

PRŮMYSLOVÁ ZÓNA IV – ŠUMPERK

SO201 – MOST

STATICKÝ VÝPOČET

OBSAH:

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	2
2. PŘEDPISY A LITERATURA	3
3. CÍL STATICKÉHO VÝPOČTU	4
4. VÝKRESY	5
5. MECHANICKÝ MODEL	8
6. ZATĚŽOVACÍ STAVY	8
7. NORMÁLOVÉ SÍLY A OHYBOVÉ MOMENTY	13
8. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB	15
9. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – SMYK	18
10. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	23
11. SCHÉMA VÝZTUŽE	27

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

- 1.1. **Stavba:** Průmyslová zóna IV – Šumperk
- 1.2. **Stavebník:** Město Šumperk,
náměstí Míru 1, 787 01 Šumperk
- 1.3. **Projektant:** Rušar mosty, s.r.o.
Majdalenky 19, 638 00 Brno
tel./fax: 545 222 037, info@rusar.cz
IČO: 29362393 DIČ: CZ29362393
Číslo zakázky: 148/2017, číslo archivní: 34/2017

2. **PŘEDPISY A LITERATURA**

- | | |
|-----------------|---|
| ČSN EN 1991-1 | Zatížení konstrukcí – Část 1: Obecná zatížení |
| ČSN EN 1991-2 | Zatížení konstrukcí – Část 2: Zatížení mostů dopravou |
| ČSN EN 1992-1 | Navrhování betonových konstrukcí Část 1-1: Obecná pravidla |
| ČSN EN 1992-2 | Navrhování betonových konstrukcí Část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady |
| ČSN EN 1993-1-2 | Navrhování ocelových konstrukcí Část 2: Ocelové mosty |
| ČSN EN 1994-2 | Navrhování spřažených ocelobetonových konstrukcí Část 2: Obecná pravidla a pravidla pro mosty |
| ČSN EN 1995-2 | Navrhování dřevěných konstrukcí Část 2: Mosty |
| ČSN EN 1996-1-1 | Navrhování zděných konstrukcí Část 1-1 Obecná pravidla pro vyztužené a nevyztužené zděné konstrukce |
| ČSN EN 1997-1 | Navrhování geotechnických konstrukcí Část 1- Obecná pravidla |
| ČSN 73 6222 | Zatížitelnost mostů pozemních komunikací |
| ČSN 73 6220 | Zatížitelnost a evidence mostů na pozemních komunikacích |
| ČSN 73 6201 | Projektování mostních objektů |
| ČSN 73 6221 | Prohlídky mostů pozemních komunikací |
| ČSN ISO 13822 | Zásady navrhování konstrukcí-Hodnocení existujících konstrukcí (bývalá ČSN 73 0038) |
- Směrnice pro navrhování mostů z roku 1951
- Novák, Hořejší – Statické tabulky pro stavební praxi
- Janda, Kleisner, Zvara – Betonové mosty (celostátní učebnice)
- Klimeš, Zůda – Betonové mosty (celostátní učebnice)
- Sečkář – Betonové mosty (skriptum VUT)
- Dopravoprojekt Bratislava – Typizační směrnice příslušenství mostů
- Majdůch – pomůcka pro určování zatížitelnosti starších mostů
- Skriptum Navrhování betonových konstrukcí – prvky z prostého a železového betonu
- Procházka a kol. – Sborník a Sbírka příkladů – Navrhování betonových konstrukcí podle norem ČSN EN 1992
- Hrdoušek a kol. –Sbírka příkladů a komentářů – Navrhování betonových mostů podle norem ČSN EN 1992
- VL-4 – Vzorové listy – MOSTY

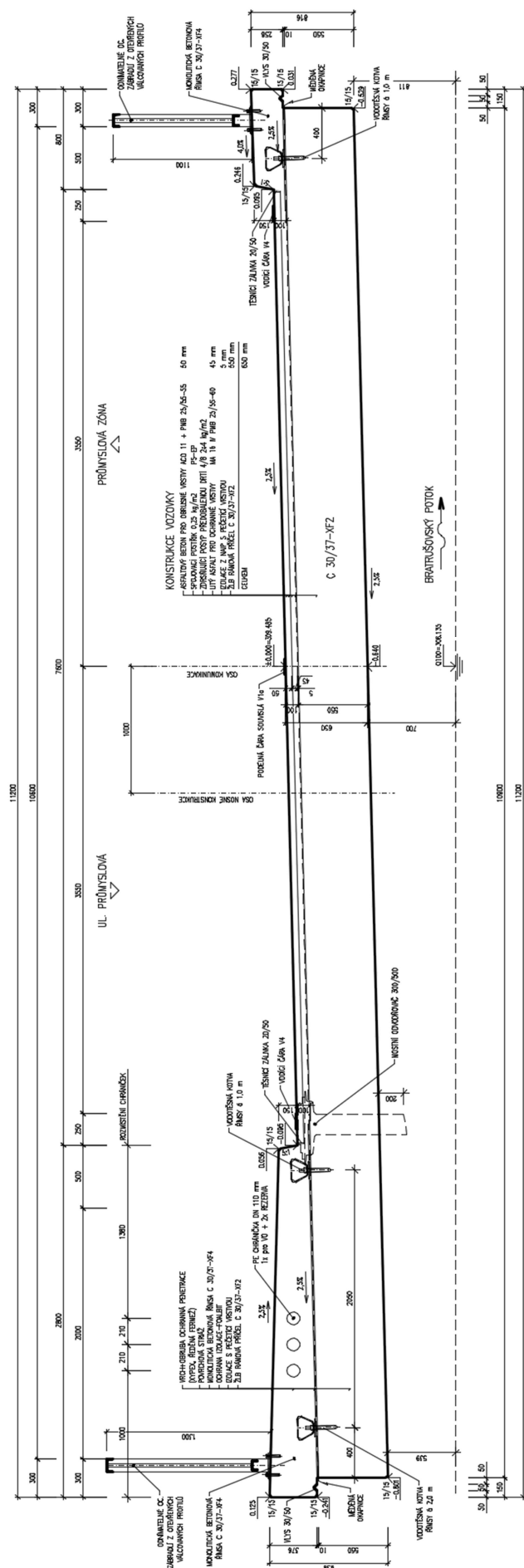
3. **CÍL STATICKÉHO VÝPOČTU**

Cílem statického výpočtu je posoudit navrhovanou rámovou konstrukci a nadimenzovat správně betonářskou výztuž. Posudek bude dělán dle EC2, konstrukce bude ověřena stran spolehlivosti jak dle MSÚ (první skupina mezních stavů – únosnost), tak dle MSP (druhá skupina mezních stavů – provozní způsobilost a životnost).

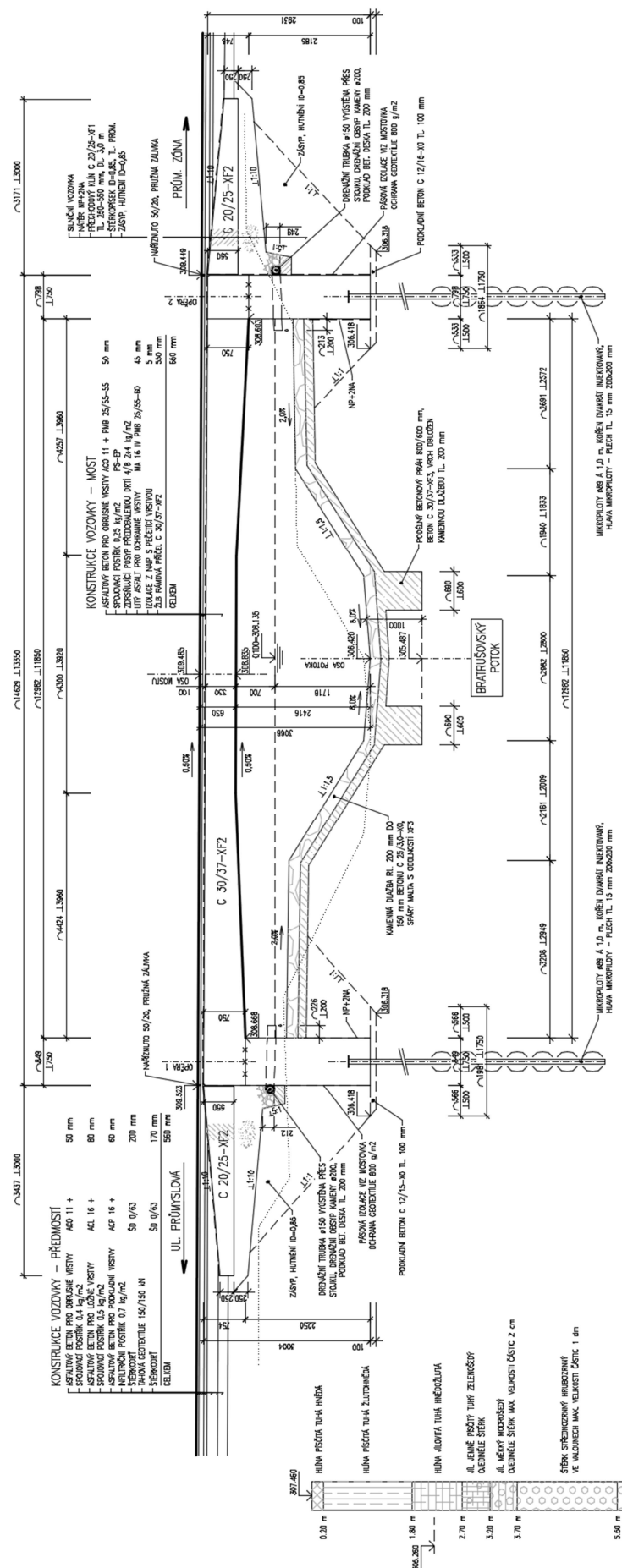
Předpoklady výpočtu:

