



Univerzitet u Beogradu – Građevinski fakultet
www.grf.bg.ac.rs

Studijski program:

GRAĐEVINARSTVO

Modul:

PŽA, HVE, MTI

Godina/Semestar:

III godina / V semestar

Naziv predmeta (šifra):

Betonske konstrukcije 1

(B2S3BK, B2H3BK, B2M3BK, B1S3BK)

Nastavnik:

Jelena Dragaš

Naslov predavanja:

Smicanje.

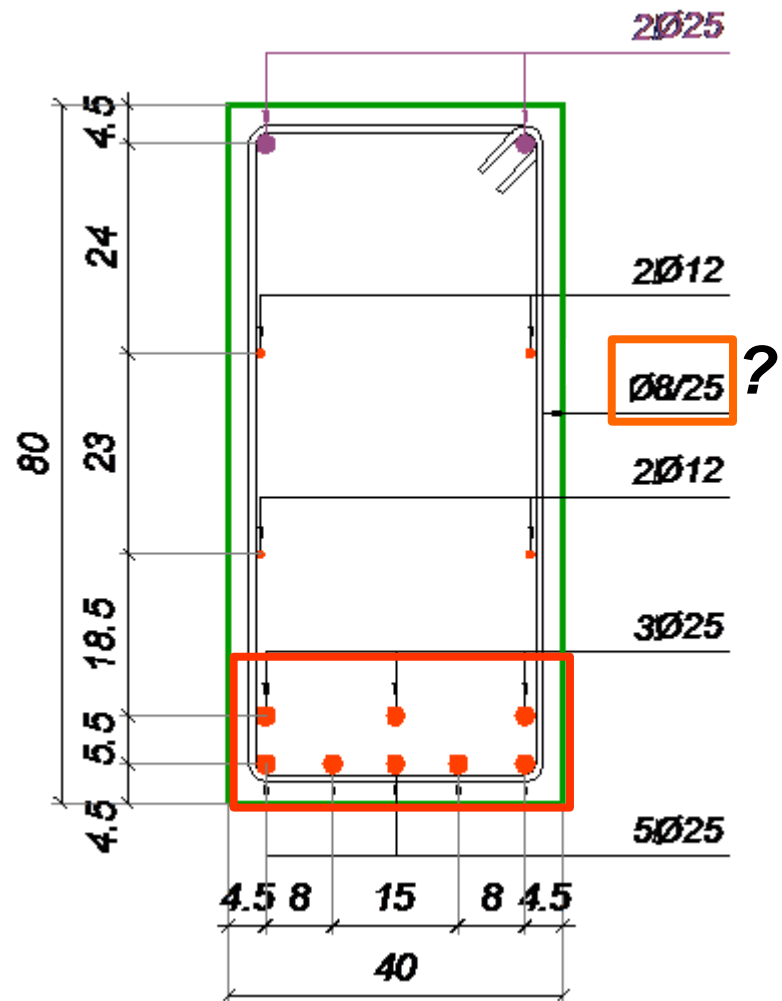
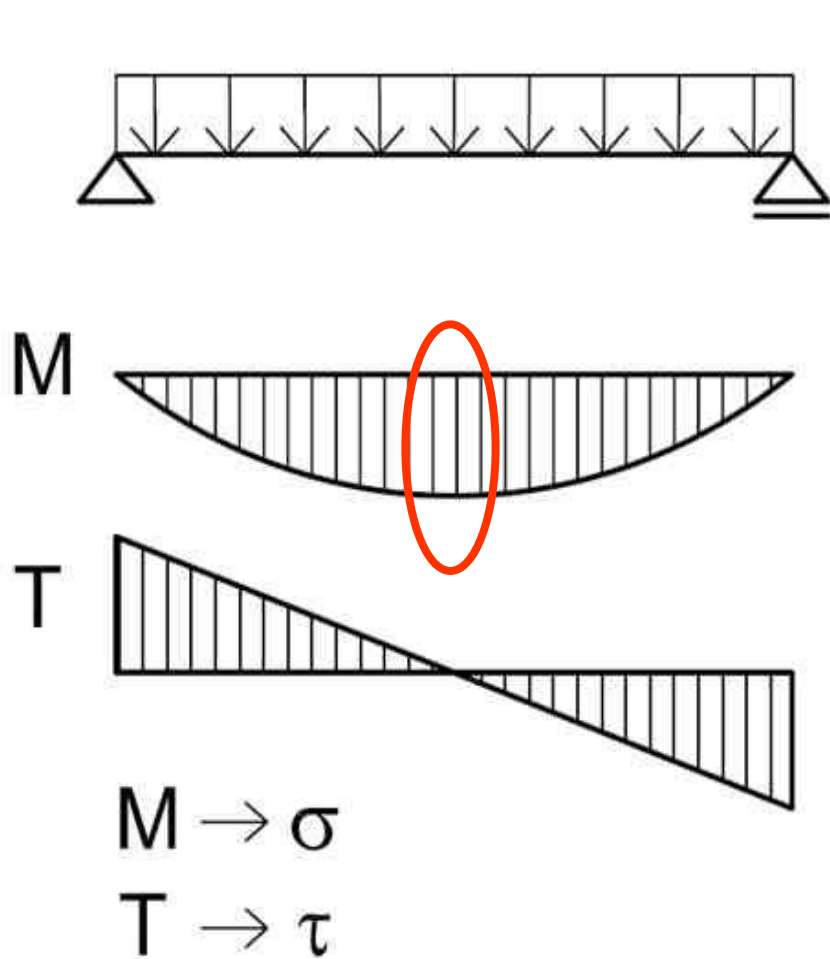
Datum :

17.11.2022.

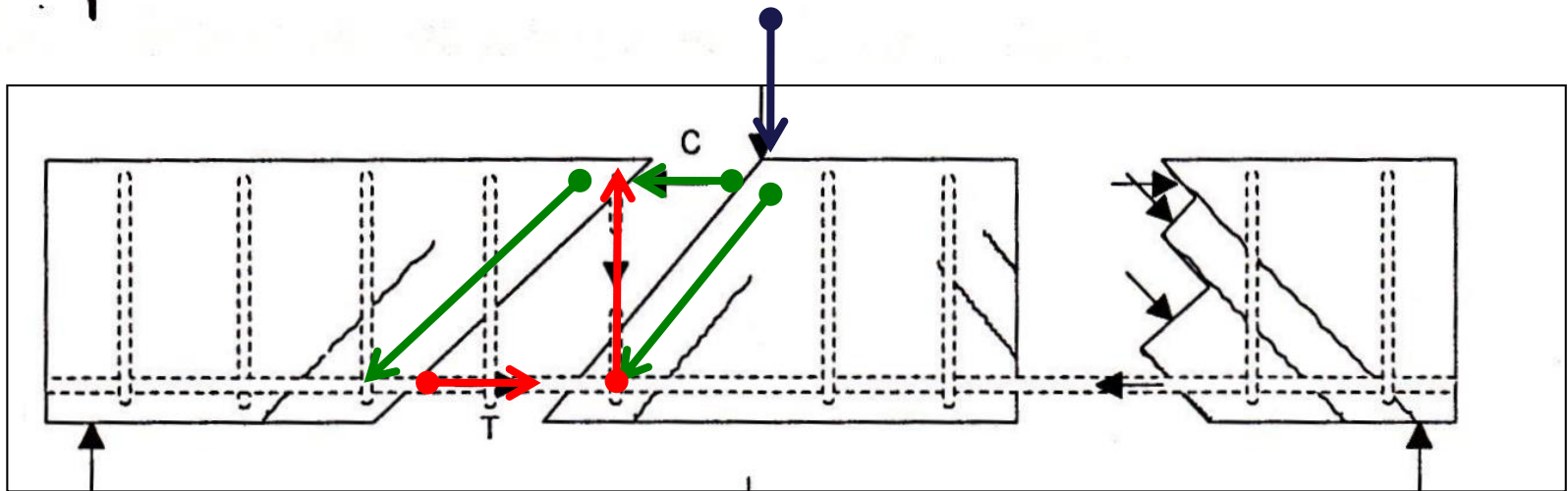
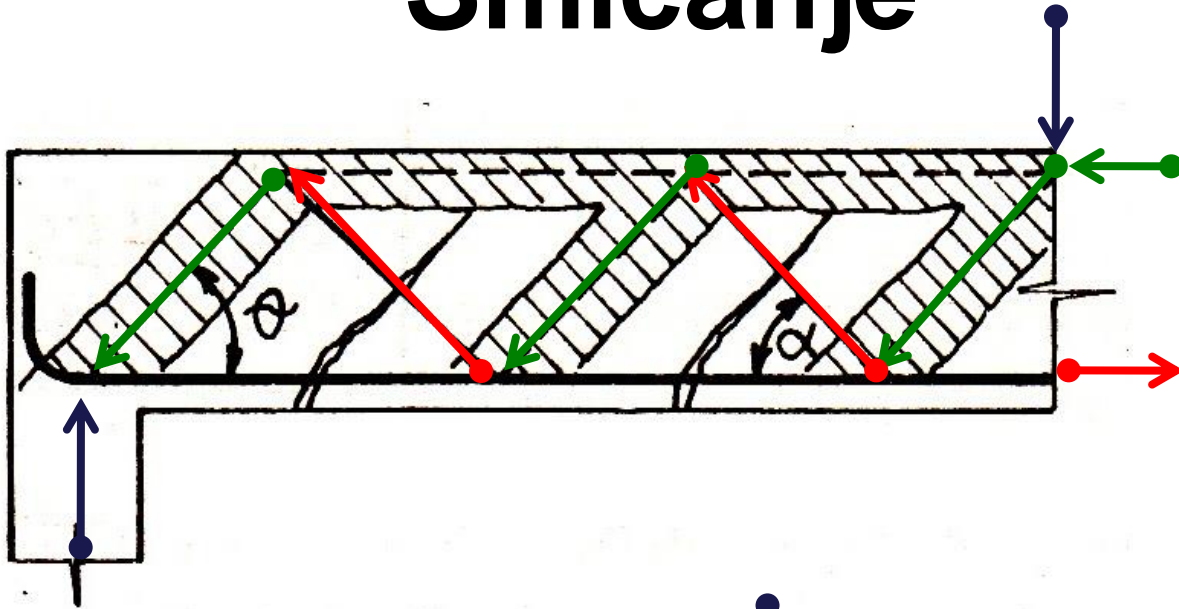
Beograd, 2021.

