



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**K134 – Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

**Silniční most Rouštany**

**Studie alternativ**

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

**Bc. Jan Rech**

---

**Praha 2018**



## Obsah

1.1	Zatížení.....	2
1.1.1	Zatížení stálé .....	2
1.1.2	Zatížení proměnné .....	3
1.2	Zatěžovací stavy .....	4
1.3	Kombinace zatěžovacích stavů .....	4
2	Varianta 1 - Čtyřtrám.....	5
2.1	Popis .....	5
2.2	Průřezové charakteristiky .....	5
2.3	Zatřídění .....	5
2.4	Příčný roznos .....	5
2.5	Zatížení.....	6
2.5.1	Stálé.....	6
2.5.2	Proměnné .....	7
2.6	Zatěžovací stavy .....	7
2.7	Kombinace.....	8
2.8	Průběh vnitřních sil.....	9
2.9	Posouzení MSÚ .....	10
2.9.1	Charakteristiky materiálů: .....	10
2.9.2	Redistribuce momentů .....	10
2.9.3	Krajní pole.....	10
2.9.4	Vnitřní podpora.....	11
2.9.5	Prostřední pole .....	14
2.9.6	Posouzení průhybu .....	15
2.10	Vypočtené parametry .....	15
3	Varianta 2 – Dvoutrám.....	16
3.1	Popis .....	16
3.2	Průřezové charakteristiky .....	16
3.3	Zatřídění .....	16
3.4	Příčný roznos .....	16
3.5	Zatížení.....	17
3.5.1	Stálé.....	17
3.5.2	Proměnné .....	18
3.6	Zatěžovací stavy .....	18
3.7	Kombinace.....	19
3.8	Průběh vnitřních sil.....	20
3.9	Posouzení MSÚ .....	21
3.9.1	Charakteristiky materiálů: .....	21
3.9.2	Redistribuce momentů .....	21
3.9.3	Krajní pole.....	21
3.9.4	Vnitřní podpora.....	22
3.9.5	Prostřední pole .....	23
3.9.6	Posouzení průhybu .....	25
3.10	Vypočtené parametry .....	25
4	Finální varianta .....	26



## Zadání:

V návrhu variant je účelem vybrat nejvhodnější technické řešení mostu přes Rouštanský potok, most je součástí obchvatu stejnojmenné obce na silnici I. třídy číslo 34 východně od města Havlíčkův Brod. Poloha mostu vychází ze situace obchvatu obce; most je ve směrovém oblouku s poloměrem 750 m. V návaznosti na dokumentaci pro územní rozhodnutí (DÚR) konstrukce mostu volena jako třípolový spojitý nosník s rozpětím 39/51/39 m se spřaženou mostovkou – beton – ocel. Jelikož se most nachází na silnici I. třídy jsou použity zatěžovací schémata LM1 a LM3. Pro model zatížení LM3 je použita náprava 1800/200, tedy 9 náprav po 200 kN. Na mostě se nacházejí nouzové chodníky šířky 750 mm – na vnější římsy šířky 1500 mm a vnitřní římsy šířky 1750 mm, na kterých je umístěno svodidlo a zábradlí s PHS; na vnější části směrového oblouku zábradlí a na vnitřní protihluková stěna.

S ohledem na veškeré požadavky byly navrženy tyto dvě varianty konstrukčního řešení:

- 1) Čtyřtrámová konstrukce
- 2) Dvoutrámová konstrukce

V rozboru, který zde následuje je každá varianta zobrazena na přehledných výkresech a také je zde uveden zjednodušený návrh základních konstrukčních prvků včetně statického posouzení. Na závěr je provedeno krátké zhodnocení všech variant, a následně z něho vybrány varianty pro detailní zpracování.

## 1.1 Zatížení

### 1.1.1 Zatížení stálé

Tato zatížení jsou podrobněji rozepsána v jednotlivých variantách, jelikož se u každé liší; je zde uvedena pouze tíha jednotlivých materiálů v  $\text{kN/m}^3$  (popř  $\text{kN/m}^2$  či  $\text{kN/m}$ ).

- a) Zatížení vlastní tíhou - deska, nosníky/komorový nosník, příčníky

	obj.tíha [ $\text{kN/m}^3$ ]
Hlavní nosník	78,5
Ztužidlo	78,5
Deska	25

- b) Ostatní stálé - vozovkové souvrství, římsy, příslušenství

	obj.tíha [ $\text{kN/m}^3$ ]	tl./plocha [ $\text{m}^2$ ]	pl.zat. [ $\text{kN/m}^2$ ]	lin. zat. [ $\text{kN/m}$ ]
Římsy	25	0,5	-	-
Vozovkové sou.	24	0,13 (+0,015)	3,12 (3,48)	-
Svodidlo	-	-	-	1
Protihluková stěna	-	-	-	2,5



## 1.1.2 Zatížení proměnné

### c) Model zatížení LM1 - gr1a

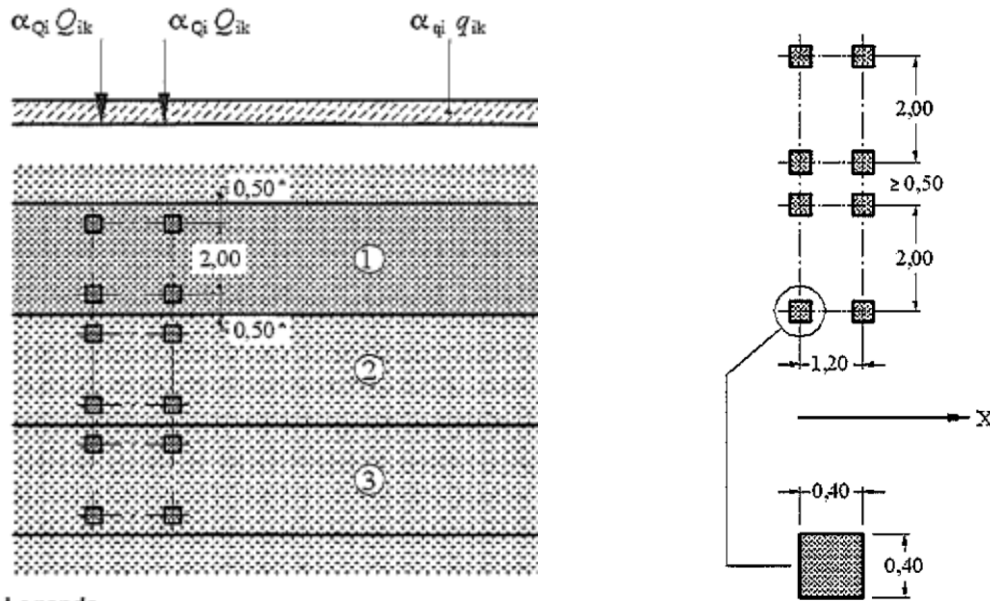
Převáděná komunikace je kategorie S11,5; ta je rozdělena do 3 pruhů po 3 m a zbylého pruhu šířky 2,5 m.

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

Tab. 1 - hodnoty regulačních součinitelů  $\alpha$  pro komunikaci I. třídy pro ČR

Umístění	Dvounáprava (TS)	Rovnoměrné zatížení (UDL)	$\alpha_{Qi} \times Q_{ik}$ [kN]	$\alpha_{qi} \times q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
	Nápravové síly $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ (nebo $q_{ir}$ ) [kN/m <sup>2</sup> ]		
Pruh č. 1	300	9	300	9
Pruh č. 2	200	2,5	200	6
Pruh č. 3	100	2,5	100	3
Zbývající plocha ( $q_{rk}$ )	-	2,5	-	3

Tab. 2 – hodnoty zatížení LM1



#### Legenda

(1) pruh č. 1:  $Q_{1k} = 300$  kN;  $q_{1k} = 9,0$  kN/m<sup>2</sup>

(2) pruh č. 2:  $Q_{2k} = 200$  kN;  $q_{2k} = 2,5$  kN/m<sup>2</sup>

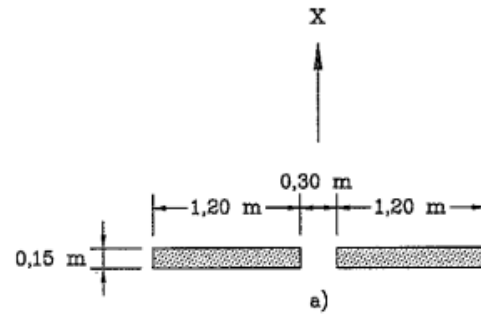
(3) pruh č. 3:  $Q_{3k} = 100$  kN;  $q_{3k} = 2,5$  kN/m<sup>2</sup>

\* pro  $w_l = 3,00$  m



#### d) Model LM3 1800/200 - gr5

Devítinápravové vozidlo o hmotnosti 180 t jede středem vozovky max. rychlostí 70 km/h s odchylkou  $\pm 0,5$  m. Zatížení na jednotlivé nápravy je tedy 200 kN. Na mostě je vyloučena veškerá ostatní doprava. Dynamický součinitel  $d = 1,25$ .