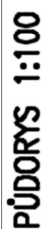
- Konstrukce bude řešena metodou otevřený rám v programu SCIA Engineer
- Pro dané rozpětí je zřejmé, že největší intenzitu účinků vyvodí model LM1 dle EC1 – Zatížení mostů, jelikož se jedná o pozemní komunikaci skupiny 2, zatížení zvláštním vozidlem se neuplatňuje.
- Příčný roznos odpovídá zhruba předpokladům dle bývalé ČSN 73 6206 (Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí), tedy $l/6$ pro ohyb a $x/3$ pro smyk
- Roznos vozovkou a vlastní ŽB konstrukcí bude uvažován do $\frac{1}{2}$ tloušťky přičle
- Zatížení pohyblivá jsou již s uvažováním dynamických vlivů (vyplývá z dílce EC1)
- Regulační součinitelé α jsou brány dle dílce Z3 z října 2012
- Výpočet vnitřních sil bude proveden návrhovými (dříve výpočtovými) hodnotami zatížení (tedy se zvýšením dílčími součiniteli), při výpočtu dle MSP budou vnitřní síly či deformace poděleny (sníženy) příslušnými dílčími součiniteli zatížení, čímž dostaneme charakteristické (dříve normové) hodnoty zatížení

4. VÝKRESY



PODÉLNÝ ŘEZ 1:50



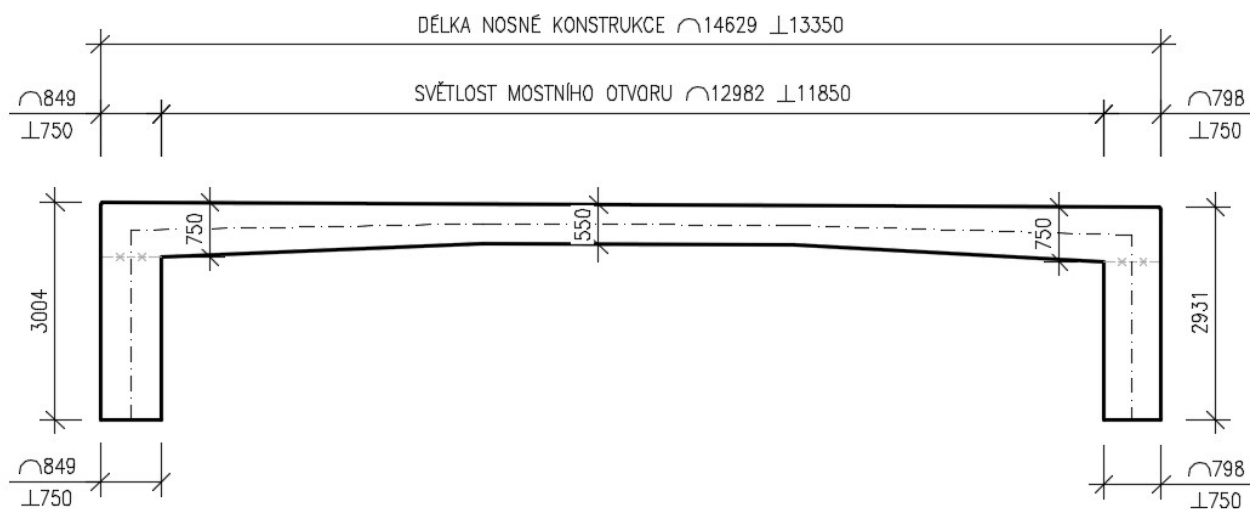


5. MECHANICKÝ MODEL

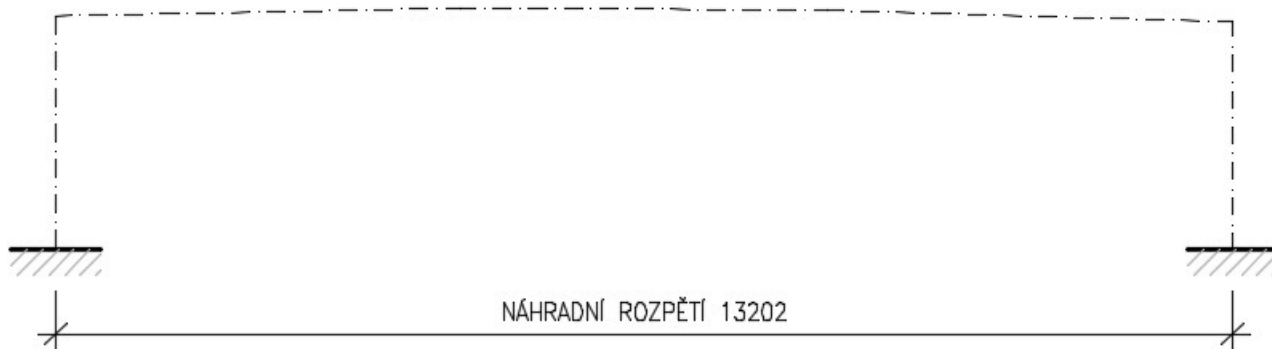
Dle statického hlediska konstrukce působí jako otevřený rám. V programu SCIA Engineer byl vytvořen mechanický model prutového otevřeného rámu. Konstrukce je řešena v šířce 1 m, tedy i výztuž je dimenzována do 1 m'.

Náhradní rozpětí je určeno jako průměr skutečného rozpětí šikmého a kolmého.

