

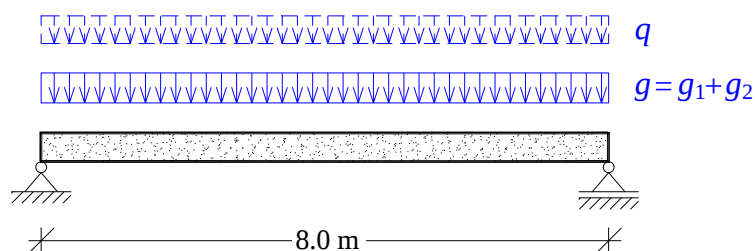
5. vaja: MSU – OMEJITEV ŠIRINE RAZPOK in OMEJITEV POMIKOV

1. NALOGA

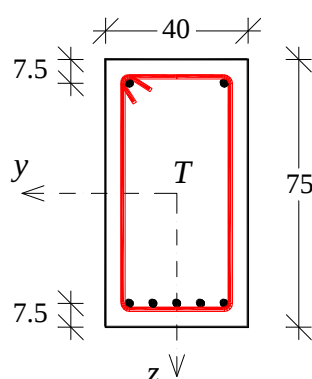
Za armiranobetonski nosilec, prikazan na spodnji sliki, izračunajte:

- računsko širino razpoke w_k in
- največji navpični pomik w_{fin} !

2. PODATKI O GEOMETRIJI, OBTEŽBI IN UPORABLJENIH MATERIALIH



Prečni prerez nosilca:



UPOŠTEVANA OBTEŽBA:

- lastna teža: $g_1 = b \cdot h \cdot \gamma_{AB} =$
- stalna obtežba: $g_2 = 18 \text{ kN/m}$
- koristna obtežba: $q = 26 \text{ kN/m}$ (kategorija površine C - $\Psi_2 = 0.6$)

UPORABLJENI MATERIALI:

- beton 25/30: $f_{ck} = 2.5 \text{ kN/cm}^2$, $f_{ctm} = 0.26 \text{ kN/cm}^2$, $E_{cm} = 3100 \text{ kN/cm}^2$
- armatura - rebraste arm. palice S 500B: $f_{yk} = 50 \text{ kN/cm}^2$, $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$

3. DIMENZIONIRANJE NOSILCA - MSN

stalna projektna stanja (osnovne komb.): $\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i}$

obtežna kombinacija	K1
g - lastna + stalna	
q - koristna	

3.1. Dimenzioniranje pri osno-upogibni obremenitvi

3.1.1. Dimenzioniranje prečnega prereza nosilca v polju ($M_{Ed,max}$)

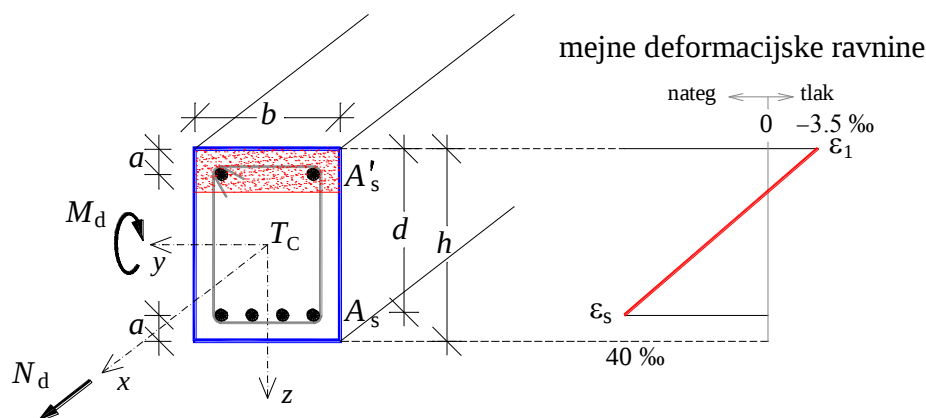


Tabela za projektiranje natezne armature pri pravokotnem prečnem prerezu, obremenjenem z upogibom in osno silo:

Pravokotni prerez - enojna armatura												Tabela 2
ϵ_s [‰]	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	
1.5	k_x	.400	.455	.500	.538	.571	.600	.625	.647	.667	.684	.700
	k_s	1.163	1.193	1.220	1.247	1.273	1.298	1.323	1.347	1.370	1.391	1.411
	k_h	.143	.189	.230	.268	.299	.325	.346	.364	.379	.391	.402
3.0	k_x	.250	.294	.333	.368	.400	.429	.455	.478	.500	.520	.538
	k_s	1.096	1.117	1.137	1.157	1.176	1.196	1.216	1.235	1.254	1.272	1.289
	k_h	.095	.130	.165	.197	.227	.252	.274	.293	.310	.325	.338
4.0	k_x	.200	.238	.273	.304	.333	.360	.385	.407	.429	.448	.467
	k_s	1.075	1.092	1.109	1.126	1.143	1.160	1.177	1.194	1.210	1.226	1.241
	k_h	.078	.108	.138	.168	.194	.218	.240	.259	.276	.291	.304
5.0	k_x	.167	.200	.231	.259	.286	.310	.333	.355	.375	.394	.412
	k_s	1.062	1.076	1.091	1.105	1.120	1.135	1.150	1.165	1.179	1.193	1.207
	k_h	.065	.092	.119	.145	.170	.192	.213	.231	.247	.262	.276
6.0	k_x	.143	.172	.200	.226	.250	.273	.294	.314	.333	.351	.368
	k_s	1.053	1.065	1.078	1.091	1.103	1.117	1.130	1.143	1.156	1.169	1.181
	k_h	.057	.080	.104	.128	.151	.172	.191	.208	.224	.239	.253
7.0	k_x	.125	.152	.176	.200	.222	.243	.263	.282	.300	.317	.333
	k_s	1.046	1.057	1.068	1.079	1.091	1.103	1.115	1.127	1.138	1.150	1.161
	k_h	.050	.071	.093	.115	.136	.155	.173	.190	.205	.219	.232
8.0	k_x	.111	.135	.158	.179	.200	.220	.238	.256	.273	.289	.304
	k_s	1.040	1.050	1.060	1.071	1.081	1.092	1.103	1.113	1.124	1.135	1.145
	k_h	.044	.064	.084	.104	.123	.141	.158	.174	.189	.202	.215
9.0	k_x	.100	.122	.143	.163	.182	.200	.217	.234	.250	.265	.280
	k_s	1.036	1.045	1.054	1.064	1.073	1.083	1.093	1.103	1.113	1.122	1.132
	k_h	.040	.058	.076	.095	.113	.130	.146	.161	.175	.188	.200
10.0	k_x	.091	.111	.130	.149	.167	.184	.200	.216	.231	.245	.259
	k_s	1.033	1.041	1.049	1.058	1.067	1.076	1.085	1.094	1.103	1.112	1.121
	k_h	.037	.053	.070	.087	.104	.120	.135	.149	.163	.175	.187

minimalna armatura:

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

b_t ... širina natezne cone prereza

d ... statična višina prereza

f_{ctm} ... povprečna natezna trdnost betona (0.26 kN/cm²)

Izberemo 12Ø16 ($A_{s,\text{dej}} = 24.13 \text{ cm}^2$)

3.2. Dimenzioniranje pri strižni obremenitvi

3.2.1. Dimenzioniranje prečnega prereza nosilca ob podpori ($V_{\text{Ed,max}}$)

4. TEORETIČNE OSNOVE – RAČUN ŠIRINE RAZPOK SKLADNO S 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,

σ_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:

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

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

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

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

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

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

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

Račun širine razpoke w_k :

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

ϵ_{sm} ... povprečna deformacija v armaturi,

ϵ_{cm} ... povprečna deformacija v betonu med razpokami:

