

10. vaja: KONSTRUIRANJE ARMATURE

1. Uvod

Konstruiranje ali oblikovanje armiranobetonskih elementov in konstrukcij je pomembnejši del projektiranja. Projektant mora že v statičnem izračunu izbirati dejanske vrste in mere materialov, iz katerih bodo narejeni elementi in konstrukcije, ter upoštevati njihovo delovanje med gradnjo in uporabo. Elementi in konstrukcije morajo biti oblikovani tako, da se predpostavke v statičnem izračunu čim bolj približajo dejanskemu stanju med gradnjo in v času uporabe. Z oblikovanjem elementov in konstrukcij se zagotavljajo ustrezni nosilni sistemi za vse predvidene obtežbe, pri čemer so upoštevane geometrijske lastnosti elementov in konstrukcij.

Zahtevam po varnosti, uporabnosti in trajnosti konstrukcij je zadoščeno le, če se poleg ustrezne zasnove in statičnega računa tudi glede detajliranja betonskih konstrukcij upošteva pravila navedena v standardu SIST EN 1992-1-1.

Armatura se oblikuje skladno z zahtevami, ki sledijo iz statičnega izračuna, in ob upoštevanju celotne konstrukcije, v katero bo vgrajena. Nosilno armaturo se oblikuje skladno z zahtevami, ki sledijo iz statičnega izračuna. Konstrukcijsko armaturo, ki se je praviloma v statičnem izračunu ne upošteva, se oblikuje po priporočilih in izkušnjah, upoštevajoč vplive, ki delujejo na nosilni sistem. Podrobnejše oblikovanje armature je potrebno na mestih stikovanja armature, na mestih prekinitev betoniranja, ob in v podporah, v vozliščih, v bližnji okolici delovanja točkovnih obtežb.

Zaradi boljših mehanskih lastnosti, boljše sprijemnosti armature z betonom, manjše nevarnosti pojava in manjših velikosti razpok je ugodneje uporabljati tanjše armaturne palice.

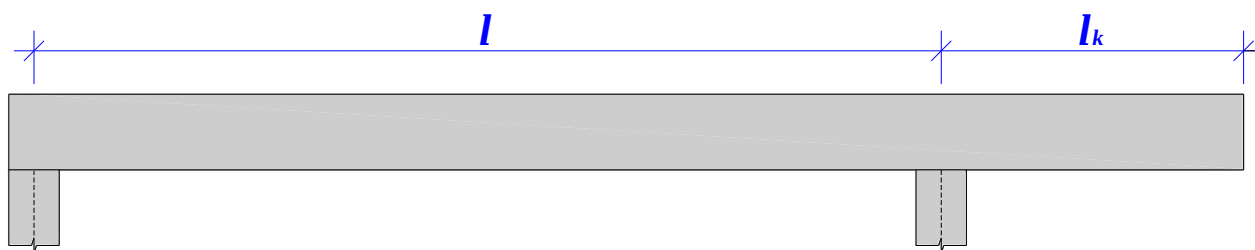
Pri razporeditvi armaturnih palic po prerezu se upoštevajo predpisane debeline zaščitnih slojev betona nad armaturo, predpisane razdalje med armaturnimi palicami, ki omogočajo vgradnjo betona, predpisane sidrne in preklopne dolžine armature, ki omogočajo nosilni armaturi polno nosilnost na mestih, kjer prevzemajo obremenitev.

2. PRIMER: Nosilec s previsnim poljem

2.1 Podatki

Armiranobetonski nosilec s previsnim poljem v garažni hiši podpirata stebra. Nosilec je konstantnega pravokotnega prečnega prereza po vzdolžni osi.

V mejnem stanju nosilnosti bomo določili potrebno armaturo v nosilcu, jo ustrezno razporedili po prerezu in vzdolž nosilca.



Slika 1 Nosilec s previsnim poljem.

2.1.1 Materiali

Beton

Trdnostni razred betona v elementu je C40/50, armature pa S500.

Preglednica 1 *Trdnostne in deformacijske lastnosti betona*

Trdnostni razredi betona														
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98
f_{cm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
$f_{ctk, 0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5
$f_{ctk, 0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44
ε_{cl} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8
ε_{cu1} (‰)	3,5													
ε_{cu2} (‰)	2,0													
ε_{cu2} (‰)	3,5													
n	2,0													
ε_{cu3} (‰)	1,75													
ε_{cu3} (‰)	3,1													

$$f_{ck} = 4,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{karakteristična tlačna trdnost betona}$$

$$\alpha_{cc} = 1,0$$

$$\gamma_c = 1,5 \dots \text{materialni faktor varnosti za beton}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot \frac{4,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,5} = 2,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{računska tlačna trdnost betona}$$

Klasična armatura

S500 ... trdnostni razred armature

$$f_{yk} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{karakteristična trdnost armature pri deformaciji na meji elastičnosti}$$

$$\gamma_s = 1,15 \dots \text{materialni faktor varnosti za armaturo}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,15} = 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \dots \text{računska trdnost armature pri deformaciji na meji elastičnosti}$$

Specifična teža armiranega betona je

$$\rho = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}.$$

2.1.2 Geometrijske karakteristike

$l = 9\text{m}$... dolžina nosilca v polju

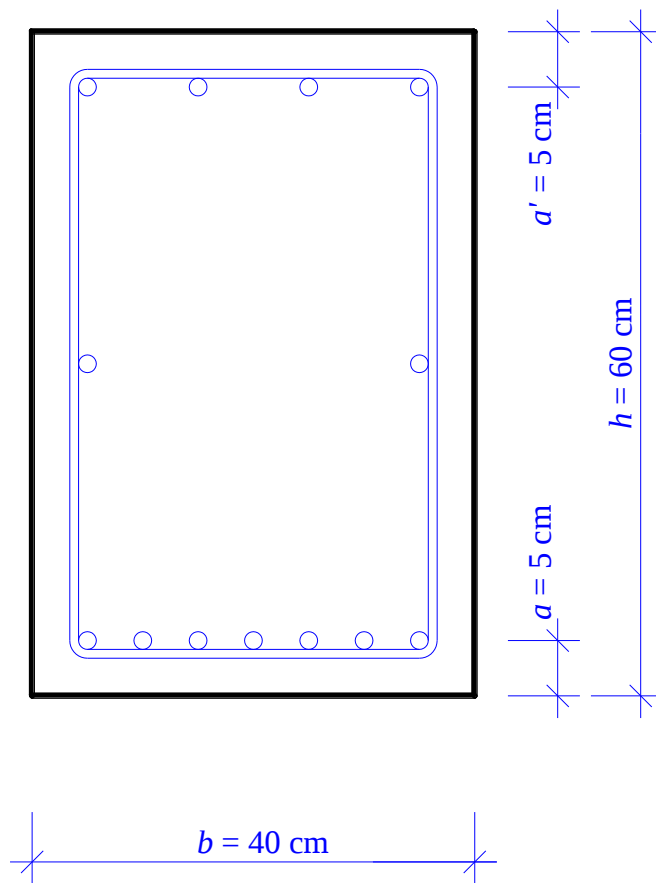
$l_k = 3\text{m}$... dolžina previsnega polja

$h = 60\text{cm}$... višina nosilca

$b = 40\text{cm}$... širina nosilca

$a = a' = 5\text{cm}$... oddaljenost težišča vzdolžne armature od robu prereza

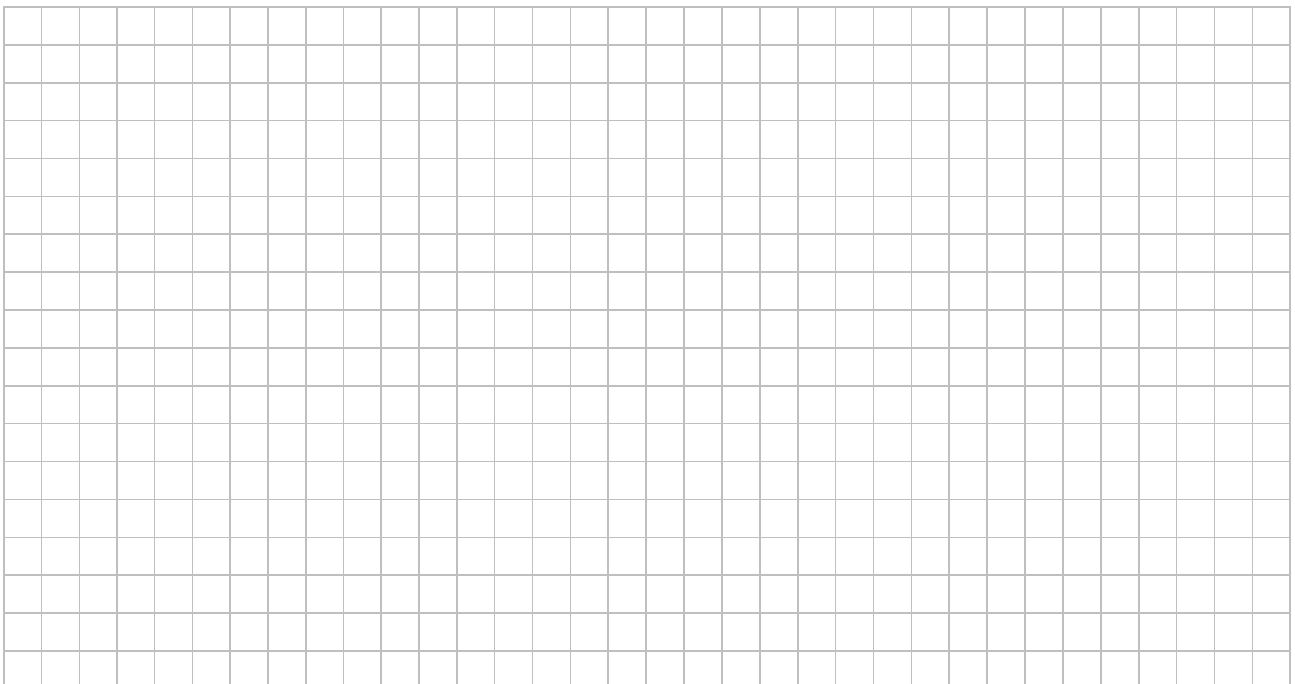
$d = h - a = 60\text{cm} - 5\text{cm} = 55\text{cm}$... statična višina nosilca



