



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta stavební**

**K134 – Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**

## **Silniční most Rouštany**

### **Statický výpočet**

Diplomová práce

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

Vedoucí práce: Doc. Dr. Ing. Jakub Dolejš

**Jan Rech**

---

**Praha 2018**



## Obsah

1	Charakteristika mostu.....	3
1.1	Stručný popis konstrukce .....	3
2	Průřezové charakteristiky.....	3
2.1	Železobetonová deska .....	3
2.2	Hlavní nosník.....	3
2.2.1	Krajní pole.....	5
2.2.2	Střední pole .....	6
2.2.3	Nad pilířem .....	7
3	Materiály.....	7
3.1	Konstrukční ocel.....	7
3.2	Beton .....	7
3.3	Betonářská výztuž.....	7
4	Zatížení.....	7
4.1	Zatížení stálé .....	7
4.1.1	Zatížení vlastní tíhou .....	7
4.1.2	Ostatní stálé.....	7
4.2	Zatížení proměnné .....	8
4.2.1	Model zatížení LM1 - gr1a.....	8
4.2.2	Model LM3 1800/200 - gr5 .....	9
4.2.3	Model zatížení na únavu LM3 .....	9
4.2.4	Zatížení větrem .....	10
4.2.5	Zatížení teplotou .....	11
4.2.6	Smršťování.....	12
5	Kombinace zatížení .....	13
5.1	Součinitele zatížení .....	13
5.2	Mezní stav únosnosti .....	13
5.2.1	6.10 a).....	14
5.2.2	6.10 b).....	14
5.3	Mezní stav použitelnosti.....	14
6	Posouzení hlavního nosníku, spřaženého průřezu .....	16
6.1	Výpočetní model.....	16
6.2	Fáze výstavby .....	16
6.3	Schéma ložisek .....	18
6.4	Zatížení.....	19
6.4.1	Zatížení stálé .....	19
6.4.2	Zatížení proměnné .....	20
6.5	Kombinace zatížení .....	25
6.6	Redistribuce .....	25
6.6.1	Deska tloušťky 260 mm .....	25
6.6.2	Deska tloušťky 300 mm .....	26
6.6.3	Deska tloušťky 420 mm .....	26
6.7	Posouzení hlavního nosníku.....	27
6.7.1	Fáze výstavby.....	27
6.7.2	Provozní fáze.....	28
6.8	Posouzení ztužení .....	33
6.9	Posouzení MSÚ .....	36
6.9.1	Napětí v průřezech.....	36
6.9.2	Posouzení trhlin .....	37
6.9.3	Průhyb .....	38
6.9.4	Návrh spřažení .....	39
6.10	Překlopení .....	40
6.11	Únava .....	40



6.11.1	Normálové síly v prostředním poli .....	40
6.12	Stabilita.....	41
6.13	Svary hlavního nosníku.....	41



# 1 Charakteristika mostu

## 1.1 Stručný popis konstrukce

Most přemostňuje údolí Rouštanského potoka a je součástí obchvatu obce Rouštany, jedná se o třípolový sprážený most s rozpětím 39 + 51 + 39 m. Most se nachází ve pravostraném směrovém oblouku o poloměru 750 m, výškově ve vydutém oblouku o poloměru 7500 m.

Nosná konstrukci je tvořena spojitou spráženou ocelobetonovou konstrukcí; ta je tvořena dvojicí ocelových nosníků a spráženou železobetonovou deskou. Most je podélně symetrický. Osová vzdálenost nosníků je 7 m. Ty jsou ztuženy přibližně po 5,2 m plnostěnnými nosníky HEB1000 z důvodu zajištění dostatečné stability; nad podporami se nacházejí příčníky svařované z plechů. Sprážená deska umístěná na hlavních nosnících je široká 14 m, na každé straně je tedy 3,5 m vykonzolována; její příčný spád je 4% směrem dovnitř oblouku. Tloušťka desky je proměnná a pohybuje se od 260 mm do 440 mm; horní pásnice nosníku je zabetonována. Na obou stranách jsou umístěny římsy s nouzovým chodníkem. Na římsách jsou osazeny svodidla, a protihlukové stěny. Protihluková stěna na vnější straně půdorysného oblouku je řešena jako zábradlí s výškou 1,1 m. Šířka nouzového chodníku je 0,75 m.

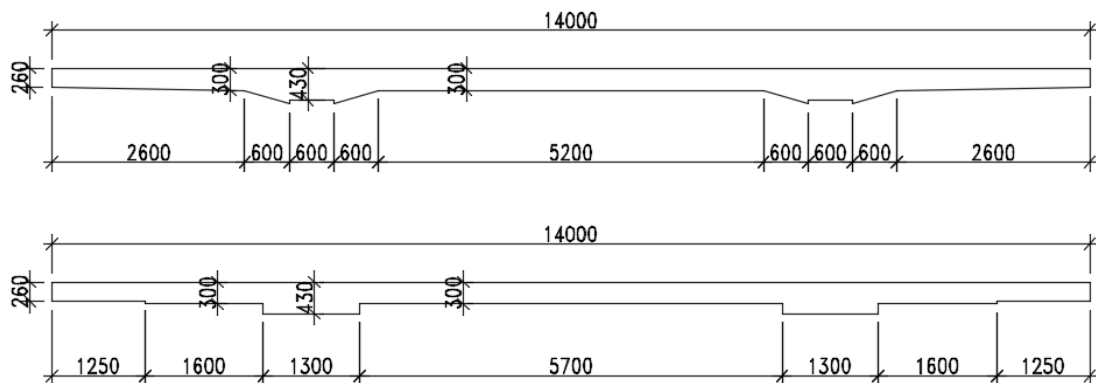
Na pilířích jsou vždy dovnitř oblouku umístěny pevná ložiska, ostatní jsou řešena tak aby konstrukce mohla volně dilatovat, celá konstrukce tedy spolupůsobí.

Silnice na mostu je 1. třídy kategorie S11,5. Konstrukce je navržena na běžný provoz a umožňuje v nouzovém stavu bezpečně přejezd vozidel až do 180 t (Model LM3 1800/200).

## 2 Průřezové charakteristiky

### 2.1 Železobetonová deska

Pro účely ručního výpočtu i výpočtu v programu Scia byla deska zjednodušena.



Desky mají stejný povrch a moment setrvačnosti se liší cca o 5%.

### 2.2 Hlavní nosník

Nosník je po délce mostu proměnný, ruční posouzení je proto provedeno jen uprostřed polí a nad podporami, zvláště nad pilířem.

Všechny průřezy hlavního nosníku jsou po celou dobu třídy 3. z důvody výpočetních limitů Scia Engineer.

**Pracovní součinitelé:**

$$n_0 = \frac{E_a}{E_{cm}}$$

$$h_0 = \frac{2A_c}{u}$$

u – délka obvodu vystaveného atmosféře

$$\beta_H = 1,5(1 + (0,012RH)^{18})h_0 + 250 < 1500$$

$$\beta_c = \frac{t - t_0}{\beta_H + t - t_0}^{0,3}$$



$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0,1h_0^{\frac{1}{3}}}$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16,8}{\sqrt{f_{cm}}}$$

$$\beta(t_0) = (0,1 + t_0^{0,2})^{-1}$$

$$\phi_0 = \phi_{RH} \cdot \beta(f_{cm}) \cdot \beta(t_0)$$

$$\phi_t = \phi_0 \cdot \beta_c$$

$$n_L = n_0(1 + \psi_L \phi_t)$$

	Ocel	Krátkodob.	Stálé	Smrštění	
Ea	210000	210000	210000	210000	
Ecm	-	32800	32800	32800	MPa
n0	-	6,402439	6,402439	6,40243902	MPa
$\psi_L$	-	<b>0,000</b>	<b>1,100</b>	<b>0,550</b>	-
AC	-	2232000	2232000	2232000	-
u	-	13140	13140	13140	mm <sup>2</sup>
h0	-	339,726	339,72603	339,726027	mm
t	-	1	36500	36500	mm
t0	-	1	60	1	den
RH	-	80	80	80	den
$\beta_H$	-	1003,9896	1003,9896	1003,98964	%
$\beta_C$	-	0	0,9918794	0,99189231	-
$\phi_{RH}$	-	1,2866292	1,2866292	1,28662917	-
$\beta(f_{cm})$	-	2,7253199	2,7253199	2,72531987	-
$\beta(t_0)$	-	0,9090909	0,4223092	0,90909091	-
$\phi_0$	-	3,1877055	1,4808172	3,1877055	-
$\phi_t$	-	0	1,4687921	3,16186057	-
nL	-	6,402439	16,746676	17,5364298	-
n <sub>L</sub>	-	0	41116439	21527721,7	-



## 2.2.1 Krajiní pole

	Ocel	Krátkodob.	Stálé	Smrštění	
nL	-	6,402439024	16,74667575	17,53642976	-
beff	0	7000	7000	7000	mm
bc1	0	1250,0	1250,0	1250,0	mm
bci1	0	195,2	74,6	71,3	
tci1	0	260	260,0	260,0	
bc2	0	4450,0	4450,0	4450,0	
bci2	0	695,0	265,7	253,8	
tci2	0	300	300,0	300,0	mm
bc3	0	1300,0	1300,0	1300,0	
bci3	0	203,05	77,63	74,13	
tci3	0	440	440	440	
b1	600	600	600	600	mm
t1	40	40	40	40	mm
tw	20	20	20	20	mm
hw	1800	1800	1800	1800	mm
b2	800	800	800	800	mm
t2	60	60	60	60	mm
hsteel	1900	1900	1900	1900	mm
hi	1900	2340	2340	2340	mm
Ai	108000	456617,1429	241280,1825	235277,9027	mm <sup>2</sup>
Sy0	81120000	839352914,3	371000814,1	357946016,9	mm <sup>3</sup>
et	1148,9	501,8	802,4	818,6	mm
eb	751,1111	1838,2	1537,6	1521,4	mm
Ii,y	66853866667	2,37694E+11	1,89206E+11	1,86643E+11	mm <sup>4</sup>
Wi,y,ct	-	-473680335	-235810947,4	-227995797,8	mm <sup>3</sup>
Wi,y,cb	-	-1177857707	-376631389,2	-359880674,4	mm <sup>3</sup>
Wi,y,at	-58190019,34	-1177857707	-376631389,2	-359880674,4	mm <sup>3</sup>
Wi,y,ab	89006627,22	129307877,2	123050339,8	122680413,7	mm <sup>3</sup>



## 2.2.2 Střední pole

	Ocel	Krátkodob.	Stálé	Smrštění	
nL	-	6,402439024	16,74667575	17,53642976	-
beff	0	7000	7000	7000	mm
bc1	0	1250,0	1250,0	1250,0	mm
bci1	0	195,2	74,6	71,3	
tci1	0	260	260,0	260,0	
bc2	0	4450,0	4450,0	4450,0	
bci2	0	695,0	265,7	253,8	
tci2	0	300	300,0	300,0	mm
bc3	0	1300,0	1300,0	1300,0	
bci3	0	203,05	77,63	74,13	
tci3	0	440	440	440	
b1	600	600	600	600	mm
t1	40	40	40	40	mm
tw	20	20	20	20	mm
hw	2100	1800	1800	1800	mm
b2	800	800	800	800	mm
t2	60	60	60	60	mm
hsteel	2200	2200	2200	2200	mm
hi	2200	2640	2640	2640	mm
Ai	114000	456617,1429	241280,1825	235277,9027	mm <sup>2</sup>
Sy0	100380000	943938057,1	410984868,9	396129387,7	mm <sup>3</sup>
et	1319,5	572,8	936,6	956,3	mm
eb	880,5263	2067,2	1703,4	1683,7	mm
Ii,y	92914368421	3,15022E+11	2,50246E+11	2,46802E+11	mm <sup>4</sup>
Wi,y,ct	-	-550007898,8	-267171811,3	-258070398,1	mm <sup>3</sup>
Wi,y,cb	-	-1154948050	-393067804,8	-376030325	mm <sup>3</sup>
Wi,y,at	-70417750,3	-1154948050	-393067804,8	-376030325	mm <sup>3</sup>
Wi,y,ab	105521398,7	152387357,1	146914030,4	146585799,3	mm <sup>3</sup>



## 2.2.3 Nad pilířem

	Ocel	Krátkodob.	Stálé	Smrštění	
nL	-	6,402439024	16,74667575	17,53642976	-
beff	0	7000	7000	7000	mm
bc1	0	1250,0	1250,0	1250,0	mm
bci1	0	195,2	74,6	71,3	
tci1	0	260	260,0	260,0	
bc2	0	4450,0	4450,0	4450,0	
bci2	0	695,0	265,7	253,8	
tci2	0	300	300,0	300,0	mm
bc3	0	1300,0	1300,0	1300,0	
bci3	0	203,05	77,63	74,13	
tci3	0	420	420	420	
b1	600	600	600	600	mm
t1	60	60	60	60	mm
tw	30	30	30	30	mm
hw	2500	1800	1800	1800	mm
b2	800	800	800	800	mm
t2	80	80	80	80	mm
hsteel	2640	2640	2640	2640	mm
hi	2640	3060	3060	3060	mm
Ai	175000	498556,1905	285727,6356	279795,2748	mm <sup>2</sup>
Sy0	196270000	1122796952	505999347,1	488806795,5	mm <sup>3</sup>
et	1518,5	807,9	1289,1	1313,0	mm
eb	1121,5429	2252,1	1770,9	1747,0	mm
Ii,y	1,96988E+11	5,66967E+11	4,34157E+11	4,27606E+11	mm <sup>4</sup>
Wi,y,ct	-	-701776177	-336794556,7	-325674936,3	mm <sup>3</sup>
Wi,y,cb	-	-1116290161	-438947924,7	-422125099,3	mm <sup>3</sup>
Wi,y,at	-129728861,8	-1116290161	-438947924,7	-422125099,3	mm <sup>3</sup>
Wi,y,ab	175639937	251750692,9	245159608,9	244763662,3	mm <sup>3</sup>

## 3 Materiály

### 3.1 Konstrukční ocel

S335 J2+N	(plech tl. ≤ 45 mm)	S355 J0
S355 K2+N	(plech tl. ≤ 55 mm)	Trny S235
S355 NL	(plech tl. > 55 mm)	

Mez kluzu	$f_y =$	355 MPa
Mez kluzu pro $t > 40$ mm	$f_{y,40} =$	335 MPa
Mez pevnosti	$f_u =$	510 MPa
Modul pružnosti	$E =$	210 000 MPa
Poissonovo číslo	$\nu =$	0,2 -
Objemová hmotnost	$\rho =$	7850 kg/m <sup>3</sup>

### 3.2 Beton

Objemová hmotnost betonu všech pevností vyztuženého betonářskou výztuží je uvažována 2500 kg/m<sup>3</sup> pro železobeton po vytvrdnutí a 2600 kg/m<sup>3</sup> pro čerstvý železobeton.

Piloty:	C25/30 – XA1, XC2
Základy:	C25/30 – XA2, XC2





Pilíře, opěra: C30/37 – XF4, XD2, XC4  
Deska: C30/37 – XF3, XD3, XC4

C25/30	Pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	25 MPa
	Modul pružnosti	$E =$	30 500 MPa
C30/37	Pevnost v tlaku	$f_{ck} =$	30 MPa
	Modul pružnosti	$E =$	32 800 MPa
	Poissonův součinitel	$\nu =$	0,2 -

### 3.3 Betonářská výztuž

Je použita výztuž třídy B500B.

Mez kluzu	$f_{yk} =$	500 MPa
Modul pružnosti	$E =$	200 000 MPa

## 4 Zatížení

### 4.1 Zatížení stálé

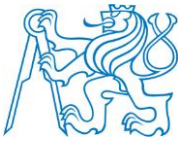
#### 4.1.1 Zatížení vlastní tíhou

Z důvodu proměnného nosníku i proměnné desky nebylo možné stanovit konečnou tíhu, proto je zde uvedena pouze objemová tíha jednotlivých částí konstrukce.

	obj. tíha [kN/m <sup>3</sup> ]
Hlavní nosník	78,5
Ztužidlo, příčníky	78,5
Čerstvý beton	26
Deska	25
Pilíře	25

#### 4.1.2 Ostatní stálé

	obj. tíha [kN/m <sup>3</sup> ]	tl./plocha [m/m <sup>2</sup> ]	pl.zat. [kN/m <sup>2</sup> ]	lin. zat. [kN/m]
Římsy	25	0,5/1,25	10	-
Vozovkové sou.	24	0,13 (+0,015)	3,12 (3,48)	-
Svodidlo	-	-	-	1
Zábradlí	-	-	-	1,5
Protihluková stěna	-	-	-	2,5
Bednění	-	-	1,2	-



## 4.2 Zatížení proměnné

Při zatěžování modely zatížení bylo přihlédnuto k výpočtům v studii alternativ, zatížení bylo umístěno jen do míst s největším přítěžujícím účinkem; silové nad opěru a pilíř, v jednotlivých polích (ve středním 2x z důvodu vyvolání účinků nad pilířem a v poli) a rovnoměrné v jednotlivých polích.

