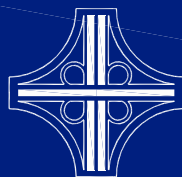


SO 201


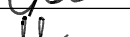



DSP+PDPS

INVESTOR:



ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR
SPRÁVA ZLÍN

Souřadnicový systém: S - JTSK
Výškový systém: Bpv

Hlavní projektant	Ing. Jaromír RUŠAR	   	 Majdalenky 19, 638 00 Brno Tel., fax: 545 222 037 E-mail: info@rusar.cz	
Zodpovědný projektant	Ing. Jaromír RUŠAR			
Vypracoval	Ing. Petra STROUHALOVÁ			
Kontroloval	Ing. Jaromír RUŠAR			
Kraj:	ZLÍNSKÝ	Datum	Červenec 2017	
Investor:	ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR	Formát	A4	
Název akce:	MOST EV. Č. 54-043 PŘES MÍSTNÍ POTOK V KVĚTNÉ		Měřítko	
Název objektu:			Účel	DSP + PDPS
Název výkresu:			Čís.zakáz.	156 - 2015
			Archivní čís.	43 - 2015
STATICKÝ VÝPOČET		Čís.soupravy	Čís. výkresu: 09	

MOST EV.Č. 54 – 043 PŘES MÍSTNÍ POTOK V KVĚTNÉ

STATICKÝ VÝPOČET

OBSAH:

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE	2
2. PŘEDPISY A LITERATURA	3
3. CÍL STATICKEHO VÝPOČTU	4
4. VÝKRESY	5
5. MECHANICKÝ MODEL	8
6. ZATĚŽOVACÍ STAVY	9
7. NORMÁLOVÉ SÍLY A OHYBOVÉ MOMENTY	14
8. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB	18
9. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – SMYK	22
10. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI	28
11. SCHÉMA VÝZTUŽE	32

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

- 1.1. Stavba: Most ev.č. 54 – 043 přes místní potok v Květné
- 1.2. Stavebník: Ředitelství silnic a dálnic ČR, správa Zlín
- 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

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**

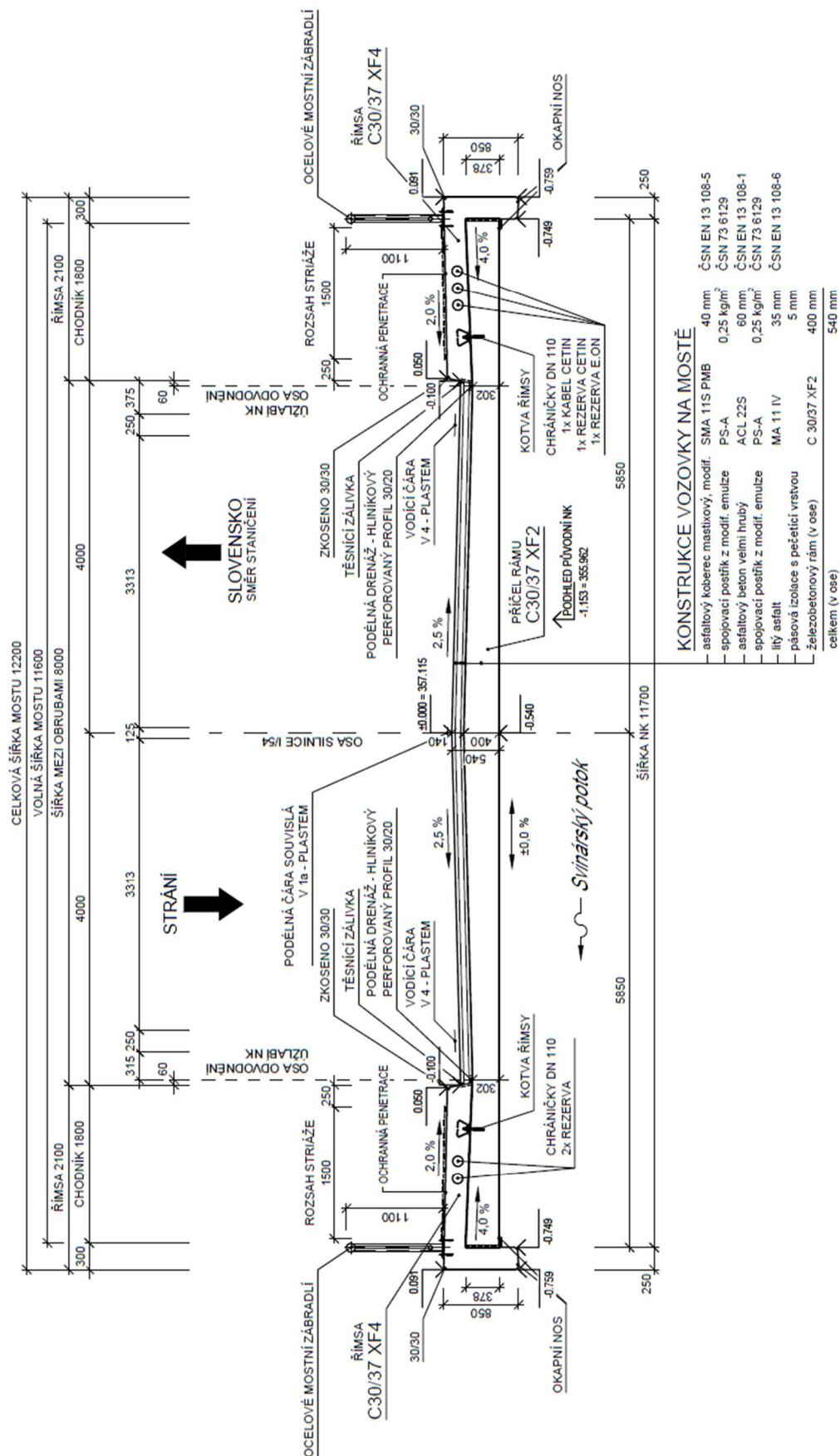
Cílem statického výpočtu je posoudit navrhovanou rámovou konstrukci a nadimenzovat správně betonářskou výztuž. Posudek bude dělán dle EC2, konstrukce bude ověřena stran spolehlivosti jak dle MSÚ (první skupina mezních stavů – únosnost), tak dle MSP (druhá skupina mezních stavů – provozní způsobilost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

Předpoklady výpočtu:

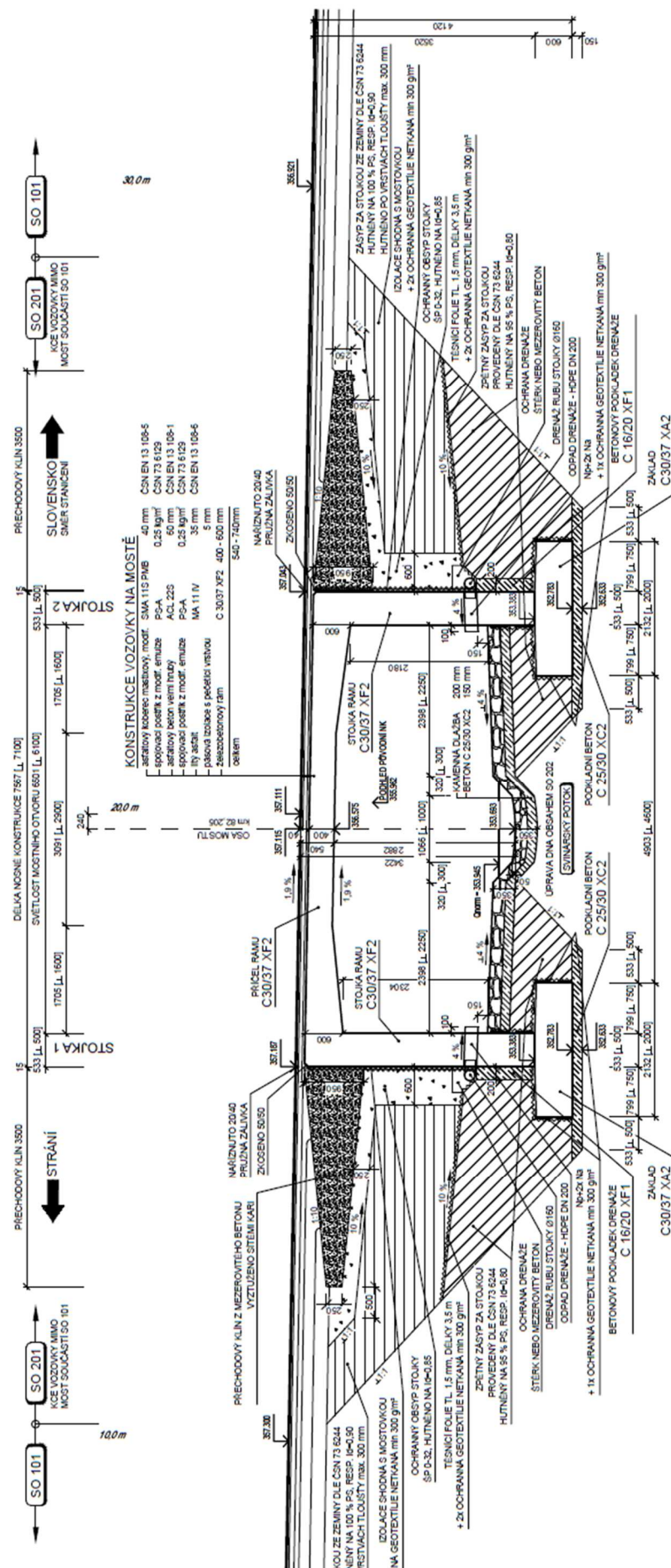
- Konstrukce bude řešena metodou otevřený rám v programu Nexis 32
- Pro dané rozpětí je zřejmé, že největší intenzitu účinků vyvodí model LM1 dle EC1 – Zatížení mostů, model LM3 je uveden jen pro kontrolu
- Příčný roznos odpovídá zhruba předpokladům dle bývalé ČSN 73 6206 (Navrhování betonových a železobetonových mostních konstrukcí), tedy $1/6$ pro ohyb a $x/3$ pro smyk
- Roznos vozovkou a vlastní ŽB konstrukcí bude uvažován do $1/2$ tloušťky příčle
- Zatížení pohyblivá jsou již s uvažováním dynamických vlivů (vyplývá z díkce EC1)
- Regulační součinitelé α jsou brány dle díkce 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