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

σ_s ... napetost v natezni armaturi razpokanega prereza pri računski obtežbi za MS razpok,

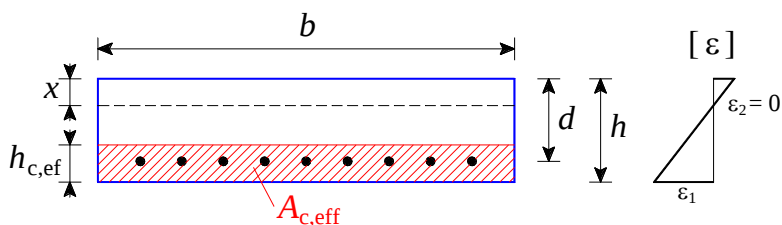
α_e ... razmerje E_s / E_{cm} ,

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

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:

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

ϕ ... 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:

$$k_2 = \begin{cases} 0.5 & \text{upogib,} \\ 1.0 & \text{čisti nateg,} \\ (\epsilon_1 + \epsilon_2)/2\epsilon_1 & \text{ekscentrični nateg,} \end{cases}$$

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:

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

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

Navidežno stalna: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

Največja dovoljena računska širina razpoke:

Razred izpostavljenosti	AB elementi in PB elementi z nepovezanimi kabli	PB elementi s povezanimi kabli
	navidežno stalna kombinacija obtežbe	pogosta kombinacija obtežbe
X0, XC1	0,4	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		dekompresija

5. RAČUN TRENUTNEGA IN KONČNEGA POMIKA AB NOSILCA

Kombinacije vplivov za MSU:

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

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

Navidezno stalna: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i}$

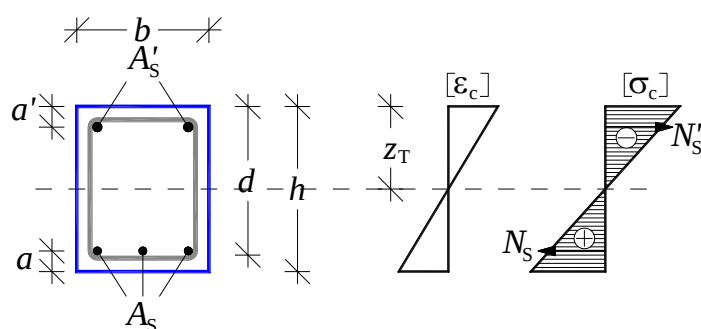
Omejitev pomikov: videz in splošna uporabnost konstrukcije se lahko poslabšata, če računski povprečni, plošče ali konzole pod vplivom navidezno stalne obtežbe preseže 1/250 razpetine

5.1. Trenutni navpični pomik (w_{inst})

- trenutni navpični pomik nosilca, izračunan z nerazpokanim prečnim prerezem - w_I :

$$w_{inst,I} = \frac{5 \cdot g_{n.s.k.v.} \cdot L^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I_I}$$

(i) vztrajnostni moment prereza I_I :



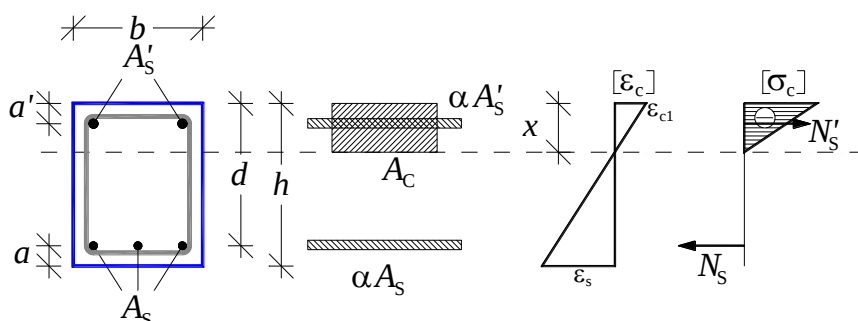
$$I_I = I_b + (\alpha_e - 1) \cdot A_s (h/2 - a)^2 =$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{20000}{3100} = 6.45$$

