



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

NÁVRH DESKOVÉHO MOSTU

DESIGN OF A SLAB BRIDGE

P3 - STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondrej Stehlík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radim Nečas, Ph.D.

BRNO 2023

Obsah

| | |
|--|----|
| 1 MATERIÁL | 5 |
| 1.1 Betón | 5 |
| 1.2 Predpínacia výstuž | 5 |
| 1.3 Betonárska výstuž | 5 |
| 2 GEOMETRIA | 6 |
| 3 VÝPOČTOVÝ MODEL | 7 |
| 4 ZAŤAŽENIE – ROČNÝ VÝPOČET | 9 |
| 4.1 Stále zaťaženie | 9 |
| 4.1.1 Vlastná tiaž | 9 |
| 4.1.2 Ostatné stále | 9 |
| 4.2 Premenné zaťaženie | 10 |
| 4.2.1 LM1 – Tandem systém..... | 10 |
| 4.2.2 LM1 – Plošné zaťaženie UDL | 14 |
| 4.2.3 LM3 – Zvláštne vozidlo 1800/200..... | 17 |
| 5 ZAŤAŽENIE – VÝPOČET POMOCOUCIA ENGINEER..... | 20 |
| 5.1 Stále zaťaženie | 20 |
| 5.1.1 Vlastná tiaž | 20 |
| 5.1.2 Ostatné stále | 20 |
| 5.2 Premenné zaťaženie | 22 |
| 5.2.1 LM1 – Tandem systém..... | 22 |
| 5.2.2 LM1 – Plošné zaťaženie UDL | 24 |
| 5.2.3 LM3 – Zvláštne vozidlo 1800/200..... | 27 |
| 6 POROVNANIE MOMENTOV | 30 |
| 7 KOMBINÁCIE..... | 31 |
| 7.1 Medzný stav použiteľnosti | 31 |

| | |
|---|----|
| 7.1.1 Zostava gr1a | 31 |
| 7.1.2 Zostava gr5 | 31 |
| 7.2 Medzný stav únosnosti | 32 |
| 7.2.1 Zostava gr1a | 32 |
| 7.2.2 Zostava gr5 | 32 |
| 7.3 Grafické znázornenie návrhových momentov | 33 |
| 8 NÁVRH PREDPÄTIA | 36 |
| 8.1 Napätie vo výstuži | 36 |
| 8.2 Krytie predpínacej výstuže | 36 |
| 8.3 Návrh predpínacej sily | 36 |
| 8.4 Navrhnutá prepínacia sila | 40 |
| 9 ZMENY PREDPÄTIA | 41 |
| 9.1 Krátkodobé straty | 41 |
| 9.1.1 Straty trením | 41 |
| 9.1.2 Straty poklzm | 41 |
| 9.1.3 Straty krátkodobou relaxáciou | 41 |
| 9.1.4 Straty postupným napínaním | 43 |
| 9.2 Dlhodobé straty | 43 |
| 9.2.1 Straty zmršťovaním | 43 |
| 9.2.2 Straty vplyvom priťaženia g_1 v t_g | 43 |
| 9.2.3 Straty dotvarovaním betónu | 45 |
| 9.2.4 Straty relaxáciou | 45 |
| 9.2.5 Straty vplyvom q v t_q | 46 |
| 9.3 Predpínacia sila v čase t_0 | 46 |
| 9.4 Predpínacia sila v čase t_∞ | 47 |
| 10 MEDZNÝ STAV POUŽITEĽNOSTI | 48 |
| 10.1 Obmedzenie napätia | 49 |
| 10.2 Obmedzenie priehybu | 53 |

| | |
|--|----|
| 11 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI..... | 55 |
| 11.1 Krytie betonárskej výstuže | 55 |
| 11.2 Pozdĺžny smer | 56 |
| 11.3 Priečny smer | 60 |
| 11.3.1 Spodná ohybová výstuž..... | 60 |
| 11.3.2 Horná ohybová výstuž..... | 62 |
| 11.4 Posúdenie na šmyk | 62 |
| 11.4.1 Rozhodnutie o vzniku trhlín | 64 |
| 11.4.2 Oblasť bez trhlín..... | 65 |
| 11.4.3 Oblasť s trhlinami | 65 |
| 12 KOTEVNÁ OBLASŤ | 67 |
| 12.1 Betón v sústrednom tlaku | 67 |
| 12.2 Oblasť 1 – pod každou kotvou | 68 |
| 12.3 Oblasť 2 – v povrchu čela | 69 |
| 12.4 Oblasť 3 – celková oblasť | 69 |
| Zoznam tabuliek | 70 |
| Zoznam obrázkov | 71 |

1 MATERIÁL

1.1 Betón

Trieda betónu C 35/45

Charakteristická pevnosť v tlaku:

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

Súčiniteľ spoľahlivosti:

$$\gamma_c = 1.5$$

Súčiniteľ účinkov tlakového zaťaženia :

$$\alpha_{cc} = 0.9$$

Súčiniteľ účinkov ťahového zaťaženia:

$$\alpha_{ct} = 1.0$$

Stredná hodnota pevnosti v tlaku:

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

5% kvantil pevnosti v ťahu:

$$f_{ctk0,05} = 2.2 \text{ MPa}$$

Medzné pretvorenie:

$$\varepsilon_{cu3} = 0.0035\%$$

Modul pružnosti:

$$E_c = 35 \text{ GPa}$$

$$\text{Návrhová pevnosť v tlaku: } f_{cd} = \alpha_{cc} * \left(\frac{f_{ck}}{\gamma_c} \right) = 0.9 * \left(\frac{35 \text{ MPa}}{1.5} \right) = 21 \text{ MPa}$$

$$\text{Návrhová pevnosť v ťahu: } f_{ctd} = \alpha_{ct} * \left(\frac{f_{ctk0,05}}{\gamma_c} \right) = 1 * \left(\frac{2.2 \text{ MPa}}{1.5} \right) = 1.467 \text{ MPa}$$

1.2 Predpínacia výstuž Y1771 S7 - 15,7

Charakteristická pevnosť v tlaku:

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

Charakteristické zmluvné napätie:

$$f_{p0,1k} = 1560 \text{ MPa}$$

Súčiniteľ spoľahlivosti:

$$\gamma_s = 1.15$$

Modul pružnosti:

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

Priemer lana:

$$\varnothing_p = 15.7 \text{ mm}$$

Plocha lana:

$$A_p = 150 \text{ mm}^2$$

Priemer kanáliku:

$$\varnothing_{duct} = 65 \text{ mm}$$

$$\text{Návrhová pevnosť v ťahu } f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1560 \text{ MPa}}{1.15} = 1356.522 \text{ MPa}$$

1.3 Betonárska výstuž B500B

Charakteristická pevnosť:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

Súčiniteľ spoľahlivosti:

$$\gamma_s = 1.15$$

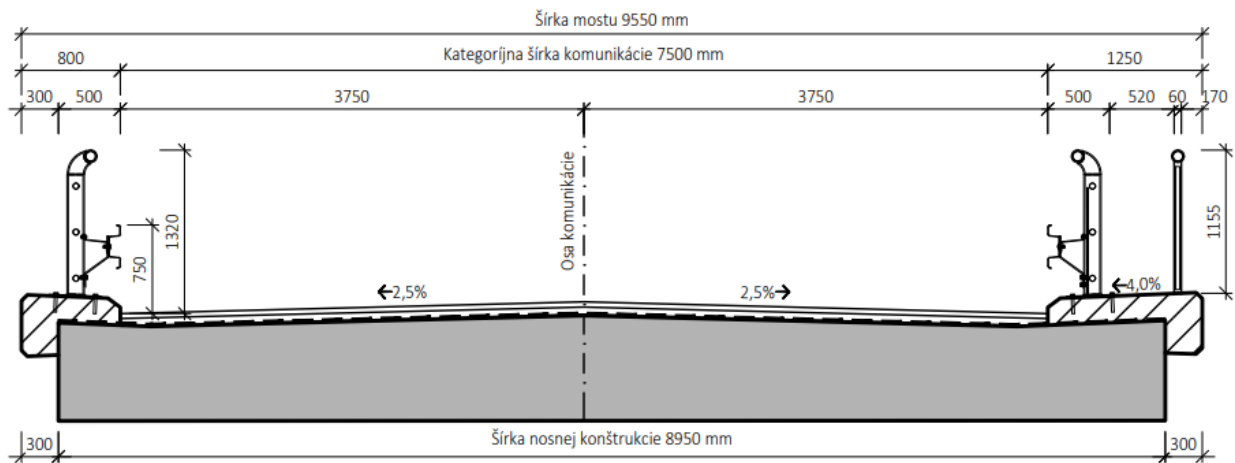
Modul pružnosti:

$$E_s = 200 \text{ MPa}$$

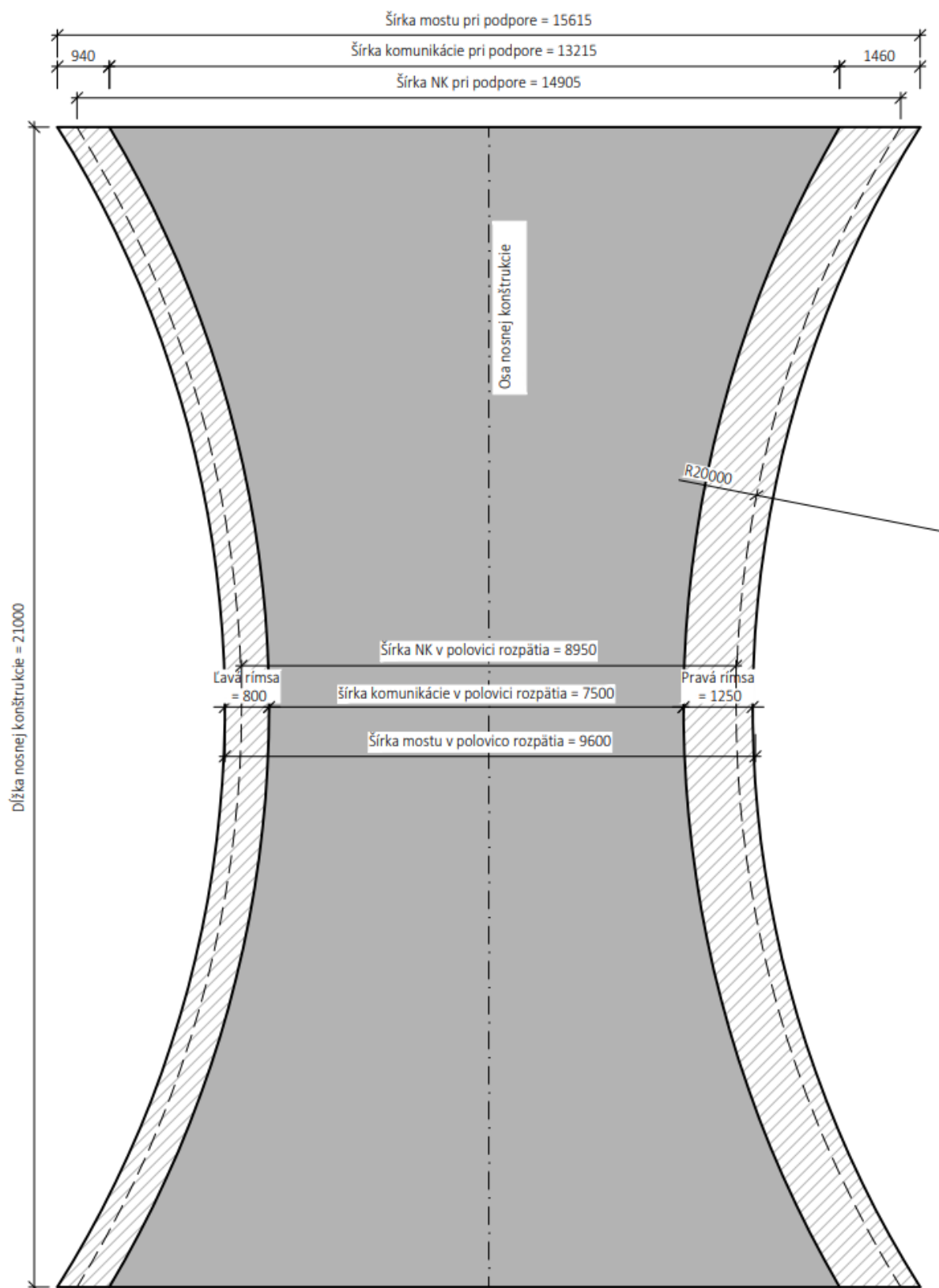
$$\text{Návrhová pevnosť v ťahu: } f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$$

2 GEOMETRIA

- Rozpätie: $L = 21 \text{ m}$
- Hrúbka: $h = 0.85$
- Priemerná hrúbka: $h_d = 0.8 \text{ m}$
- polomer zakryvenia: $r = 20 \text{ m}$



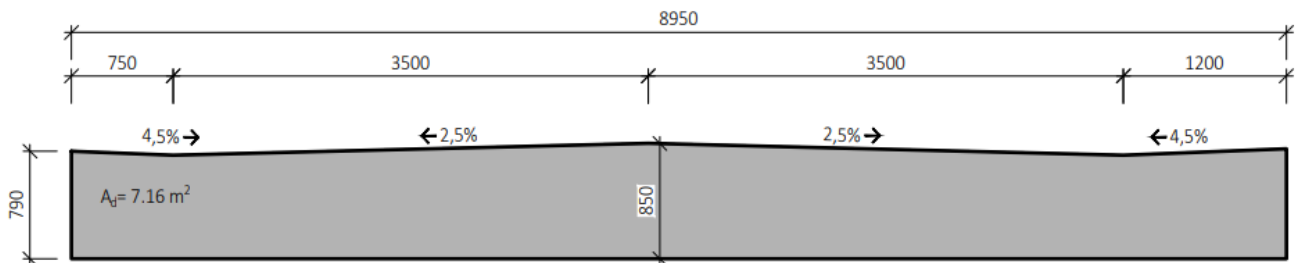
Obr. 1 - Šírkové usporiadanie komunikácie



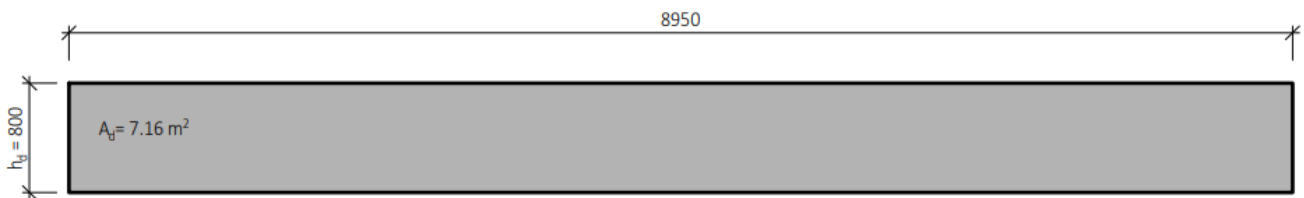
Obr. 2 - Pôdorys mostnej konštrukcie

3 VÝPOČTOVÝ MODEL

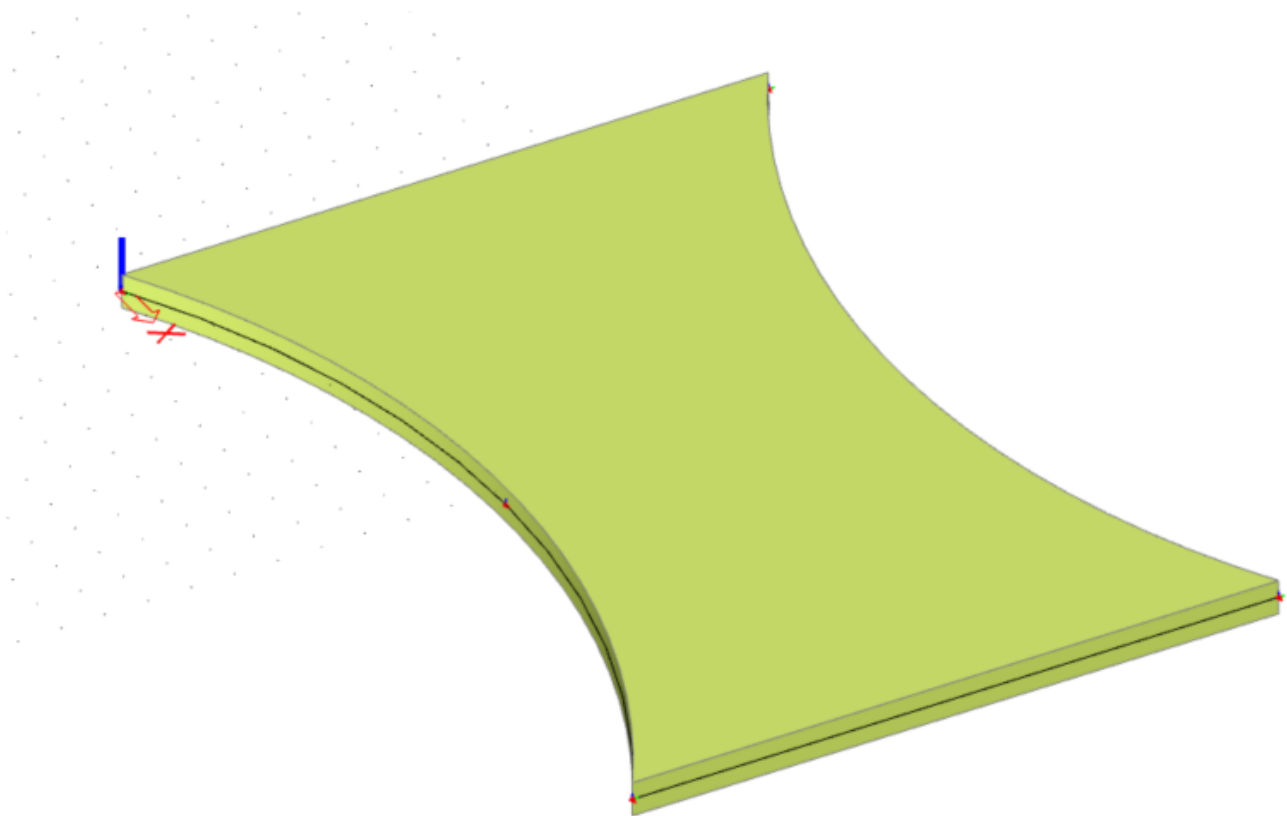
- Analyzované pomocou scia engineer
- Model prevedený na konštantnú hrúbku $h_d = 0.8$ m, aby bola dodržaná plocha $A_d = 7.16 \text{ m}^2$ na priereze v polovici rozpätia
- Previslé konce za teoretickou podporou sú zanedbané
- Podoprenie je na každom konci v päťtinách šírky dosky (6x na každej strane)



Obr. 3 - Skutočný prierez v polovici rozpätia



Obr. 4 - Zjednodušený prierez v polovici rozpätia



Obr. 5 - Axonometrický pohľad na výpočtový model

4 ZAŤAŽENIE - RUČNY VÝPOČET

Zaťaženie bolo v ručnom výpočte uvažované na 1mb stredovej šírky dosky

4.1 STÁLE ZAŤAŽENIE

4.1.1 Vlastá tiaž betónovej dosky

pôdorysná plocha: $A_{pôd} = 228.315 \text{ m}^2$

hrúbka konštrukcie: $h_d = 0.8 \text{ m}$

objemová hmotnosť železobetónu: $g_{zb} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$

- vypočítaná vlastná tiaž:

$$G_0 = A_{pôd} * h_d * g_{zb} = 228.315 \text{ m}^2 * 0.8 \text{ m} * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 4566.3 \text{ kN}$$

- Vlastná tiaž vygenerovaná pomocou scia engenner

$$G_{0scia} = 4567.23 \text{ kN}$$

- Moment od vlastnej tiaže:

$$M_{g0,k,scia} = 1287.60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4.1.2 OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE

Vozovka:

- Aco hrúbky 0.04m

$$g_{Aco} = 0.3 \text{ m}^2 * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Ochranná vrstva hrúbky 0.06m

$$g_{\text{Ochranná vrstva}} = 0.45 \text{ m}^2 * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 10.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Izolácia hrúbky 0.01m

$$g_{\text{izolácia}} = 0.075 \text{ m}^2 * 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$g_{\text{voz}} = g_{Aco} + g_{\text{Ochranná vrstva}} + g_{\text{izolácia}} = 7.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 10.8 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 18.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Rímsy:

- Pravá železobetónová rímsa

$$\text{plocha pravej rímsy: } A_{rp1} = 0.344 \text{ m}^2$$

$$g_{rp} = A_{rp1} * g_{zb} = 0.344 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 8.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Ľavá železobetónová rímsa

$$\text{plocha ľavej rímsy: } A_{rl1} = 0.247 \text{ m}^2$$

$$g_{rl} = A_{rl1} * g_{zb} = 0.247 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 6.175 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Zvodidlá a zábradlie:

- Zvodidlo

$$g_{\text{Zvodidlo}} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Zábradlie

$$g_{\text{Zábradlie}} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Zataženie na pravú rímsu od zvodidla a zábradlia

$$g_{\text{ZZp}} = (g_{\text{Zvodidlo}} + g_{\text{Zábradlie}}) = \left(1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \right) = 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Zataženie na ľavú rímsu od zvodidla

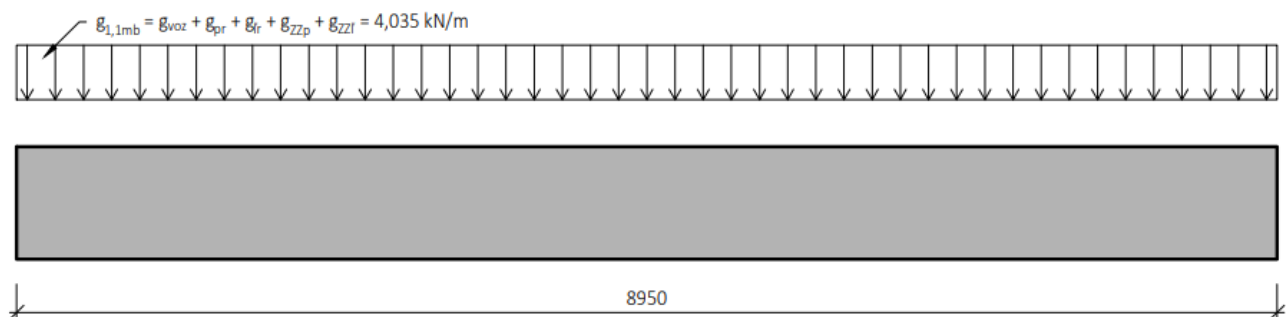
$$g_{\text{ZZl}} = g_{\text{Zvodidlo}} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

ostatné stále zaťaženie na 1mb

$$b = 1 \text{ m}$$

$$g_{1,1\text{mb}} = \frac{g_{\text{voz}} + g_{\text{rp}} + g_{\text{rl}} + g_{\text{ZZp}} + g_{\text{ZZl}}}{8.95} = \frac{18.825 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 8.61 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 6.175 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{8.95} = 4.035 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$M_{g1,k} = 1/8 * g_{1,1\text{mb}} * L^2 = 0.125 * 4.035 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 21 \text{ m}^2 = 222.409 \text{ m} * \text{kN} = 222.409 \text{ kN} * \text{m}$$



Obr. 6 - Ostatné stále zaťaženie na prútovom modeli

4.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE

Regulačné súčinitele α_i sú uvažované pre komunikácie skupiny 1

| α_{Q1} | α_{Q2} | α_{Q3} | α_{q1} | α_{q2} | $\alpha_{qi(i>2)}$ a α_{qr} |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------------------|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 2,4 | 1,2 |

Tab. 1 - Regulačné súčinitele

4.2.1 LM1 tandem systém - ručný výpočet

Roznos pod uhlom 45° po ťahaný okraj, spolupôsobiaci šírka k pripočítaná na každú stranu

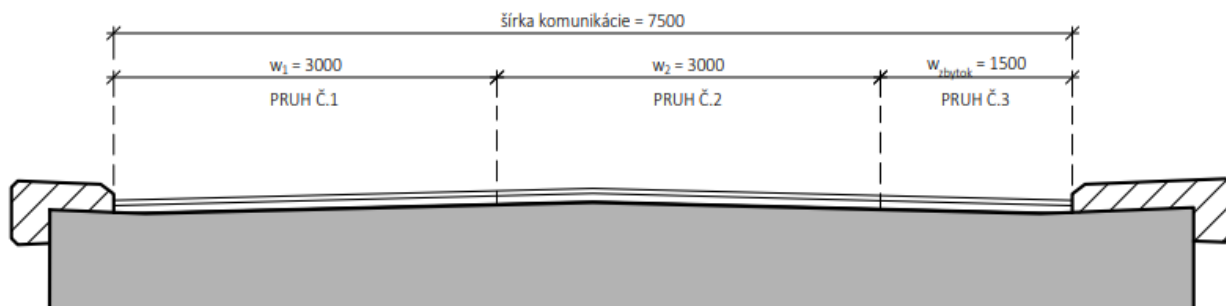
- **Usporiadanie do pruhov**

$w_{\text{kom}} = 7.5 \text{ m}$ - šírka komunikácie v polovici rozpätia mostu

$n_{\text{pruh}} = 2$ - počet pruhov

$w_{\text{pruh}} = 3 \text{ m}$ - šírka jedného pruhu

$w_{\text{zbytok}} = w_{\text{kom}} - n_{\text{pruh}} * w_{\text{pruh}} = 7.5 \text{ m} - 2 * 3 \text{ m} = 1.5 \text{ m}$



Obr. 7 - Rozdelenie do zaťažovacích pruhov

- **Pruh č. 1:**

umiestnený pri ľavej (kratšej) rímse, bližšie ku okraju nosnej konštrukcie

maximálna spolupôsobiaci dĺžka: $k = \frac{L}{6} = 3.5 \text{ m}$

normové zaťaženie na nápravu: $Q_{1,k} = 300 \text{ kN}$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{Q,1} = 1.0$

zaťaženie na nápravu: $Q_1 = \alpha_{Q,1} * Q_{1,k} = 1 * 300 \text{ kN} = 300 \text{ kN}$

roznos v priečnom smere: $b_{s1} = 7.615 \text{ m}$

roznos v pozdĺžnom smere: $l_{s1} = 1.71 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu pruhu 1:

$$q_{TS1k} = \frac{Q_1}{b_{s1} * l_{s1}} = \frac{300 \text{ kN}}{7.615 \text{ m} * 1.71 \text{ m}} = 23.039 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **Reakcia v podpore:**

$$R_{TS,1} = b * l_{s1} * q_{TS1k} = 1 \text{ m} * 1.71 \text{ m} * 23.039 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 39.396 \text{ kN}$$

- **Moment od tandem systému v pruhu 1:**

$$\begin{aligned} M_{TS1,k} &= R_{TS,1} * \left(\frac{L}{2} \right) - R_{TS,1} * \left(\frac{l_{s1}}{2} \right) \\ &= 39.396 \text{ kN} * \left(\frac{21 \text{ m}}{2} \right) - 39.396 \text{ kN} * \left(\frac{1.71 \text{ m}}{2} \right) = 379.974 \text{ kN} * \text{m} \\ M_{TS1,k} &= 379.974 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

- **Pruh č.2:**

maximálna spolupôsobiaci dĺžka: $k = 3.5 \text{ m}$

normové zaťaženie na nápravu: $Q_{2,k} = 200 \text{ kN}$

regulačný súčiniteľ $\alpha_{Q,2} = 1.0$

zťaženie na nápravu $Q_2 = \alpha_{Q,2} * Q_{2,k} = 1 * 200 \text{ kN} = 200 \text{ kN}$

roznos v priečnom smere $b_{s2} = 8.95 \text{ m}$

roznos v pozdĺžnom smere $l_{s2} = 1.71 \text{ m}$

ekvivalentné zťaženie na roznosovú plochu pruhu 2

$$q_{TS2k} = \frac{Q_2}{b_{s2} * l_{s2}} = \frac{200 \text{ kN}}{8.95 \text{ m} * 1.71 \text{ m}} = 13.068 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Reakcia v podpore:

$$R_{TS,2} = b * l_{s2} * q_{TS2k} = 1 \text{ m} * 1.71 \text{ m} * 13.068 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 22.346 \text{ kN}$$

- Moment od tandem systému v pruhu 2:

$$\begin{aligned} M_{TS2,k} &= R_{TS,2} * \left(\frac{L}{2} \right) - R_{TS,2} * \left(\frac{l_{s2}}{2} \right) \\ &= 22.346 \text{ kN} * \left(\frac{21 \text{ m}}{2} \right) - 22.346 \text{ kN} * \left(\frac{1.71 \text{ m}}{2} \right) = 215.531 \text{ kN} * \text{m} \\ M_{TS2,k} &= 215.531 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

