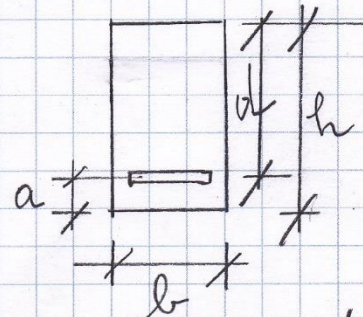
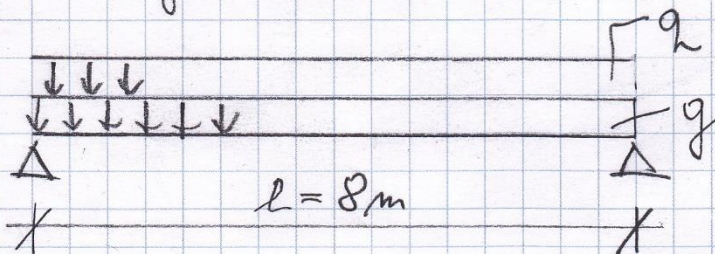


7.3 MEJNO STANJE POMIKOV / SIST EN 1992-1-1 /

Osnovni princip:

- izračunamo pomike za nerazpojen (homogen) presek
 - izračunamo pomike za popolnoma razpojen presek
- ⇒ dejanski pomiki so "nekje vmes" med vrednostima za nerazpojen in popolnoma razpojen presek
- reološki vplivi, v splošnem, povečajo pomike

PRIMER: Izračunaj npr. pomik na sredini progledečega nosilca, ohranjenega z ločno, stalno in krátko obtežbo. Upoštevaj vpliv lezenja in krčenja betona.



$$b/h/d = 40/80/73,7 \text{ cm}$$

$$q = 20 \text{ kN/m}$$

$$q = 40 \text{ kN/m} (\psi_2 = 0,3)$$

$$\text{Beton C30/37} \rightarrow f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa} =$$

$$E_{cm} = 3200 \text{ kN/cm}^2 = 0,29 \text{ kN/cm}^2$$

Armatura: B 400

$$E_s = 20000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad A_s = 16 \phi 16 \text{ mm}$$

$$A_{s,dej} = 32,2 \text{ cm}^2$$

susenje armaturo

$$E_{cs} = E_{cd} + E_{ca}$$

$$= f(RH) \cdot \frac{2A_c}{u}$$

Reološki parametri:

$$\varphi(\infty, t_0) = 2,3 \text{ " koef. lezenja}$$

$$\epsilon_{cs, \infty} = 0,33 \cdot 10^{-3} \text{ " koef. krčenja}$$

$$m = E_s / E_{cm}$$

$$\sum_j G_{k,j} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} a_{ki}$$

Icena obnošenja pretežno upogibno obremenjenih elementov.

α ... deformacijski parameter (npr. usnvljenost, zasuh, ...)
kot pomostitev $\Rightarrow \alpha$ lahko tudi poveča oz. zmanjša

χ_{II}''' — " —
nerezposon poverz

$\xi = 0$ in Ze verstoppen puzer

III razločitveni koeficient (smogoče upoštevanje sodelovanja betona pri prevzemu notranjih napetosti)

β " koeficient, ki upošteva vpliv trojanje obtežbe na povprečno deformacijo jekla

$$\beta = \begin{cases} 1,0 & \text{... enkratna kratkotrajna obtežba} \\ 0,5 & \text{... trajna ali več ciklov ponovljajoče se obtežbe} \end{cases}$$

σ_s ... napetost v nosilni armaturi pri obtežitvi, za katero se išče pomik (izračunano na podlagi razpokanega prereza)

σ_{sr} ... napetost v nosilni armaturi pri obtežitvi, ki povzroči prvo razpoko

M_{cr} ... up. moment, ki povzroči prvo razpoko

$$M_{cr} = W \cdot f_{ctm} = 42666,7 \cdot 0,29 = 123,73 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{40 \cdot 80^2}{6} = 42666,7 \text{ cm}^3$$

$$f_{ctm} (C 30/37) = 0,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{Ed}^{MSU} = \frac{q_{Ed}^{MSU} \cdot l^2}{8} = \frac{32,18^2}{8} = 256 \text{ kNm} > M_{cr} = 123,73 \text{ kNm}$$

$\Rightarrow$ prever razpoke

~ Vpoštevamo vplive lizenja betona na pomik

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_i)}$$

$\varphi(\infty, t_i)$... koeficient lizenja (EC2; § 3.1.4)

