

## 8a. vaja: MSU – MEJNO STANJE RAZPOK

### 1. RAČUN ŠIRINE RAZPOK SKLADNO S STANDARDOM SIST EN 1992-1-1:

V kolikor preverjamo širino razpok, je potrebno v območjih, kjer pričakujemo natezne obremenitve, zagotoviti minimalno količino armature  $A_{s,min}$ :

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s$$

$A_{s,min}$  ... minimalna količina armature v natezni coni,

$A_{ct}$  ... površina betonskega dela prereza v nategu tik pred nastankom prve razpoke,

$\sigma_s$  ... največja dovoljena napetost v armaturi takoj po nastanku razpoke ( $\sigma_s \leq f_{yk}$ ),

$f_{ct,eff}$  ... povprečna natezna trdnost betona ob nastanku prvih razpok ( $f_{ct,eff} = f_{ctm}$  oziroma  $f_{ct,eff}(t)$ , če pričakujemo nastanek prvih razpok pred starostjo betona 28 dni),

$k$  ... koeficient, s katerim upoštevamo vpliv neenakomernih notranjih napetosti:

$$k = \begin{cases} 1.0 & h \leq 300 \text{ mm} \dots (\text{notranje napetosti zaradi zunanjih vplivov}), \\ 0.65 & h \geq 800 \text{ mm} \dots (\text{notranji vplivi - lezenje, krcenje}), \end{cases}$$

$k_c$  ... koeficient, s katerim upoštevamo vpliv narave obremenitve:

$$k_c = \begin{cases} 1.0 & \text{čisti nateg,} \\ 0.4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] \leq 1 & \text{za upogib z osno silo (pravokotni prerezi):} \end{cases}$$

$\sigma_c$  ... povprečna napetost v betonu:  $\sigma_c = N_{Ed} / bh$ ,

$N_{Ed}$  ... tlačna osna sila v obravnavanem prerezu pri MSU,

$$h^* = \begin{cases} h & h < 1.0 \text{ m,} \\ 1.0 & h \geq 1.0 \text{ m,} \end{cases}$$

$$k_1 = \begin{cases} 1.5 & N_{Ed} \dots \text{tlačna sila,} \\ 2h^* / 3h & N_{Ed} \dots \text{natezna sila,} \end{cases}$$

Račun širine razpoke  $w_k$ :

$$w_k = s_{r,max} (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$\varepsilon_{sm}$  ... povprečna deformacija v armaturi,

$\varepsilon_{cm}$  ... povprečna deformacija v betonu med razpokami:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$\sigma_s$  ... napetost v natezni armaturi razpokanega prereza pri računski obtežbi za MS razpok,

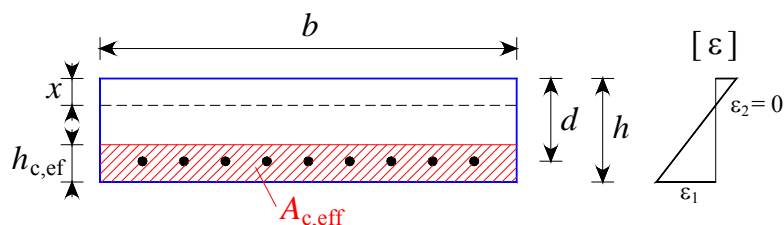
$\alpha_e$  ... razmerje  $E_s / E_{cm}$ ,

$$\rho_{p,eff} = \frac{(A_s + \xi_1^2 A_p')}{A_{c,eff}}$$

$A_s$  ... natezna armatura znotraj območja  $A_{c,eff}$ ,

$A_p'$  ... prednapeta armatura znotraj območja  $A_{c,eff}$ ,

$A_{c,eff}$  ... efektivno območje betona v nategu:



$$h_{c,ef} = \min \begin{cases} 2.5(h-d), \\ (h-x)/3 \text{ ali } h/2. \end{cases}$$

$k_t$  ... vpliv trajanja obtežbe:

$$k_t = \begin{cases} 0.6 & \text{kratkotrajna obtežba,} \\ 0.4 & \text{dolgotrajna obtežba,} \end{cases}$$

$s_{r,max}$  ... največja razdalja med razpokami:

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}}, \text{ če je razmik med arm. palicami } \leq 5(c + \phi/2)$$

$\phi$  ... premer armaturne palice,

$c$  ... debelina zaščitnega sloja betona,

$k_1$  ... vpliv sprijemnih lastnosti armature:

$$k_1 = \begin{cases} 0.8 & \text{rebrasta armatura,} \\ 1.6 & \text{armatura z gladko površino,} \end{cases}$$

$k_2$  ... vpliv razporeditve deformacij po prerezu:

$$k_2 = \begin{cases} 0.5 & \text{upogib,} \\ 1.0 & \text{čisti nateg,} \\ (\varepsilon_1 + \varepsilon_2)/2\varepsilon_1 & \text{ekscentrični nateg,} \end{cases}$$

$k_3$  ... priporočljiva vrednost je 3.4,

$k_4$  ... priporočljiva vrednost je 0.425.

$$s_{r,max} = 1.3(h-x), \text{ če je razmik med arm. palicami } > 5(c + \phi/2)$$

Kombinacije vplivov za MSU:

$$\text{Karakteristična: } \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$\text{Pogosta: } \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \Psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$$

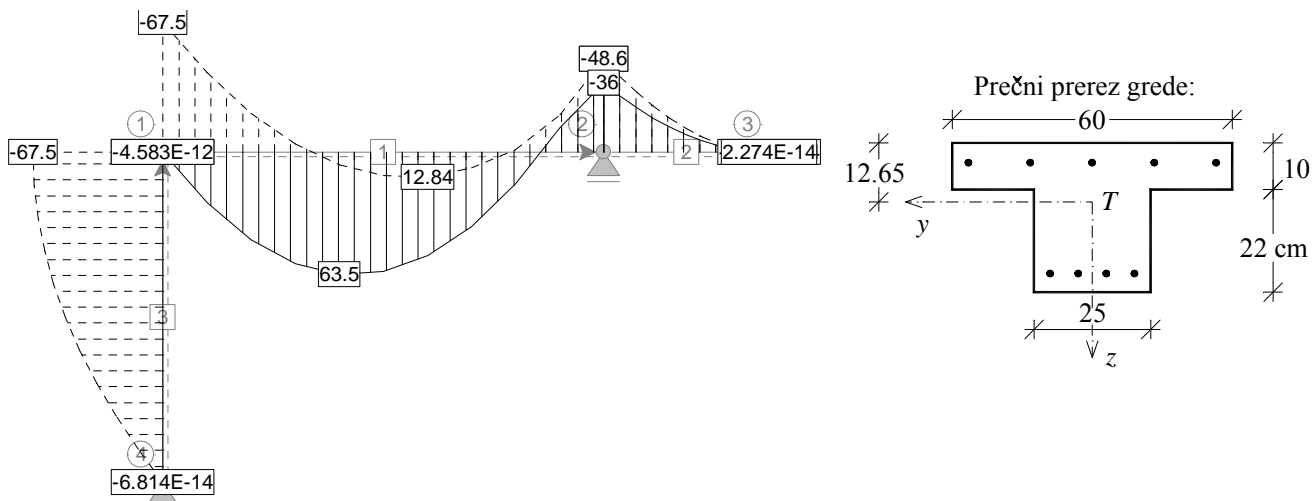
$$\text{Navidezno stalna: } \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad \leftarrow \text{ za armiranobetonske elemente se širino razpok } w_k \text{ dokazuje pri navidezno stalni kombinaciji obtežbe!}$$