- **Súčet momentov od obidvoch zťažovacích pruhov**

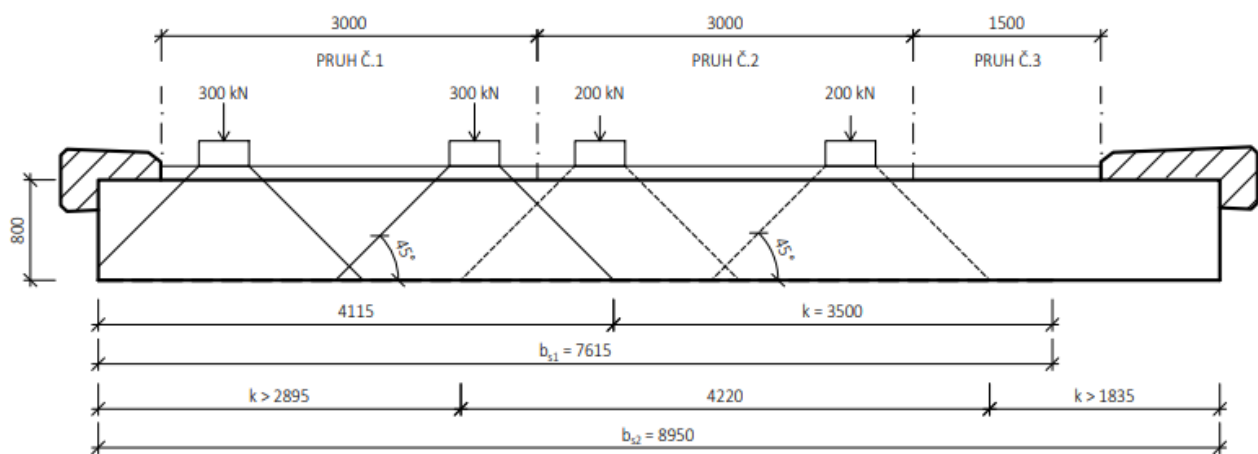
prekrývanie roznosových plôch: $c = 7.615 \text{ m}$

$$\begin{aligned} M_{TS,1,2} &= M_{TS1,k} + M_{TS2,k} * \left(\frac{c}{2 * b_{s1} - c} \right) \\ &= 379.974 \text{ kN} * \text{m} + 215.531 \text{ kN} * \text{m} * \left(\frac{7.615 \text{ m}}{2 * 7.615 \text{ m} - 7.615 \text{ m}} \right) = 595.504 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

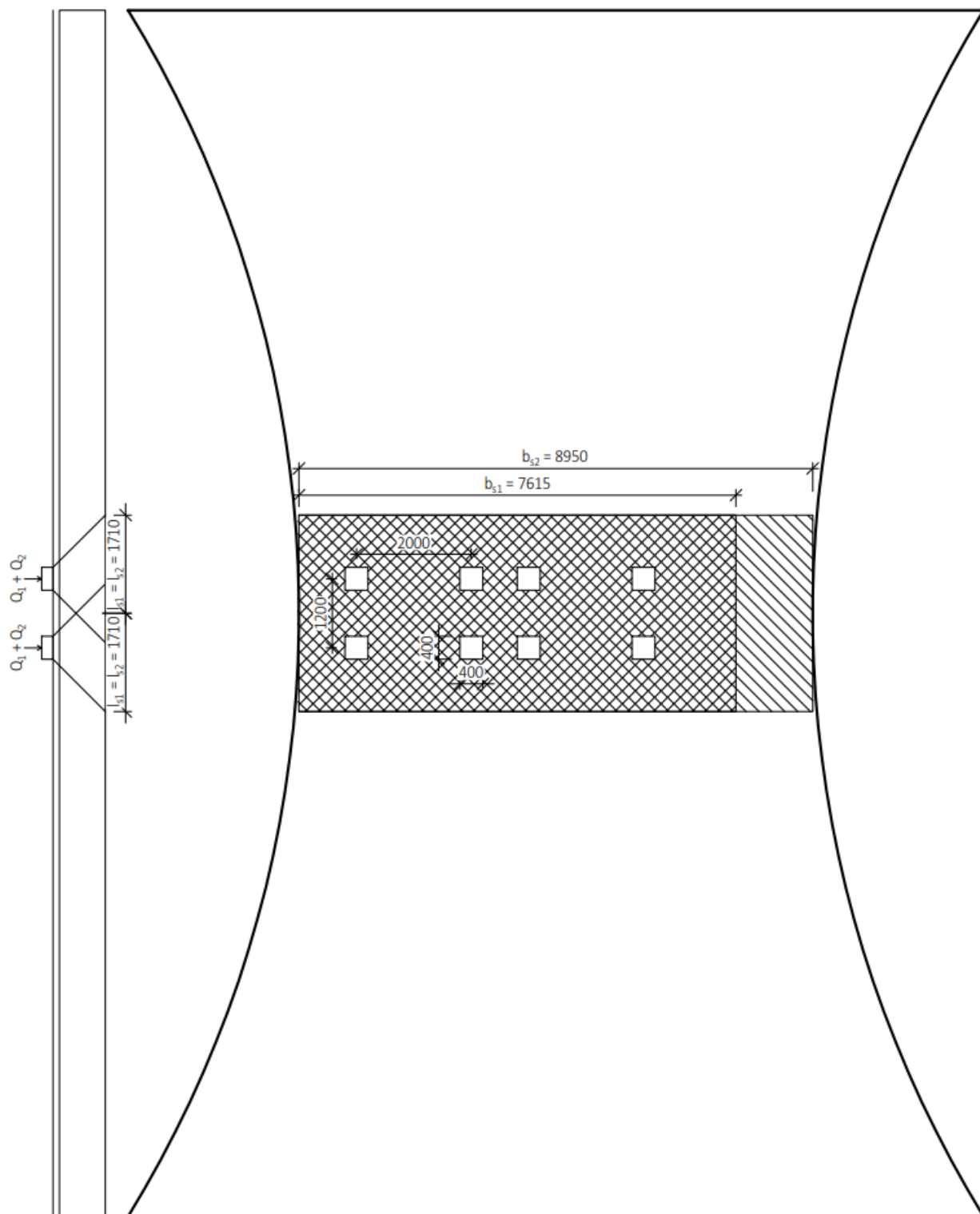
$$\begin{aligned} M_{TS,2,1} &= M_{TS2,k} + M_{TS1,k} * \left(\frac{c}{2 * b_{s2} - c} \right) \\ &= 215.531 \text{ kN} * \text{m} + 379.974 \text{ kN} * \text{m} * \left(\frac{7.615 \text{ m}}{2 * 8.95 \text{ m} - 7.615 \text{ m}} \right) = 496.863 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{TS,k} &= \text{Max}(M_{TS,1,2}, M_{TS,2,1}) = \text{Max}(595.504 \text{ kN} * \text{m}, 496.863 \text{ kN} * \text{m}) \\ &= 595.504 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

$$M_{TS,k} = 595.504 \text{ kN} * \text{m}$$



Obr. 8 - Roznos zaťaženia tandem systému na prúťovom modeli



Obr. 9 - Pôdorys roznosu zaťaženia tandem systému na prúťovom modeli

4.2.2 LM1 - plošné zaťaženie UDL - ručný výpočet

Roznos pod uhlom 90° po ťahaný okraj, presah k pripočítaný na každú stranu

- **Pruh č.1**

$$\text{normové zaťaženie: } q_{1k} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{q,1} = 1.0$

plošné zaťaženie: $q_1 = \alpha_{q,1} * q_{1k} = 1 * 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

šírka pruhu: $b_{p1} = 3 \text{ m}$

roznos v priečnom smere: $b_{rozn1} = 7.0 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu:

$$q_{UDL1k} = \frac{q_1 * b_{p1}}{b_{rozn1}} = \frac{9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m}}{7 \text{ m}} = 3.857 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

moment od UDL v pruhu1:

$$M_{UDL,1,k} = 1/8 * q_{UDL1k} * L^2 * b = 0.125 * 3.857 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 21 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} \\ = 212.625 \text{ kN} * \text{m}$$

- **Pruh č.2**

normové zaťaženie: $q_{2,k} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{q,2} = 2.4$

plošné zaťaženie: $q_2 = \alpha_{q,2} * q_{2,k} = 2.4 * 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

šírka pruhu: $b_{p2} = 3 \text{ m}$

roznos v priečnom smere: $b_{rozn2} = 8.95 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu pruhu č.2:

$$q_{UDL2k} = \frac{q_2 * b_{p2}}{b_{rozn2}} = 2.011 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

moment od UDL v pruhu 2:

$$M_{UDL,2,k} = 1/8 * q_{UDL2k} * L^2 * b = 0.125 * 2.011 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 21 \text{ m}^2 * 1 \text{ m} \\ = 110.866 \text{ kN} * \text{m}$$

- **Pruh č.3 - zvyšok**

normové zaťaženie: $q_{3,k} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{q,3} = 1.2$

plošné zaťaženie: $q_3 = \alpha_{q,3} * q_{3,k} = 1.2 * 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

šírka pruhu: $b_{p3} = 1.5 \text{ m}$

roznos v priečnom smere: $b_{rozn3} = 5.95 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu pruhu č.2:

$$q_{UDL3k} = \frac{q_3 \cdot b_{p3}}{b_{rozn3}} = \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1.5 \text{ m}}{5.95 \text{ m}} = 0.756 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

moment od UDL v pruhu 3:

$$M_{UDL,3,k} = 1/8 \cdot q_{UDL3k} \cdot L^2 \cdot b = 0.125 \cdot 0.756 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 21 \text{ m}^2 \cdot 1 \text{ m} \\ = 41.691 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- **Súčet momentov od všetkých zaťažovacích pruhov:**

$$c_{1,2} = 7.0 \text{ m}$$

$$c_{1,3} = 3.995 \text{ m}$$

$$M_{UDL,12} = M_{UDL,1,k} + M_{UDL,2,k} \cdot \left(\frac{c_{1,2}}{2 \cdot b_{rozn1} - c_{1,2}} \right) \\ = 212.625 \text{ kN} \cdot \text{m} + 110.866 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{7 \text{ m}}{2 \cdot 7 \text{ m} - 7 \text{ m}} \right) = 323.491 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

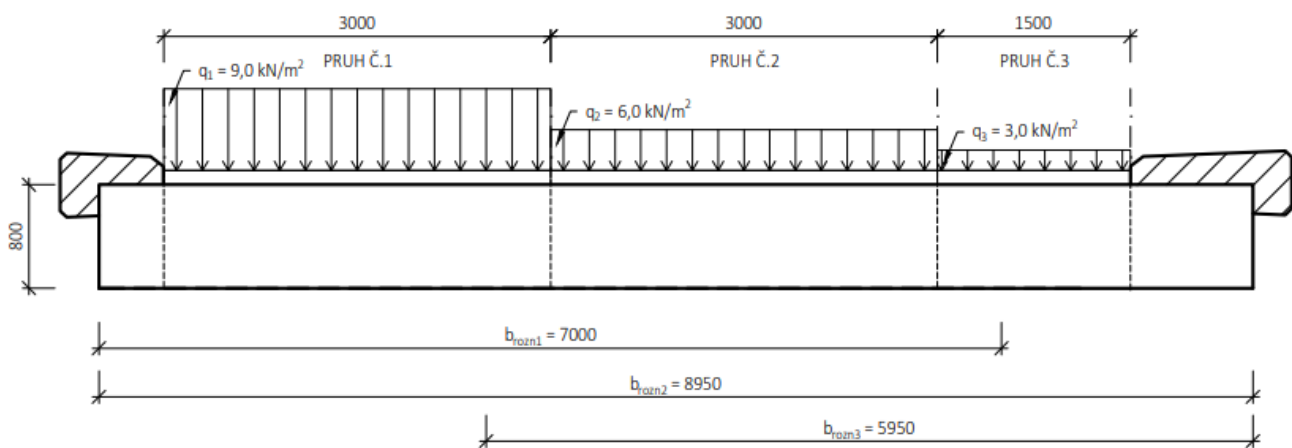
$$M_{UDL,21} = M_{UDL,2,k} + M_{UDL,1,k} \cdot \left(\frac{c_{1,2}}{2 \cdot b_{rozn2} - c_{1,2}} \right) \\ = 110.866 \text{ kN} \cdot \text{m} + 212.625 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{7 \text{ m}}{2 \cdot 8.95 \text{ m} - 7 \text{ m}} \right) = 247.414 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{UDL,13} = M_{UDL,1,k} + M_{UDL,3,k} \cdot \left(\frac{c_{1,3}}{2 \cdot b_{rozn1} - c_{1,3}} \right) \\ = 212.625 \text{ kN} \cdot \text{m} + 41.691 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{3.995 \text{ m}}{2 \cdot 7 \text{ m} - 3.995 \text{ m}} \right) = 229.272 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{UDL,31} = M_{UDL,3,k} + M_{UDL,1,k} \cdot \left(\frac{c_{1,3}}{2 \cdot b_{rozn3} - c_{1,3}} \right) \\ = 41.691 \text{ kN} \cdot \text{m} + 212.625 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot \left(\frac{3.995 \text{ m}}{2 \cdot 5.95 \text{ m} - 3.995 \text{ m}} \right) = 149.147 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{UDL,k} = \text{Max}(M_{UDL,12}, M_{UDL,21}) + \text{Max}(M_{UDL,13}, M_{UDL,31}) - M_{UDL,1,k} \\ = \text{Max}(323.491 \text{ kN} \cdot \text{m}, 247.414 \text{ kN} \cdot \text{m}) + \text{Max}(229.272 \text{ kN} \cdot \text{m}, 149.147 \text{ kN} \cdot \text{m}) - 212.625 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ = 340.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{UDL,k} = 340.138 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Obr. 10 - Roznos zaťaženia UDL na prúťovom modeli

4.2.3 LM3 - zvlášť vozidlo 1800/200

jediné vozidlo na moste, v ideálnej stope $\pm 0.5\text{m}$ - posun ku kratšej rímse

pohyb normálnou rýchlosťou $\leq 70\text{ km/h}$

normové zaťaženie na nápravu: $Q_{LM3,k} = 200\text{ kN}$

dynamický súčiniteľ pre pohyb normálnou rýchlosťou: $\varphi_{LM3} = 1.25$

zaťaženie na nápravu: $Q_{LM3} = \varphi_{LM3} * Q_{LM3,k} = 1.25 * 200\text{ kN} = 250\text{ kN}$

roznos v priečnom smere: $b_{s,LM3} = 8.95\text{ m}$

roznos v pozdĺžnom smere: $l_{LM,3} = 13.97\text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu re LM3:

$$q_{LM,3} = \frac{9 * Q_{LM3}}{b_{s,LM3} * l_{LM,3}} = \frac{9 * 250\text{ kN}}{8.95\text{ m} * 13.97\text{ m}} = 17.995 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

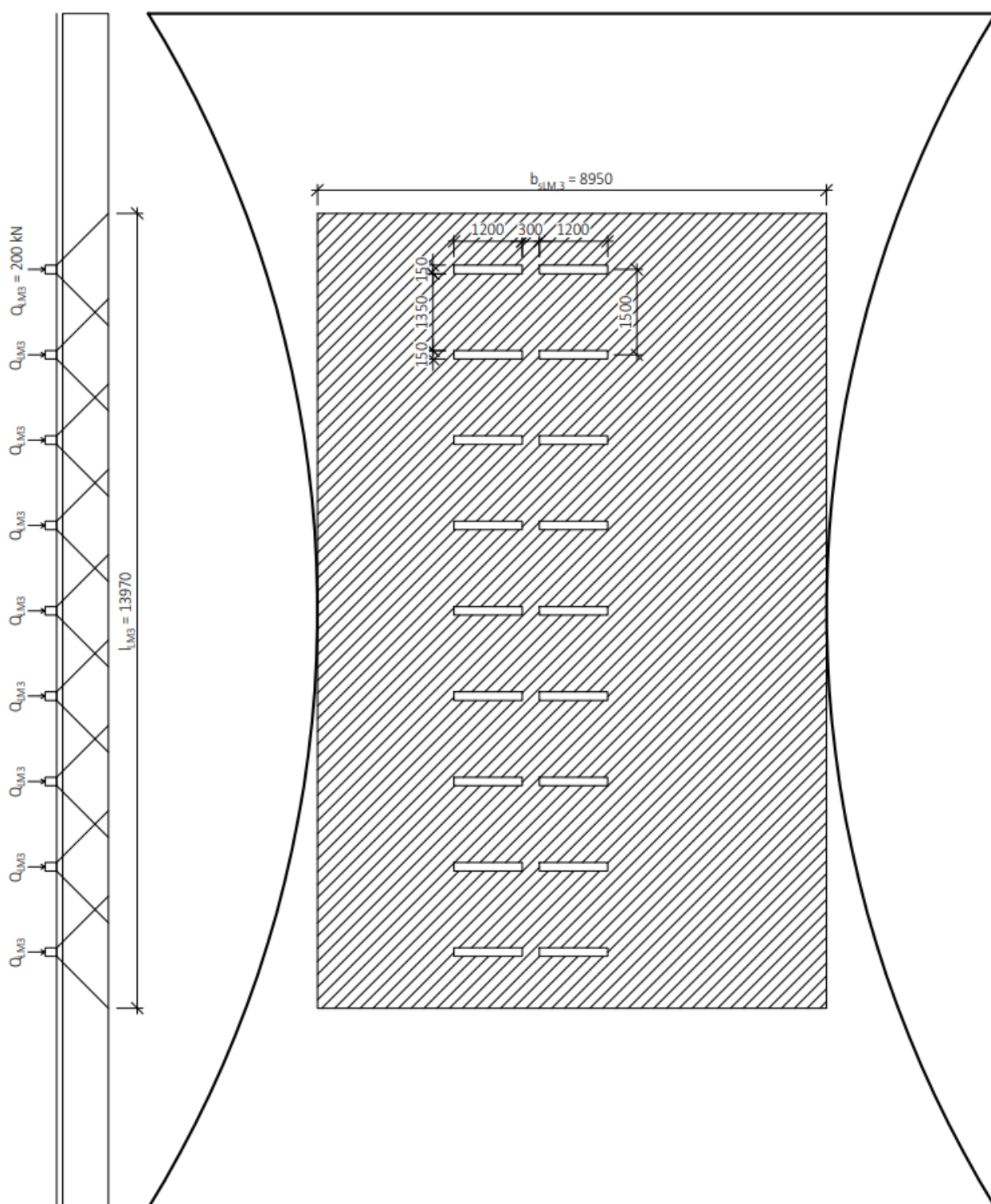
- Reakcia v podpore:

$$R_{LM3} = \left(\frac{l_{LM,3}}{2} \right) * q_{LM,3} * b = \left(\frac{13.97\text{ m}}{2} \right) * 17.995 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1\text{ m} = 125.698\text{ kN}$$

- Moment od LM3:

$$\begin{aligned} M_{LM3,k} &= R_{LM3} * \left(\frac{L}{2} \right) - R_{LM3} * \left(\frac{l_{LM,3}}{2 * 2} \right) \\ &= 125.698\text{ kN} * \left(\frac{21\text{ m}}{2} \right) - 125.698\text{ kN} * \left(\frac{13.97\text{ m}}{2 * 2} \right) = 880.831\text{ kN} * \text{m} \\ M_{LM3,k} &= 880.831\text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$





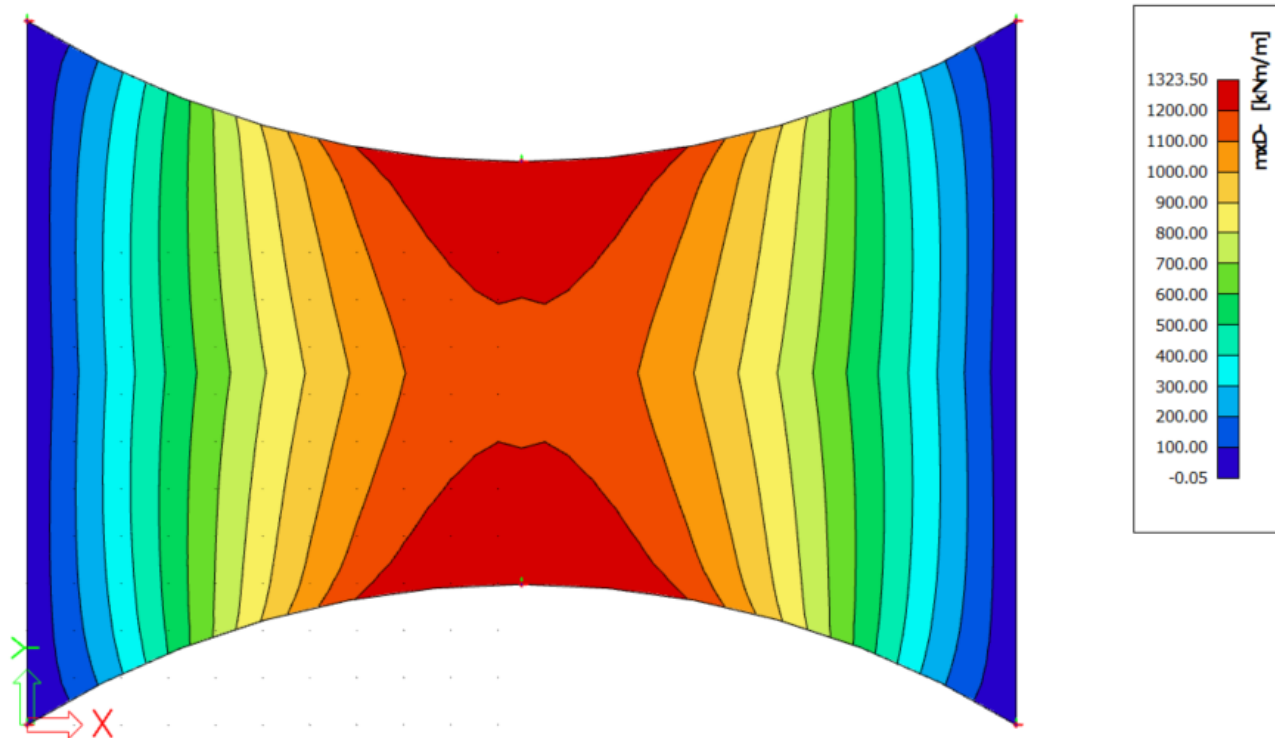
Obr. 12 - Pôdorys roznosu zaťaženia od zvláštného vozidla na prúťovom modeli

5 ZAŤAŽENIE - SCIA 2D DOSKA

5.1 STÁLE ZAŤAŽENIE

5.1.1 Vlastná tiaž - vygenerovaná pomocou scia engineer

$$M_{g0,k,scia} = 1287.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Obr. 13 - Grafické znázornenie momentov od vlastnej tiaže

5.1.2 OSTATNÉ STÁLE ZAŤAŽENIE

Vozovka:

- Aco hrúbky 0.04m

$$g_{Aco1} = 0.04 \text{ m} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Ochranná vrstva hrúbky 0.06m

$$g_{\text{Ochranná vrstva1}} = 0.06 \text{ m} * 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- izolácia hrúbky 0.01m

$$g_{\text{izolácia1}} = 0.01 \text{ m} * 11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 0.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Celkové zaťaženie na vozovku:

$$\begin{aligned} g_{\text{voz1}} &= g_{Aco1} + g_{\text{Ochranná vrstva1}} + g_{\text{izolácia1}} = 0.96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 1.44 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0.11 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\ &= 2.51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \end{aligned}$$

Rímsy:

- Pravá železobetónová rímsa

$$\text{plocha pravej rímsy: } A_{rp1} = 0.3444 \text{ m}^2$$

dĺžka uloženia pravej rímsy na nosnú konštrukciu: $b_{rp} = 0.95 \text{ m}$

$$g_{rp1} = \frac{A_{rp1} * g_{zb}}{b_{rp}} = \frac{0.344 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{0.95 \text{ m}} = 9.063 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **Ľavá železobetónová rímsa**

plocha ľavej rímsy: $A_{rl1} = 0.247 \text{ m}^2$

dĺžka uloženia ľavej rímsy na nosnú konštrukciu: $b_{rl} = 0.5 \text{ m}$

$$g_{rl1} = \frac{A_{rl1} * g_{zb}}{b_{rl}} = \frac{0.247 \text{ m}^2 * 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{0.5 \text{ m}} = 12.35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Zvodidlá a zábradlie:

- Zvodidlo

$$g_{Zvodidlo1} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- Zábradlie

$$g_{Zábradlie1} = 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

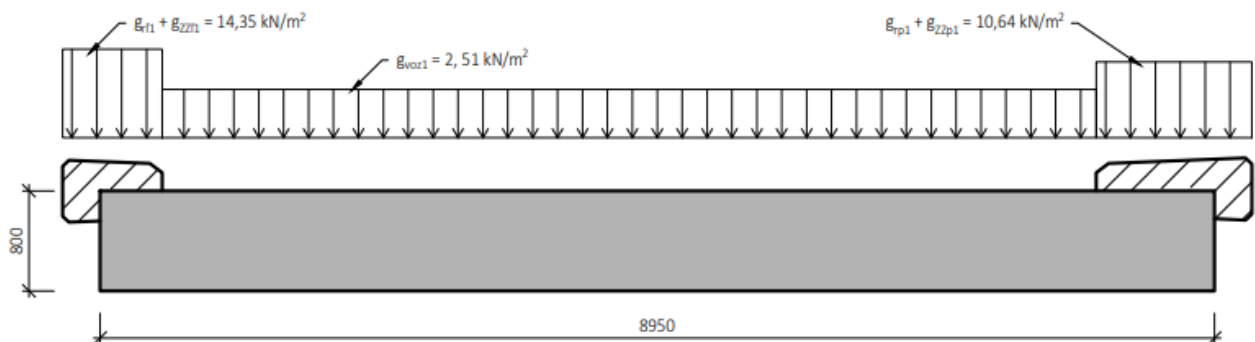
- Zataženie na pravú rímsu od zvodidla a zábradlia

$$g_{ZZp1} = \frac{g_{Zvodidlo1} + g_{Zábradlie1}}{0.95 \text{ m}} = \frac{1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 0.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0.95 \text{ m}} = 1.579 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

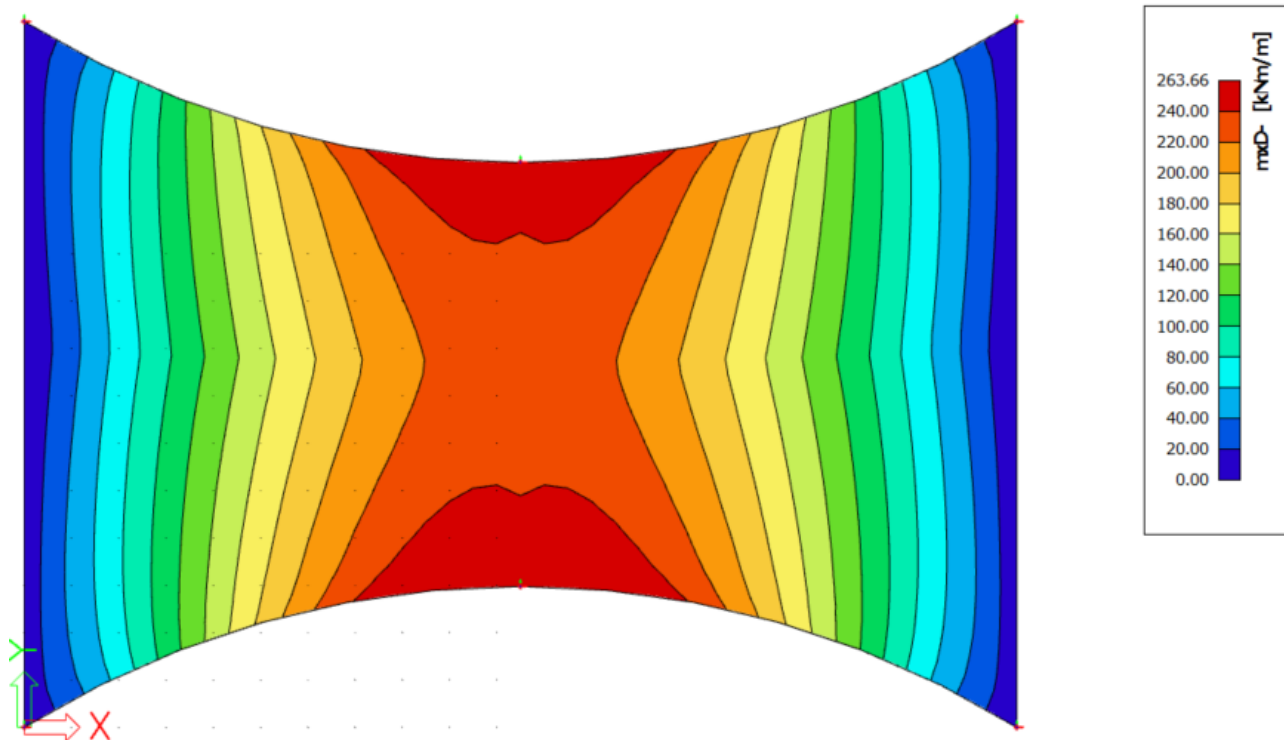
- Zataženie na ľavú rímsu od zvodidla

$$g_{ZZl1} = \frac{g_{Zvodidlo1}}{0.5 \text{ m}} = \frac{1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{0.5 \text{ m}} = 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$M_{g1,k,scia} = 256.23 \frac{\text{kN} * \text{m}}{\text{m}}$$



