

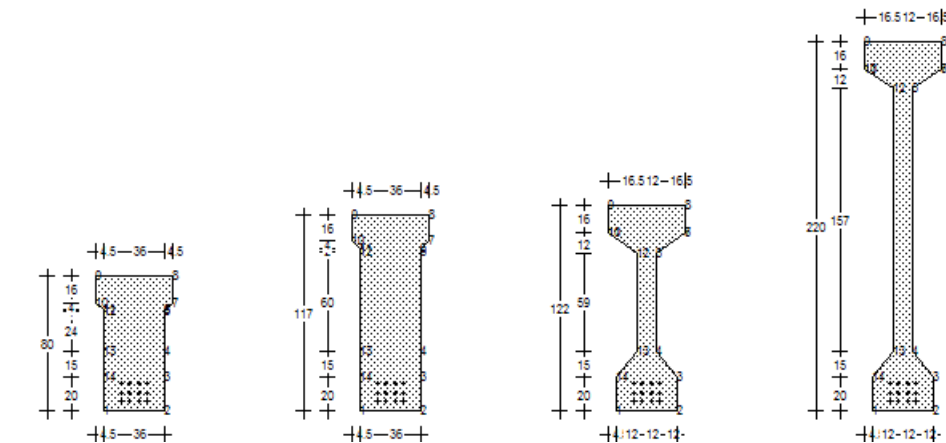
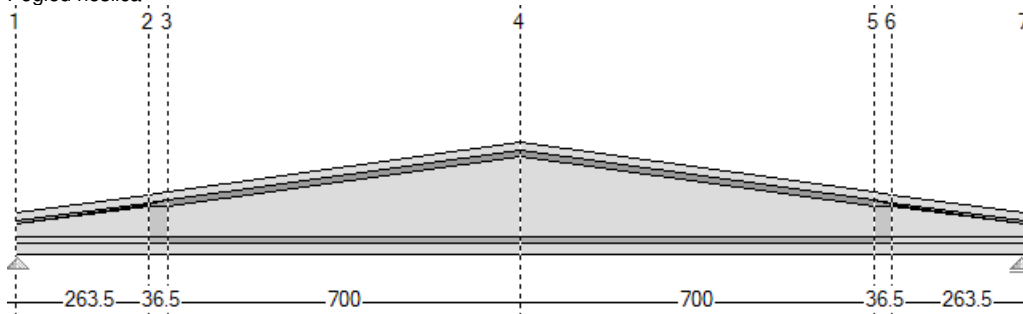
**ANALIZA ADHEZIJSKO PREDNAPETEGA NOSILCA -****1. MATERIALI in GEOMETRIJA:****1.1 BETON: C40/50**

Karakteristična tlačna trdnost	: $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
Povprečna natezna trdnost	: $f_{ctm} = 3.5 \text{ MPa}$
Elastični modul	: $E_{cm} = 33500 \text{ MPa}$

**1.2 JEKLO ZA PREDNAPENJANJE: St 1570/1770**

Napetost na meji elastičnosti	: $f_{p0.1k} = 1500 \text{ MPa}$
Karakteristična natezna trdnost	: $f_{pk} = 1770 \text{ MPa}$
Elastični modul	: $E_p = 200000 \text{ MPa}$
Relaksacija	: razred 2

Pogled nosilca



Prerezi nosilca

Celotna dolžina nosilca  $L = 20 \text{ m}$ , previs levo:  $0 \text{ m}$ , desno:  $0 \text{ m}$   
 Volumen nosilca  $V = 7.031 \text{ m}^3$ , teža  $G = V \cdot 25 \text{ kN/m}^3 = 175.78 \text{ kN}$

**1.3 Minimalno število elementov za prednapenjanje**

- najmanj ena vrv s sedem ali več žic (premer žice  $\geq 4 \text{ mm}$ )
- posamezne palice ali žice 3
- palice in žice v vrvi ali kablju 7
- kabli, razen vrvi (prva točka) 3

**1.4 Minimalni razmak vrvi - EC2 8.10.1.2**

$d_g = 16 \text{ mm}$  - beton 0-16 mm,  $\phi_k = 15 \text{ mm}$

Pogoj za vertikalni razmak:  $s_v \geq d_g$  ali  $\geq 2\phi_k$

Pogoj za horizontalni razmak:  $s_h \geq d_g + 5 \text{ mm}$  ali  $\geq 2\phi_k$  ali  $\geq 20 \text{ mm}$

**1.5 Zaščitni sloji za napenjalno armaturo**

a) v odvisnosti od okolja - X0 Zelo suho / S4

$c_{p,min,dur}$

= 10 mm

b) za varen prenos sil oprijemljivosti ( $d_g \leq 32$  mm)

$$\text{Vrvi: } c_{p,\min,b} = 2 \cdot \phi_k = 30 \text{ mm}$$

Nominalni zaščitni sloji

$$c_{p,\text{nom}} = c_{p,\min,b} + \Delta c = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$

### 1.6 Podatki za napenjalno armaturo - Fi ( )

Nr.	Fi[mm]	x[cm]	y[cm]	Start	End	Nr.	Fi[mm]	x[cm]	y[cm]	Start	End
1	15	15	5.5	0	2000	7	15	20	11	0	2000
2	15	20	5.5	0	2000	8	15	15	11	0	2000
3	15	25	5.5	0	2000	9	15	15	16.5	0	2000
4	15	30	5.5	0	2000	10	15	20	16.5	0	2000
5	15	30	11	0	2000	11	15	25	16.5	0	2000
6	15	25	11	0	2000	12	15	30	16.5	0	2000

### 1.7 Karakteristike prereza

$$\alpha_e = E_s / E_c = 200000 / 33500 = 5.97$$

	A [m <sup>2</sup> ]	I [m <sup>4</sup> ]	z [m]
1/1 beton A <sub>c</sub>	0.3042	0.0169	0.416
1/2 neto A <sub>c,net</sub>	0.3025	0.0167	0.418
1/3 ideal A <sub>ci</sub>	0.3125	0.0176	0.408
2/1 beton A <sub>c</sub>	0.4356	0.0513	0.601
2/2 neto A <sub>c,net</sub>	0.434	0.0509	0.603
2/3 ideal A <sub>ci</sub>	0.4439	0.0532	0.592
3/1 beton A <sub>c</sub>	0.285	0.0514	0.628
3/2 neto A <sub>c,net</sub>	0.2833	0.0509	0.631
3/3 ideal A <sub>ci</sub>	0.2933	0.0535	0.613
4/1 beton A <sub>c</sub>	0.4026	0.2386	1.121
4/2 neto A <sub>c,net</sub>	0.4009	0.2369	1.125
4/3 ideal A <sub>ci</sub>	0.4109	0.2469	1.1