$$l = \frac{13804 + 12600}{2} = 13202 \text{ mm}$$



Obr. 1: Rozměry rámu v podélném směru



Obr. 2: Náhradní rozpětí rámu

6. ZATĚŽOVACÍ STAVY

Stálé zatížení v návrhových hodnotách

Dílčí součinitel γ : stálá zatížení: $\gamma_g = 1,35$

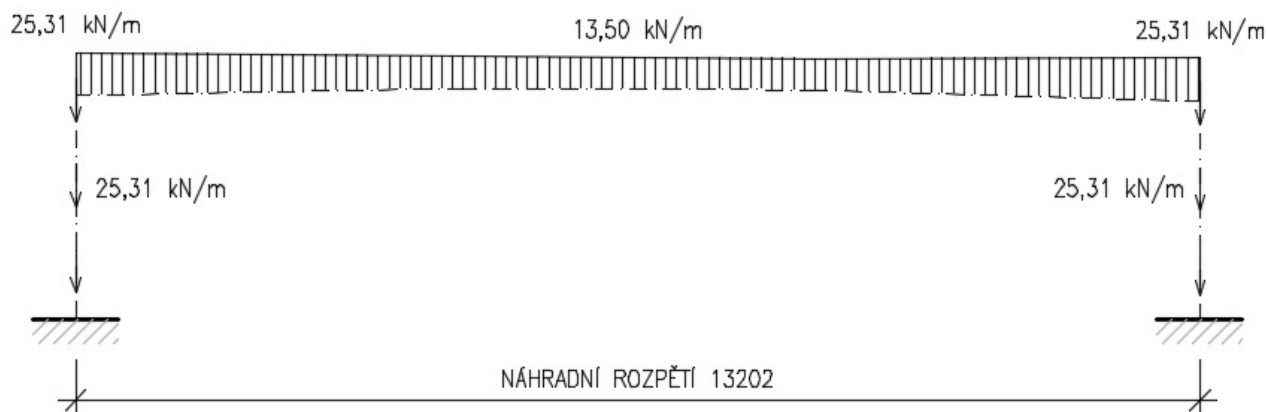
vlastní tíha přičle

$$1,35 \cdot (0,75 \cdot 1,0 \cdot 25) = 25,31 \text{ kN/m'}$$

vlastní tíha stojiny

$$1,35 \cdot (0,55 \cdot 1,0 \cdot 25) = 18,56 \text{ kN/m'}$$

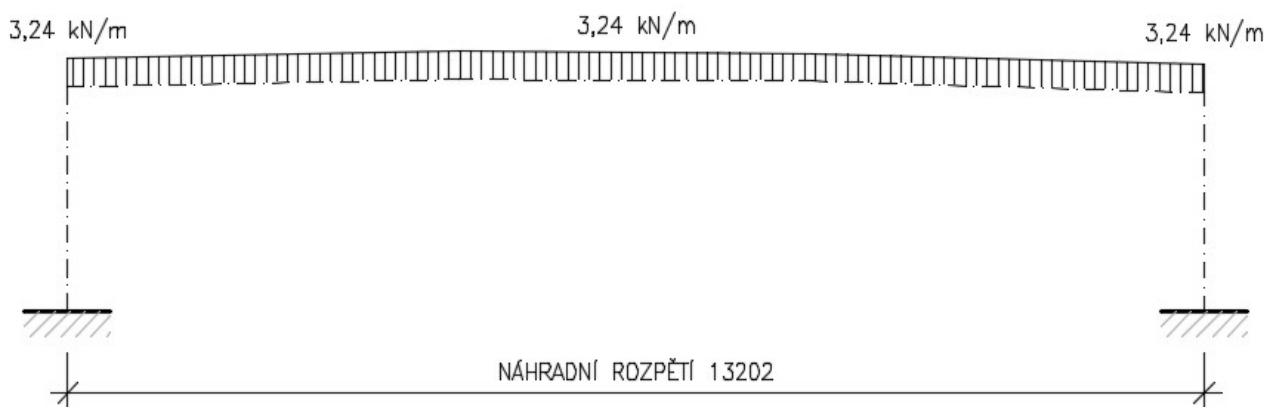
$$1,35 \cdot (0,75 \cdot 1,0 \cdot 25) = 25,31 \text{ kN/m'}$$



Obr. 3: ZS1 – vlastní tíha rámu

tíha vozovky

$$1,35 \cdot (0,10 \cdot 1,0 \cdot 24) = 3,24 \text{ kN/m'}$$



Obr. 4: ZS2 – tíha vozovky

Zemní tlak v klidu

Model je namáhán také okolní zeminou v klidovém stavu.

Úhel vnitřního tření zeminy:

$$\varphi = 30^\circ$$

$$k_0 = (1 - \sin \varphi) = (1 - \sin 30^\circ) = 0,5$$

$$\sigma_i^d = \sigma_i^k \quad (\text{na stranu bezpečnosti } \gamma = 1)$$

$$\sigma_i^d = \gamma_z \cdot h_i \cdot k_0$$

$$\sigma_1^d = \gamma_z \cdot h_1 \cdot k_0 = 21 \cdot 0,49 \cdot 0,5 = 5,15 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 5,15 \text{ kN/m'}$$

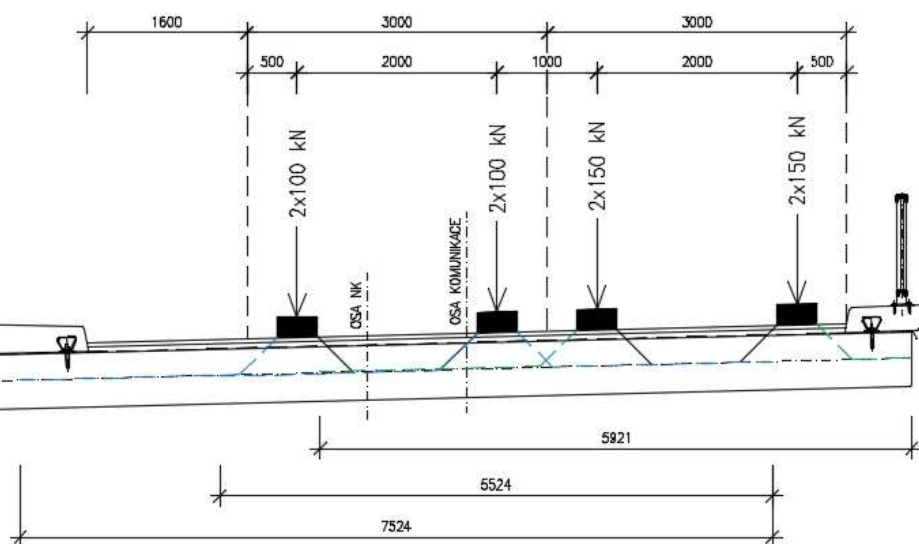
$$\sigma_2^d = \gamma_z \cdot h_2 \cdot k_0 = 21 \cdot 3,10 \cdot 0,5 = 32,55 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 32,55 \text{ kN/m'}$$



Obr. 5: ZS3 – zemní tlak v klidu

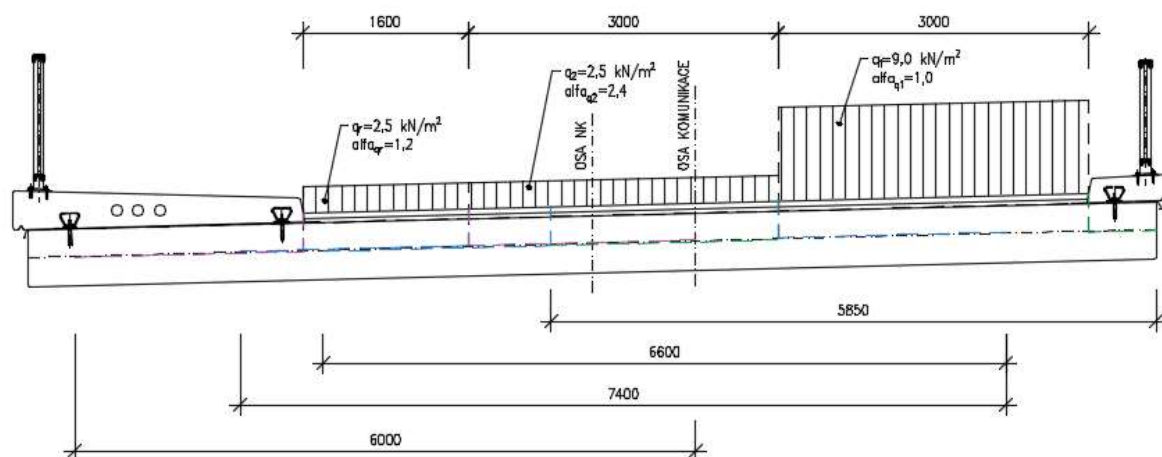
Pohyblivé zatížení – soustava LM1 v návrhových hodnotách

(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)

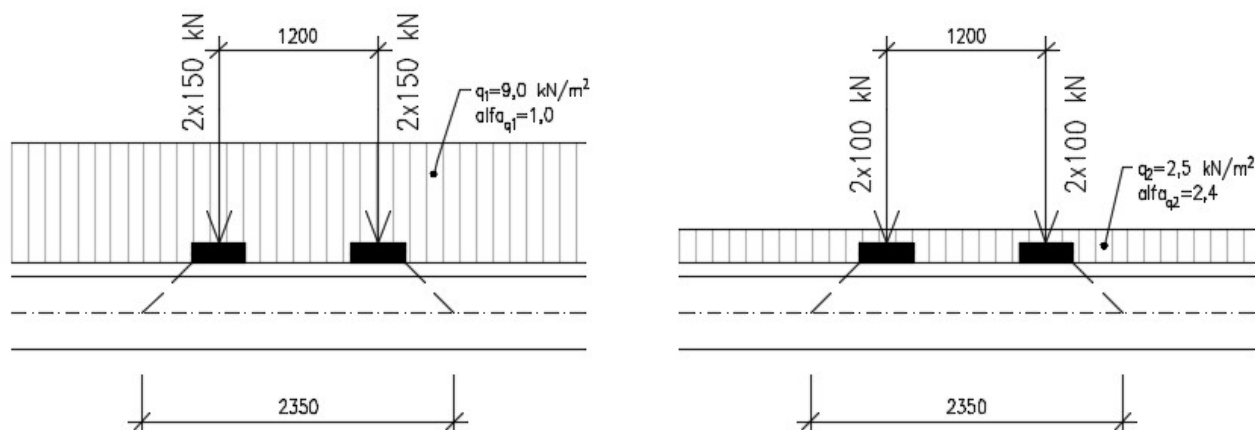


Obr. 6: Soustava zatížení LM1 - TS, příčný směr

(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)



Obr. 7: Soustava zatížení LM1 – UDL, příčný směr



Obr. 8: Soustava zatížení LM1, podélný směr

Soustava LM1 je již s vlivem dynamického součinitele. Roznos vozovkou a vlastní ŽB konstrukcí je uvažován do poloviny výšky příčle pod úhlem 1:1. V příčném směru roznos odpovídá zhruba předpokladům dle bývalé ČSN 73 6206, tedy $l/6$, kde l je tzv. náhradní rozpětí. Zatížení je nasčítáno – uvažujeme spolupůsobení.