Obr. 14 - Rozmiestnenie ostatného stályho zataženia na 2D modeli



Obr. 15 - Grafické znázornenie momentov od ostatného stálego zaťaženia

5.2 PREMENNÉ ZAŤAŽENIE

5.2.1 LM1 - tandem systém

- **Pruh č. 1:**

normové zaťaženie: $Q_1 = 300 \text{ kN}$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{Q,1} = 1$

zaťaženie na nápravu: $Q_{1scia} = Q_1 * \alpha_{Q,1} = 300 \text{ kN} * 1 = 300 \text{ kN}$

roznos v priečnom smere: $b_{1scia} = 1.420 \text{ m}$

roznos v pozdĺžnom smere: $l_{s1scia} = 2.62 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu pruhu 1:

$$q_{TS1k,scia} = \frac{Q_{1scia}}{b_{1scia} * l_{s1scia}} = \frac{300 \text{ kN}}{1.42 \text{ m} * 2.62 \text{ m}} = 80.636 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- **Pruh č.2:**

normové zaťaženie: $Q_2 = 200 \text{ kN}$

regulačný súčiniteľ: $\alpha_{Q,2} = 1$

zaťaženie na nápravu: $Q_{2scia} = Q_2 * \alpha_{Q,2} = 200 \text{ kN} * 1 = 200 \text{ kN}$

roznos v priečnom smere: $b_{s2scia} = 1.420 \text{ m}$

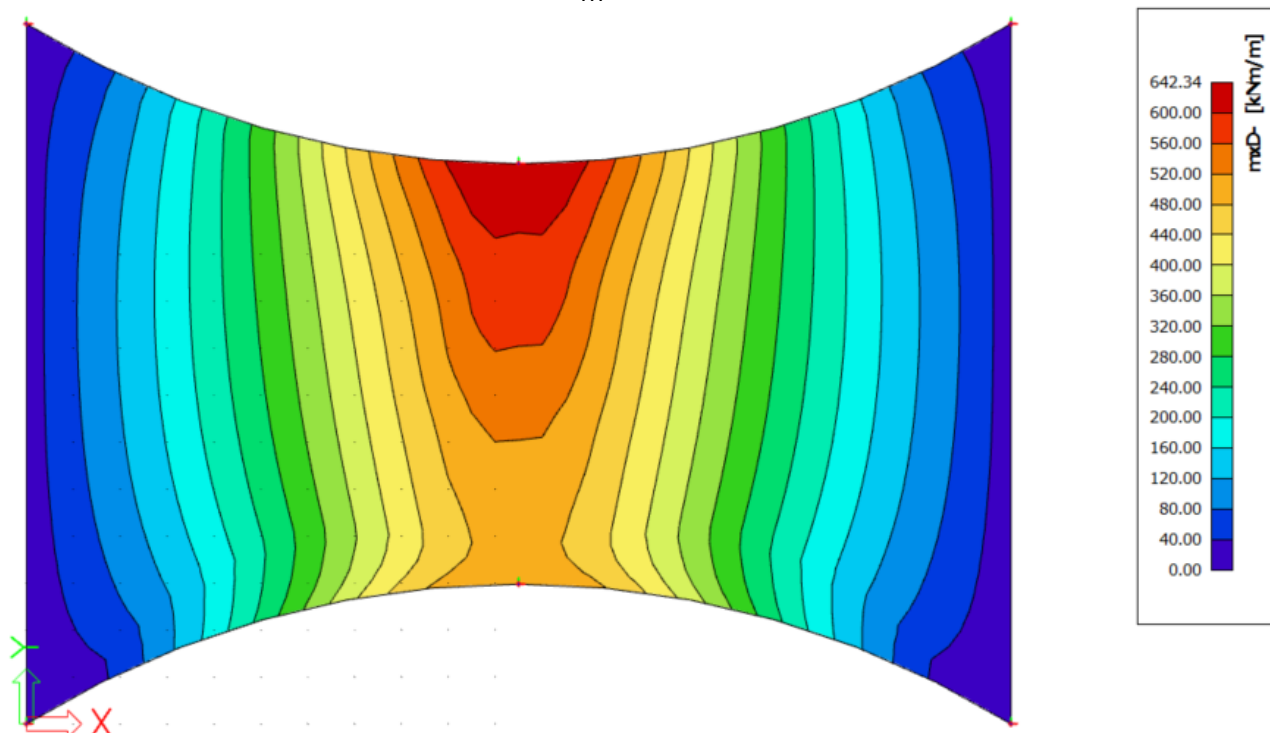
roznos v pozdĺžnom smere: $l_{s2scia} = 2.620 \text{ m}$

ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu pruhu 2:

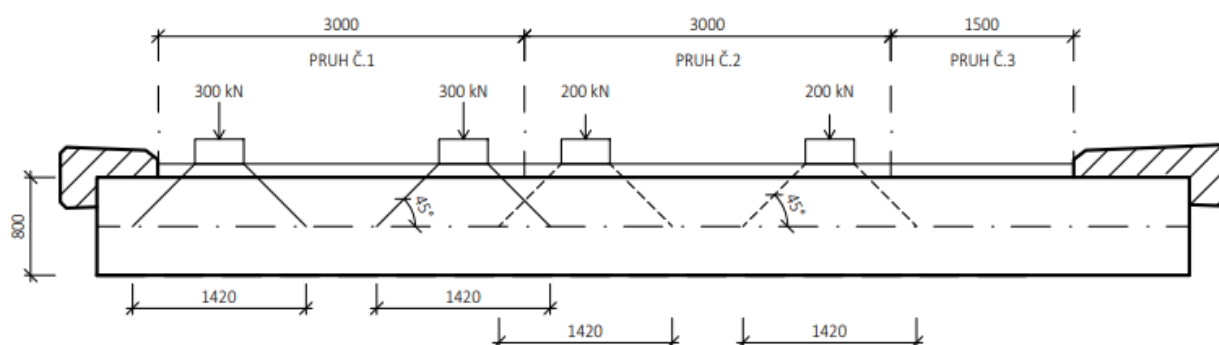
$$q_{TS2k,scia} = \frac{Q_{2scia}}{b_{s2scia} * l_{s2scia}} = \frac{200 \text{ kN}}{1.42 \text{ m} * 2.62 \text{ m}} = 53.758 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

- Celkový moment od tandem systému:

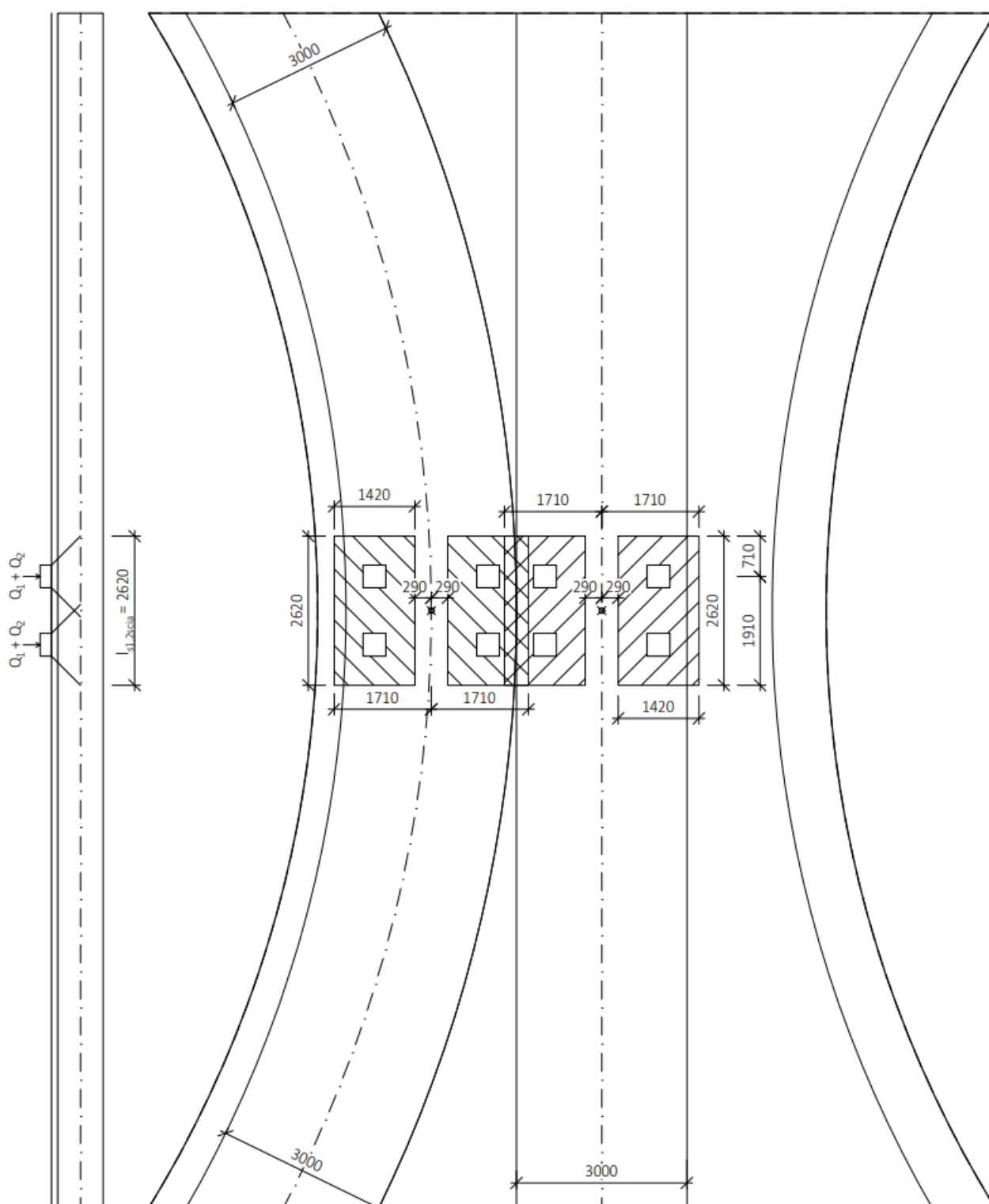
$$M_{TS,k,scia} = 634.88 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{m}}$$



Obr. 16 - Grafické znázornenie momentov od tandem systému



Obr. 17 - Roznos zataženia od tandem systému na 2D modeli



Obr. 18 - Dráhy vozidiel v zaťažovacích pruhoch na 2D modeli

5.2.2 LM1 -Plošné zaťaženie UDL

Zaťaženie na chodníku: $q_{\text{chodník}} = 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pruh č.1:

$$\text{normové zaťaženie: } q_{1k} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{regulačný súčiniteľ: } \alpha_{q,1} = 1$$

$$\text{zaťaženie na plochu pruhu 1: } q_{1kscia} = q_{1k} * \alpha_{q,1} = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1 = 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Pruh č.2:

$$\text{normové zaťaženie: } q_{2,k} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{regulačný súčiniteľ: } \alpha_{q,2} = 2.4$$

$$\text{zaťaženie na plochu pruhu 2: } q_{2kscia} = q_{2,k} * \alpha_{q,2} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 2.4 = 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

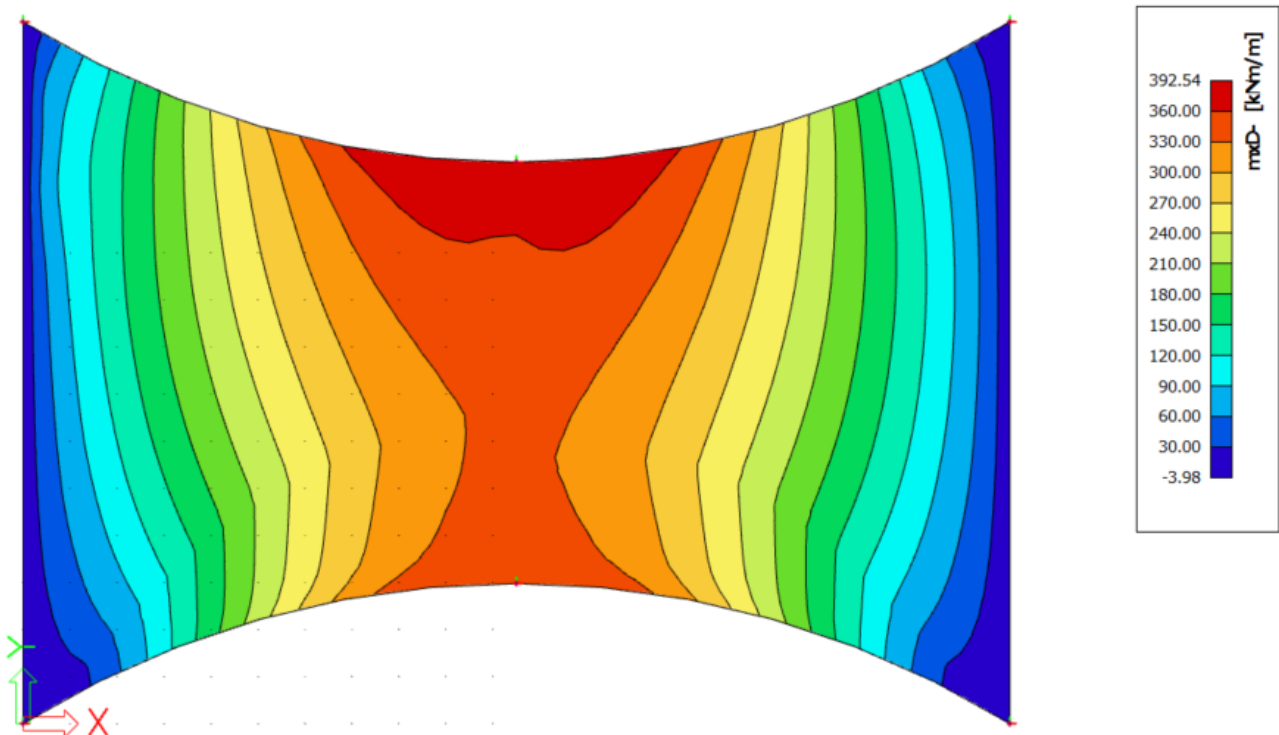
Pruh č.3:

$$\text{normové zaťaženie: } q_{3,k} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

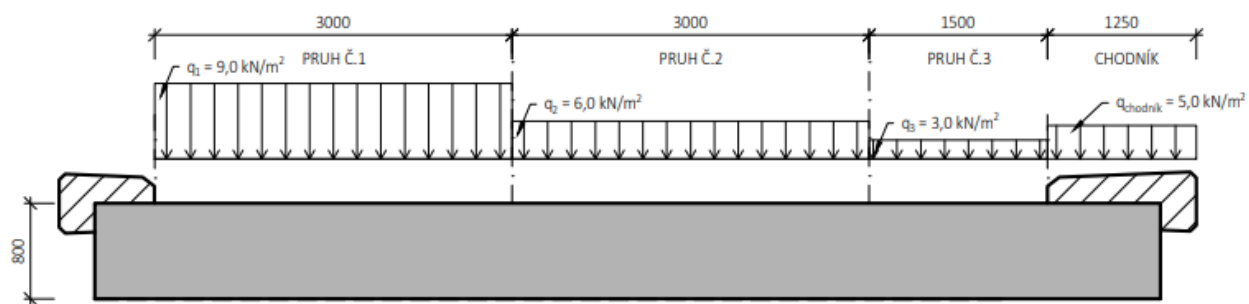
$$\text{regulačný súčiniteľ: } \alpha_{q,3} = 1.2$$

$$\text{zaťaženie na plochu pruhu 3: } q_{3kscia} = q_{3,k} * \alpha_{q,3} = 2.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1.2 = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

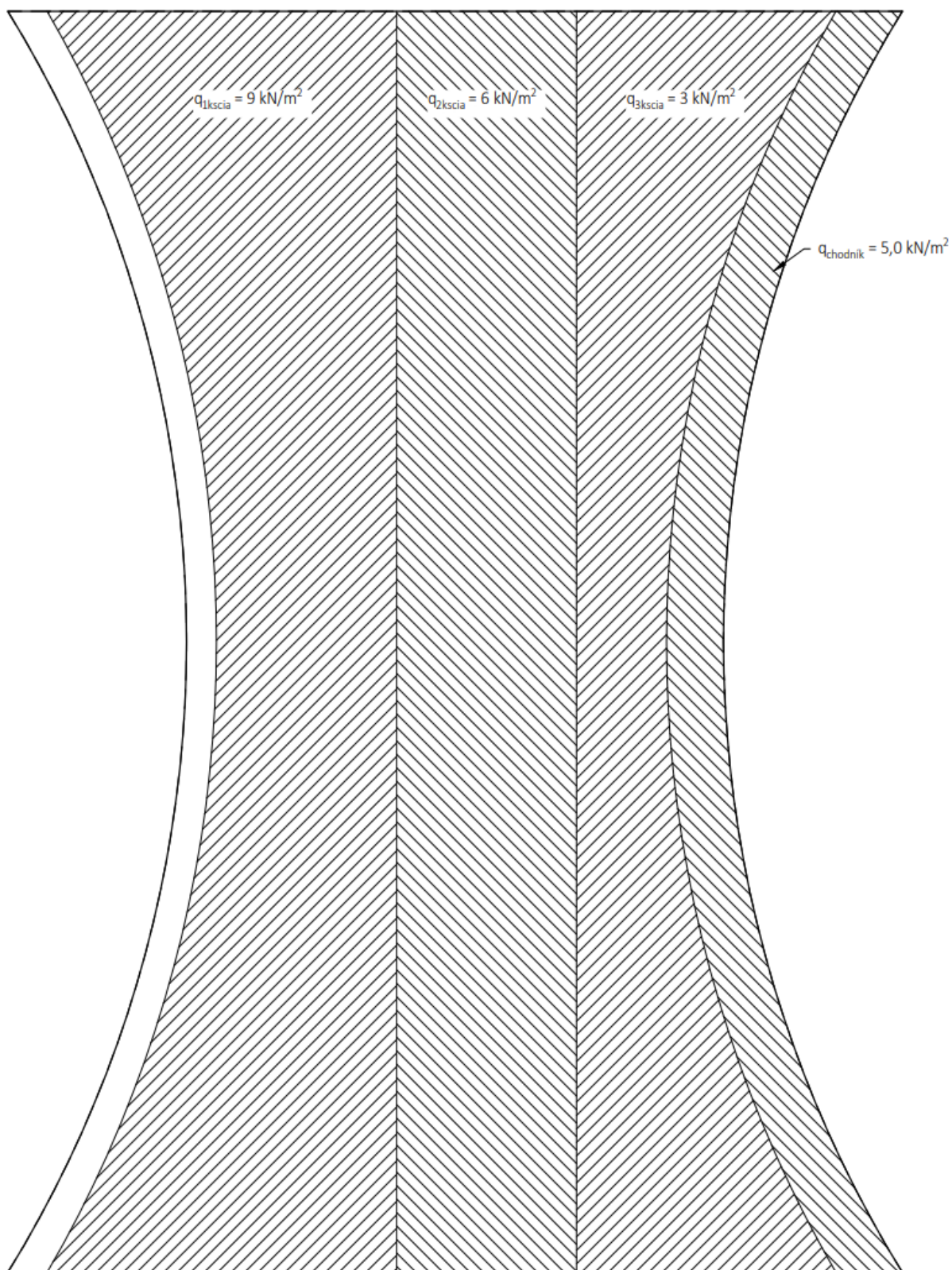
$$M_{UDL,k,scia} = 378.73 \frac{\text{kN} * \text{m}}{\text{m}}$$



Obr. 19 - Grafické znázornenie momentov UDL



Obr. 20 - Rozmiestnenie UDL na 2D modeli



Obr. 21 - Pôdorysné rozloženie UDL na 2D modeli

5.2.3 LM3 - Zvláštne vozidlo 1800/200

dráha 0,5 m od osi vozovky k ľavej rímse (rímša bez chodníku)
 dynamický súčiniteľ: $\phi_{LM3} = 1.25$ - pohyb normálnou rýchlosťou

normové zaťaženie: $Q_{LM3,k} = 200$ kN

zaťaženie na nápravu $Q_{LM3} = 250$ kN

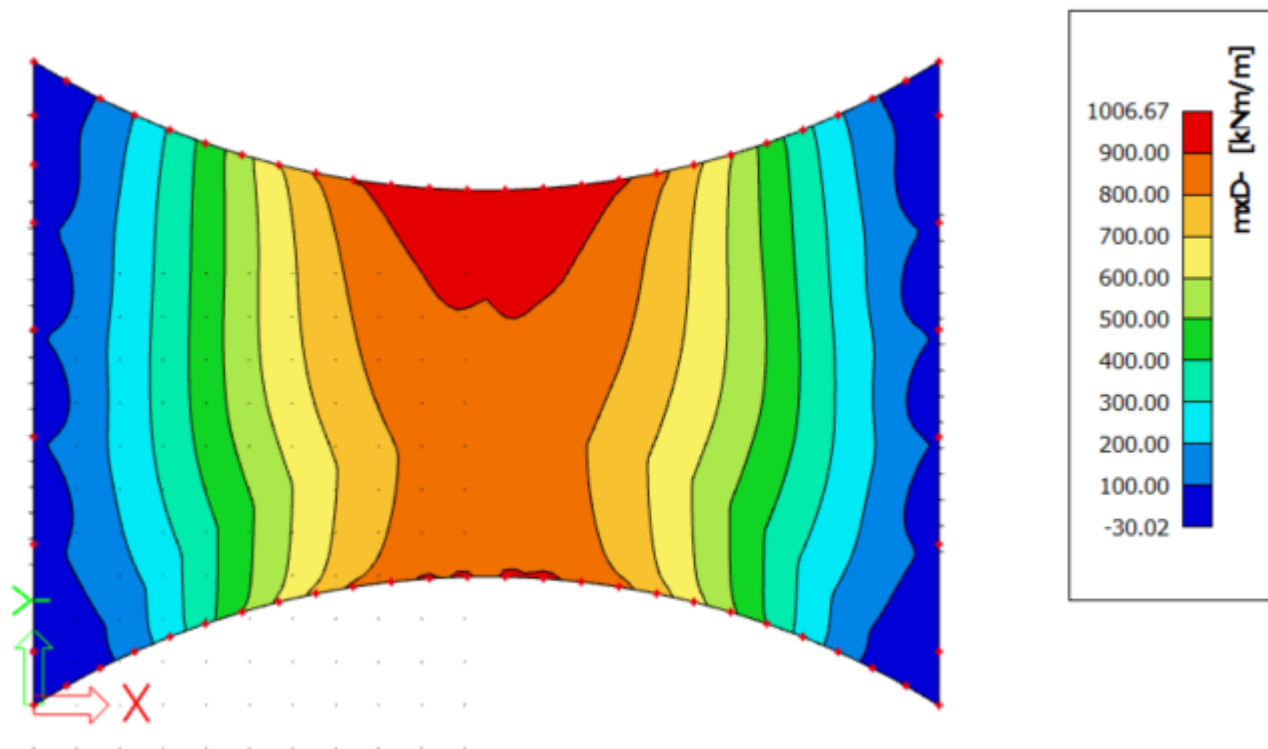
roznos v priečnom smere $b_{LM3} = 3.72 \text{ m}$

roznos v pozdĺžnom smere $l_{LM3} = 1.17 \text{ m}$

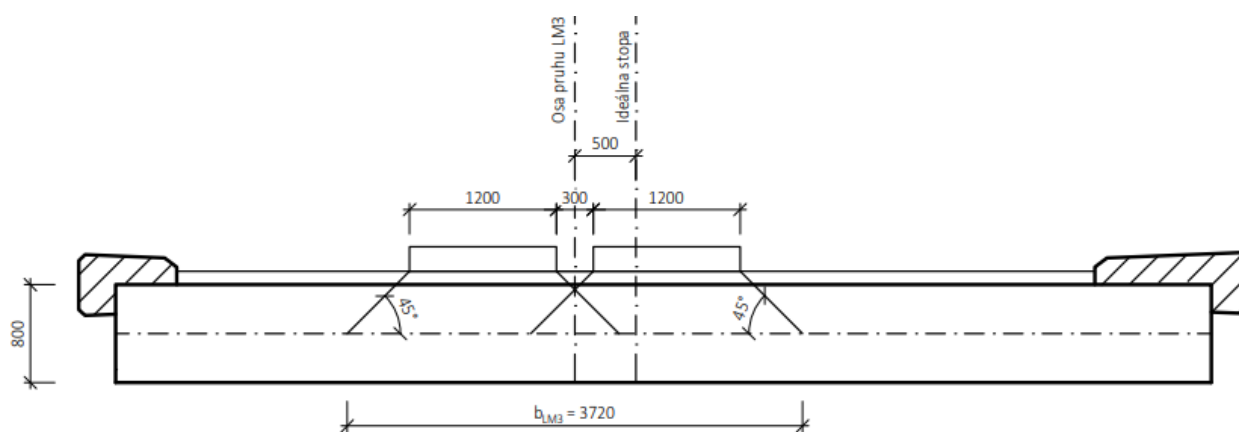
ekvivalentné zaťaženie na roznosovú plochu

$$q_{LM3} = \frac{Q_{LM3}}{b_{LM3} * l_{LM3}} = \frac{250 \text{ kN}}{3.72 \text{ m} * 1.17 \text{ m}} = 57.440 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

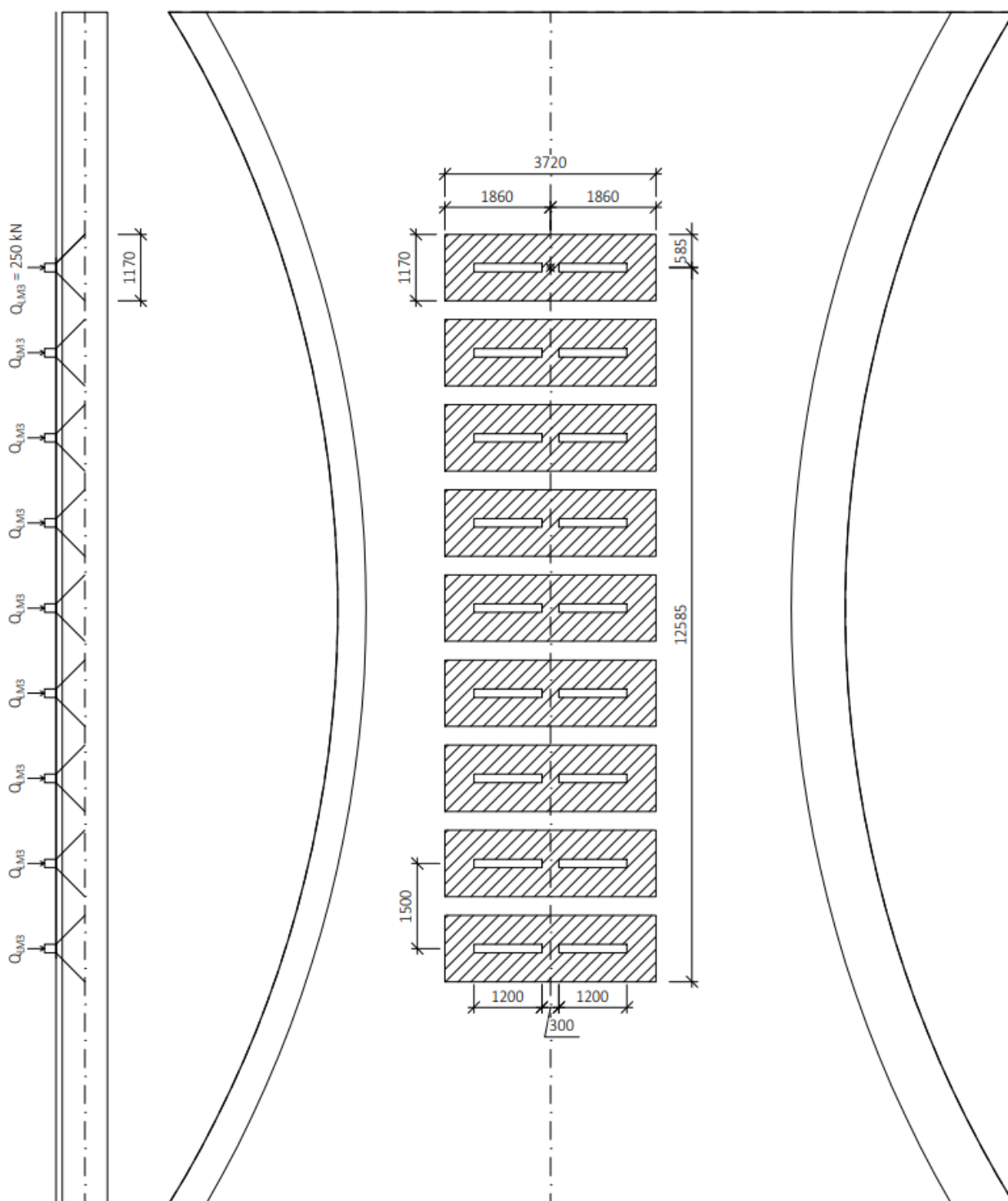
$$M_{LM3,scia} = 971.57 \frac{\text{kN} * \text{m}}{\text{m}}$$



Obr. 22 - Grafické znázornenie momentov od LM3



Obr. 23 - Roznos zaťaženia od zvláštného vozidla na 2D modeli



Obr. 24 - Pôdorysné umiestnenie zvláštneho vozidla na 2D modeli

6 POROVNANIE MOMENTOV

| Zaťažovací stav | Ručný výpočet | SCIA ENGINEER | Rozdiel |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------|
| | $Mek_{(L/2)}$ [kNm] | $Mek_{(L/2)}$ [kNm] | [%] |
| vlastná tiaž | - | 1287.60 | - |
| ostatné stále | 222.41 | 256.23 | 15.21 |
| LM1 - tandem systém | 595.50 | 634.88 | 6.61 |
| LM1 - UDL | 340.14 | 378.73 | 11.35 |
| LM3 - 1800/200 | 880.83 | 971.57 | 10.30 |

Tab. 2 - Porovnanie momentov

- Rozdielnosť ohybových momentov bola spôsobená najmä presnejším rozmiestnením pri výpočte softvérom. Ďalšie rozdiely mohli vzniknúť z dôvodu premennej šírky nosnej konštrukcie. Pri ručnom výpočte sa všetko zaťaženie rozpočítavalo len na šírku v polovici rozpätia. V ďalších krokoch výpočtu bolo počítané s vnútornými silami zistenými pomocou SCIA ENGINEER, ktoré sú považované za presnejšie.