Sva autorska prava autora prezentacije i/ili video snimaka su zaštićena. Snimak ili prezentacija se mogu koristiti samo za nastavu na daljinu studenta Građevinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu u školskoj 2021/2022. i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora materijala.

Smicanje

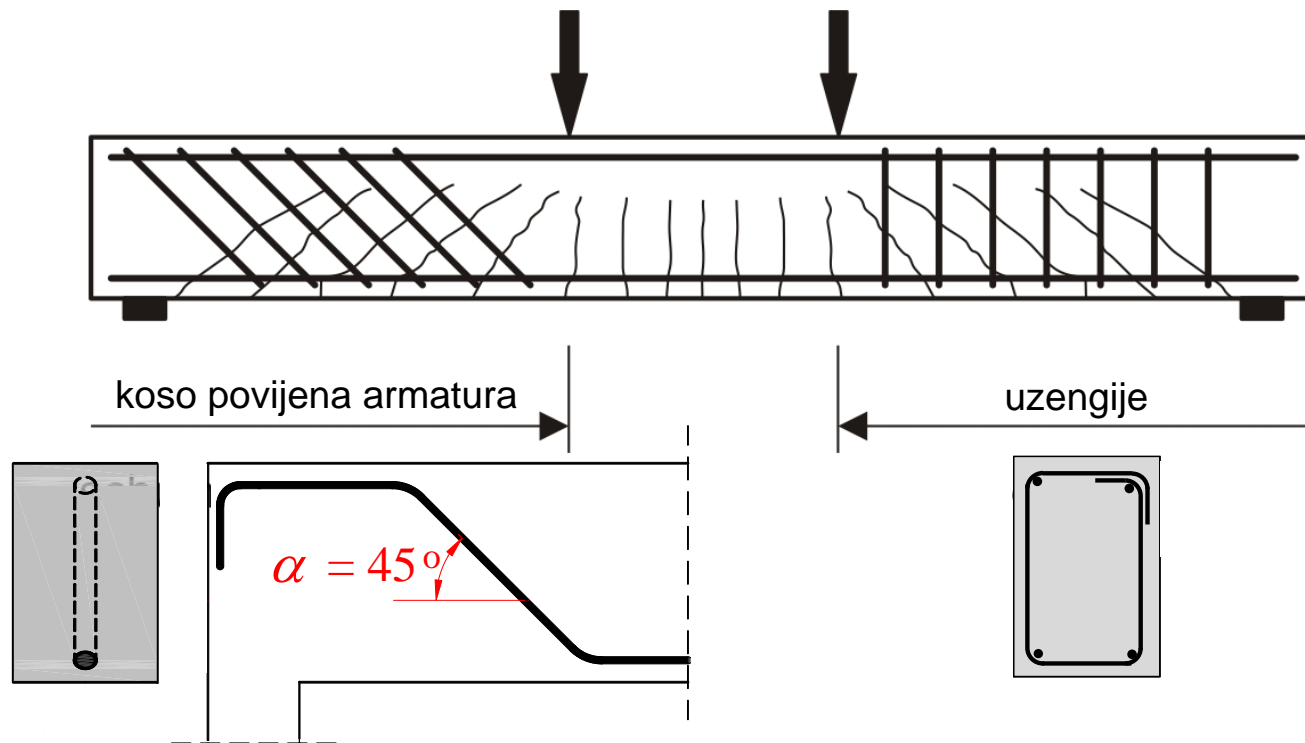


Smicanje



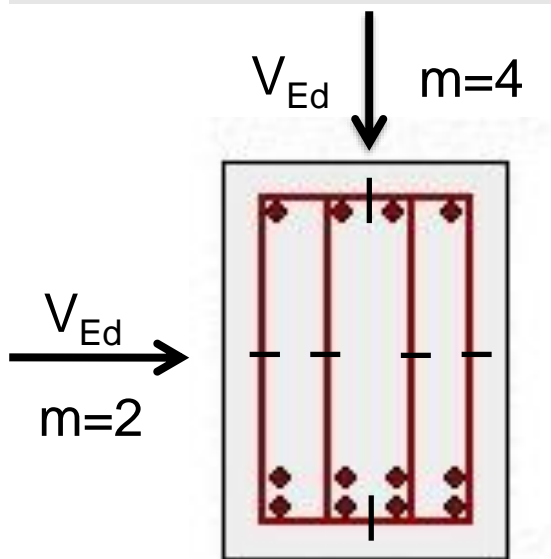
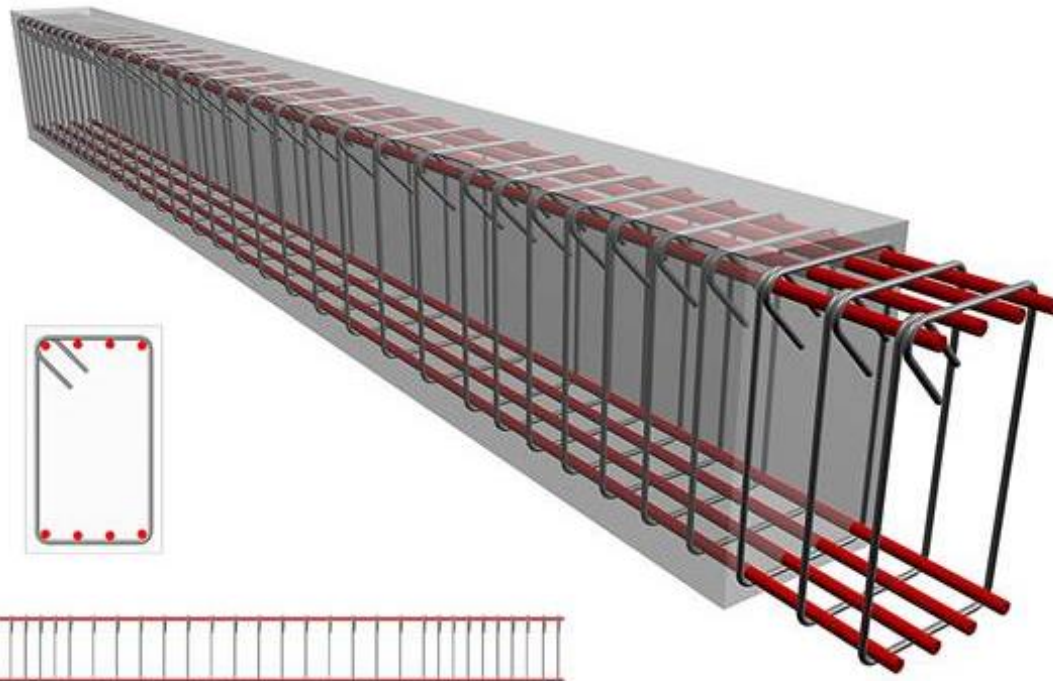
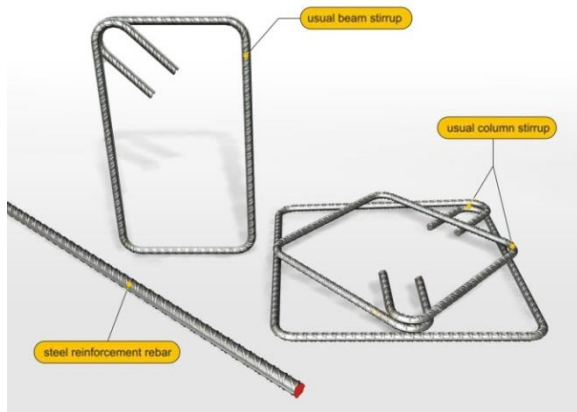
Smicanje