## 2. OBTEŽBE (kN, kN/m, kNm, cm)

Stalna obtežba - G

- g1	: q1=7.61, x1=0, q2=10.76, x2=250
- g1	: q1=10.76, x1=250, q2=7.07, x2=286
- g1	: q1=7.07, x1=286, q2=10.06, x2=1000
- g1	: q1=10.06, x1=1000, q2=7.13, x2=1700
- g1	: q1=7.13, x1=1700, q2=10.94, x2=1736
- g1	: q1=10.94, x1=1736, q2=7.61, x2=2000
- Stalna obtežba	: Q=10 kN/m'

Koristna obtežba - Q

- Koristna	: Q=24.5 kN/m'
------------	----------------

### 2.1 Koeficienti varnosti:

a) Mejno stanje nosilnosti (neugodno / ugodno)

- stalna obtežba	: $\gamma_G = 1.35 / 1$
- dominantna koristna	: $\gamma_Q = 1.5 / 0$
- prednapenjanje	: $\gamma_p = 1 / 1$
- za beton	: $\gamma_c = 1.5$
- za jeklo	: $\gamma_s = 1.15$

b) Mejno stanje uporabnosti - redko  $\Psi_0$ , pogosto  $\Psi_1$ , navidezno stalno  $\Psi_2$

	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
Koristna obtežba - Qi			
- Koristna	: 0.7	: 0.2	: 0

## 3. IZGUBE PREDNAPENJANJA

### 3.1 Začetni padec napetosti

Začetna relaksacija jekla

Vnos napenjalne sile v beton po 200 urah,  $\sigma_{0,max} = 1350$  MPa

Relaksacijski razred 2

$$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0.66 \cdot 2.5 \cdot e^{9.1u \cdot (t/1000)^{0.75(1-u)}} \cdot 10^{-5}$$

$$\mu = \sigma_p / f_{pk} = 1350 / 1770 = 0.76$$

$$\Delta\sigma_{pr,200} = 1350 \cdot 0.0128 = 17.29 \text{ MPa}$$

Elastični skrček betona

$$\Delta\sigma_{el} = \sigma_{c0} \times \alpha / (1 + \alpha\mu) = 10.36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c0} = 2.2 / 0.285, \mu = 100 \times 16.7 / 2850$$

$$\sigma_{pm0} = 1275 \text{ MPa} \leq 1322.35 > 1275$$

### 3.2 Padec napetosti zaradi časovnih izgub - t=∞

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{\varepsilon_{cs}(t,t_0) \cdot E_p + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr} + \alpha \cdot \varphi(t,t_0) \cdot (\sigma_{cg} + \sigma_{cp0})}{(1 + \alpha \cdot A_p/A_c \cdot (1 + A_c/l_c \cdot z_{cp}^2)) \cdot [1 + 0.8 \cdot \varphi(t,t_0)]}$$

Koeficient tečenja  $\varphi$  in krčenja  $\varepsilon$  (EC2 - ANNEX B)

Starost betona pri obremenitvi je 28 dni, suhi atmosferski pogoji - zaprti prostori RH=50%  
Cement - razred(CEM): N (32.5 R, 42.5 N)

Preračun v prerezu na L= 1580 cm

Karakteristična srednja debelina prereza:  $d_{eff} = 2 \cdot A_c/u = 2 \cdot 308520/3894.2 = 158$  mm

$$\varphi(t,t_0) = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0) \cdot \beta_c(t,t_0) = 1.94$$

$$\varphi_{RH} = 1.63, \beta(f_{cm}) = 2.42, \beta(t_0) = 0.49, \beta_c(t,t_0) = 1$$

$$\varepsilon_{cs} = \beta_{ds}(t,t_s) \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} + \varepsilon_{ca} = 0.44\%$$

$$\beta_{ds}(t,t_s) = 1, k_h = 0.85, \varepsilon_{cd,0} = 0.43, \varepsilon_{ca} = 0.07, \beta_{RH} = 1.36$$

Tečenje  $\varphi = 1.94$ , krčenje  $\varepsilon = 0.44\%$

Relaksacijski razred 2

$$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi} = 0.66 \cdot 2.5 \cdot e^{9.1u \cdot (t/1000)^{0.75(1-u)}} \cdot 10^{-5}$$

$$\mu = \sigma_p / f_{pk} = 1275 / 1770 = 0.72$$

$$\Delta\sigma_{pr,\infty} = 1275 \cdot 0.0427 = 54.44 \text{ MPa}$$

Napetosti zaradi stalne obtežbe

$$\sigma_{cg} = -M_s / l_{c,net} \cdot z_p = -64378.3/7541222.2 \cdot 10^{-73} = -6.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp0} = N_{p0} / A_{c,net} + M_{p0} / l_{c,net} \cdot z_p$$

$$N_{p0} \sigma_{pm0} \cdot A_p = 1275 \cdot 16.68 \cdot 10^{-4} = 2.13 \text{ MN}$$

$$M_{p0} = N_{p0} \cdot z_p = 2.13 \cdot 73 = 155.27 \text{ MNcm}$$

$$\sigma_{cp0} = (2.13 / 3068.5 + 155.3 / 7541222.2 \cdot 73) \cdot 10^4 = 21.96 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = \frac{0.00044 \cdot 200000 + 0.8 \cdot 54.44 + 5.97 \cdot 1.94 \cdot 15.731}{1 + 5.97 \cdot 16.68/3168.102 \cdot (1 + 3168.102/7911777.017 \cdot 71.062^2)} \cdot (1 + 0.8 \cdot 1.94)$$

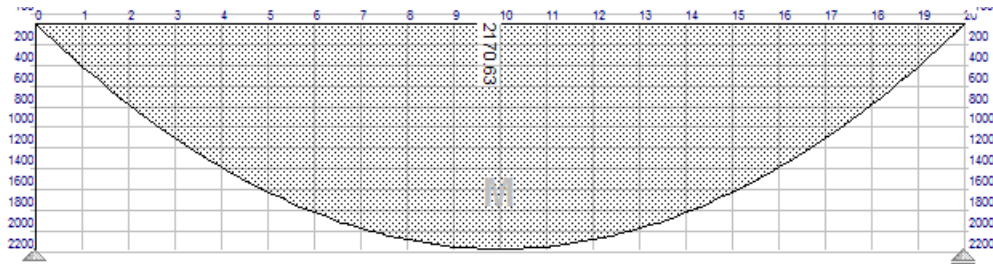
$$\Delta\sigma_{p,c+s+r} = 313.745 / 1.242 = 252,53 \text{ MPa}$$

$$\text{Končna napetost v } t=\infty \sigma_{pm\infty} = \sigma_{pm0} - \Delta\sigma_{p,c+s+r} = 1022.47 \text{ MPa}$$