7 KOMBINÁCIE

- Vnútročné sily v polovici roztpätia

$M_{g0,k} = 1287.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od vlastnej tiaže

$M_{g1,k} = 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od ostatného stáleho zaťaženia

$M_{TS,k} = 634.88 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od LM1 - tandem systém

$M_{UDL,k} = 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od LM1 - UDL

$M_{LM3,k} = 971.57 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od LM3 - Zvláštne vozidlo 1800/200

7.1 Medzný stav použiteľnosti

7.1.1 zostava gr1a

Charakteristická kombinácia

$$\begin{aligned} M_{ek,1} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{TS,k} + M_{UDL,k} \\ &= 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 634.88 \text{ kN} \cdot \text{m} + 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m} = 2557.44 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Častá kombinácia

- súčinitele

$$\psi_{1,TS} = 0.75$$

$$\psi_{1,UDL} = 0.40$$

$$\begin{aligned} M_{ek,\psi1} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + \psi_{1,TS} \cdot M_{TS,k} + \psi_{1,UDL} \cdot M_{UDL,k} \\ &= 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0.75 \cdot 634.88 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0.4 \cdot 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 2171.482 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Kvázistála kombinácia

- súčinitele

$$\psi_{2,TS} = 0.0$$

$$\psi_{2,UDL} = 0.0$$

$$\begin{aligned} M_{ek,\psi2} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + \psi_{2,TS} \cdot M_{TS,k} + \psi_{2,UDL} \cdot M_{UDL,k} \\ &= 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0 \cdot 634.88 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0 \cdot 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 1543.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

7.1.2 Zostava gr5

Charakteristická kombinácia

$$\begin{aligned} M_{ek,5} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + M_{LM3,k} = 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 971.57 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ &= 2515.4 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Častá kombinácia

- súčinitele

$$\psi_{1,LM3} = 0.0$$

$$\begin{aligned} M_{ek,\psi1,LM3} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + \psi_{1,LM3} \cdot M_{LM3,k} \\ &= 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0 \cdot 971.57 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1543.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

Kvázistála kombinácia

- súčinitele

$$\psi_{2,LM3} = 0.0$$

$$\begin{aligned} M_{ek,\psi2,LM3} &= M_{g0,k} + M_{g1,k} + \psi_{2,LM3} \cdot M_{LM3,k} \\ &= 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} + 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m} + 0 \cdot 971.57 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1543.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

- Rozhodujúca zostava pre medzný stav použiteľnosti je gr1a

7.2 Medzný stav únosnosti

7.2.1 Zostava gr1a

Kombinácia 6.10a

- súčinitele

$$\gamma_G = 1.35$$

$$\gamma_Q = 1.35$$

$$\xi = 0.85$$

$$\begin{aligned} M_{ed,1a,a} &= \gamma_G * (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + \gamma_Q * \psi_{1,TS} * M_{TS,k} + \gamma_Q * \psi_{1,UDL} * M_{UDL,k} \\ &= 1.35 * (1287.6 \text{ kN} * \text{m} + 256.23 \text{ kN} * \text{m}) + 1.35 * 0.75 * 634.88 \text{ kN} * \text{m} + 1.35 * 0.4 * 378.73 \text{ kN} * \text{m} \\ &= 2931.501 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

Kombinácia 6.10b

$$\begin{aligned} M_{ed,1a,b} &= \gamma_G * \xi * M_{g0,k} + \gamma_G * \xi * M_{g1,k} + \gamma_Q * (M_{TS,k} + M_{UDL,k}) \\ &= 1.35 * 0.85 * 1287.6 \text{ kN} * \text{m} + 1.35 * 0.85 * 256.23 \text{ kN} * \text{m} + 1.35 * (634.88 \text{ kN} * \text{m} + 378.73 \text{ kN} * \text{m}) \\ &= 3139.918 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

7.2.2 Zostava gr5

Kombinácia 6.10a

$$\begin{aligned} M_{ed,5,a1} &= \gamma_G * (M_{g0,k} + M_{g1,k}) + \gamma_Q * \psi_{1,LM3} * M_{LM3,k} \\ &= 1.35 * (1287.6 \text{ kN} * \text{m} + 256.23 \text{ kN} * \text{m}) + 1.35 * 0 * 971.57 \text{ kN} * \text{m} = 2084.171 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

Kombinácia 6.10b

$$\begin{aligned} M_{ed,5,b} &= \gamma_G * \xi * M_{g0,k} + \gamma_G * \xi * M_{g1,k} + \gamma_Q * M_{LM3,k} \\ &= 1.35 * 0.85 * 1287.6 \text{ kN} * \text{m} + 1.35 * 0.85 * 256.23 \text{ kN} * \text{m} + 1.35 * 971.57 \text{ kN} * \text{m} \\ &= 3083.164 \text{ kN} * \text{m} \end{aligned}$$

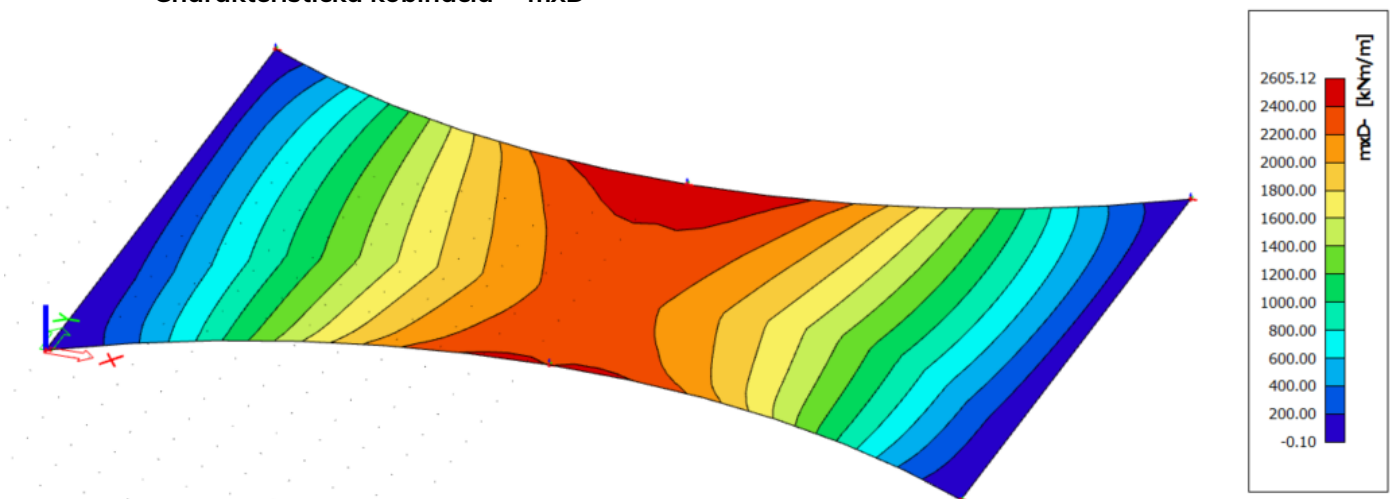
- rozhodujúca zostava pre medzný stav únosnosti je gr1a v kombinácií 6.10b

| Medzný stav | Zostava | Kombinácia | Moment [kNm] |
|-------------|---------|------------------|--------------|
| MSP | gr1a | Charakteristická | 2557.44 |
| | | Častá | 2171.48 |
| | | Kvázistála | 1543.83 |
| | gr5 | Charakteristická | 2515.40 |
| | | Častá | 1543.83 |
| | | Kvázistála | 1543.83 |
| MSU | gr1a | 6.10a | 2931.50 |
| | | 6.10b | 3139.92 |
| | gr5 | 6.10a | 2084.17 |
| | | 6.10b | 3083.16 |

Tab. 3 - Kombinácie

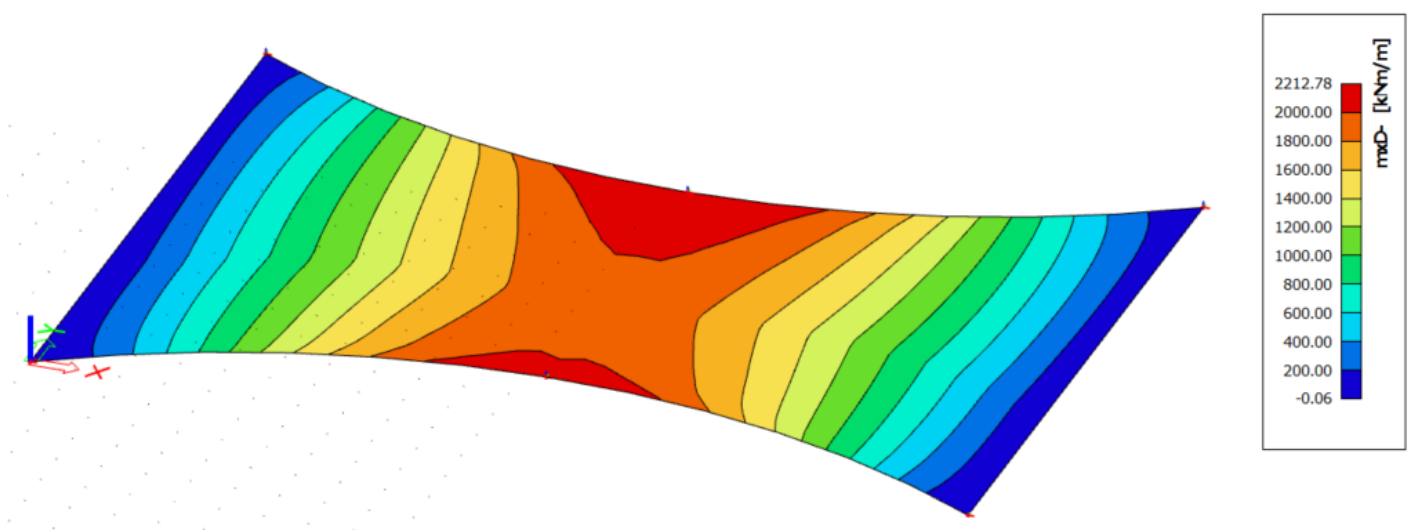
7.3 Grafické znázornenie návrhových momentov

- Charakteristická kombinácia - mxD^-



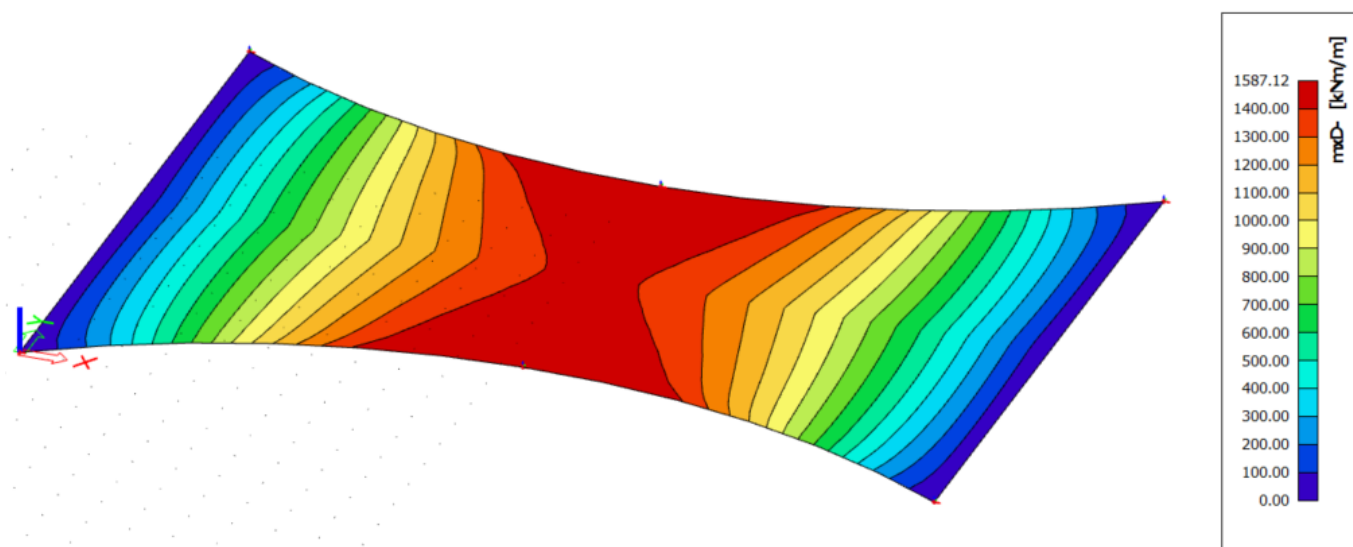
Obr. 25 - Maximálny návrhový moment v charakteristickej kombinácii

- Častá kombinácia - mxD^-



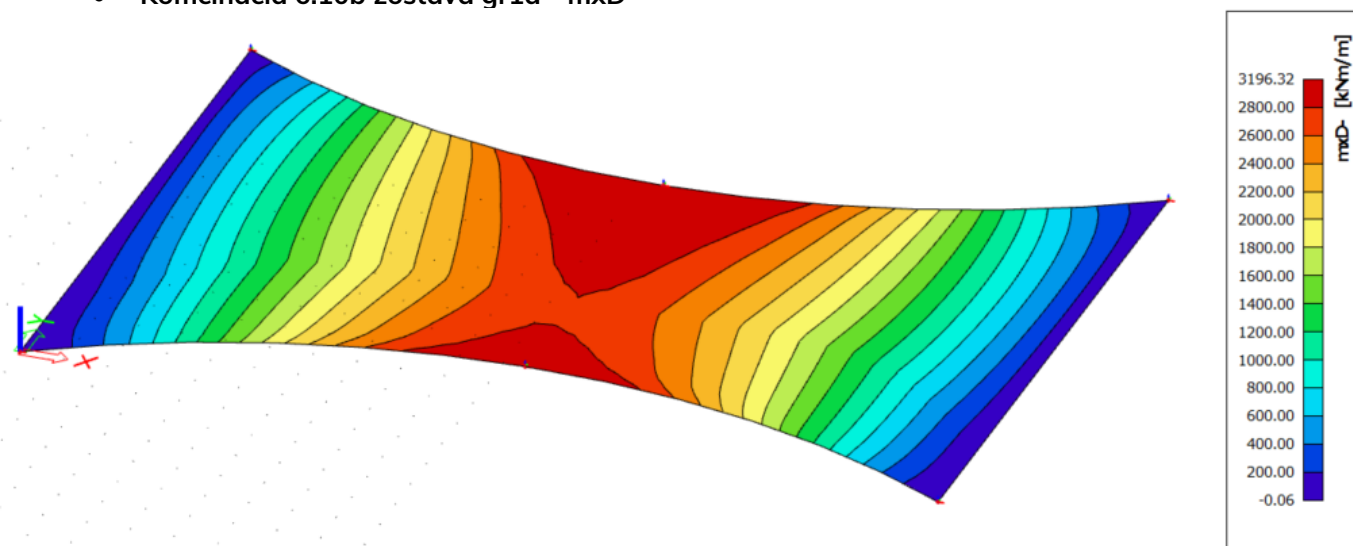
Obr. 26 - Maximálny návrhový moment v častej kombinácii

- Kvázistála kombinácia - mxD^-



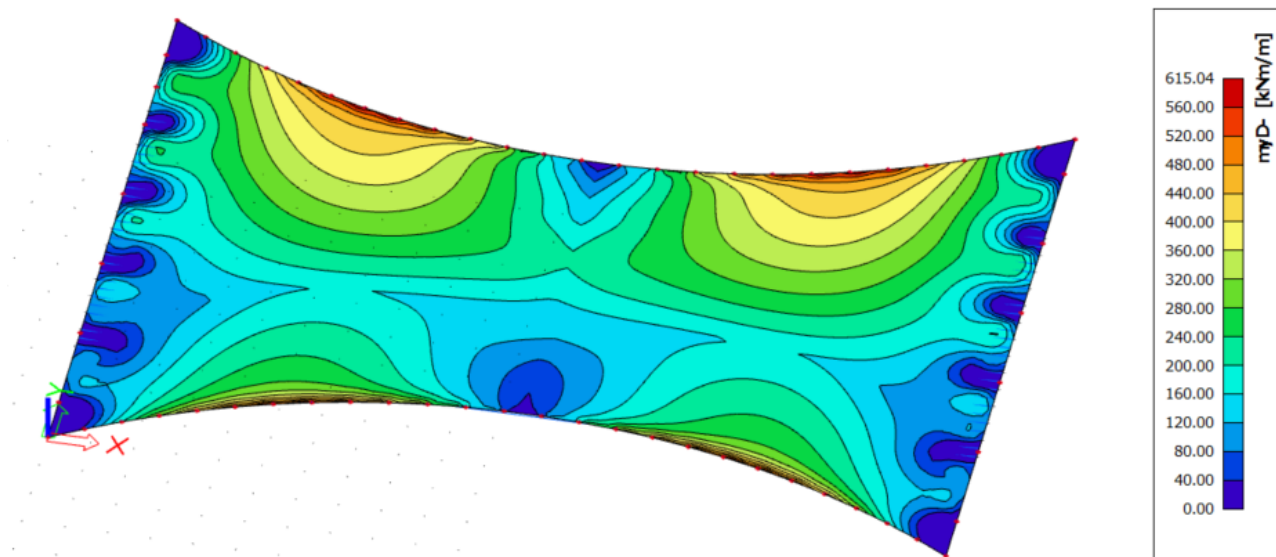
Obr. 27 - Maximálny návrhový moment v kvázistálej kombinácii

- Kombinácia 6.10b zostava gr1a - mxD^-



Obr. 28 - Maximálny pozdĺžny návrhový moment v kombinácii 6.10b

- Kombinácia 6.10b zostava gr1a - $m_y D^-$



Obr. 29 - Maximálny priečny návrhový moment v kombinácii 6.10b

8 NÁVRH PREDPATIA

8.1 Napätie vo výstuži

Maximálne prípustné napätie v predpínacej výstuži

$A_{p,lano} = 150 \text{ mm}^2$ - Plocha jedného lana predpínacej výstuže

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

$f_{p0,1k} = 1560 \text{ MPa}$

$\sigma_{p,max,1} = 0.8 * f_{pk} = 0.8 * 1770 \text{ MPa} = 1416 \text{ MPa} \geq \sigma_{p,max}$

$\sigma_{p,max,2} = 0.9 * f_{p0,1k} = 0.9 * 1560 \text{ MPa} = 1404 \text{ MPa} \geq \sigma_{p,max}$

$\sigma_{p,max} = \sigma_{p,max,2} = 1404 \text{ MPa}$

$P_{max} = \sigma_{p,max} * A_{p,lano} = 1404 \text{ MPa} * 150 \text{ mm}^2 = 210.6 \text{ kN}$ - maximálna sila v jednom lane

Napätie po vnesení do betónu

$\sigma_{pm,0} = \sigma_{p,max} * 0.9 = 1404 \text{ MPa} * 0.9 = 1263.6 \text{ MPa}$ - napätie po krátkodobých stratách

$P_{m,0} = \sigma_{pm,0} * A_{p,lano} = 1263.6 \text{ MPa} * 150 \text{ mm}^2 = 189.54 \text{ kN}$ - odhadovaná sila po krátkodobých stratách

$\sigma_{pm,0,max1} = 0.75 * f_{pk} = 0.75 * 1770 \text{ MPa} = 1327.5 \text{ MPa} \geq \sigma_{pm,0} = 1263.6 \text{ MPa}$

$\sigma_{pm,0,max2} = 0.85 * f_{p0,1k} = 0.85 * 1560 \text{ MPa} = 1326 \text{ MPa} \geq \sigma_{pm,0} = 1263.6 \text{ MPa}$

VYHOVUJE

Napätie na konci životnosti

$\sigma_{pm,\infty} = \sigma_{pm,0} * 0.9 = 1263.6 \text{ MPa} * 0.9 = 1137.24 \text{ MPa}$ - napätie po dlhodobých stratách

$P_{m,\infty} = \sigma_{pm,\infty} * A_{p,lano} = 1137.24 \text{ MPa} * 150 \text{ mm}^2 = 170.586 \text{ kN}$ - sila po dlhodobých stratách

8.2 Krytie predpínacej výstuže

Trieda prostredia XD1

Trieda konštrukcie S6 - 100 rokov

$\Phi_{duct} = 65 \text{ mm}$ - profil kanáliku

$c_{min,dur} = 55 \text{ mm}$ - S6/XD1

$c_{min,b} = \Phi_{duct} = 65 \text{ mm}$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

$c_{min} = \text{Max}(\Phi_{duct}, c_{min,dur}, 10 \text{ mm}) = \text{Max}(65 \text{ mm}, 55 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 65 \text{ mm}$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 65 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$

8.3 Návrh predpínacej sily P

Momenty

$M_{ek} = 2557.44 \text{ kN} * \text{m}$ - Charakteristická kombinácia

$M_{ek,\psi1} = 2171.48 \text{ kN} * \text{m}$ - Častá kombinácia

$M_{ek,\psi2} = 1543.83 \text{ kN} * \text{m}$ - Kvázistála kombinácia

$M_{g0,k} = 1287.60 \text{ kN} * \text{m}$ - t_0 - vlastná tiaž

Prierezové charakteristiky na výpočet P

$$A_c = 0.8 \text{ m}^2$$

$$e_p = 0.30 \text{ m}$$

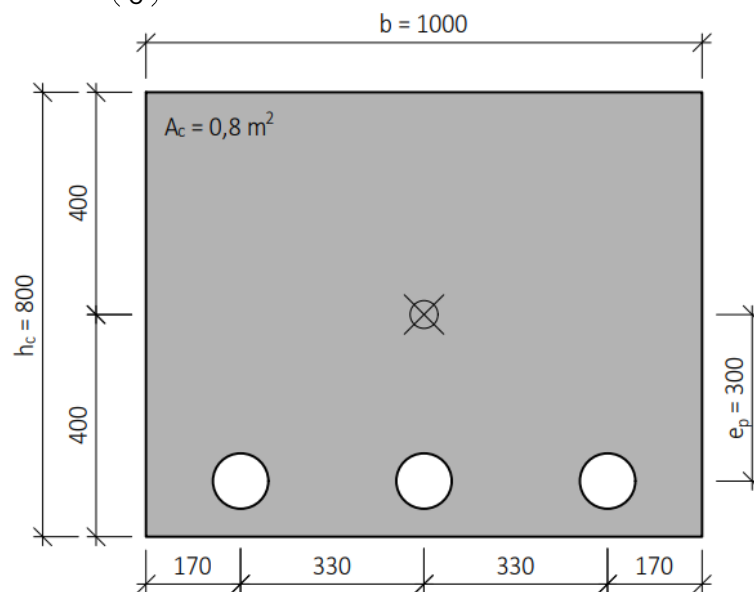
$$h_c = 0.80 \text{ m}$$

$$b = 1.0 \text{ m}$$

$$I_c = \left(\frac{1}{12} \right) * b * h_c^3 = \left(\frac{1}{12} \right) * 1 \text{ m} * 0.8 \text{ m}^3 = 0.0427 \text{ m}^4$$

$$W_1 = \left(\frac{1}{6} \right) * b * h_c^2 = \left(\frac{1}{6} \right) * 1 \text{ m} * 0.8 \text{ m}^2 = 0.107 \text{ m}^3$$

$$W_2 = \left(\frac{1}{6} \right) * b * h_c^2 = \left(\frac{1}{6} \right) * 1 \text{ m} * 0.8 \text{ m}^2 = 0.107 \text{ m}^3$$



Obr. 30 - Neoslabený prierez na 1mb

σ_1 - dolné vlákna

σ_2 - horné vlákna

t_∞ - častá kombinácia - ťah na spodných vláknoch

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

$\sigma_{c1,čas} = f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$ - maximálne ťahové napätie

$$-\left(\frac{P_{k\infty}}{A_c} \right) - \frac{P_{k\infty} * e_p}{W_2} + \frac{M_{ek,\psi 1}}{W_2} \leq \sigma_{c1,čas} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$P_{k,min,\infty,\Psi1} = \frac{-f_{ctm} + \frac{M_{ek,\Psi1}}{W_1}}{\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{W_1}} = 4223.415 \text{ kN}$$

Prepočet sily na čas t_0 :

$$P_{k,min,0,\Psi1} = \frac{P_{k,min,\infty,\Psi1}}{0.9} = \frac{4223.415 \text{ kN}}{0.9} = 4692.684 \text{ kN}$$

t_∞ - charakteristická kombinácia - tlak na horných vláknach

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2,char} = -0.6 * f_{ck} = -21 \text{ MPa} \text{ - maximálne tlakové napätie}$$

$$-\left(\frac{P_{k\infty}}{A_c}\right) + \frac{P_{k\infty} * e_p}{W_2} - \frac{M_{ek}}{W_2} \geq \sigma_{c2,char} = -21 \text{ MPa}$$

$$P_{k,min,\infty,ek} = \frac{\sigma_{c2,char} + \frac{M_{ek}}{W_2}}{\frac{-1}{A_c} + \frac{e_p}{W_2}} = 1904.64 \text{ kN}$$

Prepočet sily na čas t_0 :

$$P_{min,0,ek} = \frac{P_{k,min,\infty,ek}}{0.9} = \frac{1904.64 \text{ kN}}{0.9} = 2116.267 \text{ kN}$$

t_∞ - kvázistála kombinácia - tlak na horných vláknach

$$\sigma_{c2,kvazi} = -0.45 * f_{ck} = -15.75 \text{ MPa} \text{ - maximálne tlakové napätie}$$

$$-\left(\frac{P_{k\infty}}{A_c}\right) + \frac{P_{k\infty} * e_p}{W_2} - \frac{M_{ek,\Psi2}}{W_2} \geq \sigma_{c2,kvazi} = -15.75 \text{ MPa}$$

$$P_{k,min,\infty,\Psi2} = \frac{\sigma_{c2,kvazi} + \frac{M_{ek,\Psi2}}{W_2}}{\frac{-1}{A_c} + \frac{e_p}{W_2}} = -817.020 \text{ kN}$$

Prepočet sily na čas t_0 :

$$P_{k,min,0,\Psi2} = \frac{P_{k,min,\infty,\Psi2}}{0.9} = \frac{-817.020 \text{ kN}}{0.9} = -907.800 \text{ kN}$$

t₀ - kvázistála kombinácia - tlak na dolných vláknach

- iba vlastná tiaž

$\sigma_{c1,kvazi} = -0.6 \cdot f_{ck} = -$ - maximálne tlakové napätie

$$-\left(\frac{P_{k0}}{A_c}\right) - \frac{P_{k0} \cdot e_p}{W_1} + \frac{M_{g0,k}}{W_1} \geq \sigma_{c1,kvazi} = -21 \text{ MPa}$$

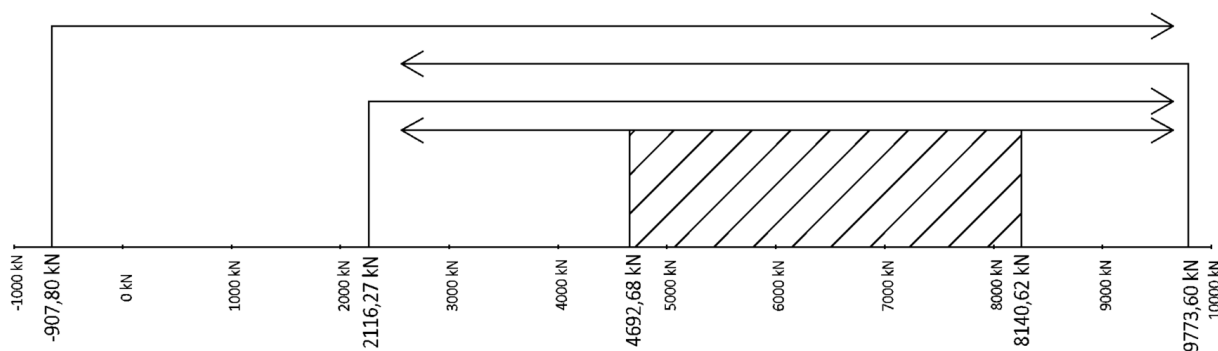
$$P_{k,max,0,kvazi} = \frac{\sigma_{c1,kvazi} - \frac{M_{g0,k}}{W_1}}{-\frac{1}{A_c} - \frac{e_p}{W_1}} = 8140.615 \text{ kN}$$

t₀ - častá kombinácia - ťah na horných vláknach

$\sigma_{c2,čas} = f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

$$-\left(\frac{P_{k0}}{A_c}\right) + \frac{P_{k0} \cdot e_p}{W_2} - \frac{M_{g0,k}}{W_2} \leq \sigma_{c2,čas} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$P_{k,max,0,čas} = \frac{\sigma_{c2,čas} + \frac{M_{g0,k}}{W_2}}{-\frac{1}{A_c} + \frac{e_p}{W_2}} = 9773.6 \text{ kN}$$