## 2. RAČUNSKI PRIMER

### 2.1. Dimenzioniranje prereza pri osno-upogibni obremenitvi

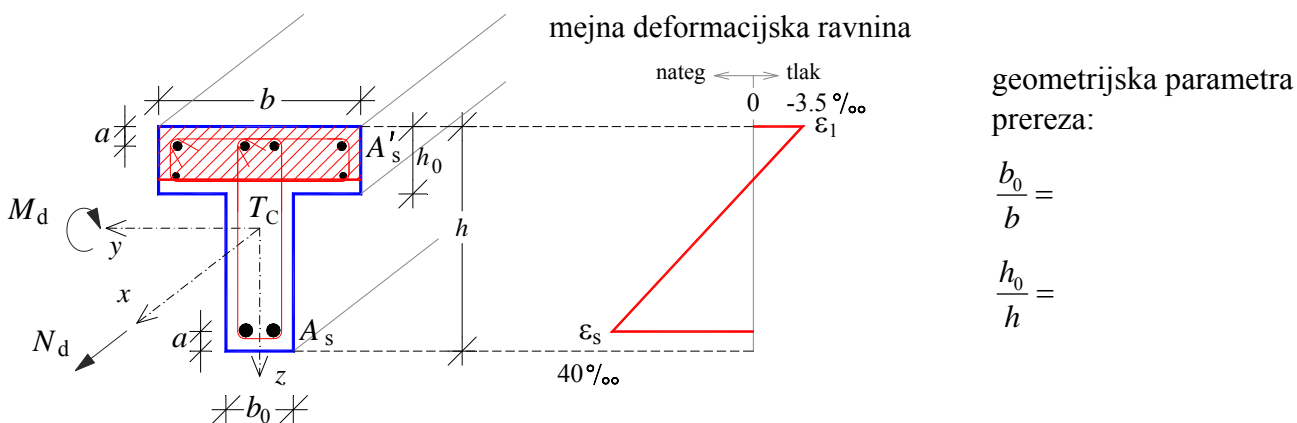
#### 2.1.1. Dimenzioniranje grede iz 4.naloge - v polju ( $M_{d,max}$ )

$[M_{Ed}]$



Uporabljeni materiali:

- beton C30/37:  $f_{ck} = 3.0 \text{ kN/cm}^2$ ,  $f_{ctm} = 0.29 \text{ kN/cm}^2$ ,  $E_{cm} = 3300 \text{ kN/cm}^2$
- ojačilna armatura: S 500  $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$  (rebraste arm. palice),  $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$



geometrijska parametra prereza:

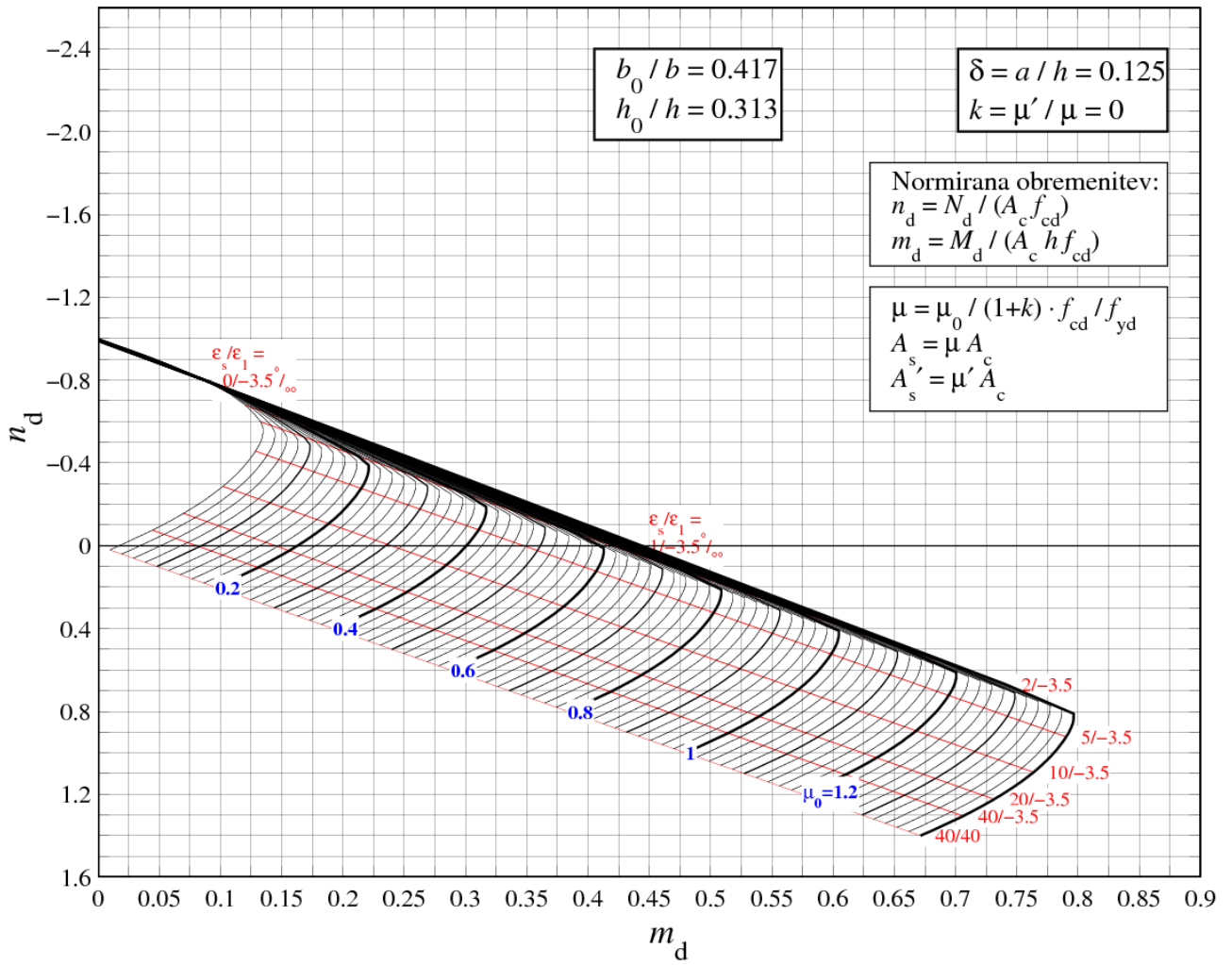
$$\frac{b_0}{b} =$$

$$\frac{h_0}{h} =$$

interakcijski diagram mejne nosilnosti prečnega prereza v polju:

$$\left. \begin{aligned} n_d &= \frac{N_d}{f_{cd} A_c} = \\ m_d &= \frac{M_d}{f_{cd} A_c h} = \end{aligned} \right\} \rightarrow \mu_0 = \quad ; \quad A_s = \left( \frac{\mu_0}{1+k} \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) \cdot A_c =$$

izberemo 5  $\varnothing 12$  ( $A_{s,dej} =$  )



## 2.2. MSU – mejno stanje razpok za gredu v polju

### 2.2.1. Obremenitev prereza za MS razpok:

$$M_{Ed} = M_g + 0 \cdot M_q = 47.0 + 0 = 47.0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed,prp} = 0 \text{ kN}$$

### 2.2.2. Minimalna natezna armatura $A_{s,min}$ :

$$A_{s,min} = k_c k f_{ct,eff} A_{ct} / \sigma_s = 0.4 \cdot 0.986 \cdot 0.29 \cdot 480 \cdot \frac{1}{50} = 1.1 \text{ cm}^2$$

(i) račun  $k_c$ :

$$k_c = 0.4 \left[ 1 - \frac{\sigma_c}{k_1 (h/h^*) f_{ct,eff}} \right] = 0.4 [1 - 0] = 0.4$$

$$\sigma_c = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h} = 0$$

(ii) račun  $k$ :

$$h = 320 \text{ mm} \rightarrow \text{z linearno interpolacijo } k = 0.986$$

(iii) račun  $f_{ct,eff}$ :

$$t \geq 28 \text{ dni} \rightarrow f_{ct,eff} = f_{ctm} = 0.29 \text{ kN/cm}^2$$

(iV) račun  $A_{ct}$ :

napetost na spodnjem in zgornjem robu nerazpokanega prereza

(predpostavimo, da velja  $\left(\frac{M}{N}\right)_{\text{pred nastankom razpok}} \approx \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ ):

$$\sigma_{c,sp} = \frac{\lambda \cdot N_{Ed}}{A} + \frac{\lambda \cdot M_{xEd}}{I} z_{sp} = 0 + \frac{\lambda \cdot 4704}{100644} \cdot 19.35 = \lambda \cdot 0.90 \text{ kN/cm}^2, \lambda < 1$$

$$\sigma_{c,zg} = \frac{\lambda \cdot N_{Ed}}{A} - \frac{\lambda \cdot M_{xEd}}{I} z_{zg} = 0 - \frac{\lambda \cdot 4704}{100644} \cdot 12.65 = \lambda \cdot (-0.59 \text{ kN/cm}^2), \lambda < 1$$

$$\text{delež prereza v nategu: } \frac{0.90}{0.90 + |-0.59|} h = 0.60 h \rightarrow A_{ct} = 0.60 h \cdot b_{sp} = 480 \text{ cm}^2$$

