

PROJEKTOVANJE I GRAĐENJE BETONSKIH KONSTRUKCIJA 1

Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Školska 2019/2020.

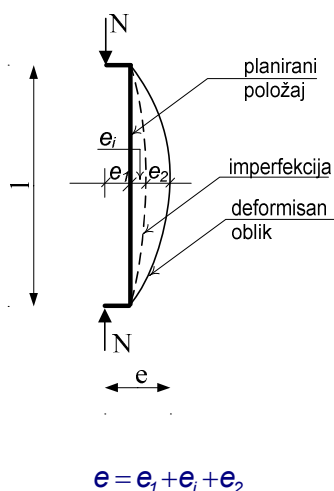


Sadržaj vežbi:

- Analiza uticaja drugog reda – teorijske osnove
- Numerički primer 1 – stub opterećen aksijalnom silom pritiska
- Numerički primer 2 – stub opterećen aksijalnom silom pritiska i poprečnim opterećenjem



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata



Noseći AB elementi, koji su pretežno opterećeni na pritisak, mogu biti geometrijski **vitki**.

Njihove sopstvene deformacije, iako male, povećavaju početni ekscentricitet sile pritiska duž štapa i javljaju se uticaji drugog reda – dodatni momenti savijanja.

AB elemente osetljive na efekte uticaja drugog reda nazivamo **vitkim elementima**.

$$\lambda = \frac{l_0}{i}$$

λ vitkost

l_0 efektivna dužina stuba (dužina izvijanja stuba)

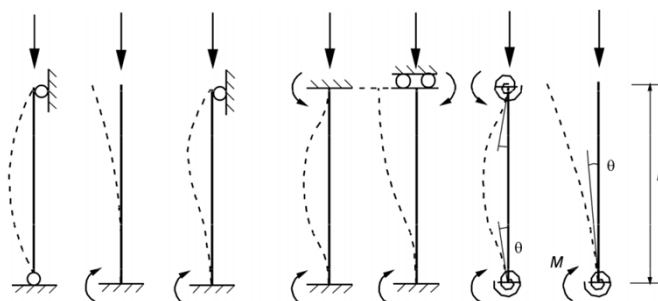
i poluprečnik inercije poprečnog preseka stuba u ravni savijanja (bruto betonskog preseka)

Analiza vitkih AB elemenata sprovodi se primenom teorije drugog reda, uzimajući u obzir materijalnu nelinearnost.



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Efektivna dužina elementa l_0 (dužina izvijanja) je razmak između susednih, realnih ili fiktivnih, prevojnih tačaka izvijenog oblika elementa; ili, to je dužina zamenjujućeg, obostrano zglobno oslonjenog štapa, opterećenog aksijalnim silama na krajevima, koji ima istu kritičnu silu kao i razmatrani štap.



a) $l_0 = l$ b) $l_0 = 2l$ c) $l_0 = 0,7l$ d) $l_0 = l/2$ e) $l_0 = l$ f) $l_0 = l$ g) $l_0 = 2l$

Efektivna dužina izdvojenih AB elemenata



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Prema SRPS EN 1992-1-1: "uticaji drugog reda mogu da se zanemare ukoliko su manji od **10%** odgovarajućih uticaja prvog reda"

Kriterijum vitkosti za izdvojene elemente

Uticaji drugog reda u izdvojenim elementima mogu da se zanemare ukoliko je vitkost elementa λ manja od granične vrednosti λ_{lim} :

$$\lambda \leq \lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} \quad \text{koeficijent koji uzima u obzir uticaj tečenja betona}$$

$$\varphi_{ef} = \varphi(\infty, t_0) \cdot \frac{M_{0Eqp}}{M_{0Ed}} \quad \text{efektivni koeficijent tečenja}$$

M_{0Eqp} moment u kvazi-stalnoj kombinaciji opterećenja

M_{0Ed} granični moment po teoriji I reda (uključujući imperfekcije)

Ako φ_{ef} nije poznato, može se usvojiti **A = 0,7** ($\varphi_{ef} = 2,14$)



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Kriterijum vitkosti za izdvojene elemente

$$\lambda \leq \lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

$$B = \sqrt{1 + 2\omega} \quad \text{koeficijent koji uzima u obzir uticaj procenta armiranja podužnom armaturom}$$

ω mehanički procenat armiranja podužnom armaturom

Ako ω nije poznato, može se usvojiti **B = 1,1** ($\omega = 0,105$)

$$C = 1,7 - r_m \quad \text{koeficijent koji uzima u obzir raspodelu momenata savijanja po visini elementa}$$

$$r_m = M_{01} / M_{02} \quad \text{odnos momenata prvog reda na krajevima elementa, } |M_{02}| \geq |M_{01}|$$

Napomena: prema SRPS EN 1992-1-1, za ukružene elemente u kojima momenti prvog reda nastaju samo usled imperfekcija ili poprečnog opterećenja i za neukružene elemente, treba uzeti $r_m = 1,0$, odnosno $C = 0,7$ (videti predavanja)

Ako r_m nije poznato, može se usvojiti **C = 0,7** ($r_m = 1,0$)

$$n = v_{Ed} = N_{Ed} / A_c f_{cd} \quad \text{normalizovana aksijalna sila}$$

Preporučena maksimalna vrednost vitkosti:
$$\lambda \leq \lambda_{max} = 70 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

Moment po teoriji I reda (od spoljašnjeg opterećenja i/ili imperfekcija):

$$M_{0,Ed} = M_{1,Ed} + M_{0,imp,Ed} = N_{Ed} \cdot e_1 + N_{Ed} \cdot e_i$$

Ukupni moment (uzimajući u obzir efekte I i II reda):

$$(1) M_{Ed} = M_{0,Ed} + M_2 = N_{Ed} \cdot e_1 + N_{Ed} \cdot e_i + N_{Ed} \cdot e_2$$