### 4.2.1 Model zatížení LM1 - gr1a

#### 4.2.1.1 Model

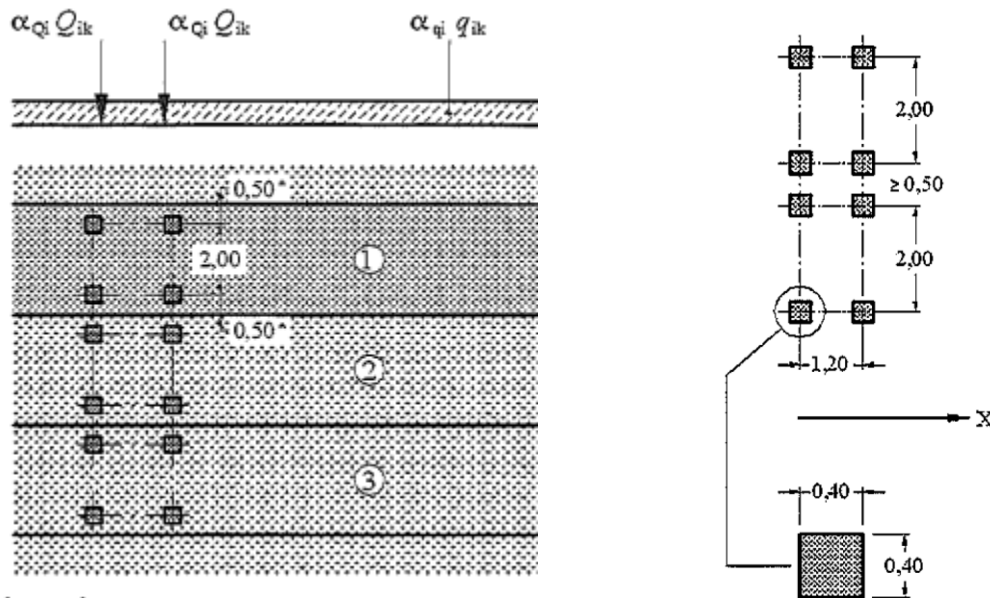
Převáděná komunikace je kategorie S11,5; ta je rozdělena do 3 pruhů po 3 m a zbylého pruhu šířky 2,5 m.

$\alpha_{Q1}$	$\alpha_{Q2}$	$\alpha_{Q3}$	$\alpha_{q1}$	$\alpha_{q2}$	$\alpha_{qi} (i>2)$ 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



#### 4.2.1.2 Brzdné a rozjezdové síly

Síla působí v rovině povrchu vozovky

$$Q_{lk} = 0,6 \alpha_{q1} 2 Q_{1k} + 0,1 \alpha_{q1} q_{1k} w_1 L = 0,6 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 300 + 0,1 \cdot 1 \cdot 9 \cdot 3 \cdot 129 = 708,3 \text{ kN}$$

$$180 \alpha_{q1} \leq Q_{lk} \leq 900 \text{ (kN)} \quad \text{Splňuje}$$

#### 4.2.1.3 Odstředivé síly

$$Q_{tk} = 40 \frac{Q_v}{r} = 40 \frac{1[2(300 + 200 + 100)]}{750} = 64 \text{ kN}$$

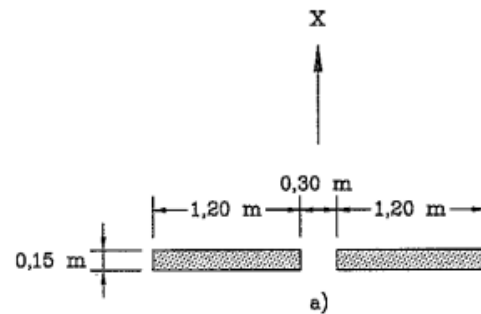
#### 4.2.1.4 Zatížení chodníků

Nouzové chodníky jsou zatíženy rovnoměrným zatížením 3 kN/m<sup>2</sup>.

### 4.2.2 Model LM3 1800/200 - gr5

#### 4.2.2.1 Model

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



#### 4.2.2.2 Brzdné a rozjezdové síly

Síla působí v rovině povrchu vozovky.

$$Q_{lk} = 0,6 Q_{LM3} + 0,1 \alpha_{q1} q_{1k} w_1 L = 0,6 \cdot 1800 + 0 = 1080 \text{ kN}$$

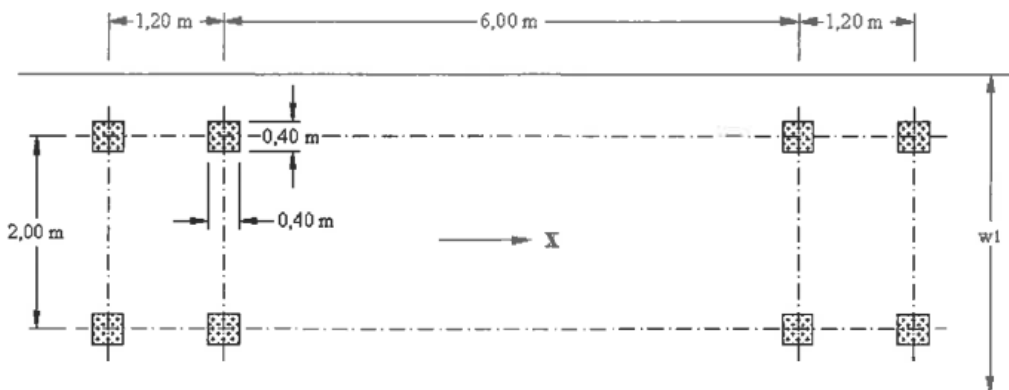
$$180 \alpha_{q1} \leq Q_{lk} \leq 600 \text{ (kN)} \rightarrow Q_{lk} = 600 \text{ kN}$$

#### 4.2.2.3 Odstředivé síly

$$Q_{tk} = Q_v \frac{v_n^2}{127 r} = 1200 \frac{70^2}{127 \cdot 750} \cong 48 \text{ kN}$$

### 4.2.3 Model zatížení na únavu LM3

Pro účely posouzení únavy spřažení a normálových napětí je uvažován model na únavu LM3. Velikost každé nápravové síly je 120 kN.





## 4.2.4 Zatížení větrem

Větrná oblast II	$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Výška objektu	$z = 12,5 \text{ m}$
Kategorie terénu II	
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 0,05$
Parametr drs.ter. II kategorie	$z_{0,II} = 0,05$
Minimální výška	$z_{min} = 2,0 \text{ m}$
Maximální výška	$z_{max} = 200,0 \text{ m}$
Součinitel ortografie	$c_0(z) = 1,0$
Součinitel turbulence	$k_I = 1,0$
Měrná hmotnost vzduchu	$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
Základní rychlost větru	

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 25 = 25 \text{ m/s}$$

Intenzita turbulence větru

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} = \frac{1,0}{1 \cdot \ln(12,5/0,05)} = 0,181 \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

Součinitel terénu

$$k_r = 0,19(z_0/z_{0,II})^{0,07} = 0,19$$

Součinitel drsnosti

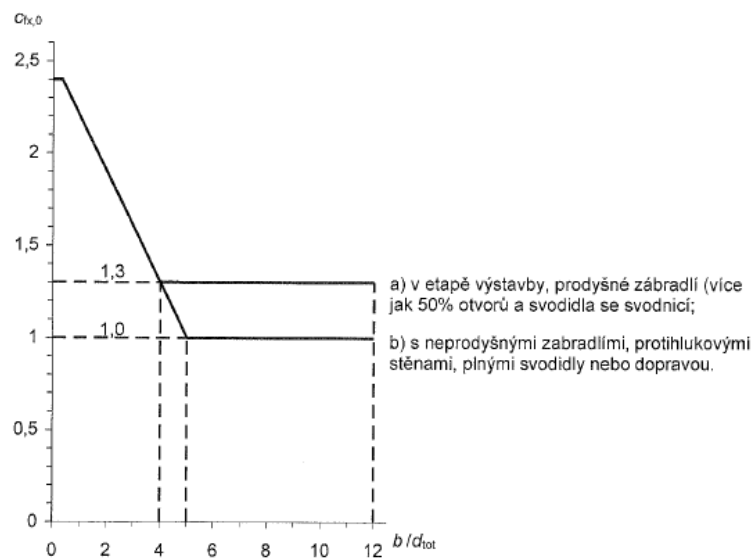
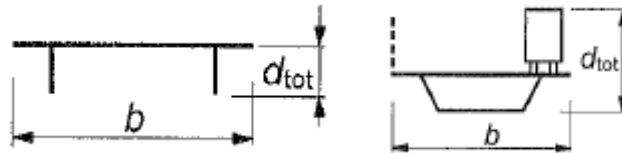
$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) = 0,19 \cdot \ln(12,5/0,05) = 1,05 \quad \text{pro} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

Střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 1,05 \cdot 1,0 \cdot 25 = 26,25 \text{ m/s}$$

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \cdot 0,5 \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,181] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 26,25^2 = 0,976 \text{ kN/m}^2$$



$$A_{ref,x} = d_{tot} \cdot 1 = d_{tot}$$



#### 4.2.4.1 Fáze výstavby

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{14,0}{2,8} = 5$$

$$c_{fx,0} = 1,3 \text{ (odměřeno z grafu)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \cdot 1/2 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,181] \cdot 1/2 \cdot 1,25 \cdot 21^2 = 0,625 \text{ kN/m}^2$$

$$F_w = c_{fx,0} \cdot q_p(z)_m \cdot A_{ref,x} = 1,3 \cdot 0,625 \cdot 2,8 = 2,275 \text{ kN/m}$$

#### 4.2.4.2 Finální stav

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{14,75}{2,8 + 0,2 + 4} = 2,11$$

$$c_{fx,0} = 1,9 \text{ (odměřeno z grafu)}$$

$$F_w = c_{fx,0} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref,x} = 1,9 \cdot 0,976 \cdot 7 = 12,98 \text{ kN/m}$$

Zatížení je rozděleno na nosník a protihlukovou stěnu, tedy hranu betonové desky (způsobuje moment)

$$F_{wa} = c_{fx,0} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref,x} = 1,9 \cdot 0,976 \cdot 2,8 = 5,19 \text{ kN/m}$$

$$F_{wc} = c_{fx,0} \cdot q_p(z) \cdot A_{ref,x} = 1,9 \cdot 0,976 \cdot 4,2 = 7,79 \text{ kN/m}$$

$$M = c_{fx,0} \cdot q_p(z) \cdot 4,2^2/2 = 1,9 \cdot 0,976 \cdot 4,2^2/2 = 16,35 \text{ kNm/m}$$

### 4.2.5 Zatížení teplotou

#### 4.2.5.1 Rovnoměrná teplota

$$T_0 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$$

2. typ (ocelobetonová nosná konstrukce)

Oteplení

$$T_{max} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{e,max} = T_{max} + 4,5 = 37 + 4,5 = 41,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 41,5 - 10 = 31,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Ochlazení

$$T_{min} = -33 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} + 4,5 = -33 + 4,5 = -28,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{N,con} = T_{e,min} - T_0 = -28,5 - 10 = -38,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

#### 4.2.5.2 Nerovnoměrná teplota

Zvolena zjednodušená varianta.

Teplotní spád desky

$$\Delta T = \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$$



## 4.2.6 Smršťování

Char. pevnost betonu v tlaku:	$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$
Průměrná pevnost betonu v tlaku:	$f_{cm} = 38 \text{ MPa}$
Ref. průměrná pevnost v tlaku:	$f_{cm0} = 10 \text{ MPa}$
Rel. vlkost okolního prostředí:	$RH_0 = 100 \%$
Ref. rel. vlkost okolního prostředí:	$RH = 80 \%$
Souč. závislý na druhu cementu:	$\alpha_{ds1} = 4,0$
(cement třídy N)	$\alpha_{ds2} = 0,12$

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{80}{100} \right)^3 \right] = 0,756$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{cd,0} &= 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot \exp \left( -\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm0}} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = \\ &= 0,85 \left[ (220 + 110 \cdot 4,0) \cdot \exp \left( -0,12 \cdot \frac{38}{10} \right) \right] \cdot 10^{-6} \cdot 0,756 = 0,269 \text{ ‰} \end{aligned}$$



## 5 Kombinace zatížení

Rovnoměrné a nerovnoměrné změny teploty se kombinují: 0,35 RZM + NZT a RZM + 0,75 NZT, při čemž na konstrukci rozhoduje druhá varianta.

### 5.1 Součinitele zatížení

Zatěžovací stav	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Kombinace						
				gr1a	gr2	gr3	gr5	vitr	teplota	
vlastní tíha	-	-	-	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	
ostatní stálé	-	-	-	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	1,35/1,0	
smršťování	-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
LMI	TS	0,75	0,75	0	<b>1,35</b>		<b>1,35</b>		1,35	1,35
	UDL	0,4	0,4	0	<b>1,35</b>		<b>1,35</b>		1,35	1,35
LM3	0	0	0				<b>1,35</b>			
chodník	0,4	0,4	0	<b>1,35</b>						
brzdě síly	0	0	0			<b>1,35</b>	<b>1,35</b>			
odstředivá síla	0	0	0			<b>1,35</b>	<b>1,35</b>			
vitr	0,6	0,2	0	1,5	1,5	1,5	1,5	<b>1,5</b>	1,5	
rovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	<b>1,5</b>	
nerovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	<b>1,5</b>	

### 5.2 Mezní stav únosnosti

Pro účely posouzení jednotlivých konstrukčních prvků v mezním stavu únosnosti byly vytvořeny obě normové kombinace 6.10a) a 6.10b)

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

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



### 5.2.1 6.10 a)

Zatěžovací stav	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Kombinace						
				gr1a	gr2	gr3	gr5	vitr	teplota	
vlastní tíha	-	-	-	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	
ostatní stálé	-	-	-	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	
smršťování	-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
LMI	TS	0,75	0,75	0	<b>0,75x1,35</b>		<b>0</b>		0,75x1,35	0,75x1,35
	UDL	0,4	0,4	0	<b>0,4x1,35</b>		<b>0</b>		0,4x1,35	0,4x1,35
LM3	0	0	0				<b>0</b>			
chodník	0,4	0,4	0	<b>0,4x1,35</b>						
brzděné síly	0	0	0			<b>0</b>	<b>0</b>			
odstředivá síla	0	0	0			<b>0</b>	<b>0</b>			
vitr	0,6	0,2	0	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>0,6x1,5</b>	0,6x1,5	
rovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>0,6x1,5</b>	
nerovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>0,6x1,5</b>	

### 5.2.2 6.10 b)

Zatěžovací stav	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Kombinace						
				gr1a	gr2	gr3	gr5	vitr	teplota	
vlastní tíha	-	-	-	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	
ostatní stálé	-	-	-	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	0,85x1,35	
smršťování	-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
LMI	TS	0,75	0,75	0	<b>1,35</b>		<b>0,75x1,35</b>		0,75x1,35	0,75x1,35
	UDL	0,4	0,4	0	<b>1,35</b>		<b>0,4x1,35</b>		0,4x1,35	0,4x1,35
LM3	0	0	0				<b>1,35</b>			
chodník	0,4	0,4	0	<b>1,35</b>						
brzděné síly	0	0	0			<b>1,35</b>	<b>1,35</b>			
odstředivá síla	0	0	0			<b>1,35</b>	<b>1,35</b>			
vitr	0,6	0,2	0	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>1,5</b>	0,6x1,5	
rovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>1,5</b>	
nerovnoměrná změna teploty	0,6	0,6	0,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	0,6x1,5	<b>1,5</b>	

## 5.3 Mezní stav použitelnosti

charakteristická  
část  
kvazistálá

$$\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

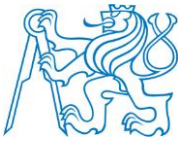
$$\Sigma G_{k,j} + \psi_{1,i} Q_{k,1} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$

$$\Sigma G_{k,j} + \Sigma \psi_{2,i} Q_{k,i}$$





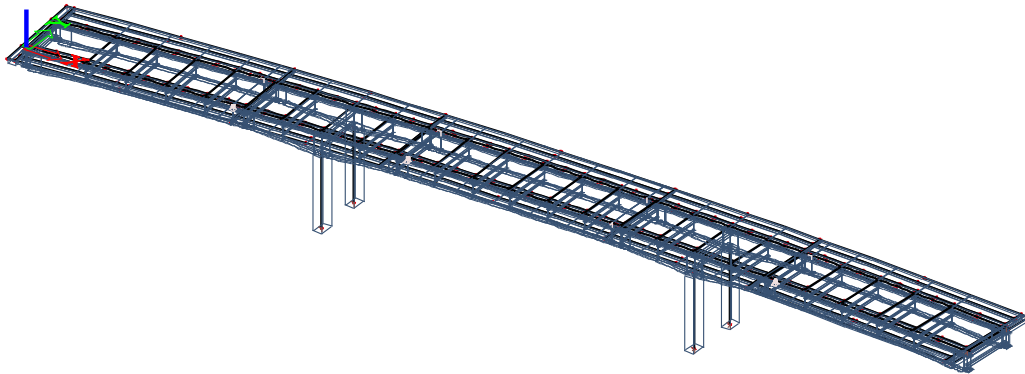
Zatěžovací stav		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	Kombinace					
					gr1a	gr2	gr3	gr5	vitr	teplota
vlastní tíha		-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ostatní stálé		-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
smršťování		-	-	-	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
LM1	TS	0,75	0,75	0	<b>1,0</b>		<b>0,75</b>		0,75x1,35	0,75x1,35
	UDL	0,4	0,4	0	<b>1,0</b>		<b>0,4</b>		0,4x1,35	0,4x1,35
LM3		0	0	0				<b>1,0</b>		
chodník		0,4	0,4	0	<b>1,0</b>					
brzdné síly		0	0	0			<b>1,0</b>	<b>1,0</b>		
odstředivá síla		0	0	0			<b>1,0</b>	<b>1,0</b>		
vitr		0,6	0,2	0	0,6	0,6	0,6	0,6	<b>1</b>	0,6
rovnoměrná změna teploty		0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	<b>1</b>
nerovnoměrná změna teploty		0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	<b>1</b>



## 6 Posouzení hlavního nosníku, spřaženého průřezu

### 6.1 Výpočetní model

Pro účely výpočtu byl vytvořen prostorový model v programu Scia Engineer 16. Pro získání kompletních a nejvíce realitě se blížících výsledků byly zapnuty následující funkcionality.