## 1.2 Zatěžovací stavy

- |                  |   |                   |
|------------------|---|-------------------|
| 1) <b>1. ZS</b>  | - vlastní tíha                                  | $\gamma_g = 1,35$ |
| 2) <b>2. ZS</b>  | - ostatní stálé zatížení                        | $\gamma_g = 1,35$ |
| <b>3. ZS</b>     | - ostatní stálé zat. - střední pole             | $\gamma_g = 1,35$ |
| <b>4. ZS</b>     | - ostatní stálé zat. - obě krajní pole          | $\gamma_g = 1,35$ |
| <b>5. a 6 ZS</b> | - ostatní stálé zat. - krajní + prostřední pole | $\gamma_g = 1,35$ |
| 3) <b>7. ZS</b>  | - LM1 - UDL                                     | $\gamma_q = 1,35$ |
| 4) <b>8. ZS</b>  | - LM1 - DS                                      | $\gamma_q = 1,35$ |
| 5) <b>9. ZS</b>  | - LM3   | $\gamma_q = 1,35$ |

Zatěžovací stavy pojezdem automobilů byly vygenerovány pomocí programu SCIA Engineer. Generovány byly po jednom metru.

## 1.3 Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace byly vygenerovány automaticky programem SCIA Engineer, výpis rozhodujících zatížení je uveden u jednotlivých variant.

- 6.10 a)**  $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$   
**6.10 b)**  $\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$   
**char.**  $\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$



## 2 Varianta 1 - Čtyřtrám

Jako první varianta byl zvolena varianta trémového mostu o 4 nosnících. Výkres půdorysu a řezů - přílohy 1 a 2.

### 2.1 Popis

Jedná se o trémový spřažený ocelobetonový most se třemi poli a rozpětím 39+51+39 m; celkovým tedy 129 m. Most se nachází ve směrovém oblouku. Hlavní nosnou konstrukci tvoří 4 plnostěnné svařované nosníky výšky cca 1,85 m (jelikož je konstrukce prováděna letnou montáží nosník je po výšce proměnný – stěna nosníku je vysoká 1,8 m, mění se vlivem tloušťky pásnic), jenž jsou od sebe osově vzdáleny 3,3 m. K ztužení jsou uvažovány plnostěnné svařované nosníky výšky 1 m a tloušťky stěn i pásnic 10 mm. Na ocelovou konstrukci je nabetonována monolitická ŽB deska šířky 14 m s jednostranným sklonem 4 % směrem do vnitřku směrového oblouku a min. tloušťkou 260 mm. Konstrukce je uložena na ŽB pilířích a krajních opěrách. Všechny ocelové prvky jsou z oceli S355. Na desku byl použit beton třídy C30/37 s výztuží B500B.

### 2.2 Průřezové charakteristiky

Průřez nad pilířem vždy zasahuje 12 m od pilíře na obě strany.

a) Betonová deska	b = 14 000 mm		
	t <sub>d</sub> = 280 mm		
b) Hlavní nosník			
▪ Krajní pole	▪ Nad pilířem	▪ Střední pole	
h = 1 870 mm	h = 1 925 mm	h = 1 880 mm	
b <sub>1</sub> = 350 mm	b <sub>1</sub> = 400 mm	b <sub>1</sub> = 350 mm	
t <sub>f1</sub> = 30 mm	t <sub>f1</sub> = 50 mm	t <sub>f1</sub> = 35 mm	
b <sub>2</sub> = 500 mm	b <sub>2</sub> = 650 mm	b <sub>2</sub> = 550 mm	
t <sub>f2</sub> = 40 mm	t <sub>f2</sub> = 75 mm	t <sub>f2</sub> = 45 mm	
h <sub>w</sub> = 1800 mm	h <sub>w</sub> = 1800 mm	h <sub>w</sub> = 1800 mm	
t <sub>w</sub> = 18 mm	t <sub>w</sub> = 25 mm	t <sub>w</sub> = 18 mm	
A <sub>a</sub> = 0,06290 m <sup>2</sup>	A <sub>a</sub> = 0,11375 m <sup>2</sup>	A <sub>a</sub> = 0,07040 m <sup>2</sup>	
I <sub>y</sub> = 0,03320 m <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> = 0,06537 m <sup>4</sup>	I <sub>y</sub> = 0,03737 m <sup>4</sup>	
z <sub>t</sub> = 1069,79 mm	z <sub>t</sub> = 1189,15 mm	z <sub>t</sub> = 1154,86 mm	
Průřez třídy 1	Průřez třídy 3	Průřez třídy 1	

### 2.3 Zatřídění

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Výpočet pro určení zatřídění průřezů je uveden v kapitole MSÚ.

### 2.4 Příčný roznos

Příčný roznos byl vypočten pomocí příčinkové čáry roznosu.

$h_i$	Břemeno nad trémem			
Trám i	1	2	3	4
1	0,7	0,4	0,1	-0,2
2	0,4	0,3	0,2	0,1



Za předpokladu, že počátek souřadného systému je na styku vozovky s římsou, byly vypočteny rovnice těchto přímk.

1. trám: 
$$y = -\frac{x}{11} + \frac{17}{22}$$

2. trám: 
$$y = -\frac{x}{33} + \frac{14}{33}$$

Z pracovního výpočtu vyplynulo, že nejvíce je zatížen krajní tedy 1. trám, pro který je níže uveden výpočet. Tato příčinková čára nabývá nulové hodnoty pro  $x = 8,5$  m; veškeré odlehčující zatížení není započteno, a to i část desky.

	Q (150)	Q (150)	Q (100)	Q (100)	Q (50)	Q (50)	q (9)	q (6)	q (3)
x	0,5	2,5	3,5	5,5	6,5	8,5	1,5	4,5	7,25
y	0,72727	0,54545	0,45455	0,27273	0,18182	0,00000	0,63636	0,36364	0,11364

	Římsa	Protihluk	Svodidlo	Deska	Vozovka	Q (1800)	Q (1800)
x	-0,857	-1,5	-0,25	3,625	4,25	4,5	6
y	0,85064	0,90909	0,79545	0,44318	0,38636	0,36364	0,22727

## 2.5 Zatížení

### 2.5.1 Stálé

Vlastní tíha prvků je uvedena v tabulce.

a) stálé

Redukováno na krajní trám	obj.tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	tl./plocha [m/m <sup>2</sup> ]	pl.zat. [kN/m <sup>2</sup> ]	zat. š. [m]	lin. zat. [kN/m]	red. zat. [kN/m]	délka [m]	zatížení [kN]
Hlavní nosník - k.pole	78,5	0,06290	-	-	4,938	4,938	-	-
Hlavní nosník - podp.	78,5	0,11375	-	-	8,929	8,929	-	-
Hlavní nosník - p.pole	78,5	0,07040	-	-	5,526	5,526	-	-
Ztužidlo	78,5	0,014	-	-	-	-	-	3,8
Deska	25	0,28	7	9,75	68,25	30,247	-	-
						39,177	*	

\* Uvedeno pouze pro nejtežší úsek.

b) ostatní stálé

Redukováno na krajní trám	obj.tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	tl./plocha [m/m <sup>2</sup> ]	pl.zat. [kN/m <sup>2</sup> ]	zat. š. [m]	lin. zat. [kN/m]	red. zat. [kN/m]
Římsy	25	0,5	-	-	12,5	10,633
Vozovkové sou.	24	0,13 (+0,015)	3,48	8,5	29,58	11,429
Svodidlo	78,5	-	-	-	1	0,795
Protihluková stěna	-	-	-	-	2,5	2,273
						25,130



## 2.5.2 Proměnné

Zatížení je nutno pomocí příčinkových čar převést na zatížení na krajní nosník.