$$l/6 = 13,202/6 \cong 2,200 \text{ m}$$

Dílčí součinitel γ : silniční doprava: $\gamma_{Q1}=1,35$

první zat. pruh $1,35 \cdot ((0,8 \cdot 600/(5,92 \cdot 2,35) + 0,8 \cdot 200/(5,52 \cdot 2,35))) = \mathbf{63,2 \text{ kN/m}^2}$

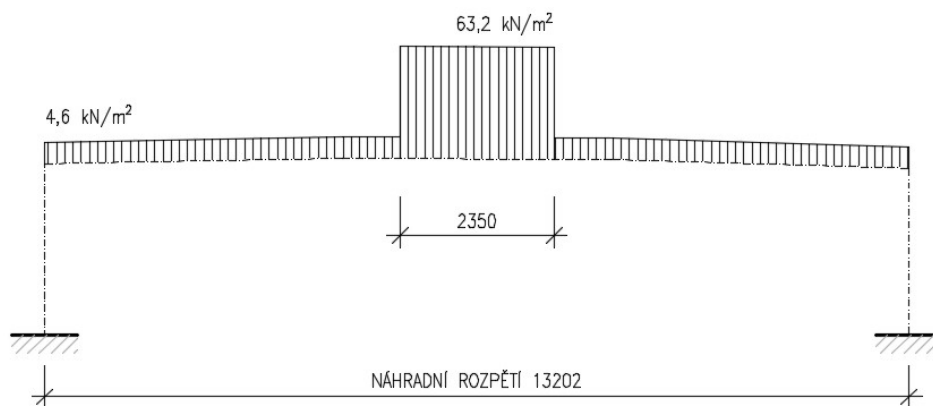
$$1,35 \cdot ((0,45 \cdot 9,0 \cdot 3,0/5,85) + (1,6 \cdot 2,5 \cdot 2,2/6,6)) = \mathbf{4,6 \text{ kN/m}^2}$$

druhý zat. pruh $1,35 \cdot (0,8 \cdot 400/(7,52 \cdot 2,35) + 0,8 \cdot 300/(5,52 \cdot 2,35)) = 49,4 \text{ kN/m}^2$

$$1,35 \cdot ((1,6 \cdot 2,5 \cdot 3,0/7,4) + (0,45 \cdot 9,0 \cdot 2,2/6,6) + (1,6 \cdot 2,5 \cdot 2,2/6,6)) = 5,8 \text{ kN/m}^2$$

ostatní plocha $1,35 \cdot ((1,6 \cdot 2,5 \cdot 1,6/6,0) + (1,6 \cdot 2,5 \cdot 2,2/6,6)) = 3,24 \text{ kN/m}^2$

Pozn.: Rám je počítán prutově v šířce jednoho metru, proto do zatěžovacího stavu bereme spolupůsobení maximální, jak u zatíženích soustředěných tak u zatíženích rovnoměrných.



Obr. 9: ZS4 – LM1

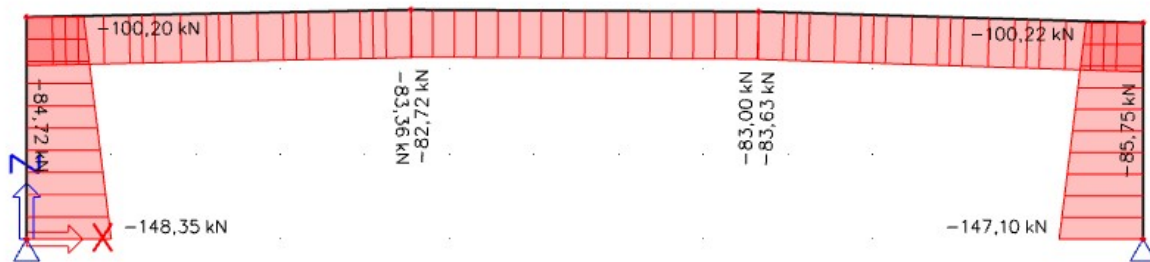
Pohyblivé zatížení – soustava LM3 v návrhových hodnotách

Jelikož se jedná o pozemní komunikaci skupiny 2, zatížení zvláštním vozidlem se neuplatňuje.

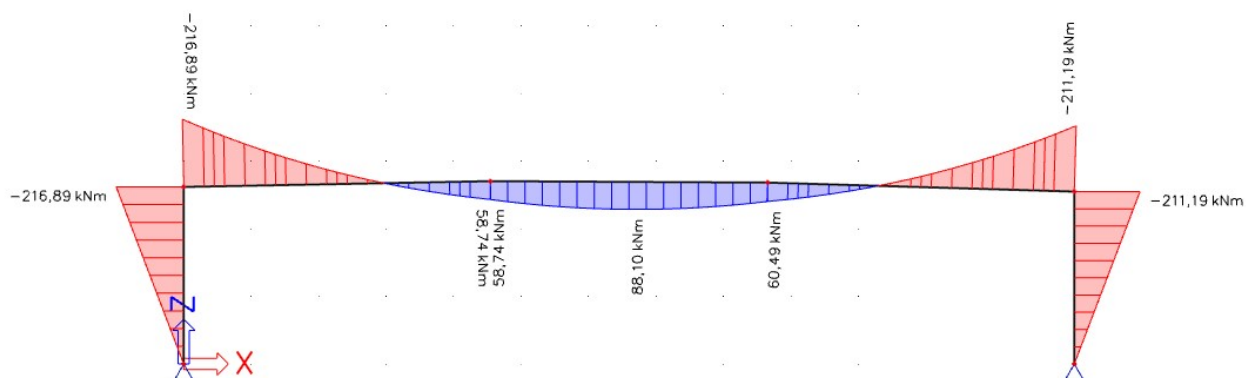
ZS6 konstantní teplotní zatížení – 30 K (ochlazení a oteplení stojina i příčel)

→ generováno programem SCIA Engineer

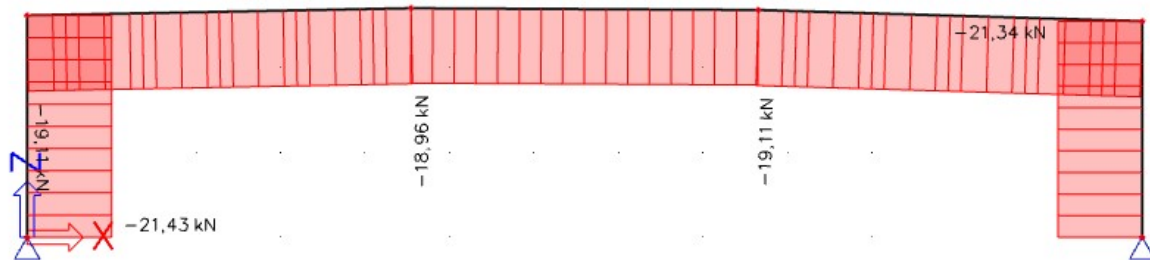
7. NORMÁLOVÉ SÍLY A OHYBOVÉ MOMENTY



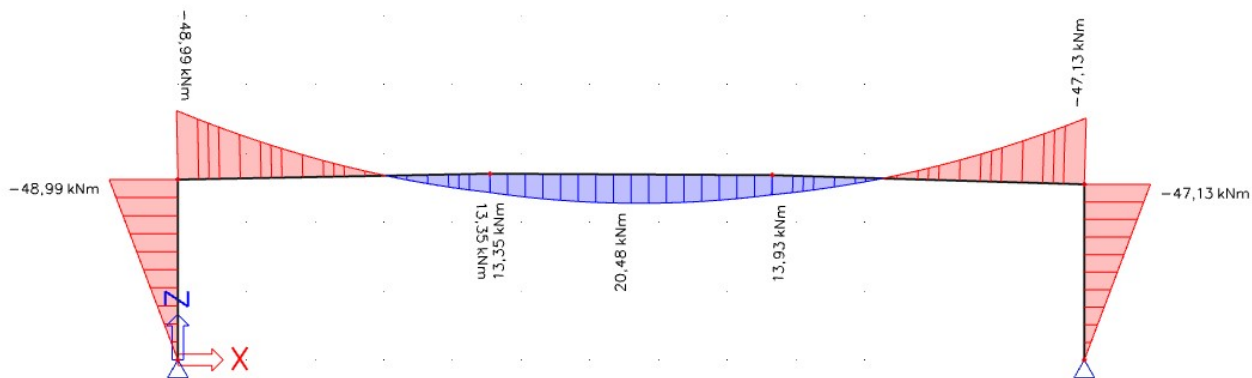
Obr. 10: Normálové síly ZS1 – vlastní tíha