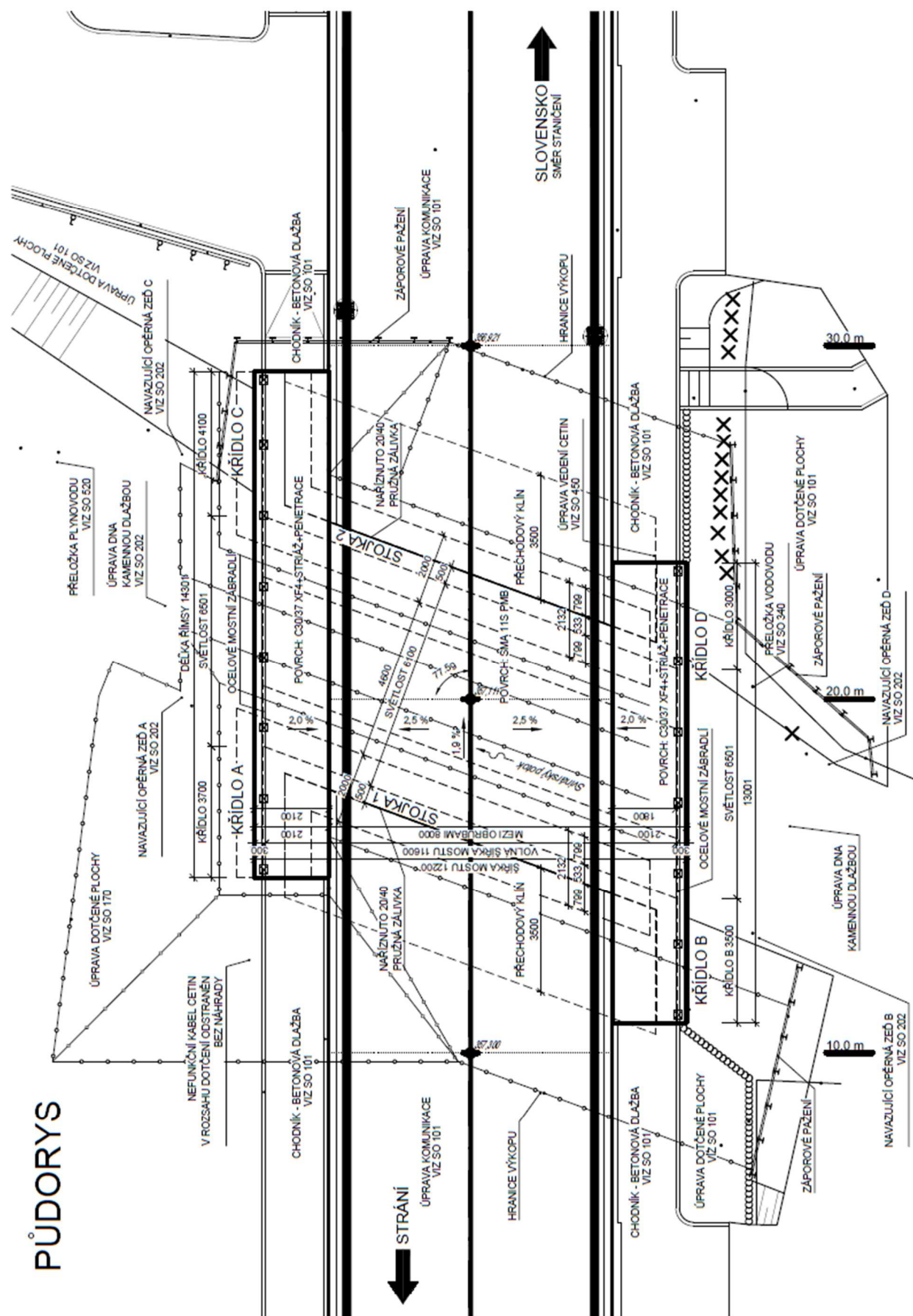
4. VÝKRESY

NOVÝ STAV - PŘÍČNÝ ŘEZ M 1:50



NOVÝ STAV - PODÉLNÝ ŘEZ M 1:50



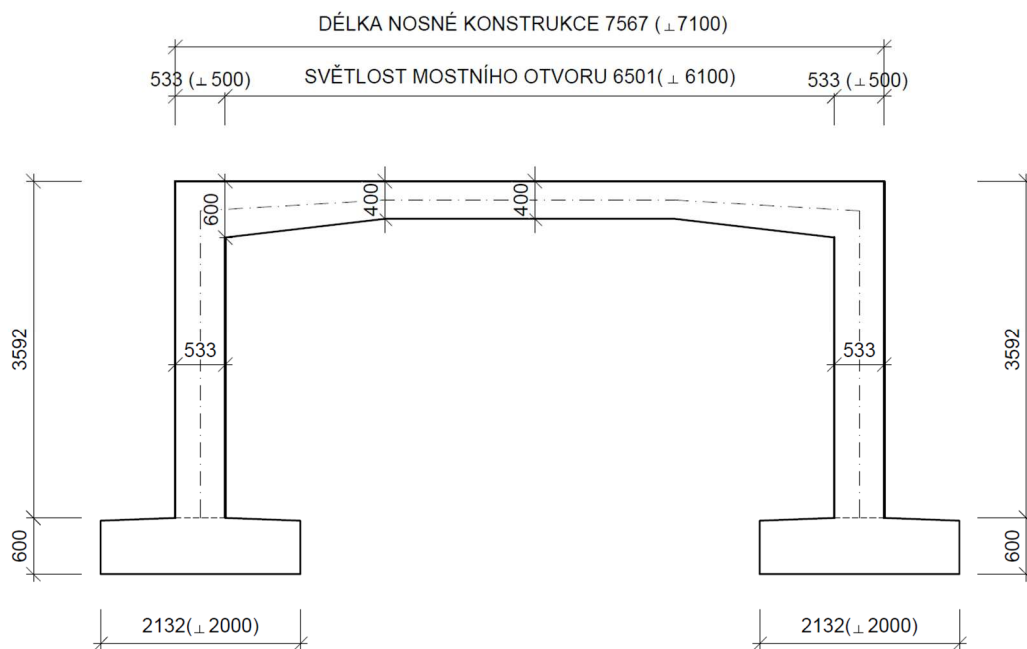


5. MECHANICKÝ MODEL

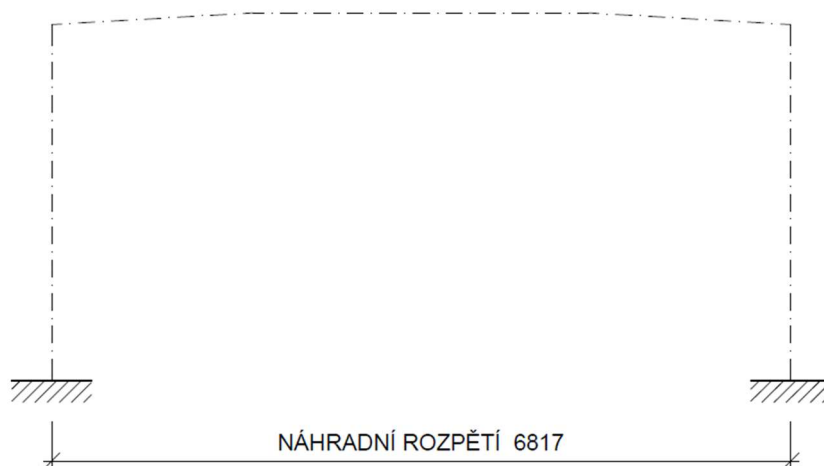
Dle statického hlediska konstrukce působí jako otevřený rám. V programu Nexis 32 byl vytvořen mechanický model prutového otevřeného rámu. Konstrukce je řešena v šířce 1 m, tedy i výztuž je dimenzována do 1 m'.

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

$$l = \frac{7034 + 6600}{2} = 6817 \text{ mm}$$



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: $\gamma_g = 1,35$

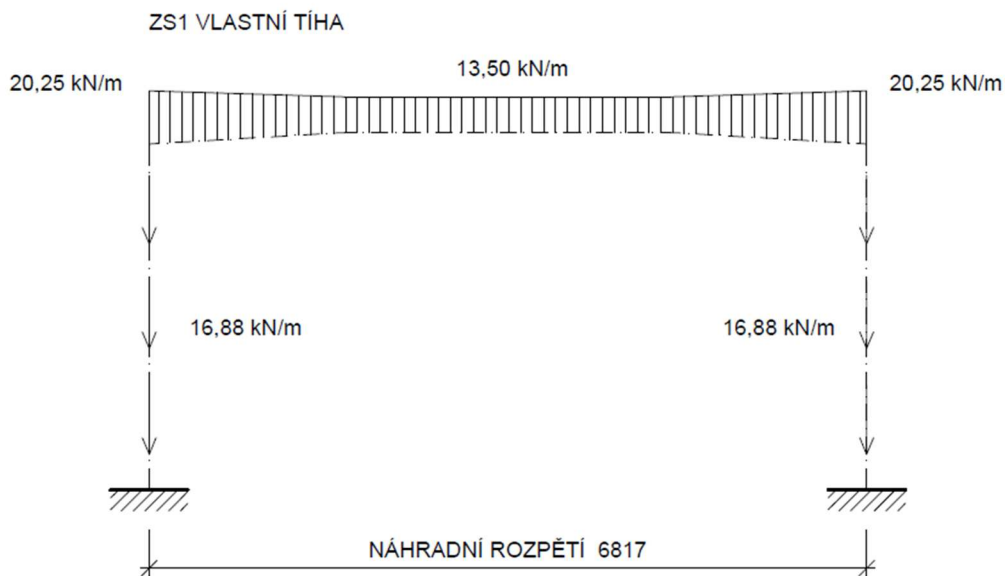
vlastní tíha příčle

$$1,35 \cdot (0,6 \cdot 1,0 \cdot 25) = 20,25 \text{ kN/m'}$$

vlastní tíha stojiny

$$1,35 \cdot (0,4 \cdot 1,0 \cdot 25) = 13,50 \text{ kN/m'}$$

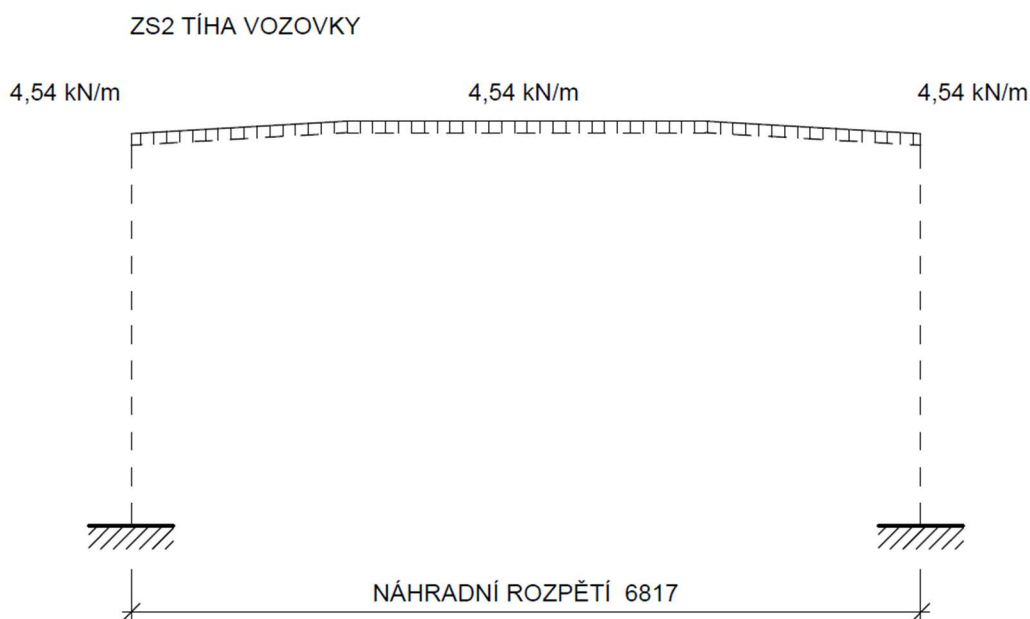
$$1,35 \cdot (0,5 \cdot 1,0 \cdot 25) = 16,88 \text{ kN/m'}$$



Obr. 3: ZS1 – vlastní tíha rámu

tíha vozovky

$$1,35 \cdot (0,14 \cdot 1,0 \cdot 24) = 4,54 \text{ kN/m'}$$



Obr. 4: ZS2 – tíha vozovky

Zemní tlak v klidu

Model je namáhán také okolní zeminou v klidovém stavu.

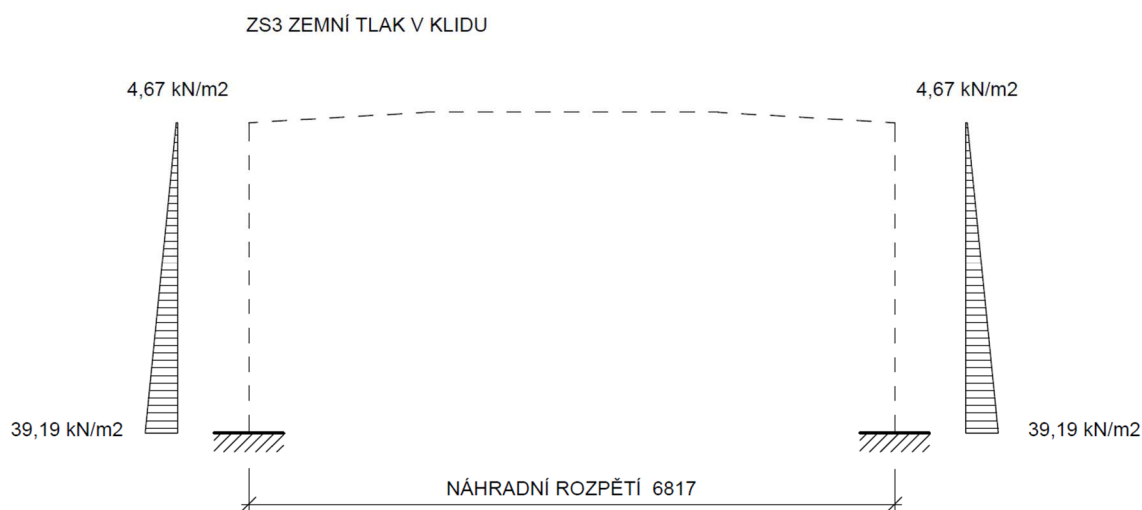
Úhel vnitřního tření zeminy: $\varphi = 30^\circ$
 $k_0 = (1 - \sin\varphi) = (1 - \sin 30^\circ) = 0,5$

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

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

$$\sigma_1^d = \gamma_z \cdot h_1 \cdot k_0 = 21 \cdot 0,445 \cdot 0,5 = 4,67 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 4,67 \text{ kN/m}^2$$