*Celkový axonometrický pohled na výpočetní model*

Fáze výstavby - pro simulaci postupu výstavby mostu byly jednotlivé části konstrukce modelu přidávány po jednotlivých fázích; po fázích byla přidána i stálá zatížení, jelikož betonáž železobetonové desky následně i říms probíhá postupně po takttech.

Stabilita - vzhledem k složitosti konstrukce a nejasnosti vzpěrné délky jednotlivých prutů, zvláště pak spřažených prutů, byl proveden stabilitní výpočet, jehož výsledkem byly součinitele kritického zatížení  $\alpha$ , tak tvary vybočení příslušné jednotlivým součinitelům  $\alpha$ .

Návrh mostů – tato funkcionality byla zapnuta z důvodu vnesení do modelu příslušných skupin proměnného zatížení a následné automatické generace kombinací zatěžovacích stavů, pro fáze výstavby, včetně součinitelů  $\gamma$  a kombinačních součinitelů  $\psi$ .

### 6.2 Fáze výstavby

ST1 – výstavba obou opěr OP1, OP4 po úložné prahy; pilířů; dočasných podpor pižmo PP1-PP4; smontování jednotlivých částí nosného roštu včetně ztužení pro betonáž vedle stavby a následné osazení pomocí jeřábu na provizorní podpory pižmo

ST2 – svaření jednotlivých částí roštu na plnou únosnost, nejdříve svary v krajních polích, následně v poli středním

ST3 – betonáž 1. taktu desky (délky 29 m)

ST4 – aktivace 1. taktu desky

ST5 – betonáž 2. taktu desky (délky 51 m)

ST6 – aktivace 2. taktu desky

ST7 – betonáž 3. taktu desky (délky 49 m)

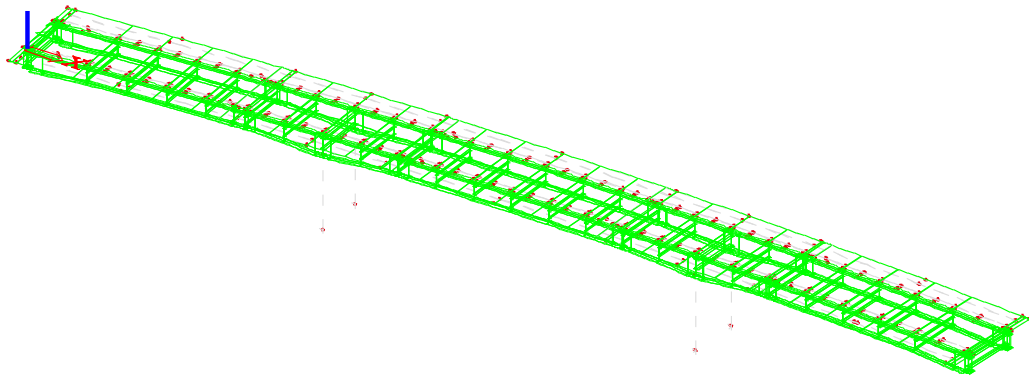
ST8 – aktivace 3. taktu desky, odstranění ztužení pro betonáž, osazení konstrukce na definitivní ložiska a odstranění provizorních podpor pižmo

ST9 – betonáž říms v 1. poli

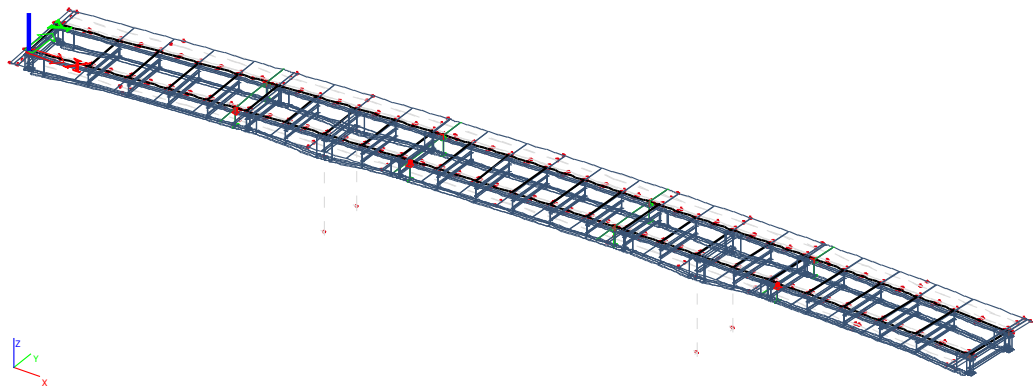
ST10 – betonáž říms v 2. poli

ST11 – betonáž říms v 3. poli

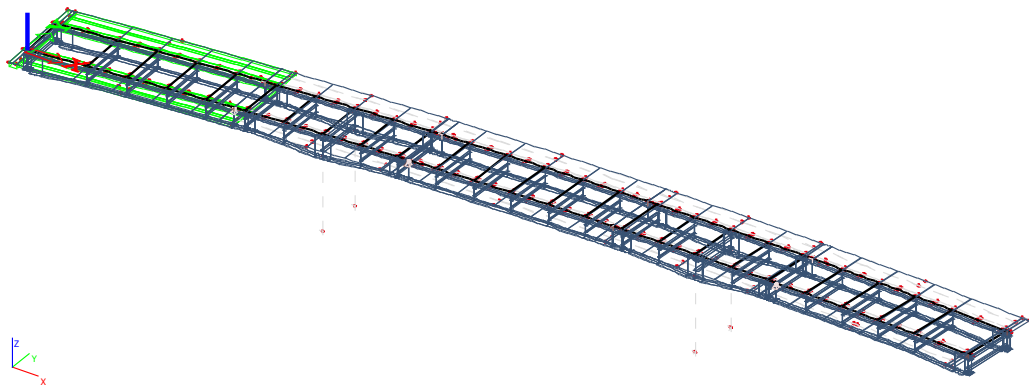
ST12 – osazení příslušenství a položení silničního povrchu



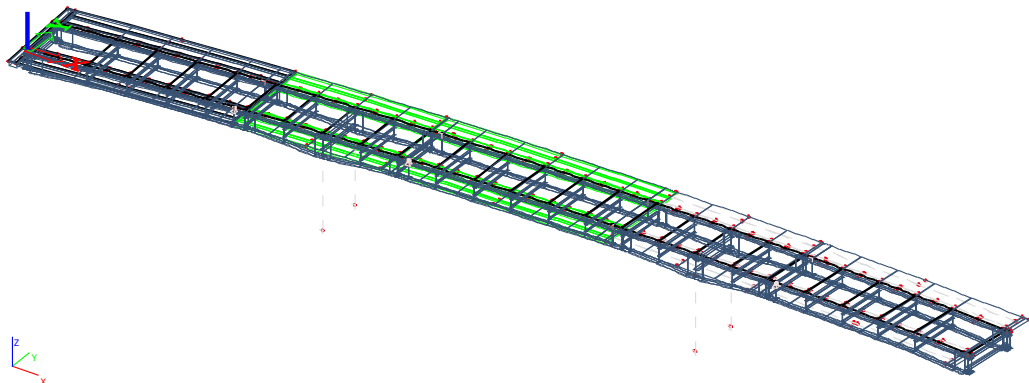
*Fáze výstavby ST1 – osazení 5 částí roštu na provizorní podpory pižmo*



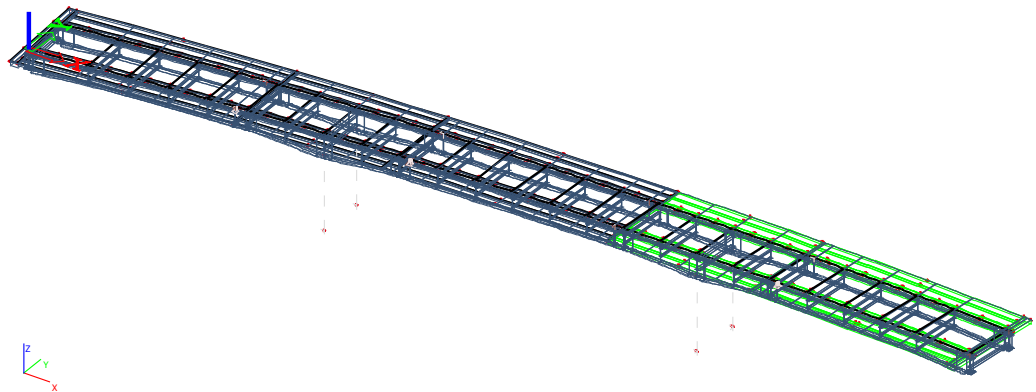
*Fáze výstavby ST2 – svaření hlavních nosníků do celku*



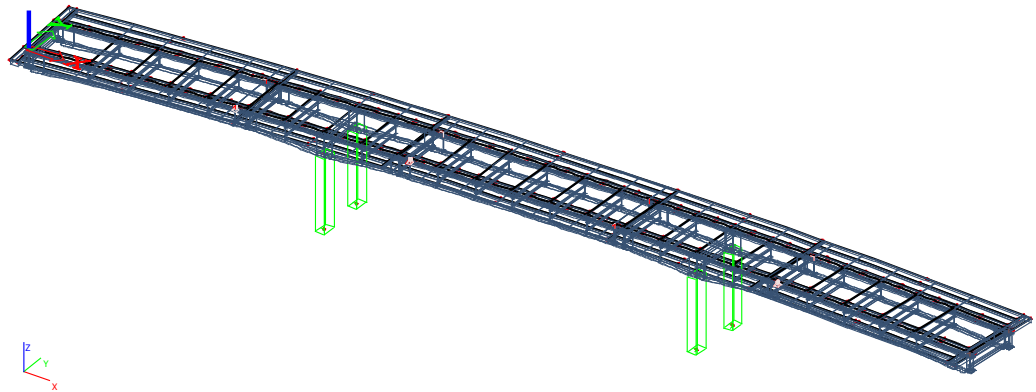
*Fáze výstavby ST3 – betonáž 1. taktu desky*



*Fáze výstavby ST5 – betonáž 2. taktu desky*

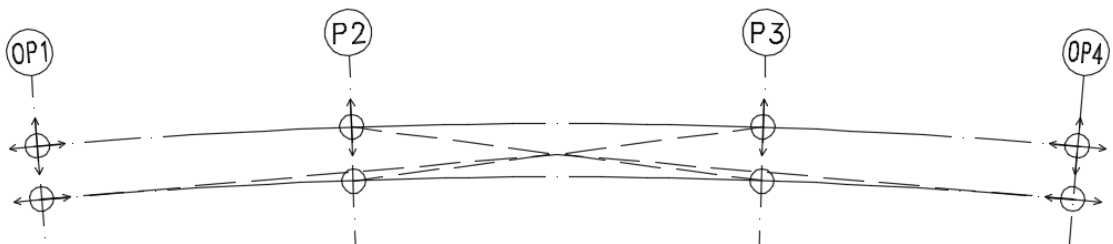


*Fáze výstavby ST7 – betonáž 3. taktu desky*



*Fáze výstavby ST9 – osazení na definitivní ložiska*

### 6.3 Schéma ložisek



*Schéma ložisek mostu*



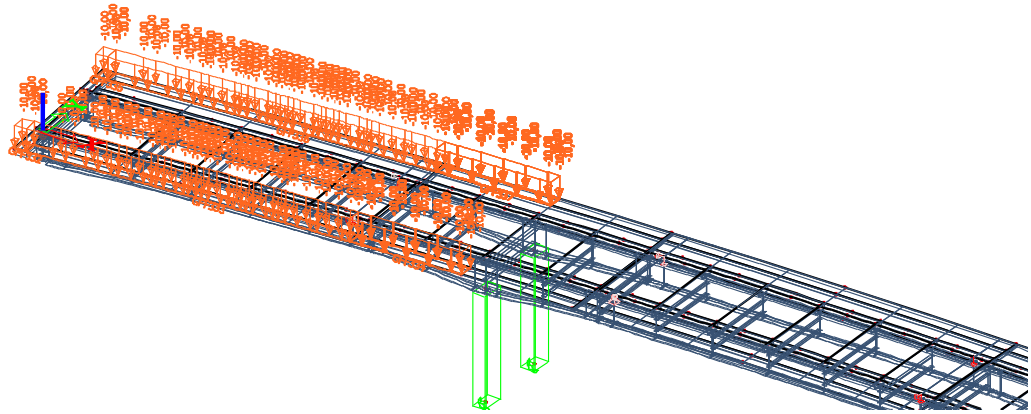
## 6.4 Zatížení

### 6.4.1 Zatížení stálé

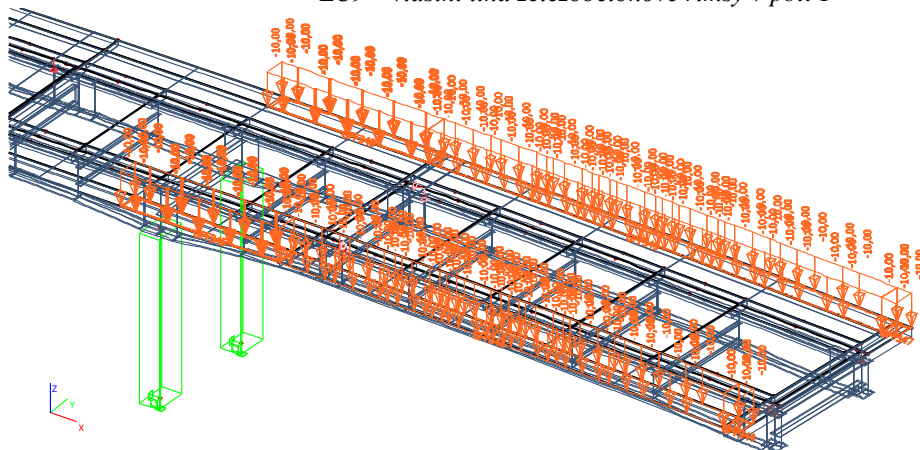
Ke každé fázi výstavby je přiřazen jeden zatěžovací stav stálého zatížení, tzn. fázi ST1 je přiřazen zatěžovací stav LC1, fázi ST2 je přiřazen stav LC2 atd.

#### 6.4.1.1 Vlastní tíha konstrukčních prvků

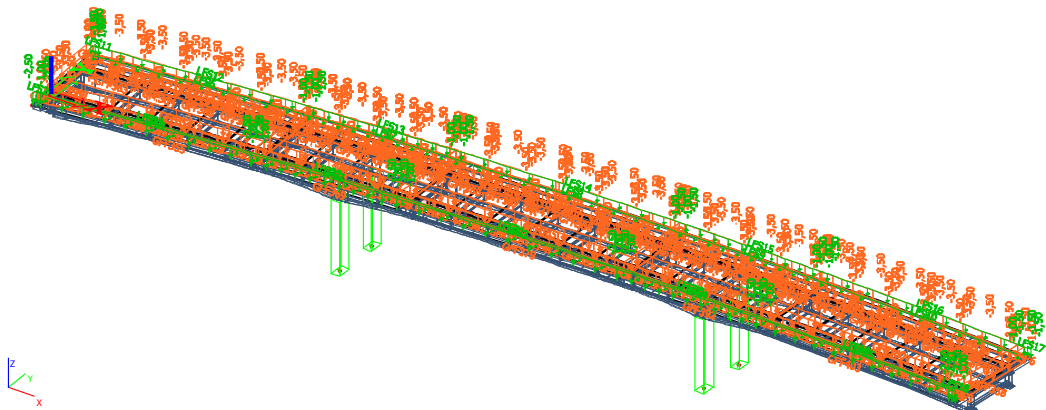
LC1 až LC8 byly vygenerovány programem Scia Engineer.