Slika 2 Prečni prerez nosilca s previsnim poljem.

Domača naloga

Za suho okolje brez nevarnosti korozije preveri, če kritje betona nad armaturo zadošča.



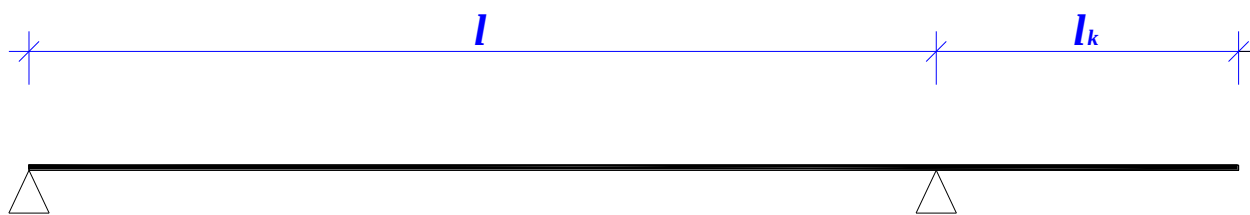
2.1.3 Obtežba

$$g_n = b \cdot h \cdot \rho = 0,60\text{m} \cdot 0,40\text{m} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \dots \text{lastna teža nosilca}$$

$$g = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \dots \text{preostala lastna teža}$$

$$q = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \dots \text{koristna obtežba}$$

2.1.4 Statični sistem



Slika 3 Statični sistem nosilca s previsnim poljem.

Sile v podporah

- navpična sila v levi podpori, zaradi lastne teže

$$R_z(x=0) = \frac{(g_n + g) \cdot (l^2 - l_k^2)}{2 \cdot l} = \frac{\left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 - (3\text{m})^2]}{2 \cdot 9\text{m}} = 44\text{kN}$$

- vodoravna sila v levi podpori, zaradi lastne teže

$$R_x(x=0) = 0\text{kN}$$

- navpična sila v desni podpori, zaradi lastne teže

$$R_z(x=l) = \frac{(g_n + g) \cdot (l^2 + 2 \cdot l \cdot l_k + l_k^2)}{2 \cdot l} = \frac{\left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 + 2 \cdot 9\text{m} \cdot 3\text{m} + (3\text{m})^2]}{2 \cdot 9\text{m}} = 88\text{kN}$$

- navpična sila v levi podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$R_z(x=0) = -\frac{q \cdot l}{2} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 9\text{m}}{2} = -45\text{kN}$$

- vodoravna sila v levi podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$R_x(x=0) = 0\text{kN}$$

- navpična sila v desni podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$R_z(x=l) = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 9\text{m}}{2} = 45\text{kN}$$

- navpična sila v levi podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

$$R_z(x=0) = -\frac{q \cdot l_k^2}{2 \cdot l} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (3\text{m})^2}{2 \cdot 9\text{m}} = -5\text{kN}$$

- vodoravna sila v levi podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

$$R_x(x=0) = 0\text{kN}$$

- navpična sila v desni podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

$$R_z(x=l) = \frac{q \cdot (2 \cdot l \cdot l_k + l_k^2)}{2 \cdot l} = \frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot [2 \cdot 9\text{m} \cdot 3\text{m} + (3\text{m})^2]}{2 \cdot 9\text{m}} = 35\text{kN}$$

2.1.5 Obremenitev

Upogibni mometi

$$M_y(x) = \begin{cases} \frac{(g_n + g + q_{polje}) \cdot (l - x) \cdot x}{2} - \frac{(g_n + g + q_{previs}) \cdot l_k^2 \cdot x}{2 \cdot l} & 0 \leq x \leq l \\ -\frac{(g_n + g + q_{previs}) \cdot [l_k^2 \cdot x - l_k \cdot (2 \cdot l + l_k) \cdot (x - l) - (x - l)^2 \cdot l]}{2 \cdot l} & l \leq x \leq l + l_k \end{cases}$$

- upogibni moment v polju, zaradi lastne teže

$$M_g\left(x = \frac{l}{2}\right) = \frac{(g_n + g) \cdot (l^2 - 2 \cdot l_k^2)}{8} = \frac{\left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 - 2 \cdot (3\text{m})^2]}{8} = 86,625\text{kNm}$$

- upogibni moment nad podporo, zaradi lastne teže

$$M_g(x=l) = -\frac{(g_n + g) \cdot l_k^2}{2} = -\frac{\left(4,69 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot (3\text{m})^2}{2} = -49,5\text{kNm}$$

- upogibni moment v polju, zaradi koristne obtežbe v polju

$$M_q\left(x = \frac{l}{2}\right) = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (9\text{m})^2}{8} = 101,25\text{kNm}$$

- upogibni moment v polju, zaradi koristne obtežbe na previsu

$$M_q\left(x = \frac{l}{2}\right) = -\frac{q \cdot l_k^2}{4} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (3\text{m})^2}{4} = -22,5\text{kNm}$$

- upogibni moment nad podporo, zaradi koristne obtežbe

$$M_g(x=l) = -\frac{q \cdot l_k^2}{2} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (3\text{m})^2}{2} = -45\text{kNm}$$

Osne sile

$$N_x(x) = 0\text{kN}$$

Prečne sile

$$V_z(x) = \begin{cases} \frac{(g_n + g + q_{polje}) \cdot (l - 2 \cdot x)}{2} - \frac{(g_n + g + q_{previs}) \cdot l_k^2}{2 \cdot l} & 0 \leq x \leq l \\ \frac{(g_n + g + q_{previs}) \cdot (l + l_k - x)}{2} & l \leq x \leq l + l_k \end{cases}$$

- prečna sila tik desno ob levi podpori, zaradi lastne teže

$$V_{g,D}(x=0) = \frac{(g_n + g) \cdot (l^2 - l_k^2)}{2 \cdot l} = \frac{\left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 - (3\text{m})^2]}{2 \cdot 9\text{m}} = 44\text{kN}$$

- prečna sila tik levo ob desni podpori, zaradi lastne teže

$$V_{g,L}(x=l) = \frac{(g_n + g) \cdot (-l^2 - l_k^2)}{2 \cdot l} = \frac{\left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [-(9\text{m})^2 - (3\text{m})^2]}{2 \cdot 9\text{m}} = -55\text{kN}$$

- prečna sila tik desno ob desni podpori, zaradi lastne teže

$$V_{g,D}(x=l) = (g_n + g) \cdot l_k = \left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot 3\text{m} = 33\text{kN}$$

- prečna sila tik desno ob levi podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$V_{q,D}(x=0) = \frac{q \cdot l}{2} = \frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 9\text{m}}{2} = 45\text{kN}$$

- prečna sila tik levo ob desni podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$V_{q,L}(x=l) = -\frac{q \cdot l}{2} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 9\text{m}}{2} = -45\text{kN}$$

- prečna sila tik desno ob desni podpori, zaradi koristne obtežbe v polju

$$V_{q,D}(x=l) = 0\text{kN}$$

- prečna sila tik desno ob levi podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

