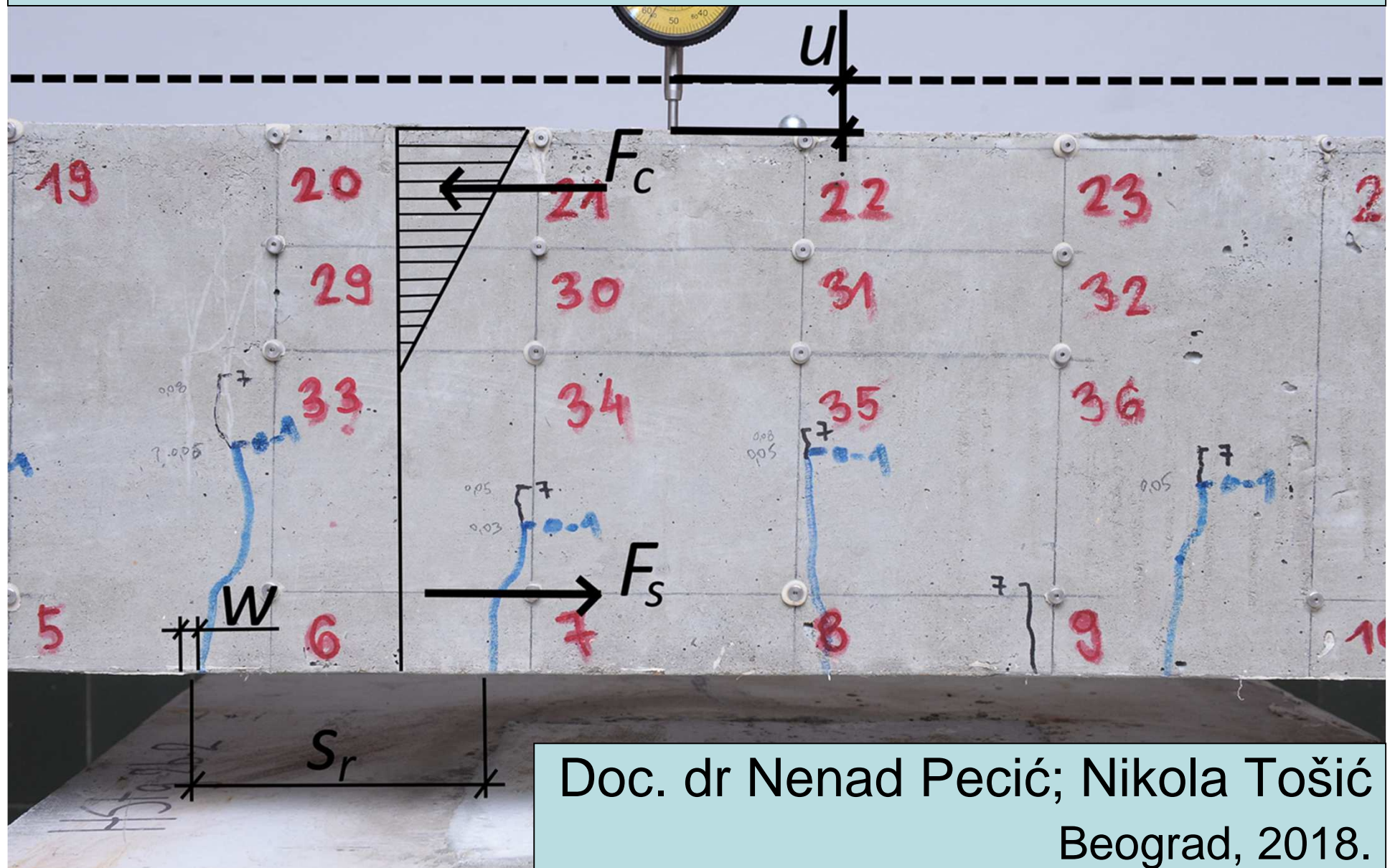


Teorija betonskih konstrukcija 2

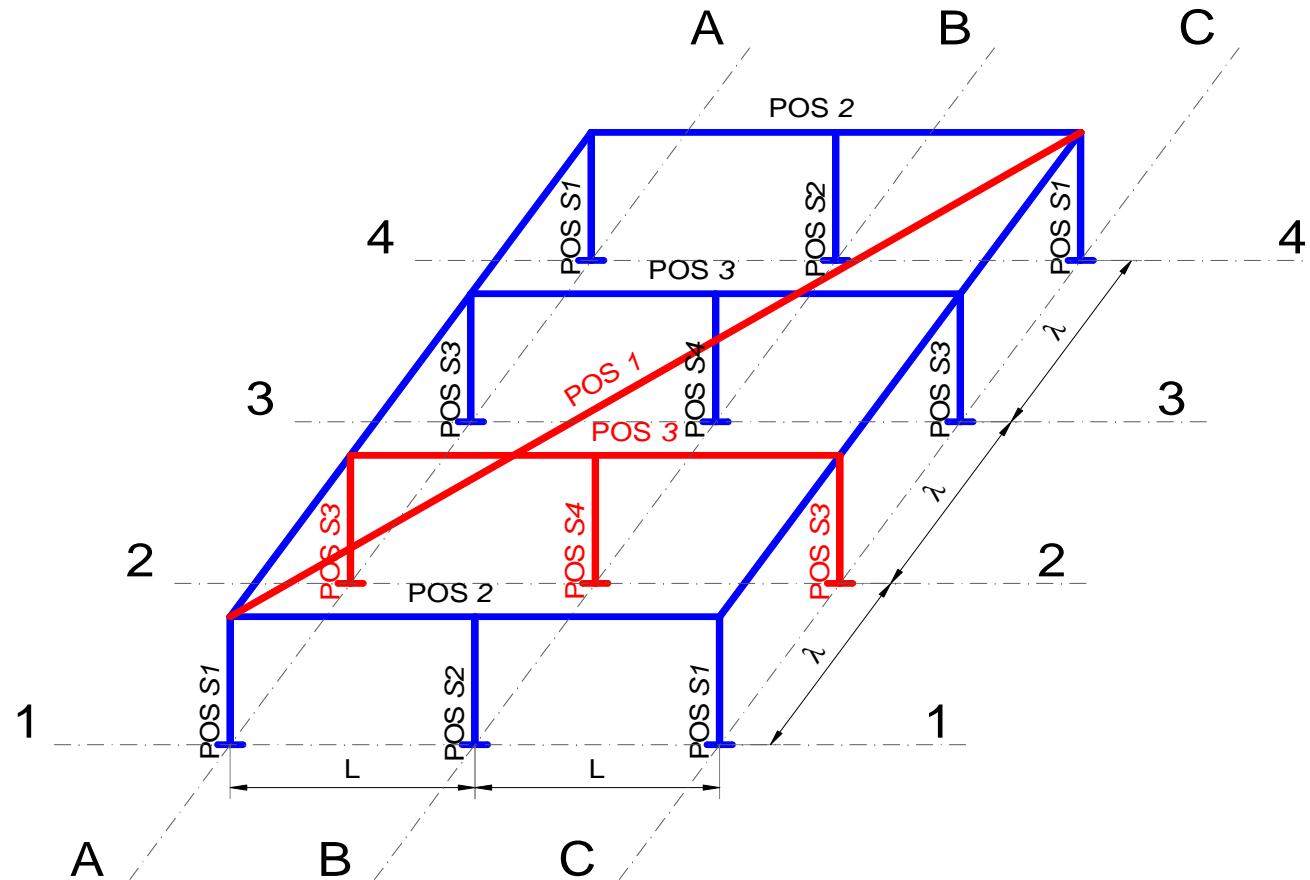


Doc. dr Nenad Pecić; Nikola Tošić
Beograd, 2018.

