



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

---

Studijski program: **Građevinarstvo**  
Modul: Konstrukcije  
Godina/Semestar: **III godina / V semestar**

Naziv predmeta (šifra): **Teorija betonskih konstrukcija 1  
(b2k3b1)**

Nastavnik: **Ivan Ignjatović**

Naslov vežbi: **Složeno savijanje. “ T“ preseci**

Datum : 27.10.2022.

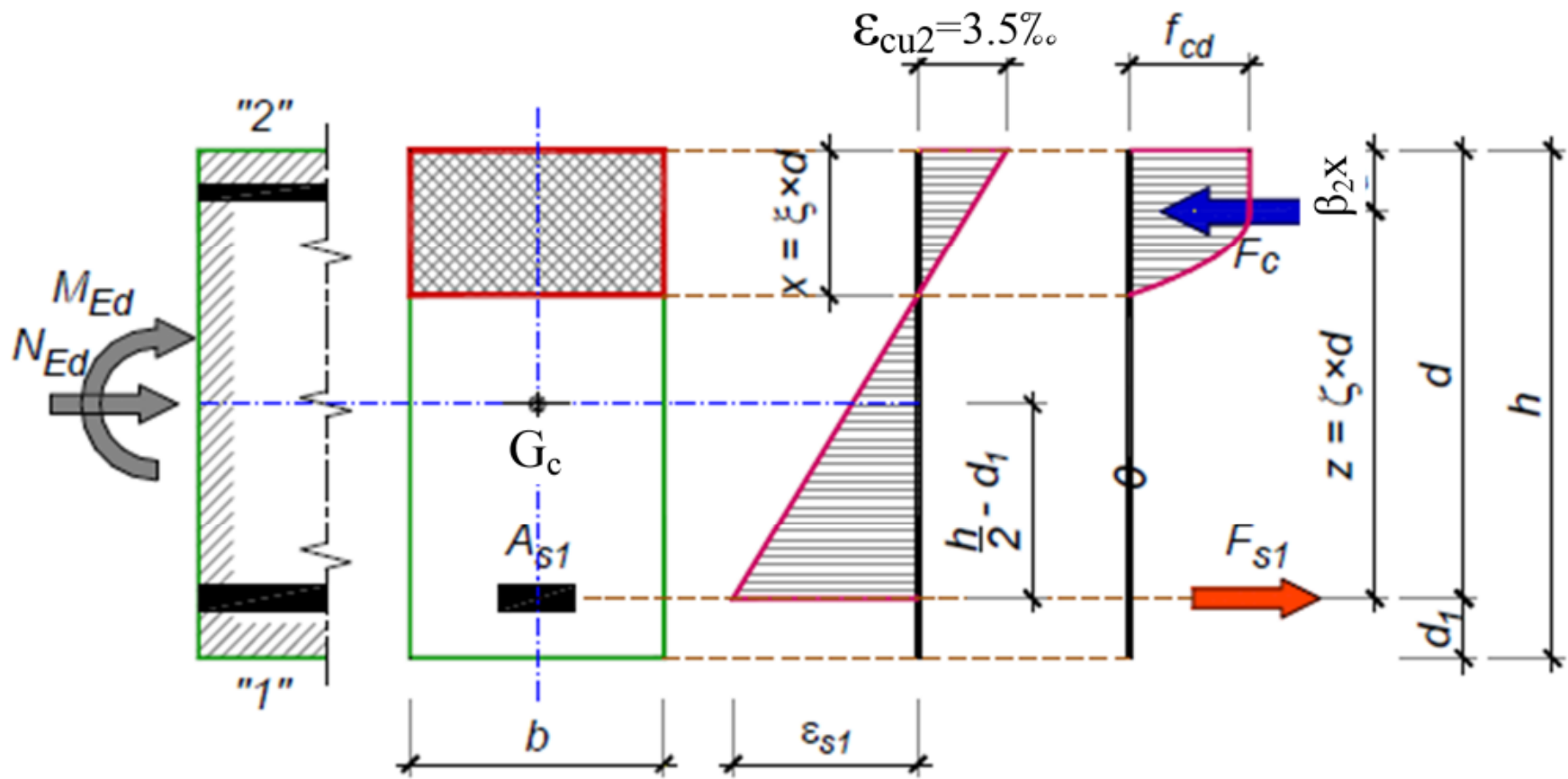
---

Beograd, 2020.

*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 2020/2021 i ne mogu se koristiti za druge svrhe bez pismene saglasnosti autora*



# SLOŽENO savijanje



## **SLOŽENO** savijanje - **VEZANO** dimenzionisanje

- Poznato:
  - statički uticaji za ( $M_i$ ,  $N_i$ ) – sračunato
  - kvalitet materijala ( $f_{cd}$ ,  $f_{yd}$ ) – usvojeno
  - dimenzije poprečnog preseka ( $b$ ,  $h$ )
- Nepoznato:
  - površina armature ( $A_{s1}$ )
  - stanje dilatacija preseka ( $\xi$ )



## Zadatak 8 - **SLOŽENO** savijanje sa **zatezanjem**

Odrediti **potrebnu površinu armature** za presek poznatih dimenzija, pravougaonog oblika, opterećen graničnim momentom savijanja  $M_{Ed}$ . Podaci za proračun:

$$M_{Ed} = 250 \text{ kNm} \qquad b = 40 \text{ cm} \qquad \text{C25/30}$$

$$N_{Ed} = -200 \text{ kNm} \qquad h = 60 \text{ cm} \qquad \text{B500 B}$$

$$\text{C25/30} \longrightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,2 \text{ MPa} = 1,42 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{B500 B} \longrightarrow f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$



## Zadatak 8 - **SLOŽENO** savijanje sa **zatezanjem**

1.  $M_{Ed} = 250 \text{ kNm}$        $N_{Ed} = -200 \text{ kNm}$  (*zatezanje*)

2. pretp.  $d_1 = 7 \text{ cm}$

$$d = h - d_1 = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) = 250 - 200 \cdot \left( \frac{0.6}{2} - 0.07 \right) = 204 \text{ kNm}$$

3. Računa se:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Eds}}{b \cdot f_{cd}}}} = \frac{53}{\sqrt{\frac{204 \cdot 10^2}{40 \cdot 1.42}}} = 2.793$$

## Zadatak 8 - **SLOŽENO** savijanje sa **zatezanjem**

$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi$	$\zeta$	$\omega_1$ (%)	$\kappa$	$\mu$
3.50	17.50	0.167	0.931	13.492	2.822	0.126
3.50	17.00	0.171	0.929	13.821	2.791	0.128
3.50	16.50	0.175	0.927	14.167	2.759	0.131

4.  $\varepsilon_{s1} = 17 \text{ ‰} \geq 2.5 \text{ ‰}$  , sračunava se potrebna površina armature:

$$A_{s1} = 13.821 \cdot \frac{40 \cdot 53}{100} \cdot \frac{1.42}{43.5} + \frac{200}{43.5} = 14.1 \text{ cm}^2$$

$N_{Ed}$  sila **ZATEZANJA!**

5. Usvojeno: **7Ø16** (14.07 cm<sup>2</sup>)

## Zadatak 8 - **SLOŽENO** savijanje sa **zatezanjem**

### 6. Računanje težišta armature

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

$$d^{II} = 5.1 + 3.0 + 2 \times 1.6/2 = 9.7 \text{ cm}$$

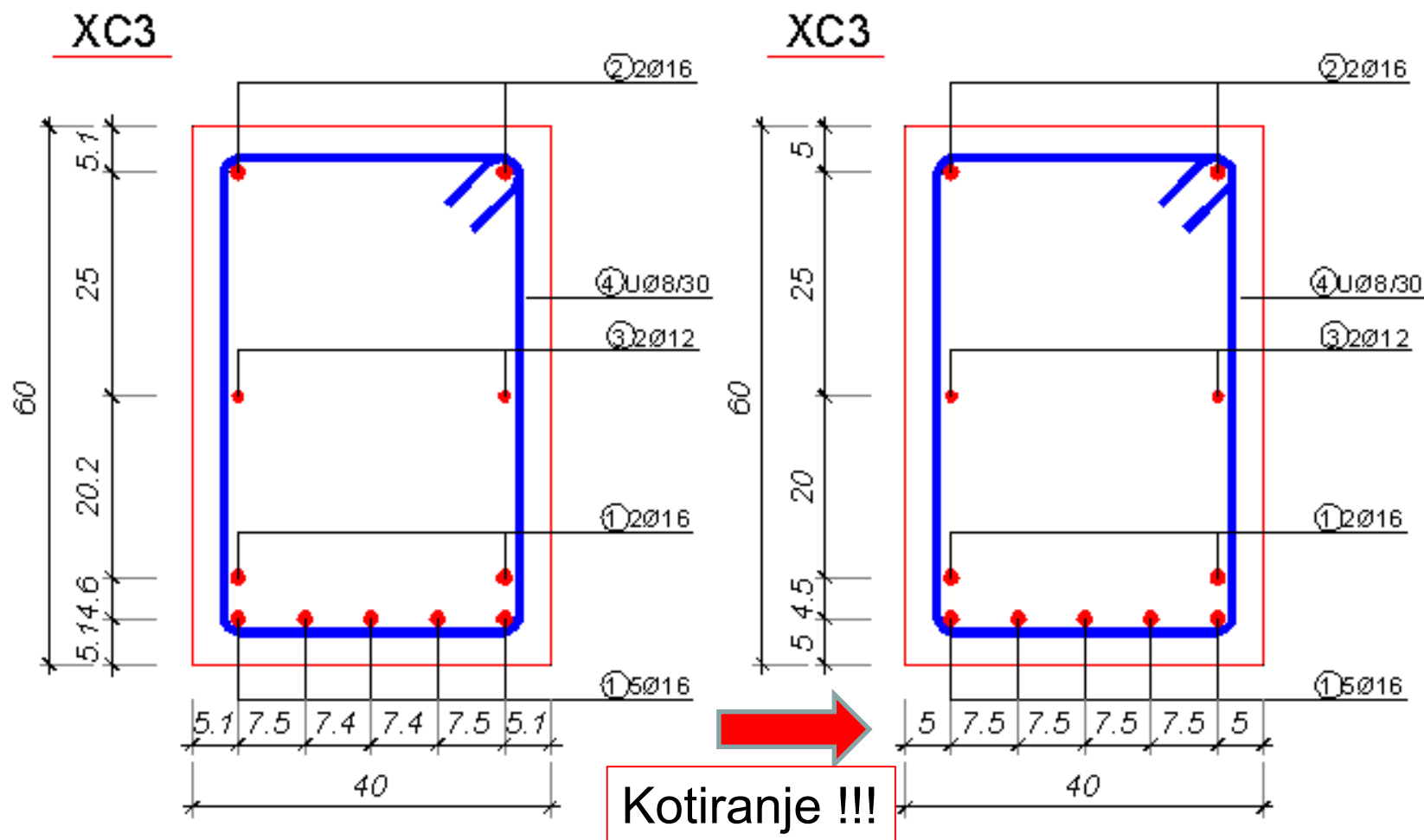
$$d_1 = (5 \times 5.1 + 2 \times 9.7)/7 = 6.41 \text{ cm}$$