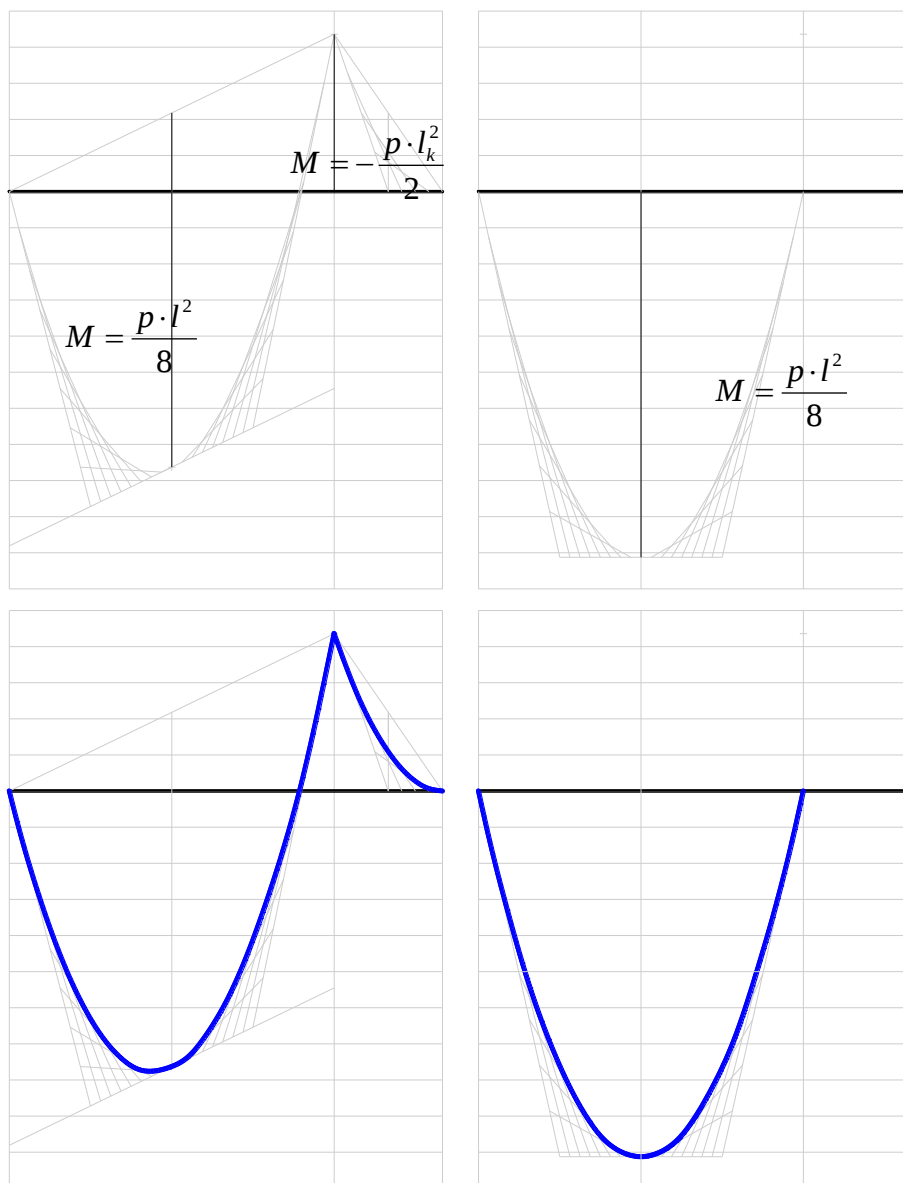
$$V_{q,D}(x=0) = -\frac{q \cdot l_k^2}{2 \cdot l} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (3\text{m})^2}{2 \cdot 9\text{m}} = -5\text{kN}$$

- prečna sila tik levo ob desni podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

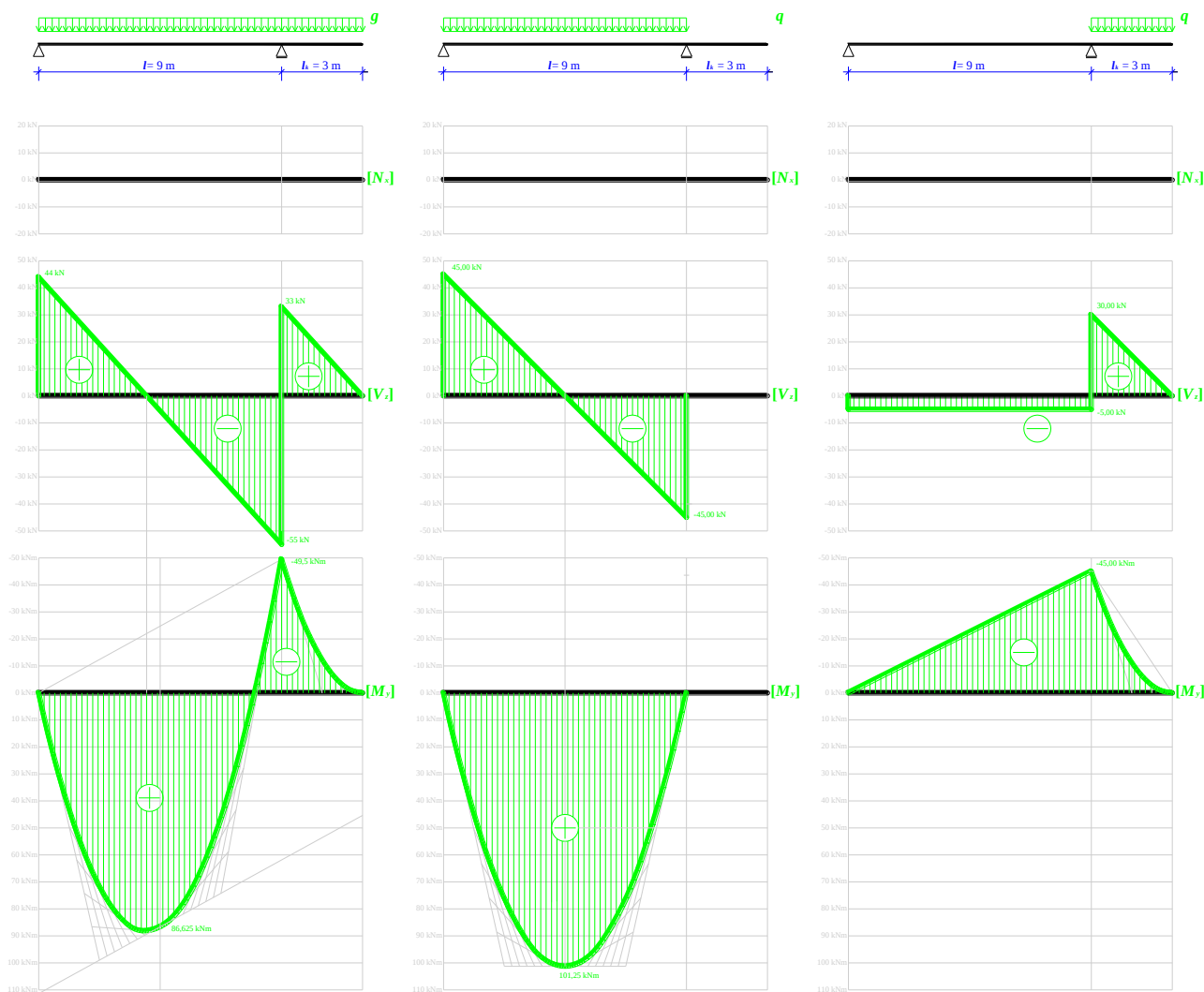
$$V_{q,L}(x=l) = -\frac{q \cdot l_k^2}{2 \cdot l} = -\frac{10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (3\text{m})^2}{2 \cdot 9\text{m}} = -5\text{kN}$$

- prečna sila tik desno ob desni podpori, zaradi koristne obtežbe na previsu

$$V_{q,D}(x=l) = q \cdot l_k = 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 3\text{m} = 30\text{kN}$$



Slika 4 Konstrukcija kvadratne parabole.



Slika 5 Potek notranjih sil vzdolž nosilca.