Ekscentricitet prema teoriji drugog reda:

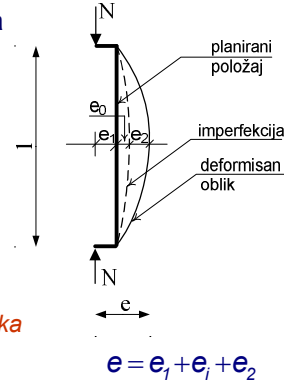
$$e_2 = \frac{1}{\pi^2} \cdot l_0^2 \cdot \frac{1}{r} \approx 0,1 \cdot l_0^2 \cdot \frac{1}{r} \rightarrow \text{Potrebno je definisati (nominalnu) krivinu preseka}$$

$1/\pi^2$ - sinusna raspodela krivine

Nominalna krivina preseka (uzimajući u obzir efekte I i II reda):

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

Osnovna krivina
Korekzioni koeficijenti



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d}$$

osnovna krivina preseka

$$K_\varphi = 1,0 + \beta \cdot \varphi_{ef} \geq 1,0$$

korekzioni koeficijent koji uzima u obzir efekte tečenja

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150$$

$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1,0$$

korekzioni koeficijent koji zavisi od nivoa aksijalnog opterećenja

Sređivanjem prethodnih izraza, dobija se moment prema teoriji II reda M_2 , u funkciji nepoznatog koeficijenta K_r :

$$(2) M_2 = N_{Ed} \cdot e_2 = N_{Ed} \cdot 0,1 \cdot l_0^2 \cdot K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

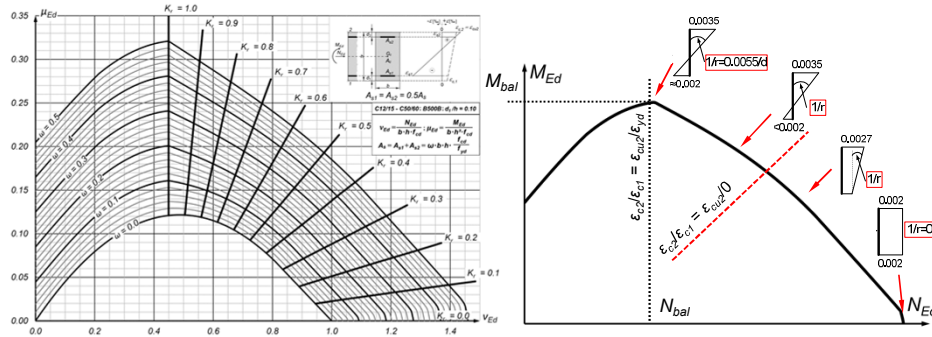


Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

Određivanje koeficijenta K_r :
$$K_r = \frac{n_u - n}{n_u - n_{bal}} \leq 1.0$$

Koeficijent K_r se određuje iterativno, pomoću dijagrama prikazanog na slici levo, sa ciljem da se variranjem krivine preseka uspostavi ravnoteža u preseku između spoljašnjih sila (N_{Ed} i M_{Ed}) i unutrašnjih sila (N_{Rd} i M_{Rd})



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

Dimenzionisati stub POS S1 srednjeg rama konstrukcije prikazane na slici, koja je pored sopstvene težine opterećena dodatnim stalnim opterećenjem Δg i korisnim opterećenjem q ($\psi_{0,q} = 0,7$, $\psi_{2,q} = 0,3$). Zanimariti sopstvenu težinu stubova.

Opterećenje:

$$\Delta g = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

Karakteristike

materijala:

C30/37

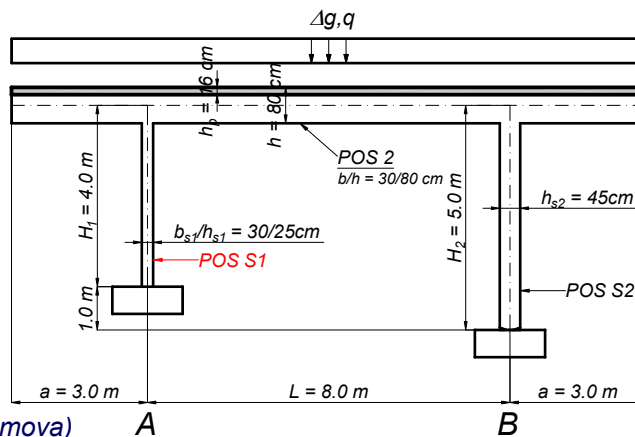
$$\varphi(\infty, t_0) = 2,0$$

B500B

XC1

$n = 2$ (broj polja)

$\lambda = 6.5 \text{ m}$ (razmak ramova)



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

Karakteristike materijala:

Beton C30/37 → $f_{ck} = 3,0 \text{ kN/cm}^2$, $f_{cd} = 0,85 \cdot 3,0 / 1,5 = 1,7 \text{ kN/cm}^2$

Armatura B500B → $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$, $f_{cd} = 50 / 1,15 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$

1.1 Analiza opterećenja na ploči

Stalno opterećenje:

sopstvena težina ploče: $h_p \cdot \rho_c = 0,16 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 4,0 \text{ kN/m}^2$

_____ dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,0 \text{ kN/m}^2$

ukupno, stalno opterećenje: $g = 6,0 \text{ kN/m}^2$

Povremeno opterećenje:

$q = 3,0 \text{ kN/m}^2$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

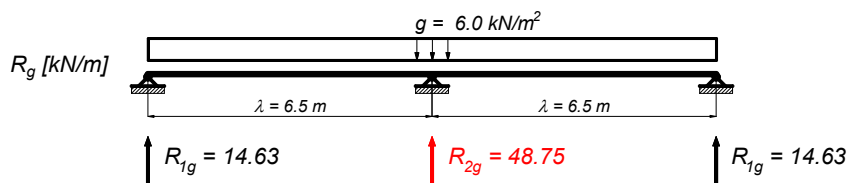
Numerički primer 1

1.2 Proračun reakcija ploče – analiza opterećenja na gredi

1.2.1 Stalno opterećenje

$$R_{1g} = 0,375 \cdot 6,0 \cdot 6,5 = 14,63 \text{ kN/m}$$

$$R_{2g} = 1,250 \cdot 6,0 \cdot 6,5 = 48,75 \text{ kN/m}$$



Sopstvena težina grede: $b \cdot h \cdot \rho_c = 0,3 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 6,0 \text{ kN/m}$

Opterećenje sa ploče: $g_p = 48,75 \text{ kN/m}$

Ukupno, stalno opterećenje na gredi: $g = 54,75 \text{ kN/m}$



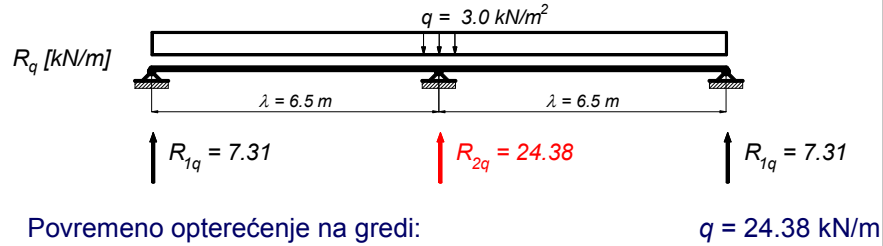
Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.2 Proračun reakcija ploče – analiza opterećenja na gredi

1.2.1 Stalno opterećenje

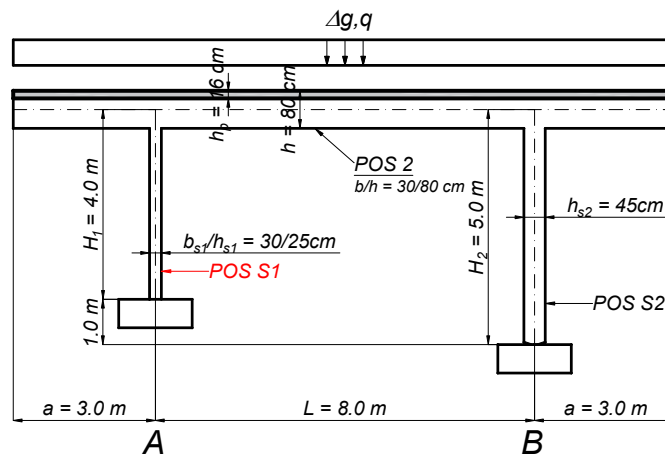
$$R_{1q} = 0,375 \cdot 3,0 \cdot 6,5 = 7,31 \text{ kN/m}$$

$$R_{2q} = 1,250 \cdot 3,0 \cdot 6,5 = 24,38 \text{ kN/m}$$



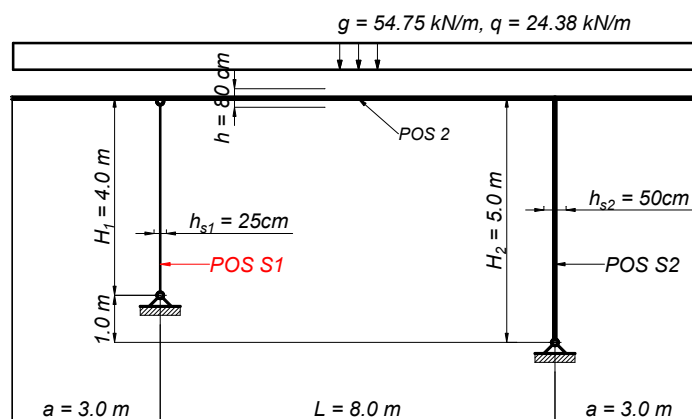
Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.3 Proračun uticaja u ramu



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

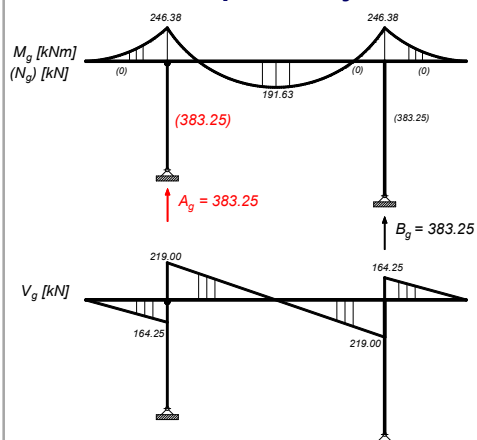
1.3 Proračun uticaja u ramu – statički sistem



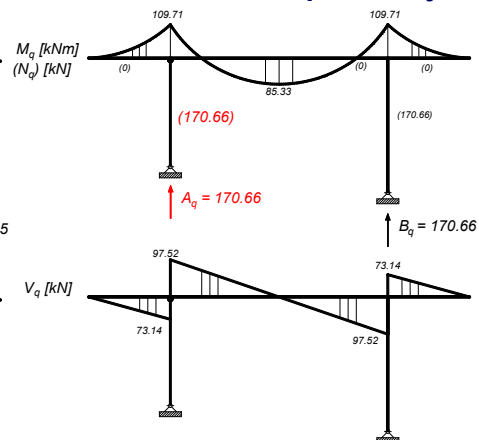
Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.3 Proračun uticaja u ramu