$d_{1,stv} < d_{1,prp}$  na strani sigurnosti jer je  $d_{stv} > d_{prp}$



# Zadatak 8 - **SLOŽENO** savijanje sa **zatezanjem**

## 7. **Konstruisanje preseka**





## Zadatak 9 - **SLOŽENO** savijanje sa **pritiskom**

Odrediti **potrebnu površinu armature** za presek poznatih dimenzija, pravougaonog oblika, opterećen graničnim momentom savijanja  $M_{Ed}$ . Podaci za proračun:

$$M_{Ed} = 250 \text{ kNm} \qquad b = 40 \text{ cm} \qquad \text{C25/30}$$

$$N_{Ed} = 200 \text{ kNm} \qquad h = 60 \text{ cm} \qquad \text{B500 B}$$

$$\text{C25/30} \quad \longrightarrow \quad f_{cd} = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,2 \text{ MPa} = 1,42 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{B500 B} \quad \longrightarrow \quad f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

## Zadatak 9 - **SLOŽENO** savijanje sa **pritiskom**

1.  $M_{Ed} = 250 \text{ kNm}$        $N_{Ed} = 200 \text{ kNm}$  (*pritisak*)

2. pretp.  $d_1 = 5 \text{ cm}$

$$d = h - d_1 = 60 - 5 = 55 \text{ cm}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) = 250 + 200 \cdot \left( \frac{0.6}{2} - 0.05 \right) = 300 \text{ kNm}$$

3. Računa se:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Eds}}{b \cdot f_{cd}}}} = \frac{55}{\sqrt{\frac{300 \cdot 10^2}{40 \cdot 1.42}}} = 2.393$$

## Zadatak 9 - **SLOŽENO** savijanje sa **pritiskom**

$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi$	$\zeta$	$\omega_1$ (%)	$\kappa$	$\mu$
3.50	11.50	0.233	0.903	18.889	2.421	0.171
3.50	11.00	0.241	0.900	19.540	2.385	0.176
3.50	10.50	0.250	0.896	20.238	2.348	0.181

4.  $\varepsilon_{s1} = 11 \text{ ‰} \geq 2.5 \text{ ‰}$ , pa je potrebna površina armature:

$$A_{s1} = 19.540 \cdot \frac{40 \cdot 55}{100} \cdot \frac{1.42}{43.5} - \frac{200}{43.5} = 9.40 \text{ cm}^2$$

↓  $N_{Ed}$  sila **PRITISKA!**

5. Usvojeno: **5 Ø16** (10.05 cm<sup>2</sup>)

6. **Računanje težišta armature**

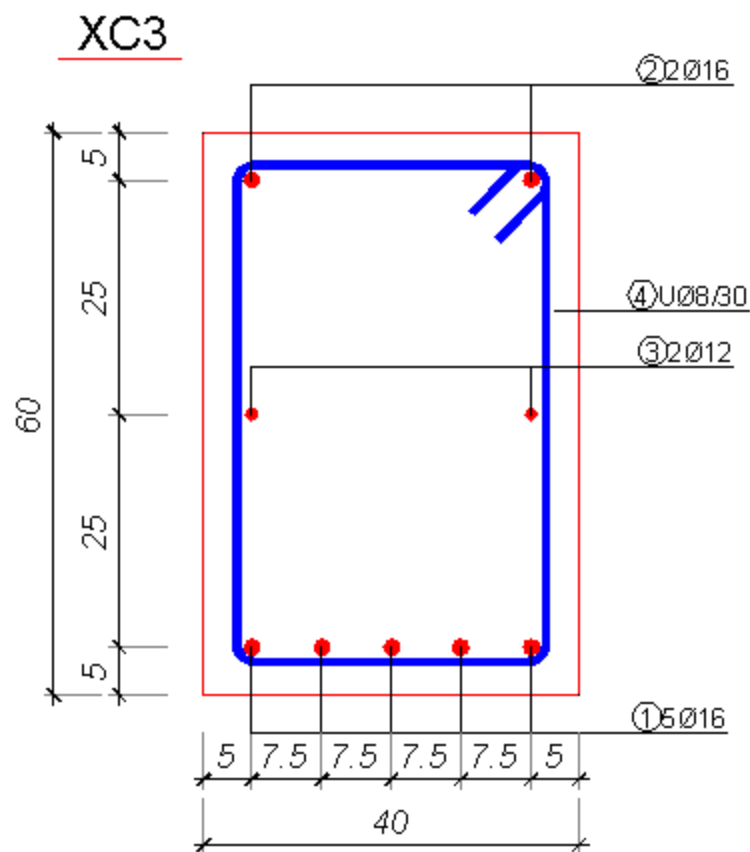
$$d^I = d_1 = 3.5 + 0.8 + 1.6/2 = 5.1 \text{ cm}$$

$$d_{1,stv} \approx d_{1,prp}$$



# Zadatak 9 - **SLOŽENO** savijanje sa **pritiskom**

## 7. **Konstruisanje preseka**



## REZIME

# SLOŽENO savijanje - VEZANO dimenzionisanje

1. Sračunavaju se granični računski statički uticaji za odgovarajuće **proračunske situacije**

*Stalne i prolazne proračunske situacije*

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_{G,k} + \gamma_{Q,1} \cdot M_{Qk,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

2. Pretpostavlja se položaj težišta zategnute armature  **$d_1$**  i na osnovu toga sračunava suma momenata spoljašnjih sila oko težišta zategnute armature:

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \left( \frac{h}{2} - d_1 \right)$$

Sila **ZATEZANJA** se unosi sa **NEGATIVNIM** znakom

# SLOŽENO savijanje - VEZANO dimenzionisanje

3. Sračunava se koeficijent  $k$ :

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Eds}}{b \cdot f_{cd}}}}$$



pročitaju (sračunaju)  
dilatacije  $\epsilon_c, \epsilon_{s1}$ .

4. Ako je  $\epsilon_{s1} \geq 2.5\text{‰}$  (ili  $f_{yd}/E_s$ ), sračunava se potrebna površina armature iz izraza:

$$A_{s1} = \omega_1 \times \frac{b \times d}{100} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$N_{Ed}$  – sila pritiska

$$A_{s1} = \omega_1 \times \frac{b \times d}{100} \times \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