Projektni zadatak

Za konstrukciju parkinga na skici uraditi proračun prema Evrokodovima za konstrukcije. {1}

Prikazati detaljan proračun ploče **POS 1** i grede srednjeg rama **POS 3**



Projektni zadatak

Dispozicija:

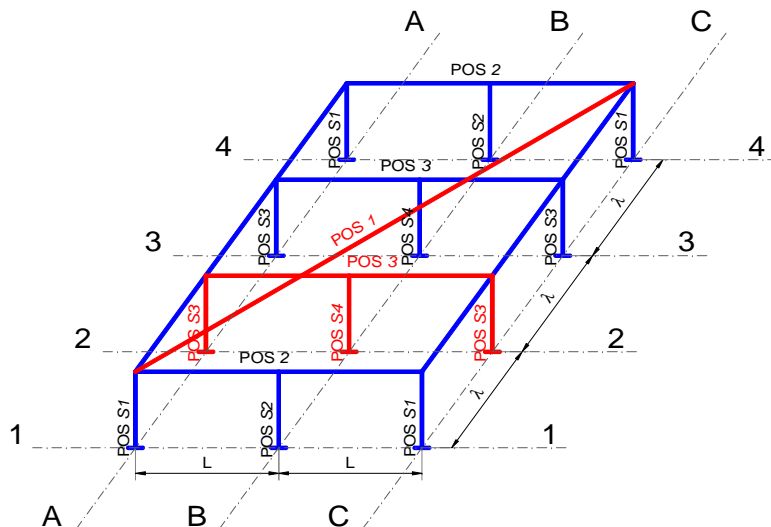
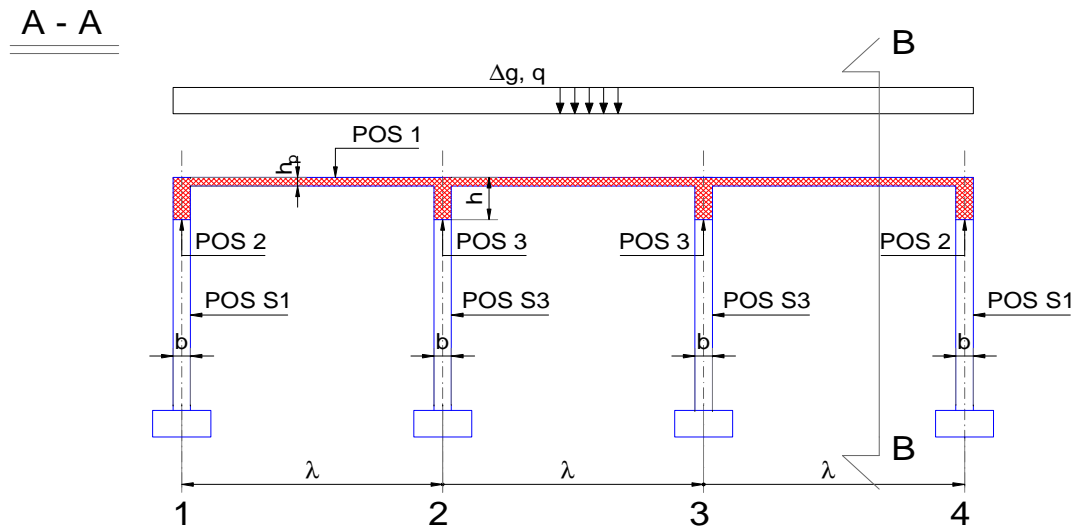
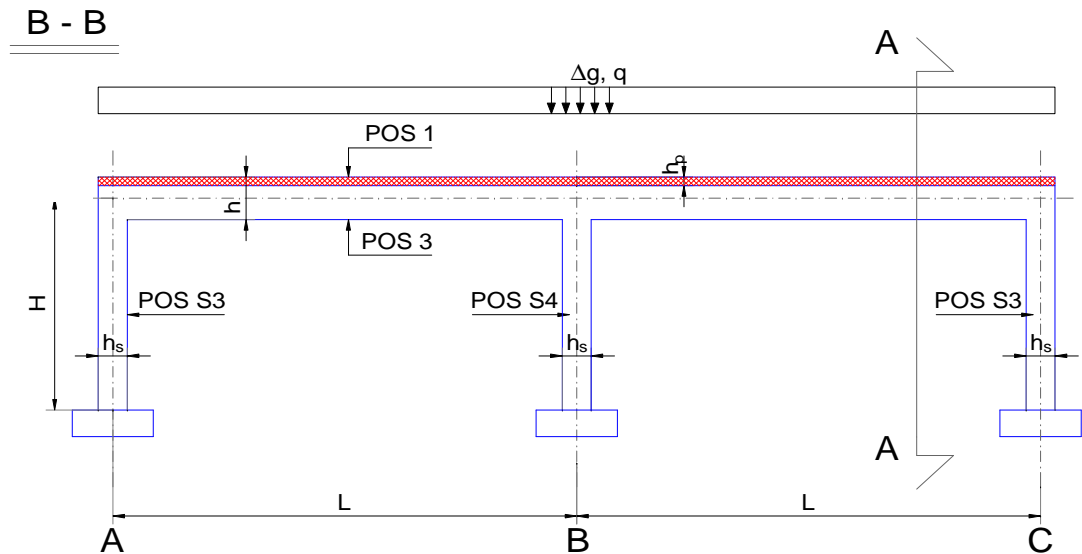
$$L = 7.5 \text{ m}$$

$$\lambda = 5.5 \text{ m}$$

$$b/h = 300 / 600 \text{ mm}$$

$$h_p = 180 \text{ mm}$$

$$h_s = 500 \text{ mm}$$



Sadržaj proračuna

POS 3 – kontinualna AB greda

1. Statički sistem
2. Analiza opterećenja
 - Granično stanje nosivosti (ULS)
 - Granično stanje upotrebljivosti (SLS)
3. Statički uticaji
 - Statički uticaji - ULS
 - Statički uticaji - SLS
4. Proračun ULS
 - Savijanje
 - Smicanje
5. Proračun SLS
 - Kontrola napona
 - Kontrola prslina
 - Kontrola ugiba



Ulazni podaci

Namena konstrukcije:	Parking
Kategorija proračunskog upotrebnoog veka:	4 (<i>EN1990: 2.3(1). Tabela 2.1. {2}</i>)
Kategorija korišćenja površina:	F (<i>EN1991-1-1:6.3.3.1(1).Tabela 6.7.{3}</i>)
Klasa izloženosti:	XD3 (<i>EN1992-1-1: 4.2(2). Tabela 4.1.{4}</i>)
Materijali: Beton Armatura	C35/45 (<i>EN1992-1-1:prilog E.Tabela E.1N. {5}</i>) <i>sa nominalno najkrupnijim zrnom agregata 16 mm</i> B500 (<i>EN1992-1-1:3.2.2) {6}</i>)

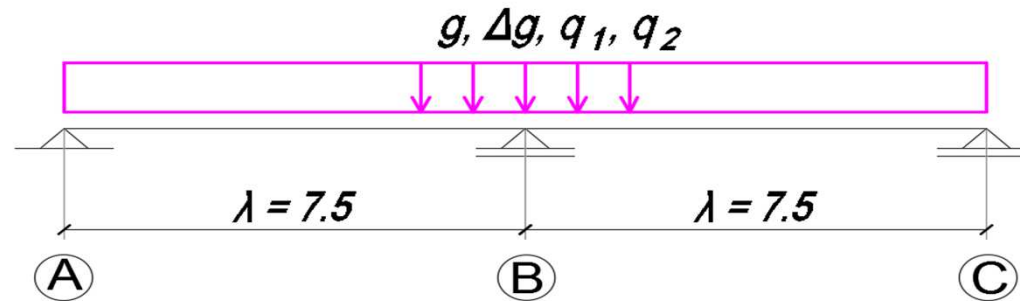


POS 3 – kontinualna AB greda

Statički sistem:

(pojednostavljeno za „ručni“ proračun)

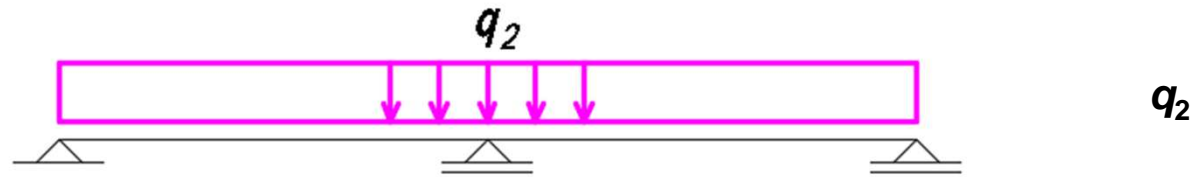
Analiza opterećenja:



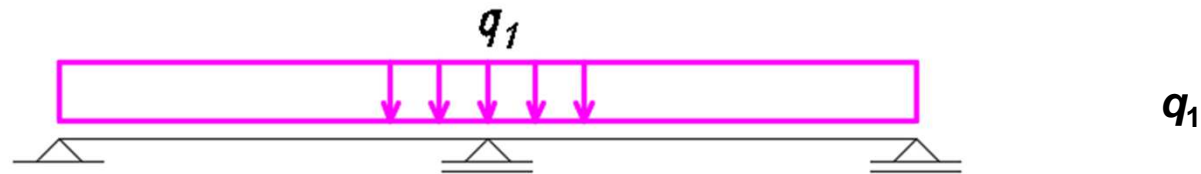
A
stalno



B
sneg



C **C.1**
parking



POS 3 – kontinualna AB greda

Analiza opterećenja

Stalna dejstva:

- Sopstvena težina $g_{st} = 0.3 \cdot 0.6 \cdot 25 = 4.50 \text{ kN/m}$
 - Sa ploče POS 1 $g_{POS1} + \Delta g_{POS1} = 33.26 \text{ kN/m}$
- UKUPNO stalno dejstvo („A“) $g = 37.76 \text{ kN/m}$