~ Vpoštevamo vplive krčenja betona na pomik

$$\frac{1}{\gamma_{cs}} = \epsilon_{cs} \cdot \alpha_e \cdot \frac{S}{J}$$

$\frac{1}{\gamma_{cs}}$... udeležbenost zaradi krčenja betona

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}}$$

S ... statični moment armature glede na težiščno os betonskega prereza

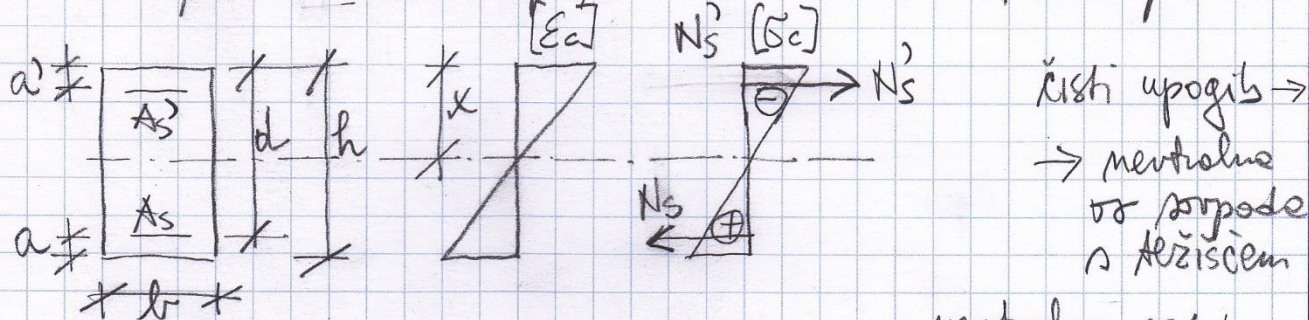
J ... vztrajnostni moment betonskega prereza

$$S = A_s \left(\frac{h}{2} - a \right)$$

$$J = \frac{b h^3}{12} + \alpha_e \cdot A_s \left(\frac{h}{2} - a \right)^2$$

UKRIVLJENOST PREREZA

- Ukrivljenost zaradi up. momenta - nenapeten presek



čisti upogib →
→ nevtralna
os pogoje
s težiščem

$$\frac{1}{r_I} = \chi_I = \frac{M}{E_{c,eff} \cdot J_I}$$

ukrivljenost -
homogen
nenapeten
presek

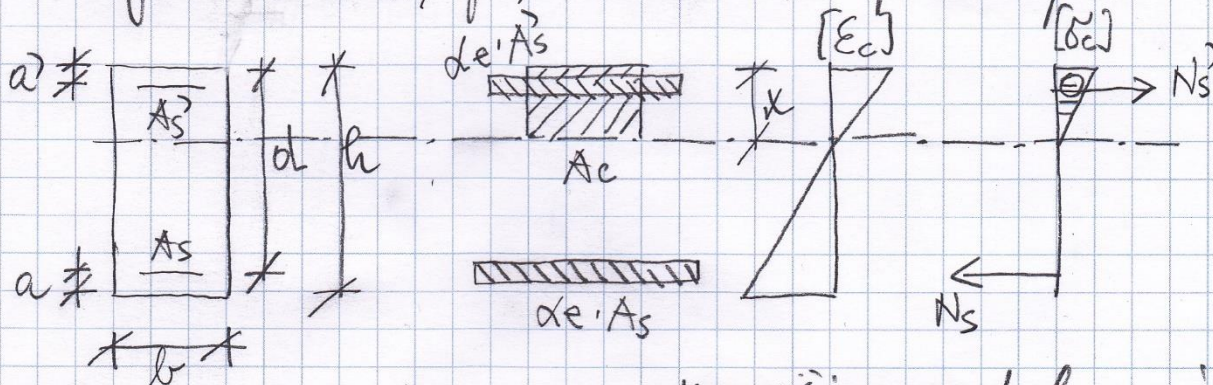
nevtralna os:

$$\sum N = 0$$

$$\sum M = 0$$

J_I ... vztrajnostni moment homogenega prereza

- Ukrivljenost zaradi up. momenta - razpeten presek



$$\frac{1}{r_{II}} = \chi_{II} = \frac{M}{E_{c,eff} \cdot J_{II}}$$

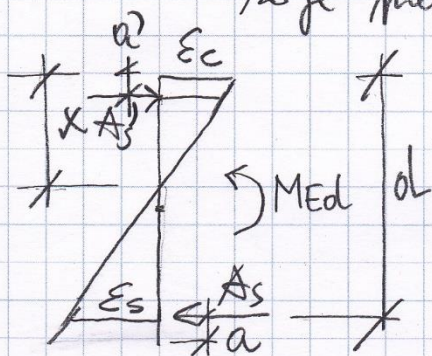
x ... višina nevtralne osi

čisti upogib ($N_{ed} = 0$) →
⇒ x neodvisen od obremenitve

J_{II} ... vztrajnostni moment ekvivalentnega prereza
(ne nevtralna os)