2.2 Dimenzioniranje po metodi mejnih stanj

2.2.1 Upogibno osna obremenitev

Delni faktorji varnosti za obtežbo

- lastna teža

$$\gamma_g = \begin{cases} 1,00 & \text{ugoden vpliv} \\ 1,35 & \text{neugoden vpliv} \end{cases}$$

- koristna obtežba

$$\gamma_q = \begin{cases} 0,00 & \text{ugoden vpliv} \\ 1,50 & \text{neugoden vpliv} \end{cases}$$

Mesto največjega upogibnega momenta v polju je

$$\frac{dM_{y,Ed}(x)}{dx} = 0 = V_{z,Ed}(0 \leq x_{max} \leq l),$$

$$V_{z,Ed}(0 \leq x \leq l) = \frac{(\gamma_g \cdot g_n + \gamma_g \cdot g + \gamma_{q,neugodno} \cdot q_{polje}) \cdot (l - 2 \cdot x_{max})}{2} - \frac{(\gamma_g \cdot g_n + \gamma_g \cdot g + \gamma_{q,ugodno} \cdot q_{previs}) \cdot l_k^2}{2 \cdot l},$$

$$\frac{(\gamma_g \cdot g_n + \gamma_g \cdot g + \gamma_{q,neugodno} \cdot q_{polje}) \cdot (l - 2 \cdot x_{max})}{2} - \frac{(\gamma_g \cdot g_n + \gamma_g \cdot g) \cdot l_k^2}{2 \cdot l} = 0,$$

$$x_{max} = \frac{\gamma_g \cdot (g_n + g) \cdot (l^2 - l_k^2) + \gamma_{q,neugodno} \cdot q_{polje} \cdot l^2}{2 \cdot l \cdot [\gamma_g \cdot (g_n + g) + \gamma_{q,neugodno} \cdot q_{polje}]},$$

$$x_{max} = \frac{1,35 \cdot \left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 - (3\text{m})^2] + 1,50 \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (9\text{m})^2}{2 \cdot 9\text{m} \cdot \left[1,35 \cdot \left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) + 1,50 \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right]} = 4,251\text{m}.$$

Največji upogibni moment v polju nastopi v obtežnem primeru, ko je lastna teža razporejena vzdolž celotnega nosilca, koristna obtežba pa deluje le v polju

$$M_{Ed,max}(x = x_{max}) = \frac{\gamma_g \cdot (g_n + g) \cdot (l^2 - l \cdot x_{max} - l_k^2) \cdot x_{max}}{2 \cdot l} + \frac{\gamma_q \cdot q \cdot (l - x_{max}) \cdot x_{max}}{2},$$

$$M_{Ed,max} = \frac{1,35 \cdot \left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) \cdot [(9\text{m})^2 - 9\text{m} \cdot 4,251\text{m} - (3\text{m})^2] \cdot 4,251\text{m}}{2 \cdot 9\text{m}} + \frac{1,50 \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot (9\text{m} - 4,251\text{m}) \cdot 4,251\text{m}}{2},$$

$$M_{Ed,max} = 269,74\text{kNm}.$$

Največji upogibni moment nad podporo nastopi v obtežnem primeru, ko je lastna teža razporejena vzdolž celotnega nosilca, koristna obtežba pa deluje na previsu

$$M_{Ed,min}(x = l) = -\frac{[\gamma_g \cdot (g_n + g) + \gamma_q \cdot q] \cdot l_k^2}{2},$$

$$M_{Ed,min} = -\frac{\left[1,35 \cdot \left(6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right) + 1,50 \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}\right] \cdot (3\text{m})^2}{2},$$

$$M_{Ed,min} = -134,33\text{kNm}.$$

Določitev armature v polju

$$k_d = \frac{M_{Ed,max}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{269,74\text{kNm}}{40\text{cm} \cdot (55\text{cm})^2 \cdot 2,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,084,$$

izberemo $\varepsilon_c / \varepsilon_s = -3,5/10\text{‰}$, kjer je $k_d = 0,187$ in $k_s = 1,121$. Potrebna armatura v najbolj obremenjenem prerezu v polju je

$$A_{s,potr} = k_s \cdot \frac{M_{Ed,max}}{d \cdot f_{yd}} = 1,121 \cdot \frac{269,74\text{kNm}}{55\text{cm} \cdot 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 12,65\text{cm}^2.$$

Izberemo $\phi 16$. Potrebno število palic je

$$n_{potr} = \frac{4 \cdot A_{s,potr}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 12,65 \text{ cm}^2}{\pi \cdot (1,6 \text{ cm})^2} = 6,29.$$

Izberemo $7\phi 16$ in prerez je

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 7 \cdot \frac{\pi \cdot (1,6 \text{ cm})^2}{4} = 14,07 \text{ cm}^2.$$

Določitev armature nad podporo

$$k_d = \frac{M_{Ed,min}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{134,33 \text{ kNm}}{40 \text{ cm} \cdot (55 \text{ cm})^2 \cdot 2,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,042,$$

izberemo $\varepsilon_c / \varepsilon_s = -3,5/10\%$, kjer je $k_d = 0,187$ in $k_s = 1,121$. Potrebna armatura v prerezu nad desno podporo je

$$A_{s,potr} = k_s \cdot \frac{M_{Ed,min}}{d \cdot f_{yd}} = 1,121 \cdot \frac{134,33 \text{ kNm}}{55 \text{ cm} \cdot 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 6,30 \text{ cm}^2.$$

Izberemo $\phi 16$. Potrebno število palic je

$$n_{potr} = \frac{4 \cdot A_{s,potr}}{\pi \cdot d^2} = \frac{4 \cdot 6,30 \text{ cm}^2}{\pi \cdot (1,6 \text{ cm})^2} = 3,13.$$

Izberemo $4\phi 16$ in prerez je

$$A_s = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 4 \cdot \frac{\pi \cdot (1,6 \text{ cm})^2}{4} = 8,04 \text{ cm}^2.$$

Najmanjša razdalja med armaturnimi palicami je

$$a_{min} = \max(\phi; d_g + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) \leq \min(a_h; a_v) + \phi,$$

pri čemer sta ϕ premer armaturne palice in d_g premer največjega zrna agregata,

$$d_g = 16 \text{ mm},$$

pri vzdolžni armaturi $\phi 16$

$$a_{min} = \max(16 \text{ mm}; 16 \text{ mm} + 5 \text{ mm}; 20 \text{ mm}) = 21 \text{ mm}.$$

Najmanjši premer vretena za krivljenje armaturnih palic je

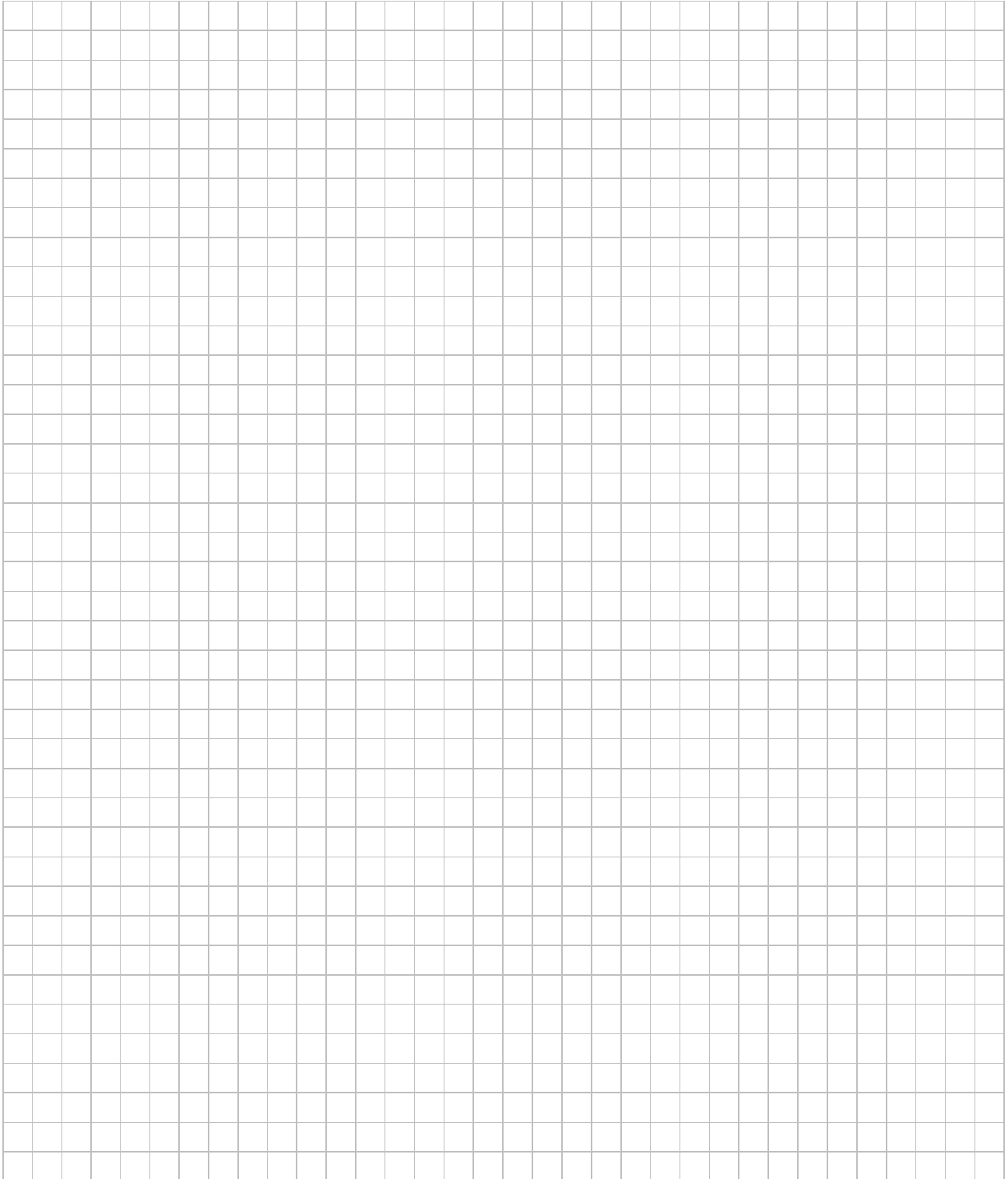
$$\phi_{m,min} = \frac{F_{bt}}{f_{cd}} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right) = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{f_{cd}} \cdot \left(\frac{1}{a_b} + \frac{1}{2 \cdot \phi} \right) = \frac{2,01 \text{ cm}^2 \cdot 43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{2,67 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \cdot \left(\frac{1}{3,4 \text{ cm}} + \frac{1}{2 \cdot 1,6 \text{ cm}} \right) = 19,8 \text{ cm},$$

pri čemer sta F_{bt} natezna sila v palici, ki je pri polno nosilni armaturi $F_{bt} = A_s \cdot f_{yd}$, in a_b polovična medosna oddaljenost notranjih palic v smeri pravokotno na ravnino krivljenja oziroma debelina krovnega sloja $c = a - \phi_{vzd}/2 - \phi_s = 5 \text{ cm} - 1,6 \text{ cm}/2 - 0,8 \text{ cm} = 3,4 \text{ cm}$.