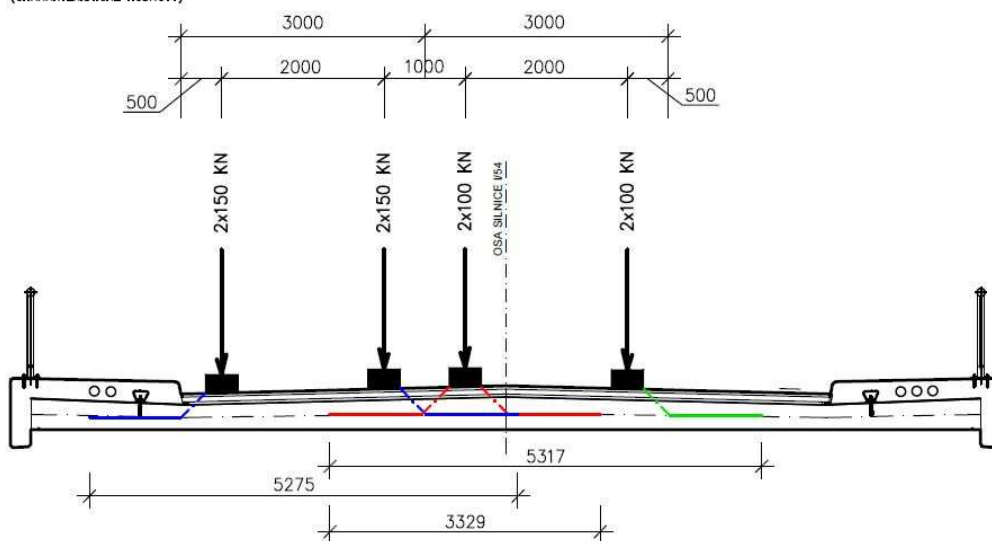
$$\sigma_2^d = \gamma_z \cdot h_2 \cdot k_0 = 21 \cdot 3,732 \cdot 0,5 = 39,19 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = 39,19 \text{ kN/m}^2$$



Obr. 5: ZS3 – zemní tlak v klidu

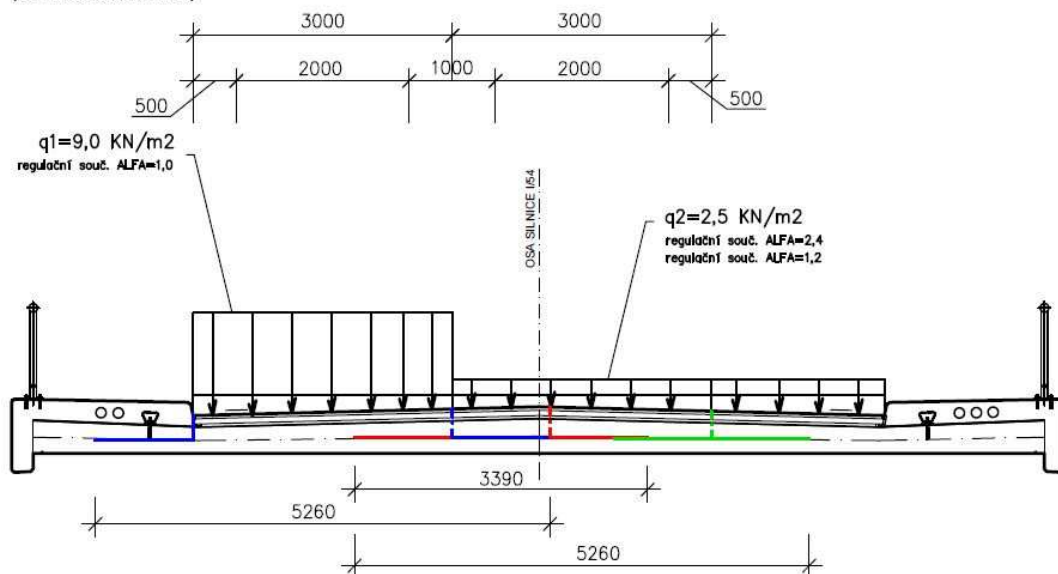
Pohyblivé zatížení – soustava LM1 v návrhových hodnotách

POZICE LM1(TS) – PŘÍČNÝ SMĚR
(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)



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

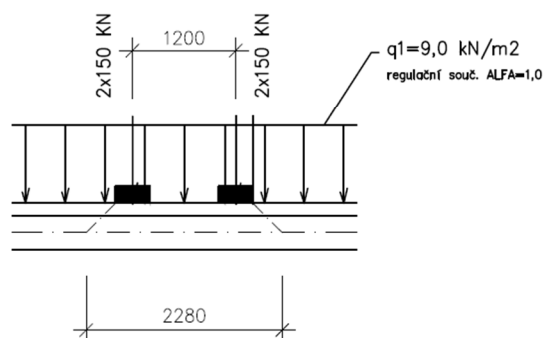
POZICE LM1(UDL) – PŘÍČNÝ SMĚR
(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)



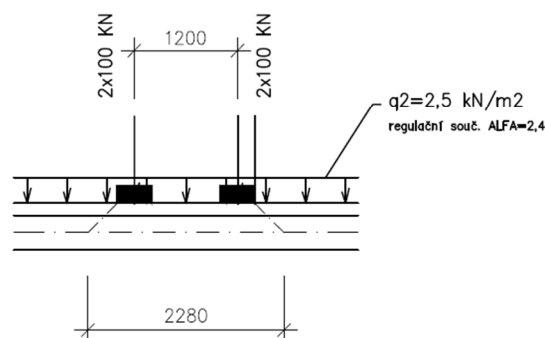
Obr. 7: Soustava zatížení LM1 – UDL, příčný směr

PODÉLNÝ SMĚR

1. ZAT. PRUH



2. ZAT. PRUH



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 roznoš odpovídá zhruba předpokladům dle bývalé ČSN 73 6206, tedy $l/6$, kde l je tzv. náhradní rozpětí. Zatížení je nasčítáno – uvažujeme spolupůsobení.

$$l/6 = 6,817/6 \approx 1,130 \text{ m}$$

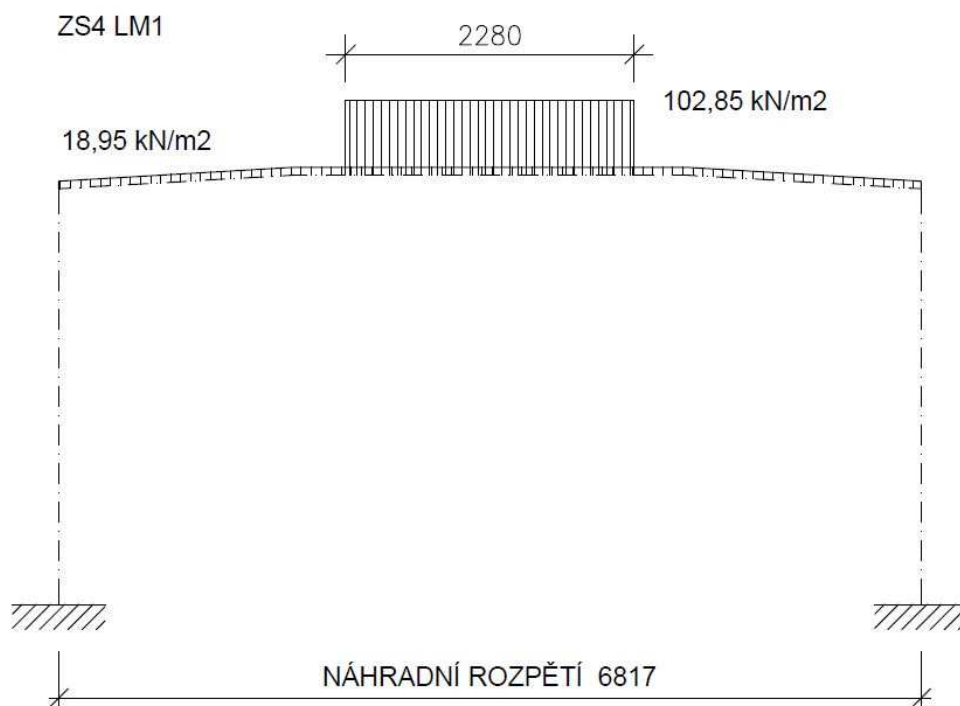
Dílčí součinitel γ : silniční doprava: $\gamma_{Q1}=1,35$

$$\begin{aligned} \text{první zat. pruh} \quad & 1,35 \cdot ((600/(5,28 \cdot 2,28) + 200/(3,33 \cdot 2,28))) = 102,85 \text{ kN/m}^2 \\ & 1,35 \cdot 9,0 \cdot \alpha = 1,35 \cdot ((9,0 \cdot 1,0 \cdot 3/5,26) + \\ & \quad + (2,5 \cdot 2,4 \cdot 3/3,39)) = 14,10 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{druhý zat. pruh} \quad & 1,35 \cdot (400/(5,32 \cdot 2,28) + 300/(3,33 \cdot 2,28)) = 97,86 \text{ kN/m}^2 \\ & 1,35 \cdot 2,5 \cdot \alpha = 1,35 \cdot ((2,5 \cdot 2,4 \cdot 3/5,26) + \\ & \quad + (9,0 \cdot 1,0 \cdot 3/3,39) + (2,5 \cdot 1,2 \cdot 3/3,39)) = 18,95 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

ostatní plocha $1,35 \cdot 2,5 \cdot \alpha = 1,35 \cdot ((2,5 \cdot 1,2 \cdot 3/4,26) + (2,5 \cdot 2,4 \cdot 3/3,39)) = 10,02 \text{ kN/m}^2$

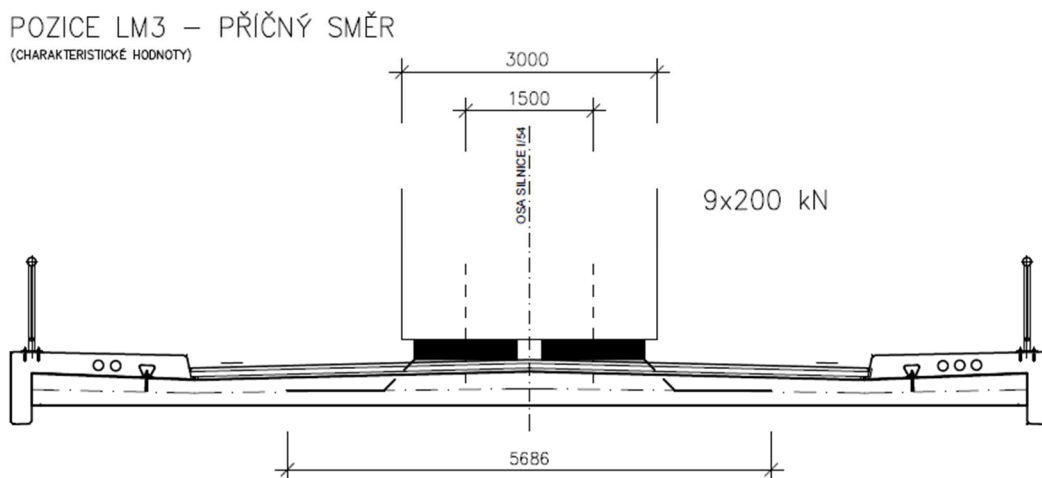
Pozn.: Rám je počítán prutově v šířce jednoho metru, proto do zatěžovacího stavu bereme spolupůsobení maximální, jak u zatíženích soustředěných tak u zatíženích rovnoměrných.



Obr. 9: ZS4 – LM1

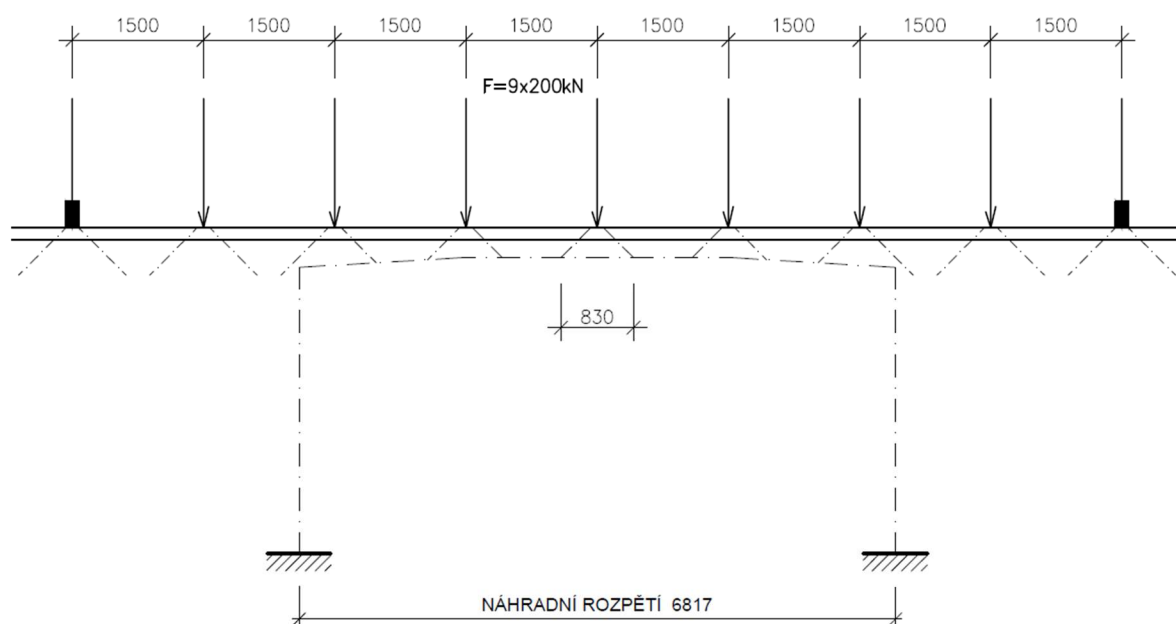
Pohyblivé zatížení – soustava LM3 v návrhových hodnotách

Jelikož se jedná o komunikaci I. třídy, tak model zatížení LM3 budeme uvažovat 1800/200. Po mostě se pohybuje 9 náprav po 200 kN. Dynamický součinitel se uvažuje hodnotou 1,25. Tato sestava by neměla rozhodovat, vzhledem k rozpětí mostu.