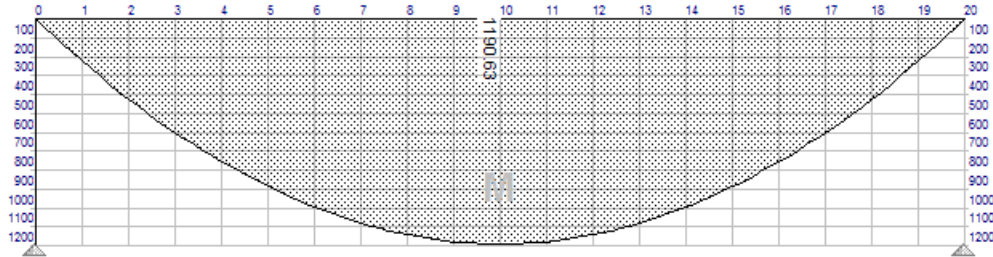
## 4. NOTRANJE STATIČNE KOLIČINE

### 4.1 Mejno stanje uporabnosti

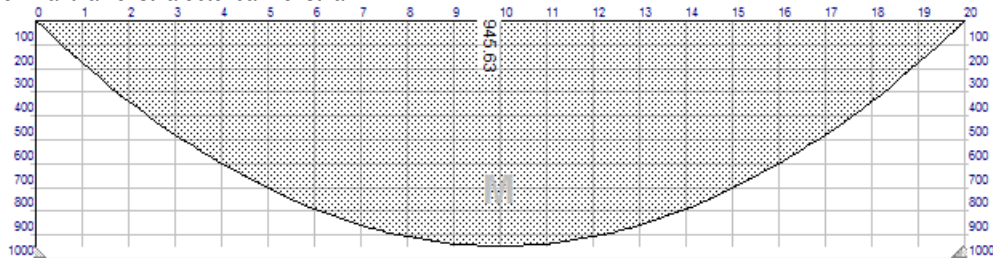
Redka kombinacija -  $|M_{max}| = 2170.63$  kNm, L=1000 cm  
Dominantna koristna obtežba: Koristna



Pogosta kombinacija -  $|M_{max}|=1190.63 \text{ kNm}$ ,  $L=1000 \text{ cm}$   
 Dominantna koristna obtežba: Koristna

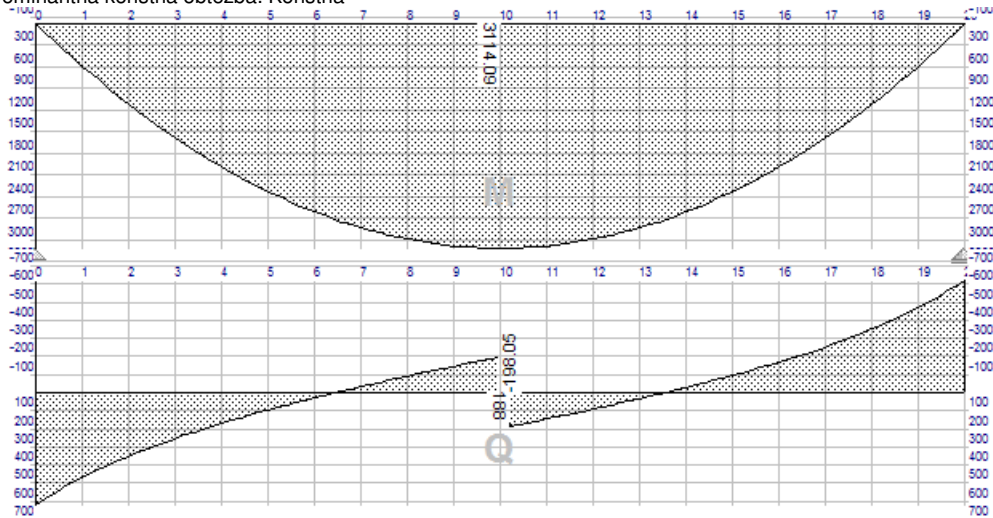


Navidezno stalna -  $|M_{max}|=945.63 \text{ kNm}$ ,  $L=1000 \text{ cm}$   
 Dominantna koristna obtežba: Koristna



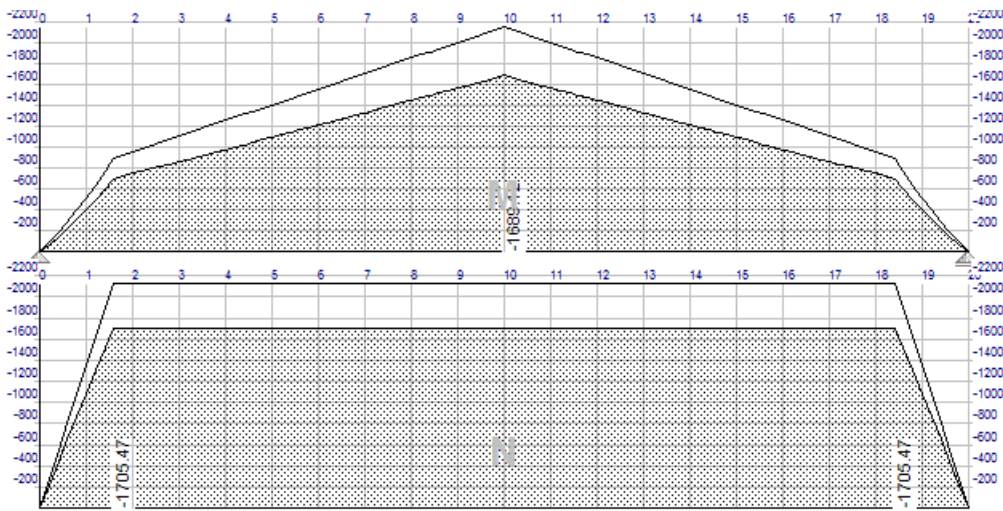
#### 4.2 Mejno stanje nosilnosti - reducirane Q

$|M_{max}|=3114.09 \text{ kNm}$ ,  $L=1000 \text{ cm}$ ,  $|Q_{max}|=621.06 \text{ kN}$ ,  $L=2000 \text{ cm}$   
 Dominantna koristna obtežba: Koristna



#### Vplivi zaradi prednapenjanja

Začetno stanje -  $t=0$  -  $|M_{max}|=2158.62 \text{ kNm}$ ,  $L=1000 \text{ cm}$ ,  $|N_{max}|=2126.7 \text{ kN}$ ,  $L=160 \text{ cm}$   
 Končno stanje -  $t=\infty$  -  $|M_{max}|=1689.13 \text{ kNm}$ ,  $L=1000 \text{ cm}$ ,  $|N_{max}|=1705.48 \text{ kN}$ ,  $L=160 \text{ cm}$