Obr. 31 - Interval možnej predpínacej sily

$$P_{0,min} = P_{k,min,0,\psi 1} = 4692.684 \text{ kN}$$

$$P_{0,max} = P_{k,max,0,kvazi} = 8140.615 \text{ kN}$$

$$P_{m,0,req,1} = 1.03 \cdot P_{0,min} = 1.03 \cdot 4692.684 \text{ kN} = 4833.464 \text{ kN}$$

$$P_{m,0,req,2} = \frac{P_{0,min} + P_{0,max}}{2} = \frac{4692.684 \text{ kN} + 8140.615 \text{ kN}}{2} = 6416.650 \text{ kN}$$

$$P_{m,0,navrh} = 5686.20 \text{ kN}$$

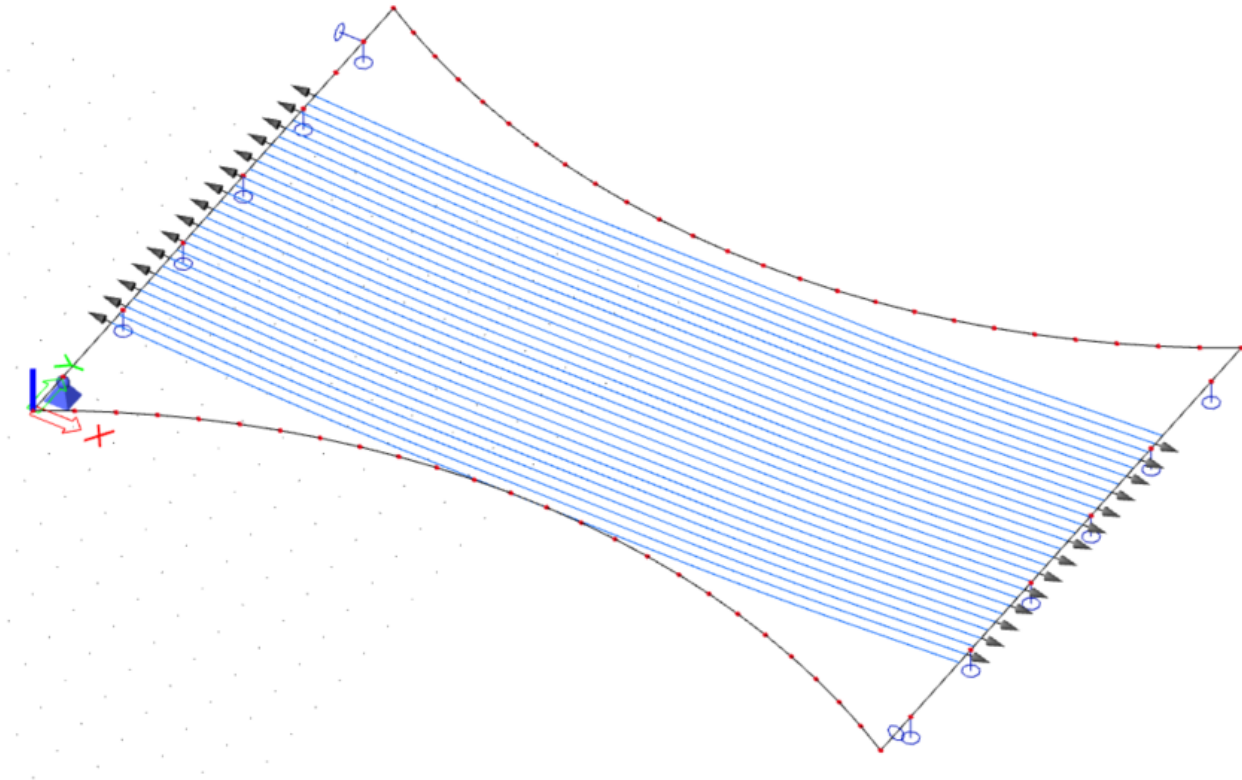
$$A_p = \frac{P_{m,0,navrh}}{\sigma_{pm,0}} = \frac{5686.2 \text{ kN}}{1263.6 \text{ MPa}} = 4500 \text{ mm}^2$$

- Navrhnuté 3 x 10 lan do jedného metra

8.4 Navrhnutá predpínacia sila

$$P = A_p * \sigma_{pm,0} = 4500 \text{ mm}^2 * 1263.6 \text{ MPa} = 5686.2 \text{ kN}$$

Osová vzdialenosť káblov 0.33 m



Obr. 32 - Rozmiestnenie káblov

9. ZMENY PREDPÄTIA

- Prierezové charakteristiky na oslabenom priereze

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0.8 \text{ m}$$

$$A_{cr} = 0.790 \text{ m}^2$$

$$I_{cr} = 0.0416 \text{ m}^4$$

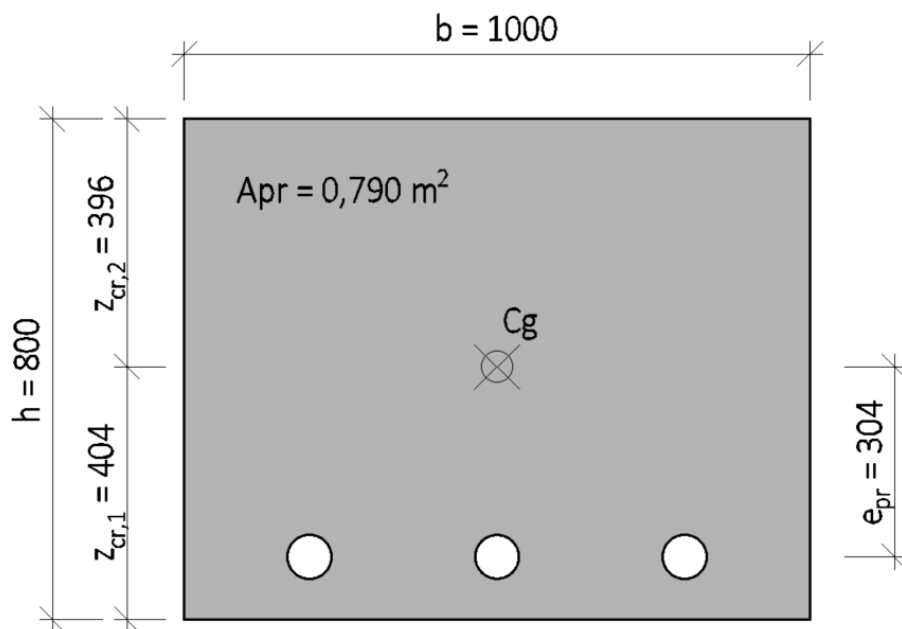
$$z_{cr,1} = 0.404 \text{ m}$$

$$z_{cr,2} = 0.396 \text{ m}$$

$$e_{pr} = 0.304 \text{ m}$$

$$W_{cr,1} = \frac{I_{cr}}{z_{cr,1}} = \frac{0.0416 \text{ m}^4}{0.404 \text{ m}} = 0.103 \text{ m}^3$$

$$W_{cr,2} = \frac{I_{cr}}{z_{cr,2}} = \frac{0.0416 \text{ m}^4}{0.396 \text{ m}} = 0.105 \text{ m}^3$$



Obr. 33 - Oslabený prierez na 1mb

9.1 Krátkodobé straty

9.1.1 Straty trením

- vygenerované pomocou scia engineer
 $\Delta\sigma_{p,ternie} = - 29.68 \text{ MPa}$

9.1.2 Straty poklzmom

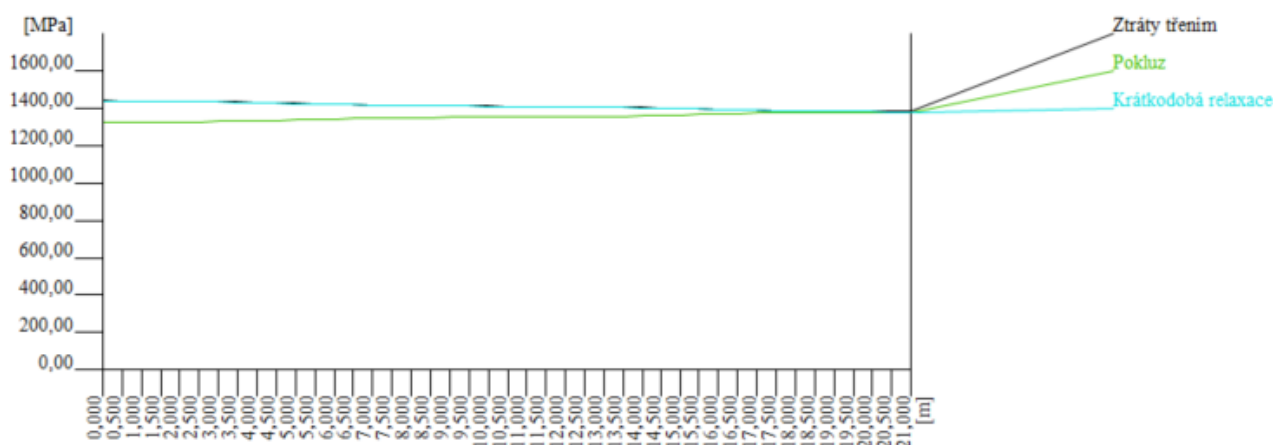
- vygenerované pomocou scia engineer
 $\Delta\sigma_{p,w} = - 55.64 \text{ MPa}$

9.1.3 Straty krátkodobou relaxáciou

- vygenerované pomocou scia engineer
 $\Delta\sigma_{p,r} = - 9.07 \text{ MPa}$

| x [m] | y [m] | z [m] | Ztráty třením [MPa] | Ztráta pokluzem [MPa] | Krátkodobá relaxace [MPa] | Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa] | Relaxace proběhla [MPa] |
|---|----------|----------|------------------------|--------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|
| *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* *Studentská verze* | | | | | | | |
| 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,00 | -113,23 | -1,76 | 1326,77 | -12,24 |
| 0,500 | 0,000 | -0,029 | -0,68 | -111,92 | -1,74 | 1327,40 | -12,16 |
| 1,000 | 0,000 | -0,057 | -1,37 | -110,60 | -1,73 | 1328,03 | -12,08 |
| 1,500 | 0,000 | -0,086 | -2,05 | -109,29 | -1,71 | 1328,66 | -11,99 |
| 2,000 | 0,000 | -0,114 | -2,74 | -107,97 | -1,70 | 1329,29 | -11,91 |
| 2,500 | 0,000 | -0,143 | -3,42 | -106,65 | -1,68 | 1329,93 | -11,83 |
| 3,000 | 0,000 | -0,171 | -4,21 | -105,14 | -1,67 | 1330,66 | -11,73 |
| 3,500 | 0,000 | -0,198 | -6,59 | -100,54 | -1,62 | 1332,87 | -11,45 |
| 4,000 | 0,000 | -0,222 | -8,98 | -95,93 | -1,57 | 1335,09 | -11,18 |
| 4,500 | 0,000 | -0,242 | -11,35 | -91,34 | -1,53 | 1337,31 | -10,91 |
| 5,000 | 0,000 | -0,260 | -13,73 | -86,73 | -1,49 | 1339,54 | -10,65 |
| 5,500 | 0,000 | -0,274 | -16,10 | -82,13 | -1,45 | 1341,77 | -10,40 |
| 6,000 | 0,000 | -0,285 | -18,46 | -77,54 | -1,41 | 1344,00 | -10,16 |
| 6,500 | 0,000 | -0,293 | -20,83 | -72,93 | -1,37 | 1346,24 | -9,92 |
| 7,000 | 0,000 | -0,298 | -23,18 | -68,34 | -1,33 | 1348,47 | -9,69 |
| 7,500 | 0,000 | -0,300 | -25,54 | -63,74 | -1,30 | 1350,72 | -9,46 |
| 8,000 | 0,000 | -0,300 | -26,32 | -62,21 | -1,29 | 1351,47 | -9,38 |
| 8,500 | 0,000 | -0,300 | -26,99 | -60,89 | -1,28 | 1352,11 | -9,32 |
| 9,000 | 0,000 | -0,300 | -27,66 | -59,58 | -1,27 | 1352,76 | -9,26 |
| 9,500 | 0,000 | -0,300 | -28,34 | -58,27 | -1,26 | 1353,40 | -9,20 |
| 10,000 | 0,000 | -0,300 | -29,01 | -56,95 | -1,25 | 1354,04 | -9,14 |
| 10,500 | 0,000 | -0,300 | -29,68 | -55,64 | -1,24 | 1354,69 | -9,07 |

Tab. 4 - Krátkodobé straty



Obr. 34 - Graf napätia v kábli

Napätie po zakotvení jednotlivých káblov

$$\sigma_{p,max} = 1404 \text{ MPa}$$

$$A_{p,1m} = 4500 \text{ mm}^2 = 0.0045 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_{p,sl} &= \sigma_{p,max} + \Delta\sigma_{p,ternie} + \Delta\sigma_{p,w} + \Delta\sigma_{p,r} \\ &= 1404 \text{ MPa} + -29.68 \text{ MPa} + -55.64 \text{ MPa} + -9.07 \text{ MPa} = 1309.61 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$P_{m,sl} = \sigma_{p,sl} \cdot A_{p,1m} = 1309.61 \text{ MPa} \cdot 0.0045 \text{ m}^2 = 5893.245 \text{ kN}$$

9.1.4 Straty postupným napínaním

$M_{gok} = 1287.60 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od vlastnej tiaže

$$\Delta\sigma_{c,p} = \frac{-P_{m,sl}}{A_{cr}} - \frac{P_{m,sl} \cdot e_{pr}^2}{I_{cr}} = -20.552 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c,g0} = \frac{M_{gok} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = \frac{1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \cdot 0.304 \text{ m}}{0.0416 \text{ m}^4} = 9.409 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_c = \Delta\sigma_{c,p} + \Delta\sigma_{c,g0} = -20.552 \text{ MPa} + 9.409 \text{ MPa} = -11.142 \text{ MPa}$$

$n_p = 27$ - celkový počet káblov

$$\gamma = \frac{n_p - 1}{2 \cdot n_p} = \frac{27 - 1}{2 \cdot 27} = 0.481$$

$E_c = 195 \text{ GPa}$ - Modul pružnosti predpínacej výstuže

$E_{cm} = 35 \text{ GPa}$ - Modul pružnosti betónu C35/45

$$\Delta\sigma_{p,el} = E_c \cdot \left(\frac{\Delta\sigma_c \cdot \gamma}{E_{cm}} \right) = 195 \text{ GPa} \cdot \left(\frac{-11.142 \text{ MPa} \cdot 0.481}{35 \text{ GPa}} \right) = -29.890 \text{ MPa}$$

Napätie po celkových krátkodobých stratách

$$\begin{aligned} \sigma_{p,m,t0} &= \sigma_{p,max} + \Delta\sigma_{p,ternie} + \Delta\sigma_{p,w} + \Delta\sigma_{p,r} + \Delta\sigma_{p,el} \\ &= 1404 \text{ MPa} + -29.68 \text{ MPa} + -55.64 \text{ MPa} + -9.07 \text{ MPa} + -29.890 \text{ MPa} = 1279.720 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$P_{m0} = \sigma_{p,m,t0} \cdot A_{p,1m} = 1279.720 \text{ MPa} \cdot 0.0045 \text{ m}^2 = 5758.739 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{\sigma_{p,max} - \sigma_{p,m,t0}}{\sigma_{p,max}} \right) \cdot 100 = \left(\frac{1404 \text{ MPa} - 1279.720 \text{ MPa}}{1404 \text{ MPa}} \right) \cdot 100 = 8.852\%$$

- Vypočítané krátkodobé straty sú menšie než uvažované odhadom

9.2 Dlhodobé straty

$t_s = 7 \text{ m dní}$ - Ošetrovanie betónu

$t_0 = 28 \text{ dní}$ - Predpínanie

$t_{g1} = 180 \text{ dní}$ - Zataženie ostatným stálym zatažením

$t_q = 240 \text{ dní}$ - Začatie prevádzky mostu

$t_\infty = 36500 \text{ dní}$ - Životnosť mostu

9.2.1 Straty zmršťovaním

Vysychaný povrch uvažovaného prierezu na jeden meter bežný

$u = b = 1 \text{ m}$

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_{cr}}{u} = \frac{2 \cdot 0.79 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 1580 \text{ mm}$$

$k_h = 0.7$ - pre $h_0 \geq 0.500 \text{ m}$

| Botón | ε_{cd0} [‰] |
|--------|-------------------------|
| C20/25 | 0.3 |
| C40/50 | 0.24 |

Tab. 5 - Hodnoty ε_{cd0}

Lineárnou interpoláciou pre C35/45

$$\varepsilon_{cd0} = 0.000255\%$$

- Stráty vysychaním**

$$\beta_{ds,t_0,t_s} = \frac{t_0 - t_s}{(t_0 - t_s) + 0.04 * h_0 \left(\frac{3}{2}\right)} = \frac{28 - 7 \text{ m}}{(28 - 7 \text{ m}) + 0.04 * 1580 \text{ mm} \left(\frac{3}{2}\right)} = 0.00829$$

$$\beta_{ds,t_\infty,t_s} = \frac{t_\infty - t_s}{(t_\infty - t_s) + 0.04 * h_0 \left(\frac{3}{2}\right)} = \frac{36500 - 7 \text{ m}}{(36500 - 7 \text{ m}) + 0.04 * 1580 \text{ mm} \left(\frac{3}{2}\right)} = 0.936$$

$$\beta_{ds,t_0,t_\infty} = \beta_{ds,t_\infty,t_s} - \beta_{ds,t_0,t_s} = 0.936 - 0.00829 = 0.927$$

$$\varepsilon_{cd,t_\infty,t_0} = \beta_{ds,t_0,t_\infty} * k_h * (-\varepsilon_{cd0}) = -0.000166$$

- Stráty autogénnym vysychaním**

$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ - charakteristická pevnosť C35/45 v tlaku

$$\varepsilon_{ca,\infty} = -2.5 * (f_{ck} - 10) * 10^{(-6)} = -0.0000625$$

$$\beta_{as,t_\infty,t_s} = 1 - e^{\left(-0.2 * \sqrt{t_\infty - 28}\right)} = 1$$

$$\beta_{as,t_0,t_s} = 1 - e^{\left(-0.2 * \sqrt{t_0 - 7}\right)} = 0.600$$

$$\beta_{as,t_\infty,t_0} = \beta_{as,t_\infty,t_s} - \beta_{as,t_0,t_s} = 1 - 0.600 = 0.400$$

$$\varepsilon_{ca,t_\infty,t_0} = \beta_{as,t_\infty,t_0} * \varepsilon_{ca,\infty} = 0.400 * -0.0000625 = -0.0000250$$

- Celkové straty vysychaním**

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cs,t_\infty,t_0} = \varepsilon_{cd,t_\infty,t_0} - \varepsilon_{ca,t_\infty,t_0} = -0.000166 - -0.0000250 = -0.000141$$

$$\Delta\sigma_{ps,t_\infty,t_0} = \varepsilon_{cs,t_\infty,t_0} * E_p = -0.000141 * 195 \text{ GPa} = -27.403 \text{ MPa}$$

9.2.2 Straty vplyvom pritaženia od g_1 v t_g

$M_{g1,k} = 256.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od ostatného stáleho zaťaženia

$$\Delta\sigma_{psl,g1} = \left(\frac{M_{g1,k}}{I_{cr}} \right) * e_{pr} * \left(\frac{E_p}{E_{cm}} \right) = \left(\frac{256.23 \text{ kN} \cdot \text{m}}{0.0416 \text{ m}^4} \right) * 0.304 \text{ m} * \left(\frac{195 \text{ GPa}}{35 \text{ GPa}} \right) = 10.432 \text{ MPa}$$

$$\Delta P_{msl,g1} = \Delta\sigma_{psl,g1} * A_{p,1m} = 10.432 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 46.945 \text{ kN}$$

9.2.3 Straty dotvarovaním betónu

$$\beta_{c,t,tg} = 0.995$$

$$M_{g0,k} = 1287.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\varphi_{t\infty,t0} = 1.9$$

$$\varphi_{t\infty,tg} = 1.7$$

$$\sigma_{cqp,t0} = \frac{-P_{m0}}{A_{cr}} - \frac{P_{m0} * e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g0,k} * e_{pr}}{I_{cr}} = -$$

$$\sigma_{cqp,tg} = \frac{-\Delta P_{msl,g1}}{A_{cr}} - \frac{\Delta P_{msl,g1} * e_{pr}^2}{I_{cr}} + \frac{M_{g1,k} * e_{pr}}{I_{cr}} = -$$

$$\varepsilon_{cc,t\infty,t0} = \varphi_{t\infty,t0} * \left(\frac{\sigma_{cqp,t0}}{E_{cm}} \right) = 1.9 * \left(\frac{-10.673 \text{ MPa}}{35 \text{ GPa}} \right) = -0.000579$$

$$\varepsilon_{cc,t\infty,tg} = \varphi_{t\infty,tg} * \left(\frac{\sigma_{cqp,tg}}{E_{cm}} \right) = 1.7 * \left(\frac{1.709 \text{ MPa}}{35 \text{ GPa}} \right) = 0.0000830$$

$$\Delta\sigma_{pc,t\infty,t0} = \varepsilon_{cc,t\infty,t0} * E_p = -0.000579 * 195 \text{ GPa} = -112.986 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc,t\infty,tg} = \varepsilon_{cc,t\infty,tg} * E_p = 0.0000830 * 195 \text{ GPa} = 16.184 \text{ MPa}$$

9.2.4 Straty relaxáciou

Dlhodobá relaxácia bola zistená pomocou scia engineer

$$\Delta\sigma_{pr,t\infty,t0} = -61.59 \text{ MPa}$$

| x [m] | y [m] | z [m] | Ztráty třením [MPa] | Ztráta pokluzem [MPa] | Krátkodobá relaxace [MPa] | Nap. po zakotvení / po vnesení předpětí [MPa] | Relaxace proběhla [MPa] | Relaxace proběhne [MPa] |
|----------|----------|----------|------------------------|--------------------------|------------------------------|--|----------------------------|----------------------------|
| 4,500 | 0,000 | -0,242 | -11,35 | -91,34 | -1,53 | 1337,31 | -10,91 | -55,85 |
| 5,000 | 0,000 | -0,260 | -13,73 | -86,73 | -1,49 | 1339,54 | -10,65 | -56,59 |
| 5,500 | 0,000 | -0,274 | -16,10 | -82,13 | -1,45 | 1341,77 | -10,40 | -57,34 |
| 6,000 | 0,000 | -0,285 | -18,46 | -77,54 | -1,41 | 1344,00 | -10,16 | -58,07 |
| 6,500 | 0,000 | -0,293 | -20,83 | -72,93 | -1,37 | 1346,24 | -9,92 | -58,81 |
| 7,000 | 0,000 | -0,298 | -23,18 | -68,34 | -1,33 | 1348,47 | -9,69 | -59,54 |
| 7,500 | 0,000 | -0,300 | -25,54 | -63,74 | -1,30 | 1350,72 | -9,46 | -60,28 |
| 8,000 | 0,000 | -0,300 | -26,32 | -62,21 | -1,29 | 1351,47 | -9,39 | -60,52 |
| 8,500 | 0,000 | -0,300 | -26,99 | -60,89 | -1,28 | 1352,11 | -9,32 | -60,73 |
| 9,000 | 0,000 | -0,300 | -27,66 | -59,58 | -1,27 | 1352,76 | -9,26 | -60,94 |
| 9,500 | 0,000 | -0,300 | -28,34 | -58,27 | -1,26 | 1353,40 | -9,20 | -61,15 |
| 10,000 | 0,000 | -0,300 | -29,01 | -56,95 | -1,25 | 1354,04 | -9,14 | -61,36 |
| 10,500 | 0,000 | -0,300 | -29,68 | -55,64 | -1,24 | 1354,69 | -9,07 | -61,56 |

Tab. 6 - Dlhodobá relaxácia

9.2.5 Straty vplivom q v t_q

- **Charakteristická kombinácia**

$M_{TS,k} = 657.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od LM1 - tandem systém

$M_{UDL,k} = 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Moment od LM1 - UDL

$$M_{q,k} = M_{TS,k} + M_{UDL,k} = 657.97 \text{ kN} \cdot \text{m} + 378.73 \text{ kN} \cdot \text{m} = 1036.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\Delta\sigma_{pel,q} = \left(\frac{M_{q,k}}{I_{cr}} \right) * e_{pr} * \left(\frac{E_p}{E_{cm}} \right) = \left(\frac{1036.7 \text{ kN} \cdot \text{m}}{0.0416 \text{ m}^4} \right) * 0.304 \text{ m} * \left(\frac{195 \text{ GPa}}{35 \text{ GPa}} \right) = 42.209 \text{ MPa}$$

$$P_{el,q} = \Delta\sigma_{pel,q} * A_{p,1m} = 42.209 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 189.938 \text{ kN}$$

- **Častá kombinácia**

$$\Delta\sigma_{pel,q,\psi1} = \left(\frac{M_{q,k} * 0.7}{I_{cr}} \right) * e_{pr} * \left(\frac{E_p}{E_{cm}} \right) = \left(\frac{1036.7 \text{ kN} \cdot \text{m} * 0.7}{0.0416 \text{ m}^4} \right) * 0.304 \text{ m} * \left(\frac{195 \text{ GPa}}{35 \text{ GPa}} \right) = 29.546 \text{ MPa}$$

$$P_{el,q,\psi1} = \Delta\sigma_{pel,q,\psi1} * A_{p,1m} = 29.546 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 132.957 \text{ kN}$$

- **Výsledné hodnoty napätia**

$$v = \frac{E_p * A_{p,1m}}{E_{cm} * A_{cr}} = \frac{195 \text{ GPa} * 0.0045 \text{ m}^2}{35 \text{ GPa} * 0.79 \text{ m}^2} = 0.0317$$

$$\varphi_{cr} = v * \left(1 + \frac{A_{cr} * e_{pr}^2}{I_{cr}} \right) = 0.0317 * \left(1 + \frac{0.79 \text{ m}^2 * 0.304 \text{ m}^2}{0.0416 \text{ m}^4} \right) = 0.0874$$

$$\Delta\sigma_{c,r,m} = \frac{\Delta\sigma_{ps,t\infty,t0} + 0.8 * \Delta\sigma_{pr,t\infty,t0} + \Delta\sigma_{pc,t\infty,t0}}{1 + \varphi_{cr} * (1 + 0.8 * \varphi_{t\infty,t0})} + \frac{\Delta\sigma_{pc,t\infty,tg}}{1 + \varphi_{cr} * (1 + 0.8 * \varphi_{t\infty,tg})} = \frac{-27.403 \text{ MPa} + 0.8 * -61.59 \text{ MPa} + -112.986 \text{ MPa}}{1 + 0.0874 * (1 + 0.8 * 1.9)} + \frac{16.184 \text{ MPa}}{1 + 0.0874 * (1 + 0.8 * 1.7)} = -142.002 \text{ MPa}$$

9.3 Predpínacia sila v čase výstavby t₀

$$\sigma_{p,m0} = 1279.72 \text{ MPa}$$

$$P_{m0} = 5758.739 \text{ kN}$$

9.4 Predpínacia sila v čase životnosti t_{∞}

- **Kvázistála kombinácia**

$$\sigma_{pm,t_{\infty}} = \sigma_{p,m0} + \Delta\sigma_{c,r,m} + \Delta\sigma_{pc,t_{\infty},tg} = 1279.72 \text{ MPa} + -142.002 \text{ MPa} + 16.184 \text{ MPa} = 1153.902 \text{ MPa}$$

$$P_{m,t_{\infty}} = \sigma_{pm,t_{\infty}} * A_{p,1m} = 1153.902 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 5192.561 \text{ kN}$$

$$\left(\frac{\sigma_{p,m0} - \sigma_{pm,t_{\infty}}}{\sigma_{pm,t_{\infty}}} \right) * 100 = \left(\frac{1279.72 \text{ MPa} - 1153.902 \text{ MPa}}{1153.902 \text{ MPa}} \right) * 100 = 10.904\%$$

Vypočítané dlhodobé straty sú vyššie, ako straty odhadované

- **Charakteristická kombinácia**

$$\sigma'_{pm,t_{\infty}} = \sigma_{pm,t_{\infty}} + \Delta\sigma_{pel,q} = 1153.902 \text{ MPa} + 42.209 \text{ MPa} = 1196.111 \text{ MPa}$$

$$P'_{m,t_{\infty}} = \sigma'_{pm,t_{\infty}} * A_{p,1m} = 1196.111 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 5382.499 \text{ kN}$$

