

Výškový systém Bpv

Souřadnicový systém S-JTSK

Číslo změny:	Obsah změny:	Datum změny:
01	-	-
02	-	-
03	-	-

Generální projektant: TÝM/SAGASTA - Tanvald - Kořenov



Zpracovatel dílčí části dokumentace:

Wypracoval: Ing. Martin Knytl	Zodp. projektant: Ing. Dávid Kuczik	Kontroloval: Ing. Vít Hoznour		
Kraj: Liberecký	Traťový úsek/Obec: 1671 Liberec - Harrachov st.hr.			
Investor: Správa železnic, státní organizace; Dlážďěná 1003/7; 110 00 Praha 1				
Akce:  Oprava trati v úseku Tanvald - Kořenov  SO 03-14-02 Most v ev. km 29,281				
Obsah dokumentace: VÝPOČET INTERAKCE MOSTU S BK			Formát: 13xA4	
			Datum: 09/2021	
			Účel: DSP+PDPS	
			Č. zakázky: 64020136	
			Změna:	Č. kopie:
			Měřítko: -	
			Část dokumentace: E.1.4.6	-

# VÝPOČET KOMBINOVANÉ ODEZVY

## OBSAH

<b>1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....</b>	<b>2</b>
<b>2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍM OBJEKTU .....</b>	<b>2</b>
<b>3. POSOUZENÍ DILATUJÍCÍ DÉLKY NK.....</b>	<b>3</b>
<b>4. KOMBINOVANÁ ODEZVA MOSTU A KOLEJE – PŘEDPOKLADY .....</b>	<b>3</b>
4.1. ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY VÝPOČTU .....	3
4.2. NÁVRHOVÁ KRITÉRIA .....	3
4.3. VÝPOČETNÍ METODA.....	4
4.4. CHARAKTERISTIKA KOLEJE .....	4
<b>5. ZATÍŽENÍ.....</b>	<b>4</b>
5.1. SVISLÁ ZATÍŽENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVOU .....	4
5.2. VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ ŽELEZNIČNÍ DOPRAVOU .....	5
5.3. TEPLOTNÍ ZMĚNY V KOLEJNICI.....	6
5.4. PŘÍČNÉ ZATÍŽENÍ OD TEPLOTNÍ ZMĚNY V KOLEJNICI .....	6
5.5. TEPLOTNÍ ZMĚNY NK .....	6
5.6. ZATÍŽENÍ OD VLASTNÍHO PNUTÍ .....	6
<b>6. VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE .....</b>	<b>6</b>
<b>7. PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL .....</b>	<b>8</b>
<b>8. POSOUZENÍ NAPĚTÍ V KOLEJNICI.....</b>	<b>11</b>
<b>9. ZÁVĚR .....</b>	<b>12</b>

## 1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Stavba: Oprava trati v úseku Tanvald - Kořenov

Číslo SO: **SO 03-14-02**

Název SO: Most v ev. km 29,281

Objednatel: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace,  
Dlážděná 1003/7, 110 00 Praha 1 - Nové Město

Oblastní ředitelství Hradec Králové, U Fotochemy 259, 501 01 Hradec Králové

Zpracovatel objektu: TÝM/SAGASTA – Tanvald - Kořenov  
Moskevská 532/60, 101 00 Praha 10

Odpovědný projektant  
objektu: Ing. Dávid Kuczik

Kraj: Liberecký

Obec: Desná

Katastrální území: Desná (563552)

Trat' SŽ: 507 00 Tanvald – Harrachov státní hranice

Trat' dle NJŘ: 548 Harrachov - Liberec

Trat'ový úsek: 1671 Liberec – Harrachov státní hranice

## 2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍM OBJEKTU

Charakteristika mostu: Železniční jednokolejný most, most je ocelový trémový most o 1 poli, uložení NK na ložiskách, žel. svršek na mostnicích