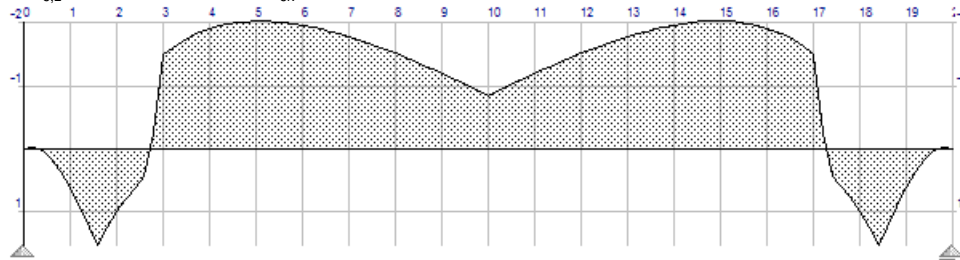
## 5. KONTROLA ZA MEJNO STANJE UPORABNOSTI

### 5.1 Navidezno stalni vplivi - napetosti v betonu

$$\sigma_c = P_{m,t} / A_{ci} - (M_{Sd,st} + M_{pl,t}) \cdot z / I_{ci}$$

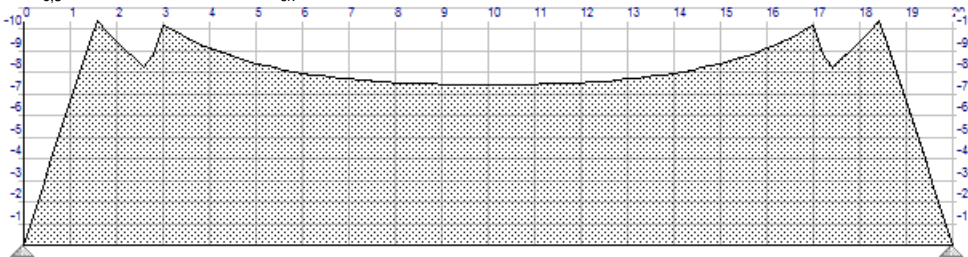
Napetosti na zgornjem robu - L=1500 cm

$$\text{tlak} - \sigma_{c,z} = 2.03 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$



Napetosti na spodnjem robu - L=160 cm

$$\text{tlak} - \sigma_{c,s} = 10.4 \text{ MPa} < 0.45 \cdot f_{ck} = 0.45 \cdot 40 = 18 \text{ MPa}$$



### 5.2 Redki vplivi - napetosti v jeklu za prednapenjanje

$$\sigma_p = \sigma_{pm1} + \Delta\sigma_p < 0.75 \cdot f_{pk}$$

Predvideno 30% časovno odvisnih izgub:

$$\sigma_{pm1} = \sigma_{pm0} - 0.3 \cdot \Delta\sigma_{p,c+s+r} = 1275 - 0.3 \cdot 252,53 = 1199.24 \text{ MPa}$$

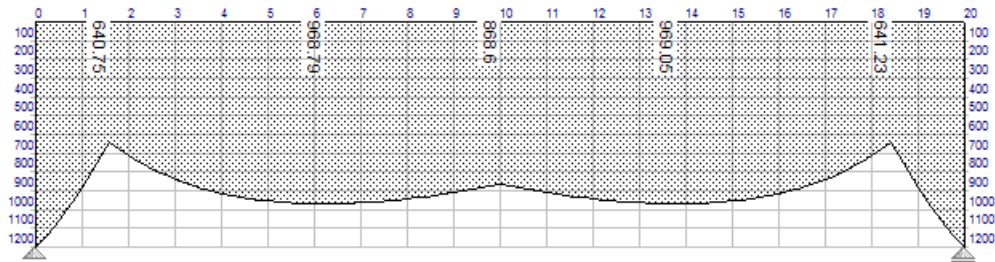
$$\Delta\sigma_p \approx (M_s/z - P_{m,t}) / (A_p + A_s)$$

$$M_s = M_{Sd,red} + M_{p,00} - N_{p,00} \cdot (z_u - d_1)$$

$z = 0.9 \cdot d$ ,  $d = h - d_1$ ,  $d_1$  - težišče  $A_p + A_s$  od spodnjega roba

Maksimalna napetost v jeklu - L=0 cm

$$\sigma_p = 1199.24 \text{ MPa} < 0.75 \cdot f_{pk} = 0.75 \cdot 1770 = 1327.5 \text{ MPa}$$

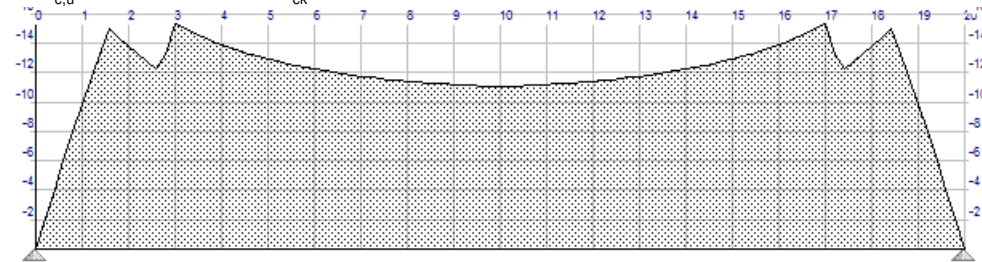


### 5.3 Lastna teža in prednapetje t=0 - napetosti v betonu

$$\sigma_{c,u} = P_{m0} / A_{c,net} + (M_G + M_{p0}) \cdot z_u / I_{c,net}$$

Napetosti na spodnjem robu - L=300 cm

$$\text{tlak} - \sigma_{c,u} = 15.32 \text{ MPa} < 0.6 \cdot f_{ck} = 0.6 \cdot 40 = 24 \text{ MPa}$$



## 6. RAZPOKE

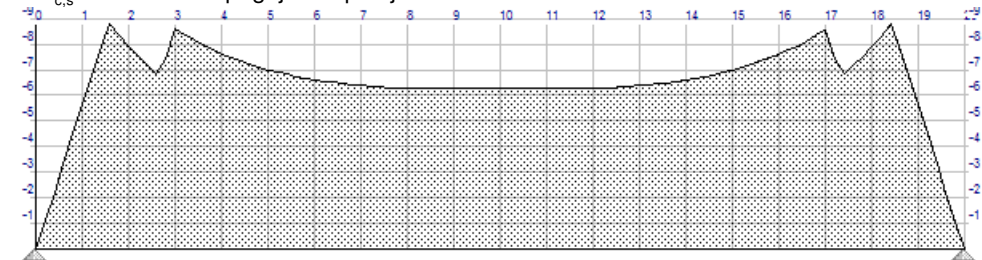
### 6.1 Minimalna površina armature - EC2 pogoj 7.3.2(4)