Promenljiva dejstva:

- Promenljivo opt. sa ploče POS 1 („C“) $q_1 = 15.12 \text{ kN/m}$
- Sneg sa POS 1 („B“) $q_2 = 6.05 \text{ kN/m}$



POS 3 – kontinualna AB greda

Granično stanje nosivosti (ULS):

Kombinacija dejstava za „stalnu“ proračunsku situaciju

$$\sum \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (i > 1)$$

Parcijalni koeficijenti sigurnosti γ za dejstva

Stalno dejstvo (γ_G)		Promenljivo dejstvo (γ_Q)
Povoljan efekat	Nepovoljan efekat	Nepovoljan efekat
1.0	1.35	1.50

Statistički ψ faktori (EN 1990: A1.2.2(1) – Tabela A1.1)

Opterećenje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Korisno opterećenje kategorije F	0.7	0.6	0.6
Sneg	0.5	0.2	0.0



POS 3 – kontinualna AB greda

Granično stanje nosivosti (ULS):

$$\sum \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{k,1} + \sum \gamma_Q \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (i > 1) \quad \{10\} \{11\} \{12\}$$

(EN 1990: A1.3.1 – Tabela A1.2(B))

“Stalna” proračunska kombinacija	Stalna dejstva		Promenljiva dejstva	
	povoljna	nepovoljna	”Dominantno” promeljivo dejstvo	Ostala promenljiva dejstva
	1.0 · g		1.5 · q ₁	(1.5 ili 0) · 0.5 · q ₂
	1.0 · g		1.5 · q ₂	(1.5 ili 0) · 0.7 · q ₁
		1.35 · g	1.5 · q ₁	(1.5 ili 0) · 0.5 · q ₂
		1.35 · g	1.5 · q ₂	(1.5 ili 0) · 0.7 · q ₁

– Promenljivo dejstvo je znatno manje od stalnog: usvojeno je da deluje na čitavoj površini ploče =>

1.	1.35 · A + 1.5 · B + 1.5 · 0.7 · C1	{12}
2.	1.35 · A + 1.5 · C1 + 1.5 · 0.5 · B	



POS 3 – kontinualna AB greda

Kontrola prslina, kontrola ugiba (SLS): **{13}**

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{Kvazi-stalna kombinacija}$$

Statistički ψ faktori (EN 1990: A1.2.2(1) – Tabela A1.1)

Opterećenje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Korisno opterećenje kategorije F	0.7	0.6	0.6
Sneg	0.5	0.2	0.0

(EN 1990: A1.4.1 – Tabela A1.4)

Kvazi – stalna kombinacija	Stalna dejstva	Promenljiva dejstva	
		Korisno kategorije F	sneg
	$1.0 \cdot g$	0.6 · q_1	0.0 · q_2



POS 3 – kontinualna AB greda

Kontrola napona (SLS):

{13}

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Kvazi-stalna kombinacija

$$\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}; \quad (i > 1) \quad \text{Karakteristična kombinacija}$$

Statistički ψ faktori (EN 1990: A1.2.2(1) – Tabela A1.1)

Opterećenje	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Korisno opterećenje kategorije F	0.7	0.6	0.6
Sneg	0.5	0.2	0.0

(EN 1990: A1.4.1 – Tabela A1.4)

Karakteristična kombinacija	Stalna dejstva	Promenljiva dejstva	
		“dominantno”	ostala
	1.0 · g	1.0 · q ₁	0.5 · q ₂
	1.0 · g	1.0 · q ₂	0.7 · q ₁



POS 3 – kontinualna AB greda

Kombinacije za proračun SLS: {14}

Kvazi-stalna kombinacija

1. $A + 0.6 \cdot C1 + 0 \cdot B$

Karakteristična kombinacija

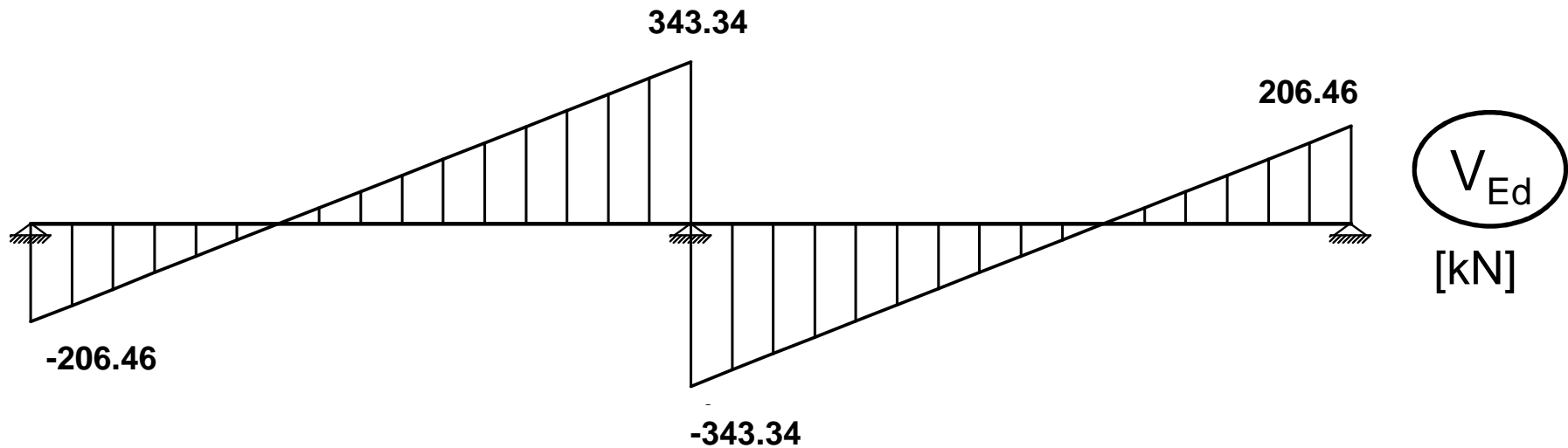
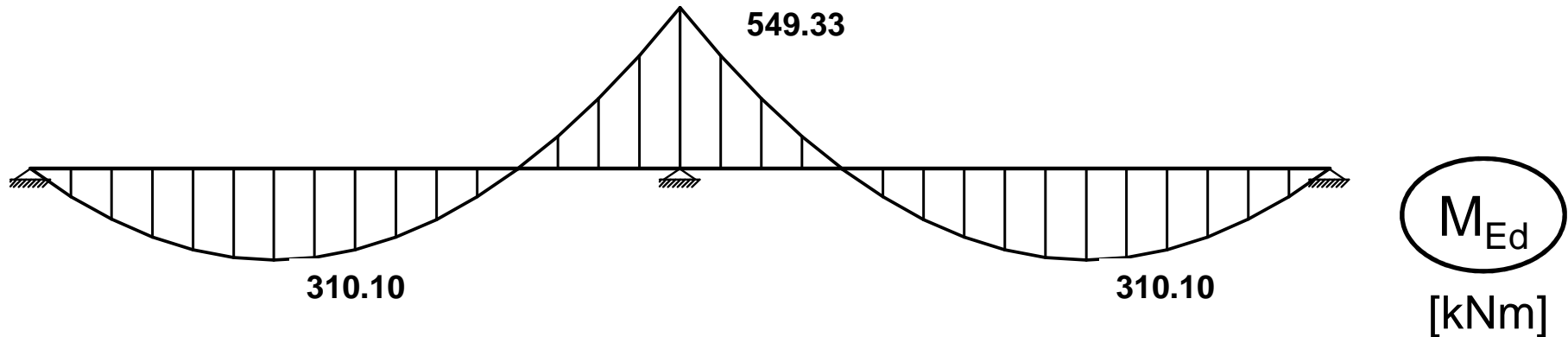
1. $A + C1 + 0.5 \cdot B$