Statické působení: Prosté pole

Rozpětí: 6,6m

Úhel křížení: 90°

Délka přemostění: 5,85 m

Šířka mostu: 5,90 m

Volný mostní průřez: VMP 2,5

Návrhové zatížení: B2-40

Trat'ová rychlost: 40 km/h

Směrové poměry: k.č.1 – oblouk R=250 m,

Sklonové poměry: k.č.1 - stoupá 18‰

Trakce: není

### 3. POSOUZENÍ DILATUJÍCÍ DÉLKY NK

Rozpětí mostu = dilatující délka prostého pole

$$L_T = 6,6 \text{ m}$$

**Tab.1** Největší přípustné dilatující délky  $L_T$  nosných konstrukcí mostů pro zřízení bezстыkové koleje

Případ č.	Uspořádání mostních ložisek a dilatující délka  $L_T$	Tvar kolejnice 2)	Mosty s nosnými konstrukcemi									
			ocelovými						ocelobetonovými		betonovými	
			s kolejovým ložem		s mostnicemi uloženými		s přímým uložením	s kolejovým ložem		s kolejovým ložem		
			pražce					pražce		pražce		
			dřevěné	betonové	centricky	plošně	koleje	dřevěné	betonové	dřevěné	betonové	
$L_T$ [m]												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1												
2		R 65	125	90	70	23	20	160	120	180	130	
		UIC 60	110	80	66	23	20	140	103	156	113	
		T,S 49	85	60	60	23	20	100	70	110	80	
3	  počet konstrukcí není omezen	R 65	125	86	70	25	23	160	110	180	125	
		UIC 60	108	74	63	25	23	136	93	153	106	
		T,S 49	75	51	50	25	23	90	60	100	70	
4	  1)	R 65	65	46	35	19	17	100	70	110	80	
		UIC 60	61	44	35	19	17	86	61	96	70	
		T,S 49	55	40	35	19	17	60	45	70	50	

Při kombinaci jednotlivých případů rozhoduje přísnější kritérium.

1) Pro nové mosty nepřipustný případ. 2) Kolejnice tv. T jen u dosavadního stavu.

$L_{T, \text{lim}} = 23,0 \text{ m}$  (ocelová NK, mostnice uložené plošně, tvar kolejnic S49)

$$L_T \leq L_{T, \text{lim}} \rightarrow \text{splňuje}$$

Délka BK v úseku koleje o poloměrech  $\leq 400 \text{ m}$  (v našem případě navazující oblouky  $R=195 \text{ m}$  a  $250 \text{ m}$ ) se předpokládá max  $250 \text{ m}$ , tedy  $100 \text{ m}$  střední část a  $2 \times 75$  dýchající konec – mosty v km 29,238 a 29,281 tedy geometricky spadají do střední části BK

### 4. KOMBINOVANÁ ODEZVA MOSTU A KOLEJE – PŘEDPOKLADY

#### 4.1. Základní předpoklady výpočtu

Kombinovaná odezva bude posouzena dle ČSN EN 1991-2 čl. 6.5.4.

Pro návrh mostní konstrukce je nutno vyhodnotit tyto údaje:

- 1) Požadavky na vodorovnou tuhost spodní stavby v úrovni ložisek  $K_x$
- 2) Určení součinitelů přenosu vodorovné reakce od teplotních změn NK  $\xi_D$ , a od brzdných/rozjezdových sil  $\xi_b$ ,  $\xi_a$  vyjadřující poměr přenosu těchto sil mezi kolejí a mostem
- 3) Stanovení provozních podmínek BK na mostě (požadavky na ojetí, teplotu NK při zřízení, požadavky na odchylky GPK...)

#### 4.2. Návrhová kritéria

Mezní přírůstky napětí v kolejnici od kombinované odezvy koleje a mostu jsou omezeny:

- pro tah:  $\sigma_{\text{tah, max}} = 92 \text{ MPa}$

- pro tlak:  $\sigma_{\text{tlak, max}} = 72 \text{ MPa}$

Posouzení kombinované odezvy bude provedeno však celkovým ověřením napětí v kolejnici - **Metoda komplexní analýzy**

Mezní hodnoty pro deformaci konstrukce – je nutno ověřit samostatně ve výpočtu NK:

- relativní podélné posunutí od brzdných/ rozjezdových sil (mezi NK a opěrou) –  $\delta_B = 5 \text{ mm}$

- podélné posunutí horního povrchu NK od deformace NK od svislých zatížení dopravou –  $\delta_H = 8 \text{ mm}$

- svislé posunutí od proměnných zatížení vzhledem k přilehlé konstrukci pro rychlost do 160km/h –  $\delta_V = 3 \text{ mm}$

### 4.3. Výpočetní metoda

Posouzení kombinované odezvy bude provedeno ověřením celkového napětí v kolejnici metodou komplexní analýzy. Celkové napětí bude určeno lineární kombinací jednotlivých zatěžovacích stavů.