- **Častá kombinácia**

$$\sigma''_{pm,t_{\infty}} = \sigma_{pm,t_{\infty}} + \Delta\sigma_{pel,q,\psi_1} = 1153.902 \text{ MPa} + 29.546 \text{ MPa} = 1183.448 \text{ MPa}$$

$$P''_{m,t_{\infty}} = \sigma''_{pm,t_{\infty}} * A_{p,1m} = 1183.448 \text{ MPa} * 0.0045 \text{ m}^2 = 5325.518 \text{ kN}$$

10 MEDZNÝ STAV POUŽITELNOSTI

$$b = 1 \text{ m}$$

$$h = 0.8 \text{ m}$$

$$A_{cr} = 0.79 \text{ m}^2$$

$$I_{cr} = 0.0416 \text{ m}^4$$

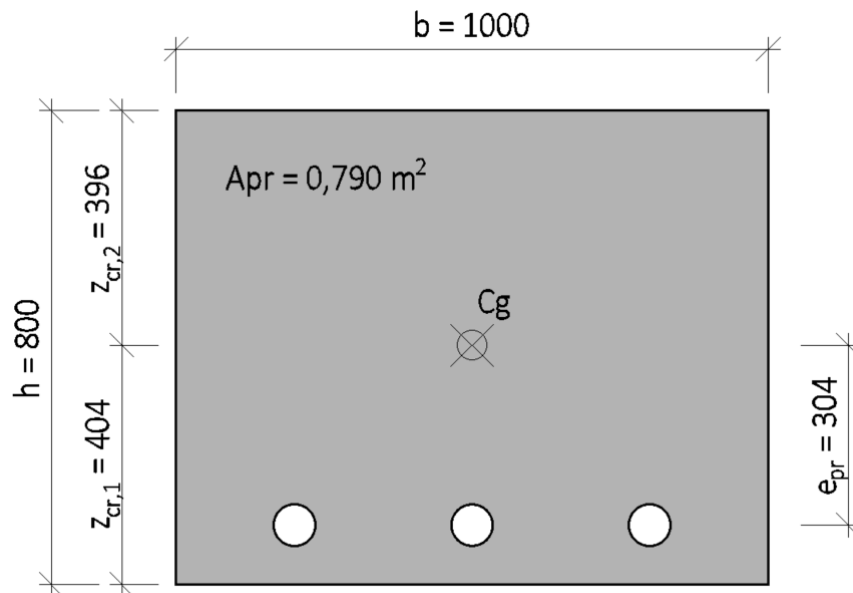
$$z_{cr,1} = 0.404 \text{ m}$$

$$z_{cr,2} = 0.396 \text{ m}$$

$$e_{pr} = 0.304 \text{ m}$$

$$W_{cr,1} = \frac{I_{cr}}{z_{cr,1}} = \frac{0.0416 \text{ m}^4}{0.404 \text{ m}} = 0.103 \text{ m}^3$$

$$W_{cr,2} = \frac{I_{cr}}{z_{cr,2}} = \frac{0.0416 \text{ m}^4}{0.396 \text{ m}} = 0.105 \text{ m}^3$$



Obr. 35 - Oslabený prierez na 1mb

- Predpínacia sila v čase t_0 :**

$$P_{m,0} = 5758.739 \text{ kN}$$

Predpínacia sila zväčšená súčiniteľom $r_{sup} = 1.1$

$$P_{m,0,sup} = 1.1 * P_{m,0} = 1.1 * 5758.739 \text{ kN} = 6334.613 \text{ kN}$$

- Predpínaci sila v čase t_{∞} :**

$$P_{m,t_{\infty}} = 5192.839 \text{ kN}$$

$$P'_{m,t_{\infty}} = 5382.777 \text{ kN}$$

$$P''_{m,t_{\infty}} = 5325.796 \text{ kN}$$

Predpínacia sila zmenšená súčiniteľom $r_{inf} = 0.9$

$$P_{m,t_{\infty},inf} = 0.9 * P_{m,t_{\infty}} = 0.9 * 5192.839 \text{ kN} = 4673.555 \text{ kN} - \text{kvázistála kombinácia}$$

$$P'_{m,t_{\infty},inf} = 0.9 * P'_{m,t_{\infty}} = 0.9 * 5382.777 \text{ kN} = 4844.499 \text{ kN} - \text{charakteristická}$$

kombinácia

$$P''_{m,t\infty,inf} = 0.9 * P''_{m,t\infty} = 0.9 * 5325.796 \text{ kN} = 4793.216 \text{ kN} - \text{častá kombinácia}$$

10.1 Obmedzenie napätia

- Obmedzenie napätia v predpínacej výstuži

$$\sigma_{p,0,max} = 0.85 * f_{p0,1k} = 0.85 * 1560 \text{ MPa} = 1326 \text{ MPa}$$

$$f_{p0,1k} = 1560 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,m,t0} = 1279.720 \text{ MPa} \leq \sigma_{p,0,max} = 1326 \text{ MPa} - \text{VYHOVUJE}$$

$$\sigma_{p,m,t\infty} = 1153.964 \text{ MPa} \leq \sigma_{p,0,max} = 1326 \text{ MPa} - \text{VYHOVUJE}$$

- Obmedzenie napätia v betóne v čase t_0

- Dolné vlákna - maximálne tlakové namáhanie

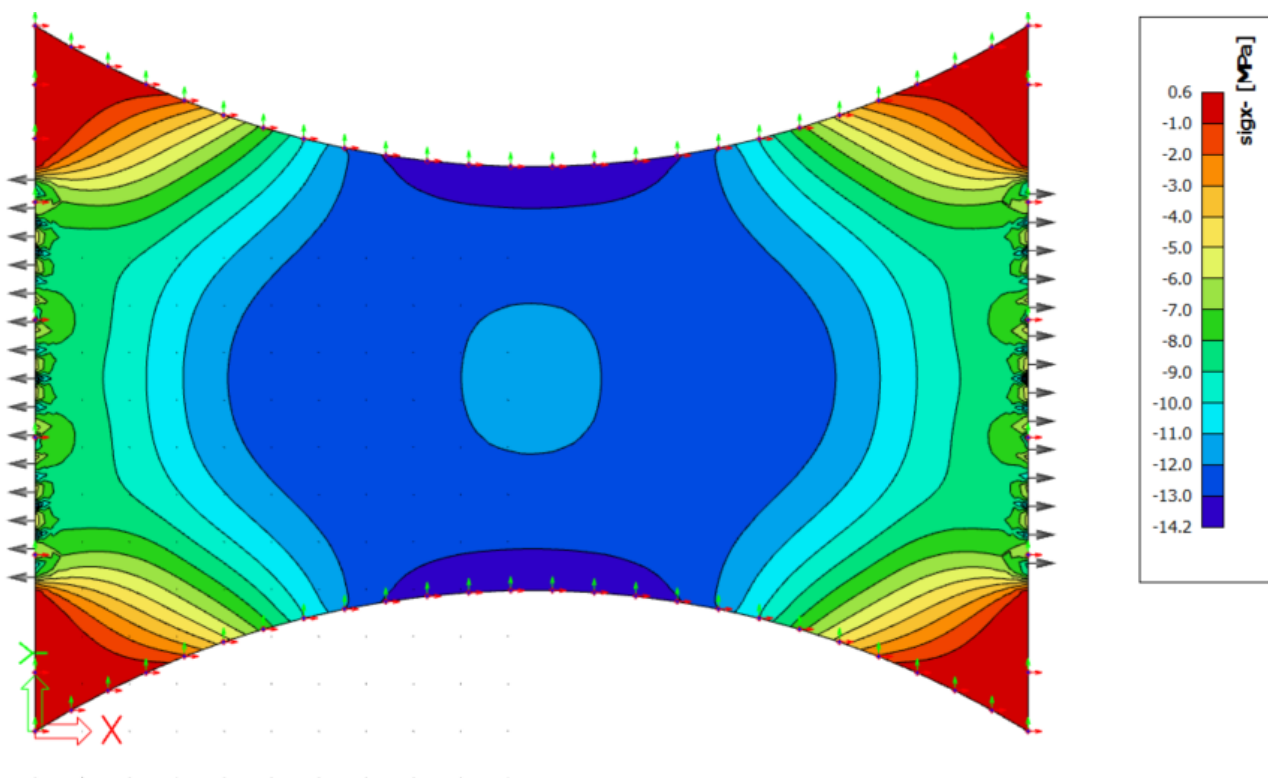
$$M_{g,0,k} = 1287.6 \text{ kN} * \text{m}$$

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1,min} = -0.45 * f_{ck} = -15.75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1,t0} = - \left(\frac{P_{m,0,sup}}{A_{cr}} \right) - \frac{P_{m,0,sup} * e_{pr}}{W_{cr,1}} + \frac{M_{g,0,k}}{W_{cr,1}} = -14.216 \text{ MPa} \geq \sigma_{c1,min} = -15.75 \text{ MPa}$$

- VYHOVUJE



Obr. 36 - Napätie na dolných vláknach v t_0

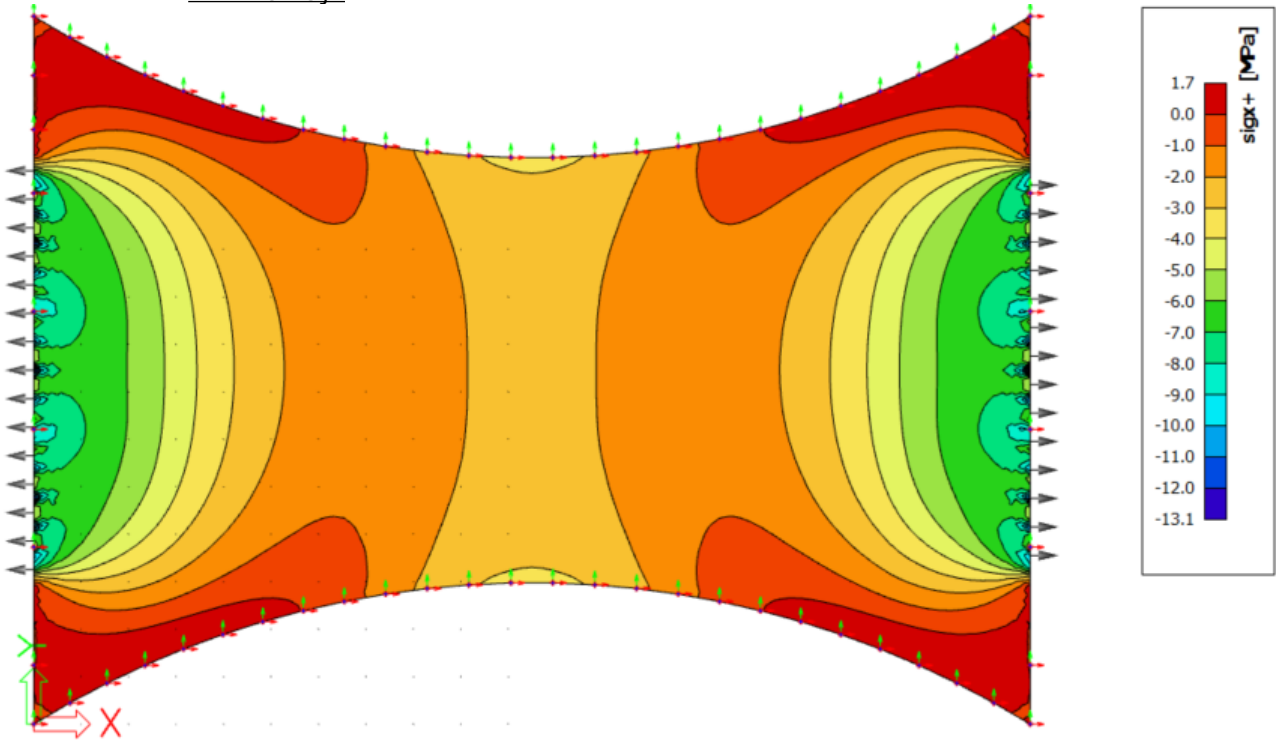
- **Horné vlákna - maximálne ťahové napätie**

- $f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$

$$\sigma_{c2,max} = f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2,t0} = - \left(\frac{P_{m,0,sup}}{A_{cr}} \right) + \frac{P_{m,0,sup} * e_{pr}}{W_{cr,1}} - \frac{M_{g,0,k}}{W_{cr,1}} = -1.821 \text{ MPa} \leq \sigma_{c2,max} = 3.2 \text{ MPa}$$

- VYHOVUJE



Obr. 37 - Napätie na horných vláknach v t_0

- **Obmedzenie napätia v betóne v čase t_∞ :**

- **Charakteristická kombinácia - tlak na horných vláknach**

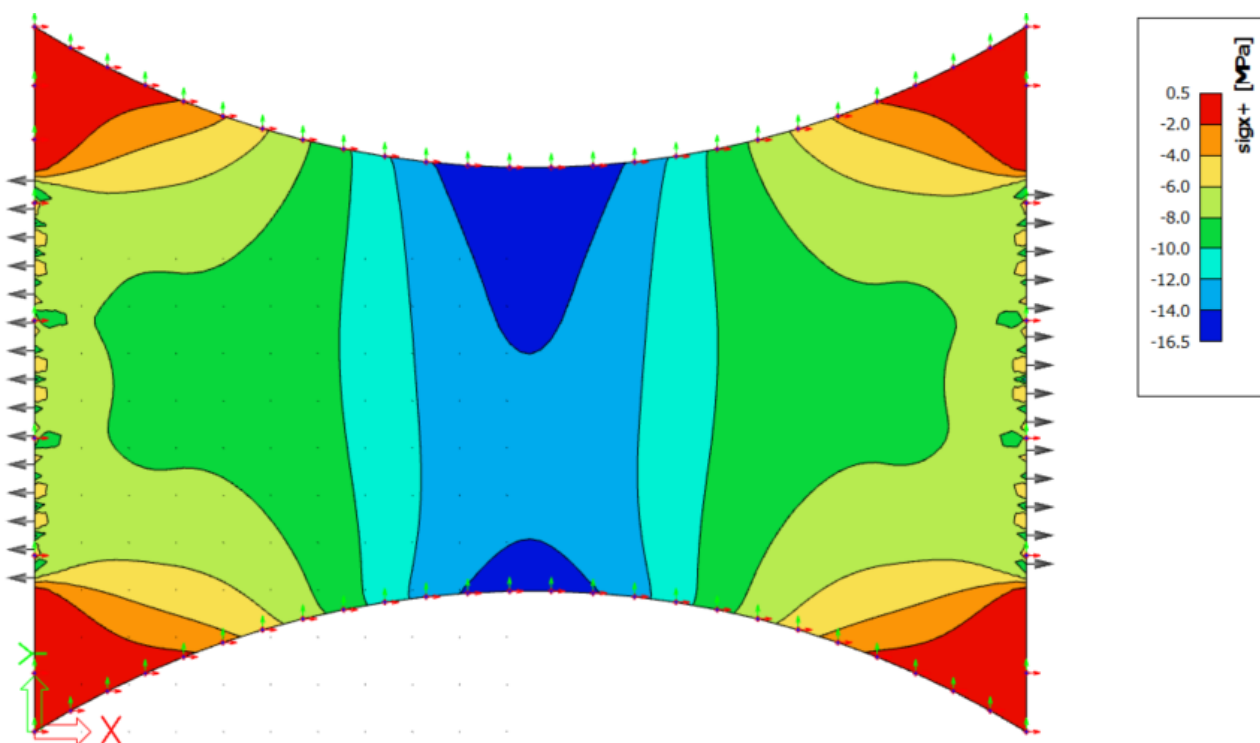
$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c2,char,min} = -0.6 * f_{ck} = -$$

$$M_{ek1} = 2580.53 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\sigma_{c2,char} = - \left(\frac{P'_{m,t\infty,inf}}{A_{cr}} \right) + \frac{P'_{m,t\infty,inf} * e_{pr}}{W_{cr,2}} - \frac{M_{ek1}}{W_{cr,2}} = -16.678 \text{ MPa} \geq \sigma_{c2,char,min} = -21 \text{ MPa}$$

- VYHOVUJE



Obr. 38 - Napätie na horných vláknach v t_{∞} - charakteristická kombinácia

- Častá kombinácia - ťah na dolných vláknach

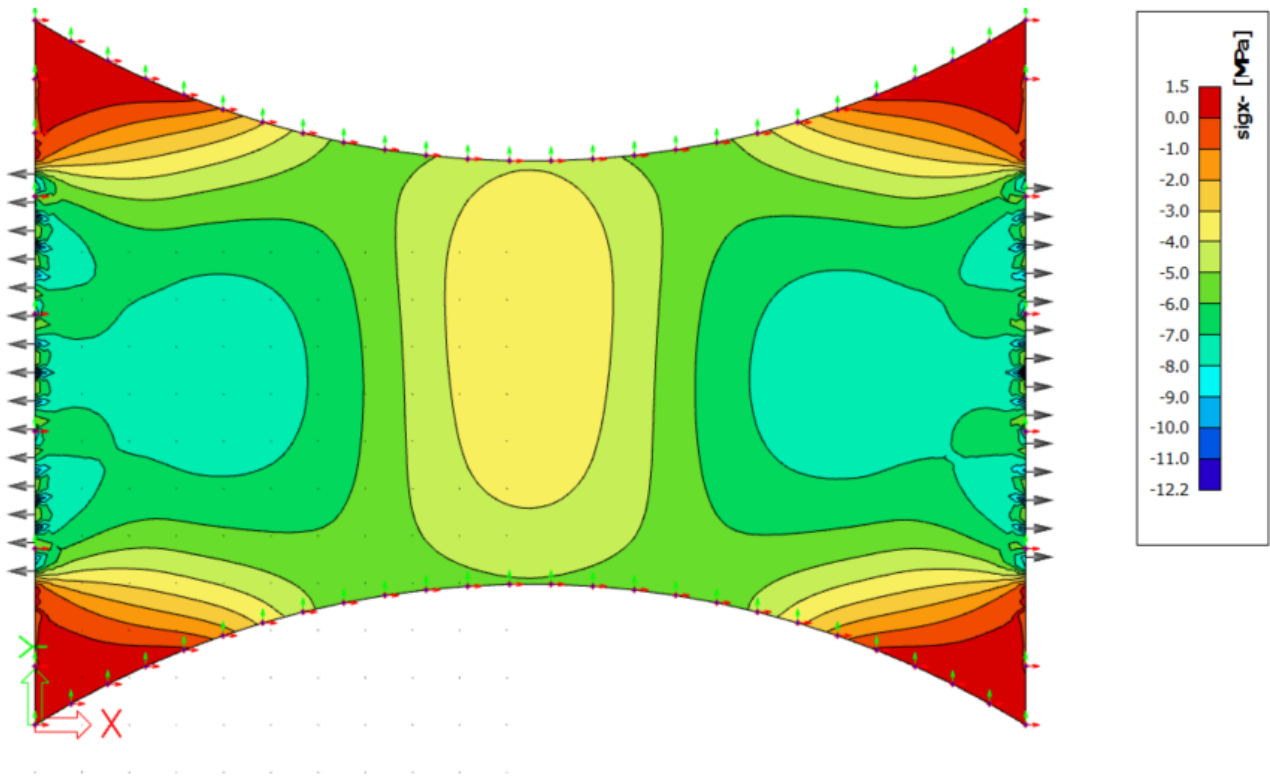
$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c1,čas,max} = f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$M_{ek,\psi1} = 2188.80 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_{c1,čas} = - \left(\frac{P''_{m,t\infty,inf}}{A_{cr}} \right) - \frac{P''_{m,t\infty,inf} \cdot e_{pr}}{W_{cr,2}} + \frac{M_{ek,\psi2}}{W_{cr,2}} = -5.242 \text{ MPa} \leq \sigma_{c1,čas,max} = 3.2 \text{ MPa}$$

- VYHOVUJE



Obr. 39 - Napätie na dolných vláknach v t_{∞} - častá kombinácia

- **Kvázstála kombinácia - tlak na horných vláknach**

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}$$

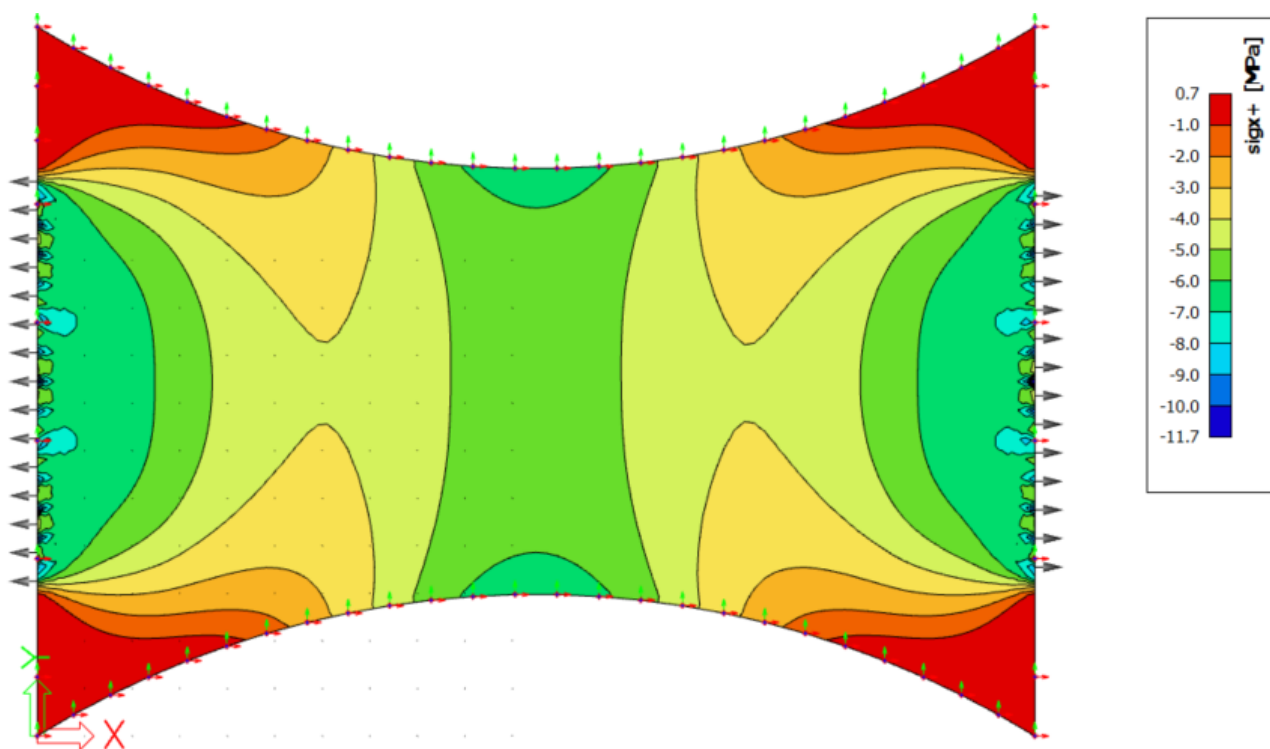
$$\sigma_{c2,kvazi,min} = -0.45 * f_{ck} = -15.75 \text{ MPa}$$

$$M_{ek,\psi2} = 1543.83 \text{ kN} * \text{m}$$

$$\sigma_{c2,kvazi} = - \left(\frac{P_{m,t\infty,inf}}{A_{cr}} \right) + \frac{P_{m,t\infty,inf} * e_{pr}}{W_{cr,2}} - \frac{M_{ek,\psi2}}{W_{cr,2}} = -7.087 \text{ MPa} \geq \sigma_{c2,kvazi,min}$$

$$= -15.75 \text{ MPa}$$

- VYHOVUJE



Obr. 40 - Napätie na horných vláknach v t_{∞} - kvázistála kombinácia

10.2 Obmedzenie priehybu

- Priehyby od jednotlivých zaťažovacích stavov v čase t_0 :

$$v_{st,g0} = 37.7 \text{ mm}$$

$$v_{st,g1} = 7.4 \text{ mm}$$

$$v_{st,UDL} = 11.8 \text{ mm}$$

$$v_{st,TS} = 15.3 \text{ mm}$$

$$v_{st,LM1} = v_{st,UDL} + v_{st,TS} = 11.8 \text{ mm} + 15.3 \text{ mm} = 27.1 \text{ mm}$$

$$v_{st,LM3} = 21.4 \text{ mm}$$

$$v_{st,p} = -61.5 \text{ mm}$$

$$v_{st,q} = \text{Max}(v_{st,LM1}, v_{st,LM3}) = \text{Max}(27.1 \text{ mm}, 21.4 \text{ mm}) = 27.1 \text{ mm}$$

- Priehyby od dlhodobých účinkov v čase t_{∞} :

$$\varphi_{t_{\infty},t0} = 1.9$$

$$\varphi_{t_{\infty},tg} = 1.7$$

$$v_{lt,g0} = \varphi_{t_{\infty},t0} * v_{st,g0} = 1.9 * 37.7 \text{ mm} = 71.63 \text{ mm}$$

$$v_{lt,g1} = \varphi_{t_{\infty},tg} * v_{st,g1} = 1.7 * 7.4 \text{ mm} = 12.58 \text{ mm}$$

$$v_{lt,p} = \varphi_{t_{\infty},t0} * v_{st,p} = 1.9 * -61.5 \text{ mm} = -116.85 \text{ mm}$$

- Posúdenie priehybu v čase t_0 :

$$v_{t0} = v_{st,g0} + v_{st,p} = 37.7 \text{ mm} + -61.5 \text{ mm} = -23.8 \text{ mm}$$

$$\text{Abs}(v_{t0}) = 23.8 \text{ mm} \leq v_{\text{lim},t0} = \frac{L}{250} = \frac{21 \text{ m}}{250} = 84 \text{ mm} - \text{VYHOVUJE}$$

- Posúdenie priehybu v čase t_∞ :

$$\psi_0 = 1.0$$

$$\psi_1 = 0.7$$

$$\psi_2 = 0.0$$

- Častá kombinácia

$$\begin{aligned} v_{t\infty,\psi1} &= v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1} + v_{lt,g1} + \psi_1 * v_{st,q} + v_{st,p} + v_{lt,p} \\ &= 37.7 \text{ mm} + 71.63 \text{ mm} + 7.4 \text{ mm} + 12.58 \text{ mm} + 0.7 * 27.1 \text{ mm} + -61.5 \text{ mm} + -116.85 \text{ mm} \\ &= -30.07 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Abs}(v_{t\infty,\psi1}) = 30.07 \text{ mm} \leq v_{\text{lim},\psi1} = \frac{L}{600} = \frac{21 \text{ m}}{600} = 35 \text{ mm} - \text{VYHOVUJE}$$

- Kvázistála kombinácia

$$\begin{aligned} v_{t\infty,\psi2} &= v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1} + v_{lt,g1} + \psi_2 * v_{st,q} + v_{st,p} + v_{lt,p} \\ &= 37.7 \text{ mm} + 71.63 \text{ mm} + 7.4 \text{ mm} + 12.58 \text{ mm} + 0 * 27.1 \text{ mm} + -61.5 \text{ mm} + -116.85 \text{ mm} \\ &= -49.04 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Abs}(v_{t\infty,\psi2}) = 49.04 \text{ mm} \leq v_{\text{lim},\psi2} = \frac{L}{250} = \frac{21 \text{ m}}{250} = 84 \text{ mm} - \text{VYHOVUJE}$$

- Charakteristická kombinácia

$$\begin{aligned} v_{t\infty,\psi0} &= v_{st,g0} + v_{lt,g0} + v_{st,g1} + v_{lt,g1} + \psi_0 * v_{st,q} + v_{st,p} + v_{lt,p} \\ &= 37.7 \text{ mm} + 71.63 \text{ mm} + 7.4 \text{ mm} + 12.58 \text{ mm} + 1 * 27.1 \text{ mm} + -61.5 \text{ mm} + -116.85 \text{ mm} \\ &= -21.94 \text{ mm} \end{aligned}$$

11 MEDZNÝ STAV ÚNOSNOSTI

- **Betón C35/45**

$$f_{ck} = 35 \text{ MPa}; \alpha_{cc} = 0.9; \gamma_c = 1.5$$

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{0.9 \cdot 35 \text{ MPa}}{1.5} = 21 \text{ MPa}$$

$$f_{ctm} = 3.2 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 35 \text{ GPa}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0035\%$$

- **Predpínacia výstuž Y1770 S7-15,7**

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

$$f_{p0,1k} = 1560 \text{ MPa}$$

$$f_{pd} = \frac{f_{p0,1k}}{\gamma_s} = \frac{1560 \text{ MPa}}{1.15} = 1356.522 \text{ MPa}$$

$$E_p = 195 \text{ GPa}$$

$$A_p = 4500 \text{ mm}^2 = 0.0045 \text{ m}^2$$

- **Betonárska výstuž B500B**

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$\gamma_s = 1.15$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500 \text{ MPa}}{1.15} = 434.783 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_s = 0.0035\%$$

- **Posúdenie na ohyb**

11.1 Krytie betonárskej výstuže

Trieda prostredia XD1

Trieda konštrukcie S6 - 100 rokov

$\Phi_{sl} = 16 \text{ mm}$ - profil betonárskej výstuže

$\Phi_{sw} = 10 \text{ mm}$

$c_{min,dur} = 40 \text{ mm}$ - S6/XD1

$c_{min,b} = \Phi_{sl} = 16 \text{ mm}$

$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$

$c_{min} = \text{Max}(\Phi_{sl}, c_{min,dur}, 10 \text{ mm}) = \text{Max}(16 \text{ mm}, 40 \text{ mm}, 10 \text{ mm}) = 40 \text{ mm}$