1.pogoj: redka kombinacija obtežb - napetosti v betonu na spodnjem robu

$$\sigma_{c,s} = 0.9 \cdot P_{m,t} / A_{ci} + (M_{Sd,red} + 0.9 \cdot M_{pt}) \cdot z / I_{ci}$$

Napetosti na spodnjem robu - L=160 cm

$$\text{tlak} - \sigma_{c,s} = 8.79 \text{ MPa} - \text{pogoj JE izpolnjen}$$

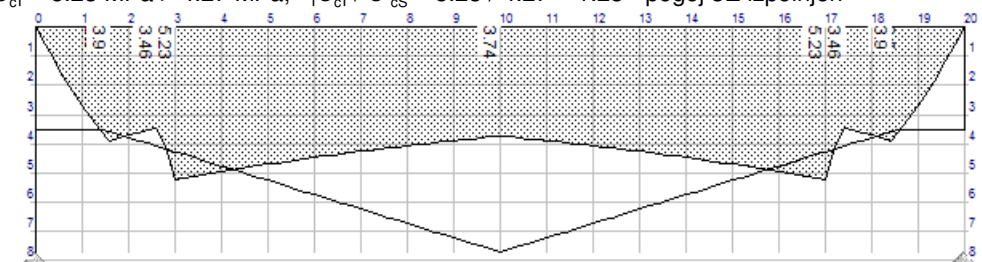


2.pogoj: napetost v težišču betona zaradi prednapenjanja

$$|\sigma_c| = |0.9 \cdot P_{m,t} / A_{ci}| \geq h \cdot f_{ct,eff} (\sigma_{cS}) \quad h \geq 1, \quad f_{ct,eff} = 3.5 \text{ MPa}$$

Napetost v težišču - L=300 cm

$$|\sigma_c| = 5.23 \text{ MPa} > 4.27 \text{ MPa}, \quad |\sigma_c| / \sigma_{cS} = 5.23 / 4.27 = 1.23 - \text{pogoj JE izpolnjen}$$



### 6.2 Kontrola razpok brez direktnega preračuna - EC2 7.3.3

$$\text{Korigiran max.premer armature: } \phi_s = \phi_s \cdot f_{ct,eff} / 2.9 \cdot k_c \cdot h_{cr} / 2d_1$$

Pogosta kombinacija - napetosti v jeklu

$$\sigma_s = 1 / (A_p + A_s) \cdot (M_s / z - r \cdot P_{m,t})$$

Jeklo - zgornji del prereza za lastno težo in  $t=0$

$$M_s = -M_{Sd,pog} + r_{sup} \cdot M_p + r_{sup} \cdot P_p \cdot (d - z_U)$$

$$z = 0.9 \cdot d, \quad d = h - d_1, \quad d_1 - \text{težišče } A_p + A_s \text{ od zgornjega roba, } r_{sup}=1,1$$

V zgornjem delu prereza ni armature!

Jeklo - spodnji rob prereza za  $t=0$

$$M_s = M_{Sd,pog} - r_{inf} \cdot M_p + r_{inf} \cdot P_p \cdot (z_U - d_1)$$

$$z = 0.9 \cdot d, \quad d = h - d_1, \quad d_1 - \text{težišče } A_p + A_s \text{ od spodnjega roba, } r_{inf}=0,9$$

V spodnjem delu prereza ni armature!

## 7. DOLŽINA UVAJANJA OSNE SILE - $l_{bpd}$

$$l_{bpd} = l_{pl2} + \alpha_2 \cdot \phi \cdot (\sigma_{pd} - \sigma_{pmo0}) / f_{bpd} = 104.9 \cdot \phi$$

$$l_{pl2} = 1.2 \cdot \alpha_1 \alpha_2 \phi \sigma_{pmo0} / f_{bpt}$$

$$f_{bpd} = \eta_{p2} \eta_1 f_{ctd}, \quad f_{bpt} = \eta_{p1} \eta_1 f_{ctd}, \quad f_{ctd} = 1.63 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = 1.25, \quad \alpha_2 = 0.19, \quad \eta_1 = 1, \quad \eta_{p1} = 3.2, \quad \eta_{p2} = 1.2$$

$$\sigma_{pmo0} = 1275, \quad \sigma_{pmo0} = 1022.47, \quad \sigma_{pd} = 1385.22 \text{ [MPa]}$$

Kontrola napetosti betona  $f_{ctd} < f_{ctk 0,05} = 2,45 \text{ MPa}$   
(diagrami napetosti so v 5.1)

Na zgornjem robu v  $l_{bpd}$  ni prekoračitve  $f_{ctk 0,05}$

Na spodnjem robu v  $l_{bpd}$  ni prekoračitve  $f_{ctk 0,05}$

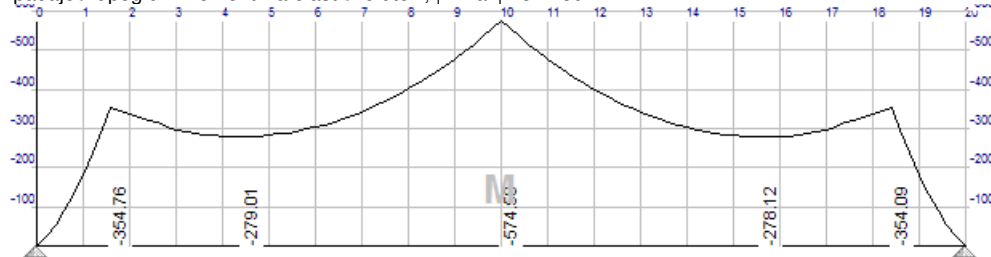
## 8. KONTROLA UPOGIBA

Nosilec se obravnava kot nerazpokan, upošteva se navidezno stalna obtežba.