- trenutni navpični pomik nosilca, izračunan z razpokanim prečnim prerezem w_{II} :

$$w_{inst,II} = \frac{5 \cdot g_{n.s.k.v.} \cdot L^4}{384 \cdot E_{cm} \cdot I_{II}}$$

ekvivalentni prečni prerez:



- (i) globina nevtralne osi prereza x - izračunamo jo z enačbo, ki velja za pravokotni prečni prerez in je izpeljana na osnovi ravnotežja statičnih momentov betona in armature okrog nevtralne osi:

$$x = \frac{1}{b} \left(-\alpha_e A_s + \sqrt{\alpha_e A_s \sqrt{2bd + \alpha_e A_s}} \right) =$$

- (ii) vztrajnostni moment razpokanega prečnega prereza (pravokotna oblika tlačne cone) I_{II} :

$$I_{II} = \frac{bx^3}{3} + \alpha_e A_s (d - x)^2 =$$

- Trenutni navpični pomik na sredini razpona nosilca - w_{inst} :

$$w_{inst} = \zeta \cdot w_{instII} + (1 - \zeta) \cdot w_{instI}$$

- (i) koeficient ζ , ki je odvisen od napetosti jekla in značaja obtežbe:

$$\zeta = 1 - \beta \cdot \left(\frac{\sigma_{sr}}{\sigma_s} \right)^2 \approx 1 - \beta \cdot \left(\frac{M_{cr}}{M} \right)^2 =$$

- (ii) koeficient, ki upošteva vpliv trajanja obtežbe - β :

$$\beta = 0.5 \dots \text{ trajno oziroma več ciklov ponavljajoče se obtežba}$$

- (iii) upogibni moment, ki povzroči prvo razpoko - M_{cr} :

$$M_{cr} = f_{ctm} \frac{I_I}{h/2} =$$

- (iv) upogibni moment v sredini razpetine nosilca zaradi navidezno stalne kombinacije vplivov:

$$M = \frac{g_{n.s.k.v.} \cdot L^2}{8} =$$

5.2. Pomiki nosilca z upoštevanjem lezenja betona (w_{cr})

- učinkoviti modul elastičnosti betona $E_{c,eff}$:

$$E_{c,eff} = \frac{E_{cm}}{1 + \varphi(\infty, t_0)} = \frac{3100}{1 + 2.48} = 892 \text{ kN/cm}^2$$

- (i) končni koeficient lezenja $\varphi(\infty, t_0)$, notranji pogoji (RH = 50%): $\varphi(\infty, 28) = 2.48$

$$h_0 = \frac{2A_c}{u} = \frac{2 \cdot 3000}{190} \cdot 10 = 316 \text{ mm}$$

- navpični pomik nosilca z upoštevanjem lezenja, izračunan z nerazpokanim prečnim prerezom - w_I :

$$w_{cr,I} = \frac{5 \cdot g_{n.s.kv.} \cdot L^4}{384 \cdot E_{c,eff} \cdot I_I} =$$

- (i) vztrajnostni moment prereza I_I :

$$I_I = I_b + (\alpha_e - 1) \cdot A_s (h/2 - a)^2 =$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000}{E_{c,eff}} =$$

- navpični pomik nosilca z upoštevanjem lezenja, izračunan z razpokanim prečnim prerezom - w_{II} :

$$w_{cr,II} = \frac{5 \cdot g_{n.s.kv.} \cdot L^4}{384 \cdot E_{c,eff} \cdot I_{II}} =$$

- (i) globina nevtralne osi prereza x :

$$x = \frac{1}{b} \left(-\alpha_e A_s + \sqrt{\alpha_e A_s \sqrt{2bd + \alpha_e A_s}} \right) =$$