### 4.4. Charakteristika koleje

Kolejnice:	S49 (materiál UIC 900A)
Mez pevnosti:	$f_u = 880 \text{ MPa}$
Charakteristická mez kluzu:	$f_{yk} = 0,6 \cdot f_u = 528 \text{ MPa}$
Součinitel spolehlivosti:	$\gamma_{M0} = 1,00$
Návrhová mez kluzu:	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M0} = 528 \text{ MPa}$
Průřezová plocha kolejnice S49:	$A_0 = 6307 \text{ mm}^2$
Moment setrvačnosti:	$I_y = 1816 \times 10^4 \text{ mm}^4$
Průřezový modul:	$W_y = 240,3 \times 10^3 \text{ mm}^3$

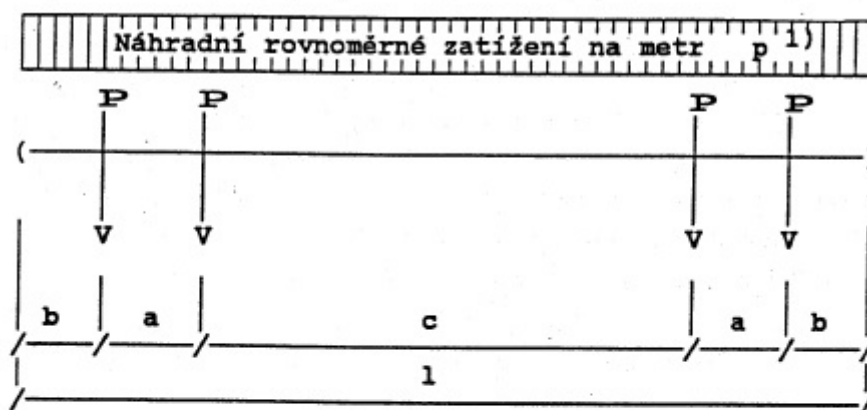
V modelu uvažovány obě kolejnice, definované okrajové podmínky (zatížení železniční dopravou, smykové odpory), které jsou určené pro celou kolej, byly tomuto přizpůsobeny koeficientem 0,5.

## 5. ZATÍŽENÍ

### 5.1. Svislá zatížení železniční dopravou

Model zatížení B2 – 40 km/h

### ZÁKLADNÍ SCHÉMA ČTYŘNÁPRAVOVÉHO VOZU



1	2	3	4	5	6	7
Tratová třída	$P$ [kN]	$p$ 1) [kN/m]	$a$ [m]	$b$ [m]	$c$ [m]	$l$ [m]
A	160	50	1,8	1,5	6,20	12,80
B 1	180	50	1,8	1,5	7,80	14,40
B 2	180	64	1,8	1,5	4,65	11,25

Klasifikační součinitel  $\alpha=1,00$  (základní hodnota dle MVL 150)

Dynamický součinitel:

hlavní nosník pro provozní železniční zatížení:

$$\delta_{f1} = 1,42$$

kde  $L_d$  rozpětí prostého pole = 7 m  
 $v$  rychlost  $v = 40$  km/h

Součinitel zatížení:  $\gamma_f = 1,45$

## 5.2. Vodorovná zatížení železniční dopravou

Rozjezdové a brzdné síly jsou uvažované hodnotou 25% součtu nápravových sil skutečného vlaku (B2).

Rozjezdová síly:  $Q_{lak} = 0,25 \times 720 \text{ kN} = 180 \text{ kN} < 1000 \text{ kN}$   
 $q_{lak} = 180 / 11,25 = 16 \text{ kN/m}$

Brzdná síla:  $Q_{lbk} = 0,25 \times 720 \text{ kN} = 180 \text{ kN} < 6000 \text{ kN}$   
 $q_{lbk} = 180 / 11,25 = 16 \text{ kN/m}$

Rozhodující jsou síly působící jak na mostě, tak i na předpolí mostu. Kvůli omezení jsou rozhodující brzdné síly, je uvažováno zatížení maximální – 1600kN (brzdná síla na celkové délce 100m). Brzdné síly jsou uvažovány i na zemním tělese mimo most.

### 5.3. Teplotní změny v kolejnici

Jedná se o oteplení a ochlazení kolejníc, dle předpisu SŽDC S3 je uvažovaný teplotní rozdíl

Oteplení /ochlazení kolejnice  $\Delta T = 53^{\circ}\text{C}$

Součinitel zatížení:  $\gamma_t = 1,00$  (dle ČSN EN 1991-2, čl. 6.5.4.3)

### 5.4. Příčné zatížení od teplotní změny v kolejnici

Kolej na mostě se nachází ve směrovém oblouku  $R=250$  m.