2.2.2 Strižna obremenitev

Domača naloga

Izračunaj potrebno strižno armaturo in izberi ustrezne palice – navpična stremena ter razdaljo med njimi.



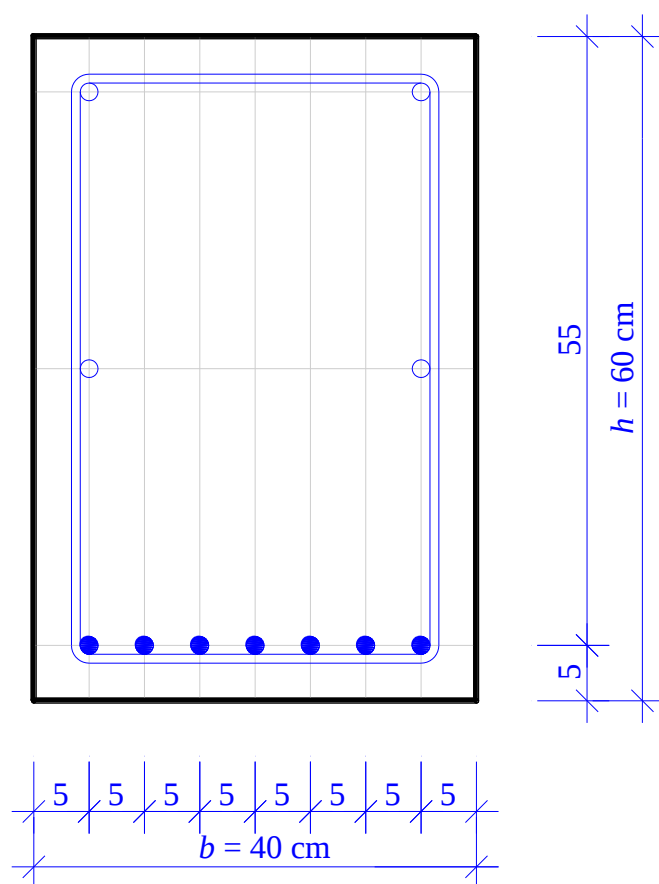
2.3 Konstruiranje

2.3.1 Prerez v polju, na mestu maksimalnega upogibnega momenta

Izbrali smo 7 ϕ 16.

Medosna razdalja med palicami vzdolžne armature je

$$a_h = \frac{b - 2 \cdot a}{n - 1} = \frac{40\text{cm} - 2 \cdot 5\text{cm}}{7 - 1} = 5\text{cm} > a_{\min} + \phi = 2,1\text{cm} + 1,6\text{cm} = 3,7\text{cm}.$$



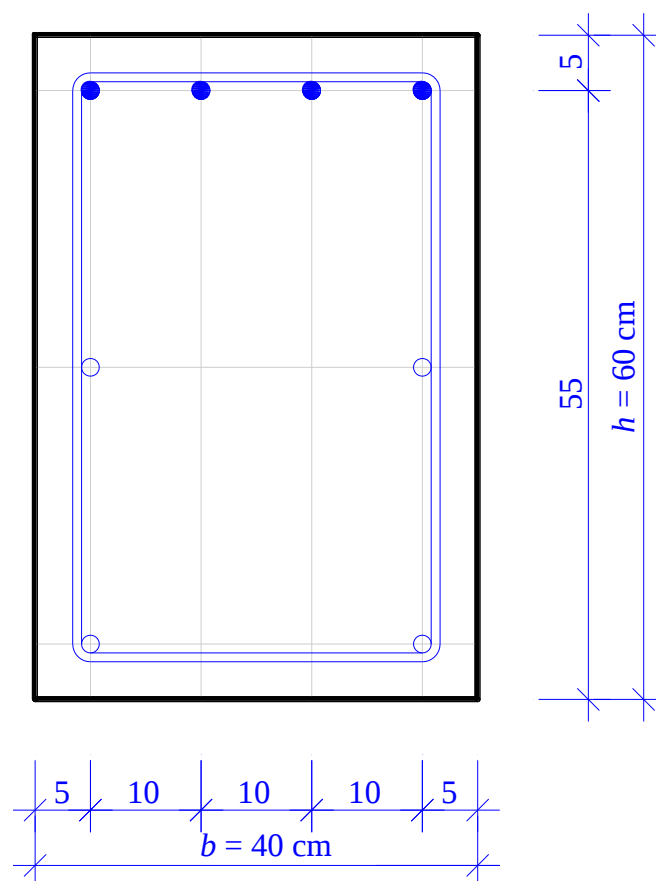
Slika 6 Razpored armature po prečnem prerezu v polju.

2.3.2 Prerez nad podporo, na mestu minimalnega upogibnega momenta

Izbrali smo 4 ϕ 16.

Medosna razdalja med palicami vzdolžne armature je

$$a_h = \frac{b - 2 \cdot a}{n - 1} = \frac{40\text{cm} - 2 \cdot 5\text{cm}}{4 - 1} = 10\text{cm} > a_{\min} + \phi = 2,1\text{cm} + 1,6\text{cm} = 3,7\text{cm}.$$



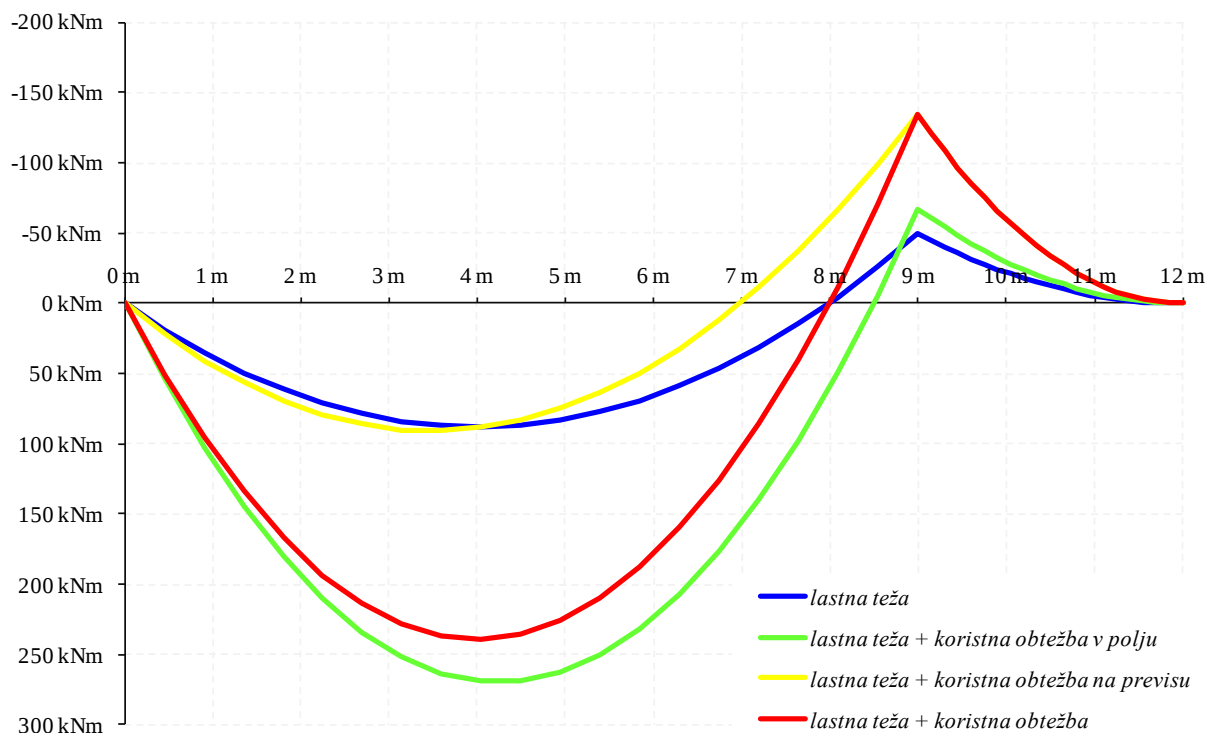
Slika 7 Razpored armature po prečnem prerezu nad desno podporo.