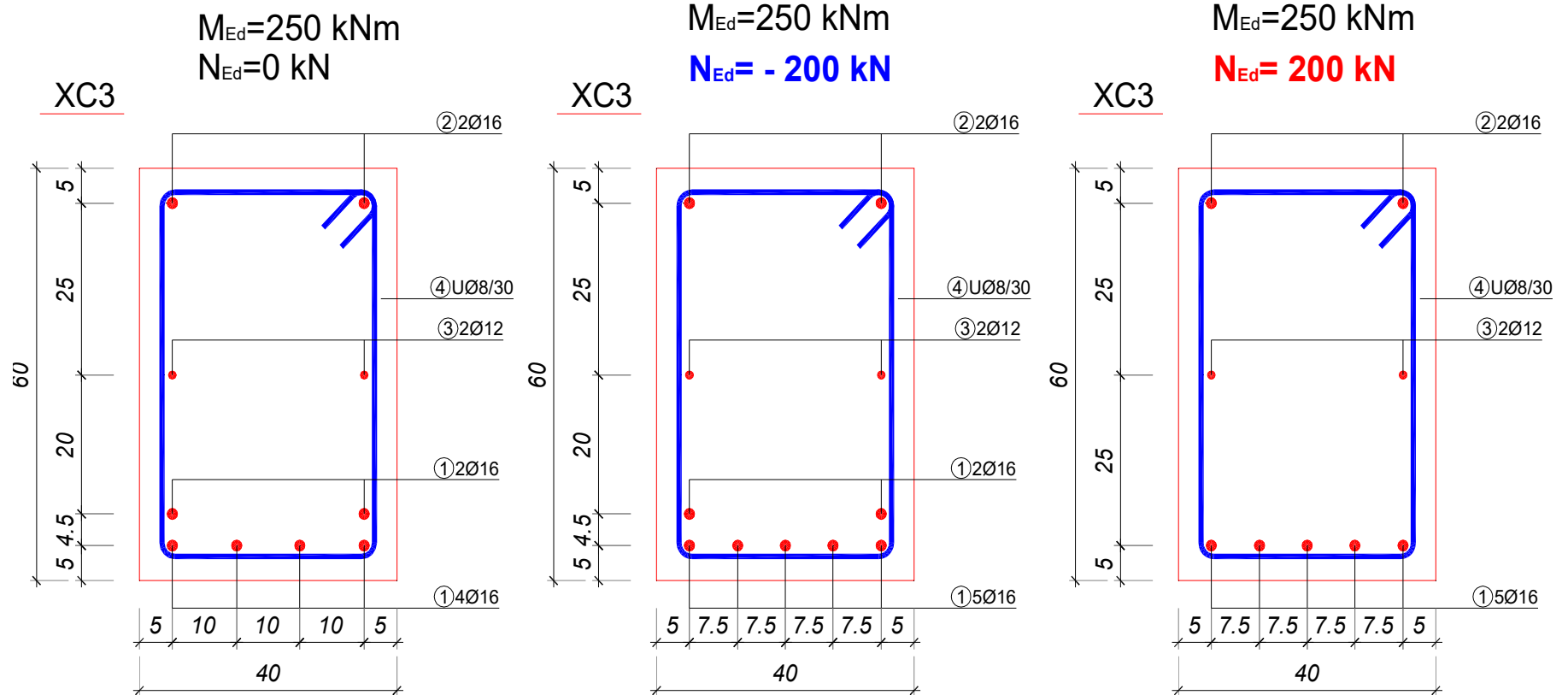
$N_{Ed}$  – sila zatezanja

Ako je  $\epsilon_{s1} < 2.5\text{‰}$  (ili  $f_{yd}/E_s$ ), presek se **OBOSTRANO** armira

## **SLOŽENO** savijanje - **VEZANO** dimenzionisanje

5. **Usvaja se broj i prečnik šipki armature.** Usvojena armatura se raspoređuje u preseku ( $a$ , čisto rastojanje između šipki)
6. **Sračunava se položaj težišta  $d_1$**  usvojene armature i statička visina  $d$  i upoređuje sa pretpostavljenom.
  - U slučaju znatnijih odstupanja, proračun se ponavlja sa korigovanom vrednošću  $a$ .
7. Konačno se **konstruiše poprečni presek** i prikazuje u odgovarajućoj razmeri (1:10) sa svim potrebnim kotama i oznakama.

# POREĐENJE - primeri 2, 8 i 9





## POREĐENJE - primeri 2, 8 i 9

- U primerima 2, 8 i 9 dimenzionisan je poprečni presek istih dimenzija i kvaliteta materijala, u sva tri slučaja opterećen istim momentom savijanja. Jedini parametar koji je variran je normalna sila.
- Upoređujući sračunate vrednosti, uočava se da se **NAJVEĆA** potrebna površina **ZATEGNUTE** armature dobija u preseku napregnutom momentom savijanja i **SILOM ZATEZANJA**, a najmanja kada pri istom momentu savijanja deluje i sila pritiska. Drugim rečima, pri istim dimenzijama preseka i istim vrednostima momenata savijanja, potrebno je, kao merodavnu, odabrati kombinaciju uticaja koja daje **MAKSIMALNO MOGUĆU SILU ZATEZANJA** (odnosno, minimalno moguću silu pritiska).
- Analogno, pri istim dimenzijama preseka i istim vrednostima momenata savijanja, merodavna kombinacija uticaja za eventualnu **PRITISNUTU** armaturu (dvostruko armirani preseci) je ona koja daje **MAKSIMALNO MOGUĆU SILU PRITISKA** (odnosno, minimalno moguću silu zatezanja).



## Zadatak 10 - **SLOŽENO** savijanje **OBOSTRANO** **ARMIRANJE**

Odrediti **potrebnu površinu armature** za presek poznatih dimenzija, pravougaonog oblika, opterećen graničnim momentom savijanja  $M_{Ed}$  i silom pritiska  $N_{Ed}$ . Podaci za proračun:

$$\begin{array}{lll} M_{Ed} = 500 \text{ kNm} & b = 40 \text{ cm} & \text{C25/30} \\ N_{Ed} = 700 \text{ kN} & h = 60 \text{ cm} & \text{B500 B} \end{array}$$

$$\text{C25/30} \rightarrow f_{cd} = 0,85 \cdot 25 / 1,5 = 14,2 \text{ MPa} = 1,42 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{B500 B} \rightarrow f_{yd} = 500 / 1,15 = 435 \text{ MPa} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

## Zadatak 10 - **SLOŽENO** savijanje **OBOSTRANO** **ARMIRANJE**

1.  $M_{Ed} = 500 \text{ kNm}$        $N_{Ed} = 700 \text{ kN}$  (*pritisak*)

2. pretp.  $d_1 = 7 \text{ cm}$

$$d = h - d_1 = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$$

$$M_{Eds} = M_{Ed} + N_{Ed} \left( \frac{h}{2} - d_1 \right) = 500 + 700 \cdot \left( \frac{0.6}{2} - 0.07 \right) = 661 \text{ kNm}$$

3. Računa se:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Eds}}{b \cdot f_{cd}}}} = \frac{53}{\sqrt{\frac{661 \cdot 10^2}{40 \cdot 1.42}}} = 1.554$$

## Zadatak 10 - **SLOŽENO** savijanje **OBOSTRANO** **ARMIRANJE**

$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi$	$\zeta$	$\omega_1$ (%)	$\kappa$	$\mu$
3.50	2.00	0.636	0.735	51.515	1.625	0.379
3.50	1.95	0.642	0.733	51.988	1.620	0.381
3.50	1.90	0.648	0.730	52.469	1.615	0.383

4.  $\varepsilon_{s1} < 1.9\text{‰} < 2.5\text{‰}$ , radimo obostrano armiranje:

$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi$	$\zeta$	$\omega_1$ (%)	$\kappa$	$\mu$
<b>3.50</b>	<b>2.50</b>	0.583	0.757	47.222	1.672	0.358

4. Računa se:

$$M_{Rd,lim} = \left( \frac{53}{1.672} \right)^2 \cdot 40 \cdot 1.42 = 570.72 \text{ kNm}$$

$$\Delta M = M_{Eds} - M_{Rd,lim} = 661 - 570.72 = 90.28 \text{ kNm}$$

# Zadatak 10 - **SLOŽENO** savijanje **OBOSTRANO** **ARMIRANJE**

$\varepsilon_c$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi$	$\zeta$	$\omega_1$ (%)	$\kappa$	$\mu$
<b>3.50</b>	<b>2.50</b>	0.583	0.757	47.222	1.672	0.358

5. Računa se:

$$A_{s2} = \frac{F_{s2}}{\sigma_{s2}} = \frac{\Delta M}{(d - d_2) \sigma_{s2}} = \frac{90.28 \cdot 10^2}{(53 - 5.5) \cdot 43.5} = 4.37 \text{ cm}^2$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{\xi_{\text{lim}} - \frac{d_2}{d}}{\xi_{\text{lim}}} \varepsilon_{cu2} = \frac{0.584 - \frac{5.5}{53}}{0.584} \cdot 3.5 = 2.878 > 2.175 = \frac{435}{200} \left( = \frac{f_{yd}}{E_s} \right) \Rightarrow \sigma_{s2} = f_{yd} = 43.5 \text{ kN / cm}^2$$

$$\Delta A_{s1} = \frac{\Delta F_{s1}}{\sigma_{s1}} = \frac{\Delta M}{(d - d_2) f_{yd}} = A_{s2} = 4.37 \text{ cm}^2 \quad \sigma_{s1} = f_{yd} = 43.5 \text{ kN / cm}^2$$

$$A_{s1} = 47.222 \cdot \frac{40 \cdot 53}{100} \cdot \frac{1.42}{43.5} - \frac{700}{43.5} + 4.37 = 32.7 - 16.1 + 4.37 = 21.0 \text{ cm}^2$$