Armatura za smicanje: Vertikalne ili kose uzengije i koso povijena armatura



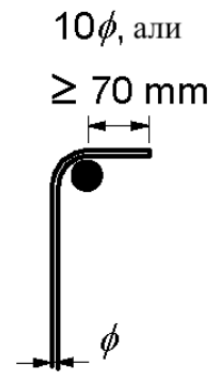
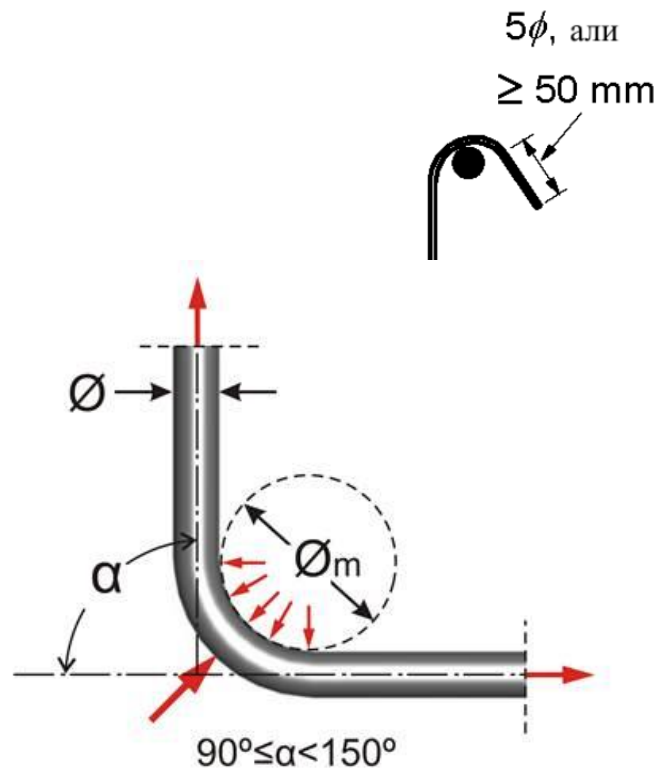
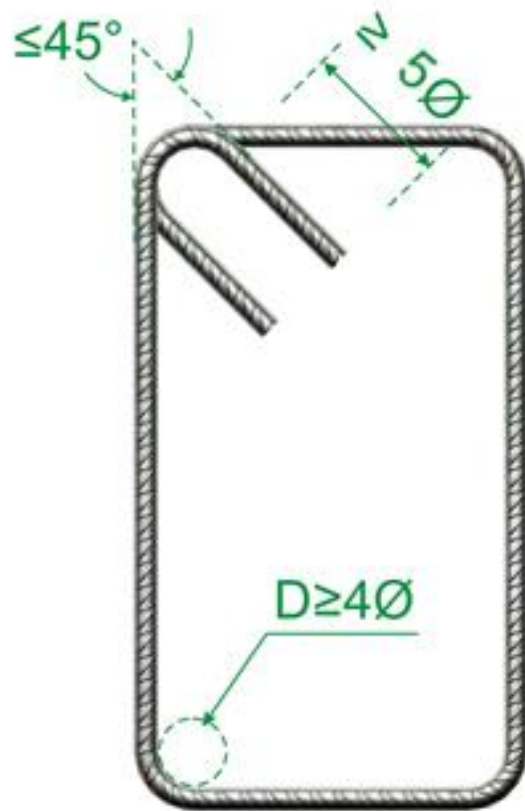
Smicanje

Vertikalne uzengije



Smicanje

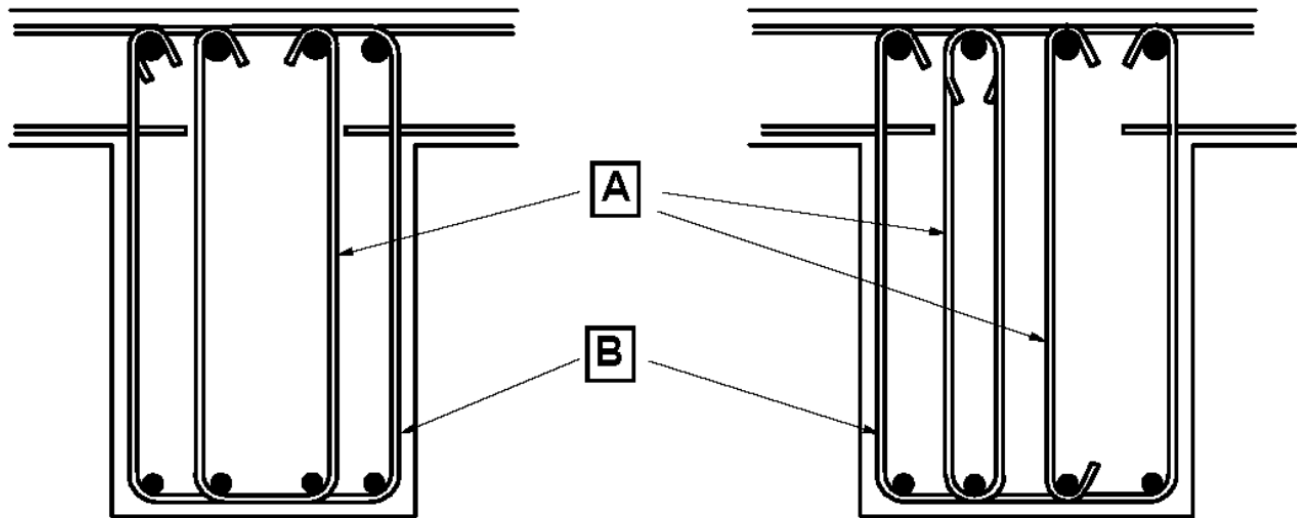
Oblikovanje i sidrenje u uzengija (EC2 – 8.5(2))



$\phi < 16 \text{ mm}$
 $\phi_m \geq 4\phi$

Smicanje

Vertikalne uzengije EC2 – 9.2(2)



A Алтернативни облици унутрашње попречне везне арматуре

B Попречна везна арматура по обиму пресека која обухвата подужну арматуру

Слика 9.5 – Примери арматуре за смицање

Smicanje

- Maksimalno podužno rastojanje armature s_{\max}

Табела 1 – Највеће подужно растојање између елемената арматуре за смицање $s_{1,\max}$

	Прорачунска вредност силе смицања V_{Ed}^*	Класе чврстоће бетона	
		$\leq C 50/60$	$> C 50/60$
1.	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,\max}$	$0,75 d^{**}) \leq 300 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 200 \text{ mm}$
2.	$0,3V_{Rd,\max} \leq V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,\max}$	$0,55 d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55 d \leq 200 \text{ mm}$
3.	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,\max}$	$0,3 d \leq 200 \text{ mm}$	

* $V_{Rd,\max}$ може да се одреди поједностављено са $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1,2$).

** За греде код којих је $h < 200 \text{ mm}$ и $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ растојање не мора да буде мање од 150 mm.

Smicanje

- Maksimalno poprečno растоjanje armature $s_{t,max}$

Табела 2 – Највеће попречно растојање ножица арматуре за смицање $s_{t,max}$

	Прорачунска вредност силе смицања V_{Ed}^*	Класе чврстоће бетона	
		$\leq C 50/60$	$> C 50/60$
1.	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	$0,75 d \leq 600 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 400 \text{ mm}$
2.	$0,3V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	$0,75 d \leq 600 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 400 \text{ mm}$
3.	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	$0,3 d \leq 300 \text{ mm}$	

* $V_{Rd,max}$ може да се одреди поједностављено са $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1,2$).

Zadatak 19 – Smicanje

Dimenzionisati gredu statičkog sistema proste grede opterećenu jednako raspodeljenim stalnim (g_k) opterećenjem (uračunata i sopstvena težina nosača). Podaci za proračun:

$$g_k = 15 \text{ kN/m} \quad L = 5.0 \text{ m} \quad B = 60 \text{ cm}$$

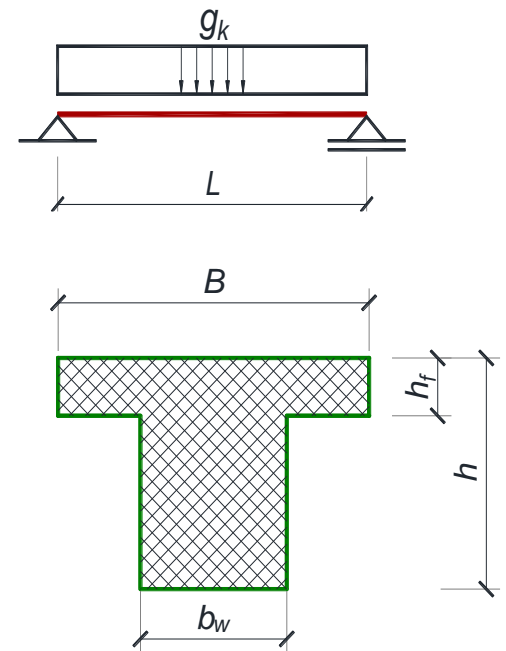
$$b_w = 30 \text{ cm} \quad h = 50 \text{ cm} \quad h_f = 12 \text{ cm}$$

$$C 25/30 \quad B500 B \quad XC2$$

$$C25/30 \rightarrow f_{cd} = 1.42 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500B \rightarrow f_{yd} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$XC2 \rightarrow c_{nom} = 35 \text{ mm}$$

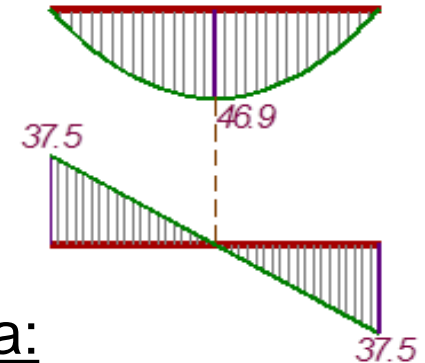


Zadatak 19 – Smicanje

1. Sračunavanje karakterističnih vrednosti uticaja:

$$M_{G,k} = \frac{1}{8} g_k \cdot L^2 = \frac{1}{8} 15 \cdot 5.0^2 = 46.9 \text{ kNm}$$

$$V_{G,k} = \frac{1}{2} g_k \cdot L = \frac{1}{2} 15 \cdot 5.0 = 37.5 \text{ kN}$$



2. Dimenzionisanje prema momentima savijanja:

$$M_{Ed} = 1.35 \cdot M_{g,k} = 1.35 \cdot 46.9 = 63.3 \text{ kNm}$$

- Pretpostavka: $d_1 = 5.5 \text{ cm} \rightarrow d = 50 - 5.5 = 44.5 \text{ cm}$

- Pretpostavka: $x < h_f$:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Ed}}{B \cdot f_{cd}}}} = \frac{44.5}{\sqrt{\frac{63.3 \cdot 100}{60 \cdot 1.42}}} = 5.163 \rightarrow \varepsilon_{s1} = 65.85\%; \zeta = 0.979$$