Obr. 10: Soustava zatížení LM3, příčný směr

PODÉLNÝ SMĚR



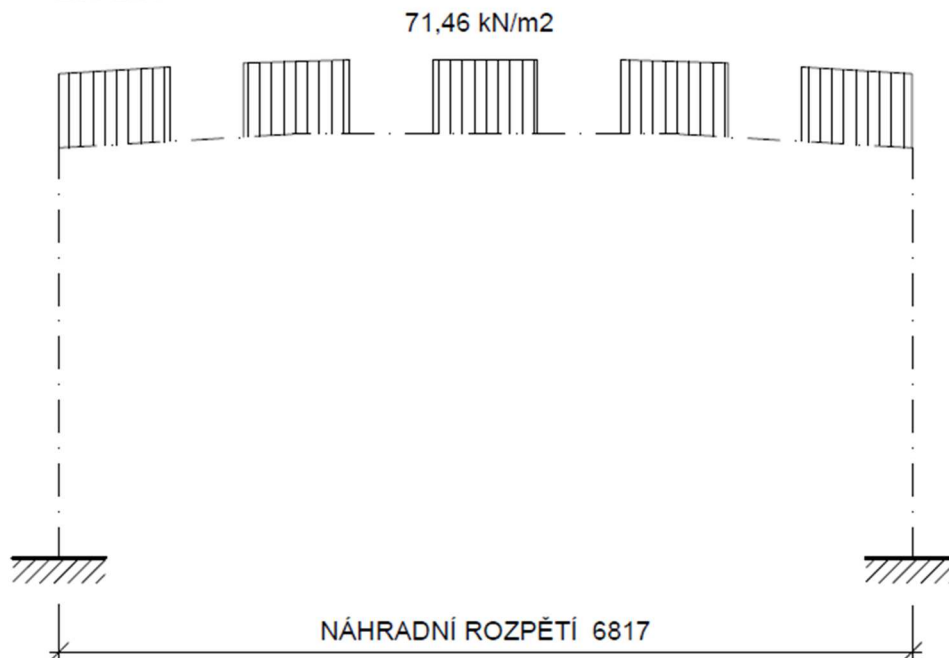
Obr. 11: Soustava zatížení LM3, podélný směr

LM3

$$1,35 \cdot 1,25 \cdot 200 / (5,69 \cdot 0,83)$$

$$= 71,46 \text{ kN/m}^2$$

ZS5 LM3

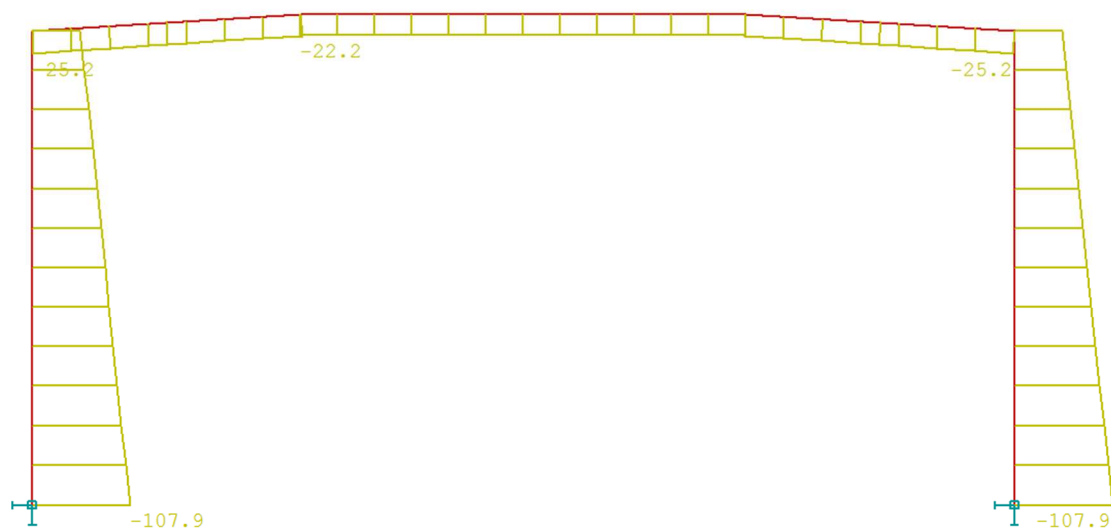


Obr. 12: ZS5 – LM3

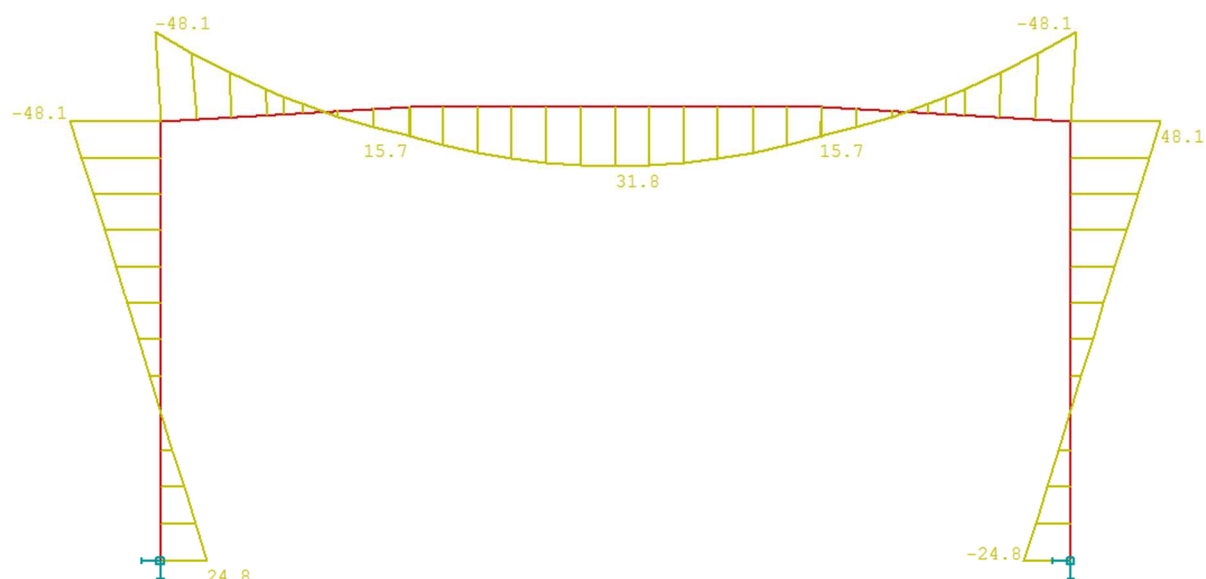
ZS6 konstantní teplotní zatížení - 30 K (ochlazení a oteplení stojina i příčel)

→ generováno programem Nexis 32

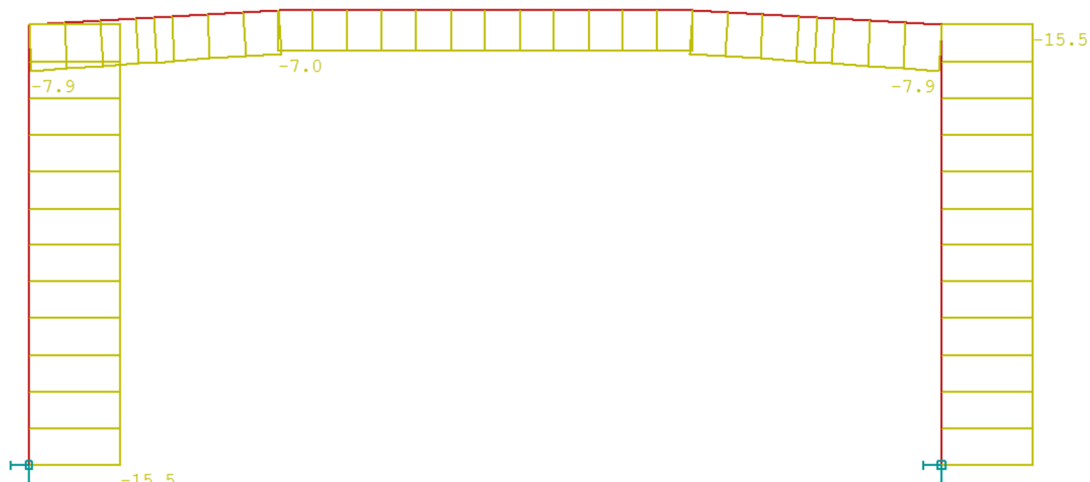
7. NORMÁLOVÉ SÍLY A OHYBOVÉ MOMENTY



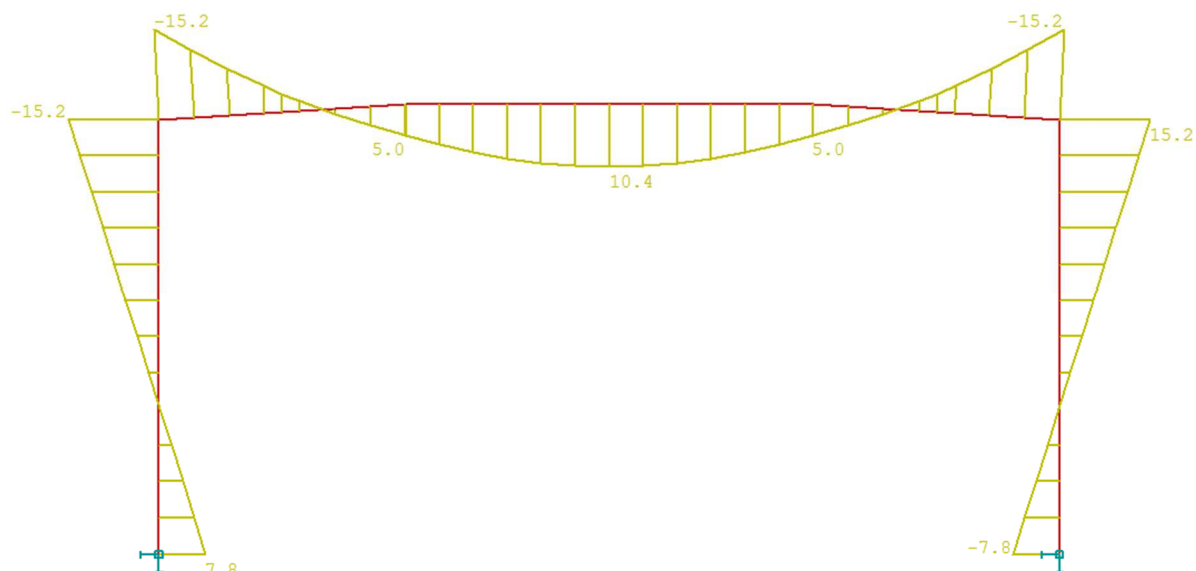
Obr. 13: Normálové síly ZS1 – vlastní tíha



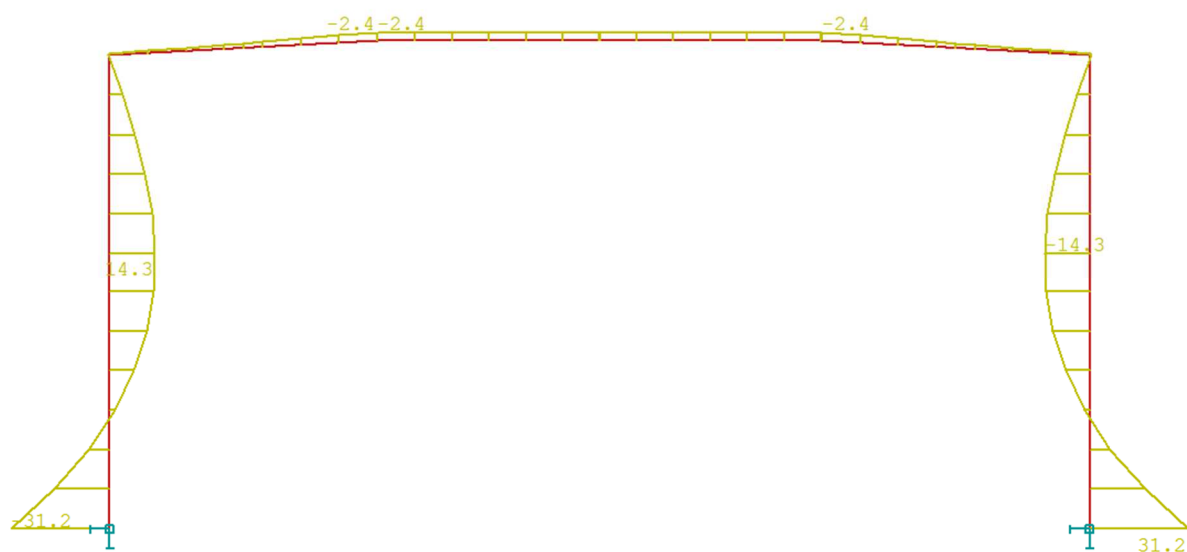
Obr. 14: Ohybové momenty ZS1 – vlastní tíha