2.3.3 Razpored armature vzdolž nosilca

Upogibni momenti, zaradi predvidenih obtežnih primerov

Obtežni primeri:

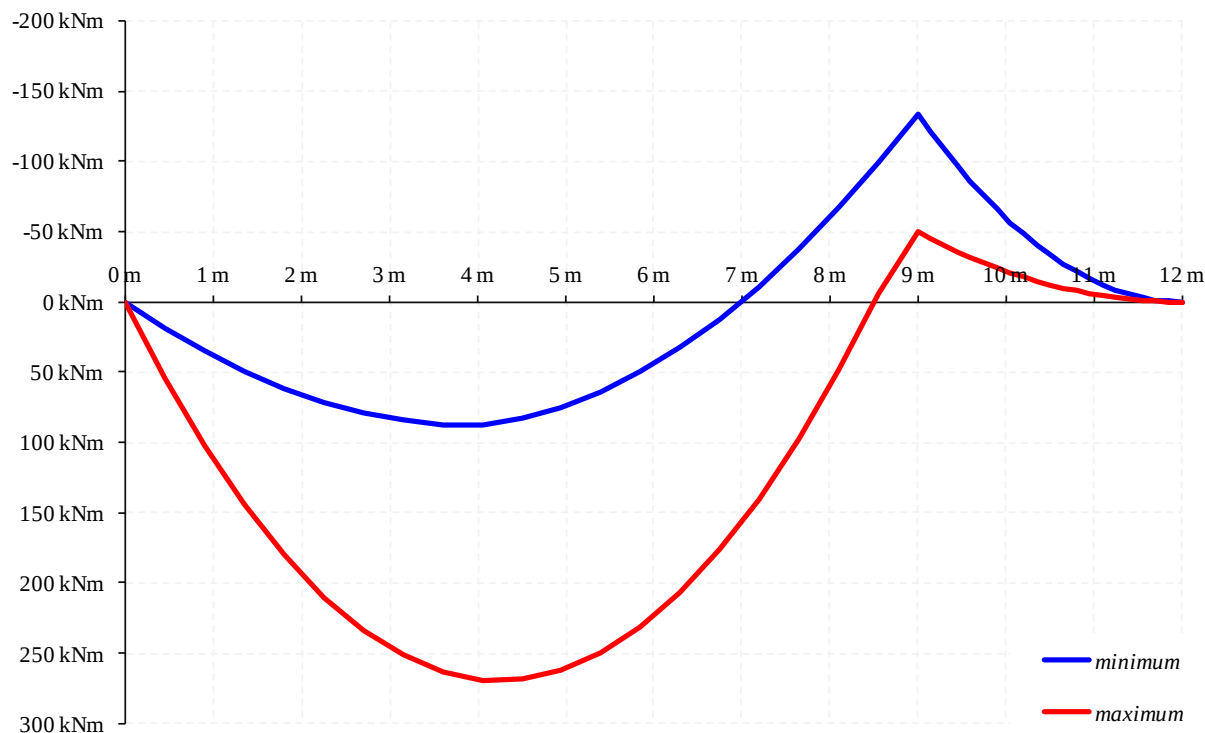
- vpliv lastne teže, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,0$,
- vpliv lastne teže, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,35$, in vpliv koristne obtežbe delujoče v polju, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,5$,
- vpliv lastne teže, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,35$, in vpliv koristne obtežbe delujoče na previsu, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,5$,
- vpliv lastne teže, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,35$, in vpliv koristne obtežbe, pomnožen s faktorjem $\gamma_g = 1,5$.



Slika 8 Kombinacije predvidenih faktoriranih obtežnih primerov.

Ovojnica upogibnih momentov

Iz predvidenih obtežnih primerov izločimo največje in najmanjše vplive, v našem primeru upogibnih momentov. Ta diagram imenujemo ovojnica upogibnih momentov.



Slika 9 Ovojnica upogibnih momentov.

Premik momentne črte

Momentno črto premaknemo za dolžino a_l , s katero zajamemo dodatne natezne sile v vzdolžni armaturi, ki izhajajo iz delovanja Mörschevega paličja, ki prevzame prečne sile

$$a_l = \frac{z}{2} \cdot (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha),$$

pri čemer so

z ... ročica notranjih sil,

θ ... naklon tlačnih diagonal,

α ... naklon prečne armature,

$$a_l = \frac{d}{2 \cdot k_s} \cdot (\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \alpha) = \frac{0,55\text{m}}{2 \cdot 1,121} \cdot (\operatorname{ctg} 45^\circ - \operatorname{ctg} 90^\circ) = 0,245\text{m}.$$

Sidrna dolžina armaturne palice

Sidranje armaturnih palic, žic ali varjenih mrež mora zagotoviti varen prenos njihovih sil na beton in preprečiti vzdolžno razpokanje ter cepljenje elemeta. Kadar je potrebno, se v ta namen namesti ustrezno prečno armaturo.

Mejna sprijemna napetost f_{bd} pri rebrastih palic je določena z

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd},$$

pri čemer sta

η_1 ... koeficient odvisen od pogojev sidranja,

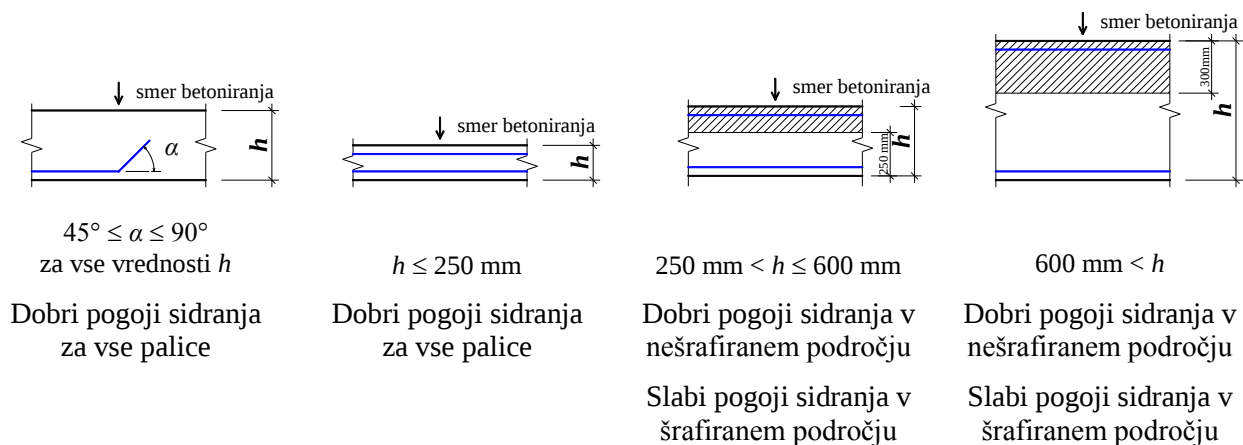
$$\eta_1 = \begin{cases} 1,0 & \text{pri dobrih pogojih sidranja} \\ 0,7 & \text{za vse druge primere} \end{cases},$$

η_2 ... koeficient odvisen od premera palic,

$$\eta_2 = \begin{cases} 1,0 & \phi \leq 32 \text{ mm} \\ 1,32 - \frac{\phi}{100} & \phi > 32 \text{ mm} \end{cases}.$$

Preglednica 2 *Mejne sprijemne napetosti f_{bd} [kN/cm²] za rebraste palice s premerom do 32 mm.*

Beton	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	≥C60/70
Dobri pogoji sidranja	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,38	0,41	0,44	0,45	0,47
Slabi pogoji sidranja	0,14	0,16	0,19	0,21	0,23	0,26	0,28	0,30	0,32	0,33
Opomba: Vrednosti f_{bd} [kN/cm ²] veljajo za palice $\phi \leq 32$ mm, pri večjih premerih jih je potrebno pomnožiti s faktorjem $\eta_2 = 1,32 - \frac{\phi}{100}$.										



Slika 10 Opis pogojev sidranja, v odvisnosti od lege armaturne palice v elementu.

Osnovna sidrna dolžina ravne palice je določena

$$l_{b,rqd} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{\phi}{4} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}} = l_{b,rqd}^* \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}},$$

pri čemer sta

σ_{sd} ... projektna napetost armature v mejnem stanju nosilnosti na mestu, od katerega merimo sidrno dolžino,

f_{bd} ... prijemna napetost.