Zadatak 19 – Smicanje

$$\xi=0.05 \rightarrow x=0.05 \cdot 44.5=2.225 \text{ cm} < 12 = h_f !$$

 presek se dimenzioniše kao pravougaoni sa širinom pritisnute zone B

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{63.6 \cdot 100}{0.979 \cdot 44.5 \cdot 43.5} = 3.36 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1,min} = \begin{cases} 0.26 \cdot \frac{2.6}{500} \cdot 30 \cdot 44.5 = 1.8 \text{ cm}^2 \\ 0.0013 \cdot 30 \cdot 44.5 = 1.74 \text{ cm}^2 \end{cases}$$

$$A_{s1,min} = 1.8 \text{ cm}^2 < A_{s1} = 3.36 \text{ cm}^2$$

- Usvaja se: **2Ø16** (4.02 cm²)

Zadatak 19 – Smicanje

3. Dimenzionisanje prema smičućim silama:

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot V_{g,k} = 1.35 \cdot 37.5 = 50.63 \text{ kN}$$

• Proračun nosivosti betona na smicanje

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{array}{l} \left[C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp} \right] \cdot b_w \cdot d \\ [v_{\min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d, \text{ gde je } v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \end{array} \right.$$

f_{ck} u [MPa]

$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$, d u [mm] - koeficijent kojim se uzima u obzir efekat razmere

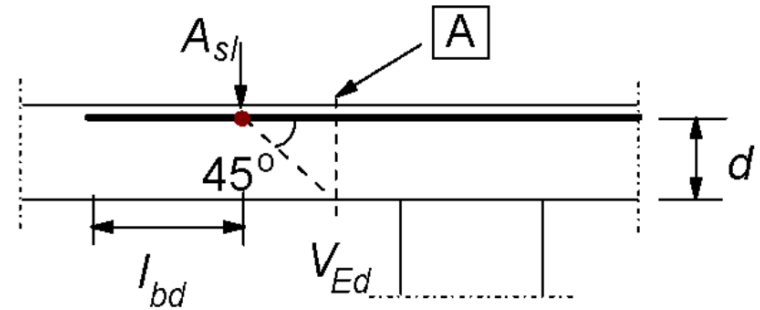
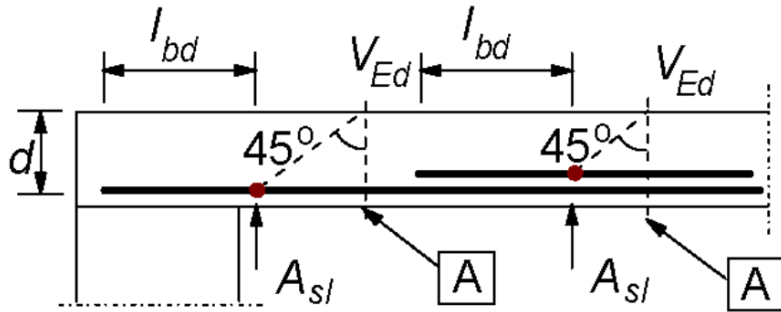
$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$ – geometrijski procenat armiranja podužnom armaturom A_{sl}
koja se produžava najmanje za l_{bd} (+d) od posmatranog preseka

$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd}$ u [MPa] – normalni napon u poprečnom preseku

$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c}$, $k_1 = 0.15$ - koeficijenti definisani u Nacionalnom Aneksu

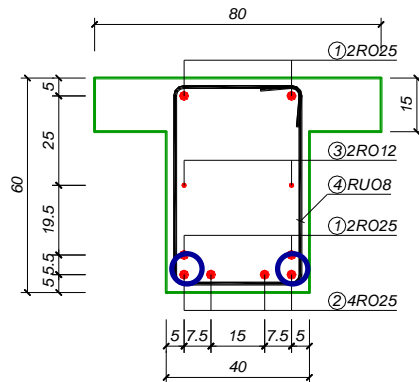
Zadatak 19 – Smicanje

Presek u kom se uzima podužna armatura A_{s1}



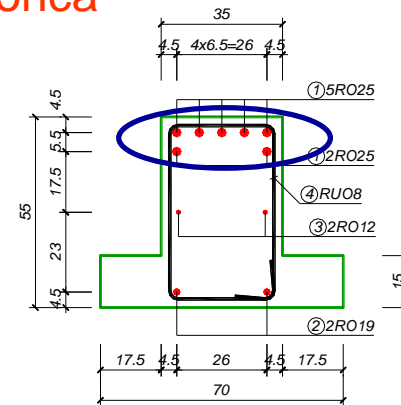
Na mestu krajnjeg oslonca:

min 25% armature iz raspona ili 2 šipke



Iznad središnjeg oslonca:

Ukupna usvojena armatura za savijanje iznad oslonca



Zadatak 19 – Smicanje

3. Dimenzionisanje prema smičućim silama:

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot V_{g,k} = 1.35 \cdot 37.5 = 50.63 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 50.63 \text{ kN}$$

- Proračun nosivosti betona na smicanje

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

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{445}} = 1.67 < 2$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{4.02}{30 \cdot 44.5} = 0.003 < 0.02 \quad (\text{min 25\% armature iz raspona ili 2 šipke})$$

Zadatak 19 – Smicanje

$$V_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.67^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.378$$

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

$$V_{Rd,c} = 0.12 \cdot 1.67 \cdot (0.3 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{30 \cdot 44.5}{10} = 52.36kN > \frac{0.378}{10} \cdot 30 \cdot 44.5$$

= 50.4kN

$$V_{Rd,c} = 52.36kN > V_{Ed} = 50.63kN$$

 **Nije potrebno osiguranje!**

Zadatak 19 – Smicanje

a) $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$

Presek se armira minimalnim procentom armiranja definisanim pravilnikom:

Potrebno rastojanje uzengija za minimalni procenat armiranja:

Dodatna sila zatezanja u podužnoj armaturi ΔF_{td} usled smicanja V_{Ed} i dodatna zategnuta armatura:

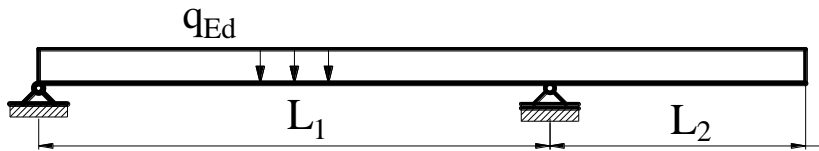
$$\rho_{w,\min} = \frac{(0.08\sqrt{f_{ck}})}{f_{yk}}$$

$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w}$$

$$\Delta F_{td} = V_{Ed} \quad \Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}}$$

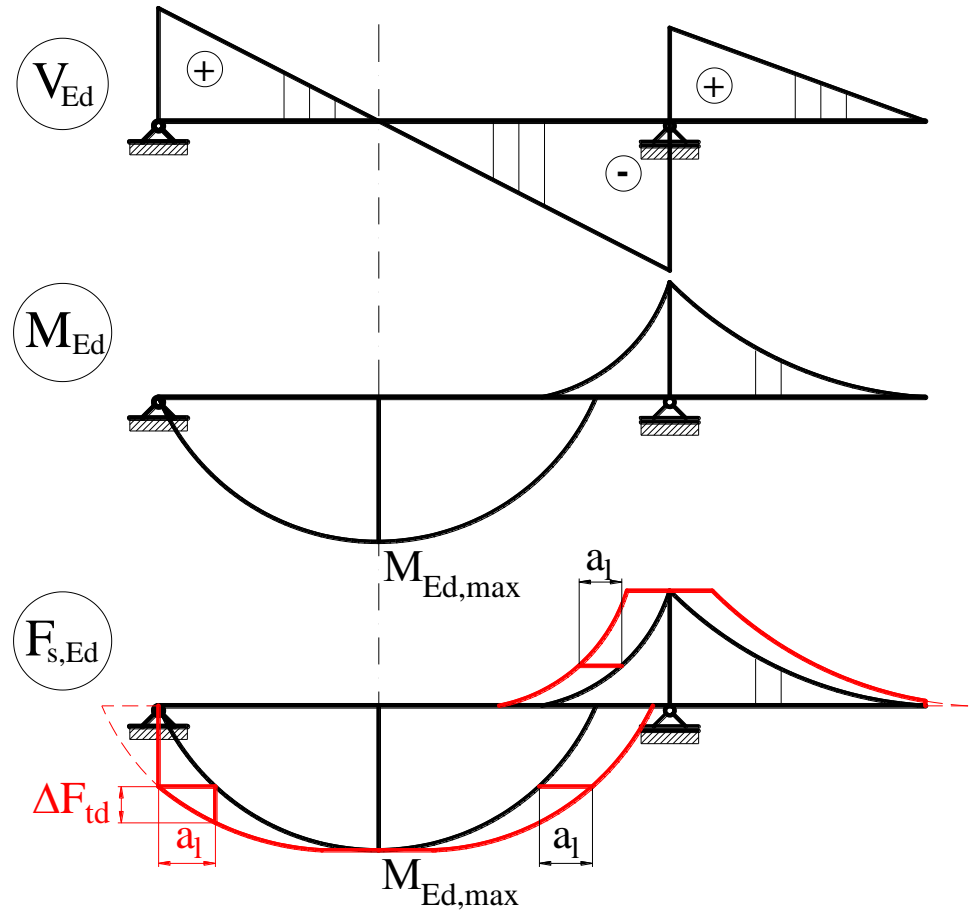
Zadatak 19 – Smicanje

Pomeranje linije zatežućih sila



$$\Delta F_{td} = \frac{1}{2} \cdot V_{Ed} \cdot (\text{ctg}\theta - \text{ctg}\alpha)$$

$$\frac{M_{Ed}(x)}{Z} + \Delta F_{td} \leq \frac{M_{Ed,max}}{Z}$$



Zadatak 19 – Smicanje

- Proračun minimalnih uzengija

$$\rho_{w,min} = 0.08 \frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} = 0.08 \frac{\sqrt{25}}{500} = 0.0008 = 0.08\%$$

$$s_{max} = \min\{0.75d ; 30 \text{ cm}\} = \min\{0.75 \cdot 44.5 ; 30 \text{ cm}\} = 30 \text{ cm}$$

Табела 1 – Највеће подужно растојање између елемената арматуре за смицање $s_{l,max}$

	Прорачунска вредност силе смицања V_{Ed}^*	Класе чврстоће бетона	
		$\leq C 50/60$	$> C 50/60$
1.	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	$0,75 d^{**}) \leq 300 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 200 \text{ mm}$
2.	$0,3V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	$0,55 d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55 d \leq 200 \text{ mm}$
3.	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	$0,3 d \leq 200 \text{ mm}$	

* $V_{Rd,max}$ може да се одреди поједностављено са $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1,2$).