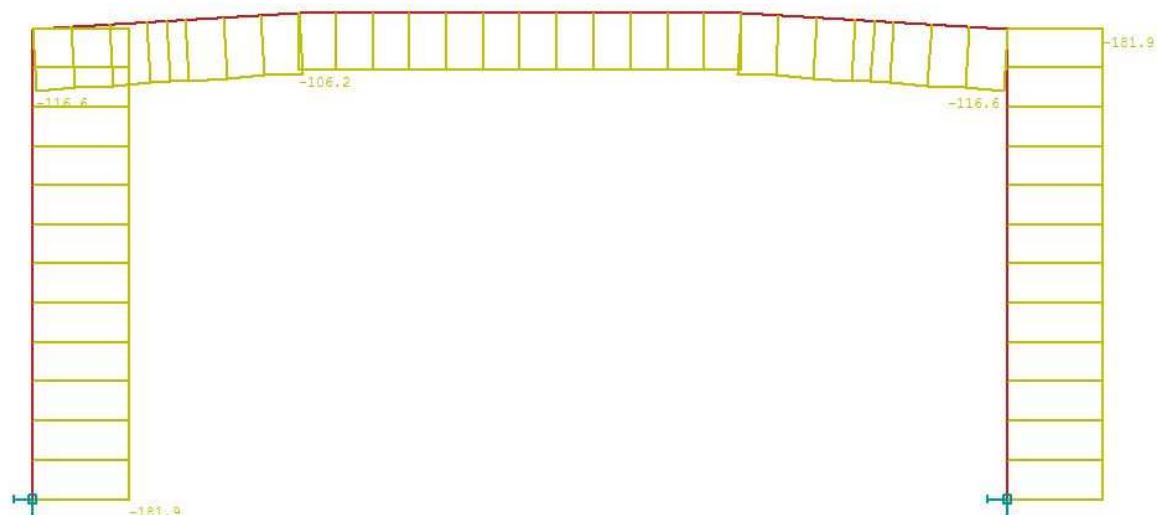
Obr. 15: Normálové síly ZS2 – vozovka



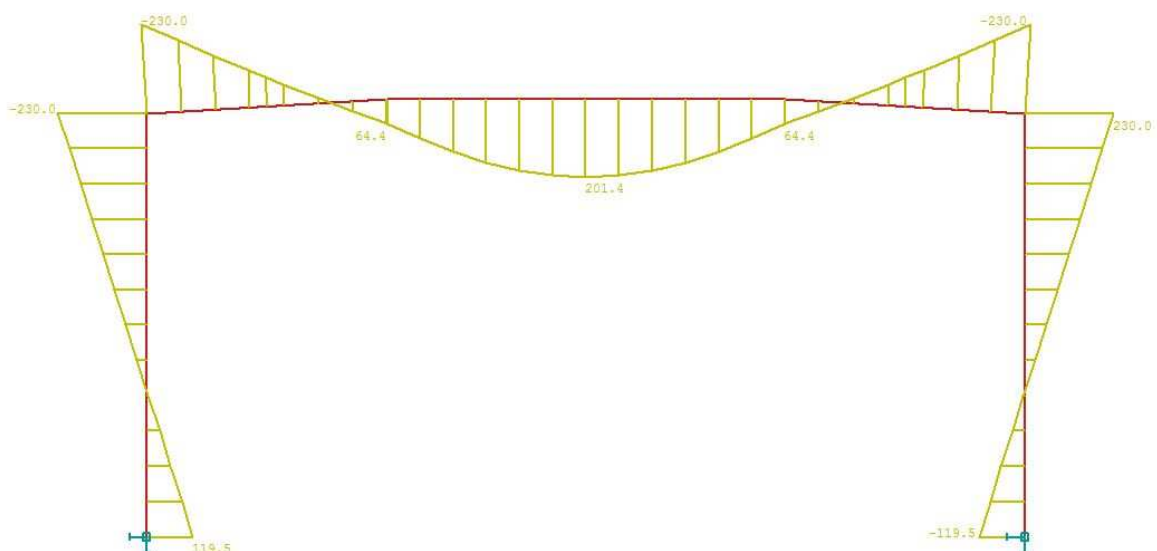
Obr. 16: Ohybové momenty ZS2 - vozovka



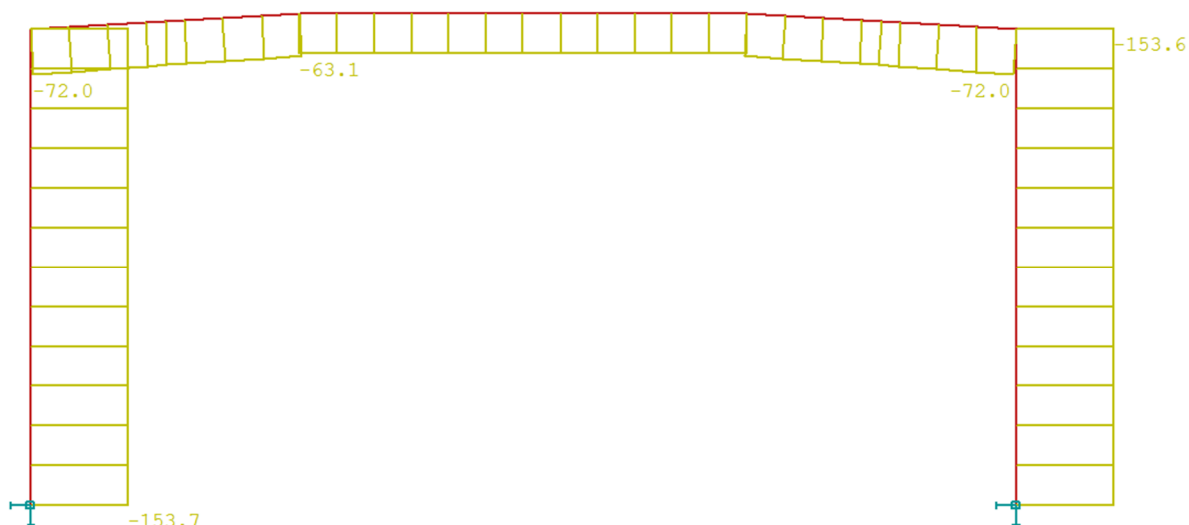
Obr. 17: Ohybové momenty ZS3 – zemní tlak v klidu



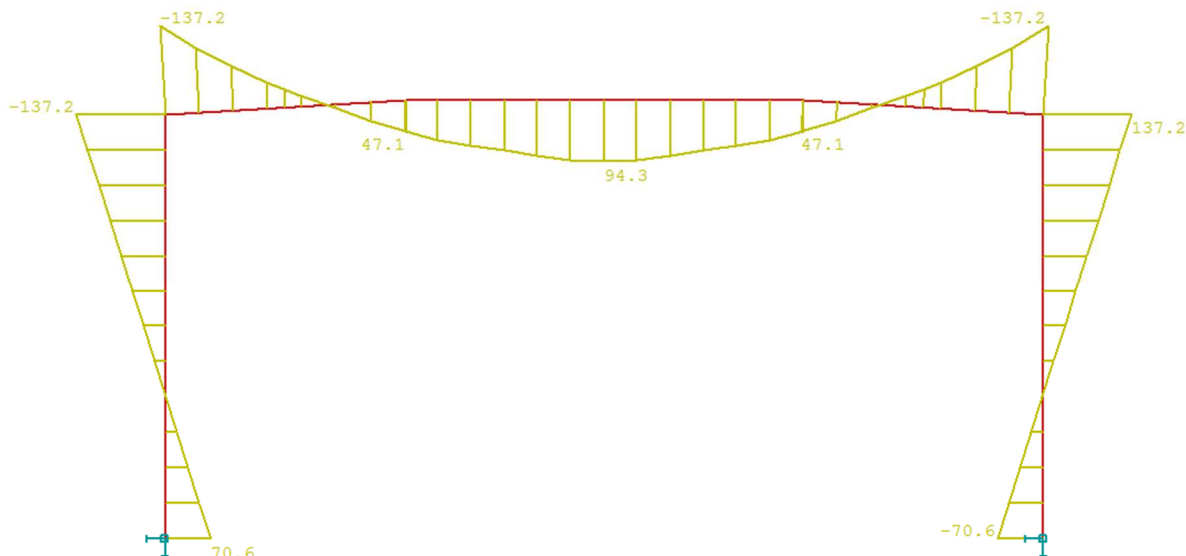
Obr. 18: Normálové síly ZS4 – LM1



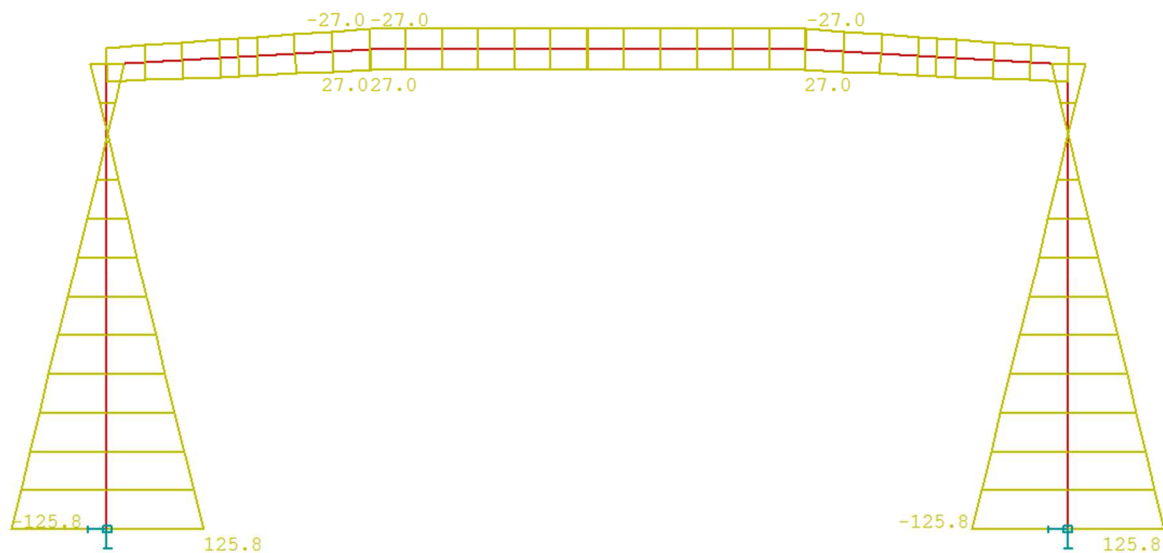
Obr. 19: Ohybové momenty ZS4 – LM1



Obr. 20: Normálové síly ZS5 – LM3



Obr. 21: Ohybové momenty ZS5 – LM3



Obr. 22: Ohybové momenty ZS6 – teplota ochlazení a oteplení

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

1) ½ příčle

$$M_{ed} = 31,8 + 10,4 - 2,4 + 201,4 + 27 = 268,2 \text{ kNm}$$

2) vetknutí příčle do stojky

$$M_{ed} = -48,1 - 15,2 + 0,0 - 230,0 - 27 = 320,3 \text{ kNm} \quad (\text{záporný ohybový moment})$$

3) vetknutí stojky do základu

$$N_{ed} = -107,9 - 15,5 + 0 - 181,9 + 0 = -305,3 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 24,8 + 7,8 - 31,2 + 119,5 + 125,8 = 246,7 \text{ kNm}$$

8. MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI - OHYB

1) posouzení 1/2 příčle

Beton C30/37

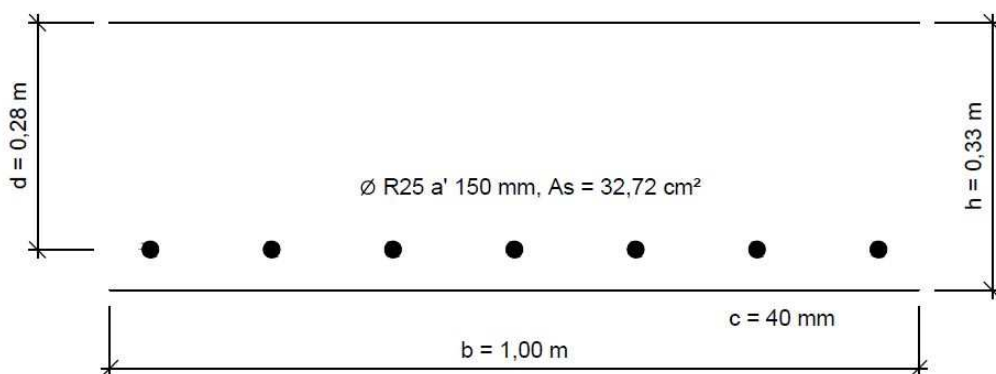
$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}, f_{cd} = f_{ck} \cdot \alpha_{cc} / \gamma_c = 30 \cdot 0,90 / 1,5 = 18,0 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1,5$$

