koje rezultiraju istim momentom savijanja:

(2a) deluju stalno opterećenje i odgovarajući vetar (G, \bar{W}):

$$M_u = 1.0 \times (-100) + 1.8 \times 200 = 260 \text{ kNm} \quad , \quad N_u = 0 \quad ; \quad \text{odnosno}$$

(2b) deluju stalno, vertikalno povremeno opterećenje i odgovarajući vetar (G, P, \bar{W}):

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

$$N_u = 1.8 \times 500 = 900 \text{ kN}$$

S obzirom na znak momenta savijanja, stalno opterećenje u oba slučaja deluje povoljno, a kombinacije imaju isto značenje kao kod dimenzionisanja spoljašnje strane stuba: kombinacija (2a) daje maksimalnu zategnutu, a kombinacija (2b) maksimalnu pritisnutu armaturu (naravno, u slučaju da je računski potrebna).

Armatura za slučaj (2a) odgovara onoj sračunatoj u Primeru 1, slučaj 2, tj. $A_{a1} = 11.79 \text{ cm}^2$. Dalje sledi provera da li je za slučaj dejstva maksimalne moguće aksijalne sile potrebna računaska pritisnuta armatura u preseku - slučaj (2b):

$$\text{pretp. } a_1 = 5 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad h = 65 - 5 = 60 \text{ cm}$$

$$M_{\text{au}} = 260 + 900 \times \left(\frac{0.65}{2} - 0.05 \right) = 507.5 \text{ kNm}$$

$$k = \frac{60}{\sqrt{\frac{507.5 \times 10^2}{25 \times 2.05}}} = 1.907 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_a > 3\text{‰} \quad \Rightarrow \quad \text{jednostruko armiranje}$$

Dakle, u ovom slučaju nije potrebna računaska pritisnuta armatura, pa dalji proračun nije potreban (za zategnutu armaturu merodavan je slučaj 2a). Ipak, za nepoverljive:

$$k = 1.907 \quad \Rightarrow \quad \varepsilon_b / \varepsilon_a = 3.5 / 7.984\text{‰}, \quad \bar{\mu} = 24.673\%$$

$$A_{a1} = 24.673 \times \frac{25 \times 60}{100} \times \frac{2.05}{40} - \frac{900}{40} = 2.99 \text{ cm}^2 < 11.79 \text{ cm}^2 \text{ (slučaj 2a)}$$

Dakle, za razmotreni slučaj dejstva vetra potrebno je presek armirati sa $A_{a1} = 11.79 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba).

Pošto su razmotrene kombinacije dejstava koje daju maksimalne potrebne površine armature na obe strane poprečnog preseka, potrebno je usvojiti broj i prečnik profila. Pri tome je potrebno:

- (1) $A_{a1} = 27.73 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz spoljnu ivicu stuba) i
 $A_{a2} = 7.85 \text{ cm}^2$ pritisnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba), odnosno
- (2) $A_{a1} = 11.79 \text{ cm}^2$ zategnute armature (smeštene uz unutrašnju ivicu stuba), dok pritisnuta armatura (uz spoljnu ivicu stuba) u ovom slučaju nije računski potrebna.

Kako povremeno opterećenje ne može ISTOVREMENO delovati u oba smera za koje je proračun sproveden, armatura koju je potrebno smestiti uz svaku ivicu preseka je MAKSIMALNA od napred sračunatih vrednosti (a ne njihov zbir). Sledi:

$$\text{spolja: } A_{a,\text{potr.}} = 27.73 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{usv.: } \mathbf{6 R\text{Ø}25} (29.45 \text{ cm}^2)$$

$$\text{unutra: } A_{a,\text{potr.}} = \max \left\{ \begin{array}{l} 7.85 \\ 11.79 \end{array} \right\} = 11.79 \text{ cm}^2 \quad \Rightarrow \quad \text{usv.: } \mathbf{3 R\text{Ø}25} (14.73 \text{ cm}^2)$$