1.3.1 Stalno opterećenje



1.3.2 Povremeno opterećenje



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

1.4 Uticaji u stubu POS S1

Uticaji ULS – aksijalne sile:

Stalno opterećenje: $N_g = 383,25 \text{ kN}$

Korisno opterećenje: $N_{gk} = 170,66 \text{ kN}$

Proračunska vrednost : $N_{Ed} = 1,35 \cdot 383,25 + 1,5 \cdot 170,66 = 773,38 \text{ kN}$

Uticaji ULS – momenti savijanja (teorija I reda):

Napomena: momenti savijanja u stubu su posledica SAMO ekscentriciteta usled imperfekcija e_i za koji se može usvojiti da je jednak $l_0/400$

Dužina izvijanja stuba: $l_0 = 4,0 \text{ m (!)}$

$e_i = 4,0/400 = 0,01 \text{ m}$

Minimalni ekscentricitet $e_o = \max(0,02, b/30) = \max(0,02, 0,3/30 = 0,01)$

$e_o = 0,02 \text{ m} > e_i = 0,01 \text{ m}$

Proračunska vrednost momenta savijanja:

$M_{0,Ed} = N_{Ed} \cdot e_o = 773,38 \cdot 0,02 = 15,47 \text{ kNm}$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

1.5 Kontrola granične vitkosti λ_{lim} stuba POS S1

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

- Određivanje koeficijenta A:

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,0$$

$$M_{0Eqp} = e_o (N_g + \psi_{2,q} N_q) = 0,02 \cdot (383,25 + 0,3 \cdot 170,66) = 8,69 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = 15,47 \text{ kNm}$$

$$\varphi_{ef} = 2,0 \cdot \frac{8,69}{15,47} = 1,12$$

$$A = 1 / (1 + 0,2 \cdot 1,12) = 0,82$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

1.5 Kontrola granične vitkosti λ_{lim} stuba POS S1

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

- Određivanje koeficijenta B:

$$B = \sqrt{1 + 2\omega}, \text{ ako } \omega \text{ nije poznato, može se usvojiti } B = 1,1$$

Usvojeno: $B = 1,10$

- Određivanje koeficijenta C:

$$C = 1,7 - r_m$$

SRPS EN 1992-1-1: za ukružene elemente u kojima momenti prvog reda nastaju samo usled imperfekcija ili poprečnog opterećenja treba uzeti $r_m = 1,0$ odnosno $C = 0,7$

Usvojeno: $C = 0,70$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 1

1.5 Kontrola granične vitkosti λ_{lim} stuba POS S1

- Normalizovana aksijalna sila n :

Karakteristike preseka: $b_c = 30 \text{ cm}$, $h_c = 25 \text{ cm}$ (savijanje oko slabije ose!)

$$\rightarrow A_c = 750 \text{ cm}^2, I_c = 39062,5 \text{ cm}^4, i_c = \sqrt{I_c / A_c} = h_c / \sqrt{12} = 7,22 \text{ cm}$$

$$n = v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{773,38}{30 \cdot 25 \cdot 1,7} = 0,607$$

- Vitkost stuba POS S1:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{400}{7,22} = 55,4$$

- Granična vitkost stuba POS S1:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{0,82 \cdot 1,10 \cdot 0,70}{\sqrt{0,607}} = 16,21$$

- Maksimalna vitkost stuba POS S1:

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \frac{0,82 \cdot 1,10 \cdot 0,70}{\sqrt{0,607}} = 56,73$$

$\lambda_{lim} < \lambda < \lambda_{max} \rightarrow$ uticaji drugog reda moraju se uzeti u obzir!



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.6 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

Proračunske vrednosti uticaja prema teoriji prvog reda: $N_{Ed} = 773,38 \text{ kN}$

$$M_{0,Ed} = 15,47 \text{ kNm}$$

Osnovna krivina preseka (pretpostavka $d_1 = 5 \text{ cm}$, $d_1/h = 0,2$):

$$d = 25,0 - 5,0 = 20,0 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,174 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,20} = 0,02416 \frac{1}{\text{m}}$$

Koeficijent K_φ ($K_\varphi \geq 1,0$):

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 55,4 / 150 = 0,131$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} = 1 + 0,131 \cdot 1,12 = 1,15 > 1,0$$

$$(2) \rightarrow M_2 = 773,38 \cdot 0,1 \cdot 4,0^2 \cdot K_r \cdot 1,15 \cdot 0,02416 = 34,38 \cdot K_r [\text{kNm}]$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.6 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

$$n = v_{Ed} = 0,607$$

1. iteracija: $K_r = 0,8$

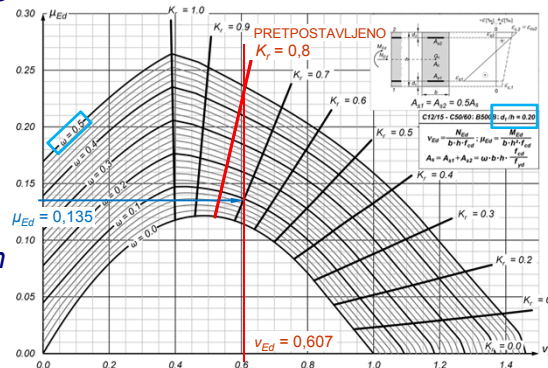
$$(2) \rightarrow M_2 = 34,38 \cdot K_r$$