** За греде код којих је $h < 200 \text{ mm}$ и $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ растојање не мора да буде мање од 150 mm .

Zadatak 19 – Smicanje

Pretp. Ø8; m=2

$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{0.0008 \cdot 30} = 41.92 \text{ cm} > s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se: Ø8/30

- Dodatna zategnuta armatura

$$\Delta F_{td} = V_{Ed} = 50.63 \text{ kN} \quad \Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{50.63}{43.5} = 1.16 \text{ cm}^2$$

Usvaja se: 2Ø16 (4.02 cm²) (min 25% armature iz raspona ili 2 šipke)

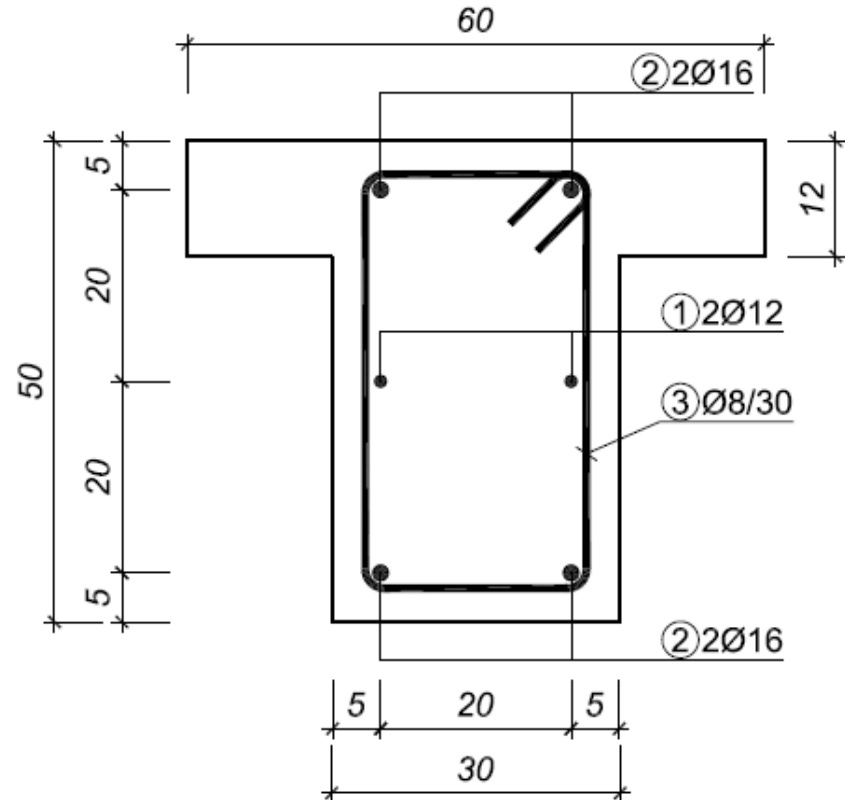
Zadatak 19 – Smicanje

- Računanje težišta armature:

$$d^I = d_1 = 3.5 + 0.8 + 1.6/2 = 5.1 \text{ cm}$$

$$d_{1,stv} < d_{1,prp}$$

Konstruisanje preseka



Zadatak 20 – Smicanje

Dimenzionisati gredu statičkog sistema proste grede opterećenu jednako raspodeljenim stalnim (g_k) i korisnim (q_k) opterećenjem (u stalno opterećenje uračunata i sopstvena težina nosača). Podaci za proračun:

$$g_k = 15 \text{ kN/m} \quad q_k = 30 \text{ kN/m} \quad L = 5.0 \text{ m}$$

$$b_w = 30 \text{ cm} \quad h = 50 \text{ cm} \quad h_f = 12 \text{ cm}$$

$$B = 60 \text{ cm}$$

C 25/30

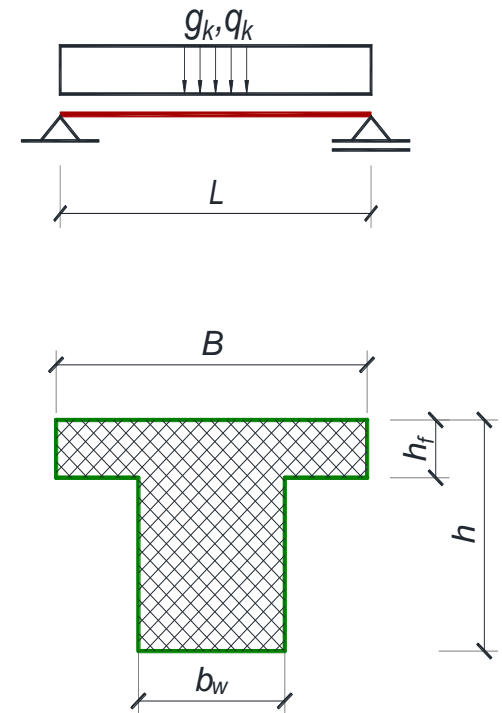
B500 B

XC2

$$\text{C25/30} \rightarrow f_{cd} = 1.42 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{B500B} \rightarrow f_{yd} = 43.5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{XC2} \rightarrow c_{nom} = 35 \text{ mm}$$



Zadatak 20 – Smicanje

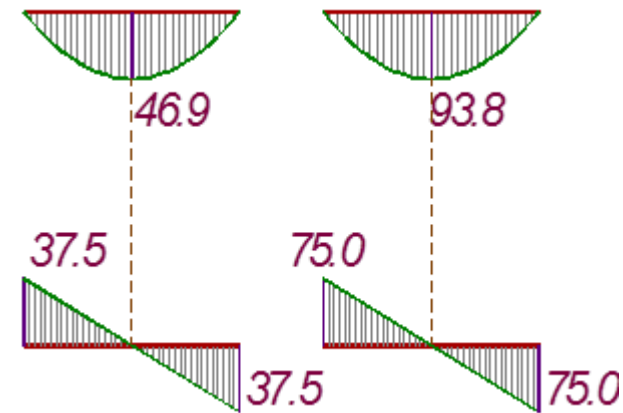
1. Sračunavanje karakterističnih vrednosti uticaja:

$$M_{G,k} = \frac{1}{8} g_k \cdot L^2 = \frac{1}{8} 15 \cdot 5.0^2 = 46.9 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,k} = \frac{1}{8} q_k \cdot L^2 = \frac{1}{8} 30 \cdot 5.0^2 = 93.8 \text{ kNm}$$

$$V_{G,k} = \frac{1}{2} g_k \cdot L = \frac{1}{2} 15 \cdot 5.0 = 37.5 \text{ kN}$$

$$V_{Q,k} = \frac{1}{2} q_k \cdot L = \frac{1}{2} 30 \cdot 5.0 = 75.0 \text{ kN}$$



2. Dimenzionisanje prema momentima savijanja:

$$M_{Ed} = 1.35 \cdot M_{g,k} + 1.5 \cdot M_{q,k} = 1.35 \cdot 46.9 + 1.5 \cdot 93.8 = 204.02 \text{ kNm}$$

Zadatak 20 – Smicanje

- Pretpostavka: $d_1=5.5$ cm $\rightarrow d= 50 - 5.5 = 44.5$ cm

- Pretpostavka: $x < h_f$:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Ed}}{B \cdot f_{cd}}}} = \frac{44.5}{\sqrt{\frac{204.02 \cdot 100}{60 \cdot 1.42}}} = 2.876 \rightarrow \varepsilon_{s1} = 18.55\%; \zeta = 0.934$$

$\xi=0.159 \rightarrow x=0.159 \cdot 44.5=7.076$ cm $< 12 = h_f$!

 presek se dimenzioniše kao pravougaoni sa širinom pritisnute zone B

$$A_{s1} = \frac{M_{Ed}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}} = \frac{204.02 \cdot 100}{0.934 \cdot 44.5 \cdot 43.5} = 11.28 \text{ cm}^2 > A_{s1} = 1.8 \text{ cm}^2$$

- Usvaja se: **4Ø20** (12.56 cm²)