- (ii) vztrajnostni moment razpokanega prečnega prereza (pravokotnika oblika tlačne cone) I_{II} :

$$I_{II} = \frac{bx^3}{3} + \alpha_e A_s (d - x)^2 =$$

- Navpični pomik na sredini razpona nosilca z upoštevanjem lezenja betona - w :

$$w_{cr} = \zeta \cdot w_{cr,II} + (1 - \zeta) \cdot w_{cr,I}$$

- (i) koeficient ζ , ki je odvisen od napetosti jekla in značaja obtežbe: $\zeta =$

5.3. Pomik nosilca zaradi krčenja betona (w_{cs})

- navpični pomik nosilca zaradi krčenja, izračunan z nerazpokanim prečnim prerezom - $w_{cs,I}$:

$$w_{cs,I} = \frac{1}{9.6} \cdot \kappa_{cs,I} \cdot L^2 = \frac{1}{9.6} \cdot \frac{\varepsilon_{cs} \alpha_e S_I}{I_I} \cdot L^2 = \frac{1}{9.6} \cdot \frac{0.00036 \cdot 22.43 \cdot 724}{1871663} \cdot 800^2 = 0.21 \text{ cm}$$

- (i) vztrajnostni moment nerazpokanega prereza I_I :

$$I_I = 1\,871\,663 \text{ cm}^4, \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{20000}{892} = 22.43$$

(ii) statični moment prereza armature okrog težiščne osi prereza:

$$S_I = A_s \cdot (d - z_T) = 24.13 \cdot (67.5 - 75/2) = 724 \text{ cm}^3$$

(iii) deformacija prostega krčenja ε_{cs} :

končna deformacija krčenja zaradi sušenja za beton C 25/30 pri relativni vlažnosti 50% znaša $\varepsilon_{cd}(\infty) = 0.43\text{‰}$

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cd}(\infty) + \varepsilon_{ca}(\infty) = k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} + 2.5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = 0.75 \cdot \frac{0.43}{1000} + 2.5 \cdot (25 - 10) \cdot 10^{-6} = 0.36 \text{‰}$$

$$h_0 = 316 \text{ mm} \rightarrow k_h = 0.75$$

• navpični pomik nosilca zaradi krčenja, izračunan z razpokanim prečnim prerezom, $w_{cs,II}$:

$$w_{cs,II} = \frac{1}{9.6} \cdot \kappa_{cs,II} \cdot L^2 = \frac{1}{9.6} \cdot \frac{\varepsilon_{cs} \alpha_e S_{II}}{I_{II}} \cdot L^2 = \frac{1}{9.6} \cdot \frac{0.00036 \cdot 22.43 \cdot 874}{1118140} \cdot 800^2 = 0.42 \text{ cm}$$

(i) vztrajnostni moment razpokanega prereza I_{II} :

$$I_{II} = 1\,118\,140 \text{ cm}^4, \quad x = 31.3 \text{ cm}, \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,\text{eff}}} = \frac{20000}{892} = 22.43$$

(ii) statični moment prereza armature okrog nevtralne osi razpokanega prereza:

$$S_{II} = A_s \cdot (d - x) = 24.13 \cdot (67.5 - 31.3) = 874 \text{ cm}^3$$

(iii) deformacija prostega krčenja ε_{cs} : $\varepsilon_{cs} = 0.36 \text{‰}$

• Navpični pomik na sredini razpona nosilca zaradi krčenja betona – w_{cs} :

$$w_{cs} = \zeta \cdot w_{cs,II} + (1 - \zeta) \cdot w_{cs,I} = \zeta \cdot 0.42 + (1 - \zeta) \cdot 0.21 = \text{cm}$$

(i) koeficient ζ , ki je odvisen od napetosti jekla in značaja obtežbe: $\zeta =$

5.4. Končni pomik nosilca z upoštevanjem lezenja in krčenja betona (w_{fin})

$$w_{fin} = w_{cr} + w_{cs} =$$