$q = 5 \times \Delta T_R \times A/R$  [kN/m]

kde se uvažuje  $\Delta T_{R,\min} = -53^{\circ}\text{C}$  a  $\Delta T_{R,\max} = 43^{\circ}\text{C}$

$q_{\max} = 5 \times 43 \times 6307/250000 = 5,42$  kN/m (zatěžovací stav oteplení kolejnice)

$q_{\min} = 5 \times -53 \times 6307/250000 = -6,69$  kN/m (zatěžovací stav ochlazení kolejnice)

### 5.5. Teplotní změny NK

Montážní teplot osazení kolejnice se předpokládá v rozmezí  $T_0 = 10^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$

Maximální teploty ovzduší dle teplotní mapy:

$T_{\max} = 38^{\circ}\text{C}$

$T_{\min} = -32^{\circ}\text{C}$

Typ konstrukce – 1.typ – ocelové konstrukce

Teplota konstrukce pro maximální oteplení:  $T_{e,\max} = T_{\max} + 16^{\circ}\text{C} = 54^{\circ}\text{C}$

Teplota konstrukce pro maximální ochlazení:  $T_{e,\min} = T_{\min} + 3^{\circ}\text{C} = -35^{\circ}\text{C}$

#### Rozdíl teplot:

Maximální oteplení konstrukce:  $\Delta T_{\max} = 54^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 44^{\circ}\text{C}$

Maximální ochlazení konstrukce:  $\Delta T_{\min} = -35^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = -50^{\circ}\text{C}$

Součinitel zatížení:  $\gamma_t = 1,00$  (dle ČSN EN 1991-2, čl. 6.5.4.3)

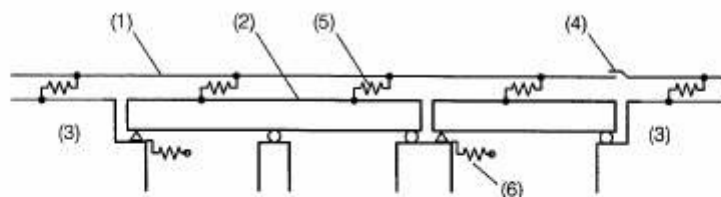
### 5.6. Zatížení od vlastního pnutí

Od výroby se předpokládá vlastní pnutí v kolejnici hodnotou  $\pm 100$  MPa

## 6. VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE

Výpočetní model vychází z obecného modelu pro výpočet kombinované odezvy dle ČSN EN 1991-2.

Obecný model:

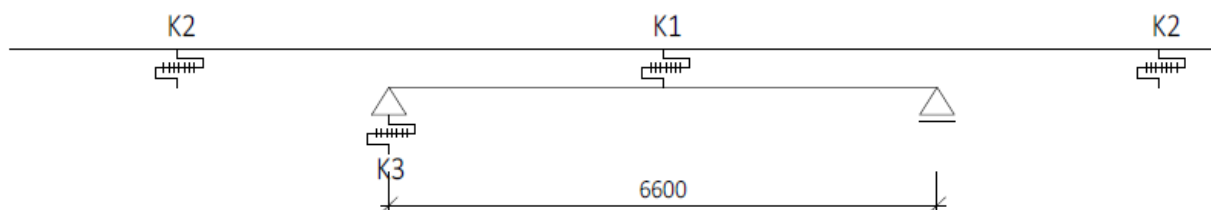


#### Legenda

- (1) kolej
- (2) nosná konstrukce (znázorněn spojitý nosník o dvou polích a prostý nosník)
- (3) těleso železničního spodku
- (4) kolejnicové dilatační zařízení (je-li vloženo)
- (5) podélné nelineární pružiny vyjadřující průběh závislosti podélné zatížení/posunutí koleje
- (6) podélné pružiny vyjadřující podélnou tuhost  $K$  pevného uložení nosné konstrukce s uvažováním tuhosti základů, pilířů a ložisek atd.