# Zadatak 10 - **SLOŽENO** savijanje **OBOSTRANO** **ARMIRANJE**

6. Usvojeno: **7Ø20** (21.98 cm<sup>2</sup>)  
**2Ø20** (6.28 cm<sup>2</sup>)

## 7. Računanje težišta armature

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

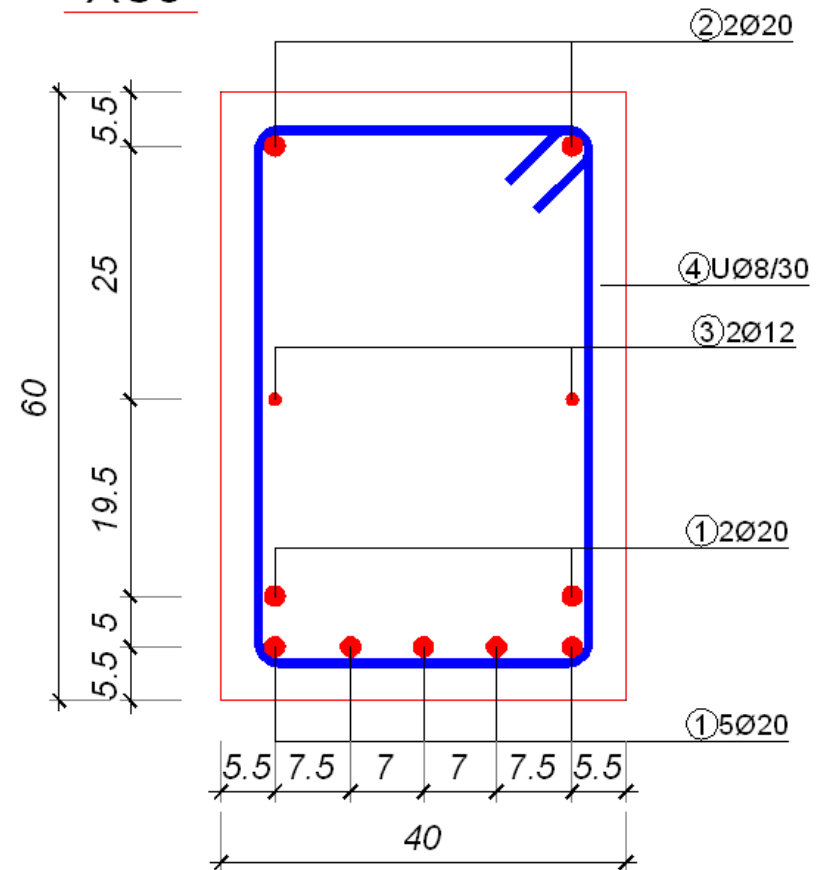
$$d^{II} = 5.3 + 3.0 + 2 \times 2.0/2 = 10.3 \text{ cm}$$

$$d_1 = (5 \times 5.3 + 2 \times 10.3)/7 = 6.73 \text{ cm}$$

$$d_{1,stv} < d_{1,prp} \text{ (na strani sigurnosti)}$$

## 8. **Konstruisanje preseka**

XC3



## "T" preseci - VEZANO dimenzionisanje

- Poznato:
  - statički uticaji ( $M_{G,Q}$ ) – sračunato
  - kvalitet materijala ( $f_{cd}, f_{yd}$ ) – usvojeno
  - dimenzije preseka ( $b, b_{eff}, h, h_f$ )
- Nepoznato:
  - površina armature ( $A_{s1}$ )
  - položaj neutralne linije, napon  $\sigma_c$

## "T" preseci - VEZANO dimenzionisanje

1. Sračunavaju se granični računski statički uticaji za odgovarajuće **proračunske situacije**

$$M_{Ed} = \gamma_G \cdot M_{G,k} + \gamma_{Q,1} \cdot M_{Qk,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} \cdot M_{Qk,i}$$

2. Pretpostavlja se  $d_1$  i sračunava d:

$$d = h - d_1$$

3. Sračunava se koeficijent k:

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot f_{cd}}}}$$

i pročita koeficijent  $\xi$  koji definiše položaj neutralne linije.

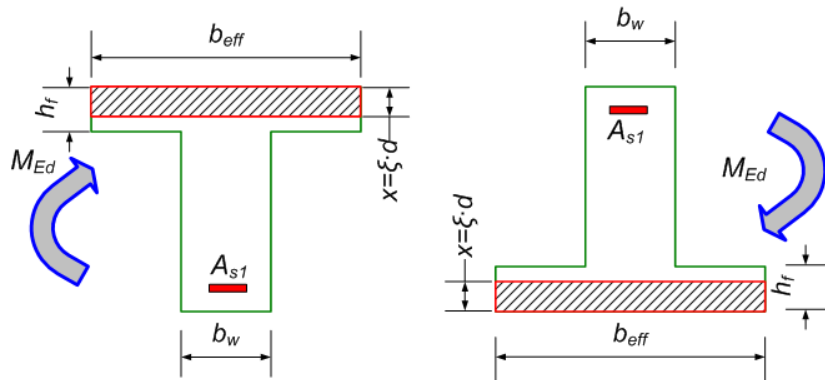


# "T" preseci - VEZANO dimenzionisanje

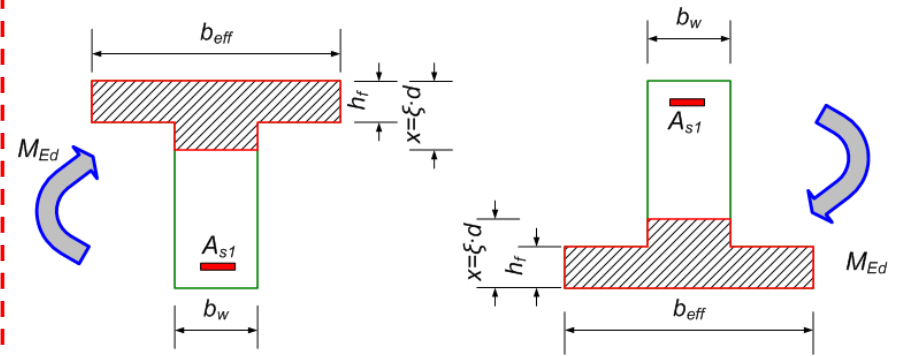
4. Sračunava se položaj neutralne linije  $x$ , i upoređuje sa debljinom ploče,  $h_f$

$$x = \xi \cdot d$$

a)  $x < h_f$  proračun  
PRAVOUGAONOG  
PRESEKA, sa širinom  $b_{eff}$



b)  $x > h_f$   
proračun "T" PRESEKA



## "T" preseci - VEZANO dimenzionisanje

5. Ukoliko je  $x > h_f$ , sračunava se efektivna visina pritisnute zone:

$$M_{Rds} = f_{cd} \left[ b_w y \left( d - \frac{y}{2} \right) + (b - b_w) h_f \left( d - \frac{h_f}{2} \right) \right] = M_{Eds}$$

6. Sračunava se dilatacija u armaturi,  $\epsilon_{s1}$

$$y = 0.8x = 0.8d \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{s1}}$$

7. Ukoliko je  $\epsilon_{s1} \geq 2.5\text{‰}$ , sračunava se površina armature,  $A_{s1}$

$$A_{s1} = \left[ b_w y + (b - b_w) h_f \right] \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

A ukoliko je  $\epsilon_{s1} < 2.5\text{‰}$ , dimenzioniše se **obostrano armiran presek**

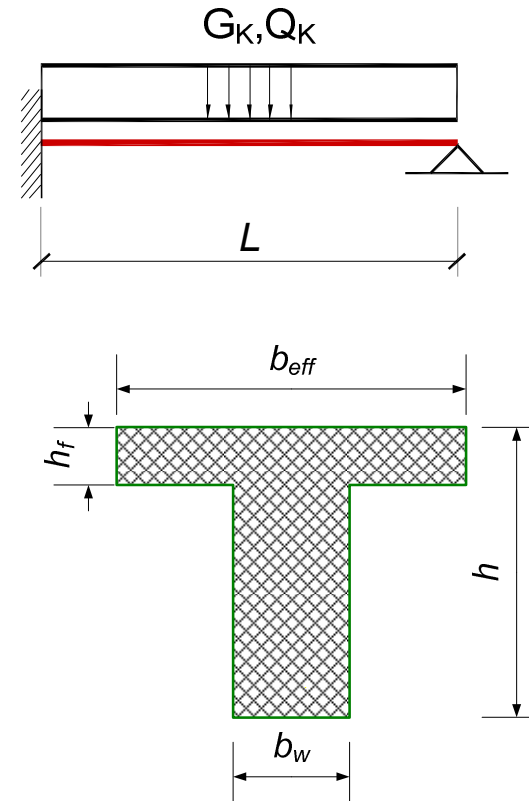
## "T" preseci - VEZANO dimenzionisanje

8. **Usvaja se broj i prečnik šipki armature.** Usvojena armatura se raspoređuje u preseku
9. **Sračunava se položaj težišta  $d_1$**  usvojene armature i statička visina  $d$  i upoređuje sa pretpostavljenom.
  - U slučaju znatnijih odstupanja, proračun se ponavlja sa korigovanom vrednošću  $d_1$  .
10. Konačno se **konstruiše poprečni presek** i prikazuje u odgovarajućoj razmeri (1:10) sa svim potrebnim kotama i oznakama.

## Zadatak 11 - "T" preseci

Za gredu čiji su statički sistem i poprečni presek prikazani na skici, opterećenu jednako raspodeljenim stalnim ( $G_k$ ), odnosno povremenim ( $Q_k$ ) opterećenjem, dimenzionisati karakterističan presek u polju prema merodavnom momentu savijanja. Podaci za proračun:

$G_k = 17 \text{ kN/m}$	$Q_k = 21 \text{ kN/m}$	$L = 6.2 \text{ m}$
$b_w = 30 \text{ cm}$	$h = 60 \text{ cm}$	$h_f = 15 \text{ cm}$
C 25/30	B500 B	XC1



C30/37  $\rightarrow$   $f_{cd} = 1,70 \text{ kN/cm}^2$

B500 B  $\rightarrow$   $f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$

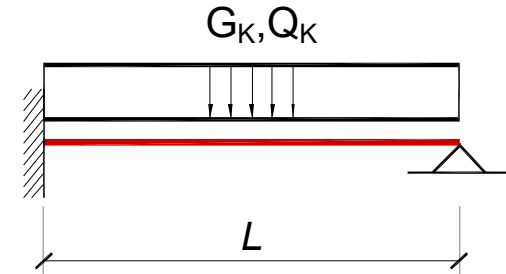
XC1  $\rightarrow$   $c_{nom} = 25 \text{ mm}$