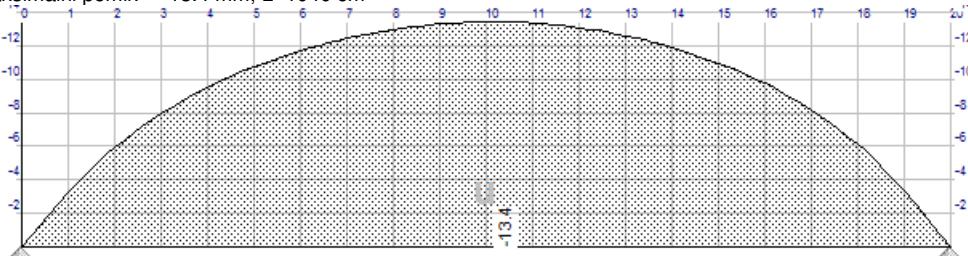
Izračun s pomočjo elastičnih uteži,  $I_c = I_{ci}$ ,  $E_{c,eff} = E_{cm} / (1 + \phi_{00}) = 33500 / (1 + 1.94) = 11394.56 \text{ MPa}$

Prednapetje:  $r_{inf} = 0,9$

Pripadajoči upogibni momenti za elastične uteži,  $|M_{max}| = 574.59 \text{ kNm}$



Maksimalni pomik = -13.4 mm,  $L=1040 \text{ cm}$



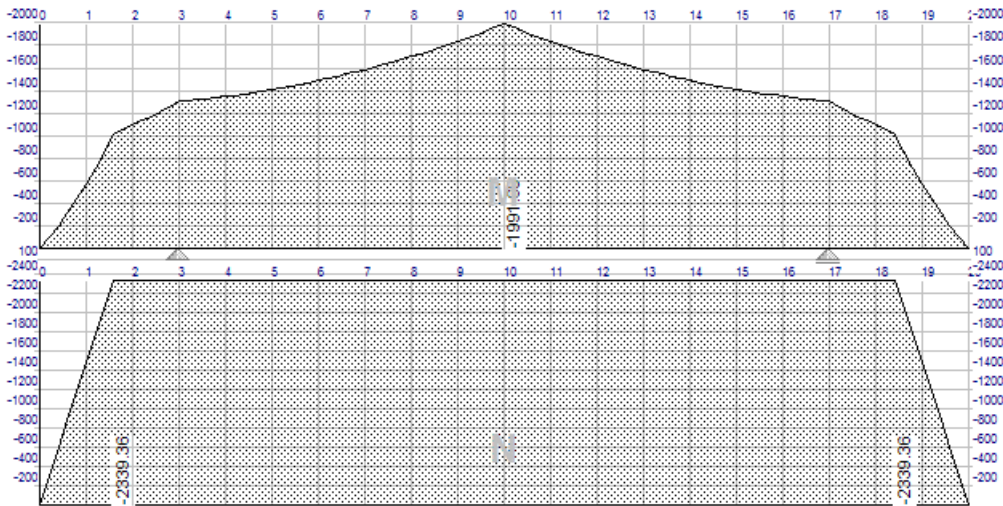
## 9. KONTROLA IZBOČITVE - EC2 5.9

### 9.1 Dvigovanje - montaža. Lastna teža in prednapetje $t=0$

#### 9.1.1 Statične količine

$$\gamma_G = 1, \quad \gamma_p = 1, \quad r_{sup} = 1,1$$

$$N_{Ed} = -\gamma_p \cdot r_{sup} \cdot P_{m0}, \quad M_{Ed} = M_G \cdot \gamma_G - r_{sup} \cdot M_p \cdot \gamma_p$$



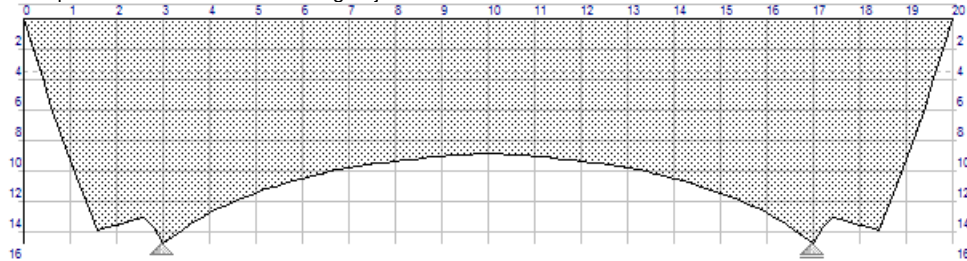
### 9.1.2 Napetosti v betonu na zgornjem robu

$$\sigma_{c,u} = N_{Ed} / A_{c,net} + M_{Ed} \cdot (H - z_u) / I_{c,net}$$

Napetosti na zgornjem robu -  $L=1700$  cm

nateg -  $\sigma_{c,s} = 14.78 \text{ MPa} > f_{ctm} = 3.5 \text{ MPa}$

Kontrola potrebne armature v natezni zgornji coni - točka 10.2



### 9.1.3 Preračun izbočitve po LEBELLE

(Beton- und Stahlbetonbau 80(1985), H.9, 238-243) = [1]  
(smisel preračuna je vprašljiv, ker zgornji rob nosilca ni tlaččen)

Predpostavke:

- strižno središče in težišče se približno ujemata
- kritična obtežba izbočitve deluje na zgornjem robu nosilca

Preračun mora zadostiti pogoju  $\gamma_G \cdot G \leq q_k$

Teoretična obtežba izbočitve se izračuna po:  $q_k = 16 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot v \cdot \sqrt{A_K} / L^3$

$$j(\alpha) = 4 \cdot f / L \cdot \sqrt{(E_{cd} \cdot I_y / G_{cd} \cdot I_T)}$$

$f$  - razmak med težiščem in zgornjim robom nosilca - oprijemališče za dvig

$$f = h - z_u = 1.22 - 0.628 = 0.592 \text{ m}$$

$L$  - celotna dolžina nosilca = 20 m

$$E_{cd} = E_{cm} / \gamma_c = 33500 / 1.5 = 22333.3 \text{ MPa}$$

$$G_{cd} = E_{cd} \cdot 0.4 = 8933.32 \text{ MPa}$$

$$I_x = I_{c,net} = 0.05135 \text{ m}^4, \quad I_y = 0.0026 \text{ m}^4$$

Izračun  $I_T$  iz nadomestnega pravokotnega prereza:  $B = A/H = 2850/122 = 23.4 \text{ cm}$

$$\beta(H/B) = 0.292 \implies I_T = \beta \cdot B^3 \cdot H = 0.00456 \text{ m}^4$$

(Vzeto na mestu max.tlačnih napetosti na zg. robu -  $L=17.4$  m)

$$j(\alpha) = 4 \cdot 0.592 / 20 \cdot \sqrt{(22333.3 \cdot 0.0026 / 8933.32 / 0.00456)} = 0.1414$$