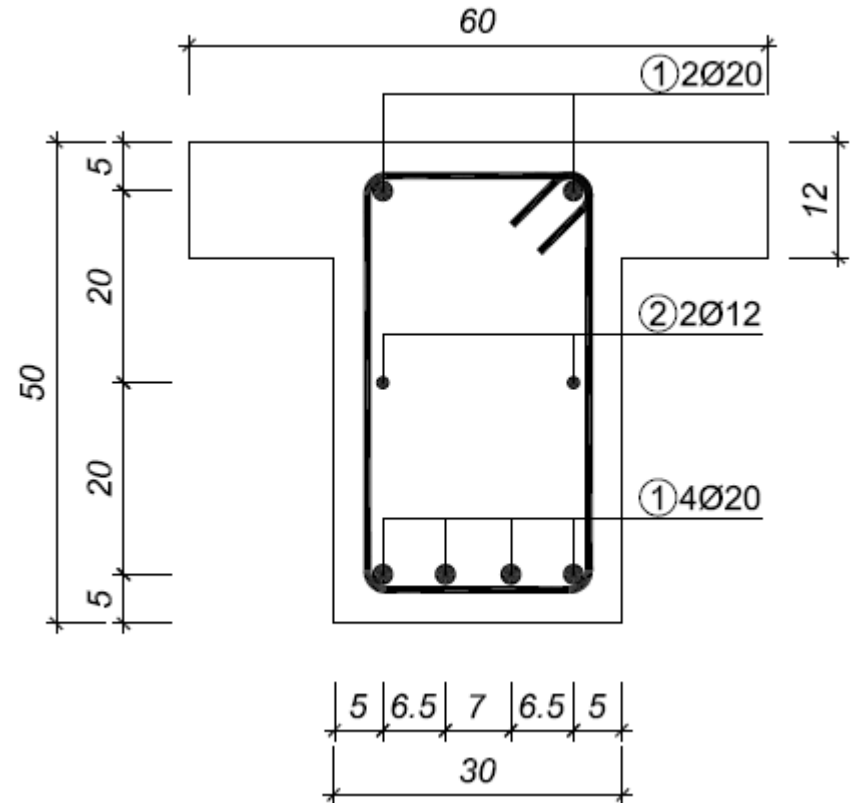
Zadatak 20 – Smicanje

- Računanje težišta armature:

$$d^I = d_1 = 3.5 + 0.8 + 2.0/2 = 5.3 \text{ cm}$$

$$d_{1,stv} < d_{1,prp}$$

Konstruisanje preseka



Zadatak 20 – Smicanje

3. Dimenzionisanje prema transverzalnim silama:

$$V_{Ed} = 1.35 \cdot V_{g,k} + 1.5 \cdot V_{q,k} = 1.35 \cdot 37.5 + 1.5 \cdot 75.0 = 163.13 \text{ kN}$$

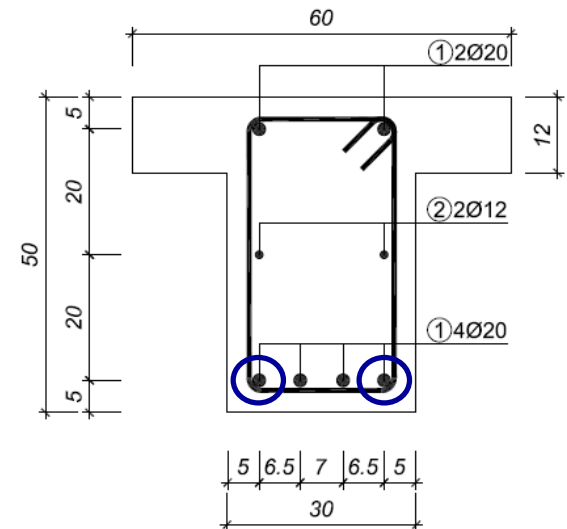
$$V_{Ed} = 163.13 \text{ kN}$$

- Proračun nosivosti betona na smicanje

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

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{2 \cdot 3.14}{30 \cdot 44.5} = 0.0047 < 0.02$$

A_{sl} - min 25% armature iz raspona ili 2 šipke



Zadatak 20 – Smicanje

$$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} \cdot k(100\rho_i f_{ck})^{\frac{1}{3}} + \cancel{k_1\sigma_{cp}} \right] b_w d \geq (V_{min} + \cancel{k_1\sigma_{cp}}) b_w d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.5} = 0.12; \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{445}} = 1.67 < 2$$

$$V_{Rd,c} = 0.12 \cdot 1.67 \cdot (0.47 \cdot 25)^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{30 \cdot 44.5}{10} = \mathbf{60.82kN} > \frac{0.378}{10} \cdot 30 \cdot 44.5 = 50.4kN$$

$$V_{Rd,c} = \mathbf{60.82kN} < V_{Ed} = \mathbf{163.13kN} \quad \longrightarrow \quad \mathbf{potrebno osiguranje!}$$

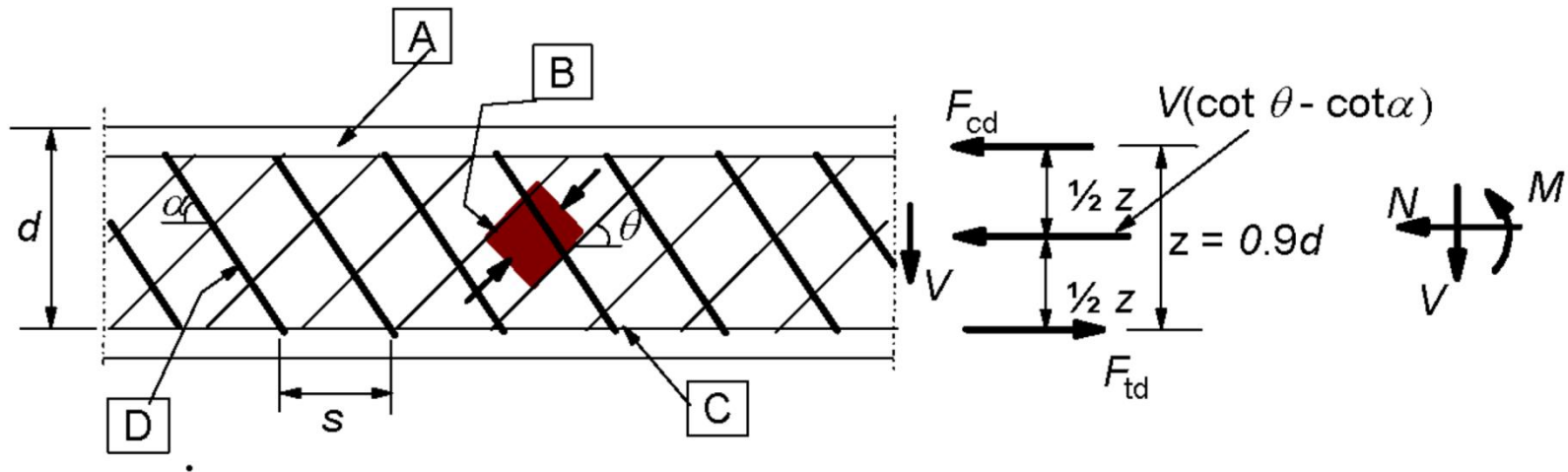
Dužina osiguranja (iz sličnosti trouglova):

$$\lambda = \frac{L}{2} \cdot \left(1 - \frac{V_{Rd,c}}{V_{Ed}} \right) = \frac{500}{2} \cdot \left(1 - \frac{60.82}{163.13} \right) = 156.79cm$$

Zadatak 20 – Smicanje

b) $V_{Ed} > V_{Rd,c}$

Proračun elemenata sa armaturom za smicanje zasniva se na modelu rešetke:



A – притиснути појас, **B** – притиснути штапови, **C** – затегнути појас, **D** – арматура за смицање

α – ugao između armature za smicanje i podužne ose grede ($45^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$)

θ – ugao između pritisnute betonske dijagonale i podužne ose grede ($21.8^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$)

Zadatak 20 – Smicanje

Za elemente sa
uzengijama ($\alpha = 90^\circ$)

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} v_1 f_{cd} b_w z \frac{\cot \theta}{1 + \cot^2 \theta}$$

- A_{sw} površina preseka armature za smicanje;
- s rastojanje armature za smicanje;
- f_{ywd} proračunska granica razvlačenja armature za smicanje;
- v_1 = v , koeficijent kojim se smanjuje čvrstoća betona zbog prslina usled smicanja;
- α_{cw} koeficijent kojima se uzima u obzir stanje napona u pritisnutom pojasu i iznosi:
- $\alpha_{cw} = 1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$ za $0 < \sigma_{cp} \leq 0.25f_{cd}$
- $\alpha_{cw} = 1.25$ za $0.25f_{cd} < \sigma_{cp} \leq 0.5f_{cd}$
- $\alpha_{cw} = 2.5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$ za $0.5f_{cd} < \sigma_{cp} < 1.0f_{cd}$
- gde je σ_{cp} srednja vrednost napona pritiska u betonu, sa pozitivnim znakom, usled proračunske aksijalne sile, za idealizovan presek.

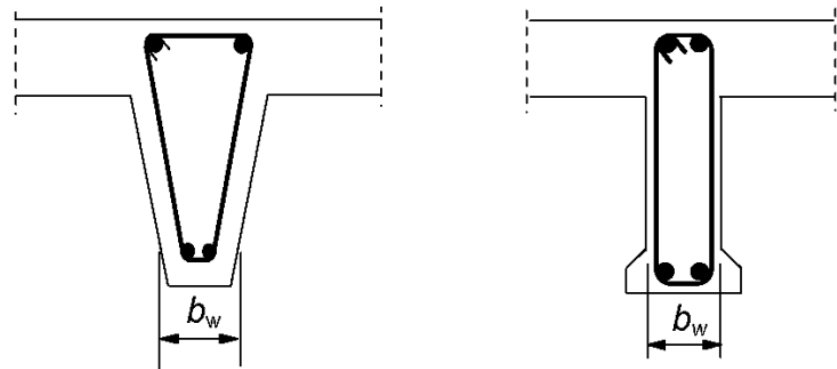
Zadatak 20a – Smicanje

- Određivanje nagiba pritisnute dijagonale θ :

$$V_{Rd,max} = V_{Ed}$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (ctg\theta + tg\theta)$$

- v_1 koeficijent kojim se smanjuje čvrstoća betona zbog prslina usled smicanja;
- α_{cw} koeficijent kojima se uzima u obzir stanje napona u pritisnutom pojasu ($\alpha_{cw}=1$)
- z krak unutrašnjih sila;
- b_w širina rebra;



Zadatak 20a – Smicanje

- Određivanje nagiba pritisnute dijagonale θ

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (ctg\theta + tg\theta)$$

$$v_1 = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0.6 \left[1 - \frac{25}{250} \right] = 0.54$$

$$\theta = \frac{1}{2} \arcsin \frac{2V_{Ed}}{b_w z v_1 f_{cd}} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{2 \cdot 163.13}{30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot 1.42} = 10.37^\circ < 21.8^\circ$$

$$\theta = \theta_{min} = 21.8^\circ \quad \longrightarrow \quad ctg\theta = ctg21.8^\circ = 2.5; \quad tg\theta = tg21.8^\circ = 0.4$$

$$V_{Rd,max} = 30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot \frac{1.42}{(2.5 + 0.4)} = 317.69 \text{ kN} > V_{Ed} = 163.13 \text{ kN}$$

Табела 1 – Највеће подужно растојање између елемената арматуре за смицање $s_{1,max}$

	Прорачунска вредност силе смицања V_{Ed}^*	Класе чврстоће бетона	
		$\leq C 50/60$	$> C 50/60$
1.	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	$0,75 d^{**}) \leq 300 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 200 \text{ mm}$
2.	$0,3V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	$0,55 d \leq 300 \text{ mm}$	$0,55 d \leq 200 \text{ mm}$
3.	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	$0,3 d \leq 200 \text{ mm}$	

* $V_{Rd,max}$ може да се одреди поједностављено са $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1,2$).