Ocel B500B

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

METODA MEZNÍ ROVNOVÁHY

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



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

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

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

$$x = A_s \cdot f_{yd} / b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,003272 \cdot 435 / (1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 18,0) = 0,099 \text{ m}$$

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

$$\xi = x / d = 0,099 / 0,280 = 0,354$$

$$\xi_{ball} = 0,0035 / (0,0035 + 0,0022) = 0,614$$

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

$$0,354 < 0,614 \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

RAMENO VNITŘNÍCH SIL

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,280 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,099 = 0,240 \text{ m}$$

$$F_s = F_{yd} = A_s \cdot f_{yd} = 0,003272 \cdot 435000 = 1423,3 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÁ HODNOTA MEZE ÚNOSNOSTI

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 1423,3 \cdot 0,240 = 341,6 \text{ kNm}$$

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI

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

$$341,6 \text{ kNm} \geq 268,2 \text{ kNm} \dots \text{ platí } (79 \%)$$

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

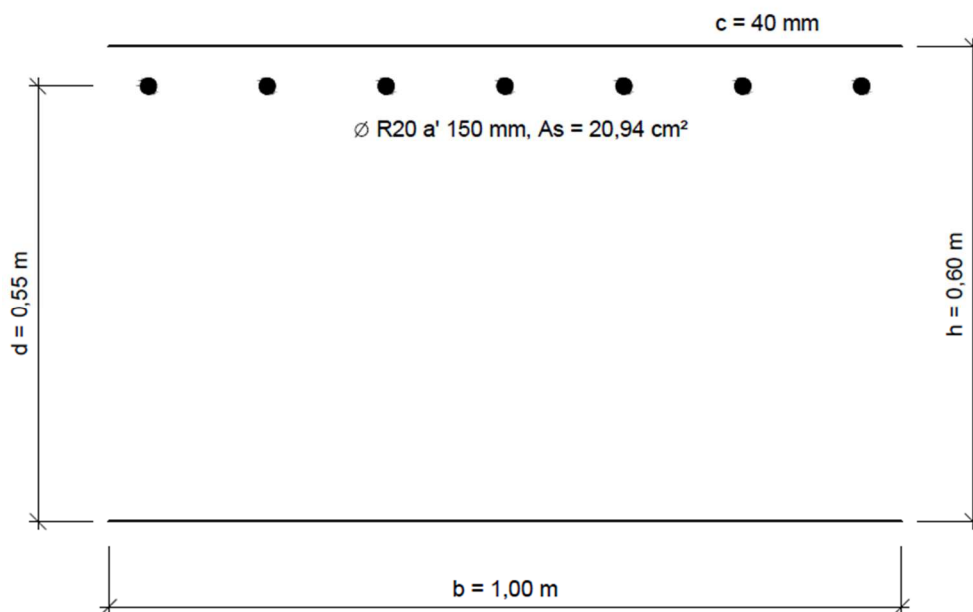
- návrh Ø R14 a' 150 mm $A_{ssk} = 10,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

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

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

Ocel B500B

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

METODA MEZNÍ ROVNOVÁHY

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

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

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

$$x = A_s \cdot f_{yd} / b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,002094 \cdot 435 / (1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 18,0) = 0,063 \text{ m}$$

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

$$\xi = x / d = 0,063 / 0,550 = 0,115$$

$$\xi_{ball} = 0,0035 / (0,0035 + 0,0022) = 0,614$$

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

$$0,115 < 0,614 \rightarrow \text{SPLNĚNO}$$

RAMENO VNITŘNÍCH SIL

$$z = d - 0,5 \cdot \lambda \cdot x = 0,550 - 0,5 \cdot 0,8 \cdot 0,063 = 0,525 \text{ m}$$

$$F_s = F_{yd} = A_s \cdot f_{yd} = 0,002094 \cdot 435000 = 910,9 \text{ kN}$$

NÁVRHOVÁ HODNOTA MEZE ÚNOSNOSTI

$$M_{rd} = F_s \cdot z = 910,9 \cdot 0,525 = 478,2 \text{ kNm}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

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

$$478,2 \text{ kNm} \geq 320,3 \text{ kNm} \dots \text{ platí } (67 \%)$$

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

- návrh Ø R14 a' 150 mm $A_{ssk} = 10,26 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

3) posouzení vetknutí – stojka do základu (tlak s ohybem)

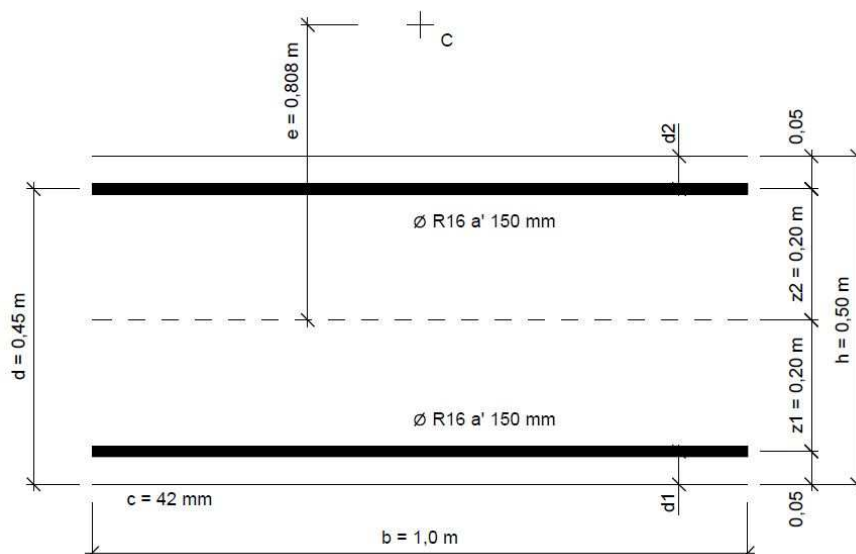
$N_{ed} = -305,3 \text{ kN}$ návrhová hodnota normálové síly včetně vlastní tíhy stojky

$M_{ed} = 246,7 \text{ kNm}$ návrhová hodnota ohybového momentu

Návrh Ø R16 a' 150 mm při obou površích

$$A_{s1} = A_{s2} = 13,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{246,7}{305,3} = 0,808$ mimostředný tlak, velká výstřednost, jsme mezi body 2 a 3 interakčního diagramu



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

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

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

$$\xi_{bal,1} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} + \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 + 0,0022} = 0,614$$

$$\xi_{bal,2} = \frac{\varepsilon_{cu3}}{\varepsilon_{cu3} - \varepsilon_{yd}} = \frac{0,0035}{0,0035 - 0,0022} = 2,692$$

$$\text{Předpoklad } \sigma_{s1} = \sigma_{s2} = f_{yd}$$

$$N_{Rd,bal} = \lambda \cdot \xi_{bal,1} \cdot d \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot f_{yd} - A_{s1} \cdot f_{yd} = 0,8 \cdot 0,614 \cdot 0,45 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 18,0 + 0,0 =$$

$$N_{Rd,bal} = 3979 \text{ kN}$$

$$|N_{Ed}| < N_{Rd,bal} \quad 305,3 \text{ kN} < 3979 \text{ kN} \dots \text{platí, převládá tah}$$

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{0,3053}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 18,0} = 0,021 \text{ m}$$

$$\sigma_{s2} = f_{yd} \quad \rightarrow \quad x > x_{bal,2} = \xi_{bal,2} \cdot d_2 = 2,692 \cdot 0,05 = 0,135 \text{ m}$$

$$0,021 \text{ m} \not\geq 0,135 \text{ m} \dots \text{neplatí, nutná iterace}$$

$$1. \text{ krok} \quad x \text{ nemůže být menší než } d_2, \text{ volím } x = d_2 + 0,01 \text{ m} = 0,06 \text{ m}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3} \cdot (x - d_2)}{x} \cdot E_s = \frac{0,0035 \cdot (0,06 - 0,05)}{0,06} \cdot 200000 = 117 \text{ Mpa}$$

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{0,3053 - 0,00134 \cdot 117 + 0,00134 \cdot 435}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 18,0} = 0,05 \text{ m}$$

$$2. \text{ krok}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{\varepsilon_{cu3} \cdot (x - d_2)}{x} \cdot E_s = \frac{0,0035 \cdot (0,05 - 0,05)}{0,05} \cdot 200000 = 0 \text{ Mpa} \text{ nemá cenu dál iterovat}$$

$$x = \frac{|N_{Ed}| - A_{s2} \cdot \sigma_{s2} + A_{s1} \cdot f_{yd}}{\lambda \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd}} = \frac{0,3053 - 0,00134 \cdot 0 + 0,00134 \cdot 435}{0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 18,0} = 0,06 \text{ m}$$

$$x = 0,055 \text{ m}$$

$$M_{Rd} = \lambda \cdot b \cdot x \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot 0,5 \cdot (h - \lambda x) + A_{s2} \cdot \sigma_{s2} \cdot z_2 + A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z_1 =$$

$$M_{Rd} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,055 \cdot 1,0 \cdot 18,0 \cdot 0,5 \cdot (0,5 - 0,8 \cdot 0,055) + \\ + 0,00134 \cdot 0 \cdot 0,20 + 0,00134 \cdot 435 \cdot 0,20 = 297,2 \text{ kNm}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

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

$$297,2 \text{ kNm} \geq 246,7 \text{ kNm} \dots \text{ platí } (83 \%)$$

Byl proveden kontrolní posudek v programu RTcdesign (viz. příloha statického výpočtu)

$A_{s,nut} = 9,52 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \rightarrow$ navrženy Ø16 jakosti B500B á 150 mm, $A_s = 13,40 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ výztuž je navržena u obou okrajů.

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.

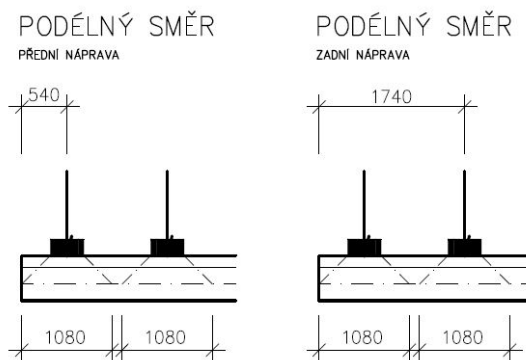
$x/3$... x vzdálenost těžiště zatížení od teoretického uložení
výpočet se liší pro přední a zadní nápravu u TS

Přední náprava

$$x/3 = 0,54/3 = 0,18 \text{ m}$$

Zadní náprava

$$x/3 = 1,74/3 = 0,58 \text{ m}$$



Přední náprava TS

$$1,35 \cdot ((300/(3,38 \cdot 1,08))) = 110,9 \text{ kN/m}^2$$

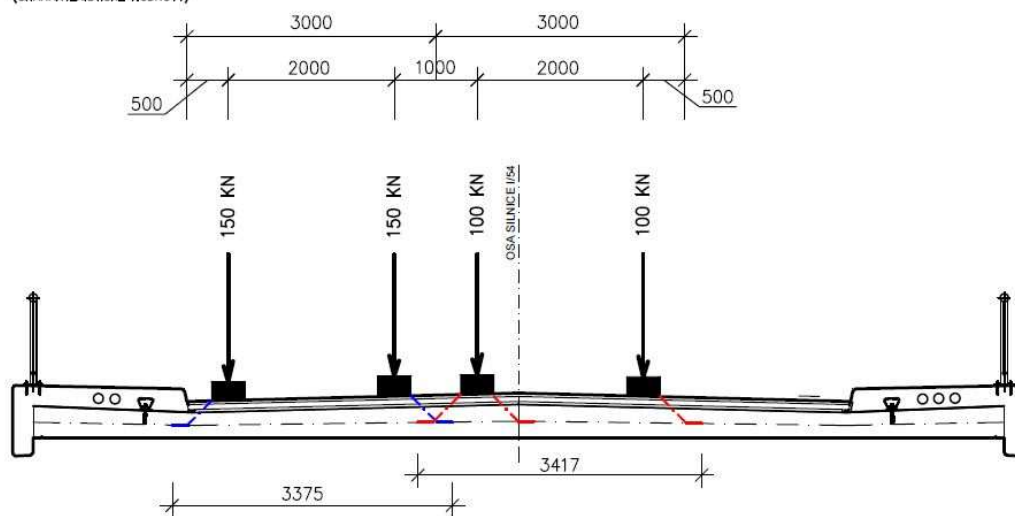
Zadní náprava TS

$$1,35 \cdot ((300/(4,18 \cdot 1,08) + 100/(2,23 \cdot 1,08))) = 145,8 \text{ kN/m}^2$$