2. $A + 0.7 \cdot C1 + B$



POS 3 – kontinualna AB greda

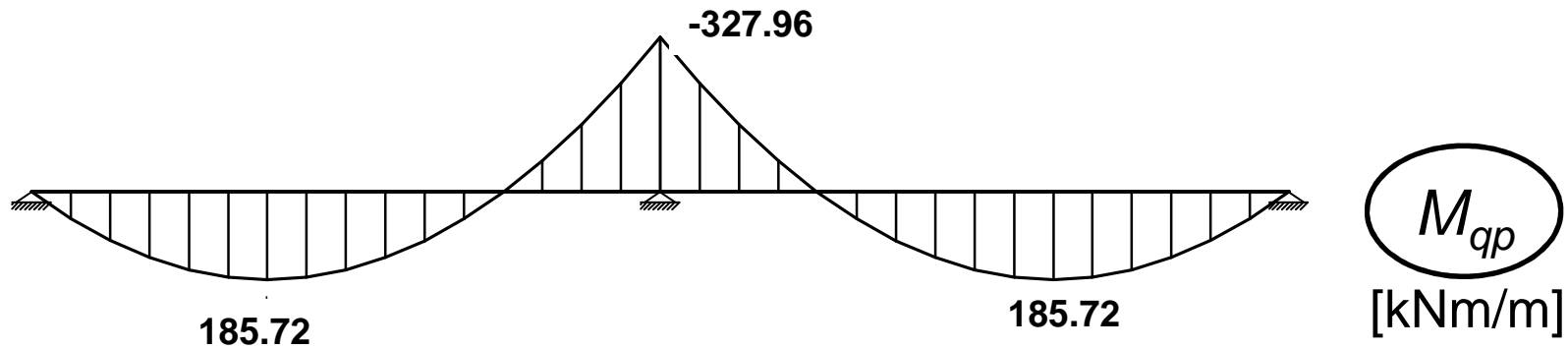
Statički uticaji ULS: $1.35 \cdot A + 1.5 \cdot C1 + 1.5 \cdot 0.5 \cdot B = 78.19 \text{ kN/m}$



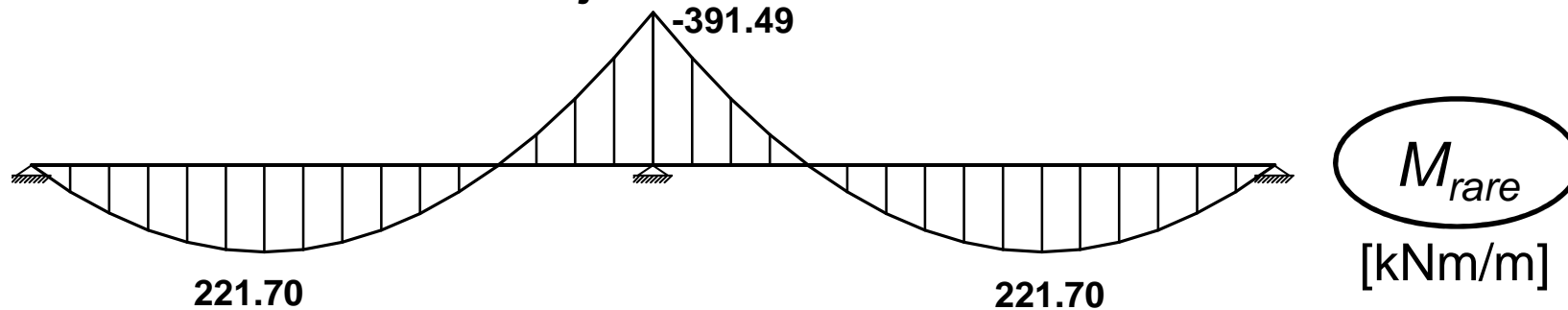
POS 3 – kontinualna AB greda

Statički uticaji SLS:

Kvazi-stalna kombinacija $A + 0.6 \cdot C1 + 0 \cdot B = 46.83 \text{ kN/m}$



Karakteristična kombinacija $A + C1 + 0.5 \cdot B = 55.91 \text{ kN/m}$



Proračun ULS – Savijanje

Zaštitni sloj

{15}

Usvaja se veća od dve vrednosti:

- Vrednosti koja odgovara uzengiji i
- Vrednosti koja odgovara armaturi za savijanje

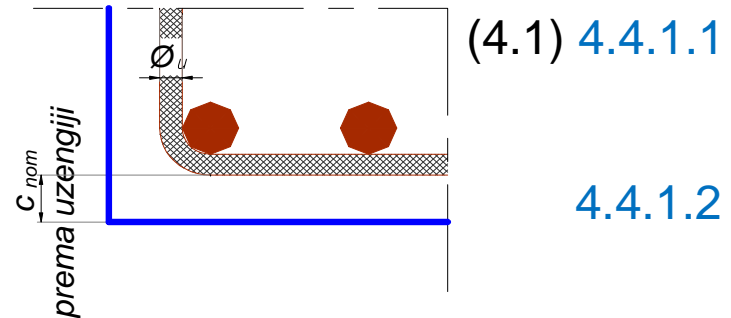
Istovremeno se zadovoljava uslov zaštite armature od korozije (koji ne zavisi od dimenzija armature) i uslov prianjanja. Načelno se postiže racionalnije rešenje jer je sloj koji obuhvata armaturu za savijanje veći od sloja koji pokriva uzengiju.

Zaštitni sloj prema uzengiji (donja zona grede)

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$c_{min} \geq \begin{cases} c_{min.b} \\ c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add} \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

$$c_{min.b} \geq \begin{cases} \varnothing - \text{prečnik pojedinačne šipke} \\ \varnothing_n - \text{prečnik šipke u svežnju} \end{cases} = 10 \text{ mm} \text{ (očekivani max } \varnothing \text{)} \quad \begin{matrix} 4.4.1.2(3) \\ \text{(tabela 4.2)} \end{matrix}$$



Proračun ULS – Savijanje

Zaštitni sloj prema uzengiji (donja zona grede)

Modifikacija klase konstrukcije prema 4.4.1.2(5) – Tabela 4.3N

{16}

Klasa S4 ostaje nepromenjena!

Tabela 4.4N, 4.4.1.2(5) => $c_{\min.dur} = 45 \text{ mm}$

{17}

Vrednosti korekcija za $c_{\min.dur}$ u NA su:

$$\Delta c_{dur.\gamma} = \Delta c_{dur.st} = \Delta c_{dur.add} = 0$$

4.4.1.2(6).(7).(8)

$$c_{\min} \geq \left\{ \begin{array}{l} 10 \text{ mm} \\ 45+0+0+0 = 45 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 45 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev}$$

(4.1) {18}

Vrednost Δc_{dev} se definiše u NA. Usvojena vrednost (4.4.1.3(1)) je $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

Konačni zaštitni sloj:

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Zaštitni sloj od 55 mm obezbeđuje $55 + 10 = 65 \text{ mm}$ za armaturu za savijanje!



Proračun ULS – Savijanje

Zaštitni sloj prema armaturi za savijanje (donja zona grede)

{15}

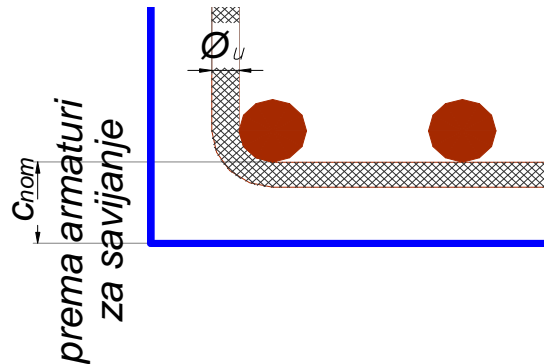
$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

(4.1) 4.4.1.1

$$c_{min} \geq \begin{cases} c_{min.b} \\ c_{min.dur} + \Delta c_{dur.\gamma} - \Delta c_{dur.st} - \Delta c_{dur.add} \\ 10 \text{ mm} \end{cases}$$

4.4.1.2

$$c_{min.b} \geq \begin{cases} \varnothing - \text{prečnik pojedinačne šipke} \\ \varnothing_n - \text{prečnik šipke u svežnju} \end{cases} = 25 \text{ mm (očekivani max } \varnothing) \quad 4.4.1.2(3) \\ \text{(tabela 4.2)}$$



Proračun ULS – Savijanje

Zaštitni sloj prema armaturi za savijanje (donja zona grede)

Modifikacija klase konstrukcije prema 4.4.1.2(5) – Tabela 4.3N

{16}

Klasa S4 ostaje nepromenjena!

Tabela 4.4N, 4.4.1.2(5) => $c_{\min.dur} = 45 \text{ mm}$

{17}

Vrednosti korekcija za $c_{\min.dur}$ u NA su:

$$\Delta c_{dur.\gamma} = \Delta c_{dur.st} = \Delta c_{dur.add} = 0$$

4.4.1.2(6).(7).(8)

$$c_{\min} \geq \left\{ \begin{array}{l} 25 \text{ mm} \\ 45+0+0+0 = 45 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right\} = 45 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

(4.1) {18}

Vrednost Δc_{dev} se definiše u NA. Usvojena vrednost (4.4.1.3(1)) je $\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

Konačni zaštitni sloj:

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Merodavan je zaštitni sloj sračunat **prema uzengiji** koji iznosi 55 mm.