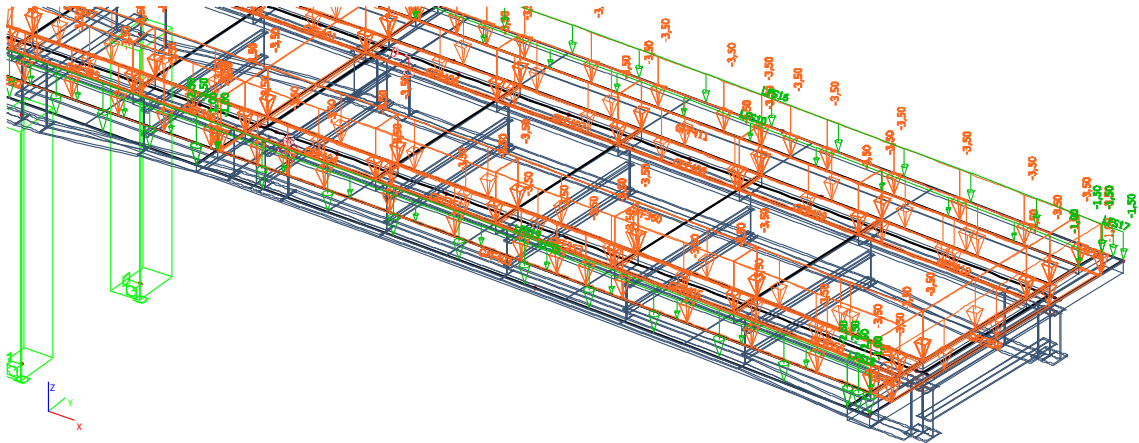


*LC9 – vlastní tíha železobetonové římsy v poli 1*

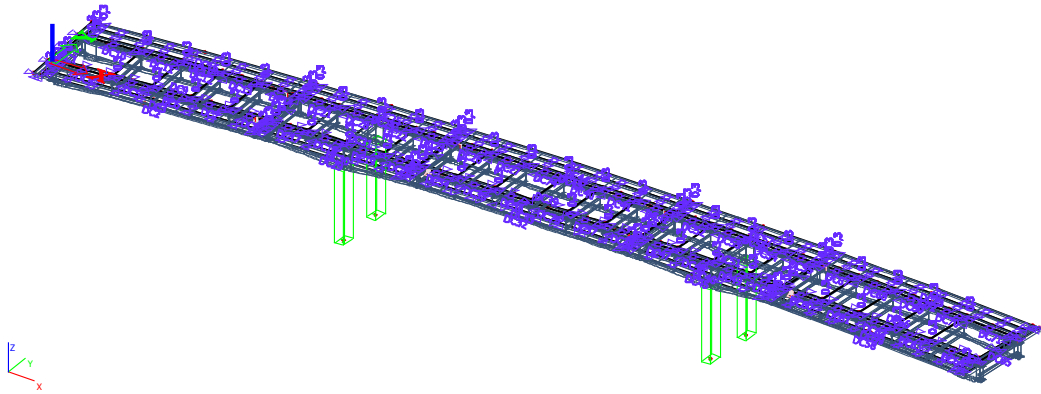


*LC11 – vlastní tíha železobetonové římsy v poli 3*





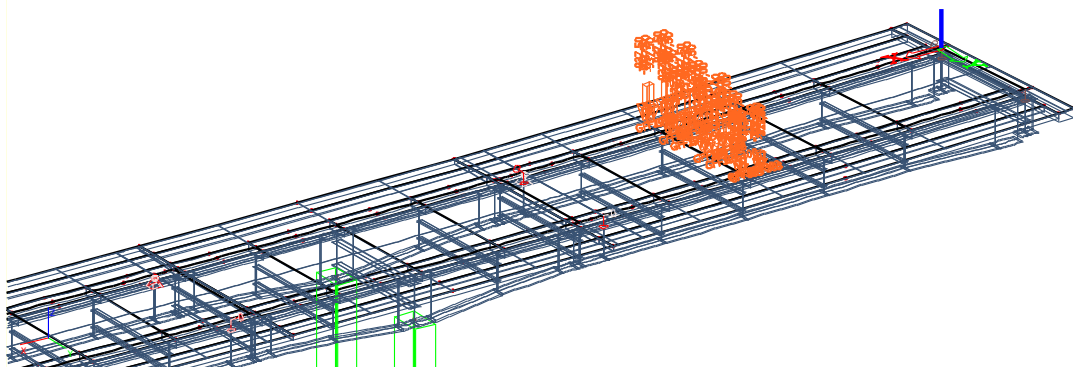
*LC12 – vlastní tíha příslušenství a vozovky*



*LC13 – smrštění desky*

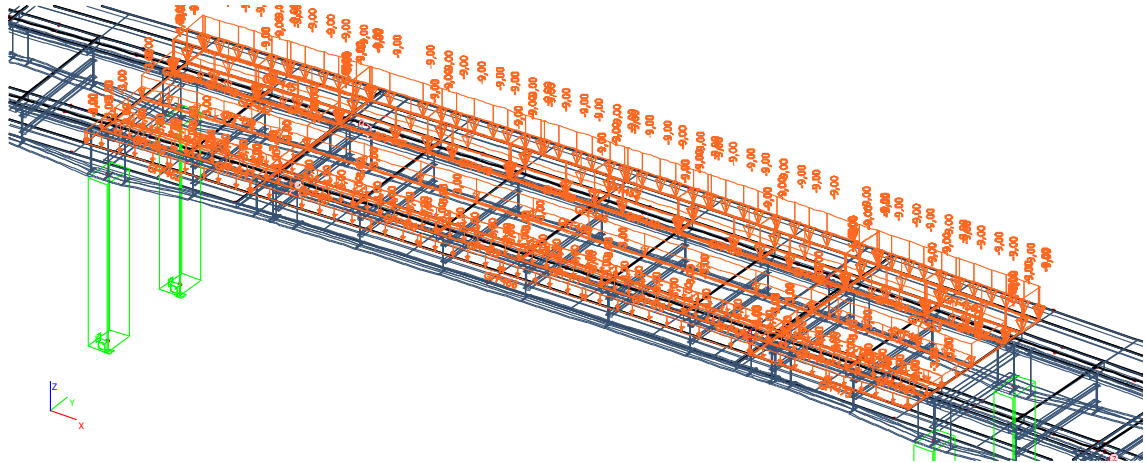
## 6.4.2 Zatížení proměnné

### 6.4.2.1 Model zatížení LM1

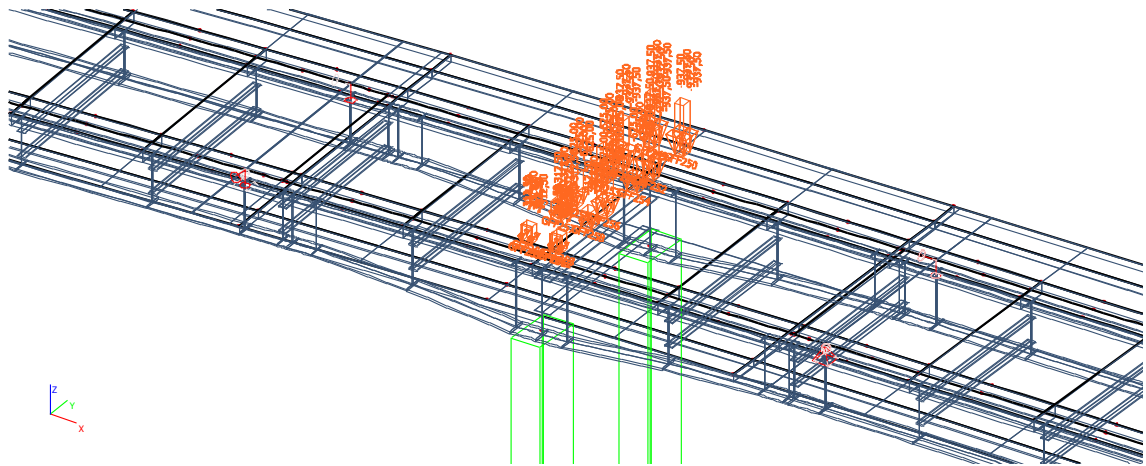


*LC15 – zatížení TS v 1. poli na vnitřní straně mostu*

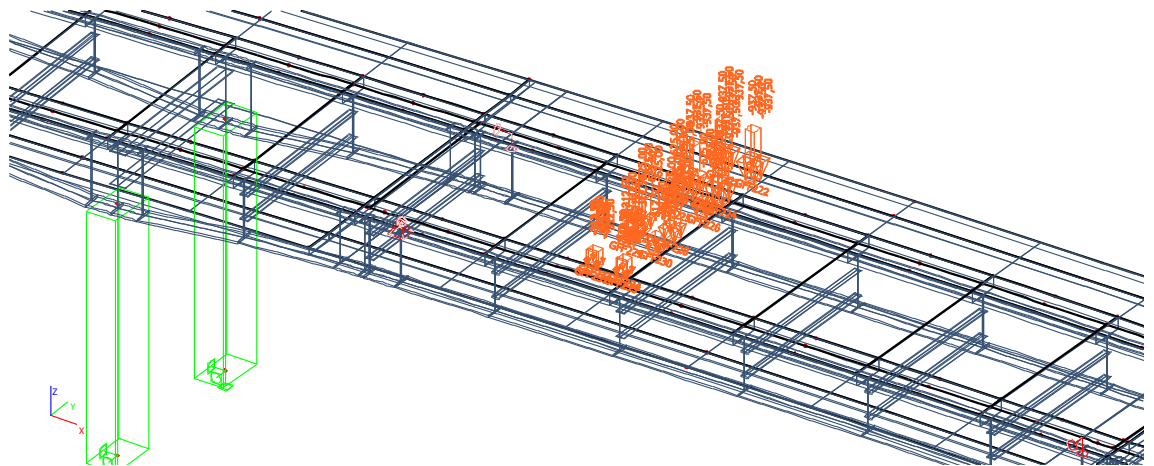




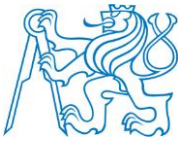
LC39 – zatížení UDL v 2.(prostředním) poli na vnější straně mostu



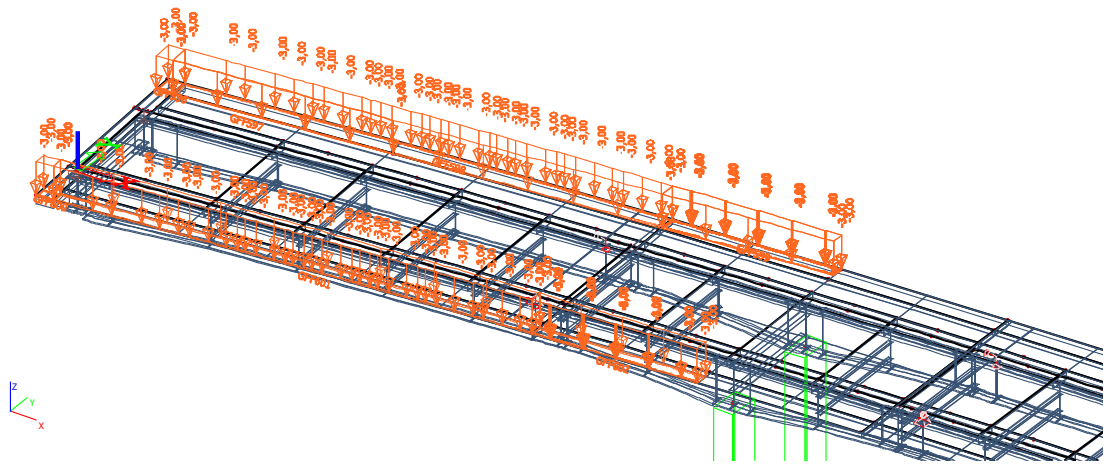
LC18 – zatížení TS nad podporou na vnější straně mostu



LC20 – zatížení TS pro maximální moment nad podporou na vnější straně mostu

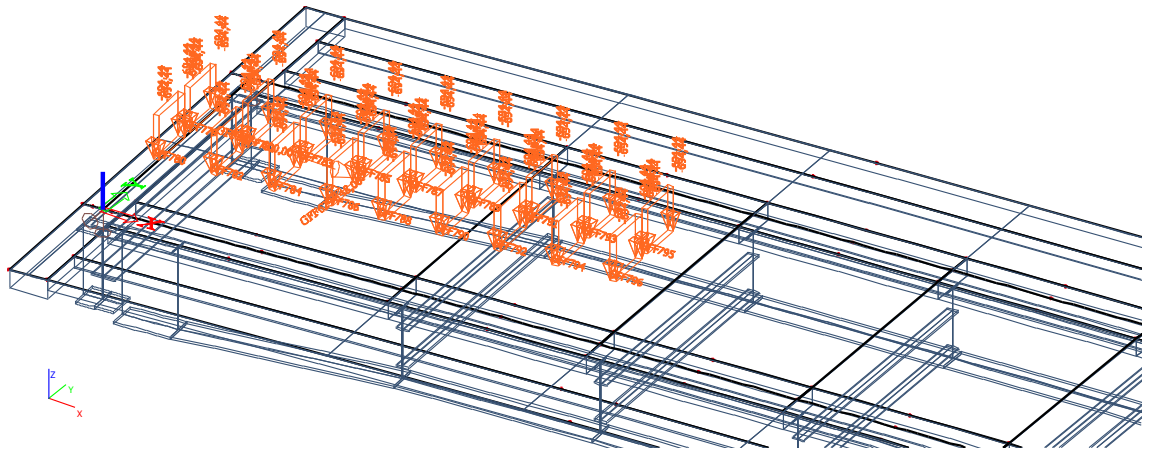


### 6.4.2.2 Zatížení chodníků

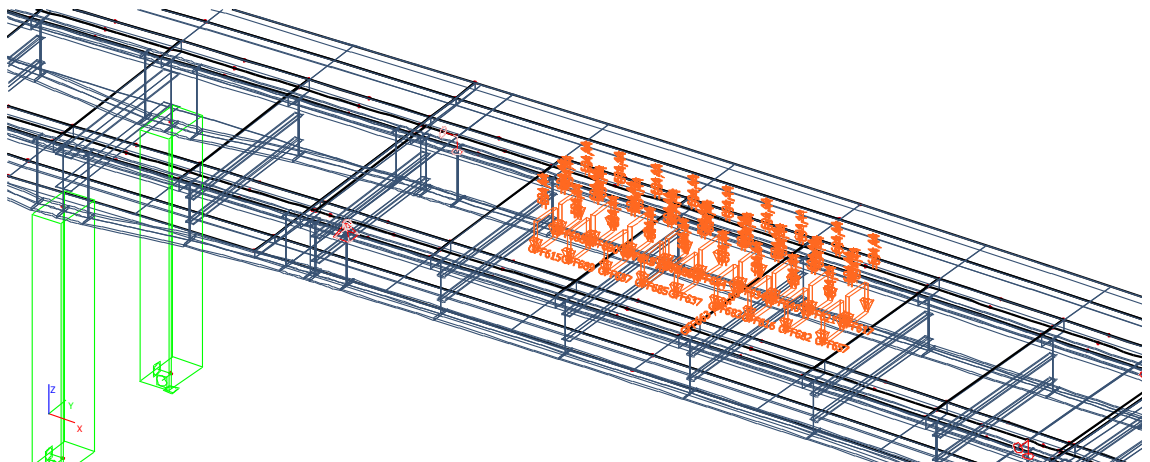


LC44 – zatížení od chodců v 1. poli

### 6.4.2.3 Model zatížení LM3



LC24 – zatížení LM3 s odstředivou a brzdou silou nad opěrou na vnější straně mostu