(iV) račun  $\sigma_s$ :

$$\sigma_s = f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$$

### 2.2.3. Razlika povprečnih deformacij armature in betona med razpokami ( $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ ):

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e \rho_{p,eff})}{E_s} = \frac{31.95 - 0.4 \frac{0.29}{0.0251} (1 + 6.06 \cdot 0.0251)}{20000} = 0.00133 \geq 0.6 \frac{\sigma_s}{E_s} = 0.00096$$

(i) račun napetosti v natezni armaturi  $\sigma_s$  pri obtežbi za MS razpok (ocena:  $z \approx 0.93d$ ):

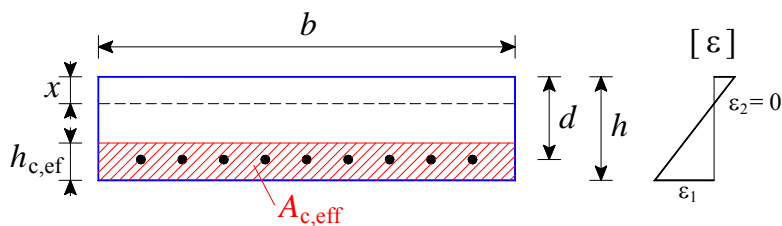
$$\sigma_s = \frac{N_{Ed}}{A_s} + \frac{M_{Ed} - N_{Ed} \cdot z_s}{z \cdot A_s} = \frac{0}{5.65} + \frac{(47.0 + 0 \cdot 0.1535) \cdot 100}{0.93 \cdot 28 \cdot 5.65} = 31.95 \text{ kN/cm}^2$$

(ii) račun  $k_t$ :

$$\text{dolgotrajna obtežba} \rightarrow k_t = 0.4$$

(iii) račun  $\rho_{p,eff}$ :

$$\rho_{p,eff} = \frac{A_s}{A_{c,eff}} = \frac{A_s}{b \cdot h_{c,eff}} = \frac{5.65}{25 \cdot 9.0} = 0.0251$$

za oceno  $x$ -a (lege nevtralne osi) uporabimo naslednji izraz (velja za pravokotni prečni prerez!):

$$x = \frac{1}{b} \left( -\alpha_e A_s + \sqrt{\alpha_e A_s \sqrt{2bd + \alpha_e A_s}} \right) = \frac{1}{60} \left( -6.06 \cdot 5.65 + \sqrt{34.24 \sqrt{3360 + 34.24}} \right) = 5.11 \text{ cm}$$

$$h_{c,eff} = \min \begin{cases} 2.5(h - d) = 10 \text{ cm} \\ (h - x) / 3 = 9.0 \text{ cm} \end{cases}$$

(iV) račun  $\alpha_e$ :

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000}{3300} = 6.06$$

2.2.4. Največja razdalja med razpokami  $s_{r,max}$ , če je razmik med arm.palicami  $\leq 5(c + \phi/2) = 15.5 \text{ cm}$

$$s_{r,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_4 \frac{\phi}{\rho_{p,eff}} = 3.4 \cdot 2.5 + 0.8 \cdot 0.5 \cdot 0.425 \frac{1.2}{0.0251} = 16.6 \text{ cm}$$

(i) ocenimo debelino zaščitnega sloja betona:  $c \approx 2.5 \text{ cm}$ (ii)  $k_1 = 0.8$  – rebrasta armatura(ii)  $k_2 = 0.5$  – upogibna obremenitev(iii) priporočljive vrednosti:  $k_3 = 3.4$ ,  $k_4 = 0.425$ (iV) premer izbrane armaturne palice:  $\phi = 1.2 \text{ cm}$ 2.2.5. Računska širina razpok  $w_k$ :

$$w_k = s_{r,max} (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 16.6 \cdot 0.00133 = 0.0221 = 0.22 \text{ mm} > w_{max} = 0.2 \text{ mm} \rightarrow \text{potrebni ukrepi!}$$