$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$

11.2 Pozdĺžny smer

- Charakteristické vnútorné sily**

$$N_{fk} = 0 \text{ kN}$$

$$N_{pk} = P'_{m,t\infty,inf} = 4844.499 \text{ kN}$$

$$N_{ek} = N_{fk} + N_{pk} = 0 \text{ kN} + 4844.499 \text{ kN} = 4844.499 \text{ kN}$$

$$M_{fk} = M_{ek1} = 2580.53 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{pk} = P'_{m,t\infty,inf} \cdot e_{pr} = 4844.499 \text{ kN} \cdot 0.304 \text{ m} = 1472.728 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ek} = M_{fk} + (-M_{pk}) = 1107.802 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- Charakteristické napätie**

$$\sigma'_{pm,t\infty} = 1196.173 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{p,t} = \sigma'_{pm,t\infty} = 1196.173 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{cp} = - \left(\frac{N_{ek}}{A_{cr}} \right) + \frac{M_{ek} \cdot e_{pr}}{I_{cr}} = 1.963 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{0,p,t} = \sigma_{p,t} - \left(\frac{E_p}{E_{cm}} \right) \cdot \sigma_{cp} = 1196.173 \text{ MPa} - \left(\frac{195 \text{ GPa}}{35 \text{ GPa}} \right) \cdot 1.963 \text{ MPa}$$

$$= 1185.235 \text{ MPa}$$

$$P_{0,t,\infty} = \sigma_{0,p,t} \cdot A_p = 1185.235 \text{ MPa} \cdot 0.0045 \text{ m}^2 = 5333.558 \text{ kN}$$

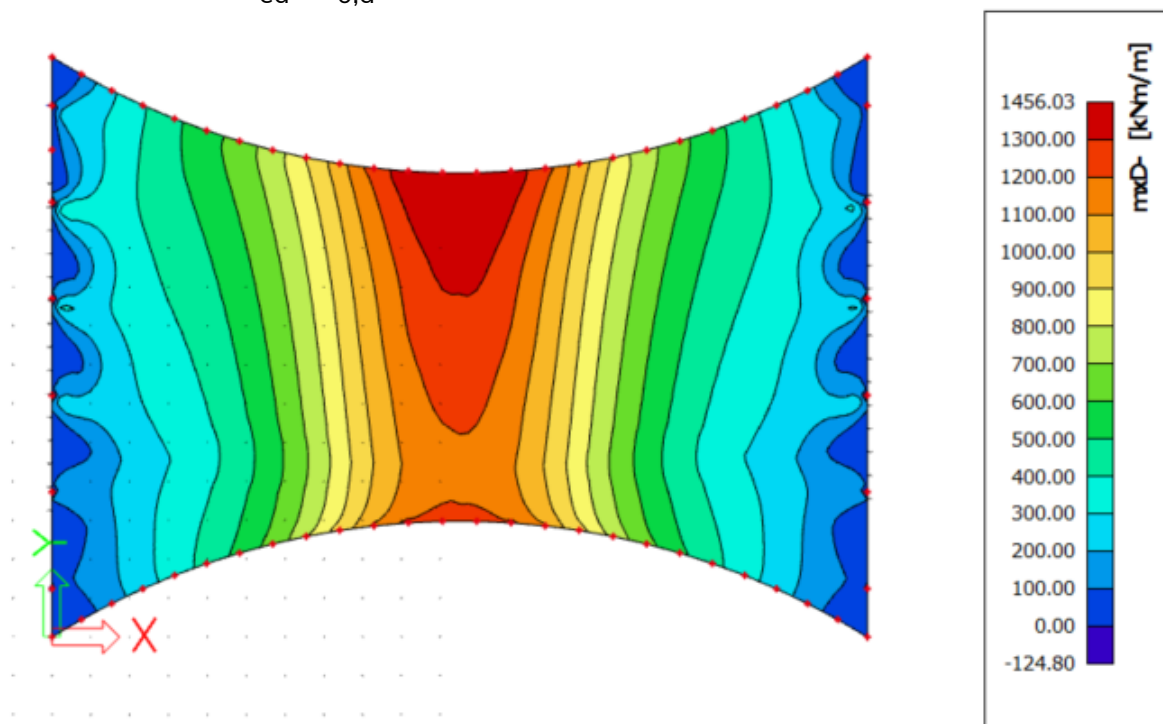
$$\gamma_p = 1.0$$

$$P_{0,d} = \gamma_p \cdot P_{0,t,\infty} = 1 \cdot 5333.558 \text{ kN} = 5333.558 \text{ kN}$$

- Návrhové vnútorné sily**

$$M_{ed} = 1456.03 \text{ kN} \cdot \text{m} - \text{kombinácia 6.10b pre zostavu gr1a, mxD}$$

$$N_{ed} = P_{0,d} = 5333.558 \text{ kN}$$



Obr. 41 - Grafické znázornenie návrhových momentov v pozdĺžnom smere

- **Pracovný diagram**

$$\varepsilon_{pyd} = \frac{f_{pd}}{E_p} = \frac{1356.522 \text{ MPa}}{195 \text{ GPa}} = 0.00696\%$$

$$\varepsilon_{p0d} = \frac{\sigma_{0,p,t}}{E_p} = \frac{1185.235 \text{ MPa}}{195 \text{ GPa}} = 0.00608\%$$

$$\Delta\varepsilon_p = \varepsilon_{pyd} - \varepsilon_{p0d} = 0.00696 - 0.00608 = 0.000878\%$$

$$\Delta\sigma_p = f_{pd} - \sigma_{0,p,t} = 1356.522 \text{ MPa} - 1185.235 \text{ MPa} = 171.287 \text{ MPa}$$

- **Neutrálna os**

$$\Delta F_p = A_p \cdot \Delta\sigma_p = 0.0045 \text{ m}^2 \cdot 171.287 \text{ MPa} = 770.790 \text{ kN}$$

$$A_{cc} = \frac{N_{ed} + \Delta F_p}{f_{cd}} = \frac{5333.558 \text{ kN} + 770.790 \text{ kN}}{21 \text{ MPa}} = 0.291 \text{ m}^2$$

$$\lambda x = \frac{A_{cc}}{b} = \frac{0.291 \text{ m}^2}{1 \text{ m}} = 0.291 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.8$$

$$x = \frac{A_{cc}}{\lambda \cdot b} = \frac{0.291 \text{ m}^2}{0.8 \cdot 1 \text{ m}} = 363.354 \text{ mm}$$

- **Overenie predpokladu pretvorenia vo výstuži**

$$x \leq x_{bal,1}$$

$$d_p = 0.70 \text{ m}$$

$$x_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu} \cdot d_p}{\varepsilon_{cu} + \Delta\varepsilon_p} = \frac{0.0035 \cdot 0.7 \text{ m}}{0.0035 + 0.000878} = 559.566 \text{ mm}$$

$$x_{bal,1} = 559.566 \text{ mm} \geq x = 363.354 \text{ mm} - \text{VYHOVUJE}$$

- **Stanovenie únosnosti M_{rd}**

$$F_{cc} = A_{cc} \cdot f_{cd} = 0.291 \text{ m}^2 \cdot 21 \text{ MPa} = 6104.348 \text{ kN}$$

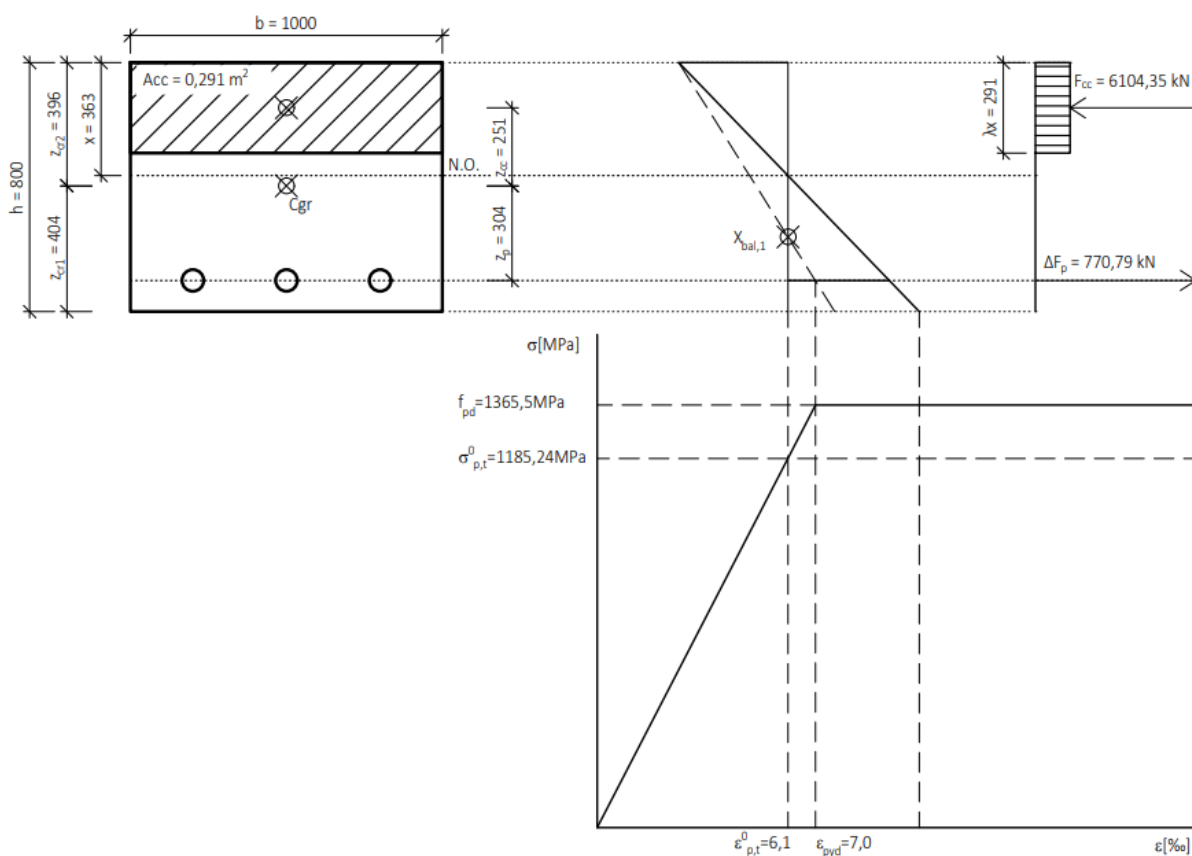
$$\Delta F_p = 770.790 \text{ kN}$$

$$z_{cc} = 0.251 \text{ m}$$

$$z_p = 0.304 \text{ m}$$

$$M_{rd} = F_{cc} \cdot z_{cc} + \Delta F_p \cdot z_p = 6104.348 \text{ kN} \cdot 0.251 \text{ m} + 770.790 \text{ kN} \cdot 0.304 \text{ m} = 1766.511 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{ed} = 1456.03 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{rd} = 1766.511 \text{ kN} \cdot \text{m} - \text{VYHOVUJE}$$



Obr.42 - Započítateľnosť výstuže

- Konštrukčné zásady v pozdĺžnom smere**

$$A_c = 0.8 \text{ m}^2$$

$$c_{\text{pod}} = 65 \text{ mm}$$

$$\varnothing_{\text{pod}} = 16 \text{ mm}$$

$$A_{\varnothing 16} = 201.062 \text{ mm}^2$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$d_{\text{pod}} = h - c_{\text{pod}} - \frac{\varnothing_{\text{pod}}}{2} = 800 \text{ mm} - 65 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 727 \text{ mm}$$

Minimálna plocha výstuže:

$$A_{s,\text{min},\text{pod}} = 0.26 * \left(\frac{f_{\text{ctm}}}{f_{\text{yk}}} \right) * b * d_{\text{pod}} = 0.26 * \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) * 1 \text{ m} * 727 \text{ mm} = 1209.728 \text{ mm}^2 \geq$$

$$0.0013 * b * d_{\text{pod}} = 0.0013 * 1 \text{ m} * 727 \text{ mm} = 945.1 \text{ mm}^2$$

Maximálna plocha výstuže:

$$A_{s,\text{max},\text{pod}} = 0.04 * A_c = 0.04 * 0.8 \text{ m}^2 = 32000 \text{ mm}^2$$

Minimálna vzdialenosť výstuže

$$s_{\min} = \text{Max}(1.2 * \varnothing_{\text{pod}}, 35 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = \text{Max}(1.2 * 16 \text{ mm}, 35 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = 35 \text{ mm}$$

$$s_{\max} = \text{Min}(2 * h, 200 \text{ mm}) = \text{Min}(2 * 800 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

Navrhnutá výstuž

Ø16 po 150 mm

$$s_{\text{pod}} = 165 \text{ mm}$$

$$A_{s,\text{pod}} = \left(\frac{b}{s_{\text{pod}}} \right) * A_{\varnothing 16} = \left(\frac{1 \text{ m}}{165 \text{ mm}} \right) * 201.062 \text{ mm}^2 = 1218.557 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,\min,\text{pod}} = 1209.728 \text{ mm}^2 \leq A_{s,\text{pod}} = 1218.557 \text{ mm}^2 \leq A_{s,\max,\text{pod}} = 32000 \text{ mm}^2$$

- VYHOVUJE

$$s_{\min} = 35 \text{ mm} \leq s_{\text{pod}} = 165 \text{ mm} \leq s_{\max} = 200 \text{ mm} - \text{VYHOVUJE}$$

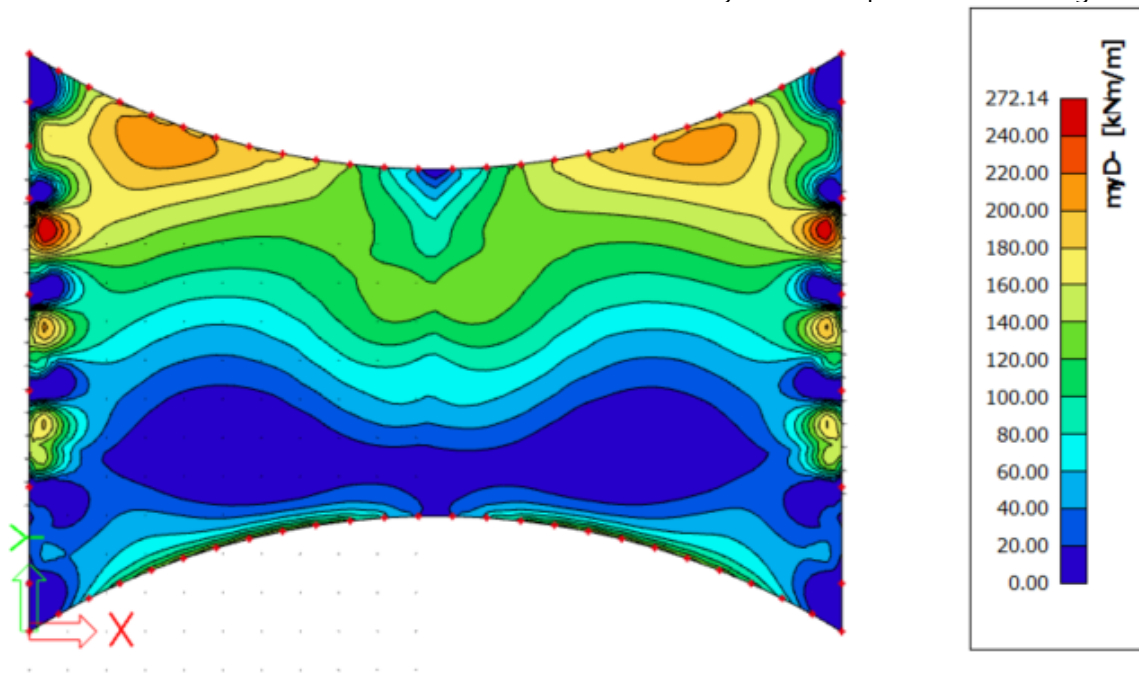
Stupeň vystuženia:

$$\rho_{\text{pod}} = \frac{A_{s,\text{pod}}}{b * d_{\text{pod}}} = \frac{1218.557 \text{ mm}^2}{1 \text{ m} * 727 \text{ mm}} = 0.168\% \leq 4,00\% - \text{VYHOVUJE}$$

11.3 Priečný smer

11.3.1 Spodná ohybová výstuž

navrhované na maximálnu hodnotu momentu m_{yD}^- zistenú pomocou scia engineer



Obr. 43 - Grafické znázornenie spodných návrhových momentov v priečnom smere

$$M_{ed,pr} = 272.14 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\varnothing_{pr} = 16 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$c_{pr} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{\varnothing 16} = \frac{\pi \cdot \varnothing_{pr}^2}{4} = \frac{3.142 \cdot 16 \text{ mm}^2}{4} = 201.062 \text{ mm}^2$$

$$d_{pr} = h - c_{pr} - \frac{\varnothing_{pr}}{2} = 800 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - \frac{16 \text{ mm}}{2} = 742 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} A_{s,req,pr} &= b \cdot d_{pr} \cdot \left(\frac{f_{cd}}{f_{yd}} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed,pr}}{b \cdot d_{pr}^2 \cdot f_{cd}}} \right) \\ &= 1 \text{ m} \cdot 742 \text{ mm} \cdot \left(\frac{21 \text{ MPa}}{434.783 \text{ MPa}} \right) \cdot \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 272.14 \text{ kN} \cdot \text{m}}{1 \text{ m} \cdot 742 \text{ mm}^2 \cdot 21 \text{ MPa}}} \right) \\ &= 853.729 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Navrhnutá spodná výstuž v priečnom smere:

$\varnothing 16$ po 150 mm

$s_{pr} = 150 \text{ mm}$

$$A_{s,pr} = \left(\frac{b}{s_{pr}} \right) \cdot A_{\varnothing 16} = \left(\frac{1 \text{ m}}{150 \text{ mm}} \right) \cdot 201.062 \text{ mm}^2 = 1340.413 \text{ mm}^2$$

- **Určenie neutrálnej osi**

$$F_{st} = A_{cc,pr} * f_{cd}$$

$$A_{cc,pr} = \frac{A_{s,pr} * f_{yd}}{f_{cd}} = 0.0278 \text{ m}^2$$

$$A_{cc,pr} = \lambda * x_{pr} * b$$

$$x_{pr} = \frac{A_{cc,pr}}{\lambda * b} = \frac{0.0278 \text{ m}^2}{0.8 * 1 \text{ m}} = 0.0347 \text{ m}$$

- **Overenie započítateľnosti priečnej výstuže**

$$\epsilon_{s,pr} = \left(\frac{\epsilon_{cu}}{x_{pr}} \right) * (d_{pr} - x_{pr}) = \left(\frac{0.0035}{0.0347 \text{ m}} \right) * (742 \text{ mm} - 0.0347 \text{ m}) = 0.0714\%$$

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434.783 \text{ MPa}}{200 \text{ GPa}} = 0.00217\%$$

$$\epsilon_{s,pr} = 0.0714 \% \geq \epsilon_{yd} = 0.00217\% - \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

- **Stanovenie únosnosti M_{rd}**

$$z_{pr} = d_{pr} - \frac{x_{pr} * \lambda}{2} = 742 \text{ mm} - \frac{0.0347 \text{ m} * 0.8}{2} = 0.728 \text{ m}$$

$$M_{rd,pr} = A_{s,pr} * f_{yd} * z_{pr} = 1340.413 \text{ mm}^2 * 434.783 \text{ MPa} * 0.728 \text{ m}$$

$$= 424.342 \text{ kN} * \text{m}$$

$$M_{rd,pr} = 424.342 \text{ kN} * \text{m} \geq M_{ed,pr} = 272.14 \text{ kN} * \text{m} - \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

Konštrukčné zásady v priečnom smere

- **Minimálna plocha výstuže:**

$$A_{s,min,pr} = 0.26 * \left(\frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \right) * b * d_{pr} = 0.26 * \left(\frac{3.2 \text{ MPa}}{500 \text{ MPa}} \right) * 1 \text{ m} * 742 \text{ mm} = 1234.688 \text{ mm}^2 \geq$$

$$0.0013 * b * d_{pr} = 0.0013 * 1 \text{ m} * 742 \text{ mm} = 964.6 \text{ mm}^2$$

- **Maximálna plocha výstuže:**

$$A_{s,max,pr} = 0.04 * A_c = 0.04 * 0.8 \text{ m}^2 = 32000 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min,pr} = 1234.688 \text{ mm}^2 \leq A_{s,pr} = 1340.413 \text{ mm}^2 \leq A_{s,max,pr} = 32000 \text{ mm}^2$$

- **Stupeň vystuženia:**

$$\rho_{pr} = \frac{A_{s,pr}}{b * d_{pr}} = \frac{1340.413 \text{ mm}^2}{1 \text{ m} * 742 \text{ mm}} = 0.181\% \leq 4,00\%$$

- **Minimálna vzdialenosť výstuže**

$$s_{min} = \text{Max}(1.2 * \varnothing_{pr}, 35 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = \text{Max}(1.2 * 16 \text{ mm}, 35 \text{ mm}, 20 \text{ mm}) = 35 \text{ mm}$$

$$s_{max} = \text{Min}(2 * h, 200 \text{ mm}) = \text{Min}(2 * 800 \text{ mm}, 200 \text{ mm}) = 200 \text{ mm}$$

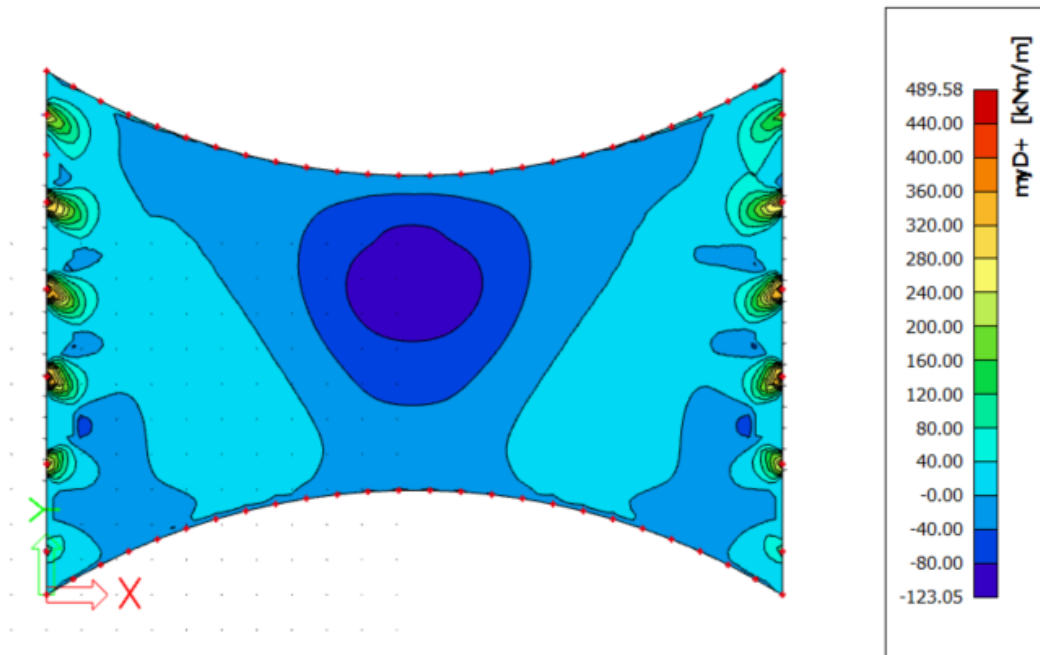
$$s_{min} = 35 \text{ mm} \leq s_{pr} = 150 \text{ mm} \leq s_{max} = 200 \text{ mm} - \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

11.3.2 Horná ohybová výstuž:

Špičkové momenty nad podporou sa redukujú na miesto okraju ložiska

Navrhnutá výstuž symetricky podľa spodnej ohybovej výstuže v priečnom smere

$M_{ed,h} = 347.37 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{rd,pr} = 424.342 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - VYHOVUJE



Obr. 44 - Grafické znázornenie horných návrhových momentov v priečnom smere

11.4 Posúdenie na šmyk

Vnútorne sily boli zistené pomocou scia engineer. Rozhodujúcou zostavou pre šmyk bola gr1a v kombinácií 6.10b. V kombinácii je zahrnutý aj vplyv predpínacej výstuže.

- **Prierezové charakteristiky**

$$A_{cr} = 0.79 \text{ m}^2$$

$$I_{cr} = 0.0416 \text{ m}^4$$

$$z_{cr,1} = 0.404 \text{ m}$$

$$z_{cr,2} = 0.396 \text{ m}$$

$$e_{pr} = 0.304 \text{ m}$$

$$W_{cr,1} = 0.103 \text{ m}^3$$

$$W_{cr,2} = 0.105 \text{ m}^3$$

- **Vnútorne sily**

- **Posúvajúce sily V_{ed} :**

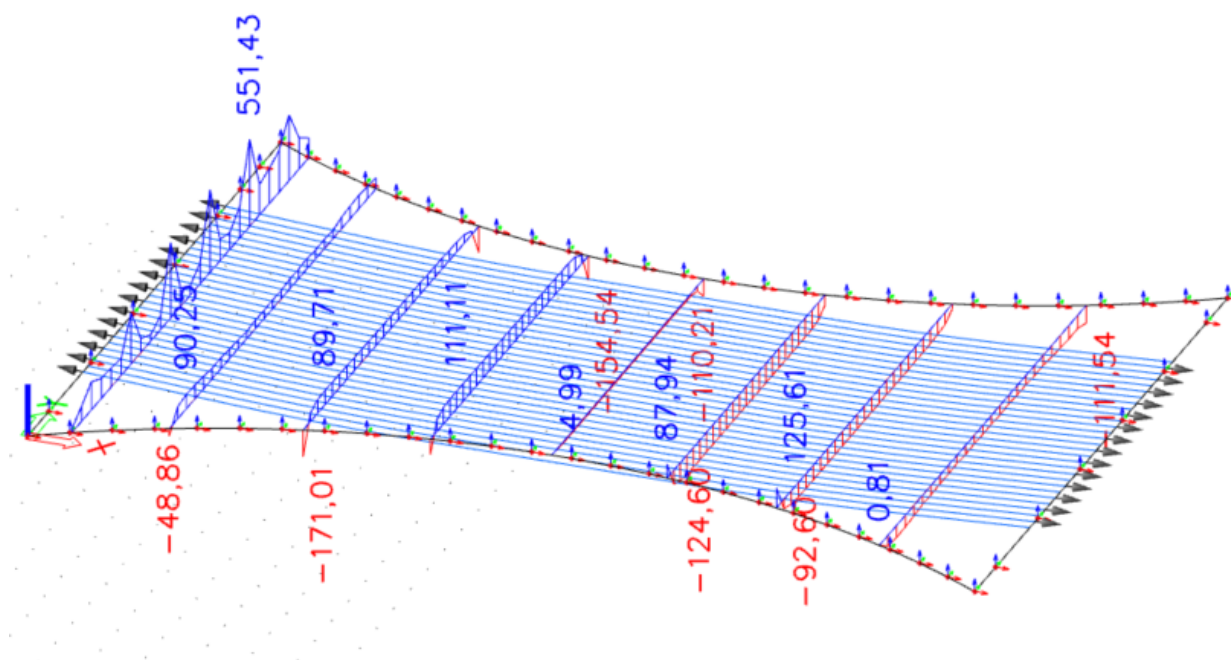
$$V_{ed,d} = 551.43 \text{ kN} - \text{Posúvajúca sila vo vzdialenosti } d_p = 0.7 \text{ m}$$

$$V_{ed,1,8} = 90.25 \text{ kN} - \text{Posúvajúca sila v } 1/8 \text{ rozpätia}$$

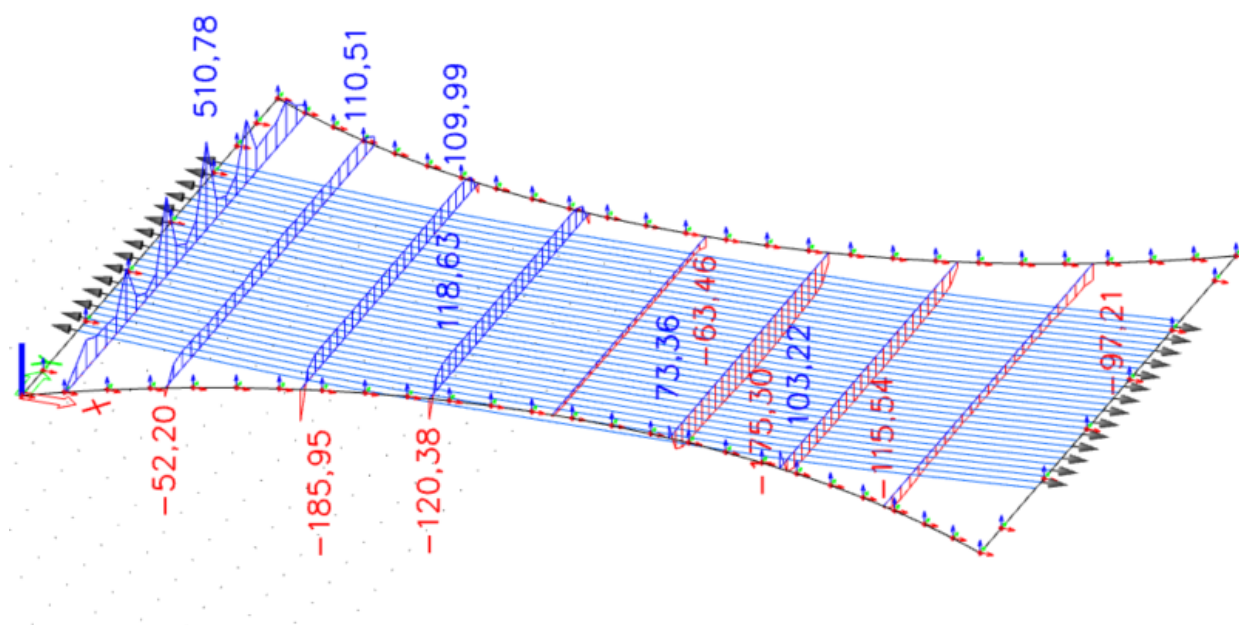
$$V_{ed,2,8} = 171.01 \text{ kN} - \text{Posúvajúca sila v } 2/8 \text{ rozpätia}$$

$$V_{ed,3,8} = 154.54 \text{ kN} - \text{Posúvajúca sila v } 3/8 \text{ rozpätia}$$

$$V_{ed,4,8} = 110.21 \text{ kN} - \text{Posúvajúca sila v } 4/8 \text{ rozpätia}$$



