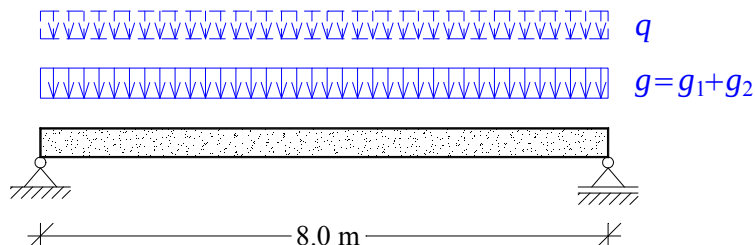


8b. vaja: MSU – OMEJITEV POMIKOV

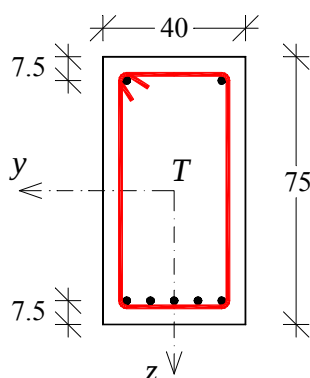
1. NALOGA

Izračunajte največji navpični pomik armiranobetonskega nosilca, prikazanega na spodnji sliki!

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 ($M_{Ed,max}$)

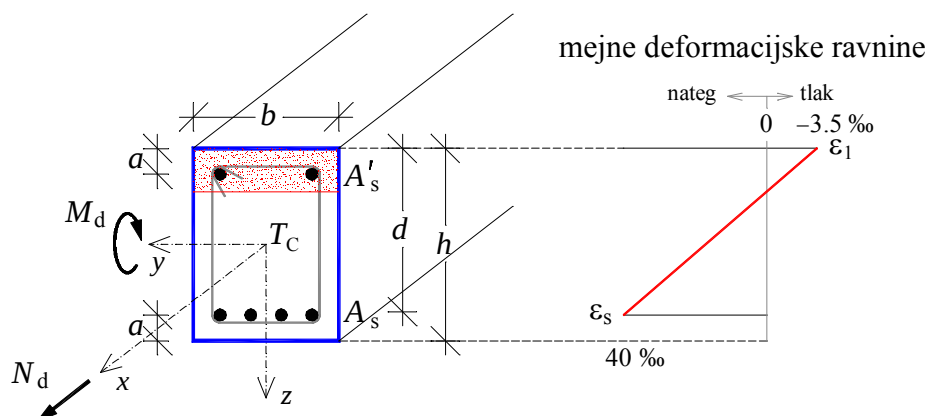


Tabela za projektiranje natezne armature pri pravokotnem prečnem prerezu, obremenjenem z upogibom in osno silo:

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_a	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_a	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_a	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	.203	.231	.259	.286	.310	.333	.355	.375	.394	.412
	k_a	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_a	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_a	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_a	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_a	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_a	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:

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

b_t ... širina natezne cone prereza

d ... statična višina prereza

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

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

3.2. Dimenzioniranje pri strižni obremenitvi

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

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

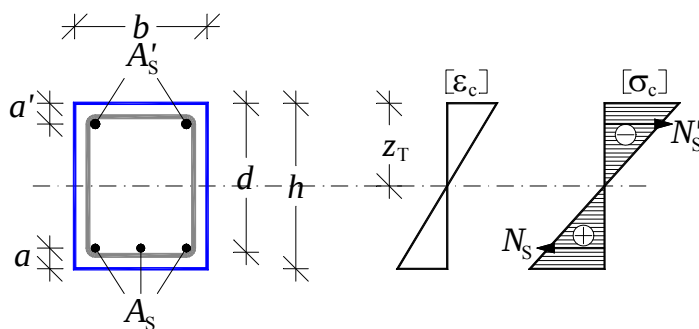
Omejitev pomikov: videz in splošna uporabnost konstrukcije se lahko poslabšata, če računski povprečni grede, plošče ali konzole pod vplivom navidezno stalne obtežbe preseže 1/250 razpetine

4.1. Trenutni navpični pomik (w_{inst})

- trenutni navpični pomik nosilca, izračunan z nerazpokanim prečnim prerezom - 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 :



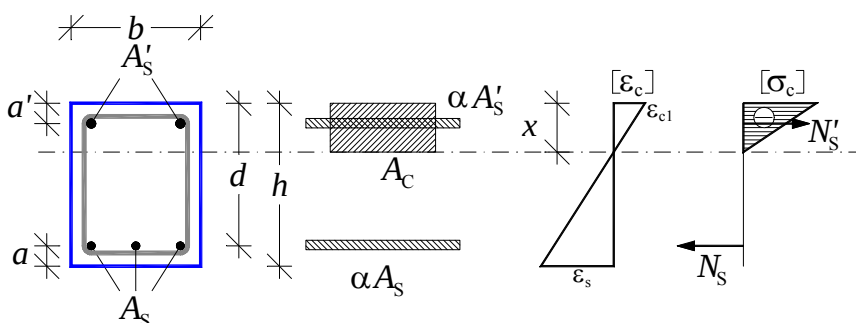
$$I_I = I_b + (\alpha_e - 1) \cdot A_s (h/2 - a)^2 =$$

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

- trenutni navpični pomik nosilca, izračunan z razpokanim prečnim prerezom 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} :

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

(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 :

$\beta = 0.5 \dots$ 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:

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

4.2. 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 :

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

(i) vztrajnostni moment prereza I_I :

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

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} = \frac{20000}{892} =$$

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

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

(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: $\zeta =$

4.3. 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 :

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

(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} :

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

(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: $\zeta =$

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

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