### Výpočtový model pro daný most:

Obecné schéma modelu:

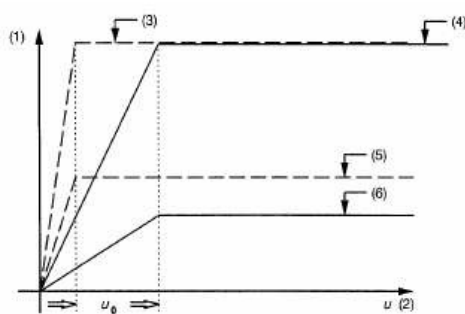


Tuhost K1 ... reprezentuje přenos vodorovných sil z koleje do mostu

Tuhost K2 ... reprezentuje přenos vodorovných sil z koleje do podloží

Tuhost K3 ... reprezentuje tuhost spodní stavby

Tuhosti byly stanoveny dle ČSN EN 1991-2 z grafu pro smykový odpor:



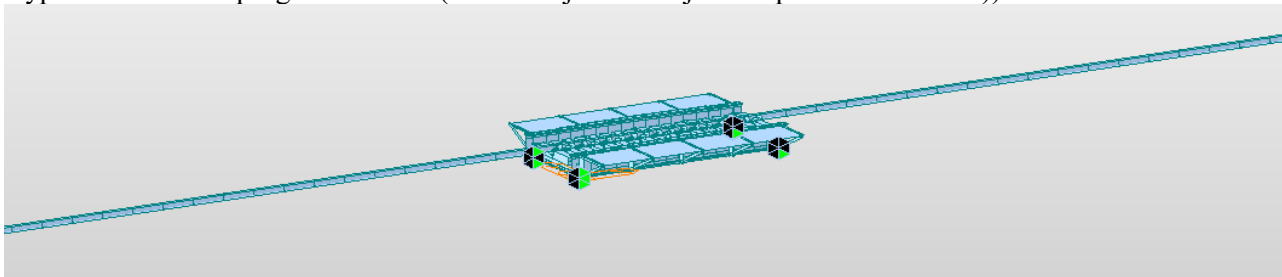
K1 – smykový odpor pro nezatíženou kolej (bez kol. lože) - 30 kN/m (5)  
 - smykový odpor pro zatíženou kolej (bez kol. lože) - 60 kN/m (3)  
 - deformace  $u_0 = 0,5$  mm

K2 - smykový odpor pro nezatíženou kolej (kol. lože) - 20 kN/m (6)  
 - smykový odpor pro zatíženou kolej (kol. lože) - 60 kN/m (4)

K3 – pružná podpora s vodorovnou tuhostí 500 000 kN/m (výpočet tuhosti spodní stavby z výpočtetního modelu)

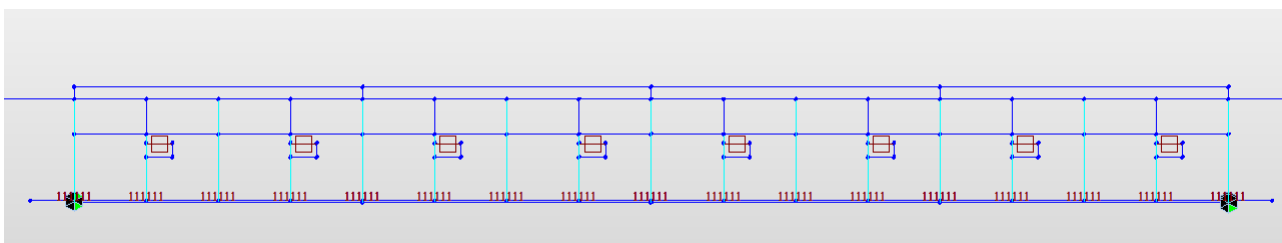


Výpočetní model v programu Midas (mostní objekt s kolejí 50 m před a za mostem)):



Výsek z modelu

Pro přenos vodorovných sil mezi NK a kolejí a naopak je použita pružina s bilineární křivkou smykového odporu pro nezatíženou / zatíženou kolej dle odpovídajícího modelu. Pro tento účel byly vytvořeny dva modely, ve kterých je v jednom z nich uvažováno s nezatíženými kolejemi a ve druhém je zatížen most a předpolí mostu.



## 7. PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL

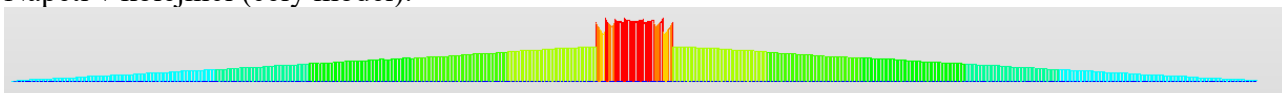
Vnitřní síly v kolejnici budou stanoveny v oblasti nad posuvným ložiskem na opěře O2.