Razdalja dviznih sider od roba nosilca: 3 m

$$\rho = (L - 2 \cdot 3) / L = 0.7 \implies \alpha(j, \rho) = 5.201 \text{ (tabela 3 v [1])}$$

$$v = \sqrt{(1 + 0.518 \cdot \delta^2) - 0.72 \cdot \delta} = 0.9 \quad [\delta = j(\alpha) = 0.1414]$$

$$A_K = E_{cd} \cdot I_y \cdot G_{cd} \cdot I_T \cdot I_x / (I_x - I_y)$$

$$A_K = 22333.3 \cdot 0.0026 \cdot 8933.32 \cdot 0.00456 \cdot 0.05135 / (0.05135 - 0.0026) = 2491.55 \text{ MN}^2\text{m}^2$$

$$q_k = 16 \cdot \sqrt{5.201} \cdot 0.9 \cdot \sqrt{(2491.55) \cdot 1000 / 20^3} = 204.9 \text{ kN/m}$$

Pogoj  $\gamma_G \cdot G = 1.35 \cdot 18.76 = 25.33 < 204.9$  **JE izpolnjen!**



## 9.2 Končno stanje $t=\infty$

### 9.2.1 Pogoji za kontrolo izbočitve:

- $L_{ot}$  = 14.6 m (dolžina tlačnega pasu med podporami),
- $b$  = 0.45 m (širina tlačnega pasu),
- $h$  = 1.5 m (višina nosilca)

$$EC2\ 5.9\ (3):\ L_{ot} < |50| \cdot b / (h/b)^{1/3} \Rightarrow 14.6 < 15.06 \quad \text{in} \quad h < |2.5| \cdot b \Rightarrow 1.5 > 1.125$$

$$DIN\ 1045-1:\ b > ((L_{ot}/50)^3 \cdot h)^{1/4} \Rightarrow 0.45 > 0.44$$

## 10. KONTROLA ZA MEJNO STANJE NOSILNOSTI

Beton: C40/50

$$f_{ck} = 40\ \text{MPa}$$

$$f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha / \gamma_c = 40 \cdot 1 / 1.5$$

$$= 26.67\ \text{MPa}$$

Jeklo za prednapenjanje: St 1570/1770

$$f_{pk} = 1770\ \text{MPa}$$

$$f_{pd} = 0.9 \cdot f_{pk} / \gamma_s = 0.9 \cdot 1770 / 1.15$$

$$= 1385,22\ \text{MPa}$$

$$\epsilon_{pm} = \sigma_{pm} / E_p = 1022.47 / 200000$$

$$= 5.11\ ‰$$

$$\Delta\epsilon_p = \epsilon_{p0.1k} - r_{inf} \cdot \epsilon_{pm} = 7.5 - 0.9 \cdot 5.11$$

$$= 2.9\ ‰$$

$$\text{Faktor povečanja vpliva } N_{M_{p00}} = f_{pd} / f_{p000} = 1385,22 / 1022.47$$

$$= 1.35$$

Armatura: S400/500

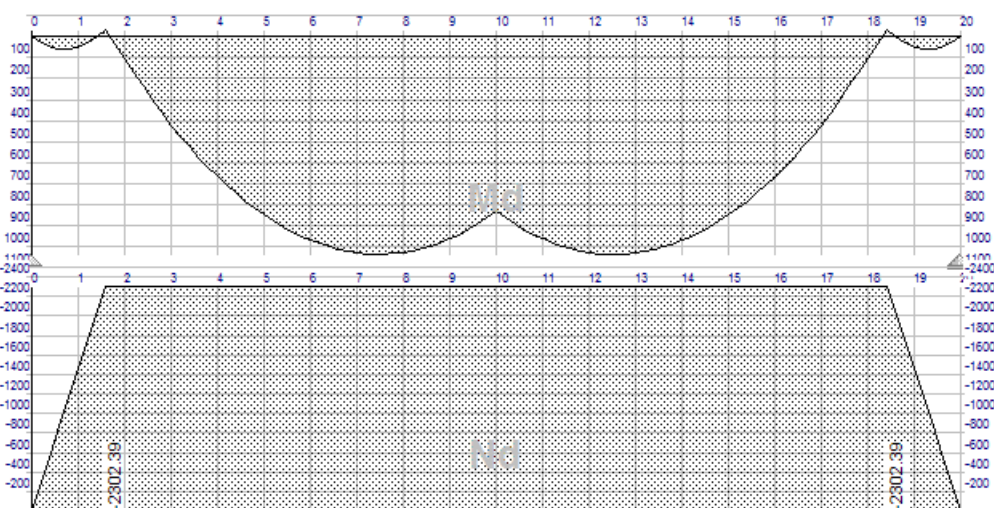
$$f_{yk} = 400\ \text{MPa}$$

$$f_{yd} = \text{Min}(f_{yk} \cdot E_s \cdot \epsilon_s) / \gamma_s = \text{Min}(400, 200 \cdot 3.14) / 1.15$$

$$= 347.83\ \text{MPa}$$

Zaščitni sloj betona do težišča armature: spodaj 3 cm, zgoraj 3 cm

### 10.1 Dimenzioniranje za končno stanje $t=\infty$



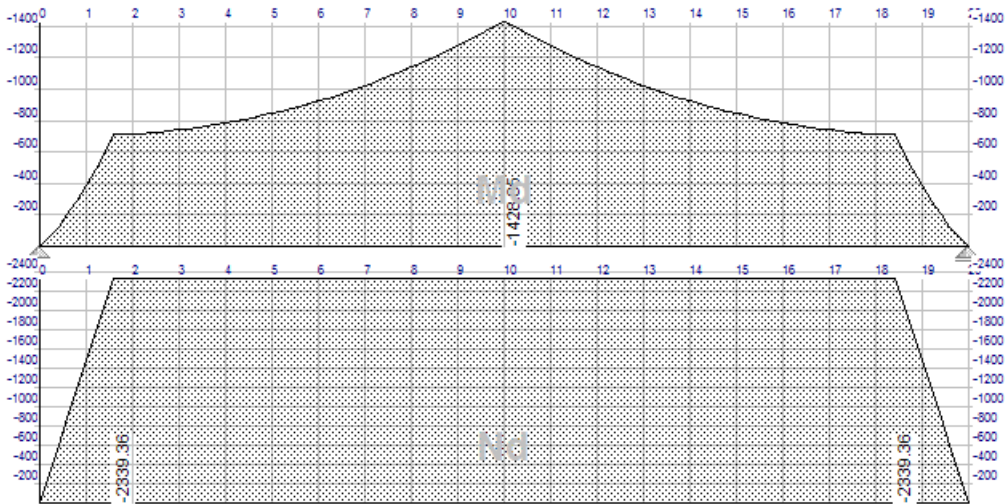
Natezna armatura ni potrebna.