## Zadatak 11 - "T" preseci

1. Sračunavanje karakterističnih i proračunskih vrednosti momenata savijanja:

$$M_{G,k} = \frac{9}{128} G_k \cdot L^2 = \frac{9}{128} 30 \cdot 6.2^2 = 81.1 kNm$$

$$M_{Q,k} = \frac{9}{128} Q_k \cdot L^2 = \frac{9}{128} 25 \cdot 6.2^2 = 67.6 kNm$$



$$M_{Ed} = 1.35 \cdot 81.1 + 1.5 \cdot 67.6 = 210.8 kNm$$

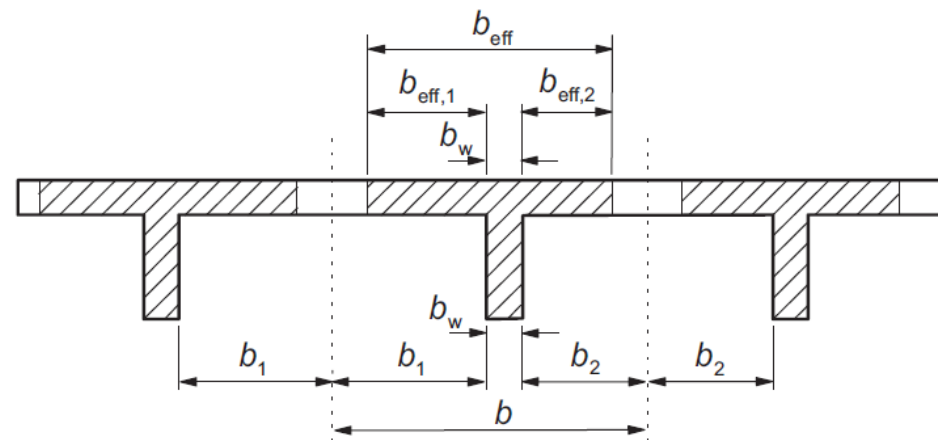
2. Pretpostavka:  $d_1 = 7 \text{ cm}$   $d = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b$$

$$b_{eff,i} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq 0.2l_0$$

$$b_{eff,i} \leq b_i$$

$$b_{eff} = 0.4 \cdot 0.75 \cdot 620 + 30 = 216 \text{ cm}$$



## Zadatak 11 - "T" preseci

3. Pretpostavka:  $x < h_f$

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot f_{cd}}}} = \frac{53}{\sqrt{\frac{21080}{216 \cdot 1.7}}} = 6.995 \quad \longrightarrow \quad \xi = 0.020$$

$x = 0.020 \cdot 53 = 1.06 \text{ cm} < 15 = h_f !$

$\longrightarrow$  presek se dimenzioniše kao pravougaoni sa širinom pritisnute zone  $b_{eff}$

4.

$$A_{s1} = 2.021 \times \frac{216 \times 53}{100} \times \frac{1.7}{43.5} = 9.04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s1, \min} = \left\{ \begin{array}{l} 0.26 \cdot \frac{2.9}{500} \cdot 30 \cdot 53 = 2.40 \text{ cm}^2 \\ 0.0013 \cdot 30 \cdot 53 = 2.07 \text{ cm}^2 \end{array} \right\} = 2.40 < 9.04 \text{ cm}^2 = A_{s1, \text{pot}}$$

5. Usvaja se:  $3\emptyset 20$  (9.42 cm<sup>2</sup>)

$\epsilon_{s1} > 45 \text{ ‰} ?!$

**PREDAVANJA!!!**



# Zadatak 11 - "T" preseci

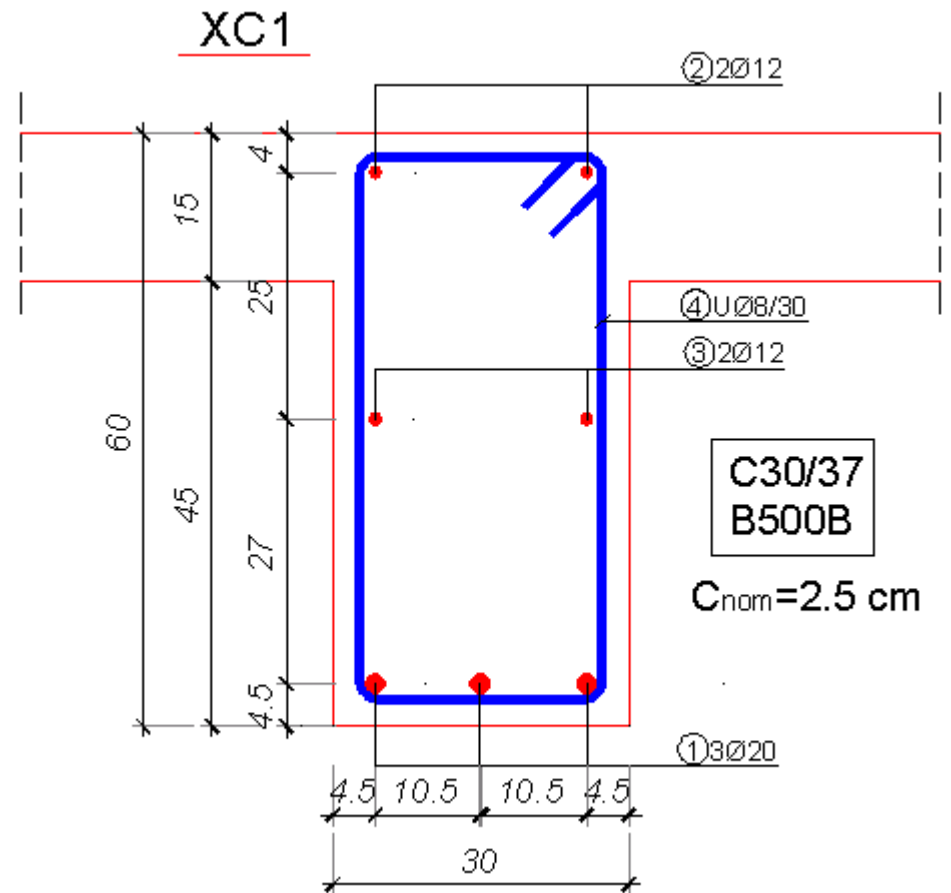
## 6. Računanje težišta armature

$$d^I = d_1 = 2.5 + 0.8 + 2.0/2 = 4.3 \text{ cm}$$

$d_{1,stv} > d_{1,prp}$  – na strani sigurnosti, ali pogrešno pretpostavljen broj redova armature – ponovni proračun:

$$k=7.325, \omega_1=2.021, A_{s1} = 9.47 \text{ cm}^2 (!!)$$

## 7. Konstruisanje preseka



## Zadatak 12 - "T" preseci

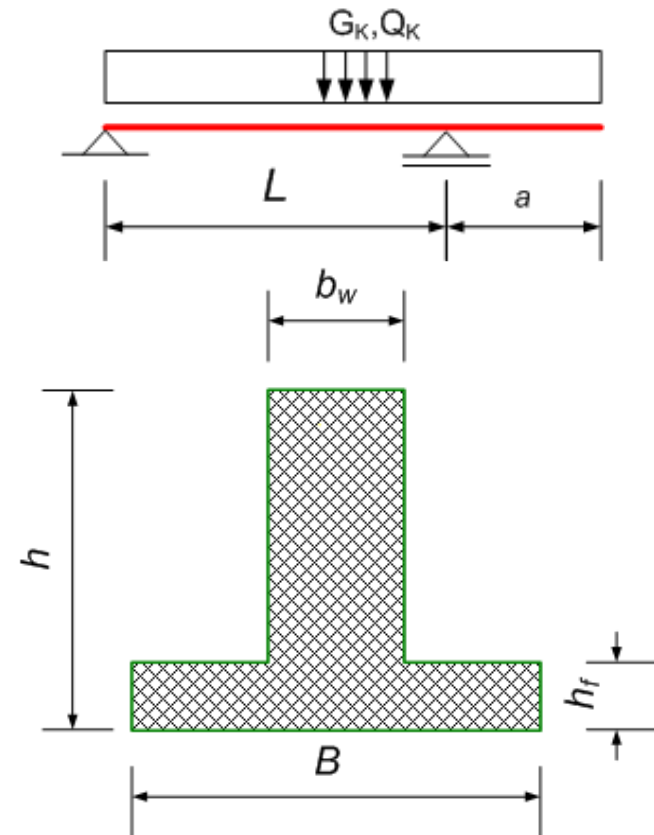
Za gredu čiji su statički sistem i poprečni presek prikazani na skici, opterećenu jednako raspodeljenim stalnim ( $G_k$ ), odnosno povremenim ( $Q_k$ ) opterećenjem, dimenzionisati karakterističan presek iznad oslonca prema merodavnom momentu savijanja. Podaci za proračun:

$$\begin{aligned} G_k &= 70 \text{ kN/m} & Q_k &= 50 \text{ kN/m} & L &= 4.0 \text{ m} \\ b_w &= 30 \text{ cm} & h &= 55 \text{ cm} & a &= 2.0 \text{ m} \\ B &= 60 \text{ cm} & h_f &= 10 \text{ cm} \\ C &25/30 & B500 B & & XC1 & \end{aligned}$$

$$C30/37 \rightarrow f_{cd} = 1,70 \text{ kN/cm}^2$$

$$B500 B \rightarrow f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$XC1 \rightarrow c_{nom} = 25 \text{ mm}$$