- model zatížení LM1 - gr1a

$$Q_{red} = 150 \cdot (0,72 + 0,54) + 100 \cdot (0,45 + 0,27) + 50 \cdot (0,18 + 0) = 272,72 \text{ kN}$$

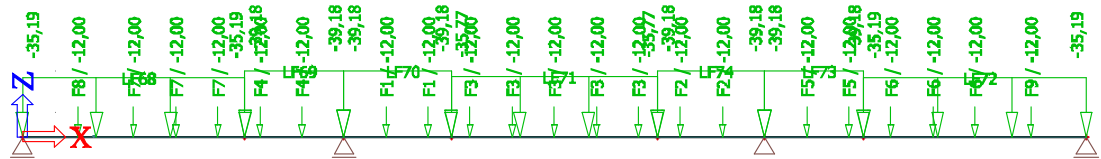
$$q_{red} = 9 \cdot 3 \cdot 0,63 + 6 \cdot 3 \cdot 0,36 + 3 \cdot 2,5 \cdot 0,09 = 24,409 \text{ kN/m}$$

- model zatížení LM3 1800/200 - gr5

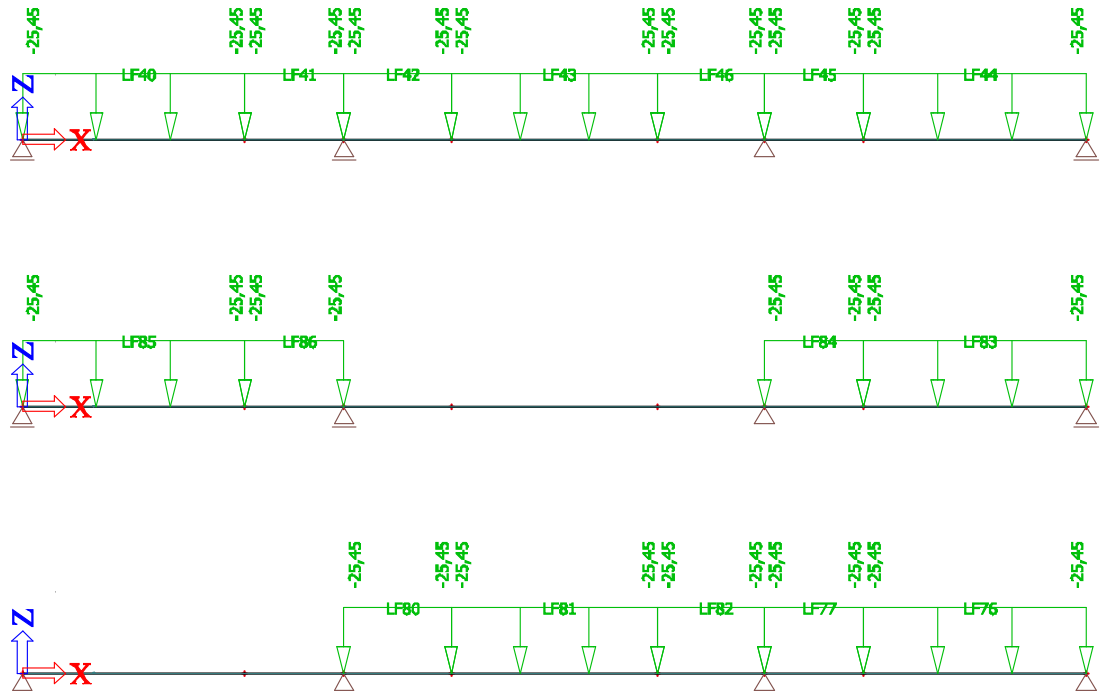
$$Q_{1800,red} = 100 \cdot 1,25 \cdot (0,36 + 0,227) = 73,863 \text{ kN}$$

## 2.6 Zatěžovací stavy

LC1 – vlastní tíha konstrukce



LC2 až LC6 – ostatní stálé zatížení (kombinace zatížení polí)



LC2 - celá konstrukce

LC3 - střední pole

LC4 - krajní pole

LC5 a LC6 - střední pole a jedno krajní

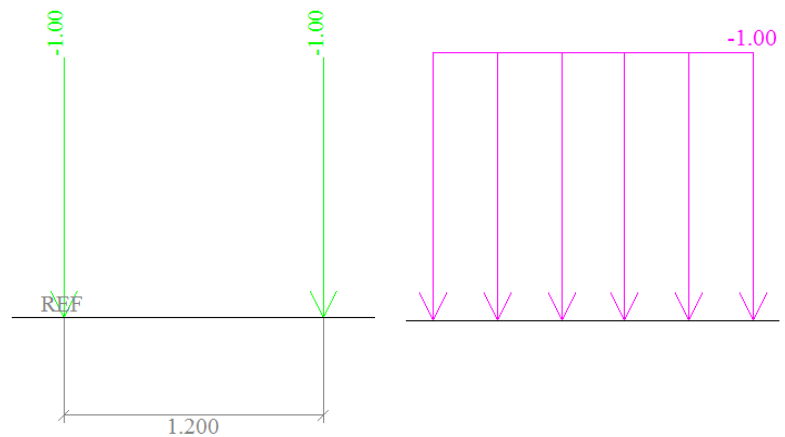




## LC7 - TS a LC8 - UDL (Model LM1) – gr1a

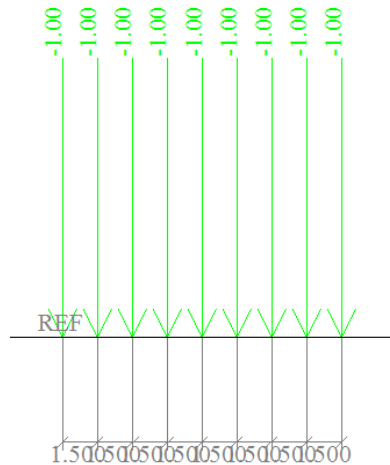
Uvažované zatížení dopravou bylo vneseno do modelu pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr1a dle následujících obrázků:

V příčném směru se vlivem zjednodušení na 2D model jedná pouze o sílu.



## LC9 – Model LM3 1800/200 – gr5

Uvažované zatížení dopravou bylo vneseno pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr5a dle následujících obrázků; v příčném směru se vlivem zjednodušení na 2D model jedná pouze o sílu:



## 2.7 Kombinace

Kombinace byly vygenerovány automaticky, výpis rozhodujících kombinací níže.