UDL

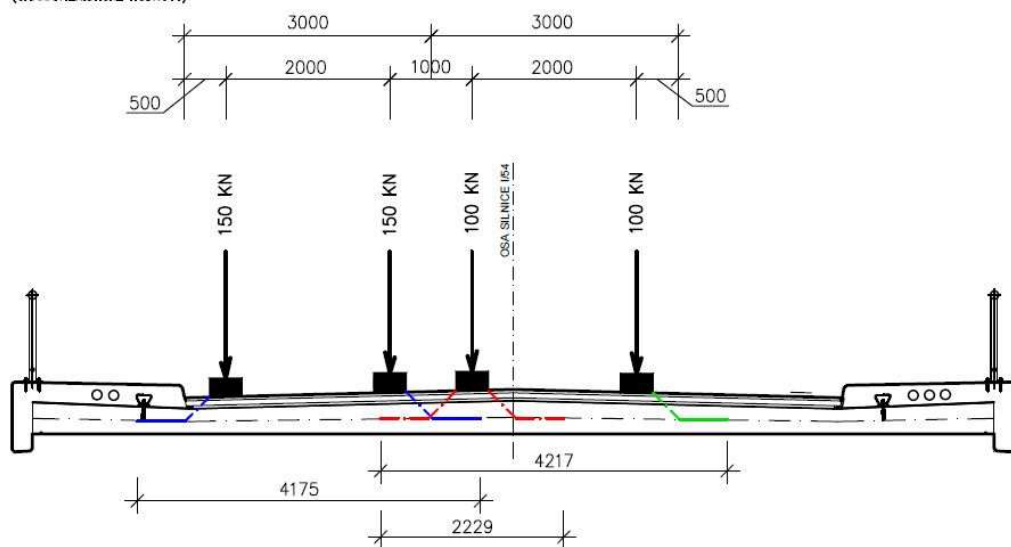
$$1,35 \cdot 2,5 \cdot \alpha = 1,35 \cdot ((2,5 \cdot 2,4 \cdot 3/5,26) + (9,0 \cdot 1,0 \cdot 3/3,39) + (2,5 \cdot 1,2 \cdot 3/3,39)) = 18,95 \text{ kN/m}^2$$

POZICE LM1(TS) – PŘÍČNÝ SMĚR – PŘEDNÍ NÁPRAVA
(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)



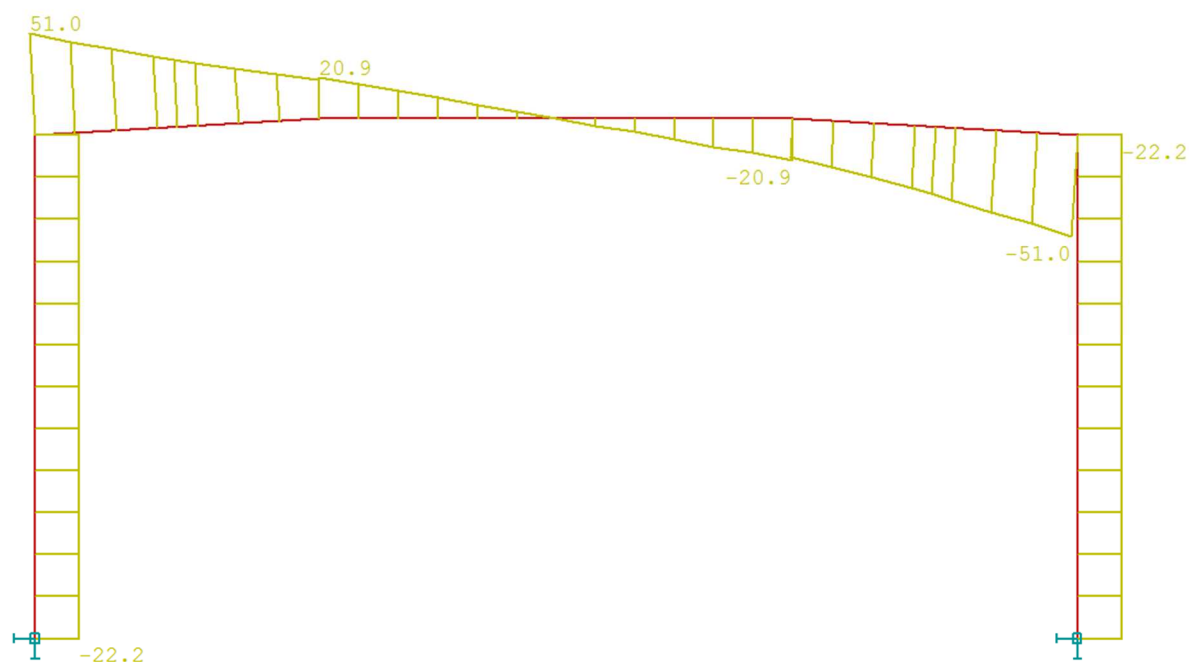
Obr. 23: Soustava zatížení LM1 – TS příčný směr – přední náprava

POZICE LM1(TS) – PŘÍČNÝ SMĚR – ZADNÍ NÁPRAVA
(CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY)

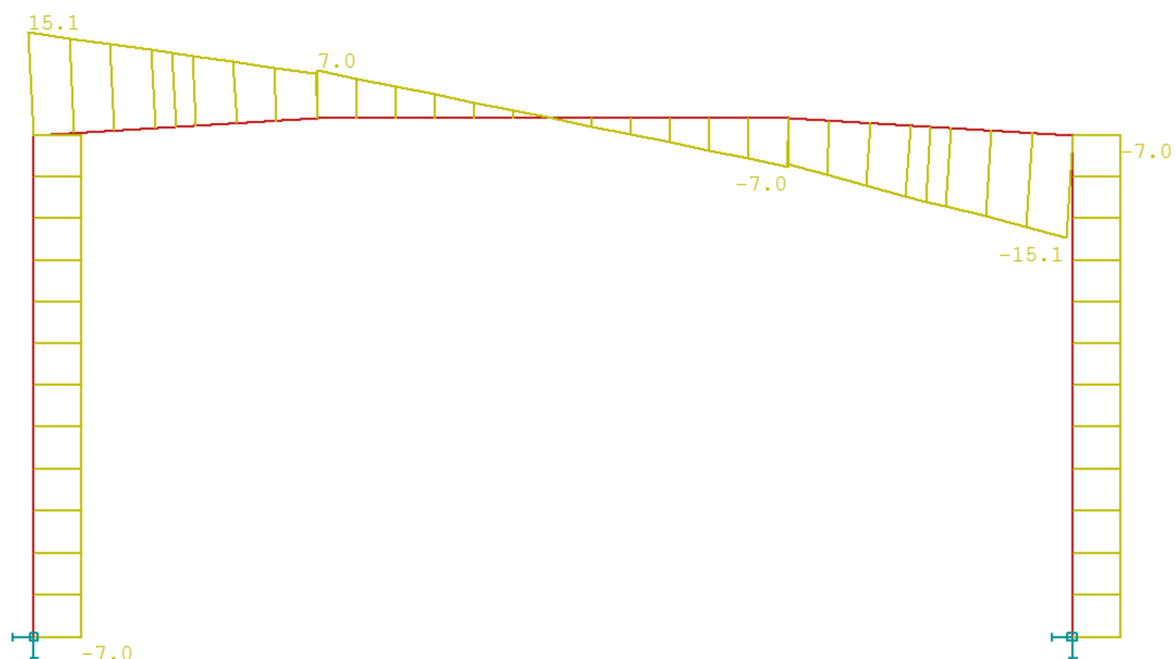


Obr. 24: Soustava zatížení LM1 – TS příčný směr – zadní náprava

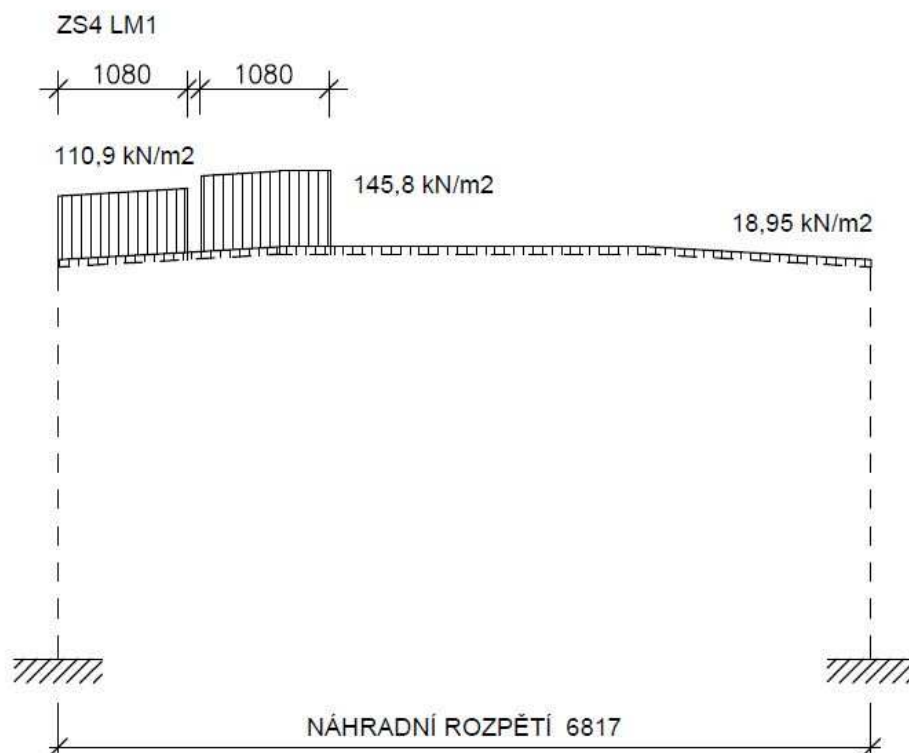
HODNOTY POSOUVAJÍCÍCH SIL



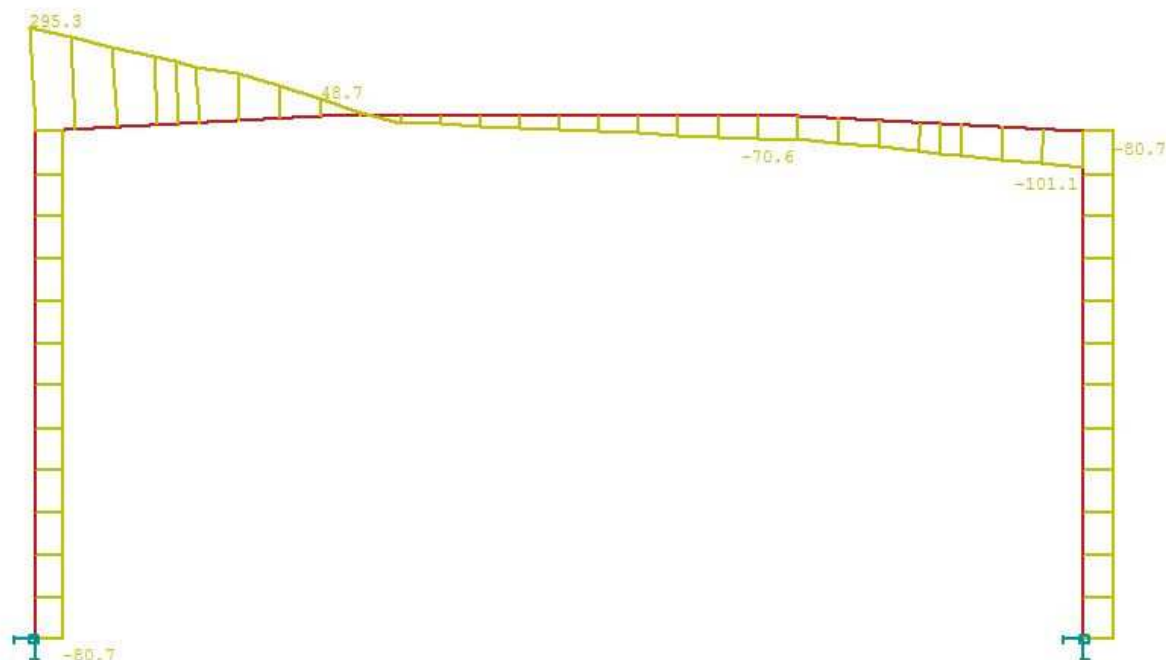
Obr. 25: Posouvající síly ZS1 – vlastní tíha



Obr. 26: Posouvající síly ZS2 – vozovka



Obr. 27: Umístění LM1 pro vyvození maximální posouvající síly



Obr. 28: Posouvající síly ZS3 – LM1

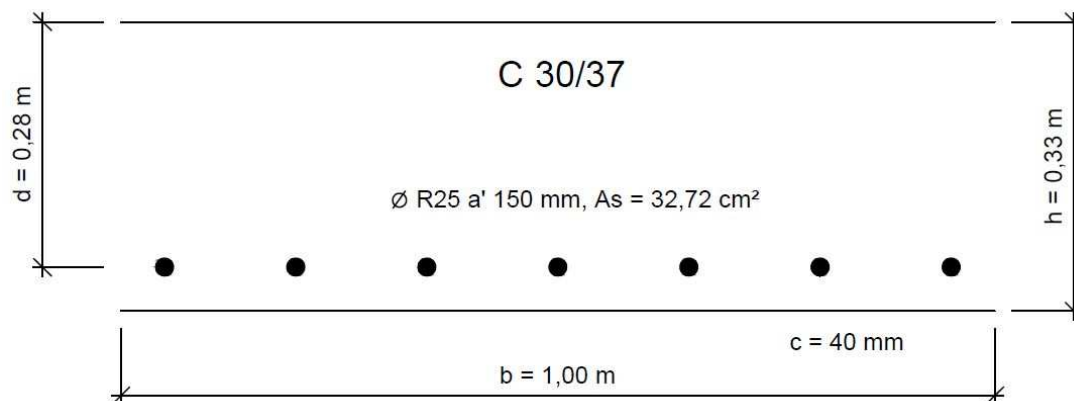
Posouvající síly od teploty a zemního tlaku v klidu jsou nulové, proto nejsou uvažovány v kombinaci. Rozhoduje soustava zatížení LM1, soustava zatížení LM3 není uvažována.