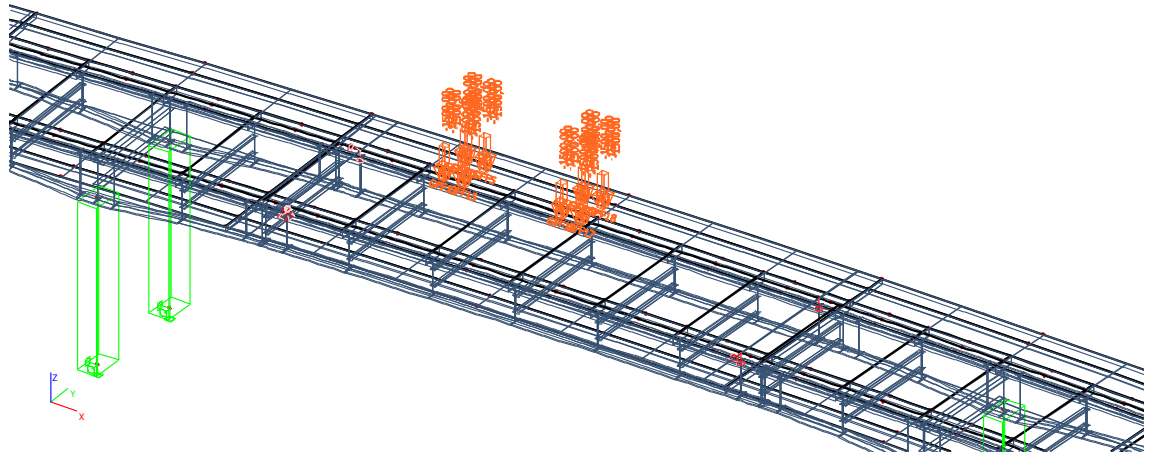


LC31 – zatížení LM3 s odstředivou a brzdou silou TS pro maximální moment nad podporou na vnitřní straně mostu



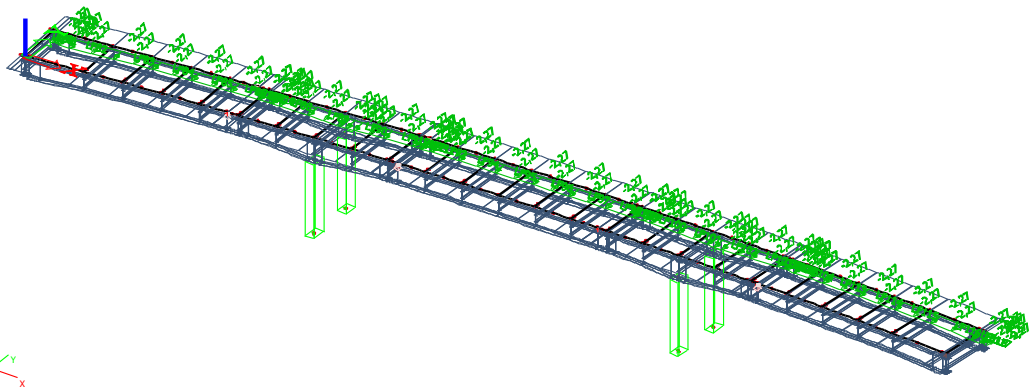


#### 6.4.2.4 Model zatížení na únavu LM3

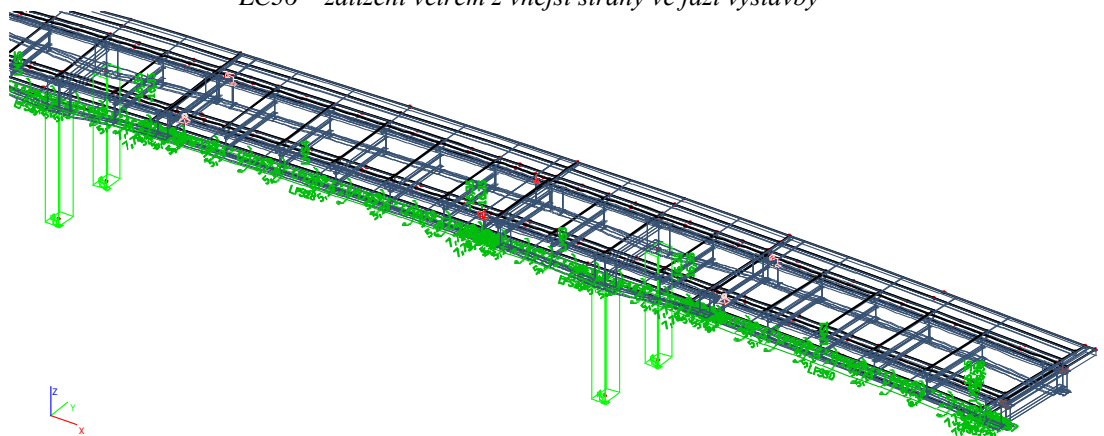


*LC31 – zatížení na únavu LM3 v prostředním poli*

#### 6.4.2.5 Vítr



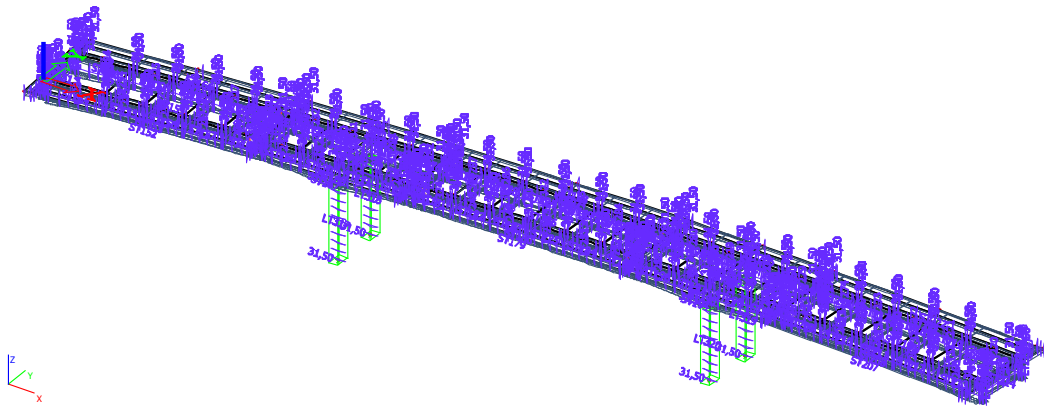
*LC36 – zatížení větrem z vnější strany ve fázi výstavby*



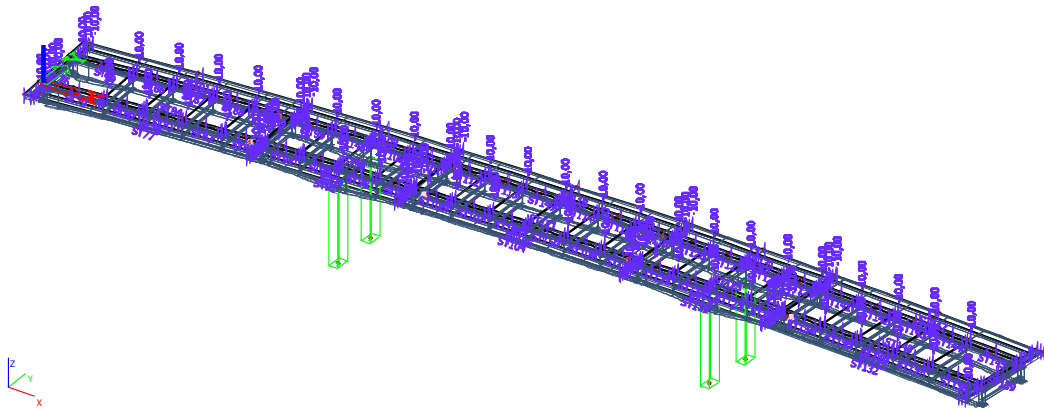
*LC36 – zatížení větrem z vnitřní strany ve fázi provozu*



## 6.4.2.6 Teplota



*LC36 – zatížení oteplením OK ve fázi výstavby i provozu*



*LC50 – zatížení ochlazením spřažené desky ve fázi výstavby i provozu*



## 6.5 Kombinace zatížení

Kombinace zatížení ve všech fázích výstavby byly generovány automaticky programem, a to tak že každá kombinace příslušná dané fázi výstavby obsahovala zatěžovací stav přiřazený této fázi plus stálé zatěžovací stavy všech předešlých fází.

Kombinace pro provozní stadium byly sestaveny ručně dle tabulek v kapitole 5.

## 6.6 Redistribuce

Vlivem tahu v betonové desce nad pilíři dojde k jejímu popraskání a vzniku trhlin. To se projeví poklesem tuhosti konstrukce, jelikož beton v tahu nepůsobí, a „přetečení“ momentů z místa nad pilířem do pole.

Redistribuce byla na modelu provedena pomocí ortotropie, kdy v podélném směru byly prvky matice tuhosti nahrazeny novými; přepočtenou pomocí poměru modulů pružnosti z plochy výztuže na plochu betonu, a následně její výšku takovéto desky.

Redistribuce je provedena až ve fázi provozu, malým účinkem už se podílí během výstavby, kdy překročíme tahovou pevnost betonu, avšak vzniklé trhliny jsou minimální a dojde k jejich uzavření.

$$(D) = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \nu^2)} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - \nu}{2} \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = \frac{G \cdot h}{2}$$

$$d_{11} = d_{22} = \frac{E \cdot h}{1 - \nu^2}$$

$$d_{33} = G \cdot h$$

$$d_{12} = \frac{\nu \cdot E \cdot h}{1 - \nu^2}$$

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

Jelikož zjednodušený průřez desky je složen z tří jinak tlustých desek, bylo nutno provést tento přepočet třikrát.

### 6.6.1 Deska tloušťky 260 mm

V desce se nachází 14 prutů průměru 12 mm, tedy  $\varnothing 12 \text{ á } 60 \text{ mm}$  u spodního i horního povrchu.

Plocha prutu  $\varnothing 12$  je  $113 \text{ mm}^2$ .

$$A_{14} = 14 \cdot 113 = 1582 \text{ mm}^2$$

$b_{eff} = 6225 \text{ mm}$ , tedy šířka desky tloušťky 260 mm je  $b_1 = 0,8625 \text{ m}$ .

$$t_{1a} = \frac{2 \cdot A_{14}}{b_1} \cdot n_0 = \frac{2 \cdot 1582}{862,5} \cdot 6,4 = 23,478 \text{ mm}$$

$$(D) = \frac{32800 \cdot 23,478^3}{12 \cdot (1 - 0,2^2)} \begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 0,2}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,03685 & 0,00737 & 0 \\ 0,00737 & 0,03685 & 0 \\ 0 & 0 & 0,01473 \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = \frac{G \cdot h}{2} = \frac{13666,667 \cdot 23,478}{2} = 267,388 \text{ MNm}$$

$$(d) = \begin{bmatrix} 802,165 & 160,433 & 0 \\ 0 & 802,165 & 0 \\ 0 & 0 & 320,866 \end{bmatrix}$$



Původní matice

$$(D) = \frac{32800 \cdot 0,26^3}{12 \cdot (1 - 0,2^2)} \begin{bmatrix} 1 & 0,2 & 0 \\ 0,2 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 0,2}{2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 50,04278 & 10,00856 & 0 \\ 10,00856 & 50,04278 & 0 \\ 0 & 0 & 20,01711 \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = \frac{G \cdot h}{2} = \frac{13666,667 \cdot 0,26}{2} = 2961,11 \text{ MNm}$$

$$(d) = \begin{bmatrix} 8883,333 & 1776,667 & 0 \\ 0 & 8883,333 & 0 \\ 0 & 0 & 3553,333 \end{bmatrix}$$

Konečné prvky mimo diagonálu jsou spočteny jako geometrický průměr obou hodnot. Ve finální matici jsou nahrazeny prvky  $D_{11,12,44,55}$  a  $d_{11,12}$  novými hodnotami.

Finální matice

$$(D) = \begin{bmatrix} 0,03685 & 0,27158 & 0 \\ 0,27158 & 50,04278 & 0 \\ 0 & 0 & 20,01711 \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = 267,388 \text{ MNm}$$

$$(d) = \begin{bmatrix} 802,165 & 553,888 & 0 \\ 0 & 8883,333 & 0 \\ 0 & 0 & 3553,333 \end{bmatrix}$$

### 6.6.2 Deska tloušťky 300 mm

Dále bude uveden už jen zjednodušený výpočet.

V desce se nachází 45 prutů průměru 12 mm, tedy  $\varnothing 12 \text{ á } 60 \text{ mm}$  u spodního i horního povrchu.

Plocha prutu  $\varnothing 12$  je  $113 \text{ mm}^2$ .

$$A_{45} = 45 \cdot 113 = 5085 \text{ mm}^2$$

$b_{eff} = 6225 \text{ mm}$ , tedy šířka desky tloušťky 300 mm je  $b_2 = 4,0625 \text{ m}$ .

$$t_{2a} = 16,020 \text{ mm}$$

$$(D) = \begin{bmatrix} 0,01171 & 0,18973 & 0 \\ 0,18973 & 30,75 & 0 \\ 0 & 0 & 3416,667 \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = 182,45 \text{ MNm}$$

$$(d) = \begin{bmatrix} 547,35 & 473,723 & 0 \\ 0 & 10250 & 0 \\ 0 & 0 & 4100 \end{bmatrix}$$

### 6.6.3 Deska tloušťky 420 mm

Dále bude uveden už jen zjednodušený výpočet.

V desce se nachází 22 prutů průměru 12 mm, tedy  $\varnothing 12 \text{ á } 60 \text{ mm}$  u spodního i horního povrchu.

Plocha prutu  $\varnothing 12$  je  $113 \text{ mm}^2$ .

$$A_{22} = 22 \cdot 113 = 2486 \text{ mm}^2$$

$b_{eff} = 6225 \text{ mm}$ , tedy šířka desky tloušťky 420 mm je  $b_3 = 1,3 \text{ m}$ .

$$t_{2a} = 24,478 \text{ mm}$$

$$(D) = \begin{bmatrix} 0,04175 & 0,59359 & 0 \\ 0,59359 & 210,945 & 0 \\ 0 & 0 & 84,378 \end{bmatrix}$$

$$D_{44} = D_{55} = 4783,333 \text{ MNm}$$

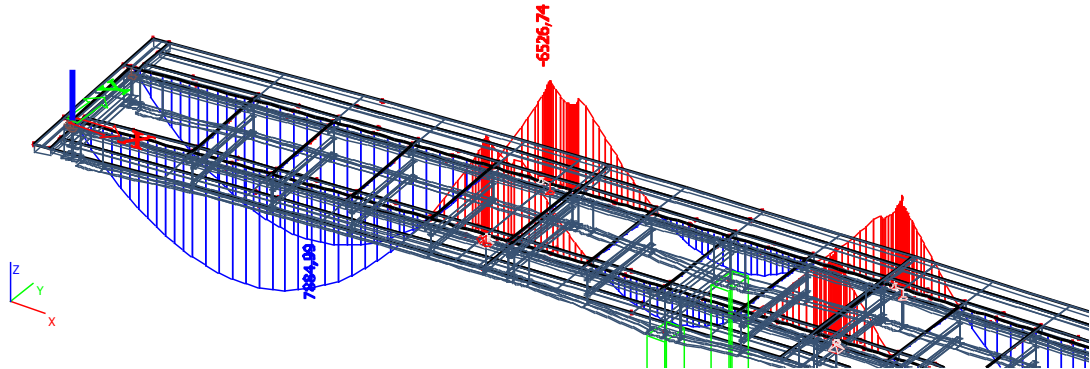


$$(d) = \begin{bmatrix} 836,332 & 692,859 & 0 \\ 0 & 14350 & 0 \\ 0 & 0 & 5740 \end{bmatrix}$$

## 6.7 Posouzení hlavního nosníku

### 6.7.1 Fáze výstavby

Při posouzení hlavního nosníku v montážním stádiu stadiu byla vybrána kombinace příslušná té fázi, ve které na ještě nespřážený hlavní nosník působí největší ohybový moment, tedy v kombinacích F7 a F13.



Maximální ohybový moment v poli a nad podporou

#### V poli

$$M_{Ed} = 7884,99 \text{ kNm}$$

Nosníku je bráněno v klopení pomocí ztužidel.

Nosník je posouzen pružně.

Stojina 3. třídy => celý průřez třídy 3

$$M_{b,Rd} = W_{y,ab} \cdot f_y = 0,042 \cdot 355 \cdot 10^3 = 14910 \text{ kNm} > M_{Ed} = 7884,99 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

#### Nad podporou

$$M_{Ed} = 7884,99 \text{ kNm}$$

Nosníku je bráněno v klopení pomocí ztužidel.

Nosník je posouzen pružně.

Stojina 3. třídy => celý průřez třídy 3

$$M_{b,Rd} = W_{y,at} \cdot f_y = 0,03 \cdot 355 \cdot 1000 = 10650 \text{ kNm} > M_{Ed} = 6526,74 \text{ kNm} \quad \text{Vyhovuje}$$

V této fázi je ocelová konstrukce nejnáchylnější ke ztrátě stability, tomu je bráněno pomocí trvalých i dočasných ztužidel.