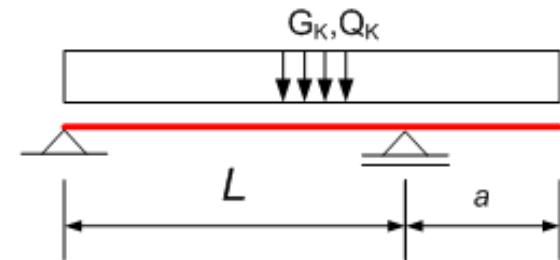


## Zadatak 12 - "T" preseci

1. Sračunavanje karakterističnih i proračunskih vrednosti momenata savijanja:

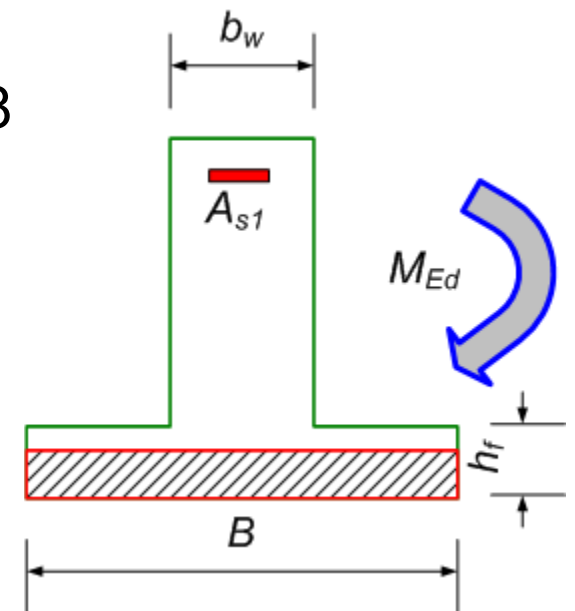
$$M_{G,k} = G_k \cdot \frac{L^2}{2} = 70 \cdot \frac{2.5^2}{2} = 218.8 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,k} = Q_k \cdot L^2 = 50 \cdot \frac{2.5^2}{2} = 156.3 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed} = 1.35 \cdot 218.8 + 1.5 \cdot 156.3 = 529.8 \text{ kNm}$$

2. Pretpostavka:  $d_1 = 7 \text{ cm}$   $d = 55 - 7 = 48$
3. Ne računa se  $b_{\text{eff}}$ , data je širina pritisnute zone, B



## Zadatak 12 - "T" preseci

3. Pretpostavka o položaju neutralne linije:  $x < h_f$

$$k = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{Ed}}{B \cdot f_{cd}}}} = \frac{48}{\sqrt{\frac{52980}{60 \cdot 1.7}}} = 2.106 \quad \longrightarrow \quad \xi = 0.321$$

4.  $x = 0.321 \cdot 48 = 15.41 \text{ cm} > 10 = h_f !$

**$\longrightarrow$  Pretpostavka o položaju n-n linije je pogrešna, presek se dimenzioniše kao „T“ presek !**

5. Sračunava se efektivna visina pritisnute zone:

$$M_{Rds} = f_{cd} \left[ b_w y \left( d - \frac{y}{2} \right) + (b - b_w) h_f \left( d - \frac{h_f}{2} \right) \right] = M_{Eds}$$

$$1.7 \left[ 30 y \left( 48 - \frac{y}{2} \right) + (60 - 30) \cdot 10 \cdot \left( 48 - \frac{10}{2} \right) \right] = 529.8$$

## Zadatak 12 - "T" preseci

5.  $25.5y^2 - 2448y + 31070 = 0 \quad \longrightarrow \quad y=15.05 \text{ cm}$

6. Sračunava se dilatacija u armaturi,  $\epsilon_{s1}$

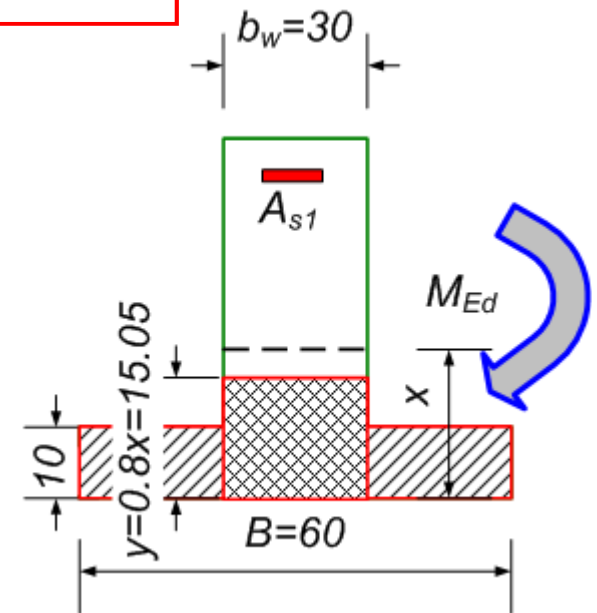
$$y = 0.8x = 0.8d \frac{\epsilon_{cu3}}{\epsilon_{cu3} + \epsilon_{s1}} = 0.8 \cdot 48 \cdot \frac{3.5}{3.5 + \epsilon_{s1}} = 15.05 \text{ cm}$$

$\longrightarrow \quad \epsilon_{s1} = 5.272\text{‰} > 2.5\text{‰}$

7. Sračunava se površina armature,  $A_{s1}$

$$A_{s1} = \left[ b_w y + (b - b_w) h_f \right] \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} - \frac{N_{Ed}}{f_{yd}}$$

$$A_{s1} = \left[ 30 \cdot 15.05 + (60 - 30) \cdot 10 \right] \cdot \frac{1.7}{43.5} = 29.37 \text{ cm}^2$$



## Zadatak 12 - "T" preseki

8. Usvaja se: **6Ø25** (29.46 cm<sup>2</sup>)

10. **Konstruisanje preseka**

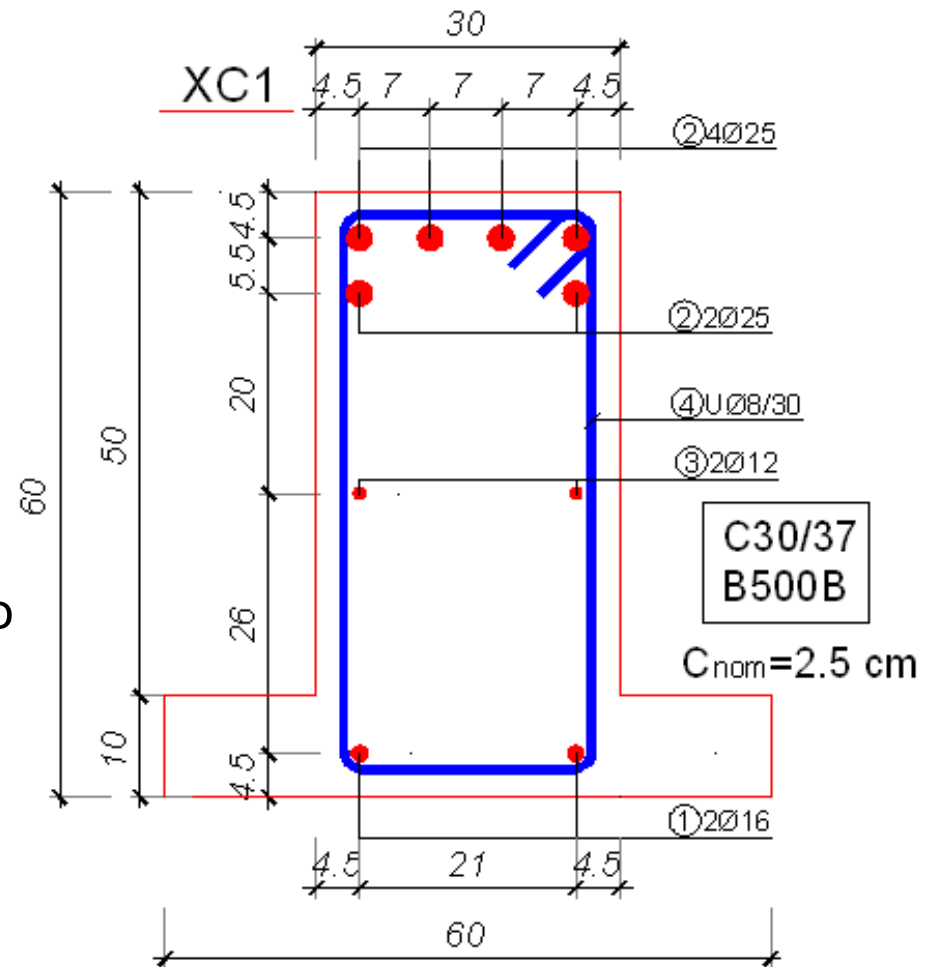
### 9. Računanje težišta armature

$$d^I = 2.5 + 0.8 + 2.5/2 = 4.6 \text{ cm}$$

$$d^{II} = 4.6 + 3.0 + 2 \times 2.5/2 = 10 \text{ cm}$$

$$d_1 = (4 \times 4.6 + 2 \times 10)/6 = 6.4 \text{ cm}$$

$d_{1,stv} > d_{1,prp}$  – na strani sigurnosti, blisko pretpostavljenoj vrednosti



# ULS – složeno savijanje

*Minimalna i maksimalna površina armature T-preseka*

**Minimalna površina** zategnute armature:

$$A_{s1,\min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \geq 0.0013 b_t d$$

$b_t$  srednja širina zategnute zone preseka, a kod T-preseka sa pritisnutom flanšom, za ovu vrednost se uzima debljina rebra,  $b_t = b_w$ .