Proračun ULS – Savijanje

Dimenzionisanje:

$$C35/45 \Rightarrow f_{cd} = 0.85 \cdot 35 / 1.5 = 19.83 \text{ MPa}; f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

{19}

$$B500 \Rightarrow f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$$

{20}

Geometrijske karakteristike:

$$h = 60 \text{ cm}; h_f = 18 \text{ cm}; b_w = 30 \text{ cm}$$

{35}

Efektivna širina pritisnutih flanši:

$$L_1 = L_2 = 750 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0.85 \cdot 750 = 637.5 \text{ cm}$$

$$b_1 = 0.5 \cdot (550 - 30) = 260 \text{ cm}$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0.2 \cdot 260 + 0.1 \cdot 637.5 = 116 < 0.2 \cdot 637.5 = 127.5 \text{ cm}$$

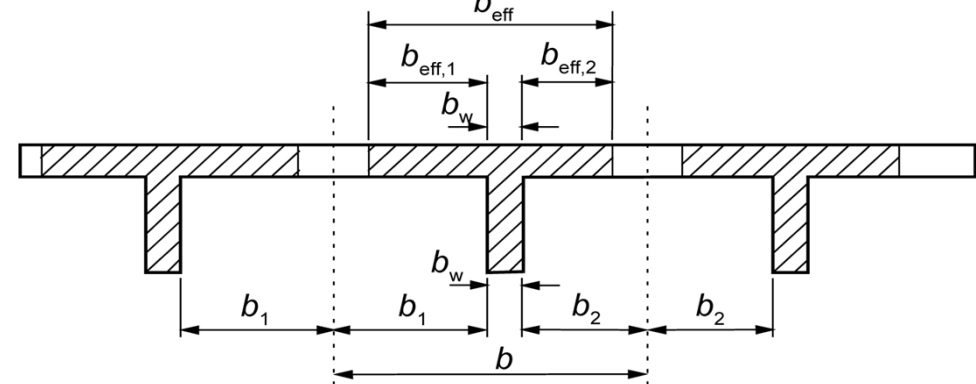
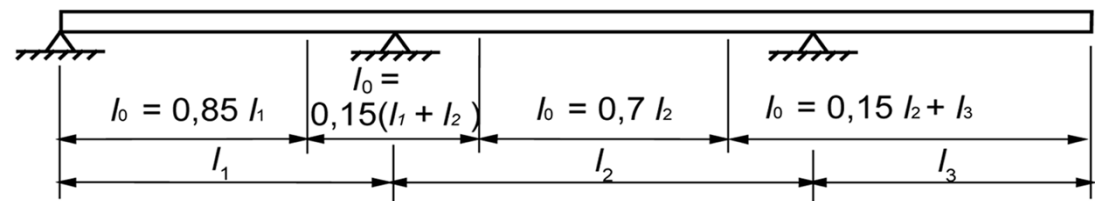
$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 116 \text{ cm} < 260 \text{ cm}$$

5.3.2.1(3)

$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$$

$$= 116 + 116 + 30 = 262 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 262 \text{ cm (u polju)}$$



Proračun ULS – Savijanje

Dimenzionisanje:

$$C35/45 \Rightarrow f_{cd} = 0.85 \cdot 35 / 1.5 = 19.83 \text{ MPa}; f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

{19}

$$B500 \Rightarrow f_{yd} = 500 / 1.15 = 434.8 \text{ MPa}$$

{20}

Geometrijske karakteristike:

$$h = 60 \text{ cm}; h_f = 18 \text{ cm}; b_w = 30 \text{ cm}$$

{35}

Efektivna širina zategnutih flanši:

$$L_1 = L_2 = 750 \text{ cm}$$

$$l_0 = 0.15 \cdot (750 + 750) = 225 \text{ cm}$$

$$b_1 = 0.5 \cdot (550 - 30) = 260 \text{ cm}$$

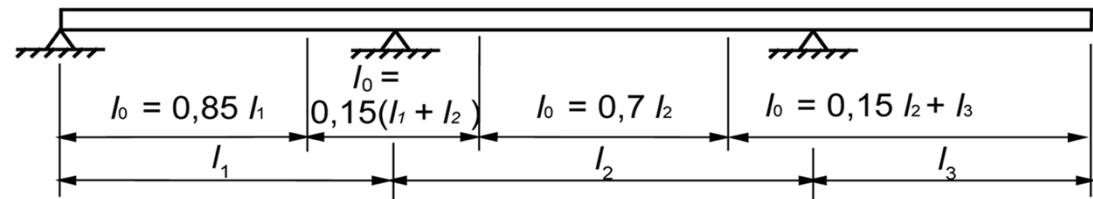
$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 0.2 \cdot 260 + 0.1 \cdot 225 = 74.5 > 0.2 \cdot 225 = 45 \text{ cm}$$

$$b_{eff,1} = b_{eff,2} = 45 \text{ cm} < 260 \text{ cm}$$

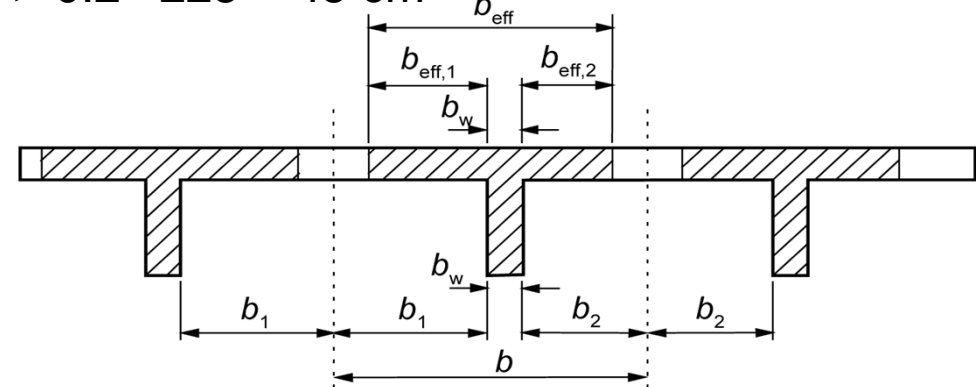
$$b_{eff} = b_{eff,1} + b_{eff,2} + b_w =$$

$$= 45 + 30 + 45 = 120 \text{ cm}$$

$$b_{eff} = 120 \text{ cm (nad osloncem)}$$



5.3.2.1(3)



Proračun ULS – Savijanje

Minimalna i maksimalna površina armature za savijanje u polju:

{21}{31}

$$A_s \geq 0.26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b_t \cdot d$$

9.2.1.1(1)

$$A_s \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_s \geq k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot (f_{ctm}/f_{yk})$$

7.3.2(2)

$$A_s \leq 0.04 \cdot b_w \cdot d$$

NA 2.76

C35/45: $f_{ctm} = 3.2$ MPa

Tabela 3.1

$$A_s \geq 0.26 \cdot (3.2/500) \cdot 30 \cdot 0.9 \cdot 60 = 2.70 \text{ cm}^2$$

$$A_s \geq 0.0013 \cdot 30 \cdot 0.9 \cdot 60 = 2.11 \text{ cm}^2$$

$$k = 0.79; z_{c1}/h = 0.75; k_{cw1} = 0.60$$

$$A_s \geq 0.60 \cdot 0.79 \cdot 30 \cdot (0.75 \cdot 60) \cdot (3.2/500) = 4.10 \text{ cm}^2$$

$$A_s \leq 0.04 \cdot 30 \cdot 0.9 \cdot 60 = 72.0 \text{ cm}^2$$



Proračun ULS – Savijanje

Minimalna i maksimalna površina armature za savijanje nad osloncem: **{21}{31}**

$$A_s \geq 0.26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \cdot b_t \cdot d \quad 9.2.1.1(1)$$

$$A_s \geq 0.0013 \cdot b_t \cdot d$$

$$A_s \geq k_c \cdot k \cdot A_{ct} \cdot (f_{ctm}/f_{yk}) \quad 7.3.2(2)$$

$$A_s \leq 0.04 \cdot b_w \cdot d \quad NA 2.76$$

C35/45: $f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

Tabela 3.1

$$A_s \geq 0.26 \cdot (3.2/500) \cdot 120 \cdot 0.9 \cdot 60 = 10.78 \text{ cm}^2$$

$$A_s \geq 0.0013 \cdot 120 \cdot 0.9 \cdot 60 = 8.44 \text{ cm}^2$$

$$k = 0.79; z_{c1}/h = 0.67; k_{cw2} = 0.27; k_{cfl} = 0.50$$

$$A_{s,w} \geq 0.27 \cdot 0.79 \cdot 30 \cdot (60 - 0.67 \cdot 60) \cdot (3.2/500) = 0.81 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,fl} \geq 0.5 \cdot 0.79 \cdot (120 - 30) \cdot (60 - 0.67 \cdot 60) \cdot (3.2/500) = 4.50 \text{ cm}^2$$

$$A_s \geq 0.81 + 4.50 = 5.31 \text{ cm}^2 \quad A_s \leq 0.04 \cdot 30 \cdot 0.9 \cdot 60 = 72.0 \text{ cm}^2$$