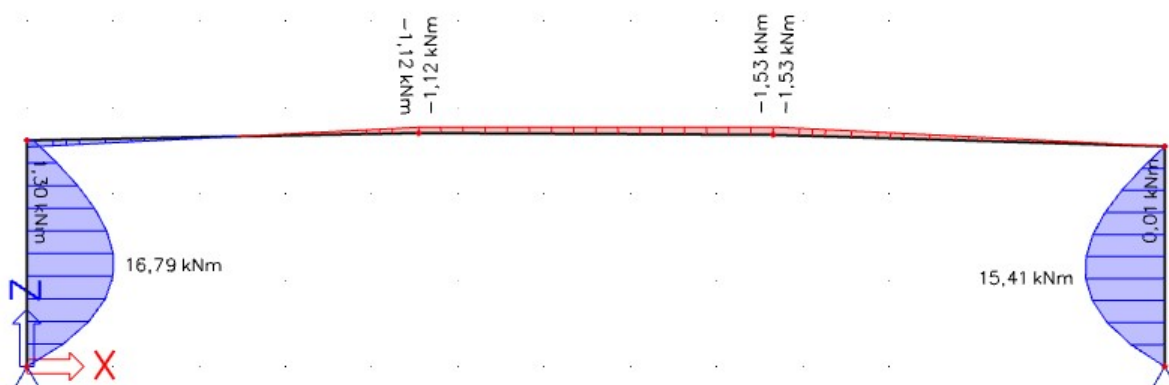
Obr. 11: Ohybové momenty ZS1 – vlastní tíha



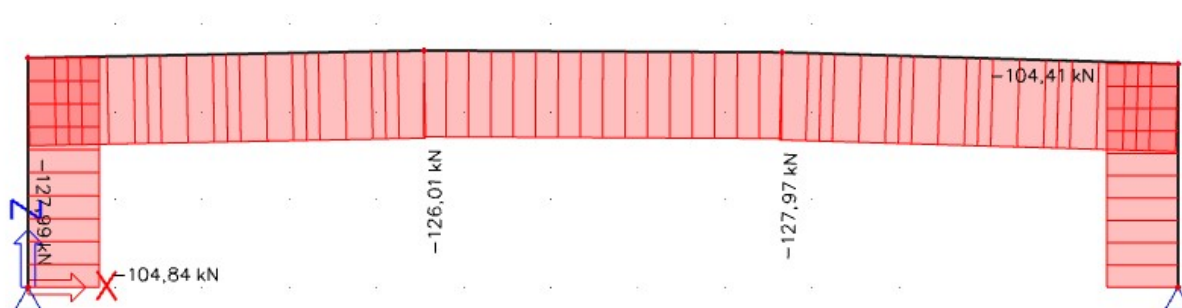
Obr. 12: Normálové síly ZS2 – vozovka



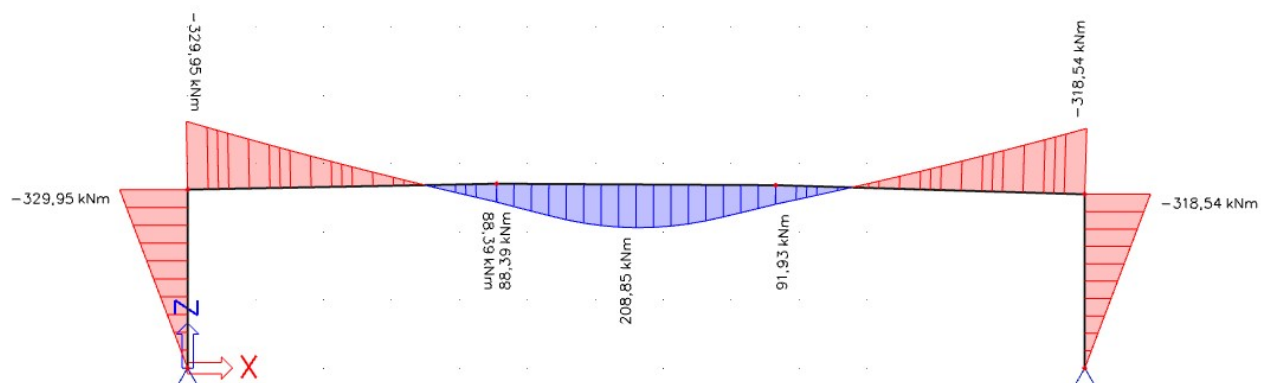
Obr. 13: Ohybové momenty ZS2 – vozovka



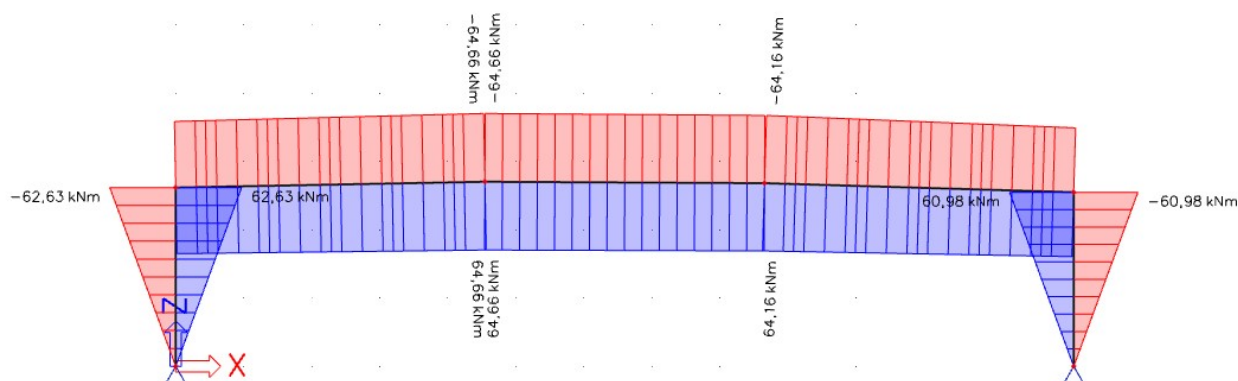
Obr. 14: Ohybové momenty ZS3 – zemní tlak v klidu



Obr. 15: Normálové síly ZS4 – LM1



Obr. 16: Ohybové momenty ZS4 – LM1



Obr. 17: Ohybové momenty ZS6 – teplota ochlazení a oteplení

VNITŘNÍ SÍLY PRO DIMENZOVÁNÍ (návrhové hodnoty na 1 m' rámu)**1) ½ příčle**

$$M_{ed} = 88,1 + 20,5 - 1,4 + 208,9 + 64,4 = 380,5 \text{ kNm}$$

2) vetknutí příčle do stojky

$$M_{ed} = -216,9 - 49,0 + 0 - 330,0 - 62,6 = 658,5 \text{ kNm} \text{ (záporný ohybový moment)}$$

3) pata stojky

$$N_{ed} = -148,4 - 21,4 + 0 - 104,8 + 0 = -274,6 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 0 \text{ kNm}$$

8. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB**1) posouzení ½ příčle****Beton C30/37**

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}, f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30 \cdot 0,85 / 1,5 = 17,0 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,5$$

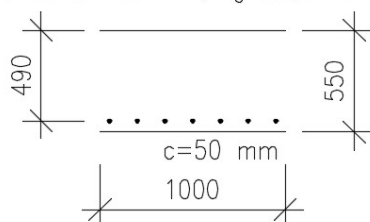
Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435,0 \text{ MPa} \quad \gamma_s = 1,15$$

METODA MEZNÍ ROVNOVÁHY

Pozn.: Příčel je proměnná, posudek je proveden přibližně v nejnepříznivějším místě.

$$\varnothing R20 \text{ á } 150 \text{ mm}, A_s = 20,94 \text{ cm}^2$$



$\varepsilon_s > \varepsilon_{yd}$ platí tahové porušení

$$\xi \leq \xi_{ball}$$

$$\xi = x / d; \xi_{ball} = \varepsilon_{cu} / (\varepsilon_{cu} + \varepsilon_{sy})$$

$$x = A_s \cdot f_{yd} / b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,002094 \cdot 435 / (1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 18,0) = 0,067 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{sy} = \varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_y = 435 / 200\,000 = 0,0022$$

$$\xi = x / d = 0,067 / 0,490 = 0,137$$

$$\xi_{ball} = 0,0035 / (0,0035 + 0,0022) = 0,617$$

$$\xi \leq \xi_{ball}$$

0,137 < 0,617 → SPLNĚNO

RAMENO VNITŘNÍCH SIL

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,490 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,067 = 0,463 \text{ m}$$

$$F_s = F_{yd} = A_s \cdot f_{yd} = 0,002094 \cdot 435\,000 = 910,9 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÁ HODNOTA MEZE ÚNOSNOSTI