** За греде код којих је $h < 200 \text{ mm}$ и $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$ растојање не мора да буде мање од 150 mm.

$$V'_{Rd,max} = 30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot \frac{1.42}{\left(1.2 + \frac{1}{1.2}\right)} = 453.1 \text{ kN}$$

$$0.3V'_{Rd,max} < V_{Ed} < 0.6V'_{Rd,max} \rightarrow s_{max} = \min\{0.55d ; 30\text{cm}\}$$

Табела 2 – Највеће попречно растојање ножица арматуре за смицање $s_{t,max}$

	Прорачунска вредност силе смицања V_{Ed}^*	Класе чврстоће бетона	
		$\leq C 50/60$	$> C 50/60$
1.	$V_{Ed} \leq 0,3V_{Rd,max}$	$0,75 d \leq 600 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 400 \text{ mm}$
2.	$0,3V_{Rd,max} \leq V_{Ed} \leq 0,6V_{Rd,max}$	$0,75 d \leq 600 \text{ mm}$	$0,75 d \leq 400 \text{ mm}$
3.	$V_{Ed} > 0,6V_{Rd,max}$	$0,3 d \leq 300 \text{ mm}$	
* $V_{Rd,max}$ може да се одреди поједностављено са $\theta = 40^\circ$ ($\cot \theta = 1,2$).			

$$V'_{Rd,max} = 30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot \frac{1.42}{\left(1.2 + \frac{1}{1.2}\right)} = 453.1 \text{ kN}$$

$$0.3V'_{Rd,max} < V_{Ed} < 0.6V'_{Rd,max} \rightarrow s_{t,max} = \min\{0.75d ; 60\text{cm}\}$$

Zadatak 20a – Smicanje

- Određivanje potrebne armature za smicanje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} c t g \theta$$



$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)} \cdot z}{V_{Ed}} \cdot f_{ywd} \cdot c t g \theta$$

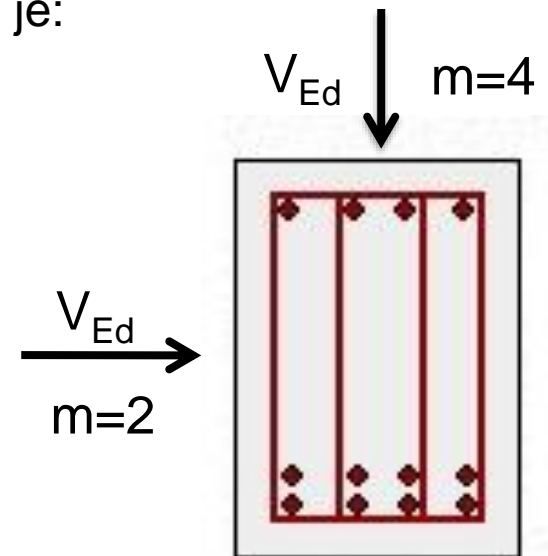
Ukupna površina armature za smicanje A_{sw} jednaka je:

$$A_{sw} = a_{sw} \cdot m$$

a_{sw} – površina poprečnog preseka jednog profila
(najčešće $\emptyset 8, 10, 12$)

m – sečnost armature za smicanje

Preporuka za $s = 10, 12.5, 15, 20, 25$ i 30 cm



Zadatak 20a – Smicanje

- Određivanje potrebne armature za smicanje

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} c t g \theta$$



$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)} \cdot z}{V_{Ed}} \cdot f_{ywd} \cdot c t g \theta$$

Pretp. Ø8; m=2

$$s \leq \frac{2 \cdot 0.503 \cdot 0.9 \cdot 44.5}{163.13} \cdot 43.5 \cdot 2.5 = 26.85 \text{ cm} > s_{max} = 25 \text{ cm}$$

$$s_{max} = \min\{0.55d ; 30 \text{ cm}\} = \min\{0.55 \cdot 44.5 ; 30 \text{ cm}\} = 25 \text{ cm}$$

Usvaja se: Ø8/25

$$\rho_w = \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{s \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{25 \cdot 30} \cdot 100 = 0.134\% > \rho_{w,min} = 0.08\% \\ \text{(kao u zadatku 1)}$$

Zadatak 20a – Smicanje

- Dodatna sila zatezanja u podužnoj armaturi ΔF_{td} usled sile V_{Ed} se sračunava:

$$\Delta F_{td} = \frac{1}{2} V_{Ed} (\cot \theta - \cot \alpha)$$

- Za elemente sa uzengijama ($\alpha = 90^\circ$)

$$\Delta F_{td} = \frac{1}{2} V_{Ed} \cot \theta$$

- Dodatna zategnuta armatura

$$\Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}}$$

Zadatak 20a – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

$$\Delta F_{td} = 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot ctg\theta = 0.5 \cdot 163.13 \cdot 2.5 = 203.91 \text{ kN}$$

$$\Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{203.91}{43.5} = 4.69 \text{ cm}^2$$

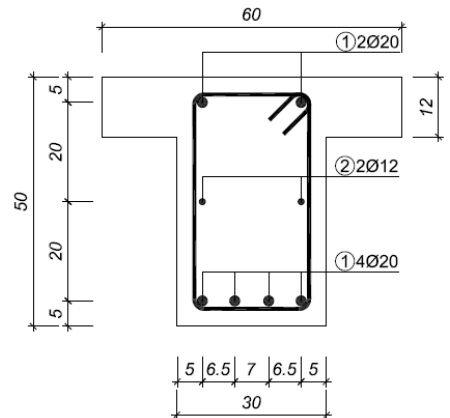
Usvaja se: **2Ø20** (6.28 cm²)

- Izvan zone osiguranja λ

Pretp. Ø8; m=2

$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{0.0008 \cdot 30} = 41.92 \text{ cm} > s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se: **Ø8/30**



Zadatak 20b – Smicanje

- Usvajanje nagiba pritisnute dijagonale θ

$$\text{usv. } \theta = 33^\circ \quad \longrightarrow \quad \text{ctg}\theta = \text{ctg}33^\circ = 1.54; \quad \text{tg}\theta = \text{tg}33^\circ = 0.65$$

$$V_{Rd,max} = 30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot \frac{1.42}{(1.54 + 0.65)} = 420.7 \text{ kN} > V_{Ed} = 163.13 \text{ kN}$$

$$0.3V_{Rd,max} < V_{Ed} < 0.6V_{Rd,max} \rightarrow s_{max} = \min\{0.55d ; 30\text{cm}\} = 25 \text{ cm}$$

Pretp. $\emptyset 8$; $m=2$

$$s \leq \frac{2 \cdot 0.503 \cdot 0.9 \cdot 44.5}{163.13} \cdot 43.5 \cdot 1.54 = 16.55 \text{ cm} < s_{max} = 25 \text{ cm}$$

Usvaja se: $\emptyset 8/15$

$$\rho_w = \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{s \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{15 \cdot 30} \cdot 100 = 0.224\% > \rho_{w,min} = 0.08\%$$

Zadatak 20b – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

$$\Delta F_{td} = 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot ctg\theta = 0.5 \cdot 163.13 \cdot 1.54 = 125.61 \text{ kN}$$

$$\Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{125.61}{43.5} = 2.89 \text{ cm}^2$$

Usvaja se: **2Ø20** (6.28 cm²)

- Izvan zone osiguranja λ

Pretp. Ø8; m=2

$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{0.0008 \cdot 30} = 41.92 \text{ cm} > s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se: **Ø8/30**

Zadatak 20c – Smicanje

- Usvajanje nagiba pritisnute dijagonale θ

$$\text{usv. } \theta = 45^\circ \quad \longrightarrow \quad \text{ctg}\theta = \text{ctg}45^\circ = 1; \quad \text{tg}\theta = \text{tg}45^\circ = 1$$

$$V_{Rd,max} = 30 \cdot 0.9 \cdot 44.5 \cdot 0.54 \cdot \frac{1.42}{(1 + 1)} = 460.7 \text{ kN} > V_{Ed} = 163.13 \text{ kN}$$

$$0.3V_{Rd,max} < V_{Ed} < 0.6V_{Rd,max} \rightarrow s_{max} = \min\{0.55d ; 30 \text{ cm}\} = 25 \text{ cm}$$

Pretp. $\emptyset 8$; $m=2$

$$s \leq \frac{2 \cdot 0.503 \cdot 0.9 \cdot 44.5}{163.13} \cdot 43.5 = 10.74 \text{ cm} < s_{max} = 25 \text{ cm}$$