OPOMBA*: v primeru $N_{ed} = 0$ ⇒ x dobimo iz pogoja: statični
moment ekvivalentnega prereza na nevtralno os = 0

OPOMBA*: Osnove izpeljave ničine vertikalne osi X za primer, ko je prečni presek obremenjen samo z M_{ed} ; $N_{ed} = 0$.



$$\sum N = 0$$

$$A_s' \cdot \sigma_s' \cdot \varepsilon_s' + b \cdot x \cdot \frac{1}{2} \cdot \sigma_c \cdot \varepsilon_c - A_s \cdot \sigma_s \cdot \varepsilon_s = 0$$

$$A_s' \cdot \sigma_s' \cdot \varepsilon_s' \cdot \frac{d-x}{x-a'} + \frac{1}{2} b \cdot x \cdot \sigma_c \cdot \frac{x}{d-x} - A_s \cdot \sigma_s \cdot \varepsilon_s = 0$$

$$\sigma_s \left[A_s' \frac{d-x}{x-a'} - A_s \right] + \frac{1}{2} b x^2 \cdot \frac{1}{d-x} = 0 \quad \cdot (d-x)(x-a')$$

$$\sigma_s = \frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c}$$

$$\frac{\varepsilon_c}{x} = \frac{\varepsilon_s'}{x-a'} = \frac{\varepsilon_s}{d-x}$$

b in širine bet. preseka

$$\sigma_s \left[A_s' (d-x)^2 - A_s (d-x)(x-a') \right] + \frac{1}{2} b x^2 (x-a') = 0$$

$\Rightarrow$ primer samo z notranjo armaturo ($A_s' = 0$)

$$-\sigma_s A_s (d-x)(x-a') + \frac{1}{2} b x^2 (x-a') = 0$$

$$-\sigma_s A_s (d-x) + \frac{1}{2} b x^2 = 0 \quad \leftarrow$$

Vse ekvivalentne momente ekvivalentnega preseka na vertikalno os $= 0$

$\Rightarrow$ rešimo kvadratno enačbo:

$$x = \dots$$

x neodvisen od obremenitve

$$x = \frac{1}{2b} \left(-2 \cdot \sigma_s (A_s + A_s') + \sqrt{\sigma_s^2 [4(A_s + A_s')^2 + 8b(d \cdot A_s + a' \cdot A_s')] } \right)$$

$$J_{II} = \frac{b \cdot x^3}{3} + \sigma_s A_s (d-x)^2 + \sigma_s A_s' (x-a')^2$$

$$\left[\frac{b x^3}{12} + b \cdot x \left(\frac{x}{2} \right)^2 = \frac{b x^3}{3} \right]$$

7.3.1 RAČUN TRENUTNEGA POMIKA (mi neologiji)

– Nerezpozoran prenos:

$$w_I = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 E_{c,eff} \cdot J_I} = \frac{5 \cdot 32 \cdot 10^{-2} \cdot 800^4}{384 \cdot 3200 \cdot 1935224,3} = 0,276 \text{ cm}$$

$$\alpha_e = \frac{20000}{3200} = 6,25$$

$$J_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot A_s \left(\frac{h}{2} - a \right)^2 =$$

$$= \frac{40 \cdot 80^3}{12} + 6,25 \cdot 32,2 (40 - 6,3)^2 = 1935224,3 \text{ cm}^4$$

– Razpokan prenos:

$$A_s' = 0$$

$$x = \frac{1}{2 \cdot 40} \left(-2 \cdot 6,25 \cdot 32,2 + \sqrt{6,25 \cdot [4 \cdot 6,25 \cdot 32,2^2 + 8 \cdot 40 \cdot (73,7 \cdot 32,2)]} \right) =$$

$$= 22,7 \text{ cm}$$

$$\alpha_e = \frac{20000}{3200} = 6,25$$

$$J_{II} = \frac{40 \cdot 22,7^3}{3} + 6,25 \cdot 32,2 \cdot (73,7 - 22,7)^2 = 679412,4 \text{ cm}^4$$

$$w_{II} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 E_{c,eff} \cdot J_{II}} = \frac{5 \cdot 32 \cdot 10^{-2} \cdot 800^4}{384 \cdot 3200 \cdot 679412,4} = 0,785 \text{ cm}$$