$$M_2 = 34,38 \cdot 0,8 = 27,5 \text{ kNm}$$

$$(1) \rightarrow M_{Ed} = M_{0,Ed} + M_2$$

$$M_{Ed} = 15,47 + 27,5 = 42,97 \text{ kNm}$$

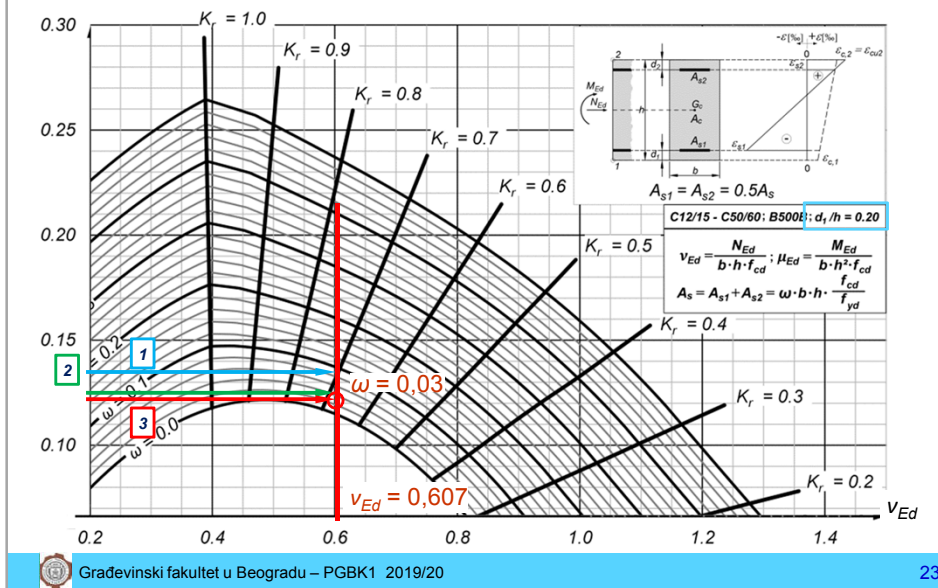
$$\mu_{Ed} = \frac{42,97 \cdot 100}{30 \cdot 25^2 \cdot 1,7} = 0,135$$



iteracija	$K_{r,pret}$	$M_{0,Ed}$ [kNm]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N_{Ed} [kN]	μ_{Ed}	v_{Ed}
1	0,80	15,47	27,50	42,97	773,38	0,135	0,607
2	0,70	15,47	24,07	39,54	773,38	0,124	0,607
3	0,68	15,47	23,38	38,85	773,38	0,122	0,607



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 1

1.6 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

Mehanički procenat armiranja za koeficijent $K_r = 0,68$:

$$\omega = 0,03$$

$$A_{s,req} = 0,03 \cdot 30 \cdot 25 \cdot \frac{1,7}{43,5} = 0,88 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,15 \cdot 773,38}{43,5} = 2,67 \text{ cm}^2 > 0,003 \cdot 25 \cdot 30 = 2,25 \text{ cm}^2 \left. \vphantom{A_{s,min}} \right\} > A_{s,req} = 0,88 \text{ cm}^2$$

$$4\emptyset 12 \rightarrow 4 \cdot 1,13 = 4,52 \text{ cm}^2$$

usvojeno: 4Ø12 (4,52 cm²)



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 2

Dimenzionisati stub **POS S1** srednjeg rama konstrukcije prikazane na slici, koja je pored sopstvene težine opterećena dodatnim stalnim opterećenjem Δg , korisnim opterećenjem q ($\psi_{0,q} = 0,7$, $\psi_{2,q} = 0,3$) i opterećenjem od vetra w ($\psi_{0,w} = 0,6$, $\psi_{2,w} = 0,0$). Zanimariti sopstvenu težinu stubova.

Opterećenje:

$$\Delta g = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3,0 \text{ kN/m}^2$$

$$w = \pm 20 \text{ kN/m}$$

Karakteristike

materijala:

C30/37

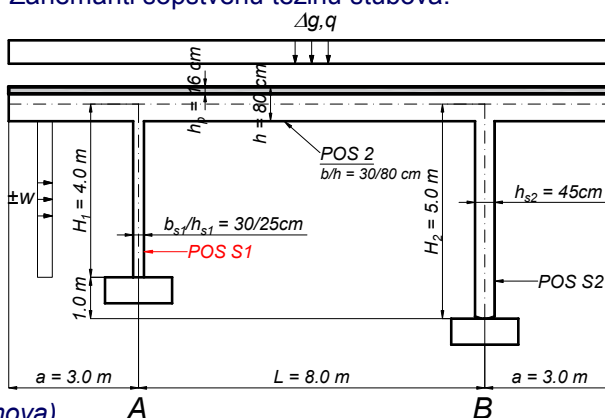
$$\varphi(\infty, f_0) = 2,0$$

B500B

XC1

$n = 2$ (broj polja)

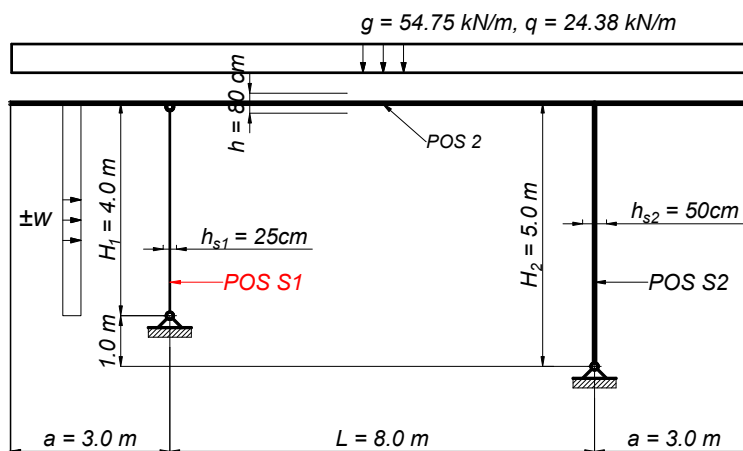
$\lambda = 6.5 \text{ m}$ (razmak ramova)