Usvaja se: $\emptyset 8/10$

$$\rho_w = \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{s \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{10 \cdot 30} \cdot 100 = 0.335\% > \rho_{w,min} = 0.08\%$$

Zadatak 20c – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

$$\Delta F_{td} = 0.5 \cdot V_{Ed} \cdot ctg\theta = 0.5 \cdot 163.13 = 81.57 \text{ kN}$$

$$\Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{td}}{f_{yd}} = \frac{81.57}{43.5} = 1.88 \text{ cm}^2$$

Usvaja se: **2Ø20** (6.28 cm²)

- Izvan zone osiguranja **λ**

Pretp. Ø8; m=2

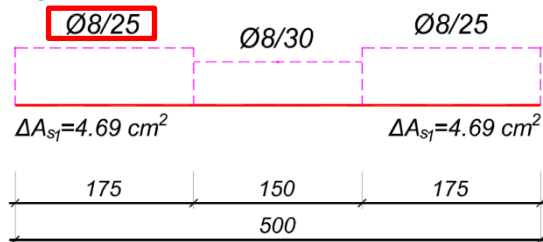
$$s \leq \frac{m \cdot a_{sw}^{(1)}}{\rho_{w,min} \cdot b_w} = \frac{2 \cdot 0.503}{0.0008 \cdot 30} = 41.92 \text{ cm} > s_{max} = 30 \text{ cm}$$

Usvaja se: **Ø8/30**

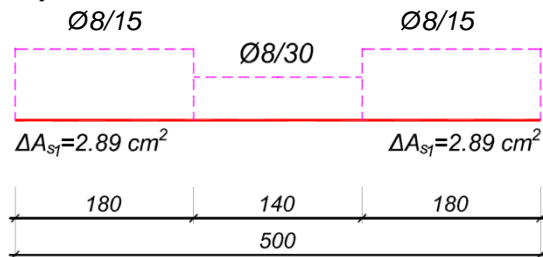
Zadatak 20 – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

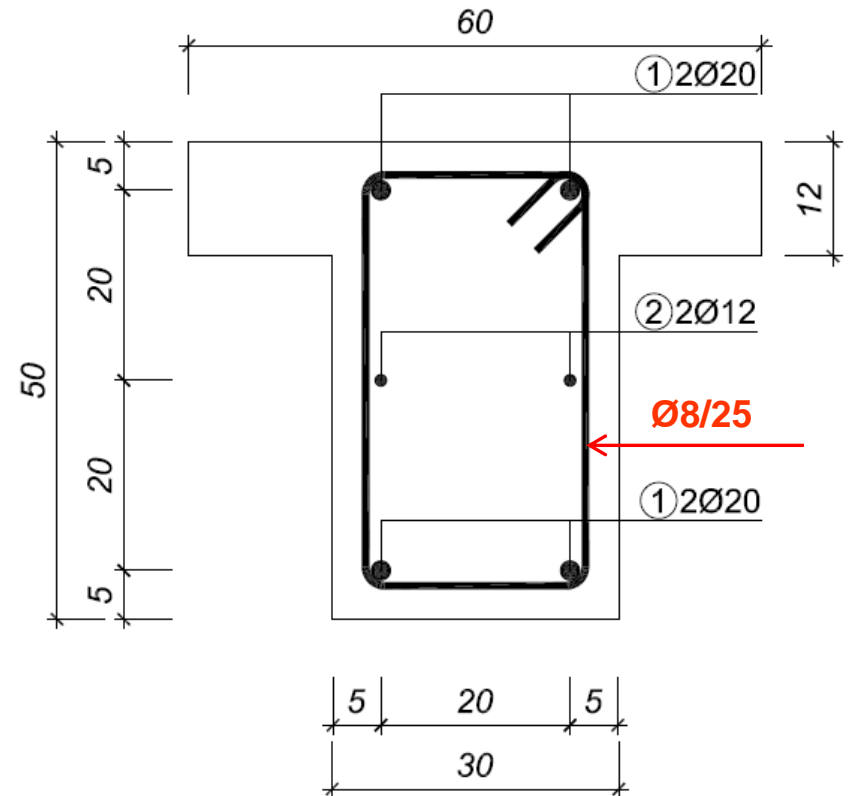
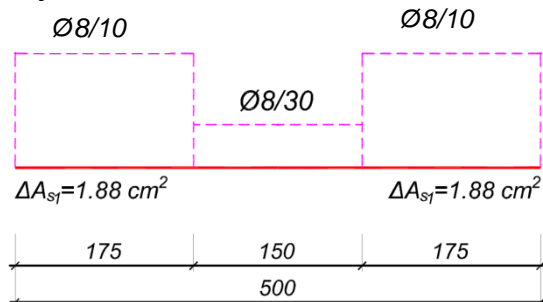
a) $\theta=21.8^\circ$



b) $\theta=33^\circ$



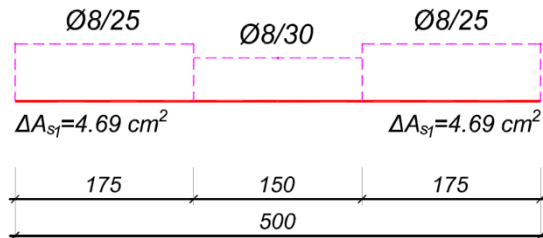
c) $\theta=45^\circ$



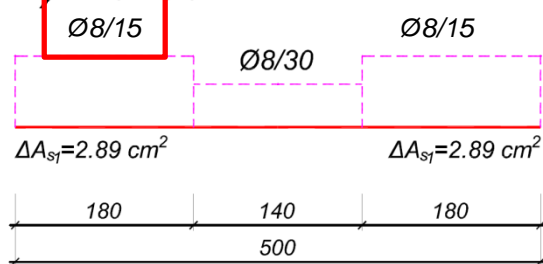
Zadatak 20 – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

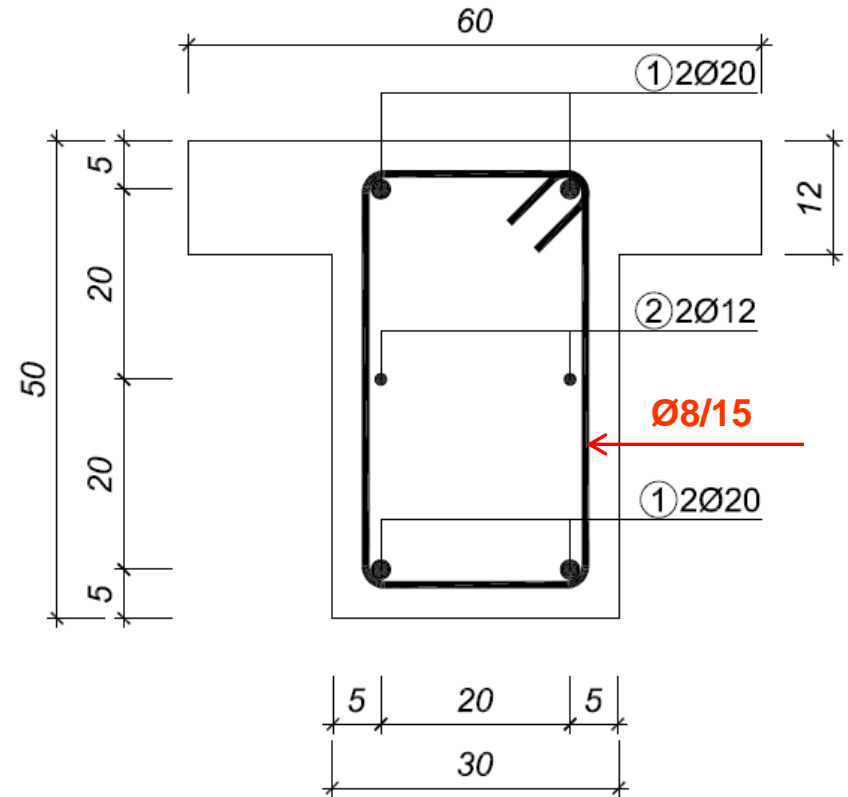
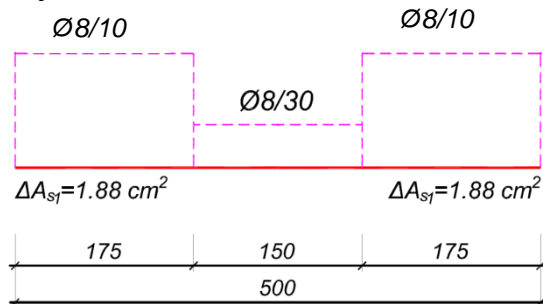
a) $\theta = 21.8^\circ$



b) $\theta = 33^\circ$



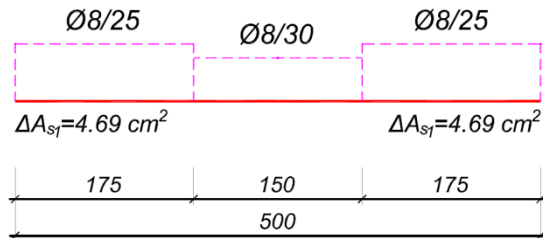
c) $\theta = 45^\circ$



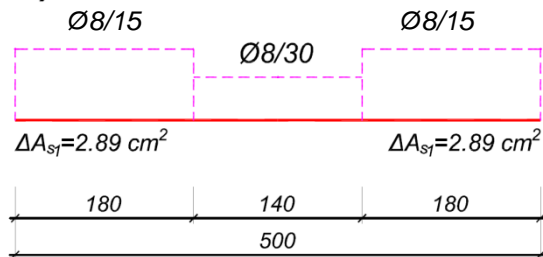
Zadatak 20 – Smicanje

- Dodatna zategnuta armatura

a) $\theta=21.8^\circ$



b) $\theta=33^\circ$



c) $\theta=45^\circ$