### 10.2 Kontrola za začetno stanje - lastna teža + P v $t=0$

$$\gamma_G = 1, \gamma_p = 1, r_{sup} = 1,1, f_{yd} = 347.83\ \text{MPa}$$

$$N_{Ed} = -\gamma_p \cdot r_{sup} \cdot P_{m0}$$

$$M_{Ed} = M_G \cdot \gamma_G - r_{sup} \cdot M_p \cdot \gamma_p$$



Natezna armatura ni potrebna.

## 11. KONTROLA STRIGA - EC2(6.2)

### 11.1 Dimenzioniranje vertikalne strižne armature

$V_{Rd,c} \geq V_{Ed}$  - ni potrebna

$V_{Rd} = \min(V_{Rd,s}, V_{Rd,max}) \geq V_{Ed}$

$V_{Rd,c}$  - strižna nosilnost bet.prereza brez strižne armature

$V_{Rd,s}$  - strižna nosilnost strižne armature

$V_{Rd,max}$  - nosilnost tlačnih diagonal-45°

$V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$

$f_{ck} = 40 \text{ MPa} - \text{C40/50}$

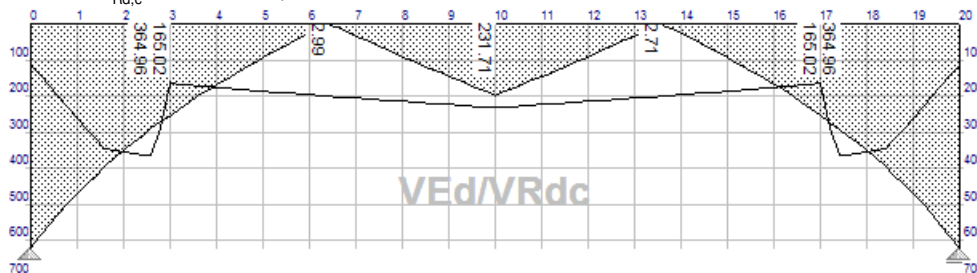
$k = 1 + (200/d)^{1/2} \leq 2.0$

$V_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0.2 f_{cd}$

$N_{Ed} = r_{inf} \cdot \gamma_p \cdot \sigma_{pm,t} \cdot A_p$

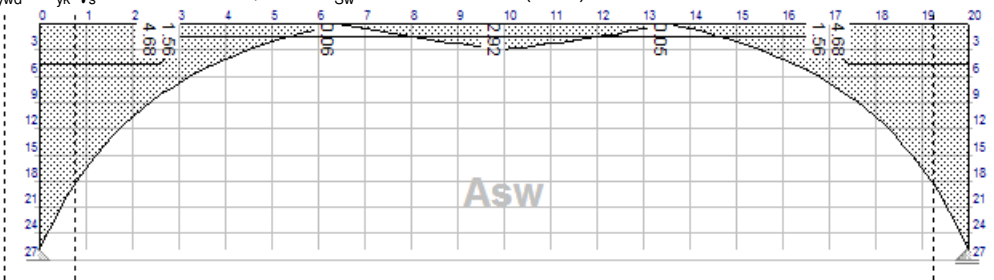
Maksimalna  $V_{Rd,c} = 364.96 \text{ kN}$ ,  $L=260 \text{ cm}$



Maksimalna  $V_{Ed} = 621.06 \text{ kN}$ ,  $L=2000 \text{ cm}$

$A_{sw} = V_{Ed} / (b_w \cdot 0.9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot \cot\theta) / m$

$f_{ywd} = f_{yk} / \gamma_s = 347.83 \text{ MPa}$ ,  $\max A_{sw} = 25.77 \text{ cm}^2/m$  ( $m=1$ )



Minimalna  $A_{sw} = 1.56 \text{ cm}^2/m$ , pri -----  $A_{swL} = 19.44$ ,  $A_{swD} = 19.46$

### 11.2 Kontrola tlačnih diagonal v betonu - maksimalna nosilnost

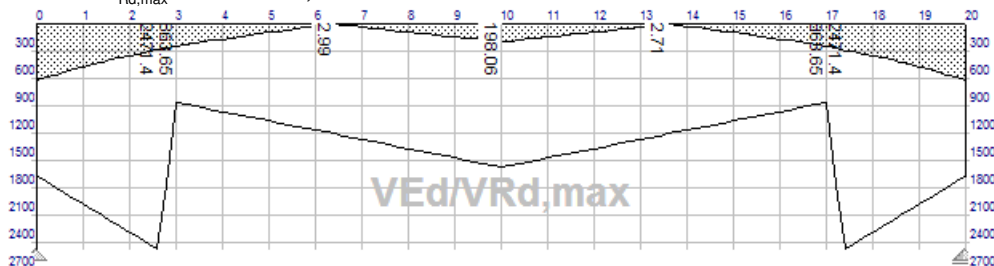
$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot 0.9 \cdot d \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$v = 0.6 \cdot (1 - f_{ck}/250)$$

$$= 0.6 \cdot (1 - 40/250) = 0.504$$

$$\alpha_{cw} = 1, \theta = 45^\circ$$

Maksimalna  $V_{Rd,max} = 2471.4 \text{ kN}$ ,  $L=260 \text{ cm}$



Maksimalni razmak med stremeni  $s_{max} = 30 \text{ cm}$ , EC2 9.2.2 (6)

## 12. SIDRANJE ARMATURE

### 12.1 Mejne napetosti za dobro oprijemljivost:

A - za glatke palice:  $f_{db} = f_{ck}^{1/2} \cdot 0.36 / \gamma_c = 1.52 \text{ MPa}$

B - palice visoke oprijemljivosti:  $f_{db} = f_{ctk0.05} \cdot 2.25 / \gamma_c = 3.67 \text{ MPa}$

Mejne napetosti za slabo oprijemljivost - zgornje vrednosti se pomnožijo z **0.7**

### 12.2 Osnovne dolžine sidranja: $l_b = \phi / 4 \cdot f_{yd} / f_{bd}$

	A	B
dobro: $l_b = \phi$	57.21	23.69
slabo: $l_b = \phi$	81.73	33.85

### 12.3 Potrebne dolžine sidranja: $l_{b,net} = \alpha_a \cdot l_b \cdot (A_{s,req} / A_{s,prov}) \geq l_{b,min}$

$A_{s,req}$  - potrebna armatura,

$l_{b,min}$  natezna =  $0.3 \cdot l_b \geq (10\phi \text{ ali } 100\text{mm})$ ,

$\alpha_a = 1$  - za ravne palice,

$A_{s,prov}$  - dejanska armatura

$l_{b,min}$  tlačna =  $0.6 \cdot l_b \geq (10\phi \text{ ali } 100\text{mm})$

$\alpha_a = 0.7$  - za ukrivljene palice