Proračun ULS – Savijanje

Dimenzionisanje:

Polje: $M_{Ed} = 310.10$ kNm; pretp. $d_1 = 7.8$ cm; $d = 52.2$ cm; $b = 262$ cm **{23}**

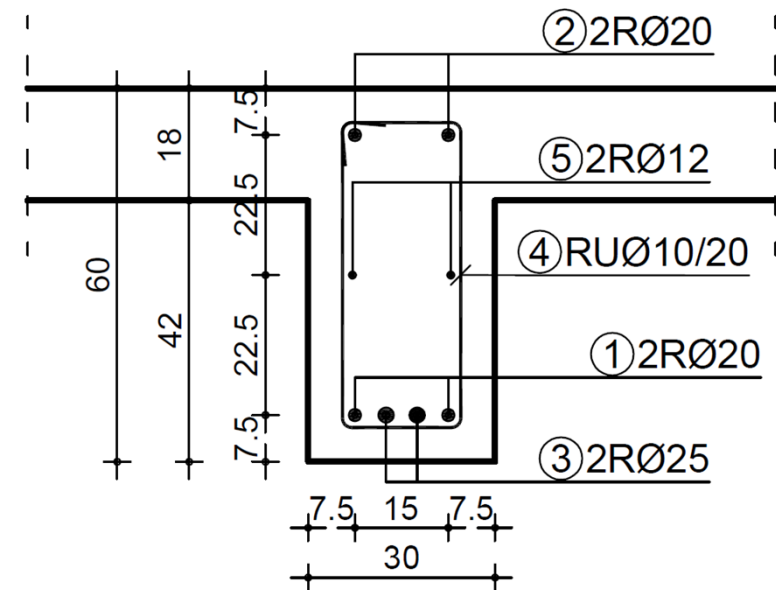
$$k = \frac{52.2}{\sqrt{\frac{310.10 \cdot 10^2}{262 \cdot 1.983}}} = 6.757 \Rightarrow \omega_1 = 2.533\%$$

$$x = \xi \cdot d = 0.031 \cdot 52.2 = 1.61 \text{ cm} < h_f = 18 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = \frac{2.533}{100} \cdot 262 \cdot 52.2 \cdot \frac{19.83}{434.8} = 13.84 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s1} > A_{s,min}$$

Usvojeno 2Ø20 + 2Ø25 (16.10 cm²)



Proračun ULS – Savijanje

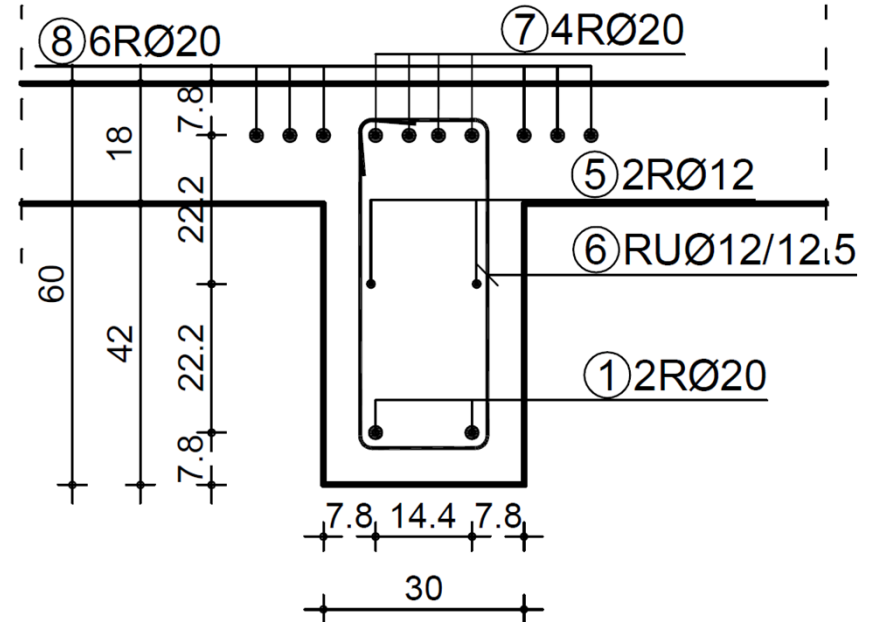
Dimenzionisanje:

Oslonac: $M_{Ed} = 549.33$ kNm; pretp. $d_1 = 7.8$ cm; $d = 52.2$ cm; $b = 30$ cm **{23}**

$$k = \frac{52.2}{\sqrt{\frac{549.33 \cdot 10^2}{30 \cdot 1.983}}} = 1.718 \Rightarrow \omega_1 = 44.271\%$$

$$A_{s1} = \frac{44.271}{100} \cdot 30 \cdot 52.2 \cdot \frac{19.83}{434.8} = 31.26 \text{ cm}^2/m; \quad A_{s1} > A_{s,min}$$

Usvojeno $3\text{Ø}20 + 4\text{Ø}20 + 3\text{Ø}20$ (31.42 cm^2)



Proračun ULS – Smicanje

{25}

Kontrola da li je potrebna armatura za smicanje:

$$V_{Ed} < V_{Rd,c} \quad 6.2.1(3)$$

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \quad (6.2a)$$

Ali ne manje od:

$$V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (6.2b)$$

Krajnji oslonac: $d = 52.2 \text{ cm}$; $2\text{Ø}20$ (6.28 cm^2)

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{522}} = 1.62; \quad k \leq 2.0 \quad \Rightarrow \quad k = 1.62$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.62^{3/2} \cdot 35^{1/2} = 0.427$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12; \quad k_1 = 0.15; \quad \sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c = 0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{6.28}{30 \cdot 52.2} = 0.004 \leq 0.02$$



Proračun ULS – Smicanje

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.62 \cdot (100 \cdot 0.004 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0 \right] \cdot 300 \cdot 522 \cdot 10^{-3} = 73.4 \text{ kN}$$

Ali ne manje od:

$$V_{Rd,c} = (0.427 + 0.15 \cdot 0) \cdot 300 \cdot 522 \cdot 10^{-3} = 66.9 \text{ kN}$$

Krajnji oslonac:

$$V_{Ed} = 206.5 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 73.4 \text{ kN}$$

Potrebna je proračunska armatura za smicanje!



Proračun ULS – Smicanje

Srednji oslonac: $d = 52.2$ cm; $10\text{Ø}20$ (31.42 cm²)

$$k = 1.62; v_{min} = 0.427$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12; k_1 = 0.15; \sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c = 0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{31.42}{30 \cdot 52.2} = 0.02 \leq 0.02$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.12 \cdot 1.62 \cdot (100 \cdot 0.02 \cdot 35)^{\frac{1}{3}} + 0.15 \cdot 0 \right] \cdot 300 \cdot 522 \cdot 10^{-3} = 125.5 \text{ kN}$$

Ali ne manje od:

$$V_{Rd,c} = (0.427 + 0.15 \cdot 0) \cdot 300 \cdot 522 \cdot 10^{-3} = 66.9 \text{ kN}$$

Srednji oslonac:

$$V_{Ed} = 343.3 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 125.5 \text{ kN}$$

Potrebna je proračunska armatura za smicanje!



Proračun ULS – Smicanje

Maksimalna nosivost na smicanje:

{26}

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (6.9) \quad 6.2.3(3)$$

$$v = 0.6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]; \quad f_{ck} \text{ u MPa} \quad (6.6N) \quad 6.2.2(6)$$

$$V_{Rd,max} = 1 \cdot 30 \cdot 0.9 \cdot 52.2 \cdot 0.6 \cdot \left(1 - \frac{35}{250} \right) \cdot 1.983/2 = 720 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = 343.3 \text{ kN} \leq V_{Rd,max} = 720 \text{ kN}$$



Proračun ULS – Smicanje

Proračun vertikalne armature za prijem smicanja:

6.2.3(3) {27}

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (6.8)$$

$$s \geq \frac{A_{sw} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}{V_{Ed}}$$

$$f_{ywd} = 434.8 \text{ MPa}$$

$$z = 47 \text{ cm}$$

$$\theta = 45^\circ$$



Za $V_{Ed} = 206.5 \text{ kN}$

A_{sw}	2Ø8	2Ø10
s	≤ 9.9	≤ 15.5

Usvojeno: UØ10/15

Za $V_{Ed} = 343.3 \text{ kN}$

A_{sw}	2Ø10	2Ø12
s	≤ 9.3	≤ 13.4

Usvojeno: UØ12/12.5



Proračun ULS – Smicanje

Minimalne površine armature za prijem smicanja:

9.2.2 {28}

$$\rho_{w,min} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0.08 \cdot \frac{\sqrt{35}}{500} = 0.0008 = 0.08\% \quad (9.5N)$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 0.785}{10 \cdot 30 \cdot 1} = 0.0052 \geq \rho_{w,min} = 0.0008$$

$$s_{l,max} = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0.75 \cdot 52.2 = 39.2 \text{ cm} \geq s_{usv} = 12.5 \text{ cm} \quad (9.6N)$$

Na mestima gde nije potrebna računaska armatura za prijem smicanja:

Usvojeno: UØ10/20

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} = \frac{2 \cdot 0.785}{20 \cdot 30 \cdot 1} = 0.0026 \geq \rho_{w,min} = 0.0008$$

$$s_{l,max} = 0.75 \cdot d \cdot (1 + \cot \alpha) = 0.75 \cdot 52.2 = 39.2 \text{ cm} \geq s_{usv} = 20 \text{ cm}$$



Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

Naponi u preseku za stanje eksploatacije (SLS) se izračunavaju uobičajenim postupcima koji podrazumevaju:

- Hukov zakon,
- Bernulijevu hipotezu o ravnim presecima i
- „Isključenje“ zategnutog betona

U nastavku je prikazan proračun napona u preseku na osloncem pri delovanju momenta za karakterističnu kombinaciju opterećenja $M_{rare} = 391.49 \text{ kNm}$ po postupku za obostrano armiran presek sa sledećim podacima:

$$b = 30 \text{ cm}; h = 60 \text{ cm}; d_1 = 7.5 \text{ cm}; d = 52.5 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = 31.42 \text{ cm}^2; A_{s2} = 6.28 \text{ cm}^2; E_{cm} = 34 \text{ GPa}; E_s = 200 \text{ GPa} \quad \alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.882$$

$$\rho_1 = \frac{A_{s1}}{b \cdot d} = 0.01995 \quad \xi^2 + 2 \cdot \alpha \cdot (\rho_1 + \rho_2) \cdot \xi - 2 \cdot \alpha \cdot \left(\rho_1 + \rho_2 \cdot \frac{d_2}{d}\right) = 0$$

$$\rho_2 = \frac{A_{s2}}{b \cdot d} = 0.004 \quad \xi = \alpha \cdot (\rho_1 + \rho_2) \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot \left(\rho_1 + \rho_2 \cdot \frac{d_2}{d}\right)}{\alpha \cdot (\rho_1 + \rho_2)^2}} \right) \quad \boxed{\xi = 0.371}$$



Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

$$\sigma_c = \frac{M}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\frac{\xi}{2} \cdot \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \cdot \rho_2 \cdot \left(1 - \frac{d_2}{d \cdot \xi}\right) \cdot \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{1 - \xi}{\xi}$$

Karakteristična proračunska kombinacija:

$$\sigma_c \leq 0.6 \cdot f_{ck}; \text{ C35/45} \Rightarrow \sigma_c \leq 21 \text{ MPa} \quad \sigma_{s1} \leq 0.8 \cdot f_{yk}; \text{ B500} \Rightarrow \sigma_{s1} \leq 400 \text{ MPa}$$

greda POS 3	polje	oslonac
M_{rare} (kNm)	221.7	391.49
A_{s1} (cm ²)	16.1 (2Ø20+2Ø25)	31.42 (10Ø20)
A_{s2} (cm ²)	6.28 (2Ø20)	6.28 (2Ø20)
ξ	0.110 ($x = \xi \cdot d < h_f$)	0.371
σ_c (MPa)	5.71	27.16
$0.6 \cdot f_{ck}$	<21	>21
σ_{s1} (MPa)	272.4	271.4
$0.8 \cdot f_{yk}$	<400	<400



Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

$$\sigma_c = \frac{M}{b \cdot d^2} \cdot \frac{1}{\frac{\xi}{2} \cdot \left(1 - \frac{\xi}{3}\right) + \alpha \cdot \rho_2 \cdot \left(1 - \frac{d_2}{d \cdot \xi}\right) \cdot \left(1 - \frac{d_2}{d}\right)}$$

$$\sigma_{s1} = \alpha \cdot \sigma_c \cdot \frac{1 - \xi}{\xi}$$

Kvazi-stalna proračunska kombinacija:

$$\sigma_c \leq 0.45 \cdot f_{ck}; \text{ C35/45} \Rightarrow \sigma_c \leq 15.75 \text{ MPa}$$

greda POS 3	polje	oslonac
M_{rare} (kNm/m)	185.72	327.96
A_{s1} (cm ²)	16.1 (2Ø20+2Ø25)	31.42 (10Ø20)
A_{s2} (cm ²)	6.28 (2Ø20)	6.28 (2Ø20)
ξ	0.110 ($x = \xi \cdot d < h_f$)	0.371
σ_c (MPa)	4.80	22.71
$0.45 \cdot f_{ck}$	<15.75	>15.75
σ_{s1} (MPa)	228.2	227.2



Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

Naponi u betonu u preseku nad osloncem su prekoračeni i pri kvazi-stalnoj i pri karakterističnoj kombinaciji.

greda POS 3	oslonac	
	kvazi-stalna kombinacija	karakteristična kombinacija
σ_c (MPa)	22.71	27.16
ograničenje	15.75	21.0
odnos napona	1.44	1.29

Moguća rešenja su:

- viša klasa čvrstoće betona
- povećanje količine zategnute armature
- povećanje pritisnute armature
- utezanje pritisnutog betona,
- povećanje visine preseka,
- povećanje širine preseka,
- kombinacija dve ili više prethodnih mera

U nastavku je, kao primer, prikazano rešenje koje kombinuje mere b) i c).

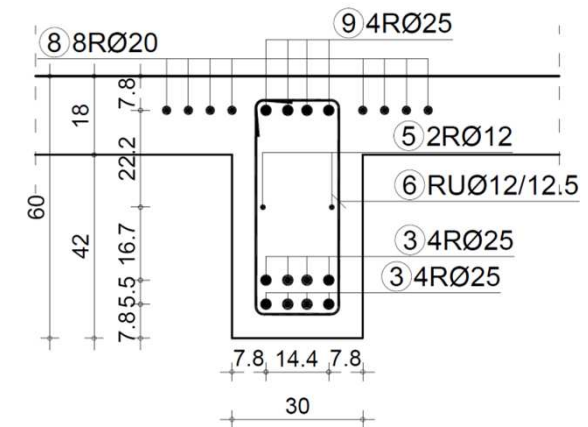


Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

Zategnuta i pritisnuta armatura su uvećane!

Karakteristična proračunska kombinacija:



greda POS 3	polje	oslonac
M_{rare} (kNm)	221.7	391.49
A_{s1} (cm ²)	16.1 (2Ø20+2Ø25)	44.79 (8Ø20+4Ø25)
A_{s2} (cm ²)	6.28 (2Ø20)	39.27 (4Ø25+4Ø25)
ξ	0.110 ($x = \xi \cdot d < h_f$)	0.387
σ_c (MPa)	5.71	21.12
$0.6 \cdot f_{ck}$	<21	≈21
σ_{s1} (MPa)	272.4	196.4
$0.8 \cdot f_{yk}$	<400	<400

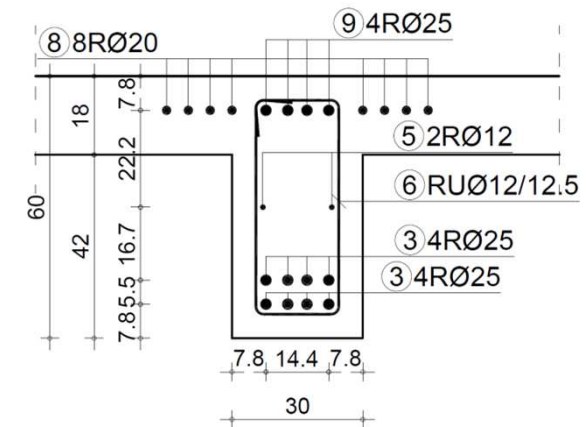


Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

Zategnuta i pritishnuta armatura su uvećane!