**6.10 a)**  $\sum \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**6.10 b)**  $\sum \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**char.**  $\sum G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$

$\gamma_{G,max} = 1,35$

$\gamma_{G,min} = 1,00$

$\gamma_{Q,max} = 1,35$

$\gamma_{Q,min} = 0,00$

$\psi_0 = \psi_1$  (gr1a - TS) = 0,75

$\psi_0 = \psi_1$  (gr1a - UDL) = 0,40

$\psi_2$  (gr1a -UDL i TS) = 0

$\psi_0 = \psi_1 = \psi_2$  (gr5) = 0



$$\xi = 0,85$$

### Moment:

CO60 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC3})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$
CO98 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC4})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 max} + \text{LC8 max})$
CO165 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC6})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$
CO63 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC3})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 max} + \text{LC8 max})$
CO95 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC4})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$
CO130 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC5})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$

### Posouvající síla:

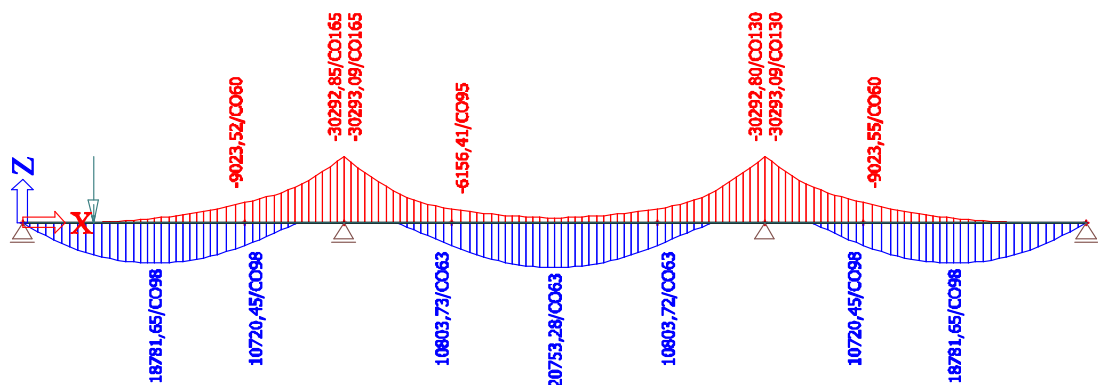
CO284 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC4})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 max} + \text{LC8 max})$
CO345 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC6})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$
CO348 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC6})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 max} + \text{LC8 max})$
CO313 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC5})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$
CO316 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC5})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 max} + \text{LC8 max})$
CO281 - 6.10b)	$0,85 \times 1,35 \times (\text{LC1} + \text{LC4})$	"+"	$1,35 \times (\text{LC7 min} + \text{LC8 min})$

### MSP

CO52 - char.	$1,00 \times (\text{LC1} + \text{LC2})$	"+"	$1,00 \times (\text{LC7} + \text{LC8})$
CO53 - char.	$1,00 \times (\text{LC1} + \text{LC2})$	"+"	$1,00 \times \text{LC9}$

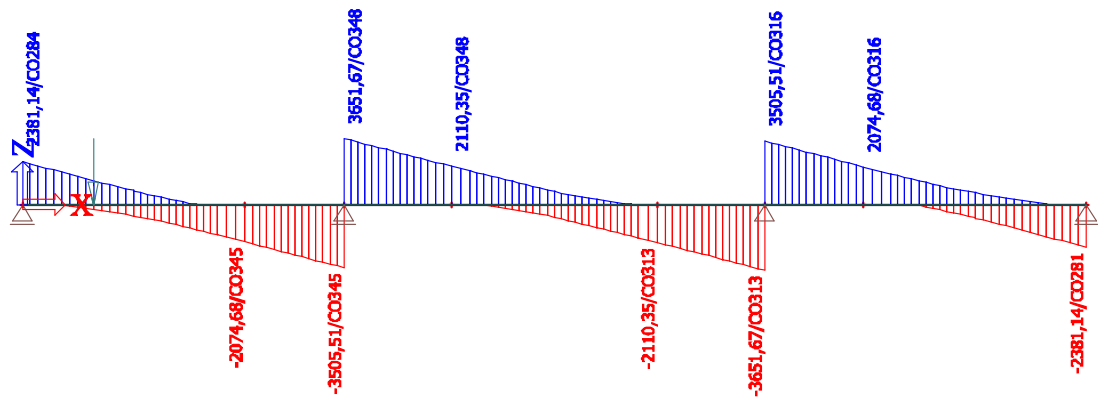
## 2.8 Průběh vnitřních sil

Obálka ohybových momentů před redistribucí





## Obálka posouvajících sil



## 2.9 Posouzení MSÚ

### 2.9.1 Charakteristiky materiálů:

Beton:	C30/37	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$
Výztuž:	B500 B	$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$
Ocel:	S355	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$

### 2.9.2 Redistribuce momentů

Vlivem popraskání betonové desky na nadpodporovém nosníku (třídy 3) dojde k přerozdělení momentů, moment nad podporou se přerozdělí do přilehlých polí. Moment lze ve vnitřních podporách v tomto případě snížit o 10 % a tímto vystihnout redistribuci.

- V krajním poli  $18\,781,65 + \frac{17}{39} \cdot 3\,029,31 = 20\,102,12 \text{ kNm}$
- Nad pilířem  $30\,293,09 \cdot 0,9 = 27\,263,78 \text{ kNm}$
- Ve středním poli  $20\,753,28 + 3\,029,31 = 23\,782,59 \text{ kNm}$

### 2.9.3 Krajní pole

- Rozteč nosníků:  $k = 3,3 \text{ m}$
- Tloušťka desky:  $t_d = 280 \text{ mm}$
- Spolupůsobící šířka:  $l_0 = 0,8 \cdot L_k = 0,8 \cdot 39 = 31,2 \text{ m}$   
 $b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{31,2}{8} = 3,9 \text{ m}$   
 $b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(7,8; 3,3) = 3,3 \text{ m}$

- Posouzení na ohyb:

Předpoklad neutrální osy v horní pásnici.

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_d \cdot f_{cd}}{2 \cdot b_1 \cdot f_{yd}} = \frac{62\,900 \cdot 355 - 0,85 \cdot 3,3 \cdot 0,28 \cdot 20}{2 \cdot 350 \cdot 355} = 26,64 \text{ mm}$$

Předpoklad splněn – stojina je celá tažená → průřez třídy 1.



Zatřídění horní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (350 - 18)/2 = 161 \text{ mm}$$

$$c/t_{f1} = 161/30 = 5,5\bar{3} < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 1.

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= f_{yd} \left[ b_1 \cdot t_{f1} \cdot \left( \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_d}{2} \right) + t_w \cdot h_w \cdot \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_d}{2} \right) + b_2 \cdot t_{f2} \cdot \left( h - \frac{t_{f2}}{2} + \frac{t_d}{2} \right) - \right. \\ &\quad \left. - 2b_1 \cdot x \left( \frac{x}{2} + \frac{t_d}{2} \right) \right] = \\ &= 355 \left[ 350 \cdot 30 \cdot \left( \frac{30}{2} + \frac{280}{2} \right) + 18 \cdot 1800 \left( \frac{1800}{2} + 30 + \frac{280}{2} \right) + 500 \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot 40 \left( 1870 - \frac{40}{2} + \frac{280}{2} \right) - 2 \cdot 350 \cdot 26,646 \left( \frac{26,646}{2} + \frac{280}{2} \right) \right] = 25\,998,675 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{Ed,k}}{M_{Rd,k}} = \frac{20\,102,12}{25\,998,675} = 0,773 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Posouzení na smyk:

$$A_w = t_w \cdot h_w = 18 \cdot 1800 = 32\,400 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{32\,400 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 6\,640,683 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 6\,640,683 = 3\,320,342 \text{ kN} > V_{Ed} = 2\,381,14 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

## 2.9.4 Vnitřní podpora

- Rozteč nosníků:  $k = 3,3 \text{ m}$
- Tloušťka desky:  $t_d = 280 \text{ mm}$
- Spolupůsobící šířka:  $l_0 = 0,25 \cdot (L_v + L_k) = 0,25 \cdot (39 + 51) = 22,5 \text{ m}$   
 $b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{22,5}{8} = 2,813 \text{ m}$   
 $b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(5,625; 3,3) = 3,3 \text{ m}$

- Posouzení na ohyb:

Krytí výztuže:  $c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$

Příčná výztuž:  $\emptyset 20/100$

Hlavní podélná výztuž:  $\emptyset 25/100$   $A_1 = \frac{25^2}{4} \pi = 156,25\pi = 490 \text{ mm}^2$

$$n = \frac{b_{eff}}{s_1} = \frac{3300}{100} = 33 \text{ ks} \quad A_n = n \cdot A_1 = 33 \cdot 490 = 16\,170 \text{ mm}^2$$

$$d = 55 + 20 + \frac{25}{2} = 87,5 \text{ mm}$$

Neutrální osa: (od shora)

$$H = t_d + h = 280 + 1925 = 2205 \text{ mm}$$



$$e_a = \frac{b_2 \cdot t_{f2} \left( H - \frac{t_{f2}}{2} \right) + t_w \cdot h_w \left( H - t_{f2} - \frac{h_w}{2} \right) + b_1 \cdot t_{f1} \left( t_d + \frac{t_{f1}}{2} \right) + A_n [(t_d - d) + d]}{2 \cdot A_n + A_s} =$$

$$= \frac{650 \cdot 75 \left( 2 \cdot 205 - \frac{75}{2} \right) + 25 \cdot 1800 (2205 - 975) + 400 \cdot 50 (305) + 16170 [280]}{2 \cdot 16170 + 113750} =$$

$$= 1174,914 \text{ mm}$$

$$I_a = \frac{1}{12} [b_2 \cdot t_{f2}^3 + t_w \cdot h_w^3 + b_1 \cdot t_{f1}^3] + 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi_1^4}{64} \cdot n + b_2 \cdot t_{f2} \left( H - \frac{t_{f2}}{2} - e_a \right)^2 + t_w \cdot$$

$$\cdot h_w \left( H - t_{f2} - \frac{h_w}{2} - e_a \right)^2 + b_1 \cdot t_{f1} \left( t_d + \frac{t_{f1}}{2} - e_a \right)^2 + A_n (e_a - t_d + d)^2 + A_n (e_a - d)^2 =$$

$$= \frac{1}{12} [650 \cdot 75^3 + 25 \cdot 1800^3 + 400 \cdot 50^3] + 2 \cdot \pi \cdot \frac{25^4}{64} \cdot 33 + 650 \cdot$$

$$\cdot 75 \left( 2 \cdot 205 - \frac{75}{2} - 1174,914 \right)^2 + 25 \cdot 1800 \left( 2 \cdot 205 - 75 - \frac{1800}{2} - 1174,914 \right)^2 + 400 \cdot$$

$$\cdot 50 \left( 280 + \frac{50}{2} - 1174,914 \right)^2 + 16170 (1174,914 - 280 + 87,5)^2 +$$

$$+ 16170 (1174,914 - 87,5)^2 = 1,102 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{y,st} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - d) = \frac{27263,781}{0,110206} (1174,914 - 87,5) = 269,014 \text{ MPa} < f_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,at} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d) = \frac{27263,781}{0,110206} (1174,914 - 280) = 221,391 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,wt} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d - t_{f1}) = \frac{27263,781}{0,110206} (1174,914 - 330) = 209,022 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,wb} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a - t_{f2}) = \frac{27263,781}{0,110206} (2130 - 1174,914) = -236,277 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,ab} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a) = \frac{27263,781}{0,110206} (2205 - 1174,914) = -254,831 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Zatřídění stojiny:

$$\psi = -\frac{\sigma_{y,wb}}{\sigma_{y,wt}} = -\frac{209,022}{236,277} = -0,885$$

$$\frac{c}{t} = \frac{h_w}{t_w} = \frac{1800}{25} = 72 < \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} = \frac{42 \cdot 0,814}{0,67 + 0,33 \cdot -0,885} = 90,386 \rightarrow \text{stojina třídy 3}$$

Zatřídění dolní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (650 - 25)/2 = 312,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_{f2}} = \frac{312}{75} = 4,16 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 3.

▪ Posouzení na smyk:

$$A_w = t_w \cdot h_w = 25 \cdot 1800 = 45000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{45000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 9223,171 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 9223,171 = 4611,586 \text{ kN} < V_{Ed} = 7157,18 \text{ kN} \rightarrow \text{Velký smyk}$$



Nutno posoudit kombinaci smyku a ohybu.



- Kombinace smyku a ohybu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{y,wb}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{236,277^2 + 3 \cdot 132,54^2} = 329,435 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{f_{yd}} = \frac{329,435}{355} = 0,928 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Stabilita tlačené pásnice:

$$I_{f2} = \frac{1}{12} t_{f2} \cdot b_2^3 = \frac{1}{12} 75 \cdot 650^3 = 1,72 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{f2}}{A_{f2}}} = \sqrt{\frac{1,72 \cdot 10^9}{75 \cdot 650}} = 187,639 \text{ mm}$$

$$40i = 40 \cdot 187,639 = 7\,505,554 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh ztužení po } 5,2 \text{ m}$$

$$\frac{5,2}{7,506} = 0,693 \quad \text{Vyhovuje}$$

## 2.9.5 Prostřední pole

- Rozteč nosníků:
- Tloušťka desky:
- Spolupůsobící šířka:

$$k = 3,3 \text{ m}$$

$$t_d = 280 \text{ mm}$$

$$l_0 = 0,7 \cdot L_v = 0,7 \cdot 51 = 35,7 \text{ m}$$

$$b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{35,7}{8} = 4,463 \text{ m}$$

$$b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(8,925; 3,3) = 3,3 \text{ m}$$

- Posouzení na ohyb:

Předpoklad neutrální osy v horní pásnici.

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd} - 0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_d \cdot f_{cd}}{2 \cdot b_1 \cdot f_{yd}} = \frac{70\,400 \cdot 355 - 0,85 \cdot 3,3 \cdot 0,28 \cdot 20}{2 \cdot 350 \cdot 355} = 34,32 \text{ mm}$$

Předpoklad splněn – stojina je celá tažená → průřez třídy 1.

Zatřídění horní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (350 - 18)/2 = 161 \text{ mm}$$

$$c/t_{f1} = 161/30 = 5,5\bar{3} < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 1.

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= f_{yd} \left[ b_1 \cdot t_{f1} \cdot \left( \frac{t_{f1}}{2} + \frac{t_d}{2} \right) + t_w \cdot h_w \cdot \left( \frac{h_w}{2} + t_{f1} + \frac{t_d}{2} \right) + b_2 \cdot t_{f2} \cdot \left( h - \frac{t_{f2}}{2} + \frac{t_d}{2} \right) - \right. \\ &\quad \left. - 2b_1 \cdot x \left( \frac{x}{2} + \frac{t_d}{2} \right) \right] = \\ &= 355 \left[ 350 \cdot 35 \cdot \left( \frac{35}{2} + \frac{280}{2} \right) + 18 \cdot 1800 \left( \frac{1800}{2} + 35 + \frac{280}{2} \right) + 550 \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot 45 \left( 1880 - \frac{45}{2} + \frac{280}{2} \right) - 2 \cdot 350 \cdot 34,32 \left( \frac{34,32}{2} + \frac{280}{2} \right) \right] = 29\,259,770 \text{ kNm} \end{aligned}$$



$$\frac{M_{Ed,k}}{M_{Rd,k}} = \frac{23\,782,589}{29\,259,770} = 0,813 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Posouzení na smyk:

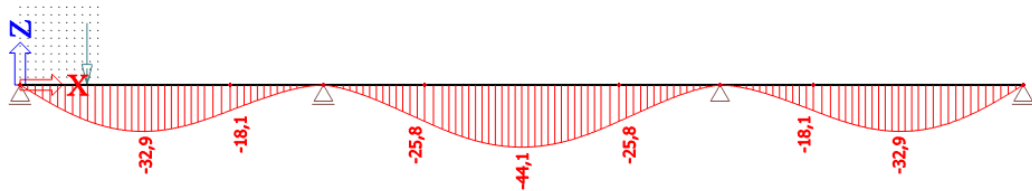
$$A_w = t_w \cdot h_w = 18 \cdot 1800 = 32\,400 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{32\,400 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 6\,640,683 \text{ kN}$$

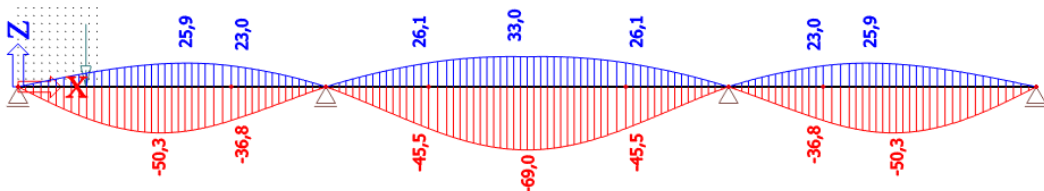
$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 6\,640,683 = 3\,320,342 \text{ kN} > V_{Ed} = 2\,381,14 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

## 2.9.6 Posouzení průhybu

Svislý průhyb spřaženého nosníku od stálého zatížení



Svislý průhyb spřaženého nosníku od dopravy



Pro průhyb od vlastní tíhy není předepsán limit, pouze pro průhyb od dopravy  $L/300$ , který bezpečně splňuje.