Obr. 45 - Posúvajúce sily od zostavy gr1a



Obr. 46 - Posúvajúce sily od zostavy gr5

- Momenty m_{xD} :**
 - $M_{ed,d} = 382.27 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Maximálny moment vo vzdialenosti $d_p = 0.7 \text{ m}$
 - $M_{ed,1,8} = 604.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Maximálny moment v 1/8 rozpätia
 - $M_{ed,2,8} = 947.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Maximálny moment v 2/8 rozpätia
 - $M_{ed,3,8} = 1301.24 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Maximálny moment v 3/8 rozpätia
 - $M_{ed,4,8} = 1456.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$ - Maximálny moment 4/8 rozpätia
- Predpínacia sila v čase t_s :**
 - $P_{d,\infty} = -5382.499 \text{ kN}$

11.4.1 Rozhodnutie o vzniku trhlín

$$f_{ctk,0,05} = 2.2 \text{ MPa}$$

$$\alpha_{ct} = 1.0$$

$$\sigma_{ctd} = \left(\frac{N_{ed}}{A_{cr}} \right) + \left(\frac{M_{ed}}{I_{cr}} \right) * z \leq f_{ctd} = \alpha_{ct} * \left(\frac{f_{ctk,0,05}}{\gamma_c} \right) = 1 * \left(\frac{2.2 \text{ MPa}}{1.5} \right) = 1.467 \text{ MPa}$$

Rez v 1/8 rozpätia:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,1,1,8} &= \left(\frac{P_{d,\infty}}{A_{cr}} \right) + \left(\frac{M_{ed,1,8}}{W_{cr,1}} \right) = \left(\frac{-5382.499 \text{ kN}}{0.79 \text{ m}^2} \right) + \left(\frac{604.24 \text{ kN} * \text{m}}{0.103 \text{ m}^3} \right) \\ &= -0.945 \text{ MPa} \leq f_{ctd} = 1.467 \text{ MPa} - \text{NEVZNIKNÚ TRHLINY} \end{aligned}$$

Rez v 2/8 rozpätia:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,1,2,8} &= \left(\frac{P_{d,\infty}}{A_{cr}} \right) + \left(\frac{M_{ed,2,8}}{W_{cr,1}} \right) = \left(\frac{-5382.499 \text{ kN}}{0.79 \text{ m}^2} \right) + \left(\frac{947.84 \text{ kN} * \text{m}}{0.103 \text{ m}^3} \right) \\ &= 2.392 \text{ MPa} \geq f_{ctd} = 1.467 \text{ MPa} - \text{VZNIKNÚ TRHLINY} \end{aligned}$$

Rez v 3/8 rozpätia:

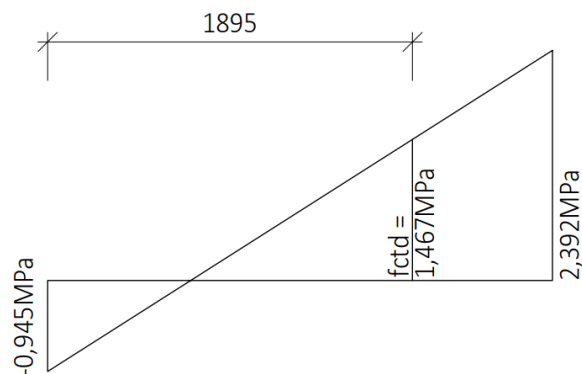
$$\begin{aligned} \sigma_{c,1,3,8} &= \left(\frac{P_{d,\infty}}{A_{cr}} \right) + \left(\frac{M_{ed,3,8}}{W_{cr,1}} \right) = \left(\frac{-5382.499 \text{ kN}}{0.79 \text{ m}^2} \right) + \left(\frac{1301.24 \text{ kN} * \text{m}}{0.103 \text{ m}^3} \right) \\ &= 5.824 \text{ MPa} \geq f_{ctd} = 1.467 \text{ MPa} - \text{VZNIKNÚ TRHLINY} \end{aligned}$$

Rez v 4/8 rozpätia:

$$\begin{aligned} \sigma_{c,1,4,8} &= \left(\frac{P_{d,\infty}}{A_{cr}} \right) + \left(\frac{M_{ed,4,8}}{W_{cr,1}} \right) = \left(\frac{-5382.499 \text{ kN}}{0.79 \text{ m}^2} \right) + \left(\frac{1456.03 \text{ kN} * \text{m}}{0.103 \text{ m}^3} \right) \\ &= 7.327 \text{ MPa} \geq f_{ctd} = 1.467 \text{ MPa} - \text{VZNIKNÚ TRHLINY} \end{aligned}$$

Určenie miesta vzniku trhlín:

- Interpolácia medzi rezmi v 1/8 a 2/8
L = 21 m



Obr. 47 - Miesto vzniku trhlín

miesto vzniku trhlín od podpory

$$x_{tr} = 1/8 * L + 1.895 \text{ m} = 0.125 * 21 \text{ m} + 1.895 \text{ m} = 4.52 \text{ m}$$

11.4.2 Oblast bez trhlin

$$\Phi_{\text{duct}} = 65 \text{ mm}$$

$$\alpha_e = 1.0$$

$$\alpha_{\text{cw}} = 1.25$$

$$\theta = 30$$

$$\cotg\theta = \sqrt{3} = 1.732$$

$$\tg\theta = \frac{\sqrt{3}}{3} = 0.577$$

$$z_1 = 0 \text{ m}$$

$$A = 0.4 \text{ m}^2$$

$$a = \frac{0.4 \text{ m}}{2} = 0.2 \text{ m}$$

$$\sigma_{\text{cd}} = \left(\frac{P_{\text{d},\infty}}{A_{\text{cr}}} \right) + \left(\frac{M_{\text{ed},x}}{I_{\text{cr}}} \right) * z_1$$

$$\sigma_{\text{cd}} = \frac{P_{\text{d},\infty}}{A_{\text{cr}}} = \frac{-5382.499 \text{ kN}}{0.79 \text{ m}^2} = -6.813 \text{ MPa}$$

$$b'_w = b - 1.2 * \Phi_{\text{duct}} = 1 \text{ m} - 1.2 * 65 \text{ mm} = 0.922 \text{ m}$$

$$S = A * a = 0.4 \text{ m}^2 * 0.2 \text{ m} = 0.08 \text{ m}^3$$

Únosnost prvku bez ohybových trhlin:

$$V_{\text{rd},c,1} = \left(\frac{I_{\text{cr}} * b'_w}{S} \right) * \sqrt{f_{\text{ctd}}^2 + \alpha_e * \text{Abs}(\sigma_{\text{cd}}) * f_{\text{ctd}}}$$

$$= \left(\frac{0.0416 \text{ m}^4 * 0.922 \text{ m}}{0.08 \text{ m}^3} \right) * \sqrt{1.467 \text{ MPa}^2 + 1 * \text{Abs}(-6.813 \text{ MPa}) * 1.467 \text{ MPa}} = 1670.760 \text{ kN}$$

$$V_{\text{rd},c,1} = 1670.760 \text{ kN} \geq V_{\text{max}} = V_{\text{ed},d} = 551.43 \text{ kN} - \text{VYHOVUJE}$$

- Navrhnutá konstrukční výstuž

11.4.3 Oblast s trhlinami

$$A_{\text{sl}} = 4500 \text{ mm}^2$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$d = 0.70 \text{ m}$$

$$z = 0.6 \text{ m}$$

$$k_1 = 0.15$$

$$f_{\text{ck}} = 35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{cp}} = 6.813 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{rd},c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = 0.12$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b * d} = \frac{4500 \text{ mm}^2}{1 \text{ m} * 0.7 \text{ m}} = 0.00643$$

$$k = 1 + \left(\frac{200 \text{ mm}}{d} \right)^{0.5} = 1 + \left(\frac{200 \text{ mm}}{0.7 \text{ m}} \right)^{0.5} = 1.535 \leq 2,0$$

Únosnosť prvku porušeného ohybovými trhlinami:

$$V_{rd,c,2} = \left[C_{rd,c} * k * \left(100 * \rho_l * f_{ck} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)} + k_1 * \sigma_{cp} \right] * b * d$$

$$= \left[0.12 * 1.535 * \left(100 * 0.00643 * 35 \text{ MPa} \right)^{\left(\frac{1}{3} \right)} + 0.15 * 6.813 \text{ MPa} \right] * 1 \text{ m} * 0.7 \text{ m}$$

$$V_{rd,c,2} = 1079.404 \text{ kN} \geq V_{ed,max,2} = V_{ed,2,8} = 171.01 \text{ kN} - \underline{\text{VYHOVUJE}}$$

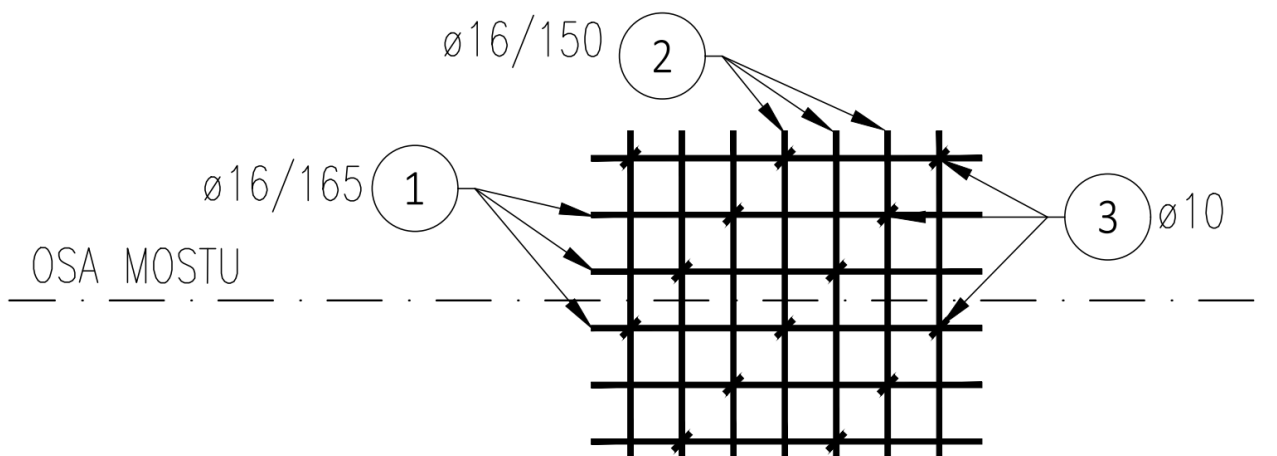
- Navrhnutá konštrukčná výstuž

Overenie únosnosti na tlačenej diagonále:

$$v_1 = 0.6 * \left(1 - \left(\frac{f_{ck}}{250 \text{ MPa}} \right) \right) = 0.516$$

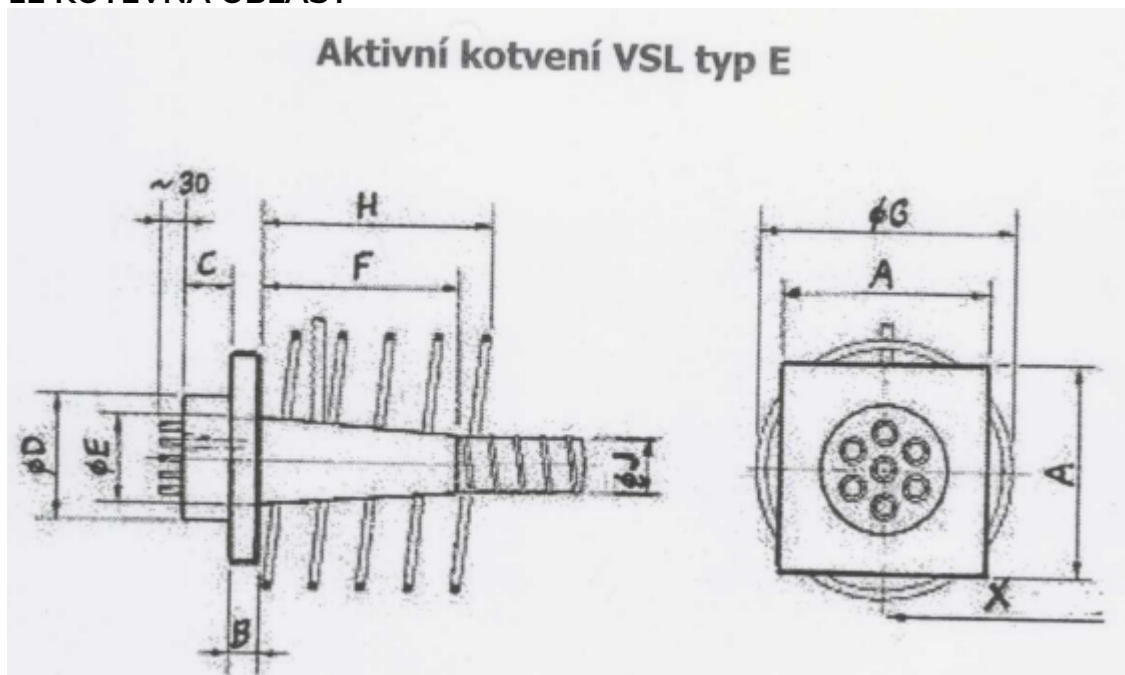
$$V_{rd,max} = \frac{\alpha_{cw} * v_1 * f_{cd} * b * z}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1.25 * 0.516 * 21 \text{ MPa} * 1 \text{ m} * 0.6 \text{ m}}{1.732 + 0.577} = 3519.094 \text{ kN}$$

$$V_{rd,c,2} = 1079.404 \text{ kN} \leq V_{rd,max} = 3519.094 \text{ kN} - \underline{\text{VYHOVUJE}}$$



Obr. 48 - Schéma vystuženia

12 KOTEVNÁ OBLASTĚ



Obr. 49 - Detail kotvy

Predpínacie pramence 0,5'' 6-12

Posudzovaná kotva s desiatimi predpínacími lanami

$A_{p,1} = 1500 \text{ mm}^2$ - plocha predpínacej výstuže v jednom lane

$\sigma_{\max} = 1404 \text{ MPa}$ - maximalne napätie pri napínaní

$P_{\max} = \sigma_{\max} * A_{p,1} = 1404 \text{ MPa} * 1500 \text{ mm}^2 = 2106 \text{ kN}$ -maximálna sila v kotve

$A = 250 \text{ mm}$ - roznášacia doska

$B = 35 \text{ mm}$

$C = 60 \text{ mm}$

$D = 150 \text{ mm}$

$E = 104 \text{ mm}$

$J = 65 \text{ mm}$

$x = 300 \text{ mm}$ - osová vzdialenosť medzi kotvami

12.1 Betón v sústrednom tlaku

$d = J = 65 \text{ mm}$ - priemer kanáliku

$b_1 = A = 250 \text{ mm}$

$d_1 = A = 250 \text{ mm}$

$b_2 = 380 \text{ mm}$

$d_2 = 380 \text{ mm}$

$h \geq d_2 - d_1 = 380 \text{ mm} - 250 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$

$h \geq b_2 - b_1 = 380 \text{ mm} - 250 \text{ mm} = 130 \text{ mm}$

$A_{c0} = b_1 * d_1 = 250 \text{ mm} * 250 \text{ mm} = 62500 \text{ mm}^2$

$A_{c1} = b_2 * d_2 = 380 \text{ mm} * 380 \text{ mm} = 144400 \text{ mm}^2$

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

$f_{cd} = 24 \text{ MPa}$

$$F_{rd} = A_{c0} * f_{cd} * \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}} = 62500 \text{ mm}^2 * 24 \text{ MPa} * \sqrt{\frac{144400 \text{ mm}^2}{62500 \text{ mm}^2}} = 2280 \text{ kN} \leq A_{c0} * f_{cd} * 3$$

$$= 4500 \text{ kN}$$

$$F_{rd} = 2280 \text{ kN} \geq P_{\max} = 2106 \text{ kN} - \text{VYHOVUJE}$$

12.2 Oblasť 1 - pod každou kotvou

$$\gamma_p = 1.2$$

$$F_{ed} = \gamma_p * P_{\max} = 1.2 * 2106 \text{ kN} = 2527.2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{sd} = 250 \text{ MPa}$$

$$c * c' \geq \frac{P_{\max}}{0.6 * f_{ck}} = \frac{2106 \text{ kN}}{0.6 * 40 \text{ MPa}} = 0.0878 \text{ m}^2$$

$$c = \sqrt{0.0878 \text{ m}^2} = 296.311 \text{ mm}$$

$$c' = c = 296.311 \text{ mm}$$

$$a = A = 250 \text{ mm}$$

$$a' = a = 250 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{a} = 1.185 \leq 1.25 * \sqrt{\frac{c * c'}{a * a'}} = 1.25 * \sqrt{\frac{296.311 \text{ mm} * 296.311 \text{ mm}}{250 \text{ mm} * 250 \text{ mm}}} = 1.482 - \text{VYHOVUJE}$$

$$h = 1.2 * c = 355.573 \text{ mm}$$

$$T_{bu} = 1/4 * \left(\frac{c - a}{c} \right) * F_{ed} = 0.1/4 * \left(\frac{296.311 \text{ mm} - 250 \text{ mm}}{296.311 \text{ mm}} \right) * 2527.2 \text{ kN} = 98.745 \text{ kN}$$

$$A_{s,1,req} = \frac{T_{bu}}{\sigma_{sd}} = \frac{98.745 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} = 394.978 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,1,min} = \frac{0.15 * \left(\frac{F_{ed}}{\sigma_{sd}} \right)}{2} = \frac{0.15 * \left(\frac{2527.2 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} \right)}{2} = 758.16 \text{ mm}^2 - \text{pre 2 strihy strmienku}$$

- Návrh výstuže**

$\varnothing = 14 \text{ mm}$ - dvojstrižné

$$A_{\varnothing 14} = 153 \text{ mm}^2$$

$$n' = \frac{T_{bu}}{A_{\varnothing 14} * \sigma_{sd}} = \frac{98.745 \text{ kN}}{153 \text{ mm}^2 * 250 \text{ MPa}} = 2.582$$

$$n = 5$$

$$A_{1,st} = n * A_{\varnothing 14} = 5 * 153 \text{ mm}^2 = 765 \text{ mm}^2 \geq A_{s,1,min} = 758.16 \text{ mm}^2 - \text{VYHOVUJE}$$

$$s'_1 = \frac{0.8 * h}{n} = \frac{0.8 * 355.573 \text{ mm}}{5} = 56.892 \text{ mm}$$

$$s_1 = 50 \text{ mm}$$

$$F_{1,rd} = 2 * n * A_{\varnothing 14} * \sigma_{sd} = 2 * 5 * 153 \text{ mm}^2 * 250 \text{ MPa} = 382.5 \text{ kN} \geq T_{bu} = 98.745 \text{ kN} - \text{VYHOVUJE}$$

12.3 Oblasť 2 - v povrchu čela

$$F_{sd} = 0.03 * F_{ed} = 0.03 * 2527.2 \text{ kN} = 75.816 \text{ kN}$$

$$A_{s,2,req} = \frac{F_{sd}}{\sigma_{sd}} = \frac{75.816 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} = 303.264 \text{ mm}^2$$

$$n_2 = 2$$

$$A_{s,2} = n_2 * A_{\varnothing 14} = 2 * 153 \text{ mm}^2 = 306 \text{ mm}^2 - \text{Navrhnuté } 2x \varnothing 14 \text{ mm}$$

$$A_{s,2} = 306 \text{ mm}^2 \geq A_{s,2,req} = 303.264 \text{ mm}^2 - \text{VYHOVUJE}$$

12.4 Oblasť 3 - celková oblasť

$$n_p = 3 - \text{počet káblov v jednom metri}$$

$$\Sigma F_{ed} = \gamma_p * \sigma_{max} * n_p * A_{p,1} = 1.2 * 1404 \text{ MPa} * 3 * 1500 \text{ mm}^2 = 7581.6 \text{ kN}$$

$$t_g = 400 \text{ mm}$$

$$a_{\Sigma} = 250 \text{ mm} - \text{rozmer kotevnej dosky}$$

$$c_{\Sigma} = 800 \text{ mm}$$

$$h_{\Sigma} = 1.2 * 0.8 * c_{\Sigma} = 1.2 * 0.8 * 800 \text{ mm} = 768 \text{ mm}$$

$$T_{bu,3} = (1/4) * \left(\frac{c_{\Sigma} - a_{\Sigma}}{c_{\Sigma}} \right) * \Sigma F_{ed} = (0.1/4) * \left(\frac{800 \text{ mm} - 250 \text{ mm}}{800 \text{ mm}} \right) * 7581.6 \text{ kN} = 1303.087 \text{ kN}$$

$$A_{s,3,req} = \frac{T_{bu,3}}{\sigma_{sd}} = \frac{1303.087 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} = 5212.35 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,3,min} = 0.15 * \left(\frac{\Sigma F_{ed}}{\sigma_{sd}} \right) = 0.15 * \left(\frac{7581.6 \text{ kN}}{250 \text{ MPa}} \right) = 4548.96 \text{ mm}^2$$

Navrhnuté 7 x 4 x $\varnothing 14 \text{ mm}$

- 7 rád 4 strižných mriežok po 100mm

$$n_3 = 7$$

$$A_{s,3} = n_3 * 4 * \left(\frac{4 * \varnothing^2}{4} \right) = 7 * 4 * \left(\frac{4 * 14 \text{ mm}^2}{4} \right) = 5488 \text{ mm}^2$$

$$s'_3 = \frac{h_{\Sigma}}{n_3} = \frac{768 \text{ mm}}{7} = 109.714 \text{ mm}$$

$$s_3 = 100 \text{ mm}$$

$$A_{s,3} = 5488 \text{ mm}^2 \geq A_{s,3,req} = 5212.35 \text{ mm}^2 - \text{VYHOVUJE}$$

Zoznam tabuliek

| | |
|--|-----------|
| <i>Tab. 1 - Regulačné súčinitele</i> | <i>10</i> |
| <i>Tab. 2 - Porovnanie momentov</i> | <i>30</i> |
| <i>Tab. 3 - Kombinácie</i> | <i>32</i> |
| <i>Tab. 4 - Krátkodobé straty.....</i> | <i>42</i> |
| <i>Tab. 5 - Hodnoty ϵ_{cd0}.....</i> | <i>44</i> |
| <i>Tab. 6 - Dlhodobá relaxácia</i> | <i>45</i> |

Zoznam obrázkov

| | |
|---|-----------|
| <i>Obr. 1 - Šírkové usporiadanie komunikácie</i> | <i>6</i> |
| <i>Obr. 2 - Pôdorys mostnej konštrukcie</i> | <i>7</i> |
| <i>Obr. 3 - Skutočný prierez v polovici rozpätia</i> | <i>8</i> |
| <i>Obr. 4 - Zjednodušený prierez v polovici rozpätia</i> | <i>8</i> |
| <i>Obr. 5 - Axonometrický pohľad na výpočtový model</i> | <i>8</i> |
| <i>Obr. 6 - Ostatné stále zaťaženie na prúťovom modeli</i> | <i>10</i> |
| <i>Obr. 7 - Rozdelenie do zaťažovacích pruhov</i> | <i>11</i> |
| <i>Obr. 8 - Roznos zaťaženia tandem systému na prúťovom modeli</i> | <i>13</i> |
| <i>Obr. 9 - Pôdorys roznosu zaťaženia tandem systému na prúťovom modeli</i> | <i>14</i> |
| <i>Obr. 10 - Roznos zaťaženia UDL na prúťovom modeli</i> | <i>17</i> |
| <i>Obr. 11 - Roznos zaťaženia od zvláštneho vozidla na prúťovom modeli</i> | <i>18</i> |
| <i>Obr. 12 - Pôdorys roznosu zaťaženia od zvláštneho vozidla na prúťovom modeli</i> | <i>19</i> |
| <i>Obr. 13 - Grafické znázornenie momentov od vlastnej tiaže</i> | <i>20</i> |
| <i>Obr. 14 - Rozmiestnenie ostatného stáleho zaťaženia na 2D modeli</i> | <i>21</i> |
| <i>Obr. 15 - Grafické znázornenie momentov od ostatného stáleho zaťaženia</i> | <i>22</i> |
| <i>Obr. 16 - Grafické znázornenie momentov od tandem systému</i> | <i>23</i> |
| <i>Obr. 17 - Roznos zaťaženia od tandem systému na 2D modeli</i> | <i>23</i> |
| <i>Obr. 18 - Dráhy vozidiel v zaťažovacích pruhoch na 2D modeli</i> | <i>24</i> |
| <i>Obr. 19 - Grafické znázornenie momentov UDL</i> | <i>25</i> |
| <i>Obr. 20 - Rozmiestnenie UDL na 2D modeli</i> | <i>26</i> |
| <i>Obr. 21 - Pôdorysné rozloženie UDL na 2D modeli</i> | <i>27</i> |
| <i>Obr. 22 - Grafické znázornenie momentov od LM3</i> | <i>28</i> |
| <i>Obr. 23 - Roznos zaťaženia od zvláštneho vozidla na 2D modeli</i> | <i>28</i> |
| <i>Obr. 24 - Pôdorysné umiestnenie zvláštneho vozidla na 2D modeli</i> | <i>29</i> |
| <i>Obr. 25 - Maximálny návrhový moment v charakteristickej kombinácii</i> | <i>33</i> |
| <i>Obr. 26 - Maximálny návrhový moment v častej kombinácii</i> | <i>33</i> |

| | |
|--|-----------|
| <i>Obr. 27 - Maximálny návrhový moment v kvázistálej kombinácii</i> | <i>34</i> |
| <i>Obr. 28 - Maximálny pozdĺžny návrhový moment v kombinácií 6.10b</i> | <i>34</i> |
| <i>Obr. 29 - Maximálny priečny návrhový moment v kombinácií 6.10b</i> | <i>35</i> |
| <i>Obr. 30 - Neoslabený prierez na 1mb</i> | <i>37</i> |
| <i>Obr. 31 - Interval možnej predpínacej sily</i> | <i>39</i> |
| <i>Obr. 32 – Rozmiestnenie káblov</i> | <i>40</i> |
| <i>Obr. 33 - Oslabený prierez na 1mb</i> | <i>41</i> |
| <i>Obr. 34 - Graf napätia v kábli</i> | <i>46</i> |
| <i>Obr. 35 - Oslabený prierez na 1mb</i> | <i>48</i> |
| <i>Obr. 36 - Napätie na dolných vláknach v t_0</i> | <i>49</i> |
| <i>Obr. 37 - Napätie na horných vláknach v t_0</i> | <i>50</i> |
| <i>Obr. 38 - Napätie na horných vláknach v t_∞ - charakteristická kombinácia</i> | <i>51</i> |
| <i>Obr. 39 - Napätie na dolných vláknach v t_∞ - častá kombinácia</i> | <i>52</i> |
| <i>Obr. 40 - Napätie na horných vláknach v t_∞ - kvázistála kombinácia</i> | <i>53</i> |
| <i>Obr. 41 - Grafické znázornenie návrhových momentov v pozdĺžnom smere</i> | <i>54</i> |
| <i>Obr. 42 - Započítateľnosť výstuže</i> | <i>58</i> |
| <i>Obr. 43 - Grafické znázornenie spodných návrhových momentov v priečnom smere.....</i> | <i>60</i> |
| <i>Obr. 44 - Grafické znázornenie horných návrhových momentov v priečnom smere.....</i> | <i>62</i> |
| <i>Obr. 45 - Posúvajúce sily od zostavy gr1a</i> | <i>63</i> |
| <i>Obr. 46 - Posúvajúce sily od zostavy gr5</i> | <i>63</i> |
| <i>Obr. 47 - Miesto vzniku trhlín</i> | <i>64</i> |
| <i>Obr. 48 – Schéma vystuženia</i> | <i>66</i> |
| <i>Obr. 49 – Detail kotvy</i> | <i>67</i> |