Kvazi-stalna proračunska kombinacija:



greda POS 3	polje	oslonac
M_{rare} (kNm)	185.72	327.96
A_{s1} (cm ²)	16.1 (2Ø20+2Ø25)	44.79 (8Ø20+4Ø25)
A_{s2} (cm ²)	6.28 (2Ø20)	39.27 (4Ø25+4Ø25)
ξ	0.110 ($x = \xi \cdot d < h_f$)	0.387
σ_c (MPa)	4.80	17.69
$0.6 \cdot f_{ck}$	<15.75	>15.75
σ_{s1} (MPa)	228.2	164.6



Proračun SLS – Kontrola napona

{29}

Na prethodnim slajdovima pokazana je izmena rešenja nosača kada je potrebno ispuniti naponska ograničenja. Situacija u slučaju razmatrane konstrukcije je sledeća:

- Naponi u armaturi nisu bili prekoračeni ni sa armaturom koja je usvojena prema ULS.
- Ograničenje napona u betonu od $0.6 f_{ck}$ propisano je za klase izloženosti XD, XF i XS. Granica je bila prekoračena nad osloncem, sa donje strane konstrukcije.
- Ograničenje kvazi-stalnog napona u betonu od $0.45 f_{ck}$ nije limit koji ne sme biti prekoračen – uslov je da se uzme u obzir uvećano tečenje betona koje bi moglo dovesti do prekomernih ugiba. Kod razmatrane konstrukcije naponi su prekoračeni u zoni srednjeg oslonca na relativno maloj dužini (neposredno oko vrha negativnih momenata). Ova zona ima dosta manji uticaj na ugib u rasponu od zone maksimalnih momenata u polju. S obzirom da su naponi u polju dosta ispod granice od $0.45 f_{ck}$, prekoračenje napona u zoni oslonca moralo bi da se razmotri samo ukoliko bi provera ugiba pokazala da je on na granici dopuštenog. U nastavku će se videti da to nije slučaj.
- Imajući u vidu sve prethodno, učinjene su izmene armature kod oslonca kojim je napon pritiska pri karakterističnoj kombinaciji smanjen do granice $0.6 f_{ck}$ kako bi se izbeglo nastajanje podužnih prslina. Proračun se nastavlja sa izmenjenim rešenjem.



Proračun SLS – Kontrola prslina

{30} {31}

Preporučene računске širine prslina date su u Tabeli 7.1N (EN1992-1-1:7.3.1(5)).
Preporučeno ograničenje za klasu XD3 od 0.3 mm usvojeno je srpskom NA.

Kontrola prslina može da se sprovodi na dva načina:

1. Direktnim proračunom širine prslina
2. Indirektnim postupkom

1. Direktni proračun širine prslina (Primer: presek grede u polju)

$$\alpha = \frac{E_s}{E_{cm}} = 5.882 \quad w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad (7.8)$$

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 \cdot \phi_1^2 + n_2 \cdot \phi_2^2}{n_1 \cdot \phi_1 + n_2 \cdot \phi_2} = \frac{2 \cdot 25^2 + 2 \cdot 20^2}{2 \cdot 25 + 2 \cdot 20} = 22.8 \text{ mm} \quad (7.12)$$

$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} 2.5 \cdot (h - d) \\ (h - x)/3 \\ h/2 \end{cases} = \min \begin{cases} 2.5 \cdot 8 = 20 \text{ cm} \\ (60 - 1.61)/3 = 19.5 \text{ cm} \\ 30 \text{ cm} \end{cases} \quad 7.2.3(3)$$

$$\rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 \cdot A_p)}{A_{c,eff}} = \frac{A_s}{b_t \cdot h_{c,ef}} = \frac{16.10}{30 \cdot 19.5} = 0.02752 \quad (7.10)$$



Proračun SLS – Kontrola prslina

1. Direktan proračun širine prslina (Primer: presek grede u polju)

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\emptyset}{\rho_{p,eff}} \quad (7.11) \text{ 7.3.4(3)}$$

$$s_{r,max} = 3.4 \cdot 65 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \cdot \frac{22.8}{0.02752} = 361.8 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \quad (7.9) \text{ 7.3.4(2)}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{228.2 - 0.4 \cdot \frac{3.2}{0.02752} \cdot (1 + 5.882 \cdot 0.02752)}{200\,000} \geq 0.6 \cdot \frac{228.2}{200\,000}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{174.2}{200\,000} \geq \frac{136.9}{200\,000} \quad \varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = 0.871\text{‰}$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 361.8 \cdot 0.871 \cdot 10^{-3} = 0.31 \text{ mm} \approx 0.3 \text{ mm (OK)}$$



Proračun SLS – Kontrola prslina

2. Indirektan postupak kontrole širine prslina (alternativno)

7.3.3

Za kontrolu prslina bez direktnog proračuna potrebno je ispuniti uslov po **max \emptyset** (tabela 7.2N) ili uslov za **max razmak šipki armature** (tabela 7.3N)

Kao primer, prikazaće se kontrola u polju.

Napon u armaturi od kvazi-stalnog opterećenja: $\sigma_{s1} = 228.2$ MPa

Za ograničenje širine prsline $w_k = 0.3$ mm

$$\max \emptyset_s^* = 18.7 \text{ mm} \quad \max e_\emptyset = 215 \text{ mm}$$

7.2N; 7.3N

$$\emptyset_{s,max} = \emptyset_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2.9} \cdot \frac{k_c \cdot h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 18.7 \cdot \frac{3.2}{2.9} \cdot \frac{0.6 \cdot (0.75 \cdot 60)}{2 \cdot (60 - 52.2)} = 36.2 \text{ mm}$$

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 \cdot \emptyset_1^2 + n_2 \cdot \emptyset_2^2}{n_1 \cdot \emptyset_1 + n_2 \cdot \emptyset_2} = \frac{2 \cdot 25^2 + 2 \cdot 20^2}{2 \cdot 25 + 2 \cdot 20} = 22.8 \text{ mm} < 36.2 \text{ mm (OK)}$$

$$e_\emptyset = 50 \text{ mm} < 215 \text{ mm (OK)}$$

(Potrebno je ispuniti bar jedan od zadatih uslova!)



Proračun SLS – Kontrola ugiba

{33}

Kontrola ugiba se može sprovoditi na dva načina:

1. Indirektnim postupkom
2. Direktnim proračunom ugiba

- 1) Kontrola graničnog stanja deformacija ograničavanjem odnosa raspon/statička visina preseka (L/d) – indirektan postupak: {34}

$$\rho_0 = \sqrt{f_{ck}} \cdot 10^{-3} = \sqrt{35} \cdot 10^{-3} = 0.00592$$

Polje:

$$\rho = \frac{A_{s,req}}{b \cdot d} = \frac{13.82}{262 \cdot 52.5} = 0.001 \quad \rho < \rho_0 \quad \Rightarrow \quad \text{Jednačina (7.16a)}$$

$$\frac{L}{d} = K \cdot \left[11 + 1.5 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} + 3.2 \cdot \sqrt{f_{ck}} \cdot \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad \text{7.4.2}$$

NA (Tabela 7.4N)

$$K = 1.3$$



Proračun SLS – Kontrola ugiba

$$\frac{L}{d} = 1.3 \cdot \left[11 + 1.5 \cdot \sqrt{35} \cdot \frac{0.00592}{0.001} + 3.2 \cdot \sqrt{35} \cdot \left(\frac{0.00592}{0.001} - 1 \right)^{\frac{3}{2}} \right] = 351.2(!)$$

Izračunavanjem izraza (7.16a) za male vrednosti ρ dobijaju vrednosti odnosa l/d koje ne odgovaraju realnim konstrukcijama. Ovaj problem se može prevazići limitiranjem minimalnog ρ koji se unosi ili na drugi podesan način, kao što je prikazano u nastavku.

Korekcionni faktor koji uvodi različiti napon u armaturi i razliku usvojene i potrebne računске armature:

$$\frac{500}{f_{yk}} \cdot \frac{A_{s,prov}}{A_{s,req}} = \frac{500}{500} \cdot \frac{16.10}{13.82} = 1.165$$

S obzirom da je širina flanše (262 cm) više od 3 puta veća od rebra (30 cm) limitni odnos treba redukovati faktorom 0.8.

$$\left(\frac{L}{d} \right)_{limit} = 351.2 \cdot 1.165 \cdot 0.8 = 327.3$$

Za rasponne l veće od 7 m predviđena je korekcija faktorom $7/l$ kada konstrukcija nosi elemente osetljive na veće ugibe. To ovde nije slučaj, pa je ovaj faktor izostavljen.



Proračun SLS – Kontrola ugiba

U nacionalnim aneksima nekih zemalja data su ograničenja u pogledu maksimalnog odnosa (l/d) koji se može primeniti. U nastavku su prikazane granice iz britanskog i nemačkog NA Evrokoda 2. Ograničenja su data u obliku $K \times \text{broj}$, gde je K koeficijent statičkog sistema koji se primenjuje uz formulu 7.16a.

$$\left(\frac{L}{d}\right)_{limit}^{max} = K \cdot 40 = 1.3 \cdot 40 = 52 \quad (\text{NA BS EN 1992-1-1})$$

$$\left(\frac{L}{d}\right)_{limit}^{max} = K \cdot 35 = 1.3 \cdot 35 = 45.5 \quad (\text{NA DIN EN 1992-1-1})$$

$$\left(\frac{L}{d}\right)_{stvarno} = \frac{750}{52.5} = 14.3 \leq 45.5 = \left(\frac{L}{d}\right)_{limit} \quad (OK)$$