*Navržené profily vyhoví.*

## 2.10 Vypočtené parametry

- Hmotnost oceli nosníku 84,446 t
- Počet nosníků 4

Celková hmotnost oceli hlavních nosníků je 337,782 t a betonu 1264,2 t.





## 3 Varianta 2 – Dvoutrám

### 3.1 Popis

Jedná se o trémový spřažený ocelobetonový most se třemi poli a rozpětím 39+51+39 m; celkovým tedy 129 m. Most se nachází ve směrovém oblouku. Hlavní nosnou konstrukci tvoří 2 plnostěnné svařované nosníky výšky 2 m v poli a 2,4 m nad pilířem, jenž jsou od sebe osově vzdáleny 7 m. K ztužení jsou uvažovány plnostěnné svařované nosníky výšky 1,2 m a tloušťky stěn i pásnic 20 mm. Na ocelovou konstrukci je nabetonována monolitická ŽB deska šířky 14 m s jednostranným sklonem 4 % směrem do vnitřku směrového oblouku a min. tloušťkou 320 mm. Konstrukce je uložena na ŽB pilířích a krajních opěrách. Všechny ocelové prvky jsou z oceli S355. Na desku byl použit beton třídy C30/37 s výztuží B500B.

### 3.2 Průřezové charakteristiky

- c) Betonová deska  $b = 14\,000\text{ mm}$   
 $t_d = 320\text{ mm}$

d) Hlavní nosník

Krajní pole	Nad pilířem	Střední pole
$h = 2075\text{ mm}$	$h = 2450\text{ mm}$	$h = 2090\text{ mm}$
$b_1 = 400\text{ mm}$	$b_1 = 500\text{ mm}$	$b_1 = 400\text{ mm}$
$t_{f1} = 35\text{ mm}$	$t_{f1} = 70\text{ mm}$	$t_{f1} = 40\text{ mm}$
$b_2 = 550\text{ mm}$	$b_2 = 750\text{ mm}$	$b_2 = 550\text{ mm}$
$t_{f2} = 40\text{ mm}$	$t_{f2} = 80\text{ mm}$	$t_{f2} = 50\text{ mm}$
$h_w = 2000\text{ mm}$	$h_w = 2300\text{ mm}$	$h_w = 2000\text{ mm}$
$t_w = 20\text{ mm}$	$t_w = 35\text{ mm}$	$t_w = 20\text{ mm}$
$A_a = 0,07600\text{ m}^2$	$A_a = 0,17550\text{ m}^2$	$A_a = 0,08350\text{ m}^2$
$I_y = 0,04981\text{ m}^4$	$I_y = 0,16441\text{ m}^4$	$I_y = 0,05714\text{ m}^4$
$z_t = 1142,61\text{ mm}$	$z_t = 1390,51\text{ mm}$	$z_t = 1182,13\text{ mm}$
Průřez třídy 1	Průřez třídy 3	Průřez třídy 1

### 3.3 Zatřídění

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Výpočet pro určení zatřídění průřezů je uveden v kapitole MSÚ.

### 3.4 Příčný roznos

Příčný roznos byl vypočten pomocí příčinkové čáry roznosu.

$h_i$	Břemeno nad trémem	
Trám i	1	2
1	1	0

Za předpokladu, že počátek souřadného systému je na styku vozovky s římsou, byla vypočtena rovnice této přímky.

$$y = -\frac{x}{7} + \frac{37}{28}$$

Tato příčinková čára nabývá nulové hodnoty pro  $x = 9,25\text{ m}$ ; veškeré odlehčující zatížení není započteno, a to i část desky.



	Q (150)	Q (150)	Q (100)	Q (100)	Q (50)	Q (50)	q (9)	q (6)	q (3)
x	0,5	2,5	3,5	5,5	6,5	8,5	1,5	4,5	7,25
y	1,250	0,964	0,821	0,536	0,393	0,107	1,107	0,679	0,286

	Římsa	Protihluk	Svodidlo	Deska	Vozovka	Q (1800)	Q (1800)
x	-0,857	-1,5	-0,25	4	4,25	4,5	6
y	1,444	1,536	1,357	0,750	0,714	0,679	0,464

## 3.5 Zatížení

### 3.5.1 Stálé

Vlastní tíha prvků je uvedena v tabulce.

#### c) stálé

Redukováno na krajní trám	obj.tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	tl./plocha [m/m <sup>2</sup> ]	pl.zat. [kN/m <sup>2</sup> ]	zat. š. [m]	lin. zat. [kN/m]	red. zat. [kN/m]	délka [m]	zatížení [kN]
Hlavní nosník - k.pole	78,5	0,08400	-	-	6,594	6,594	-	-
Hlavní nosník - podp.	78,5	0,17900	-	-	14,052	14,052	-	-
Hlavní nosník - p.pole	78,5	0,09150	-	-	7,183	7,183	-	-
Ztužidlo	78,5	0,076	-	-	-	-	-	4,37
Deska	25	0,32	8	10,5	84	63,000	-	-
						77,052	*	

\* Uvedeno pouze pro nejtežší úsek.

#### d) ostatní stálé

Redukováno na krajní trám	obj.tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	tl./plocha [m/m <sup>2</sup> ]	pl.zat. [kN/m <sup>2</sup> ]	zat. š. [m]	lin. zat. [kN/m]	red. zat. [kN/m]
Římsy	25	0,5	-	-	12,5	10,633
Vozovkové sou.	24	0,13 (+0,015)	3,48	8,5	29,58	11,429
Svodidlo	78,5	-	-	-	1	0,795
Protihluková stěna	-	-	-	-	2,5	2,273
						25,130

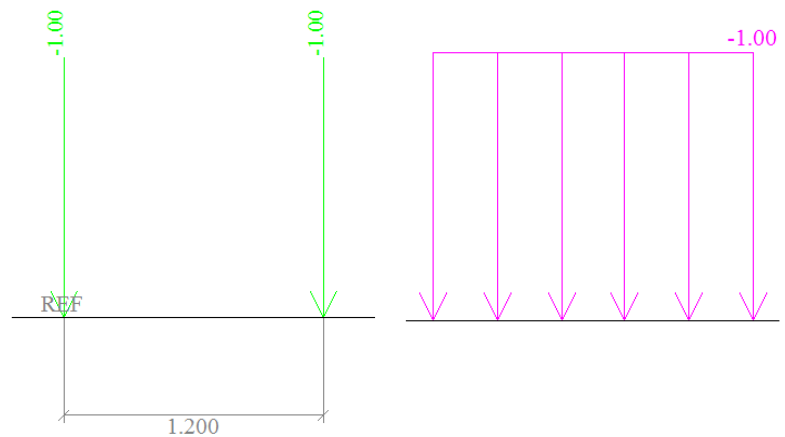




### LC7 - TS a LC8 - UDL (Model LM1) – gr1a

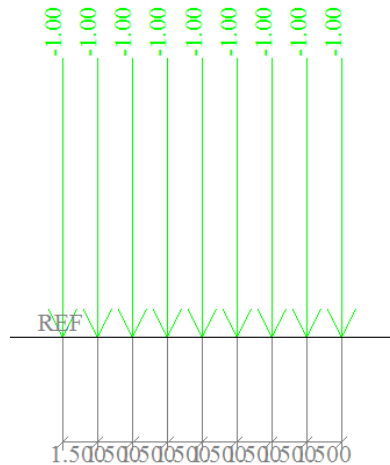
Uvažované zatížení dopravou bylo vneseno do modelu pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr1a dle následujících obrázků:

V příčném směru se vlivem zjednodušení na 2D model jedná pouze o sílu.