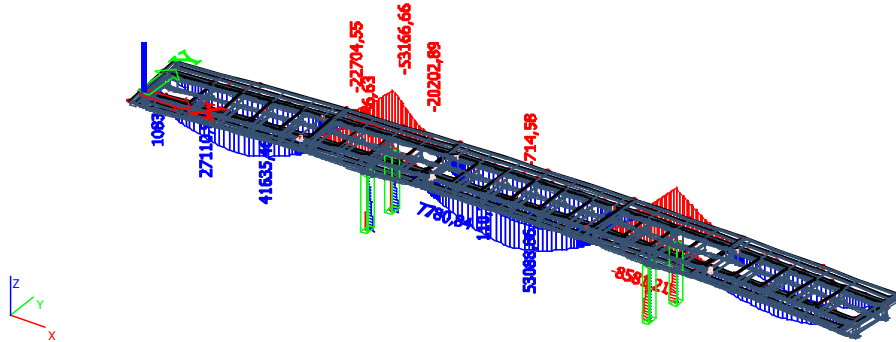
Posouzení na smyk v této fázi nemá smysl neboť posouvající síla ve fázi provozu bude větší.



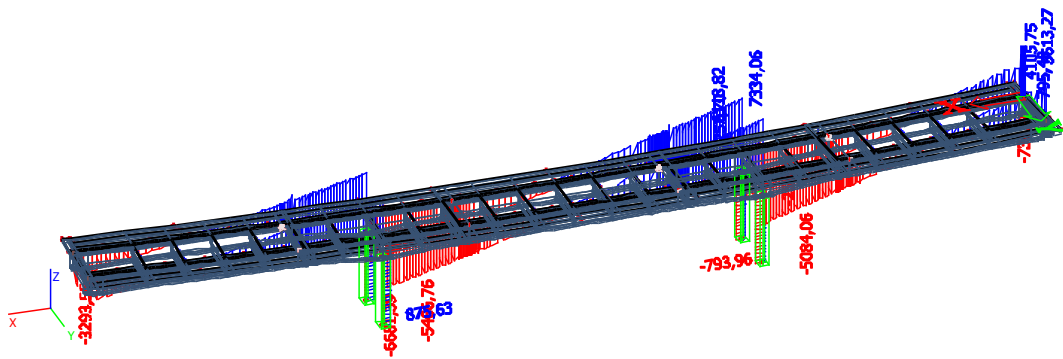
## 6.7.2 Provozní fáze

### 6.7.2.1 Průběh vnitřních sil

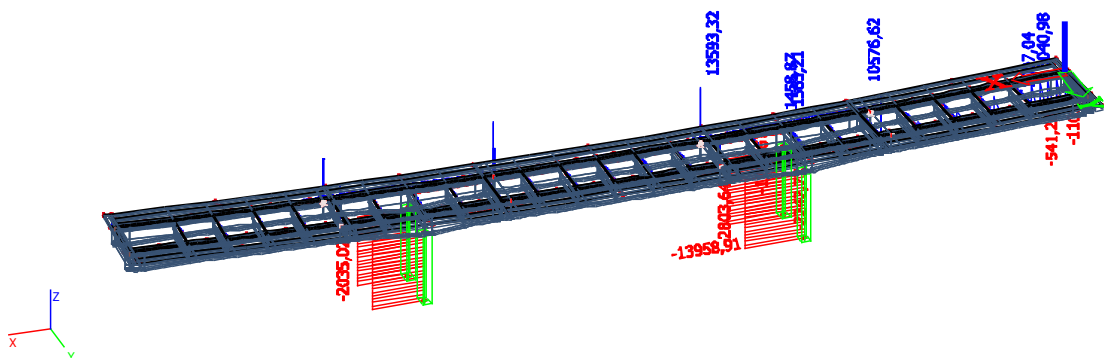
Pro posouzení provozní fáze byla vygenerována obálka ohybových momentů, posouvajících sil i sil normálových, ostatní síly v posudku na MSÚ nejsou zahrnuty, jelikož by bylo takřka nemožné provést ruční výpočty.



*Obálka ohybových momentů v provozním stádiu*



*Obálka posouvajících sil v provozním stádiu*



*Obálka normálových sil v provozním stádiu*

*Vznik nepřesností, tedy příliš vysokých hodnot („piků“), příkládám spolupůsobení dočasných podpor, jelikož pomocí nich nelze vystihnout skutečný charakter působení.*



### 6.7.2.2 Posouzení středního pole

#### Únosnost v ohybu:

$$\begin{aligned} \text{Beton:} \quad & C30/37 & f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa} \\ \text{Ocel:} \quad & S355 & f_y = \frac{f_{yk}}{\gamma_y} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 53\,088,86 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -1054,28 \text{ kNm}$$

Vlivem tlaku dochází k zmenšení ohybové únosnosti.

Normálová síla působí v těžišti průřezu.

$$N_{c1} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t_1 \cdot b_{eff1} = 0,85 \cdot 20 \cdot 0,26 \cdot 7 = 30,94 \text{ MN}$$

$$N_{c2} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t_2 \cdot b_{eff2} = 0,85 \cdot 20 \cdot (0,3 - 0,26) \cdot 5,75 = 3,91 \text{ MN}$$

$$N_{c3} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t_3 \cdot b_{eff3} = 0,85 \cdot 20 \cdot (0,44 - 0,3) \cdot 1,3 = 3,094 \text{ MN}$$

$$N_a = A_a \cdot f_y = 0,114 \cdot 355 = 40,47 \text{ MN}$$

$$N_{c1} + N_{c2} + N_{c3} + N_{Ed} + 2 \cdot N_{a1} = N_a \quad \Rightarrow \text{N.O. v pásnici – nosník 1. třídy}$$

$$30,94 + 3,91 + 3,094 + 1,054 + 2 \cdot x \cdot b_1 \cdot f_y = 40,47$$

$$x = 0,00344 \text{ m}$$

$$N_{a1} = x \cdot b_1 \cdot f_y = 0,00344 \cdot 0,6 \cdot 355 = 0,733 \text{ MN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= N_{c1} \cdot e_{c1} + N_{c2} \cdot e_{c2} + N_{c3} \cdot e_{c3} + N_{Ed} \cdot e_b + 2 \cdot N_{a1} \cdot e_{a1} - N_a \cdot e_a = \\ &= 30,94 \cdot \frac{0,26}{2} + 3,91 \cdot \left(0,3 - \frac{0,3 - 0,26}{2}\right) + 3,094 \cdot \left(0,44 - \frac{0,44 - 0,3}{2}\right) + \\ &+ 1,054 \cdot 557,9 + 2 \cdot 0,733 \cdot \left(0,42 + \frac{0,00344}{2}\right) - 40,47 \cdot (0,42 + 1,31947) = 64\,297,1 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{53\,088,86}{64\,297,1} = 0,826 \quad \text{Vyhovuje}$$

#### Únosnost ve smyku:

$$V_{Ed} = 4\,125,70 \text{ kN}$$

$$A_w = t_w \cdot h_w = 20 \cdot 2100 = 42\,000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{42\,000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 8\,608,292 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 8\,608,292 = 4\,304,146 \text{ kN} > V_{Ed} = 4\,125,70 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

$$\text{Vzdálenost výztuh:} \quad a = 2\,550 \text{ mm}$$

$$\text{Délka výztuhy uprostřed nosníku:} \quad l_v \cong 360 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka výztuhy:} \quad t_v = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Započítaná část stojiny:} \quad 30\varepsilon \cdot t = 30 \cdot 0,814 \cdot 20 = 488,4 \text{ mm}$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} 16 \cdot (2 \cdot 360 + 20)^3 = 5,403 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$k_{rst} = 9 \left[ \frac{h_w}{a} \right]^2 \left[ \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right]^{3/4} = 9 \left[ \frac{2,1}{2,55} \right]^2 \left[ \frac{5,403 \cdot 10^8}{20^3 \cdot 2\,100} \right]^{3/4} = 82,432$$





$$k_{\tau} = 4 + 5,34 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau st} = 4 + 5,34 \left( \frac{2,1}{2,55} \right)^2 + 82,432 = 90,484$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{b_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{2100}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \sqrt{90,484}} = 0,363 < \frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,2} = 0,692 \rightarrow \chi_w = 1,2$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Sd}}{\chi_w b t f_{yd} / \sqrt{3}} = \frac{4125,70}{1,2 \cdot 2100 \cdot 20 \cdot 355 / \sqrt{3}} = 0,399 < 0,5 \quad \text{Vyhovuje}$$

### 6.7.2.3 Posouzení krajního pole

$$M_{Ed} = 41\,635,43 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -872,11 \text{ kNm}$$

Vlivem tlaku dochází k zmenšení ohybové únosnosti.

Normálová síla působí v těžišti průřezu.

$$N_{c1} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t_1 \cdot b_{eff1} = 0,85 \cdot 20 \cdot 0,26 \cdot 7 = 30,94 \text{ MN}$$

$$N_{c2} = 0,85 \cdot f_{cd} \cdot t_2 \cdot b_{eff2} = 0,85 \cdot 20 \cdot (0,3 - 0,26) \cdot 5,75 = 3,91 \text{ MN}$$

$$N_a = A_a \cdot f_y = 0,108 \cdot 355 = 38,34 \text{ MN}$$

$$N_{c1} + N_{c2} + N_{c3} + N_{Ed} = N_a \quad \Rightarrow \text{N.O. v 3 části betonové desky – nosník 1. třídy}$$

$$30,94 + 3,91 + 0,85 \cdot x \cdot b_{c3} \cdot f_{cd} + 0,872 = 38,34$$

$$x = 0,118 \text{ m}$$

$$N_{c3} = 0,85 \cdot x \cdot b_{c3} \cdot f_{cd} = 0,85 \cdot 0,118 \cdot 1,3 \cdot 20 = 2,6078 \text{ MN}$$

$$\begin{aligned} M_{pl,Rd} &= N_{c1} \cdot e_{c1} + N_{c2} \cdot e_{c2} + N_{c3} \cdot e_{c3} + N_{Ed} \cdot e_b - N_a \cdot e_a = \\ &= 30,94 \cdot \frac{0,26}{2} + 3,91 \cdot \left( 0,3 - \frac{0,3 - 0,26}{2} \right) + 2,608 \cdot \left( 0,3 + \frac{0,118}{2} \right) + \\ &\quad + 0,872 \cdot 572,3 - 38,34 \cdot (0,42 + 1,149) = 51,665 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} = \frac{41\,635,43}{51\,665,3} = 0,806 \quad \text{Vyhovuje}$$

### Únosnost ve smyku:

$$V_{Ed} = 3\,402,84 \text{ kN}$$

$$A_w = t_w \cdot h_w = 20 \cdot 1800 = 36\,000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{36\,000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 7\,378,536 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 7\,378,536 \text{ kN} = 3\,689,268 \text{ kN} > V_{Ed} = 3\,402,84 \text{ kN} \rightarrow \text{Malý smyk}$$

$$\text{Vzdálenost výztuh:} \quad a = 2\,600 \text{ mm}$$

$$\text{Délka výztuhy uprostřed nosníku:} \quad l_v \cong 360 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka výztuhy:} \quad t_v = 16 \text{ mm}$$

$$\text{Započítaná část stojiny:} \quad 30\varepsilon \cdot t = 30 \cdot 0,814 \cdot 20 = 488,4 \text{ mm}$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} 16 \cdot (2 \cdot 360 + 20)^3 = 5,403 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$k_{\tau st} = 9 \left[ \frac{h_w}{a} \right]^2 \left[ \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right]^{3/4} = 9 \left[ \frac{2,1}{2,6} \right]^2 \left[ \frac{5,403 \cdot 10^8}{20^3 \cdot 1800} \right]^{3/4} = 67,984$$





$$k_{\tau} = 4 + 5,34 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau st} = 4 + 5,34 \left( \frac{2,1}{2,55} \right)^2 + 67,984 = 75,318$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{b_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{1\,800}{37,4 \cdot 16 \cdot 0,81 \sqrt{75,318}} = 0,466 < \frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,2} = 0,692 \rightarrow \chi_w = 1,2$$

$$\eta_3 = \frac{V_{Sd}}{\chi_w b t f_{yd} / \sqrt{3}} = \frac{3\,402,84}{1,2 \cdot 1\,800 \cdot 20 \cdot 355 / \sqrt{3}} = 0,384 < 0,5 \quad \text{Vyhovuje}$$

#### 6.7.2.4 Posouzení nad podporou

$$M_{Ed} = 53\,166,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -2\,242,17 \text{ kNm}$$

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

Příčná výztuž:  $\emptyset 20/100$

Hlavní podélná výztuž:  $\emptyset 12/60 \quad A_1 = \frac{12^2}{4} \pi = 36\pi = 113 \text{ mm}^2$

$$d = 55 + 20 + \frac{12}{2} = 87,5 \text{ mm}$$

Neutrální osa: (od shora)

$$H = t_d + h = 420 + 2\,640 = 3\,060 \text{ mm}$$

$n_{a1} = 14$  prutů  $\emptyset 12$  v desce tl. 260 mm při obou površích

$n_{a2} = 67$  prutů  $\emptyset 12$  v desce tl. 300 mm při obou površích

$n_{a3} = 22$  prutů  $\emptyset 12$  v desce tl. 300 mm při obou površích

$$e_a = 1\,692,0899 \text{ mm}$$

$$I_a = 2,72 \cdot 10^{11} \text{ mm}^4$$

$$\sigma_a = \frac{N_{Ed}}{A_a} = \frac{N_{Ed}}{A_a} = -\frac{2\,242,17}{0,181} = 12,39 \text{ MPa (tlak)}$$

$$\sigma_{y,st} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - d) - \sigma_a = \frac{53\,166,65}{0,272} (1\,692 - 81) - 12,39 = 302,893 \text{ MPa} < f_{sd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,at} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d) - \sigma_a = \frac{53\,166,65}{0,272} (1\,692 - 420) - 12,39 = 236,552 \text{ MPa} < f_{yd} = 335 \text{ MPa}$$

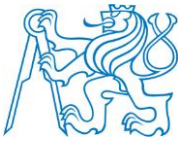
$$\sigma_{y,wt} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (e_a - t_d - t_{f1}) - \sigma_a = \frac{53\,166,65}{0,272} (1\,692 - 480) - 12,39 = 224,81 \text{ MPa} < f_{yd} = 335 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,wb} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a - t_{f2}) - \sigma_a = \frac{53\,166,65}{0,272} (3\,060 - 1\,772) - 12,39 = -264,428 \text{ MPa} < f_{yd} = 335 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{y,ab} = \frac{M_{ed,n}}{I_a} (H - e_a) - \sigma_a = \frac{53\,166,65}{0,272} (3\,060 - 1\,692) - 12,39 = -280,083 \text{ MPa} < f_{yd} = 335 \text{ MPa}$$

Zatřídění stojiny:

$$\psi = -\frac{\sigma_{y,wb}}{\sigma_{y,wt}} = -\frac{224,81}{264,428} = -0,850$$



$$\frac{c}{t} = \frac{h_w}{t_w} = \frac{2500}{30} = 83,3 < \frac{42\varepsilon}{0,67 + 0,33\psi} = \frac{42 \cdot 0,814}{0,67 + 0,33 \cdot -0,850} = 87,745 \rightarrow \text{stojina třídy 3}$$

Zatřídění dolní tlačené pásnice:

$$c = (b_1 - t_w)/2 = (800 - 30)/2 = 385 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t_{f2}} = \frac{385}{80} = 4,8125 < 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \rightarrow \text{pásnice třídy 1.}$$

Celý průřez třídy 3.

- Posouzení na smyk:

$$V_{Ed} = 7\,334,06 + 5\,680,74 = 13\,014,8 \text{ kN}$$

$$A_w = t_w \cdot h_w = 30 \cdot 2500 = 75\,000 \text{ mm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_w \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{75\,000 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 15\,371,95 \text{ kN}$$

$$0,5 V_{pl,Rd} = 0,5 \cdot 15\,371,95 = 7685,974 \text{ kN} < V_{Ed} = 13\,014,8 \text{ kN} \rightarrow \text{Velký smyk}$$

Nutno posoudit kombinaci smyku a ohybu.