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

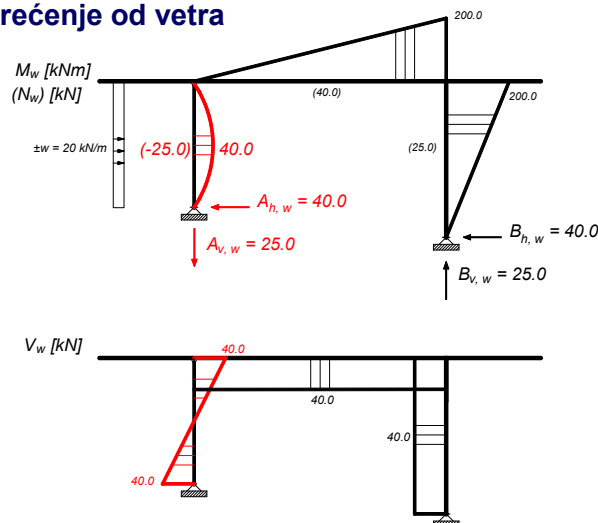
Numerički primer 2

2.1 Proračun uticaja u ramu – statički sistem



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2

2.1.1 Opterećenje od vetra



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2

2.2 Uticaji u stubu POS S1 – Komb. 1 (dominantno opt. od vetra)

Uticaji ULS – aksijalne sile (dominantno opterećenje od vetra):

Stalno opterećenje (iz primera 1): $N_g = 383,25 \text{ kN}$

Korisno opterećenje (iz primera 1): $N_q = 170,66 \text{ kN}$

Vetar: $N_w = 25 \text{ kN (!)}$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 383,25 + 1,5 \cdot 25,0 + 1,5 \cdot 0,7 \cdot 170,66 = 734,08 \text{ kN}$$

Uticaji ULS – momenti savijanja po teoriji I reda (dominantno opt. od vetra):

Moment od vetra: $M_w = 40 \text{ kNm}$

Moment od imperfekcija:

Dužina izvijanja stuba: $l_0 = 4,0 \text{ m}$

$$e_i = 4,0/400 = 0,01 \text{ m} \rightarrow M_{0,imp,Ed} = N_{Ed} \cdot e_i = 734,08 \cdot 0,01 = 7,34 \text{ kNm}$$

Ukupni moment prema teoriji I reda: $M_{0,Ed} = 1,5 \cdot M_w + M_{0,imp,Ed} = 67,34 \text{ kNm}$

Minimalni ekscentricitet:

$$e_{0,min} = \max(0,02, h/30) = 0,02 \text{ m} < e_{0,Ed} = 67,34/734,08 = 0,092 \text{ m}$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata *Numerički primer 2*

2.3 Kontrola granične vitkosti λ_{lim} stuba POS S1

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{A \cdot B \cdot C}{\sqrt{n}}$$

- Određivanje koeficijenta A:

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,0$$

$$M_{0Eqp} = e_{0,min} (N_g + \psi_{2,q} N_q + \psi_{2,w} N_w) + \psi_{2,w} M_w$$

$$M_{0Eqp} = 0,02 \cdot (383,25 + 0,3 \cdot 170,66) = 8,69 \text{ kNm}$$

$$M_{0Ed} = 67,34 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{array}{l} \varphi(\infty, t_0) = 2,0 \\ M_{0Eqp} = 8,69 \text{ kNm} \\ M_{0Ed} = 67,34 \text{ kNm} \end{array} \right\} \varphi_{ef} = 2,0 \cdot \frac{8,69}{67,34} = 0,258$$

$$A = 1 / (1 + 0,2 \cdot 0,258) = 0,95$$

- Određivanje koeficijenta B:

$$\text{Usvojeno: } B = 1,10$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata *Numerički primer 2*

2.3 Kontrola granične vitkosti λ_{lim} stuba POS S1

- Određivanje koeficijenta C:

SRPS EN 1992-1-1: za ukrućene elemente u kojima momenti prvog reda nastaju samo usled imperfekcija ili poprečnog opterećenja treba uzeti $r_m = 1,0$ odnosno $C = 0,7$

$$\text{Usvojeno: } C = 0,70$$

- Normalizovana aksijalna sila:

$$n = v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{734,08}{30 \cdot 25 \cdot 1,7} = 0,576$$

- Vitkost stuba POS S1:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{400}{7,22} = 55,4$$

- Granična vitkost stuba POS S1:

$$\lambda_{lim} = 20 \cdot \frac{0,95 \cdot 1,10 \cdot 0,70}{\sqrt{0,576}} = 19,28$$

- Maksimalna vitkost stuba POS S1:

$$\lambda_{max} = 70 \cdot \frac{0,95 \cdot 1,10 \cdot 0,70}{\sqrt{0,576}} = 67,47$$

$$\lambda_{lim} < \lambda < \lambda_{max} \rightarrow \text{uticaji drugog reda moraju se uzeti u obzir!}$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2

2.4 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

- Proračunske vrednosti uticaja prema teoriji prvog reda:

$$N_{Ed} = 734,08 \text{ kN}$$

$$M_{0,Ed} = 67,34 \text{ kNm}$$

- Osnovna krivina preseka (pretpostavka $d_f = 5 \text{ cm}$, $d_f/h = 0,2$):

$$d = 25,0 - 5,0 = 20,0 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0,45 \cdot d} = \frac{2,174 \cdot 10^{-3}}{0,45 \cdot 0,20} = 0,02416 \frac{1}{m}$$