Projektna sidrna dolžina vzdolžne armature elementov betonskih konstrukcij, ki se meri v osi palic, je

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd}^* \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}},$$

pri čemer mora biti izpolnjen pogoj $\alpha_1 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \geq 0,7$. Koeficient α_1 zajame vpliv oblike palic v področju sidranja, α_2 ugoden učinek prečnih tlačnih napetosti, ki jih zagotavlja beton z ustrezno debelino krovne sloja, α_3 neprivarjene, α_4 privarjene prečne palice, α_5 posledice drugih vplivov.

Projektna sidrna dolžina ne sme biti manjša od minimalne sidrne dolžine, ki znaša

$$l_{b,min} = \max(0,3 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) \text{ za sidranje palic v natezni coni,}$$

$$l_{b,min} = \max(0,6 \cdot l_{b,rqd}; 10 \cdot \phi; 100 \text{ mm}) \text{ za sidranje palic v tlačni coni.}$$

Preglednica 3 Osnovne sidrne dolžine $l_{b,rqd}^*$ [cm] za polno izkoriščene rebraste palice ($\sigma_{sd} = f_{yd}$) iz jekla S500 pri dobrih pogojih sidranja.

ϕ	Beton									
[mm]	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67	$\geq$ C60/70
5	28	24	20	18	16	14	13	12	12	12
6	33	29	24	22	20	17	16	15	14	14
7	39	34	28	25	23	20	19	17	17	16
8	45	39	32	29	26	23	21	20	19	19
9	50	43	36	33	30	26	24	22	22	21
10	56	48	40	36	33	29	27	25	24	23
12	67	58	48	43	40	35	32	30	29	28
14	78	68	56	51	46	41	38	35	34	33
16	89	77	64	58	53	46	43	40	39	37
20	111	97	81	72	66	58	54	50	48	47
25	139	121	101	91	82	72	67	62	60	58
28	156	135	113	101	92	81	75	70	68	65
32	178	155	129	116	105	93	86	80	77	75
40	242	210	175	158	143	126	117	109	105	102

- Pri slabih pogojih sidranja je potrebno podane vrednosti deliti z 0,7.
- Premeri 5, 7 in 9 se uporabljajo le za palice varjenih mrež.
- Pri polno izkoriščenih palicah velja $l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^*$, sicer dobimo osnovne sidrne dolžine palic s korekcijo

podanih vrednosti glede nivoja projektnih napetosti jekla $l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^* \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{yd}}$.

V našem primeru so $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0$.

V polju je projektna sidrna dolžina enaka

$$l_{bd} = l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^* = \frac{16\text{mm}}{4} \cdot \frac{43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,38 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 46\text{cm} > l_{b,min} = 16\text{cm},$$

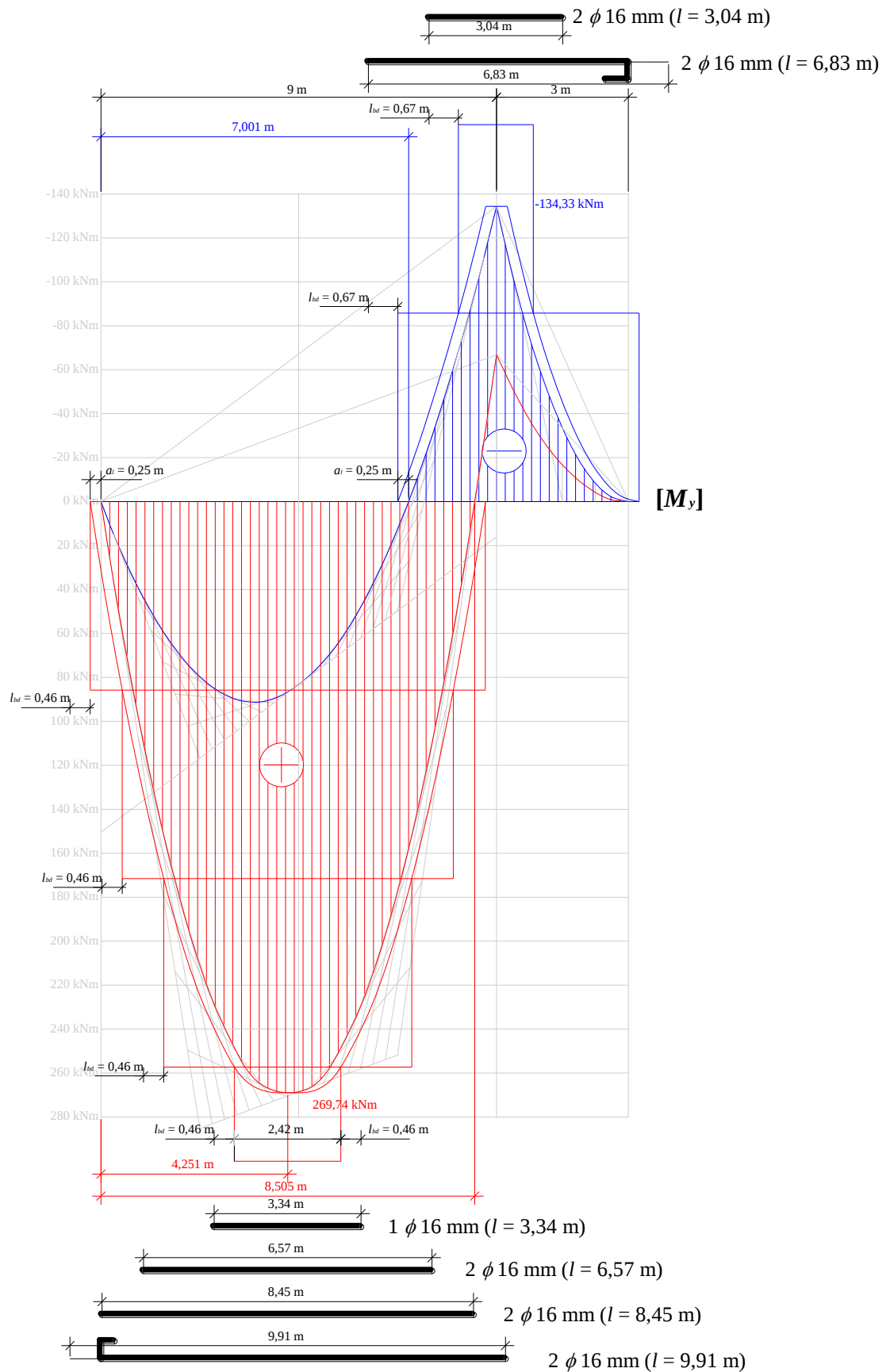
nad podporo pa

$$l_{bd} = l_{b,rqd} = l_{b,rqd}^* = \frac{1}{0,7} \cdot \frac{16\text{mm}}{4} \cdot \frac{43,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,38 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 67\text{cm} > l_{b,min} = 16\text{cm}.$$