Délka výztuhy uprostřed nosníku:  $l_v = 360 \text{ mm}$

Tloušťka výztuhy:  $t_v = 25 \text{ mm}$

Započítaná část stojiny:  $30\varepsilon \cdot t = 30 \cdot 0,814 \cdot 30 = 732,6 \text{ mm}$

$$I_{st} = \frac{1}{12} 25 \cdot (2 \cdot 360 + 30)^3 = 8,19 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$A = 1465,2 \cdot 30 + 2 \cdot 25 \cdot 360 = 39\,960 \text{ mm}^2$$

$$i = \sqrt{\frac{I_{st}}{A}} = \sqrt{\frac{8,19 \cdot 10^8}{39\,960}} = 143,175 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{0,75 \cdot b}{i} = \frac{0,75 \cdot 2\,500}{143,175} = 13,096$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9\varepsilon} = \frac{13,096}{93,9 \cdot 0,814} = 0,171 \rightarrow \chi = 1,014 \text{ (křivka c)}$$

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 1,014 \cdot 39\,960 \cdot 355 = 14\,393,6 \text{ kN} > V_{Ed} = 13\,014,8 \text{ kN} \quad \text{Vyhovuje}$$

$$k_{\tau st} = 9 \left[ \frac{h_w}{a} \right]^2 \left[ \frac{I_{st}}{t^3 h_w} \right]^{3/4} = 9 \left[ \frac{2,5}{2,6} \right]^2 \left[ \frac{8,19 \cdot 10^8}{30^3 \cdot 2500} \right]^{3/4} = 54,1$$

$$k_{\tau} = 4 + 5,34 \left( \frac{h_w}{a} \right)^2 + k_{\tau st} = 4 + 5,34 \left( \frac{2,5}{2,6} \right)^2 + 54,1 = 63,14$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{b_w}{37,4 t \varepsilon \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{2500}{37,4 \cdot 30 \cdot 0,81 \sqrt{63,14}} = 0,345 < \frac{0,83}{\eta} = \frac{0,83}{1,2} = 0,692 \rightarrow \chi_w = 1,2$$

$$\tau = \frac{V_{Ed}}{\chi_w \cdot A_w} = \frac{13\,014\,800}{1,2 \cdot 75\,000} = 144,609 \text{ MPa}$$

- Kombinace smyku a ohybu:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{y,wb}^2 + 3 \cdot \tau^2} = \sqrt{264,428^2 + 3 \cdot 144,609^2} = 344,221 \text{ MPa}$$



$$\frac{\sigma}{f_{yd}} = \frac{344,21}{355} = 0,969 < 1 \quad \text{Vyhovuje}$$

- Stabilita tlačené pásnice:

$$I_{f2} = \frac{1}{12} t_{f2} \cdot b_2^3 = \frac{1}{12} 80 \cdot 800^3 = 3,41 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

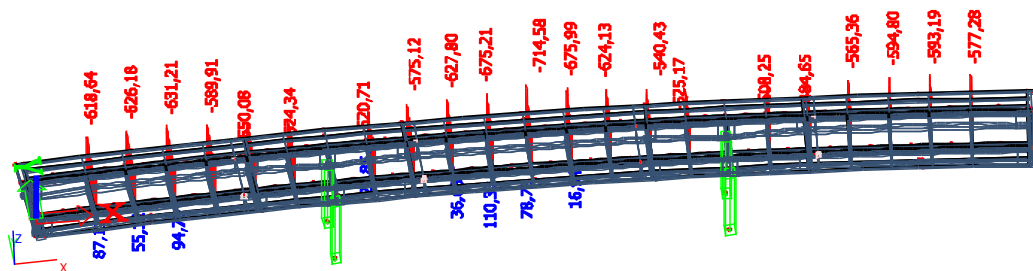
$$i = \sqrt{\frac{I_{f2}}{A_{f2}}} = \sqrt{\frac{3,41 \cdot 10^9}{80 \cdot 800 + 625 \cdot 30}} = 203,098 \text{ mm}$$

$$40i = 40 \cdot 203,098 = 8\,123,9 \text{ mm} \rightarrow \text{ztužení po } 5,2 \text{ m}$$

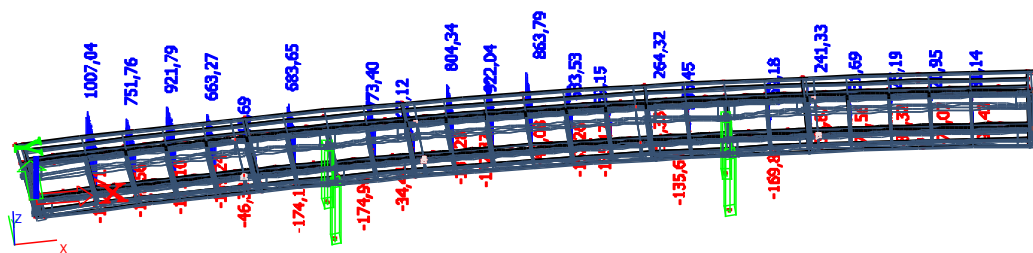
$$\frac{5,2}{8\,123,9} = 0,64 \quad \text{Vyhovuje}$$

## 6.8 Posouzení ztužení

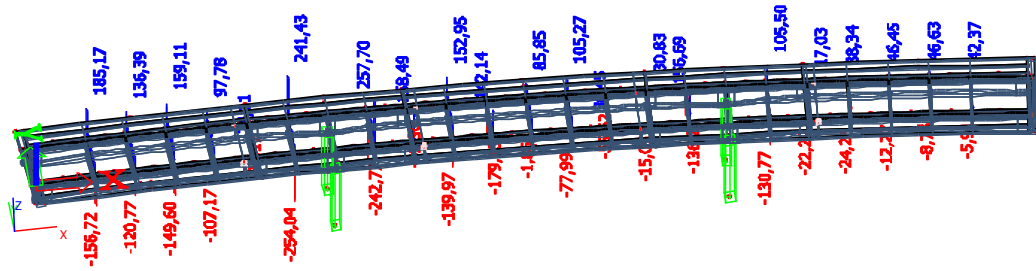
HEB1000



Obálka ohybových momentů ztužení v provozním stádiu



Obálka normálových sil ztužení v provozním stádiu



Obálka posouvajících sil ztužení v provozním stádiu

$$M_{Ed} = 618,64 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1007,04 \text{ kNm (tah)}$$

$$N_{Ed} = 174,9 \text{ kNm (tlak)}$$

$$V_{Ed} = 257,07 \text{ kNm}$$

### Zatřídění průřezu

$$\varepsilon = 0,81 \text{ pro ocel S 355}$$

Stěna na tlak:

$$c = 868 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{868}{19} = 45,68 \leq 42\varepsilon = 42 \cdot 0,81 = 34,02$$

Stěna třídy 4

Stěna na ohyb:

$$c = 868 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{868}{19} = 45,68 \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

Stěna třídy 1

Stěna namáhána kombinací ohybu a tlaku:

$$c = 868 \text{ mm}$$

$$\frac{c}{t} = \frac{868}{19} = 45,68$$

$$\alpha = 0,5 \left[ 1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot 0,25 \cdot A} \right] = 0,5 \left[ 1 + \frac{174 \cdot 900}{355 \cdot 0,25 \cdot 40 \cdot 000} \right] = 0,525; \quad -1 \leq \alpha \leq 1$$

$$\frac{c}{t} = 45,68 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,828 - 1} = 55,07$$

Stěna třídy 1

Celý průřez třídy 1

Průřez klopí

$$\chi_{LT} = 0,645 \text{ (křivka vzpěrné pevnosti – b)}$$



### Kombinace ohybu a tlaku

$$L_{cr,y} = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 6,2 = 3,1 \text{ m} \quad \lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3 \cdot 100}{401} = 7,73$$

$$L_{cr,z} = 0,5 \cdot h = 0,5 \cdot 6,2 = 3,1 \text{ m} \quad \lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3 \cdot 100}{63,8} = 48,59$$

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{7,73}{76,399} = 0,101 \quad \chi_y = 1 \text{ (křivka vzpěrné pevnosti - a)}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{48,59}{76,399} = 0,636 \quad \chi_z = 0,833 \text{ (křivka vzpěrné pevnosti - a)}$$

$$\alpha_h = \frac{M_s}{M_h} = 1$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05\alpha_h = 1$$

$$k_{yy} = \min \left[ C_{my} \left( 1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right); C_{my} \left( 1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \right] = \min[1,087; 1,0]$$

$$k_{yy} = 1,0$$

$$k_{zy} = 0,6k_{yy} = 0,6$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1$$

$$\frac{174 \ 900}{0,833 \cdot \frac{355 \cdot 40 \ 000}{1}} + 0,6 \frac{618 \ 640}{0,645 \cdot \frac{355 \cdot 14860}{1 \ 000}} = 0,0148 + 0,109 = 0,123 \leq 1$$

Vyhoví

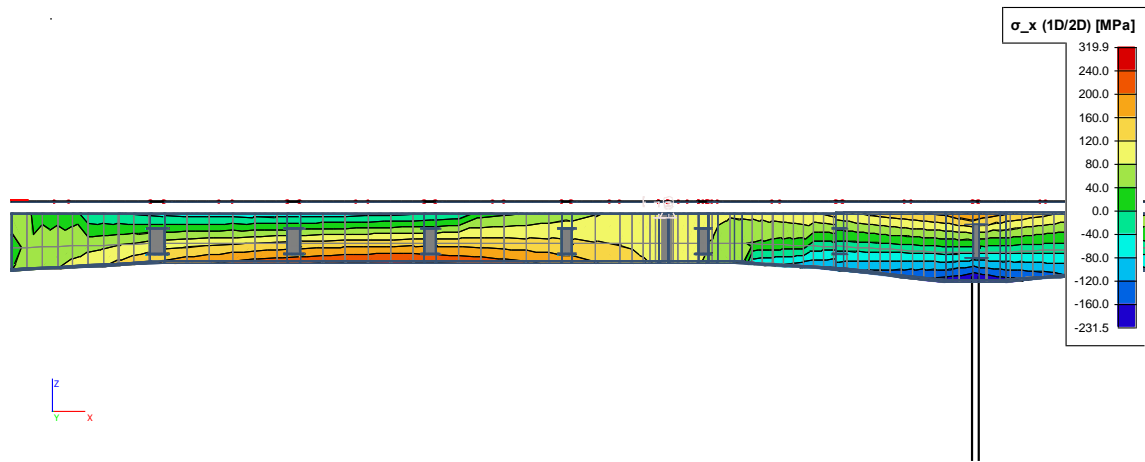
Na zbytek vnitřních sil není třeba posuzovat, jelikož síly jsou malé a průřez bez problémů vyhoví.

Z tohoto výpočtu lze předpokládat, že vyhoví i příčníky, jelikož neklopí a jsou rozměrnější (a zapadají do třídy 3), též lze předpokládat, že vyhoví při přesunu smontované části konstrukce na podpěry, avšak je nutné to doložit výpočtem, v následujícím stupni dokumentace.

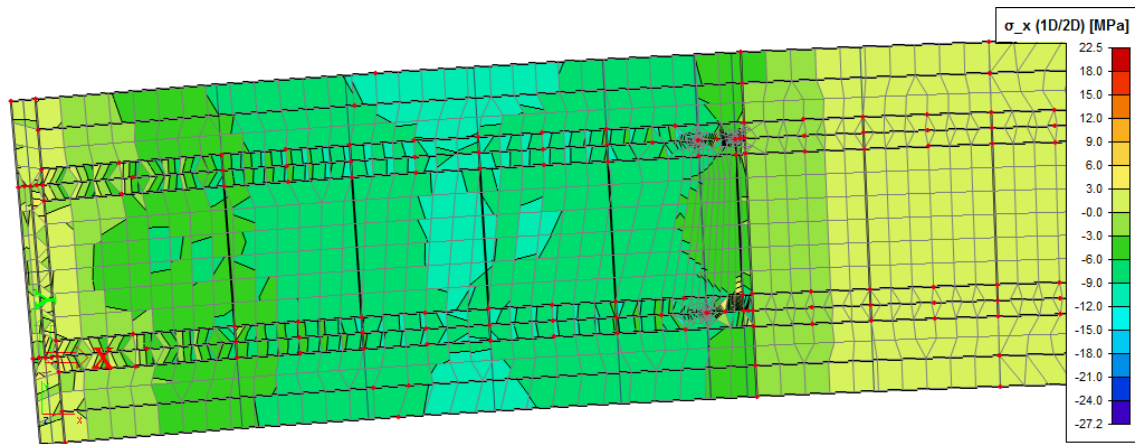


## 6.9 Posouzení MSÚ

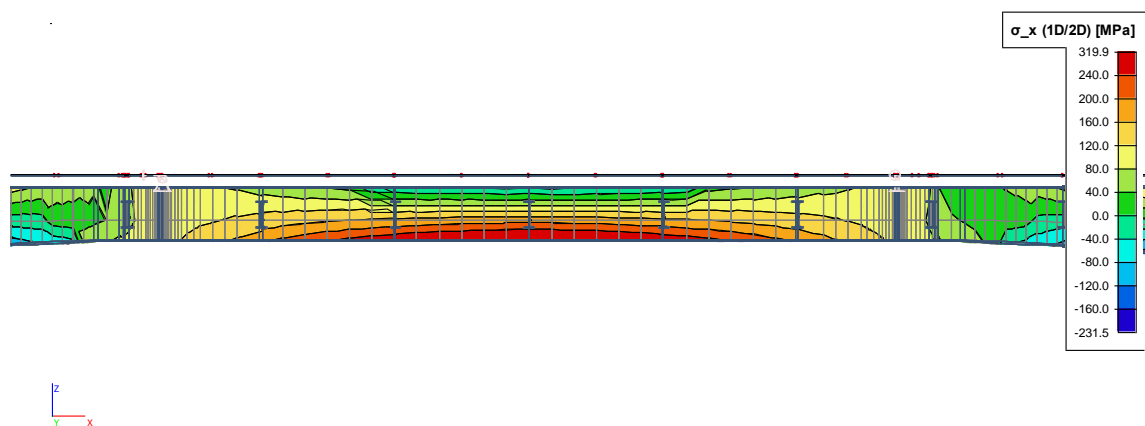
### 6.9.1 Napětí v průřezích



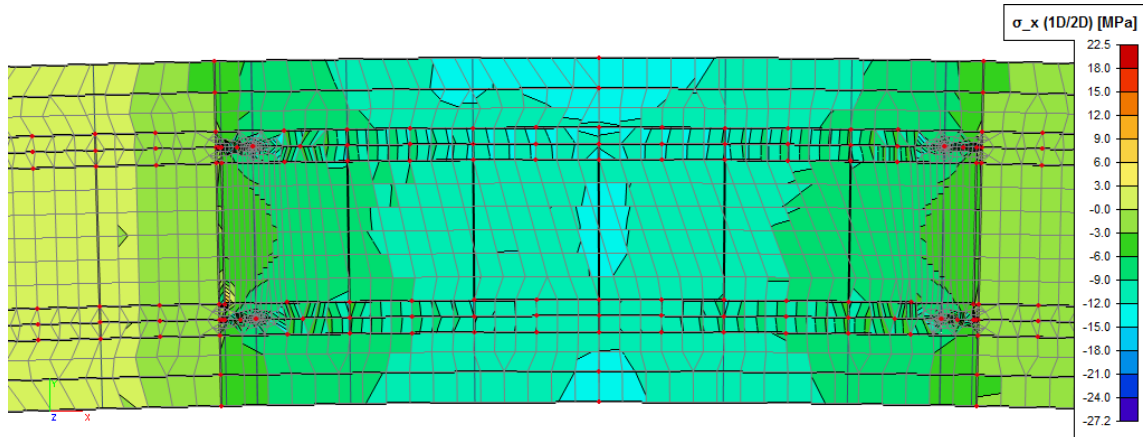
*Napětí po průřezu krajního pole a úseku nad pilířem*



*Napětí v betonu krajního pole*



*Napětí po průřezu středního pole*



*Napětí v betonu středního pole*

Veškeré napětí vyhovuje podmínkám, pro ocel  $\sigma_y < 355$  MPa; pro beton  $\sigma_c < 0,6f_{ck} = 18$  MPa, tak aby nevznikaly podélné trhliny.

## 6.9.2 Posouzení trhlín

V oblasti vnitřních prostor je třeba zajistit, aby šířka trhlinek v betonové desce nebyla větší než  $w_k = 0,2$  mm. Tudíž napětí ve výztuži nesmí překročit 240 MPa, pruty nesmí mít průměr více jak 12 mm a rozteč více jak 50 mm.