Ocene dejanske vrednosti pomika:

$$w_c = \xi w_{II} + (1 - \xi) w_I$$

$$\xi = 1 - \beta \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2 = 1 - 1 \cdot \left(\frac{123,73}{256} \right)^2 = 0,766$$

$$w_c = 0,766 \cdot 0,785 + (1 - 0,766) \cdot 0,276 = \underline{\underline{0,666 \text{ cm}}}$$

7.3.2 RAČUN KONČNEGA POMIKA

• z upoštevanjem lezenje betona; $\eta = 2,3$

- Nerezpoken presek

$$W_I = \frac{5 \cdot l^4 \cdot q_{Ed}}{384 E_{c,eff} \cdot J_I} = \frac{5 \cdot 800^4 \cdot 32 \cdot 10^{-2}}{384 \cdot 969,7 \cdot 2460723,9} = 0,715 \text{ cm}$$

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \eta} = 969,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000}{969,7} = 20,62$$

$$J_I = \frac{b \cdot h^3}{12} + \alpha_e \cdot A_s \left(\frac{h}{2} - a \right)^2 = \frac{40 \cdot 80^3}{12} + 20,62 \cdot 32,2 (40 - 6,3)^2 = 2460723,9 \text{ cm}^4$$

- Rerpozon presek;

$$W_{II} = \frac{5 \cdot l^4 \cdot q_{Ed}}{384 E_{c,eff} \cdot J_{II}} = \frac{5 \cdot 800^4 \cdot 32 \cdot 10^{-2}}{384 \cdot 969,7 \cdot 1565389,7} = 1,124 \text{ cm}$$

$$E_{c,eff} = 969,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} ; \alpha_e = 20,62$$

$$x = \frac{1}{2b} \left(-2\alpha_e A_s + \sqrt{\alpha_e [4\alpha_e A_s^2 + 8b \cdot d \cdot A_s]} \right)$$

$$x = \frac{1}{2 \cdot 40} \left(-2 \cdot 20,62 \cdot 32,2 + \sqrt{20,62 [4 \cdot 20,62 \cdot 32,2^2 + 8 \cdot 40 \cdot 73,7 \cdot 32,2]} \right)$$

$$x = 35,56 \text{ cm}$$

$$J_{II} = \frac{b x^3}{3} + \alpha_e \cdot A_s \cdot (d - x)^2 =$$

$$= \frac{40 \cdot 35,56^3}{3} + 20,62 \cdot 32,2 (73,7 - 35,56)^2 = 1565389,7 \text{ cm}^4$$

Ocene dejanske vrednosti pomika z upoštevanjem lezenja:

$$W_{c,lezenje} = \xi W_{II} + (1 - \xi) \cdot W_I$$

$$\xi = 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2 = 1 - 0,5 \left(\frac{123,73}{256} \right)^2 = 0,883$$

$$W_{c, \text{krčenje}} = 0,883 \cdot 1,124 + (1 - 0,883) \cdot 0,715 = \underline{1,073 \text{ cm}}$$

• Vpliv krčenja betona na vrednost posabe

$$\varepsilon_{cs} = 0,33 \cdot 10^{-3}$$

$$J_I = 2460723,9 \text{ cm}^4$$

$$\xi = 0,883$$

$$J_{II} = 1565389,7 \text{ cm}^4$$

$$x = 35,56 \text{ cm}$$

– Nenapetostan presek:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\kappa_{cs, I}} &= \chi_{KRČENJA, I} = \varepsilon_{cs} \cdot d_e \cdot \frac{S_I}{J_I} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot d_e \cdot A_s \left(d - \frac{h}{2} \right)}{J_I} \\ &= \frac{0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 20,62 \cdot 32,2 \cdot (73,7 - 40)}{2460723,9} = \underline{3,0 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{cm}}} \end{aligned}$$

– Napetostan presek:

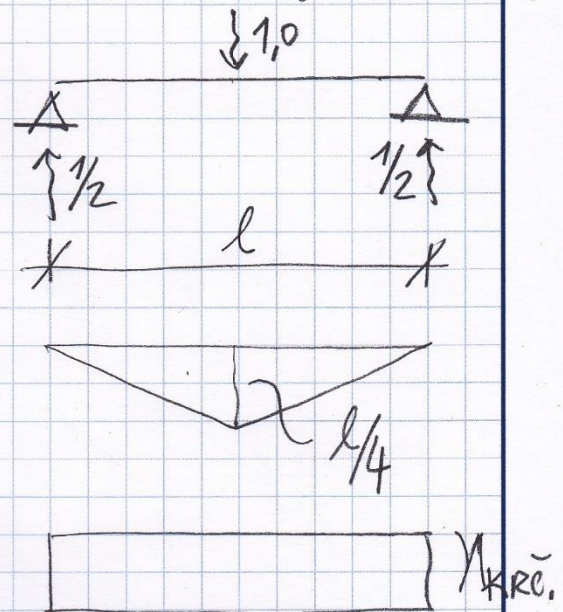
$$\begin{aligned} \frac{1}{\kappa_{cs, II}} &= \chi_{KRČENJA, II} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot d_e \cdot S_{II}}{J_{II}} = \frac{\varepsilon_{cs} \cdot d_e \cdot A_s (d - x)}{J_{II}} \\ &= \frac{0,33 \cdot 10^{-3} \cdot 20,62 \cdot 32,2 \cdot (73,7 - 35,56)}{1565389,7} = \underline{5,34 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{cm}}} \end{aligned}$$

Ocene izmenljivosti zaradi krčenja betona

$$\begin{aligned} \frac{1}{\kappa_{cs}} &= \chi_{KRČENJA} = \xi \cdot \chi_{II} + (1 - \xi) \cdot \chi_{I} \\ &= 0,883 \cdot 5,34 \cdot 10^{-6} + (1 - 0,883) \cdot 3,0 \cdot 10^{-6} = \\ &= \underline{5,066 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1}{\text{cm}}} \end{aligned}$$

Icena deformacije zaradi krčenja betona

$$\begin{aligned} w_{c, \text{krčenje}} &= \int_0^l (\chi_{\text{krčenja}} \cdot \delta M) dx \\ &= \chi_{\text{krčenja}} \cdot \frac{l}{4} \cdot \frac{l}{2} \\ &= \chi_{\text{krčenja}} \cdot \frac{l^2}{8} \\ &= 5,066 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{800^2}{8} = \underline{\underline{0,41 \text{ cm}}} \end{aligned}$$



Celotna vrednost končnega pomika z upoštevanjem lezenja in krčenja betona

$$\begin{aligned} w_c &= w_{c, \text{lezenje}} + w_{c, \text{krčenje}} = \\ &= 1,073 + 0,41 = \underline{\underline{1,483 \text{ cm}}} \end{aligned}$$

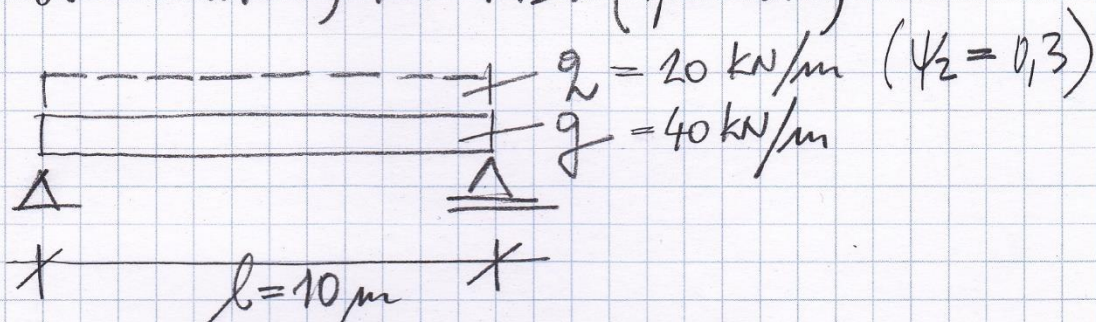
$$w_c = 1,483 \text{ cm} \leq [w] = \frac{l}{250} = \frac{800}{250} = 3,2 \text{ cm} \checkmark$$

EC 2 - smejatne vrednosti pomika / presega:

$\left[\frac{l}{250} \right]$ " izgled in splošna uporabnost $\checkmark$

$\frac{l}{500}$ " poškodovanje morebitnih
srednjih delov konstrukcije

1). N. : Dimenzioniraj prostoležeci nosilec dolžine $l = 10\text{ m}$. Preveri MSN (upogibne obremenitev) in MSU (povesi)



Beton C 40/50 ; Armatura B 500

Upoštevaj dvojno armaturo. Upoštevaj reološke vplive (desenje, brčenje) — Glej EC 2 in

9. vajo: PRONABITI BETON za pomoč pri določitvi Normalno razporeditev N | E_{cs} in $(\sigma_{ct}, \sigma_{ct0})$
Relativna vlažnost oblike $RH = 50\%$