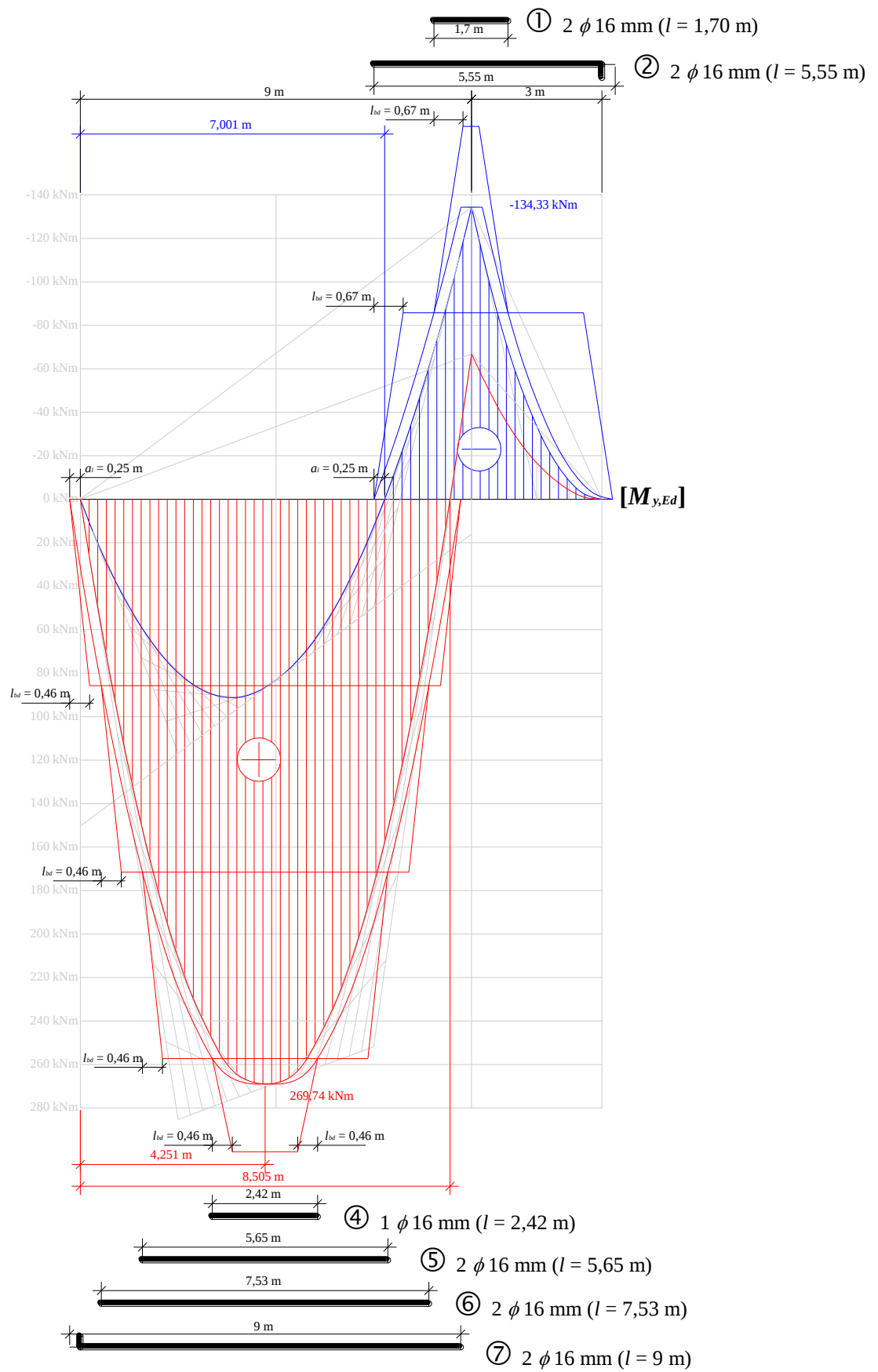
Preklopna dolžina armaturne palice

Stikovanj palic s prekrivanjem mora zagotoviti varen prenos sile iz ene palice na drugo, pri tem pa v okolici spoja ne sme priti do cepljenja betona niti se ne smejo pojaviti razpoke, ki bi vplivale na lastnosti konstrukcije.

Določitev dolžin armaturnih palic

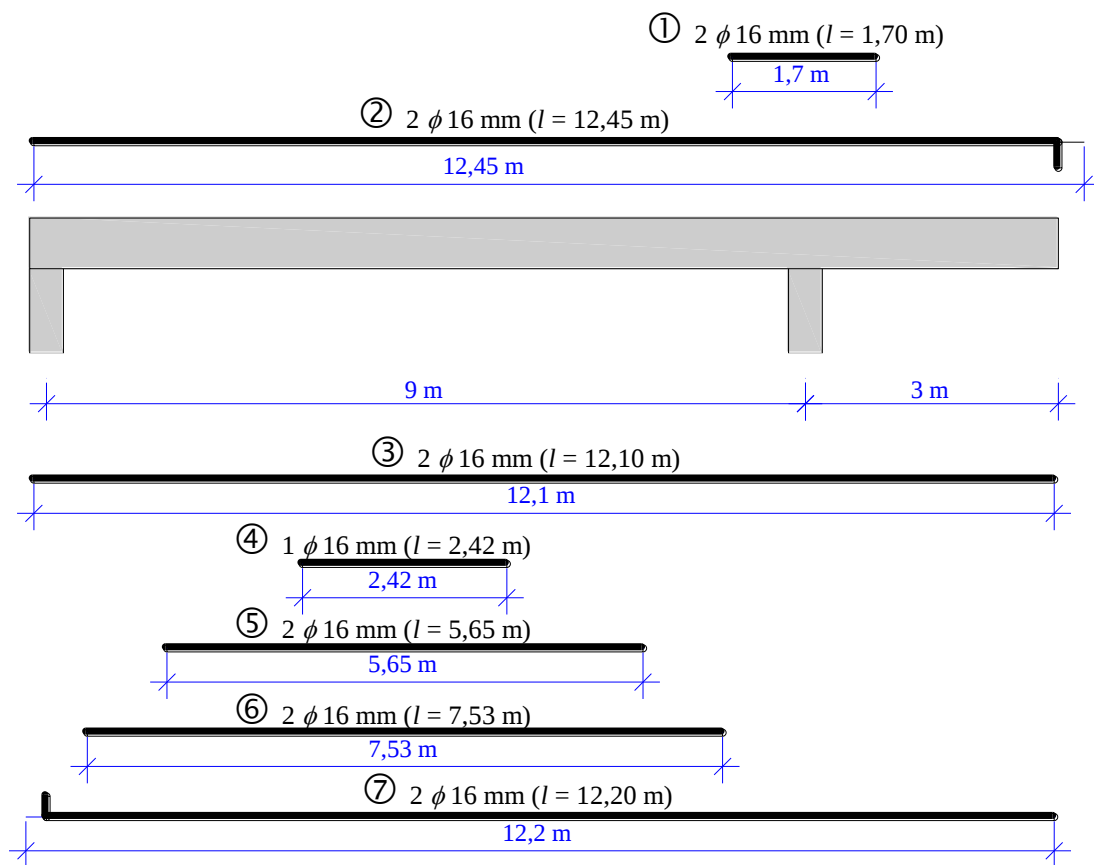
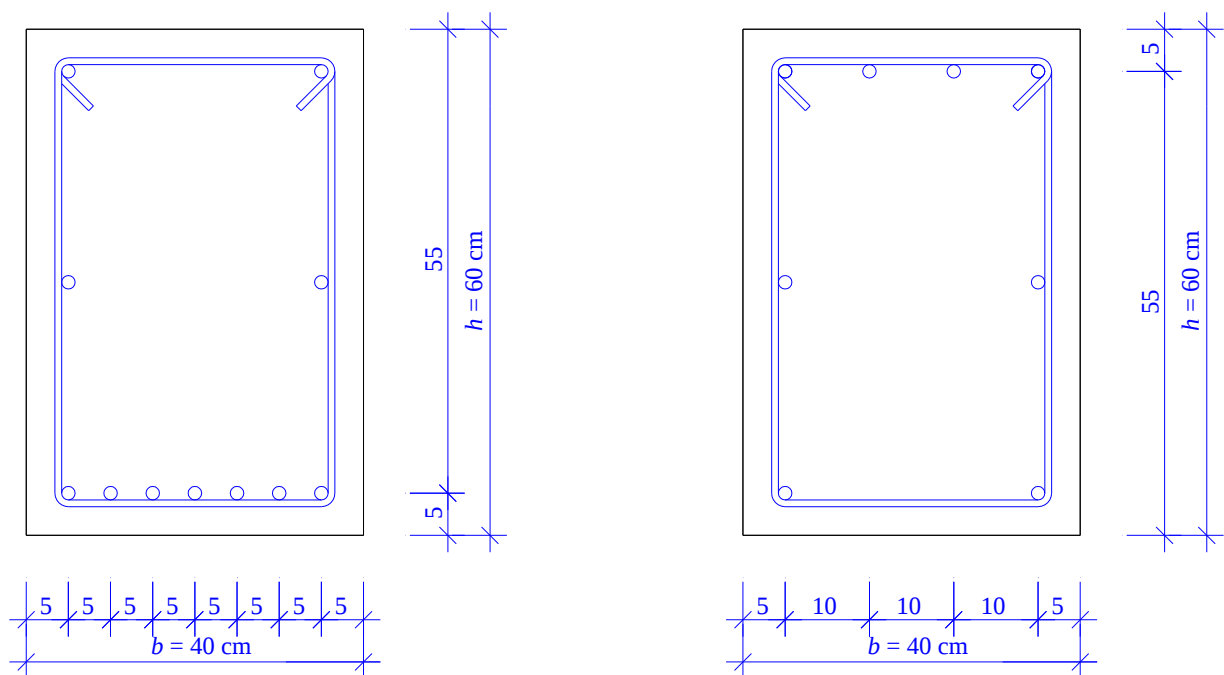


Slika 11 *Razširitev momentne linije in razpored armature vzdolž nosilca pri zanemaritvi sile v palicah vzdolž sidrne dolžine.*



Slika 12 Razširitev momentne linije in razpored armature vzdolž nosilca pri upoštevanju linearnega spreminjanja sile vzdolž sidrne dolžine.

Izyleček armature



Slika 13 Armaturni načrt.

Preglednica 4 *Izvleček armature v nosilcu s previsnim poljem.*

ARMATURA S500			BETON C40/50		
oznaka	dolžina	ϕ	število kosov	ϕ 8	ϕ 16
①	1,70 m	16 mm	2		3,40 m
②*	12,45 m	16 mm	2		24,90 m
③*	12,10 m	16 mm	2		24,20 m
④	2,42 m	16 mm	1		2,42 m
⑤	5,65 m	16 mm	2		11,30 m
⑥	7,53 m	16 mm	2		15,06 m
⑦*	12,20 m	16 mm	2		24,40 m
⑧	2,16 m	8 mm		m	
vsota dolžin po ϕ				m	105,68 m
teža po ϕ				kg	166,80 kg

* palico vlečemo vzdolž celega nosilca