Dle stejného výpočtu jako při posouzení části nosníku nad pilířem je pro moment 43 248,38 napětí v horní výztuži 225,987 MPa a ve spodní 187,8136 MPa, tedy  $\sigma_{cs} = 206,897$  MPa

$$a_{st} = \frac{A_i \cdot I_i}{A_a \cdot I_a} = \frac{498\,556 \cdot 5,67 \cdot 10^{11}}{175\,000 \cdot 1,97 \cdot 10^{11}} = 8,199$$

$$\rho = \frac{A_s}{A_{ct}} = \frac{2 \cdot 11639}{1\,989\,000} = 0,0235$$

$$\sigma_c = \sigma_{cs} + \frac{0,4 f_{ctm}}{a_{st} \rho} = 206,897 + \frac{0,4 \cdot 2,9}{8,199 \cdot 0,0235} = 212,917 \text{ MPa}$$

$$k = 0,8$$

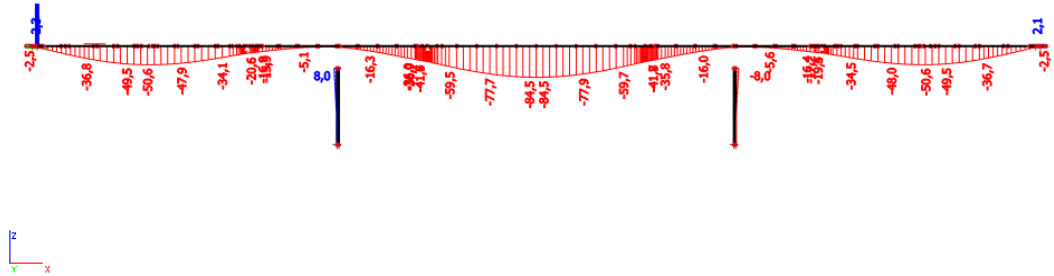
$$k_c = \frac{1}{1 + \frac{h_c}{2z_0}} = \frac{1}{1 + \frac{420}{2(807,9 - 210)}} = 0,74$$

$$\rho_s \geq \frac{0,9 k_c f_{ctm}}{\sigma_s} = \frac{0,9 \cdot 0,74 \cdot 0,8 \cdot 2,9}{240} = 0,006$$

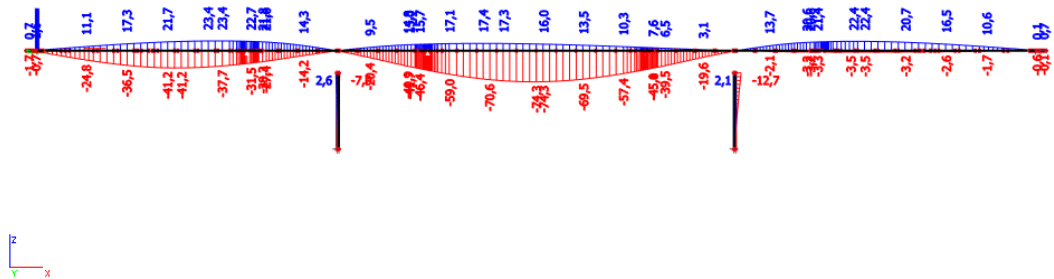
*Vyhovuje*



## 6.9.3 Průhyb



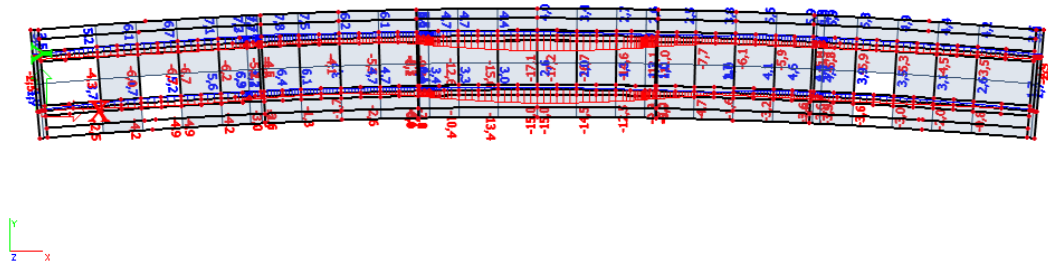
Průhyb od stálého zatížení



Průhyb od dopravy

Průhyb od zatížení dopravou splňuje podmínku maximálního průhybu  $L/300$

Proběhne nadvýšení o hodnotu průhybu stálého +  $\frac{1}{4}$  dopravy.

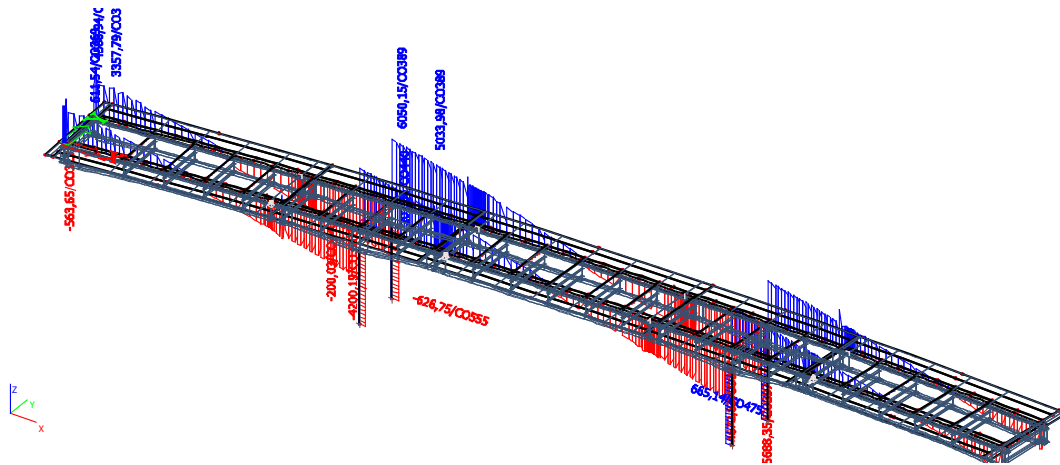


Maximální pohyb nosníku od osy při provozu





## 6.9.4 Návrh sprážení



Obálka posouvajících sil na MSP

### Trny

$$d = 22 \text{ mm}$$

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$h = 250 \text{ mm}$$

$$E_{cm} = 32\,800 \text{ MPa}$$

$$f_u = 340 \text{ MPa}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{250}{22} = 11,364 \Rightarrow \alpha = 1$$

$$\begin{aligned} P_{Rk} &= \min\left(0,8f_u \frac{\pi d^2}{4}; 0,29\alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}}\right) = \\ &= \min\left(0,8 \cdot 340 \frac{\pi 22^2}{4}; 0,29 \cdot 22^2 \sqrt{30 \cdot 32\,800}\right) = \\ &= \min(103,396; 139,233) = 103,396 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$0,6 P_{Rk} = 0,6 \cdot 103,396 = 82,717 \text{ kN}$$

### 6.9.4.1 Nad podporou

$$V_1 = V_{Ed} \frac{S_i}{I_i} = 6\,050,15 \cdot 10^3 \frac{2,23 \cdot 10^8}{5,67 \cdot 10^{11}} = 2375 \text{ N/mm}$$

$$N_{sk} = V_1 e_1 = 2375 \cdot 100 = 237,5 \text{ kN} < 5 \cdot 82,717 = 413,585 \text{ kN}$$

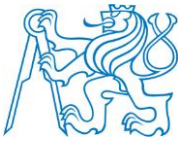
Na vzdálenost 12 m od podpory bude 5 trnů v řadě po 100 mm (tedy rozteče 100 x 100), což vyhoví i pro MSÚ.

### 6.9.4.2 V středním poli

$$V_1 = V_{Ed} \frac{S_i}{I_i} = 4\,022,36 \cdot 10^3 \frac{1,42 \cdot 10^8}{3,15 \cdot 10^{11}} = 1814,78 \text{ N/mm}$$

$$N_{sk} = V_1 e_1 = 1815 \cdot 100 = 181,48 \text{ kN} < 3 \cdot 82,717 = 248,151 \text{ kN}$$

Na zbylou vzdálenost v poli budou 3 trny v řadě po 100 mm (tedy rozteče 100 x 100), což vyhoví i pro MSÚ.



### 6.9.4.3 V krajním poli

$$V_1 = V_{Ed} \frac{S_i}{I_i} = 3\,407,12 \cdot 10^3 \frac{1,17 \cdot 10^8}{2,38 \cdot 10^{11}} = 1682,90 \text{ N/mm}$$

$$N_{sk} = V_1 e_1 = 1682 \cdot 100 = 168,29 \text{ kN} < 3 \cdot 82,717 = 248,151 \text{ kN}$$

Na zbylou vzdálenost v krajním poli budou 3 trny v řadě po 100 mm (tedy rozteče 100 x 100), což vyhoví i pro MSÚ.

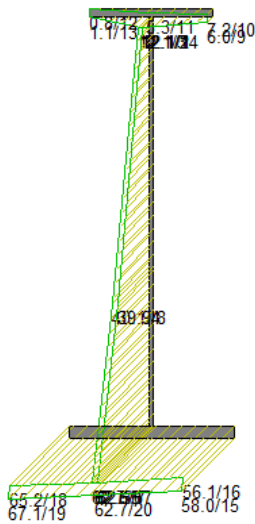
## 6.10 Překlopení

V žádné kombinaci nedošlo k tahu pilířů, z tohoto hlediska most vyhovuje na překlopení.

## 6.11 Únava

### 6.11.1 Normálové síly v prostředním poli

Ve středním poli byl umístěn model na únavu LM3 z důvodu posouzení normálových napětí.



$$\Delta\sigma = 67,1 \text{ MPa}$$

$$\lambda = \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \lambda_4$$

$$\lambda_1 = 2,55 - \frac{0,7(51-10)}{70} = 2,14 \text{ (uprostřed rozpětí prostředního pole)}$$

$$\lambda_2 = 0,417 \quad \text{pro } 500\,000 \text{ TNV za rok}$$

$$\lambda_3 = 1 \quad \text{pro životnost } 100 \text{ let}$$

$$\lambda_4 = 1 \quad \text{pro jeden pruh TNV}$$

$$\lambda = 2,14 \cdot 0,417 \cdot 1 \cdot 1 = 0,892 < \lambda_{max} = 2,0$$

$$\Delta\sigma_E = \lambda \cdot \Delta\sigma = 0,892 \cdot 67,1 = 59,879 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{Ff} \cdot \gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_E / \Delta\sigma_C \leq 1$$

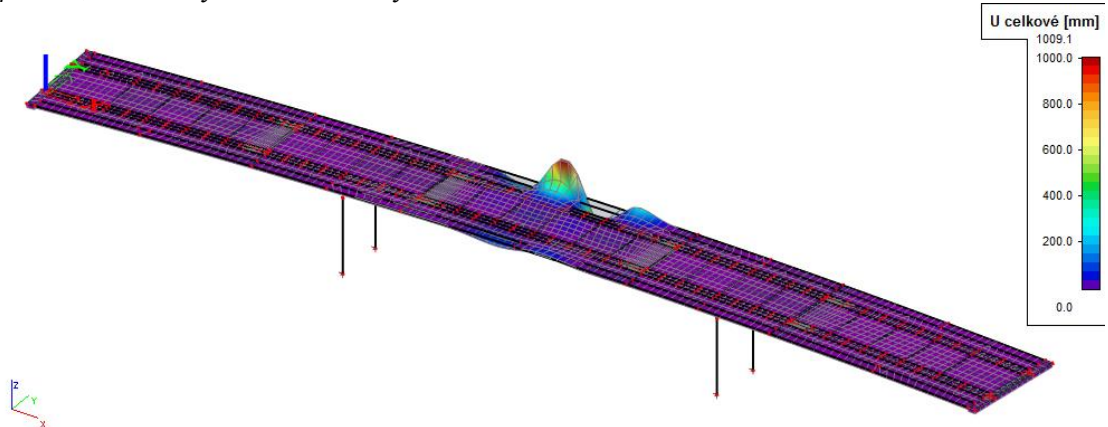
$$1,15 \cdot 1 \cdot \frac{59,879}{80} = 0,861 < 1$$

Vyhovuje



## 6.12 Stabilita

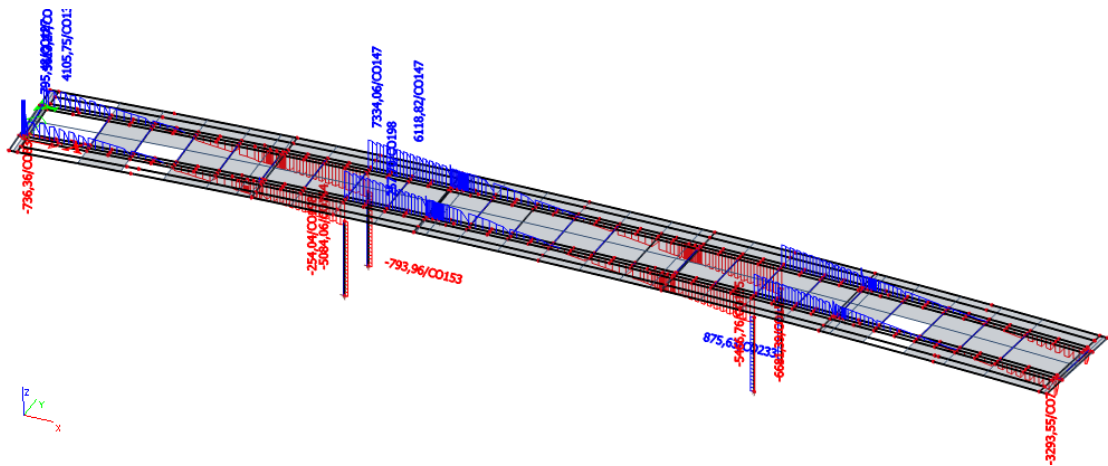
Z důvodu složitosti konstrukce a spřažení byla posouzena konstrukce na stabilitu.  
 $\alpha_{cr} = 26,18$  lze tedy uvažovat s analýzou 1. řádu



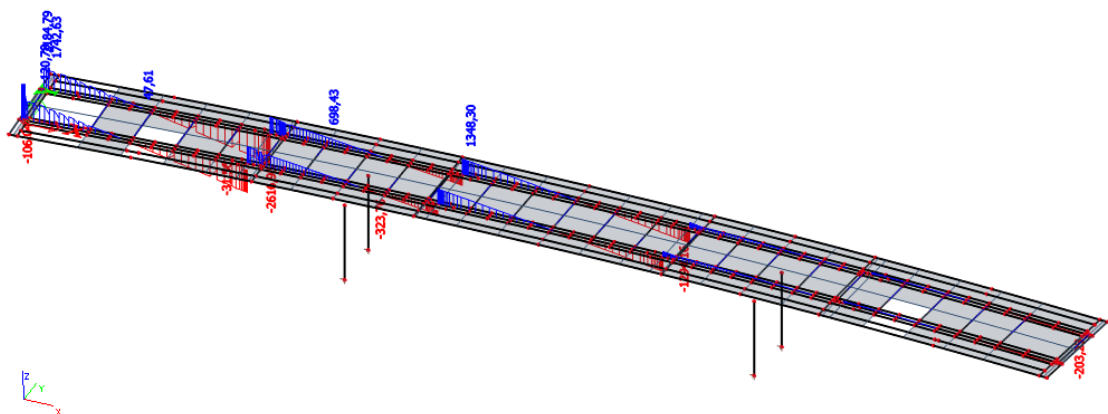
*Vybočení během provozu – nejmenší  $\alpha_{cr} = 26,18$*

## 6.13 Svary hlavního nosníku

Pro názornost v prostředním poli.



*Obálka posouvajících sil – provoz*



*Obálka posouvajících sil – tekutý beton ve středním poli*



$$V_{sd,1} = 1348,30 \text{ kN}$$

Posouvající síla před spřažením

$$V_{sd,2} = 5123,13 - 1348,30 = 3774,83 \text{ kN}$$

Posouvající síla v okamžiku uvedení do provozu

$$a_{we} = 6 \text{ mm}$$

### Svar horní pásnice

$$\tau_{II,d,1} = \frac{V_{sd,1} \cdot S_{y,a}}{I_{y,a} \cdot 2a_{we}} = \frac{1348,30 \cdot 10^3 \cdot 600 \cdot 40 \cdot (1319,5 - 20)}{9,29 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 6} = 37,71 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,d,2} = \frac{V_{sd,2} \cdot S_{y,i}}{I_{y,i} \cdot 2a_{we}} = \frac{3774,83 \cdot 10^3 \cdot (600 \cdot 40 \cdot (572,8 - 460) + 121,14 \cdot 10^6)}{3,15 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 6} = 145,59 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,d,1} + \tau_{II,d,2} = 37,71 + 145,59 = 183,31 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{1 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{3}} = 188,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje

### Svar horní pásnice

$$\tau_{II,d,1} = \frac{V_{sd,1} \cdot S_{y,a}}{I_{y,a} \cdot 2a_{we}} = \frac{1348,30 \cdot 10^3 \cdot 800 \cdot 60 \cdot (880,5 - 30)}{9,29 \cdot 10^{10} \cdot 2 \cdot 6} = 49,37 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,d,2} = \frac{V_{sd,2} \cdot S_{y,i}}{I_{y,i} \cdot 2a_{we}} = \frac{3774,83 \cdot 10^3 \cdot 800 \cdot 60 \cdot (2067,2 - 30)}{3,15 \cdot 10^{11} \cdot 2 \cdot 6} = 97,65 \text{ MPa}$$

$$\tau_{II,d,1} + \tau_{II,d,2} = 49,37 + 97,65 = 147,02 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{Mw} \cdot \sqrt{3}} = \frac{490}{1 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{3}} = 188,6 \text{ MPa}$$

Vyhovuje