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 910,9 \cdot 0,463 = 421,8 \text{ kNm}$$

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$421,8 \text{ kNm} \geq 380,5 \text{ kNm} \dots \text{ platí (90\%)}$$

Příčná rozdělovací výztuž – 20 % podélné výztuže: $0,2 \cdot 0,002094 = 4,188 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

- návrh Ø R10 a' 150 mm $A_{ssk} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

2) posouzení příčle ve vetknutí**Beton C30/37**

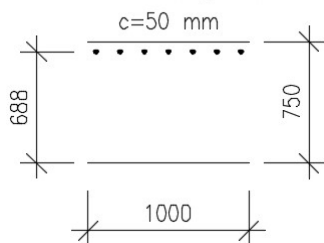
$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}, f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30 \cdot 0,85 / 1,5 = 17,0 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,5$$

Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435,0 \text{ MPa}$$

METODA MEZNÍ ROVNOVÁHY

øR25 á 150 mm, $A_s = 32,72 \text{ cm}^2$



$$\epsilon_s > \epsilon_{yd} \quad \text{platí tahové porušení}$$

$$\xi \leq \xi_{ball}$$

$$\xi = x / d; \xi_{ball} = \epsilon_{cu} / (\epsilon_{cu} + \epsilon_{sy})$$

$$x = A_s \cdot f_{yd} / b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,003272 \cdot 435 / (1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 18,0) = 0,105 \text{ m}$$

$$\epsilon_{sy} = \epsilon_{yd} = f_{yd} / E_y = 435 / 200\,000 = 0,0022$$

$$\xi = x / d = 0,105 / 0,688 = 0,153$$

$$\xi_{ball} = 0,0035 / (0,0035 + 0,0022) = 0,617$$

$$\xi \leq \xi_{ball}$$

$$0,153 < 0,617 \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

RAMENO VNITŘNÍCH SIL

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,688 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,105 = 0,646 \text{ m}$$

$$F_s = F_{yd} = A_s \cdot f_{yd} = 0,003272 \cdot 435\,000 = 1423,3 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÁ HODNOTA MEZE ÚNOSNOSTI

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 1423,3 \cdot 0,646 = 918,7 \text{ kNm}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

$$918,7 \text{ kNm} \geq 658,5 \text{ kNm} \dots \text{platí (72\%)}$$

$$\text{Příčná rozdělovací výztuž} - 20 \% \text{ podélné výztuže:} \quad 0,2 \cdot 0,003272 = 6,544 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

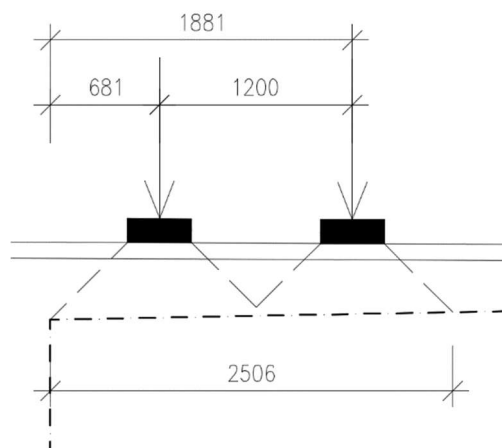
$$\bullet \text{ návrh } \varnothing R12 \text{ a } 150 \text{ mm} \quad A_{ssk} = 7,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

9. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – SMYK

Při porušení posouvající silou zůstávají zatížení stálá, zemní tlak a teplota jako v případě ohybu. U soustředěných zatížení (TS) se mění hodnota spolupůsobení, UDL zůstává stejné jako u ohybu.

$x/3$... x vzdálenost těžiště zatížení od teoretického uložení
výpočet se liší pro přední a zadní nápravu u TS

$$x/3 = 1,281/3 = 0,427 \text{ m}$$



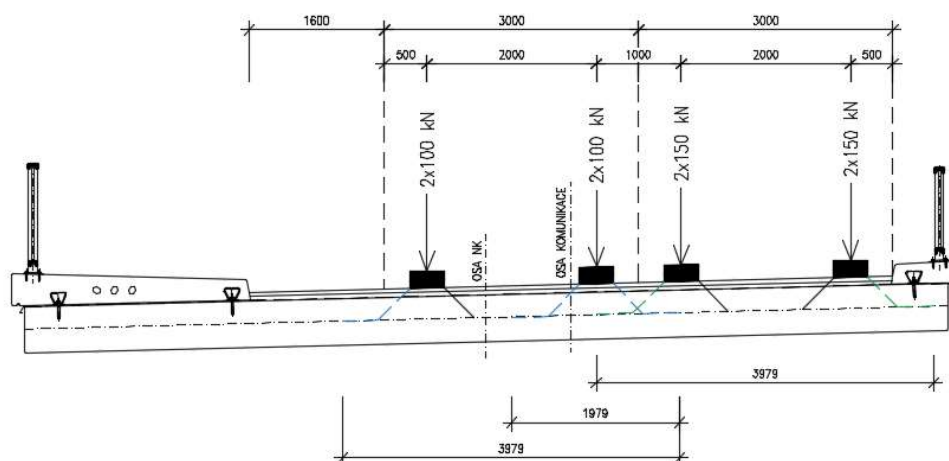
TS

$$1,35 \cdot ((0,8 \cdot 600/(3,98 \cdot 2,51) + 0,8 \cdot 200/(1,98 \cdot 2,51))) = \mathbf{108,3 \text{ kN/m}^2}$$

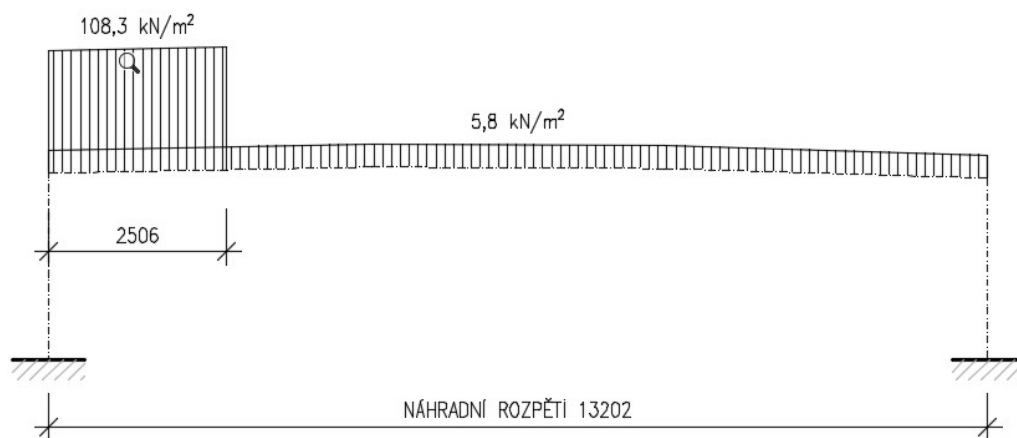
UDL

$$1,35 \cdot ((1,6 \cdot 2,5 \cdot 3,0/7,4) + (0,45 \cdot 9,0 \cdot 2,2/6,6) + (1,6 \cdot 2,5 \cdot 2,2/6,6)) = \mathbf{5,8 \text{ kN/m}^2}$$

(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)