### LC9 – Model LM3 1800/200 – gr5

Uvažované zatížení dopravou bylo vneseno pomocí pohyblivého zatížení v sestavě gr5a dle následujících obrázků; v příčném směru se vlivem zjednodušení na 2D model jedná pouze o sílu:



## 3.7 Kombinace

Kombinace byly vygenerovány automaticky, výpis rozhodujících kombinací níže.

**6.10 a)**  $\Sigma \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**6.10 b)**  $\Sigma \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_{Q,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \Sigma \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$

**char.**  $\Sigma G_{k,j} \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$

$\gamma_{G,max} = 1,35$

$\gamma_{G,min} = 1,00$

$\gamma_{Q,max} = 1,35$

$\gamma_{Q,min} = 0,00$

$\psi_0 = \psi_1 \text{ (gr1a - TS)} = 0,75$

$\psi_0 = \psi_1 \text{ (gr1a - UDL)} = 0,40$

$\psi_2 \text{ (gr1a -UDL i TS)} = 0$

$\psi_0 = \psi_1 = \psi_2 \text{ (gr5)} = 0\xi = 0,85$



### Moment:

- CO60 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC3) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$
- CO98 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC4) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ max} + LC8 \text{ max})$
- CO165 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC6) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$
- CO63 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC3) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ max} + LC8 \text{ max})$
- CO95 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC4) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$
- CO130 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC5) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$

### Posouvající síla:

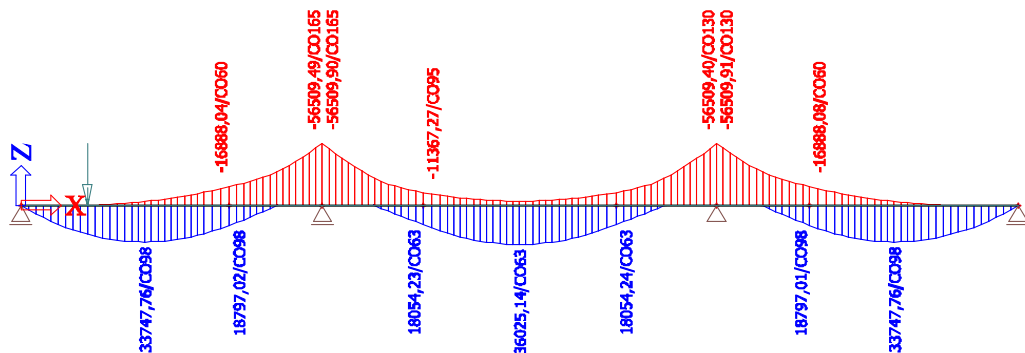
- CO284 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC4) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ max} + LC8 \text{ max})$
- CO345 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC6) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$
- CO348 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC6) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ max} + LC8 \text{ max})$
- CO313 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC5) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$
- CO316 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC5) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ max} + LC8 \text{ max})$
- CO281 - 6.10b)  $0,85 \times 1,35 \times (LC1 + LC4) "+" 1,35 \times (LC7 \text{ min} + LC8 \text{ min})$

### MSP

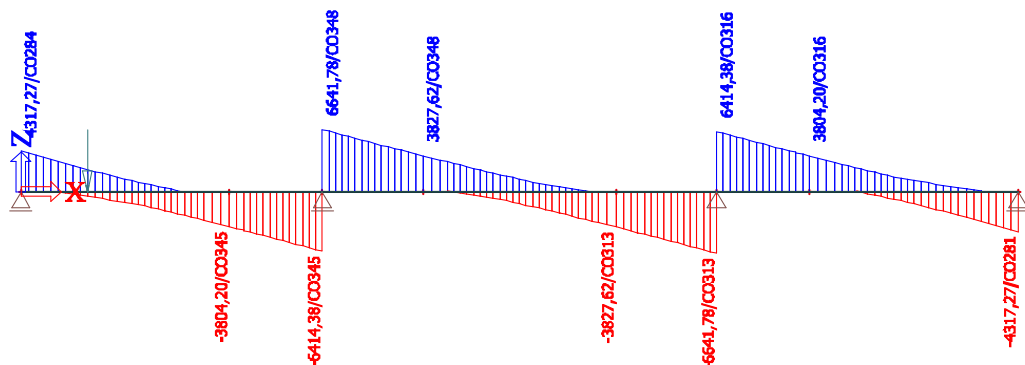
- CO52 - char.  $1,00 \times (LC1 + LC2) "+" 1,00 \times (LC7 + LC8)$
- CO53 - char.  $1,00 \times (LC1 + LC2) "+" 1,00 \times LC9$

## 3.8 Průběh vnitřních sil

Obálka ohybových momentů před redistribucí



Obálka posouvajících sil





## 3.9 Posouzení MSÚ

### 3.9.1 Charakteristiky materiálů:

Beton:	C30/37	$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$
Výztuž:	B500 B	$f_{sd} = \frac{f_{sk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$
Ocel:	S355	$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$

### 3.9.2 Redistribuce momentů

Vlivem popraskání betonové desky na nadpodporovém nosníku (třídy 3) dojde k přerozdělení momentů, moment nad podporou se přerozdělí do přilehlých polí. Moment lze ve vnitřních podporách v tomto případě snížit o 10 % a tímto vystihnout redistribuci.

- V krajním poli  $33\,747,76 + \frac{17}{39} \cdot 5\,650,99 = 36\,008,16 \text{ kNm}$
- Nad pilířem  $56\,509,90 \cdot 0,9 = 50\,858,91 \text{ kNm}$
- Ve středním poli  $36\,025,14 + 5\,650,99 = 41\,676,13 \text{ kNm}$

### 3.9.3 Krajní pole

- Rozteč nosníků:  $k = 7 \text{ m}$
- Tloušťka desky:  $t_d = 320 \text{ mm}$
- Spolupůsobící šířka:  $l_0 = 0,8 \cdot L_k = 0,8 \cdot 39 = 31,2 \text{ m}$   
 $b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{31,2}{8} = 3,9 \text{ m}$   
 $b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(7,8; 7) = 7,0 \text{ m}$
- Posouzení na ohyb:

Předpoklad neutrální osy v desce.

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_d \cdot f_{cd}} = \frac{76\,000 \cdot 355}{0,85 \cdot 7 \cdot 0,32 \cdot 20} = 226,7 \text{ mm}$$

Předpoklad splněn – stojina je celá tažená → průřez třídy 1.

Zatřídění horní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (400 - 20)/2 = 190 \text{ mm}$$

$$c/t_{f1} = 190/35 = 5,43 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 1.

$$z = \frac{t_d}{2} + z_t = \frac{320}{2} + 1142,83 = 1\,302,8 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 0,076 \cdot 355 \cdot 1\,302,8 = 37\,150,325 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed,k}}{M_{Rd,k}} = \frac{36\,008,16}{37\,150,325} = 0,97 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$



- Posouzení na smyk:

$$A_w = t_w \cdot h_w = 20 \cdot 2000 = 40\,000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{40\,000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 8\,198,374 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 8\,198,374 = 4\,099,19 \text{ kN} > V_{Ed} = 4\,317,27 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

### 3.9.4 Vnitřní podpora

- Rozteč nosníků:  $k = 7 \text{ m}$
- Tloušťka desky:  $t_d = 320 \text{ mm}$
- Spolupůsobící šířka:  $l_0 = 0,25 \cdot (L_v + L_k) = 0,25 \cdot (39 + 51) = 22,5 \text{ m}$   
 $b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{22,5}{8} = 2,813 \text{ m}$   
 $b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(5,625; 7) = 5,625 \text{ m}$