**Maksimalna površina** zategnute  $A_{s1}$  i pritisnute  $A_{s2}$  armature :

$$A_{s1} \leq 0.04 b_w h$$

$$A_{s2} \leq 0.04 b_w h$$

$$A_{s1} - A_{s2} \leq 0.28 b_1 h_1 \frac{f_{ck}}{f_{yk}}$$

za T-preseke sa zategnutom flanšom:  $b_1 = b_w$  i  $h_1 = h$

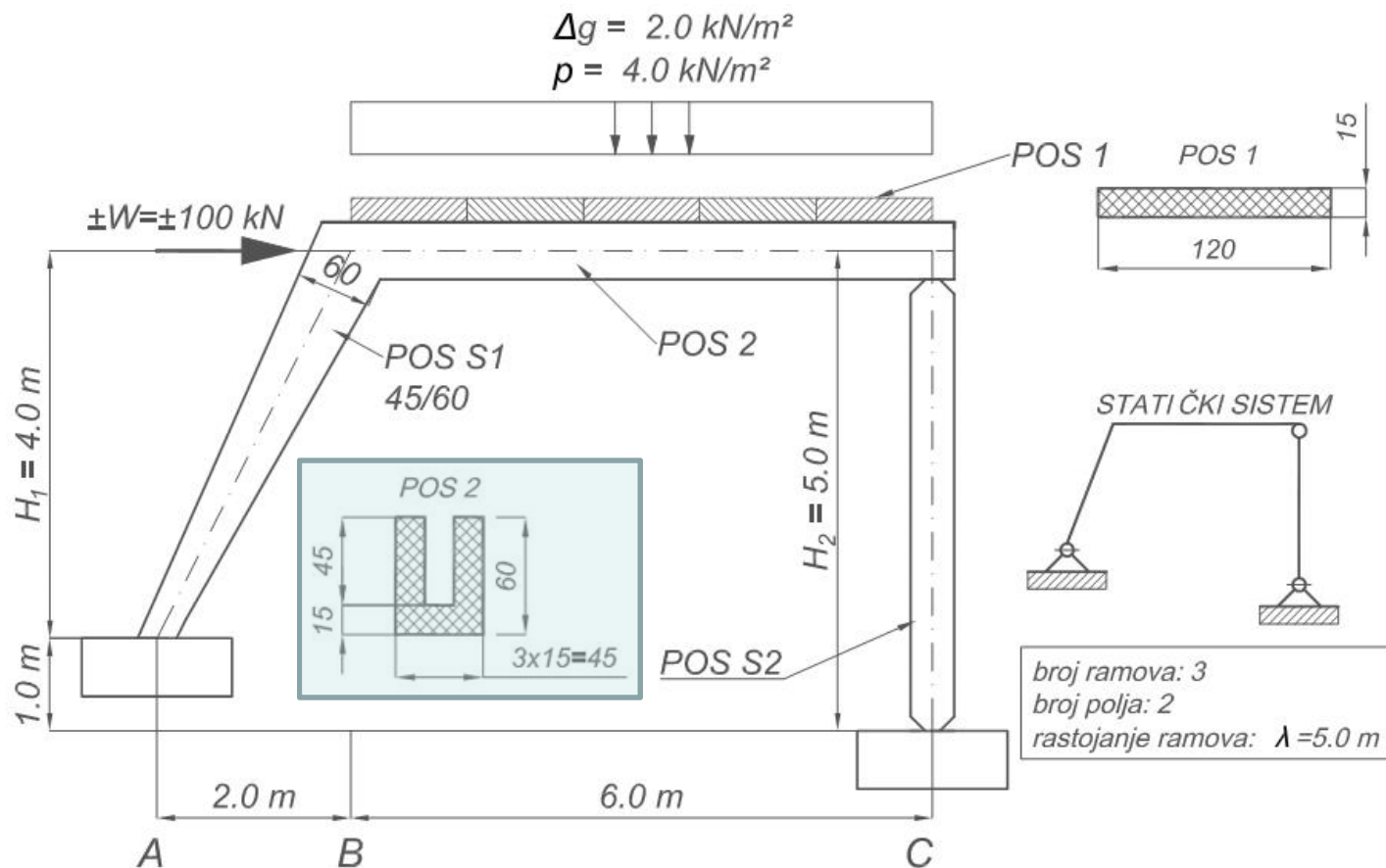
za T-preseke sa pritisnutom flanšom  $h \leq 2.8h_f$ :  $b_1 = b_{\text{eff}}$  i  $h_1 = h$

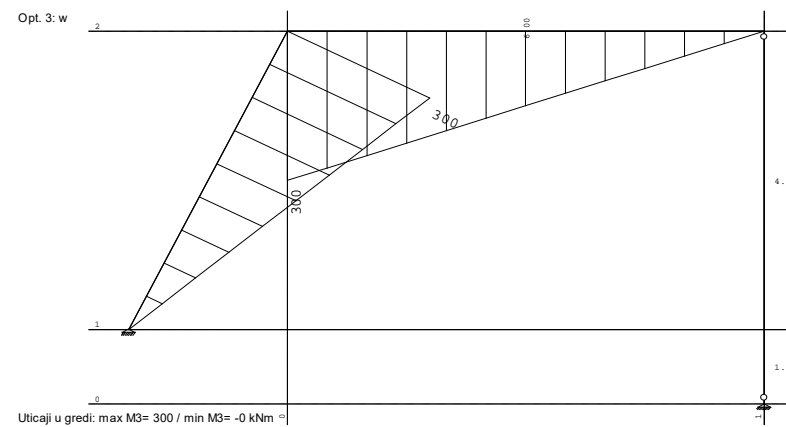
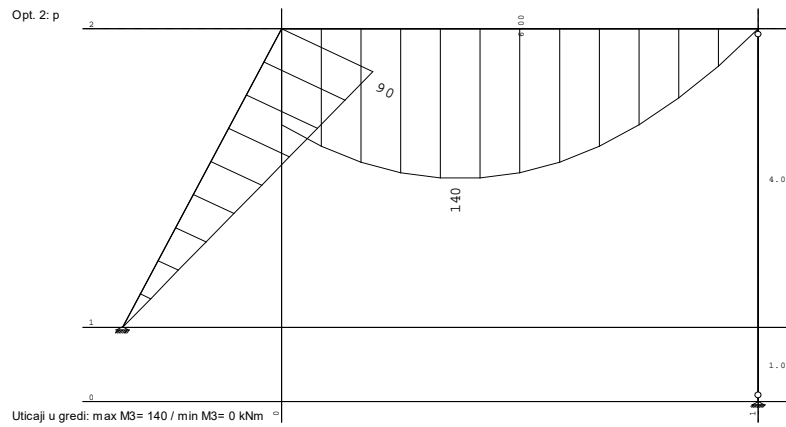
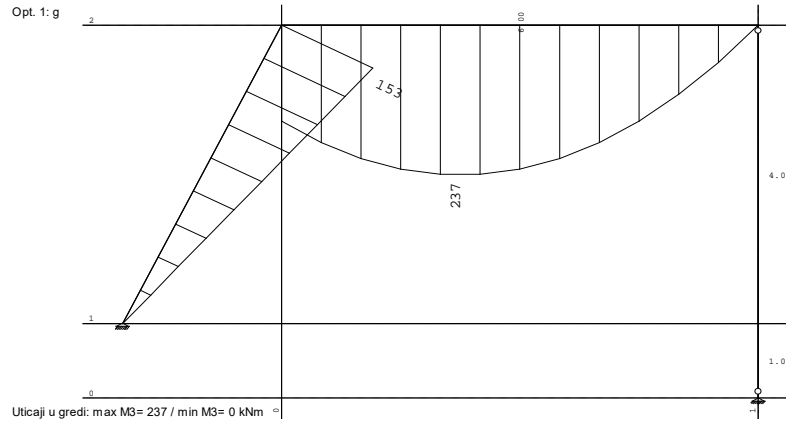
za T-preseke sa pritisnutom flanšom  $h > 2.8h_f$ :  $b_1 = b_{\text{eff}}$  i  $h_1 = 2.8h_f$

gde su  $h$  visina preseka,  $h_f$  visina flanše,  $b_w$  širina rebra, a  $b_{\text{eff}}$  efektivna širina flanše ili stvarna širina  $b$ , ako je manja od efektivne.

## Zadatak 13 - "T" preseci

Dimenzionisati gredu srednjeg rama POS 2 čiji je poprečni presek dat na skici, prema momentima savijanja u karakterističnim presecima.