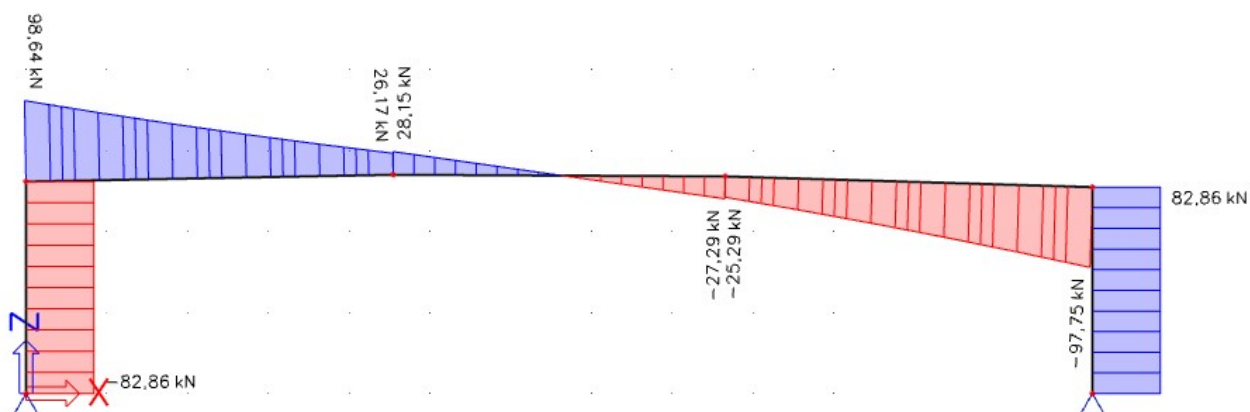


Obr. 18: Soustava zatížení LM1 – TS příčný směr

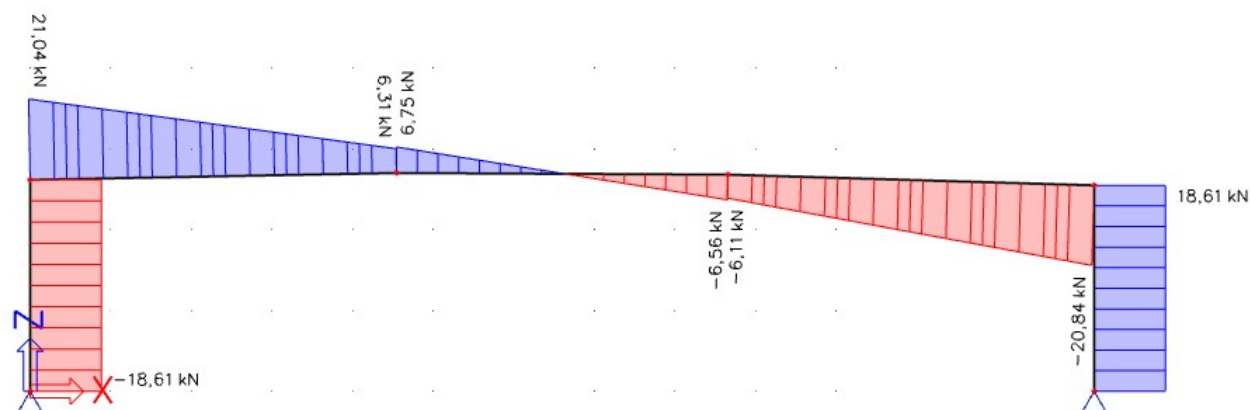


Obr. 19: ZS3 umístění LM1 pro vyvození maximální posouvající síly

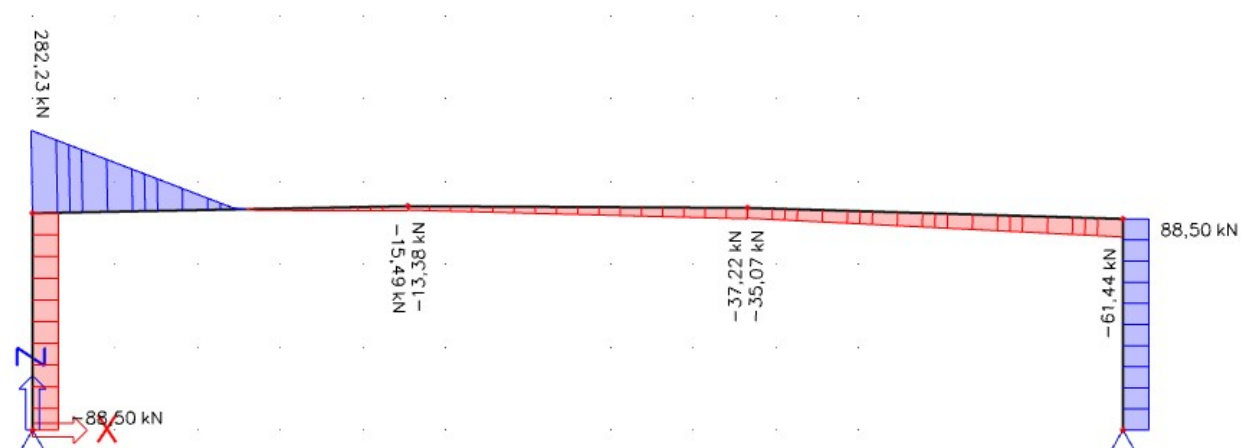
HODNOTY POSOUVAJÍCÍCH SIL



Obr. 20: Posouvající síly ZS1 – vlastní tíha



Obr. 21: Posouvající síly ZS2 – vozovka



Obr. 22: Posouvající síly ZS3 – LM1

Posouvající síly od teploty a zemního tlaku v klidu jsou nulové, proto nejsou uvažovány v kombinaci.

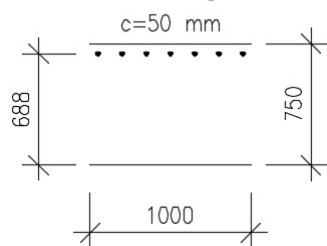
NÁVRHOVÁ POSOUVAJÍCÍ SÍLA PRO DIMENZOVÁNÍ

$$V_{ed} = V_{g0} + V_{g1} + V_{LM1} = 98,6 + 21,0 + 282,2 = 401,8 \text{ kN}$$

1) posouzení bez vlivu smykové výztuže

Pozn.: Příčel je proměnná, posudek je proveden přibližně v nejnepríznivějším místě.

ØR25 á 150 mm, $A_s = 32,72 \text{ cm}^2$



$$V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rd,cm} + V_{Rd,cn}$$

$$V_{Rd,cn} = 0, \text{ příčel je namáhána jen ohybovým momentem, } N = 0$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} \cdot k (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} \cdot b_w \cdot d$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{688}} = 1,54 > 2,00$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{32,72 \cdot 10^{-4}}{1,00 \cdot 0,688} = 0,005 \leq 0,02$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,54 \cdot (100 \cdot 0,005 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1,00 \cdot 0,688 = 308,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 308,1 \text{ kN} \geq v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,366 \cdot 1,00 \cdot 0,688 = 251,7 \text{ kN} \dots \text{ platí}$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,54^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,366 \text{ Mpa}$$

PODMÍNKÁ SPOLEHLIVOSTI

$$V_{Rd,c} > V_{Ed}$$

308,1 kN < 401,8 kN ... nevyhoví, nutný návrh smykové výztuže (spon)

2) posouzení smyku se smykovou výztuží

- navrženy spony $\varnothing R8$ a' 150/150 mm \rightarrow to je 49 spon $\varnothing R8 / m^2$ (7 x 7 ks)
distance $s = 0,15$ m

Počet n – spon na 1 m': $\frac{1000}{150} = 6,667 \sim 7,0$

Plocha 7 – mi střížného třmenu: $A_{sw,1} = \pi \cdot 0,004^2 \cdot 7,0 = 3,52 \cdot 10^{-4} m^2$

Kontrola minimálního smykového vyztužení:

$$\rho_w \geq \rho_{w,min}$$

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{3,52 \cdot 10^{-4}}{1,00 \cdot 0,15} = 0,0023$$

$$\rho_{w,min} = \frac{(0,08 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}})}{f_{yk}} = \frac{(0,08 \cdot \sqrt{30})}{500} = 0,0009$$

$$0,0023 > 0,0009 \dots \text{platí}$$

Posouzení navržených spon:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} \quad V_{Ed} = 401,8 \text{ kN, návrhová posouvající síla}$$

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cotg\theta = \rho_w \cdot f_{ywd} \cdot z \cdot \cotg\theta$$

$$f_{ywd} = 435 \text{ Mpa} \quad b_w = 1,0 \text{ m} \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,688 = 0,619 \text{ m}$$

$$\cotg\theta = \sqrt{\frac{v \cdot f_{cd}}{v_{Rd,w}}} - 1 \quad v_{Rd,w} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \quad v = 0,6 \text{ (C 30/37 < C 60/75)}$$

$$v_{Rd,w} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 18 = 5,4$$

$$\cotg\theta = \sqrt{\frac{0,6 \cdot 18,0}{5,4}} - 1,0 = 1,0 \quad \rightarrow \quad \theta = 45^\circ, 1 \leq \cotg\theta \leq 2,5 \quad \text{platí}$$

$$V_{Rd,s} = 0,00235 \cdot 435 \cdot 0,619 \cdot 1,0 = 0,633 \text{ MN} = 633 \text{ kN}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

$$V_{Rd,s} > V_{Ed}$$

$$633,0 \text{ kN} > 401,8 \text{ kNm} \dots \text{vyhoví (63 \%)}$$

Kontrola duktility:

$$\rho_w < \frac{0,5 \cdot v \cdot f_{cd}}{f_{ywd}} = \frac{0,5 \cdot 0,6 \cdot 18,0}{435} = 0,012$$

$$0,0023 < 0,012 \quad \text{platí}$$

Posouzení tlačené diagonály:

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot z}{\cot \theta + t_{\theta}}$$

$$\alpha_{cw} = 1 + \frac{\sigma_{cp}}{f_{cd}} = 1,0 + \frac{0,0}{18,0} = 1,0$$

$$v_1 = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] = 0,6 \cdot \left[1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,528 \cdot 18,0 \cdot 1000 \cdot 619}{1+1} = 2941,5 \text{ kN}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

$$V_{Rd,max} > V_{Ed}$$

$$2941,5 \text{ kN} > 401,8 \text{ kNm} \quad \text{vyhoví}$$

10. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

1) Omezení napětí

Napětí je omezeno v 1/2 příčle a ve vetknutí příčle do stojky. Hodnoty ohybových momentů bereme v charakteristických hodnotách. Průřezové charakteristiky počítáme na ideálním průřezu porušeným trhlinou.