NÁVRHOVÁ POSOUVAJÍCÍ SÍLA PRO DIMENZOVÁNÍ

$$V_{ed} = V_{g0} + V_{g1} + V_{LM1} = 51,0 + 15,1 + 295,3 = 361,4 \text{ kN}$$

1) posouzení bez vlivu smykové výztuže

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



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

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

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

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

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{280}} = 1,85 < 2,00$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{32,72 \cdot 10^{-4}}{1,00 \cdot 0,28} = 0,012 \leq 0,02$$

$$V_{Rd,c} = 0,12 \cdot 1,85 \cdot (100 \cdot 0,012 \cdot 30)^{1/3} \cdot 1,00 \cdot 0,28 = 205,3 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 205,3 \text{ kN} \geq v_{\min} \cdot b_w \cdot d = 0,482 \cdot 1,00 \cdot 0,28 = 134,9 \text{ kN} \dots \text{ platí}$$

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,035 \cdot 1,85^{3/2} \cdot 30^{1/2} = 0,482 \text{ Mpa}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

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

205,3 kN < 361,4 kN ... nevyhoví, nutný návrh smykové výztuže (spon)

2) posouzení smyku se smykovou výztuží

- navrženy spony $\varnothing R10$ a' 150/150 mm \rightarrow to je 49 spon $\varnothing R10 / m^2$ (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: $A_{sw,1} = \pi \cdot 0,005^2 \cdot 7,0 = 5,50 \cdot 10^{-4} m^2$

Kontrola minimálního smykového vyztužení:

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

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s} = \frac{5,50 \cdot 10^{-4}}{1,00 \cdot 0,15} = 0,0037$$

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

$$0,0037 > 0,0009 \dots \text{platí}$$

Posouzení navržených spon:

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,s} \quad V_{Ed} = 361,4 \text{ kN, návrhová posouvající síla}$$

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

$$f_{ywd} = 435 \text{ Mpa} \quad b_w = 1,0 \text{ m} \quad z = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 0,28 = 0,252 \text{ m}$$

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

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

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

$$V_{Rd,s} = 0,0037 \cdot 435 \cdot 0,252 \cdot 1,0 = 0,406 \text{ MN} = 406 \text{ kN}$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

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

$$406,0 \text{ kN} > 361,4 \text{ kNm} \dots \text{vyhoví (89 \%)}$$

Kontrola duktility:

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

$$0,0037 < 0,012 \quad \text{platí}$$

Posouzení tlačené diagonály:

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

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

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

$$V_{Rd,max} = \frac{1,0 \cdot 0,528 \cdot 18,0 \cdot 1000 \cdot 252}{1 + 1} = 1197,5 \text{ kN}$$

PODMÍNKA SPOLEHLIVOSTI

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

$$1197,5 \text{ kN} > 361,4 \text{ kNm} \quad \text{vyhoví}$$

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 1/2 příčle

Navrženo Ø R25 a' 150 mm $A_{ssk} = 32,72 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $x = 0,099 \text{ m}$, $z = 0,240 \text{ m}$, $d = 0,28 \text{ m}$

$$M_{Ek, ch} = \frac{M_{Ed}}{\gamma} = \frac{268,2}{1,35} = 198,7 \text{ kNm}$$

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

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

$$= \frac{32,72 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(32,72 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 32,72 \cdot 10^{-4} \cdot 0,28 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{6,25}}}{\frac{1}{6,25} \cdot 1,0} = 0,0885 \text{ m}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_r^3 + \alpha_e \cdot A_s (d - x_r)^2 = \frac{1}{3} \cdot 1,0 \cdot 0,0885^3 + 6,25 \cdot 32,72 \cdot 10^{-4} (0,28 - 0,0885)^2 =$$

$$I_{cr} = 0,000981 \text{ m}^4$$

Omezení napětí - beton v tlaku:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek, ch}}{I_{cr}} \cdot x_r = \frac{198,7 \cdot 10^3}{0,000981} \cdot 0,0885 = 17,9 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_c| = 17,9 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - výztuž v tahu:

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek, ch} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{198,7 \cdot 10^3 (0,28 - 0,0885)}{0,000981} = 242,4 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 242,4 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

- posouzení příčle ve vetknutí

Navrženo Ø R20 a' 150 mm $A_{ssk} = 20,94 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $x = 0,063 \text{ m}$, $z = 0,525 \text{ m}$, $d = 0,55 \text{ m}$

$$M_{Ek, ch} = \frac{M_{Ed}}{\gamma} = \frac{320,3}{1,35} = 237,3 \text{ kNm}$$

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

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

$$= \frac{20,94 \cdot 10^{-4} \pm \sqrt{(20,94 \cdot 10^{-4})^2 + 2 \cdot 20,94 \cdot 10^{-4} \cdot 0,55 \cdot 1,0 \cdot \frac{1}{6,25}}}{\frac{1}{6,25} \cdot 1,0} = 0,108 \text{ m}$$

$$I_{cr} = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x_r^3 + \alpha_e \cdot A_s (d - x_r)^2 = \frac{1}{3} \cdot 1,0 \cdot 0,108^3 + 6,25 \cdot 20,94 \cdot 10^{-4} (0,55 - 0,108)^2 =$$

$$I_{cr} = 0,00298 \text{ m}^4$$

Omezení napětí - beton v tlaku:

$$\sigma_c = \frac{M_{Ek, ch}}{I_{cr}} \cdot x_r = \frac{237,3 \cdot 10^3}{0,00298} \cdot 0,108 = 8,6 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_c| = 8,6 \text{ MPa} \leq 0,6 \cdot f_{ck} = 0,6 \cdot 30 = 18 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - výztuž v tahu:

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{Ek, ch} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{237,3 \cdot 10^3 (0,55 - 0,108)}{0,00298} = 220,0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_s = 220,0 \text{ MPa} \leq 0,8 \cdot f_{yk} = 0,8 \cdot 500 = 400 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

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 trhlínou.

$$M_{k, kvaz} = \frac{M_{Ed, kvaz}}{\gamma} = \frac{42,2}{1,35} = 31,3 \text{ kNm}$$

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

$$\sigma_s = \alpha_e \cdot \frac{M_{k,kvaz} \cdot (d - x_r)}{I_{cr}} = 6,25 \cdot \frac{31,3 \cdot 10^3 (0,28 - 0,0885)}{0,000981} = 38,2 \text{ MPa}$$

$$\varnothing_s = \varnothing_s^* \cdot \frac{f_{ct,eff}}{2,9} \cdot k_c \cdot \frac{h_{cr}}{2 \cdot (h - d)} = 32 \cdot \frac{2,9}{2,9} \cdot 0,4 \cdot \frac{165}{2 \cdot (330 - 280)} = 21 \text{ mm}$$

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

k_c 0,4

h_{cr} $h/2 = 330/2 = 165 \text{ mm}$

Efektivní výška: $h_{c,ef} = \min \{2,5 \cdot (h - d); (h - x)/3; h/2\}$
 $h_{c,ef} = \min \{2,5 \cdot (330 - 280); (330 - 88,5)/3; 330/2\}$
 $h_{c,ef} = \min \{125; 80,5; 165\} = 80,5 \text{ mm} = 0,0805 \text{ m}$

Efektivní plocha: $A_{c,eff} = h_{c,ef} \cdot b = 0,0805 \cdot 1 = 0,0805 \text{ m}^2$

Efektivní stupeň vyztužení: $\rho_{c,eff} = A_s/A_{c,eff} = 32,72 \cdot 10^{-4}/0,105 = 0,04065$

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

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \frac{\varnothing}{\rho_{c,eff}} = 3,4 \cdot 40,0 + 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,425 \cdot \frac{21}{0,04065} = 224 \text{ mm}$$

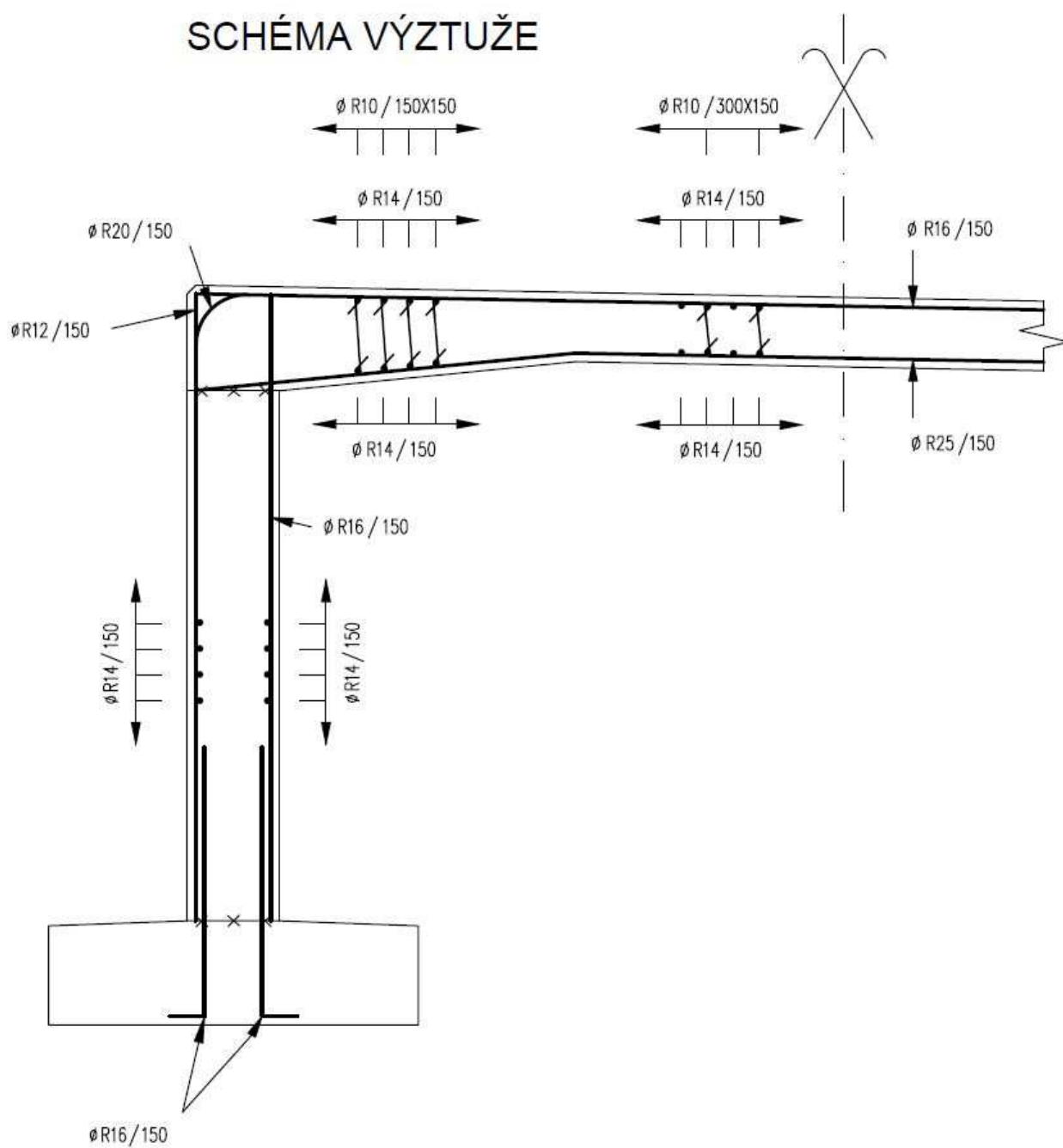
$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{c,eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{c,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = \frac{38,2 - 0,4 \cdot \frac{2,9}{0,04065} (1 + 6,25 \cdot 0,04065)}{200 \cdot 10^3} \geq 0,6 \cdot \frac{38,2}{200 \cdot 10^3}$$

$$(\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,0000121 \geq 0,000115$$

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 224 \cdot 0,000115 = 0,03 \text{ mm} < 0,3 \text{ mm} \text{ vyhovuje}$$

11. SCHÉMA VÝZTUŽE



V Brně, červenec 2016

Vypracovala: Ing. Petra Strouhalová

Strouhalová