- Posouzení na ohyb:

$$\text{Krytí výztuže: } c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

$$\text{Příčná výztuž: } \emptyset 20/100$$

$$\text{Hlavní podélná výztuž: } \emptyset 28/120 \quad A_1 = \frac{28^2}{4} \pi = 156,25\pi = 615 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{b_{eff}}{s_1} = \frac{3300}{100} = 46 \text{ ks} \quad A_n = n \cdot A_1 = 46 \cdot 615 = 28\,290 \text{ mm}^2$$

$$d = 55 + 20 + \frac{28}{2} = 87,5 \text{ mm}$$

Neutrální osa: (od shora)

$$H = t_d + h = 320 + 2450 = 2770 \text{ mm}$$

$$e_a = \frac{b_2 \cdot t_{f2} \left( H - \frac{t_{f2}}{2} \right) + t_w \cdot h_w \left( H - t_{f2} - \frac{h_w}{2} \right) + b_1 \cdot t_{f1} \left( t_d + \frac{t_{f1}}{2} \right) + A_n [(t_d - d) + d]}{2 \cdot A_n + A_s} =$$

$$= \frac{750 \cdot 80 \left( 2770 - \frac{75}{2} \right) + 35 \cdot 2300 \left( 2770 - 975 \right) + 500 \cdot 70 \left( 355 \right) + 28\,290 [320]}{2 \cdot 28\,290 + 175\,500} =$$

$$= 1\,332,5 \text{ mm}$$

$$I_a = \frac{1}{12} [b_2 \cdot t_{f2}^3 + t_w \cdot h_w^3 + b_1 \cdot t_{f1}^3] + 2 \cdot \pi \cdot \frac{\emptyset_1^4}{64} \cdot n + b_2 \cdot t_{f2} \left( H - \frac{t_{f2}}{2} - e_a \right)^2 + t_w \cdot$$

$$\cdot h_w \left( H - t_{f2} - \frac{h_w}{2} - e_a \right)^2 + b_1 \cdot t_{f1} \left( t_d + \frac{t_{f1}}{2} - e_a \right)^2 + A_n (e_a - t_d + d)^2 + A_n (e_a - d)^2 =$$

$$= 2,68 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{y,st} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - d) = \frac{50\,858,91}{2,68} (1\,332,5 - 87,5) = 236,25 \text{ MPa} < f_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,at} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d) = \frac{50\,858,91}{2,68} (1\,332,5 - 320) = 192,36 \text{ MPa} < f_{yd} = 335 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,wt} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d - t_{f1}) = \frac{50\,858,91}{2,68} (1\,332,5 - 390) = 179,07 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$



$$\sigma_{y,wb} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a - t_{f2}) = \frac{50\,858,91}{2,68} (2770 - 1402,5) = -257,91 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,ab} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a) = \frac{50\,858,91}{2,68} (2\,205 - 1\,332,5) = -273,11 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Zatřídění stojiny:

$$\psi = -\frac{\sigma_{y,wb}}{\sigma_{y,wt}} = -\frac{257,91}{179,07} = -0,694$$

$$\frac{c}{t} = \frac{h_w}{t_w} = \frac{1800}{25} = 72 < \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} = \frac{42 \cdot 0,814}{0,67 + 0,33 \cdot -0,694} = 77,5 \rightarrow \text{stojina třídy 3}$$

Zatřídění dolní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (650 - 25)/2 = 312,5 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_{f2}} = \frac{312}{75} = 4,16 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 3.

- Posouzení na smyk:

$$A_w = t_w \cdot h_w = 35 \cdot 2300 = 80\,500 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{80\,500 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 16\,499,22 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 16\,499,22 = 8\,249,614 \text{ kN} < V_{Ed} = 7\,157,18 \text{ kN} \rightarrow \text{Velký smyk}$$

Nutno posoudit kombinaci smyku a ohybu.

- Kombinace smyku a ohybu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{y,wb}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{257,912^2 + 3 \cdot 135,15^2} = 348,311 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma}{f_{yd}} = \frac{348,311}{355} = 0,98 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Stabilita tlačené pásnice:

$$I_{f2} = \frac{1}{12} t_{f2} \cdot b_2^3 = \frac{1}{12} 75 \cdot 650^3 = 1,72 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{f2}}{A_{f2}}} = \sqrt{\frac{1,72 \cdot 10^9}{75 \cdot 650}} = 187,639 \text{ mm}$$

$$40i = 40 \cdot 187,639 = 7\,505,554 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh ztužení po 5,2 m}$$

$$\frac{5,2}{7,506} = 0,693 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 3.9.5 Prostřední pole

- Rozteč nosníků:

$$k = 7 \text{ m}$$

- Tloušťka desky:

$$t_d = 320 \text{ mm}$$

- Spolupůsobící šířka:

$$l_0 = 0,8 \cdot L_k = 0,8 \cdot 51 = 31,2 \text{ m}$$

$$b_0 = \frac{l_0}{8} = \frac{31,2}{8} = 3,9 \text{ m}$$





$$b_{eff} = \min(2b_0; k) = \min(7,8; 7) = 7,0 \text{ m}$$

- Posouzení na ohyb:

Předpoklad neutrální osy v desce.

$$x = \frac{A_a \cdot f_{yd}}{0,85 \cdot b_{eff} \cdot t_d \cdot f_{cd}} = \frac{83\,500 \cdot 355}{0,85 \cdot 7 \cdot 0,32 \cdot 20} = 249,1 \text{ mm}$$

Předpoklad splněn – stojina je celá tažená → průřez třídy 1.

Zatřídění horní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (400 - 20)/2 = 190 \text{ mm}$$

$$c/t_{f1} = 190/35 = 5,43 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 1.

$$z = \frac{t_d}{2} + z_t = \frac{320}{2} + 1182,13 = 1342,13 \text{ mm}$$

$$M_{pl,Rd} = A_a \cdot f_{yd} \cdot z = 0,0835 \cdot 355 \cdot 1342,13 = 39\,783,96 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed,k}}{M_{Rd,k}} = \frac{36\,008,16}{39\,783,96} = 0,91 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

Posouzení na smyk:

$$A_w = t_w \cdot h_w = 20 \cdot 2000 = 40\,000 \text{ mm}^2$$

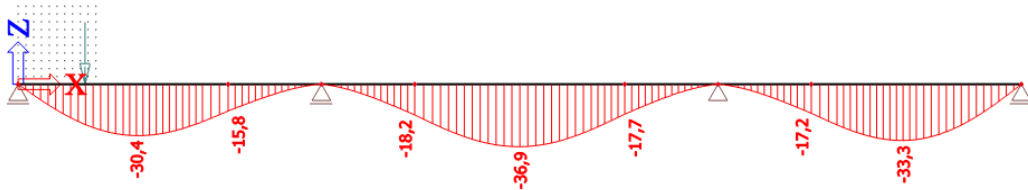
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{40\,000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 8198,374 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 8\,198,374 = 4\,099,19 \text{ kN} > V_{Ed} = 4\,317,27 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

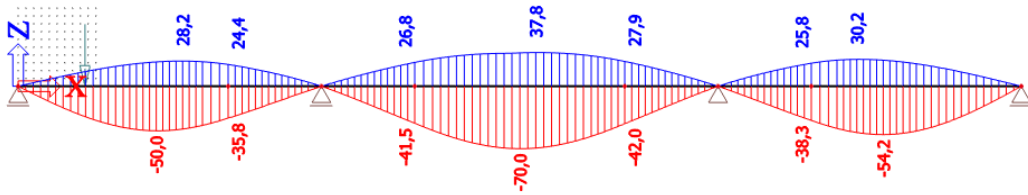


### 3.9.6 Posouzení průhybu

Svislý průhyb spřaženého nosníku od stálého zatížení



Svislý průhyb spřaženého nosníku od dopravy



Pro průhyb od vlastní tíhy není předepsán limit, pouze pro průhyb od dopravy  $L/300$ , který bezpečně splňuje.

*Navržené profily vyhoví.*

### 3.10 Vypočtené parametry

- Hmotnost oceli nosníku 116,042
- Počet nosníků 2

Celková hmotnost oceli hlavních nosníků je 232,085 t a betonu 1444,8 t.



## **4 Finální varianta**

---

S ohledem na stejně uvažovanou výstavbu, a né přílišný rozdíl v konstrukci, i s ohledem na hmotnost konstrukce, byla po dohodě s vedoucím práce vybrána varianta dvoutrámové konstrukce. Ta bude podrobně rozpracována v dalších přílohách projektové dokumentace.