Beton C30/37

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}, f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30 \cdot 0,90 / 1,5 = 18,0 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,5$$

Ocel B500B

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}, f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1,15 = 435,0 \text{ MPa}$$

Omezení napětí - beton v tlaku:

$$|\sigma_c| \leq 0,6 \cdot f_{ck} \quad \dots \text{charakteristická kombinace}$$

Omezení napětí - výztuž v tahu:

$$|\sigma_s| \leq 0,8 \cdot f_{yk}$$

- posouzení ½ příčle

Navrženo Ø R20 a' 150 mm $A_{ssk} = 20,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $x = 0,067 \text{ m}$, $z = 0,463 \text{ m}$, $d = 0,490 \text{ m}$

$$M_{Ek, ch} = \frac{M_{Ed}}{\gamma} = \frac{380,5}{1,35} = 251,9 \text{ kNm}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

$$x_r = \frac{-A_s \pm \sqrt{A_s^2 + 2 \cdot A_s \cdot d \cdot b \cdot \frac{1}{\alpha_e}}}{\frac{1}{\alpha_e} \cdot b} =$$

$$= \frac{-20,94 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(20,94 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 20,94 \cdot 10^{-4} \cdot 0,490 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{6,25}}}{\frac{1}{6,25} \cdot 1,0} = 0,101 \text{ m}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_r^3 + \alpha_e \cdot A_s (d - x_r)^2 = \frac{1}{3} \cdot 1,0 \cdot 0,101^3 + 6,25 \cdot 20,94 \cdot 10^{-4} (0,490 - 0,101)^2 =$$

$$I_{cr} = 0,002324 \text{ m}^4$$

Omezení napětí - beton v tlaku:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek, ch}}{I_{cr}} \cdot x_r = \frac{251,9 \cdot 10^3}{0,002324} \cdot 0,101 = 10,9 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_c| = 10,9 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - výztuž v tahu:

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek, ch} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{251,9 \cdot 10^3 (0,490 - 0,101)}{0,002324} = 263,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 263,5 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

- posouzení příčle ve vetknutí

Navrženo 1x Ø R25 a' 150 mm

$$A_{ssk} = 32,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2, x = 0,105 \text{ m}, z = 0,646 \text{ m}, d = 0,688 \text{ m}$$

$$M_{Ek, ch} = \frac{M_{Ed}}{\gamma} = \frac{658,5}{1,35} = 487,8 \text{ kNm}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} = \frac{200}{32} = 6,25$$

$$x_r = \frac{-A_s \pm \sqrt{A_s^2 + 2 \cdot A_s \cdot d \cdot b \cdot \frac{1}{\alpha_e}}}{\frac{1}{\alpha_e} \cdot b} =$$

$$= \frac{-32,72 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(32,72 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 32,72 \cdot 10^{-4} \cdot 0,688 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{6,25}}}{\frac{1}{6,25} \cdot 1,0} = 0,149 \text{ m}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_r^3 + \alpha_e \cdot A_s (d - x_r)^2 = \frac{1}{3} \cdot 1,0 \cdot 0,149^3 + 6,25 \cdot 32,72 \cdot 10^{-4} (0,688 - 0,149)^2 =$$

$$I_{cr} = 0,007044 \text{ m}^4$$

Omezení napětí - beton v tlaku:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek, ch}}{I_{cr}} \cdot x_r = \frac{487,8 \cdot 10^3}{0,007044} \cdot 0,149 = 10,3 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_c| = 10,3 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - výztuž v tahu:

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek, ch} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{487,8 \cdot 10^3 (0,688 - 0,149)}{0,007044} = 130,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 233,3 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

2) Omezení trhlin

Posudek omezení trhlin je proveden pro příčel v ½ rozpětí. Hodnoty ohybových momentů bereme v charakteristických hodnotách. Průřezové charakteristiky počítáme na ideálním průřezu porušeným trhlinou.

$$M_{k,kvaz} = \frac{M_{Ed,kvaz}}{\gamma} = \frac{108,6}{1,35} = 80,4 \text{ kNm}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{k,kvaz} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{80,4 \cdot 10^3 (0,490 - 0,101)}{0,002324} = 84,1 \text{ MPa}$$

$$\varnothing_s = \varnothing_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot k_c \cdot \frac{h_{cr}}{2 \cdot (h-d)} = 32 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot 0,4 \cdot \frac{275}{2 \cdot (550)} = 29,3 \text{ mm}$$

$$\varnothing_s^* \dots \text{z tab. 7.2 N dle napětí v MPa a } w_k = 0,3$$

$$k_c \dots 0,4$$

$$h_{cr} \dots h/2 = 550/2 = 275 \text{ mm}$$

Efektivní výška:

$$h_{c,ef} = \min \{2,5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2\}$$

$$h_{c,ef} = \min \{2,5 \cdot (550 - 490); (550 - 67)/3; 550/2\}$$

$$h_{c,ef} = \min \{150; 161; 275\} = 150 \text{ mm} = 0,15 \text{ m}$$

Efektivní plocha:

$$A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b = 0,15 \cdot 1 = 0,15 \text{ m}^2$$

Efektivní stupeň vyztužení:

$$\rho_{c,eff} = A_s/A_{c,eff} = 20,94 \cdot 10^{-4}/0,15 = 0,0140$$

Šířka trhlin:

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

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varnothing}{\rho_{c,eff}} = 3,4 \cdot 50 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{29,3}{0,0140} = 526 \text{ mm}$$

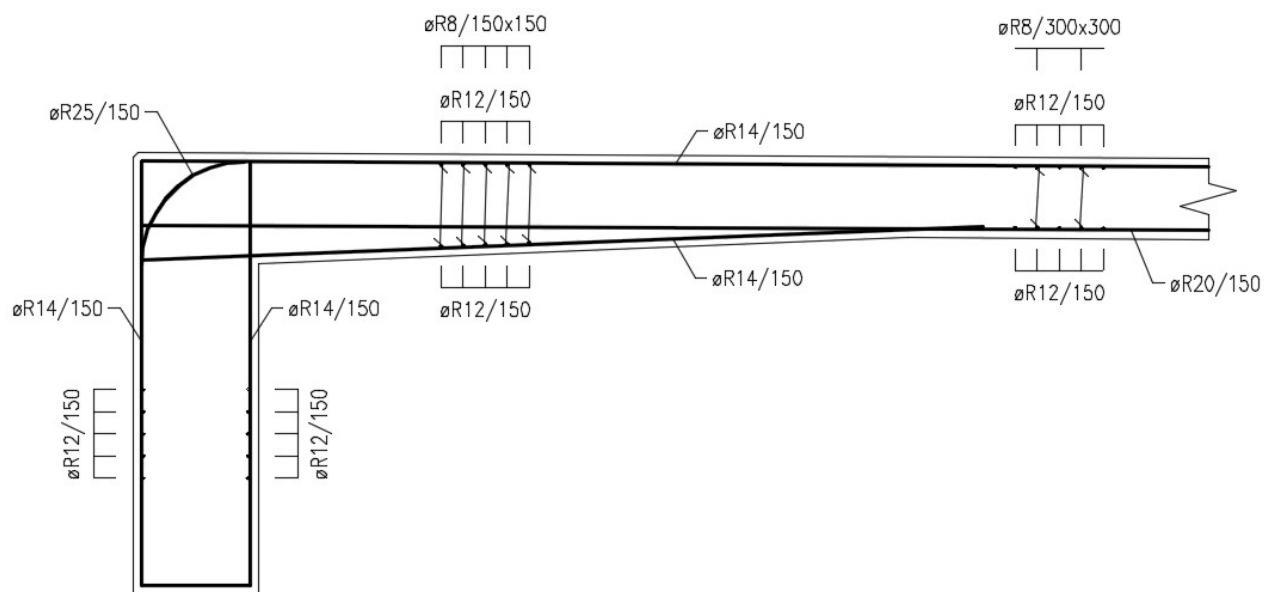
$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{c,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{c,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{84,1 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,014} (1 + 6,25 \cdot 0,014)}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \cdot \frac{84,1}{200 \cdot 10^3}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = -0,000030 \geq 0,000252$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 526 \cdot 0,000030 = 0,016 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm} \text{ vyhovuje}$$

11. SCHÉMA VÝZTUŽE



V Brně, listopad 2021

Vypracovala: Ing. Kryštof Poukar