## Zadatak 13 - "T" preseci

POS 2/

АНАЛИЗА ОПТЕРЕЂЕЊА:

ПЛОЧА POS1 : СОПСТВЕНА ТЕЖИНА!  $0,15 \times 1,2 \cdot 25 = 4,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

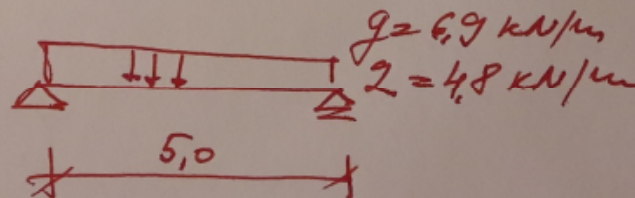
ДОДАТНО СТАЉНО :  $\Delta q = 2 \cdot 1,2 = 2,4 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

---

$$q = 6,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

КОРИСНО :

$$q = 4 \times 1,2 = 4,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



$$\uparrow R_g = 6,9 \cdot 5 / 2 = 17,25 \text{ kN}$$

$$R_g = 4,8 \cdot 5 / 2 = 12 \text{ kN}$$



## Zadatak 13 - "T" presecci

• СОНСТВЕНА ТЕЖИНА ПОС 2

$$\bullet [0,15 \cdot 0,45 \cdot 2 + 0,45 \cdot 0,15] \cdot 25 = 5,06 \text{ kN/m}$$

• СТАЛНО

$$\bullet \text{CA POS 1 : } \frac{17,25 \cdot 2}{1,2} = 28,75 \text{ kN/m}$$
$$g = 33,8 \text{ kN/m}$$

• КОПУЧЕНО

$$\bullet \text{CA POS 1 : } \frac{12 \cdot 2}{1,2} \Rightarrow q = 20 \text{ kN/m}$$



## Zadatak 13 - "T" preseci

Merodavna kombinacija za  $M_{ed}$  u izolu?

$$1) M_{ed} = 1.35 M_g + 1.5 M_q + 1.5 \cdot \boxed{\psi} M_w$$

↘ 0.6

$$2) M_{ed} = 1.35 M_g + 1.5 M_w + 1.5 \cdot \boxed{\psi} M_q$$

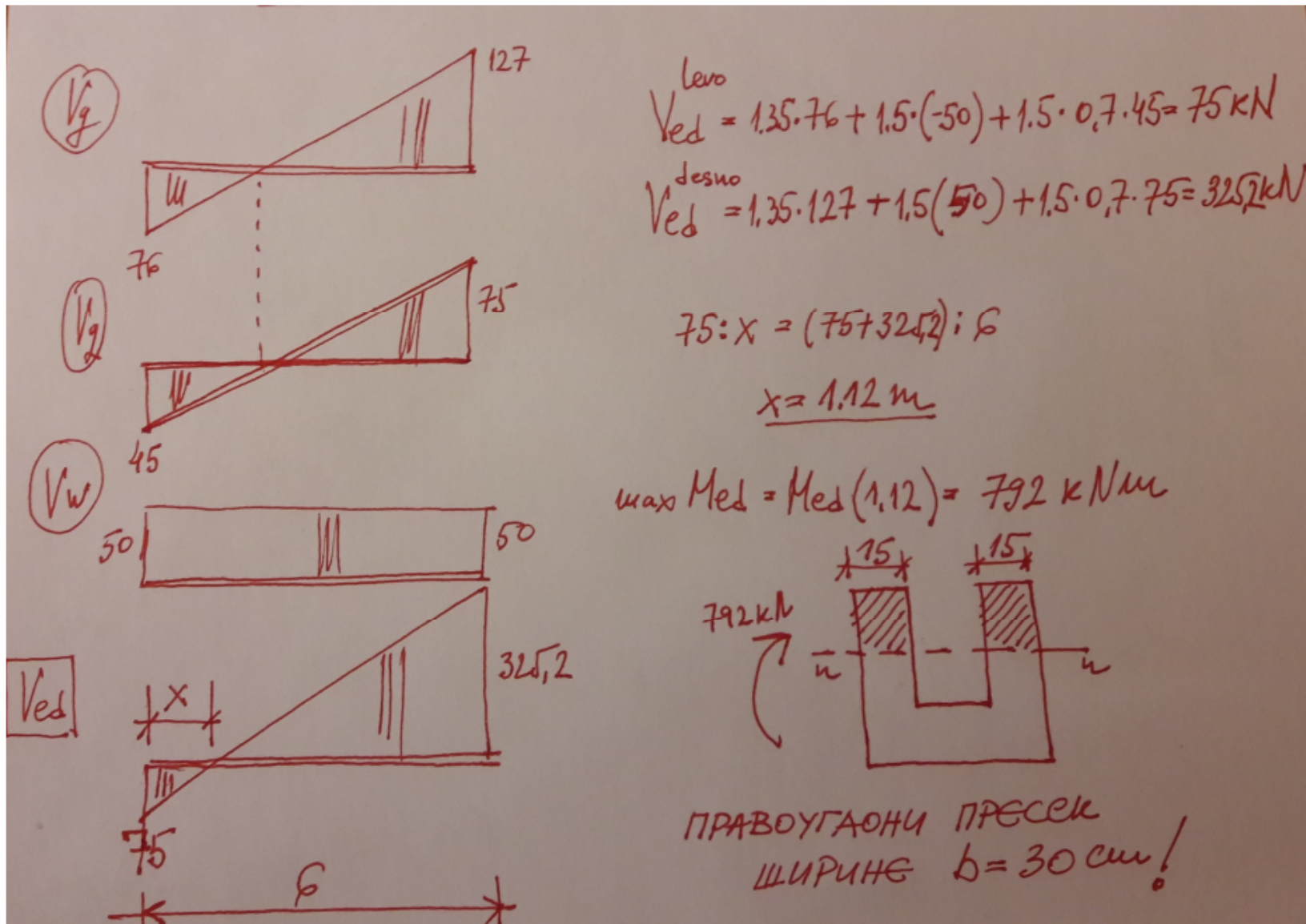
↘ 0.7

Mesto maksimalnog momenta  $M_{ed}$  za uzdornu kombinaciju?

$$\Rightarrow V_{ed} = 0 \text{ (za } \psi \text{ u uzdornu kombinaciju)}$$

$$\underline{V_{ed}(x) = 0 \Rightarrow x \Rightarrow M_{ed}(x) = \max M_{ed}}$$

# Zadatak 13 - "T" presecki



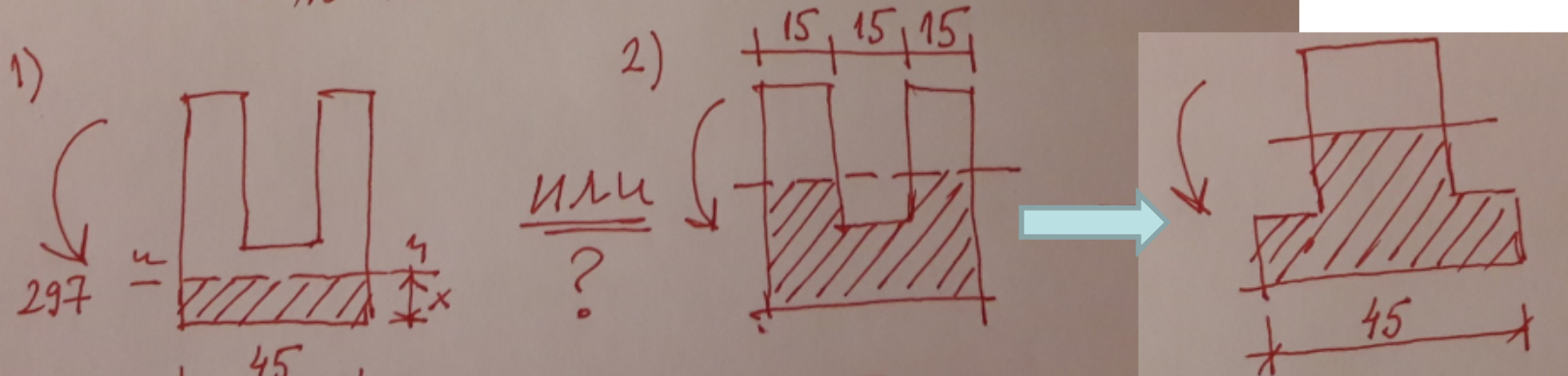
## Zadatak 13 - "T" preseci

Пресек на вези са стубом:

$$\begin{aligned} \max M_{ed} &= 1,35 M_g - 1,5 \cdot M_w = \\ &= 1,35 \cdot 153 - 1,5 \cdot 300 = -243,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Може ли се смањити допринос  $M_g$ ? ΔΔ

$$\begin{aligned} \max M_{ed} &= 1,0 \cdot M_g - 1,5 \cdot M_w = \\ &= 1,0 \cdot 153 - 1,5 \cdot 300 = -297 \text{ kNm} \end{aligned}$$



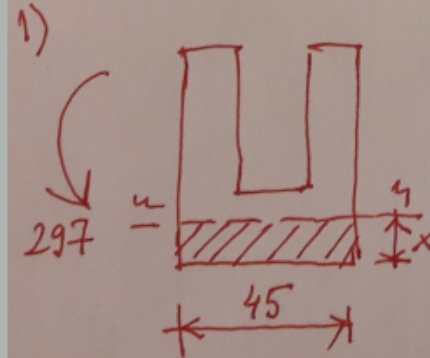
## Zadatak 13 - "T" preseći

ПРЕТПОСТАВКА: СЛУЧАЈ 1)

$$x < h_f (= 15 \text{ cm})$$

прегледна табела:  $a_1 = 6 \text{ cm}$

$$d_{\text{PRP}} = 60 - 6 = 54 \text{ cm}$$



$$k = \frac{54}{\sqrt{\frac{297 \cdot 10^2}{45 \cdot 1.7}}} = 2.741 \Rightarrow \epsilon_{s1} = 16\% \quad (\text{OK, } \epsilon_{s1} > 25\% \cdot \cdot)$$

$$\xi = 0.179 \Rightarrow x = 0.179 \cdot 54 = \underline{\underline{9.7 \text{ cm}}}$$

$x < h_f \Rightarrow$  u-u y plochi

$\Rightarrow$  претпос. ДЕТАЛНА

$$A_{s1} = 14.53 \cdot \frac{45 \cdot 54}{100} \cdot \frac{1.7}{43.5} = 13.8 \text{ cm}^2$$

испојено: 7 $\phi$ 16 (14.07 cm<sup>2</sup>)  
(5+2)

СЛУЧАЈАВАЊЕ  $d_1 \dots d_{\text{str}} \dots$