- Koeficijent K_φ :

$$\beta = 0,35 + f_{ck} / 200 - \lambda / 150 = 0,35 + 30 / 200 - 55,4 / 150 = 0,131$$

$$K_\varphi = 1 + \beta \varphi_{ef} = 1 + 0,131 \cdot 0,258 = 1,03 \geq 1,0$$

$$(2) \rightarrow M_2 = 734,08 \cdot 0,1 \cdot 4,0^2 \cdot K_r \cdot 1,03 \cdot 0,02416 = 29,23 \cdot K_r [\text{kNm}]$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2

2.4 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

$$n = v_{Ed} = 0,576$$

1. iteracija: $K_r = 0,8$

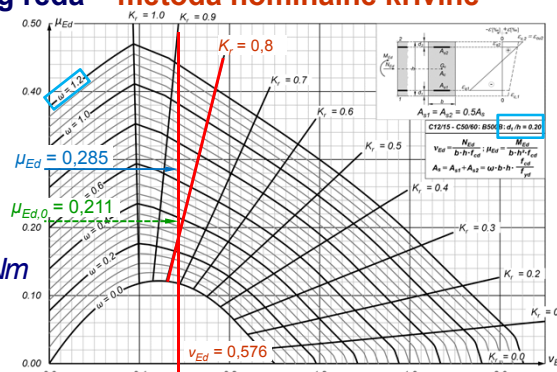
$$(2) \rightarrow M_2 = 29,23 \cdot K_r$$

$$M_2 = 29,23 \cdot 0,8 = 23,38 \text{ kNm}$$

$$(1) \rightarrow M_{Ed} = M_{0,Ed} + M_2$$

$$M_{Ed} = 67,34 + 23,38 = 90,72 \text{ kNm}$$

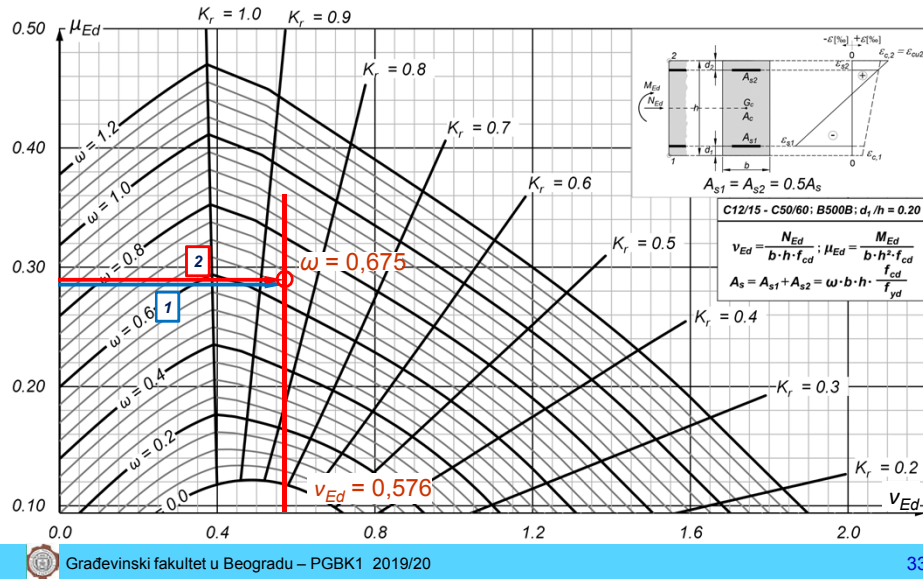
$$\mu_{Ed} = \frac{90,72 \cdot 100}{30 \cdot 25^2 \cdot 1,7} = 0,285$$



iteracija	$K_{r,pret}$	$M_{0,Ed}$ [kNm]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N_{Ed} [kN]	μ_{Ed}	v_{Ed}	ω
1	0,80	67,34	23,38	90,72	734,08	0,285	0,576	-
2	0,86	67,34	25,14	92,48	734,08	0,290	0,576	0,675



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata Numerički primer 2

2.4 Analiza uticaja drugog reda – metoda nominalne krivine

Mehanički procenat armiranja za koeficijent $K_r = 0,76$:

$$\omega = 0,675$$

$$A_{s,req} = 0,675 \cdot 30 \cdot 25 \cdot \frac{1,7}{43,5} = 19,78 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0,15 \cdot 773,38}{43,5} = 2,67 \text{ cm}^2 > 0,003 \cdot 25 \cdot 30 = 2,25 \text{ cm}^2 \left. \vphantom{A_{s,min}} \right\} < A_{s,req} = 19,78 \text{ cm}^2$$

$$4\emptyset 12 \rightarrow 4 \cdot 1,13 = 4,52 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,5 \cdot A_s = 9,89 \text{ cm}^2$$

**usvojeno: $\pm (2\emptyset 16 + 2\emptyset 20)$
(20,6 cm²)**

$$A_{s,uk,prov} = 20,6 \text{ cm}^2 < A_{s,uk,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 30 \cdot 25 = 30,0 \text{ cm}^2$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 2

2.5 Uticaji u stubu POS S1 – Komb. 2 (dominantno korisno opt.)

Uticaji ULS – aksijalne sile (**dominantno korisno opterećenje**):

Stalno opterećenje (iz primera 1): $N_g = 383,25 \text{ kN}$

Korisno opterećenje (iz primera 1): $N_q = 170,66 \text{ kN}$

Vetar: $N_w = 25 \text{ kN (!)}$

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 383,25 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 25,0 + 1,5 \cdot 170,66 = \mathbf{795,88 \text{ kN}}$$

Uticaji ULS – momenti savijanja po teoriji I reda (**dominantno korisno opt.**):

Moment od vetra: $M_w = 40 \text{ kNm}$

Dužina izvijanja stuba: $l_o = 4,0 \text{ m}$

$$e_i = 4,0/400 = 0,01 \text{ m} \rightarrow M_{0,imp,Ed} = N_{Ed} \cdot e_i = 795,88 \cdot 0,01 = 7,96 \text{ kNm}$$

Ukupni moment prema teoriji I reda: $M_{0,Ed} = 1,5 \cdot 0,6 M_w + M_{0,imp,Ed} = \mathbf{43,96 \text{ kNm}}$

Minimalni ekscentricitet:

$$e_{0,min} = \max(0,02, h/30) = 0,02 \text{ m} < e_{0,Ed} = 43,96/795,88 = 0,055 \text{ m}$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Numerički primer 2

2.5 Uticaji u stubu POS S1 – Komb. 2 (dominantno korisno opt.)

iteracija	$K_{r,pret}$	$M_{0,Ed}$ [kNm]	M_2 [kNm]	M_{Ed} [kNm]	N_{Ed} [kN]	μ_{Ed}	ν_{Ed}	ω
1	0,80	43,96	25,84	69,80	795,88	0,219	0,624	-
2	0,77	43,96	24,87	68,83	795,88	0,216	0,624	-
3	0,76	43,96	24,55	68,51	795,88	0,215	0,624	0,43

$$A_{s,req} = 0,43 \cdot 30 \cdot 25 \cdot \frac{1,7}{43,5} = 12,60 \text{ cm}^2$$

2.6 Uticaji u stubu POS S1 – Komb. 3 (povoljno dejstvo stalnog opterećenja)

$$N_{Ed} = 1,0 \cdot N_g - 1,5 \cdot N_w = 383,25 - 1,5 \cdot 25,0 = 345,75 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,0} = 1,5 \cdot M_w = 60,0 \text{ kNm (zanemaren moment od imperfekcija)}$$

$$\nu_{Ed} = \frac{345,75}{30 \cdot 25 \cdot 1,7} = 0,271$$

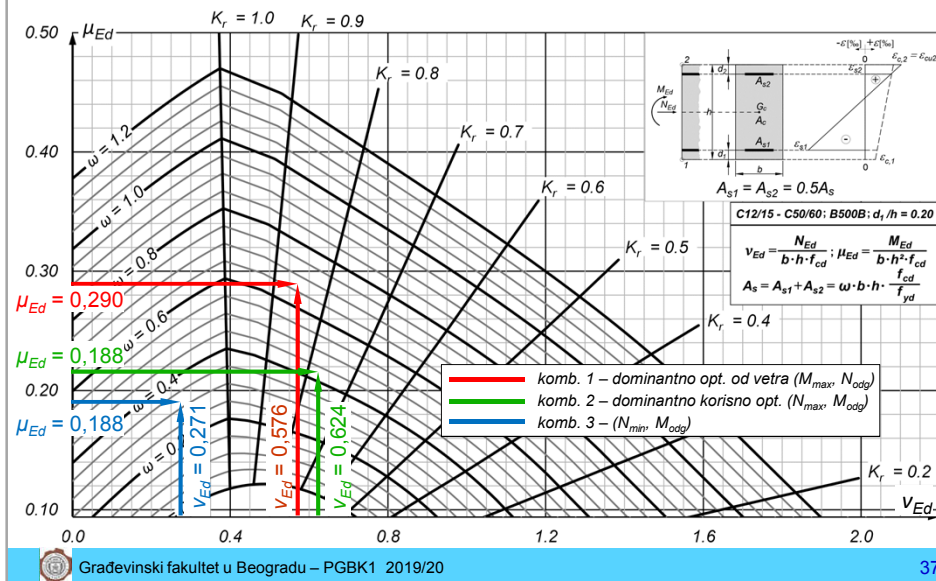
$$\mu_{Ed} = \frac{60,0 \cdot 100}{30 \cdot 25^2 \cdot 1,7} = 0,188$$

$$\left. \begin{array}{l} \nu_{Ed} = 0,271 \\ \mu_{Ed} = 0,188 \end{array} \right\} \omega = 0,35 \rightarrow A_{s,req} = 10,26 \text{ cm}^2$$



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

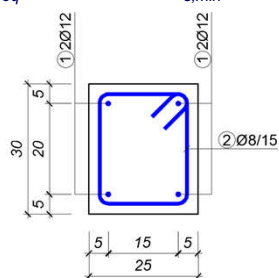
Numerički primer 2 - rezime



Analiza uticaja drugog reda pritisnutih AB elemenata

Zadatak 1 – stub POS S1

$N_{Ed} = 773,38 \text{ kN}$
 $M_{0,Ed} = 15,47 \text{ kNm}$
 $1/r_0 = 0,02416$
 $K_r = 0,68, K_\varphi = 1,15$
 $1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 = 0,0189$
 $M_2 = 23,38 \text{ kNm}$
 $M_{Ed} = 38,88 \text{ kNm}$
 $A_{s,req} = 0,88 \text{ cm}^2 < A_{s,min}$



Zadatak 2 – stub POS S1 (komb. 1)

$N_{Ed} = 734,08 \text{ kN}$
 $M_{0,Ed} = 67,34 \text{ kNm}$
 $1/r_0 = 0,02416$
 $K_r = 0,86, K_\varphi = 1,03$
 $1/r = K_r \cdot K_\varphi \cdot 1/r_0 = 0,0214$
 $M_2 = 25,14 \text{ kNm}$
 $M_{Ed} = 92,48 \text{ kNm}$
 $A_{s,potr.} = 19,78 \text{ cm}^2$