Vnitřní napětí od výroby:

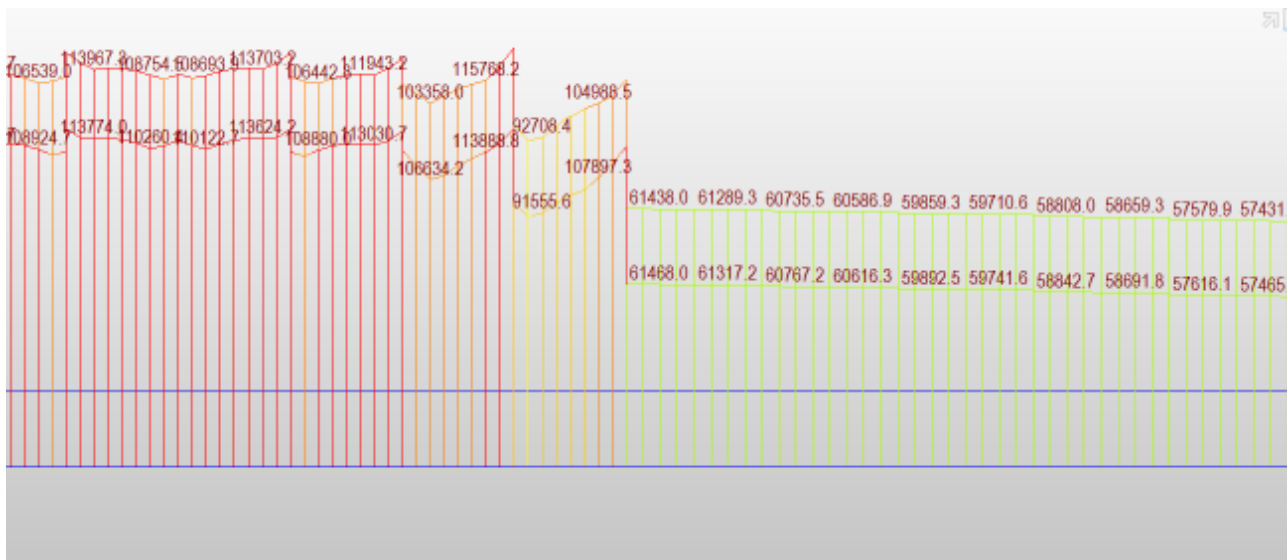
V kolejnici může být napětí **+/-100 MPa**

Ochlazení koleje:

Napětí v kolejnici (celý model):



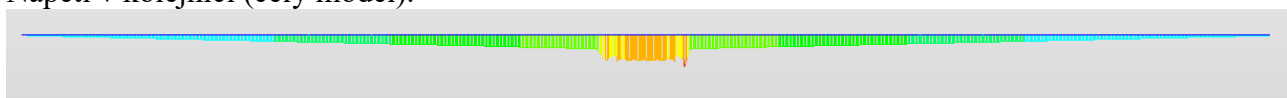
Výsek z grafu nad opěrou O2:



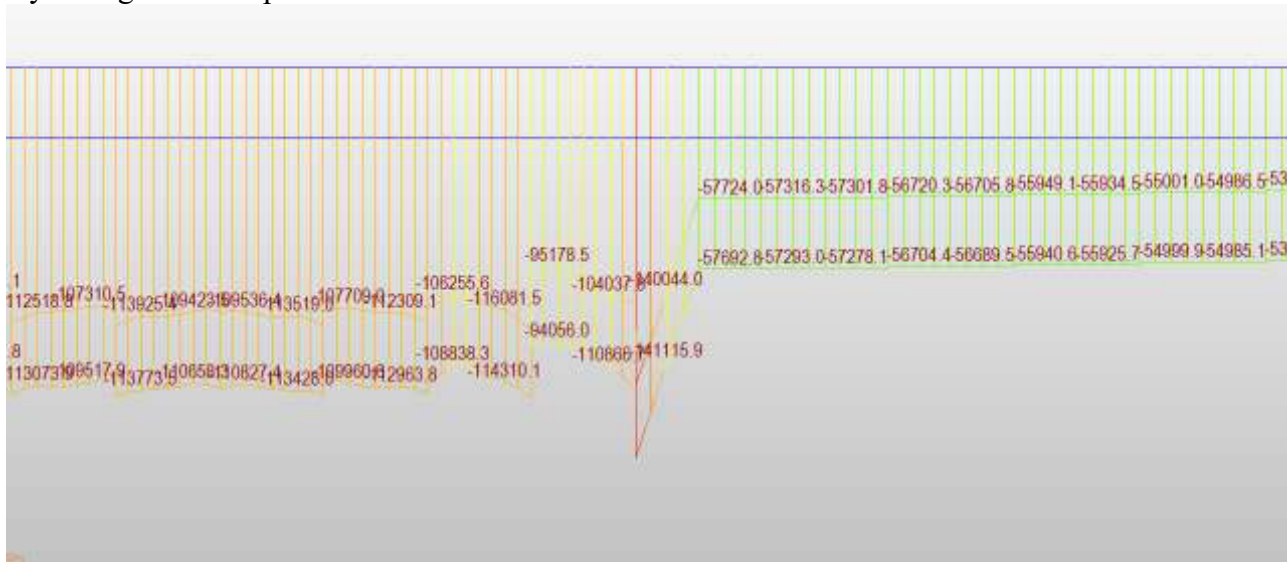
Napětí:  $\sigma_x = 107,9 \text{ MPa}$

Oteplení koleje:

Napětí v kolejnici (celý model):



Výsek z grafu nad opěrou O2:

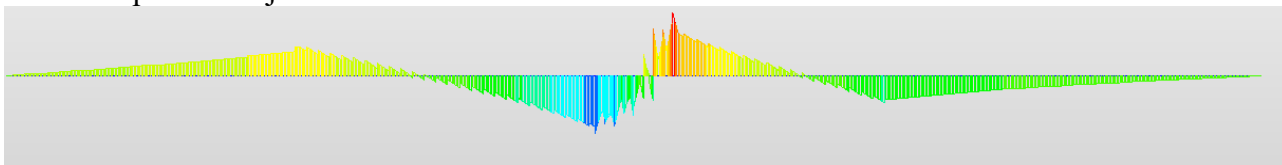


Napětí:  $\sigma_x = -141,4 \text{ MPa}$

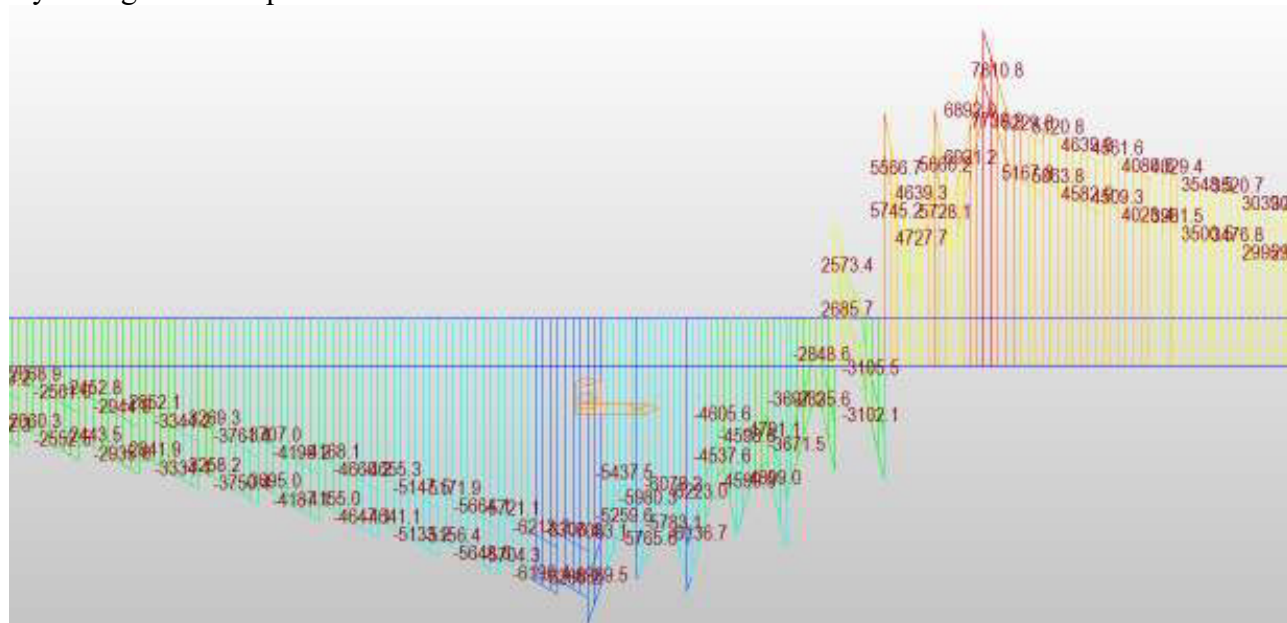
Brzdná síla:

- Brzdná síla pro maximální tlakové/tahové napětí nad opěrou O2:  
(Síla působí v úseku 50 m, celkem  $F = 800 \text{ kN}$ , v modelu rozdělena na obě kolejnice)

### Průběh napětí v kolejnici:

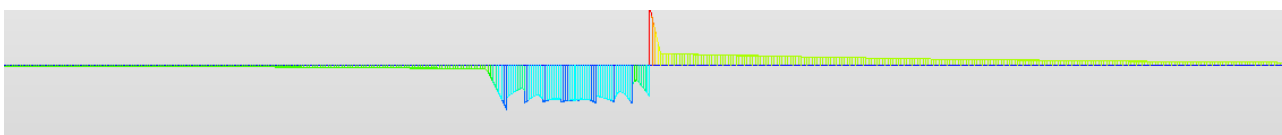


Výsek z grafu nad opěrou O2:

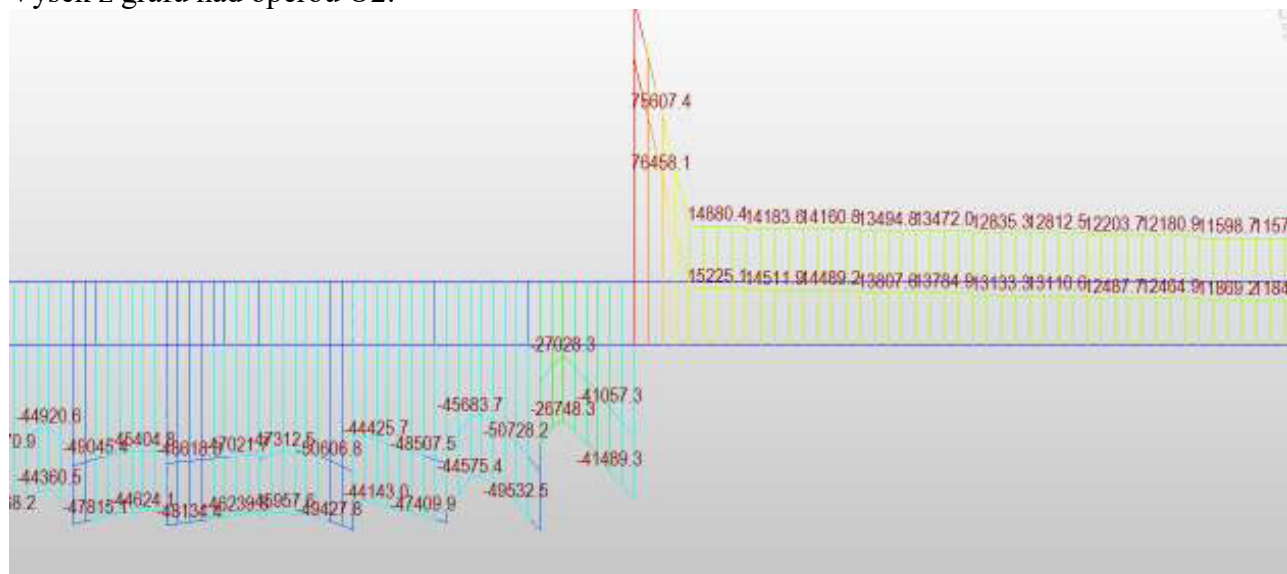


Napětí:  $\sigma_x = \pm 7,8 \text{ MPa}$

Ochlazení nosné konstrukce:

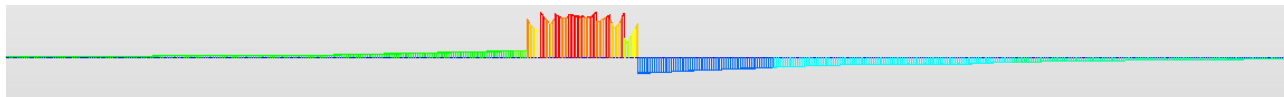


Výsek z grafu nad opěrou O2:



Napětí:  $\sigma_x = 75,6 \text{ MPa}$

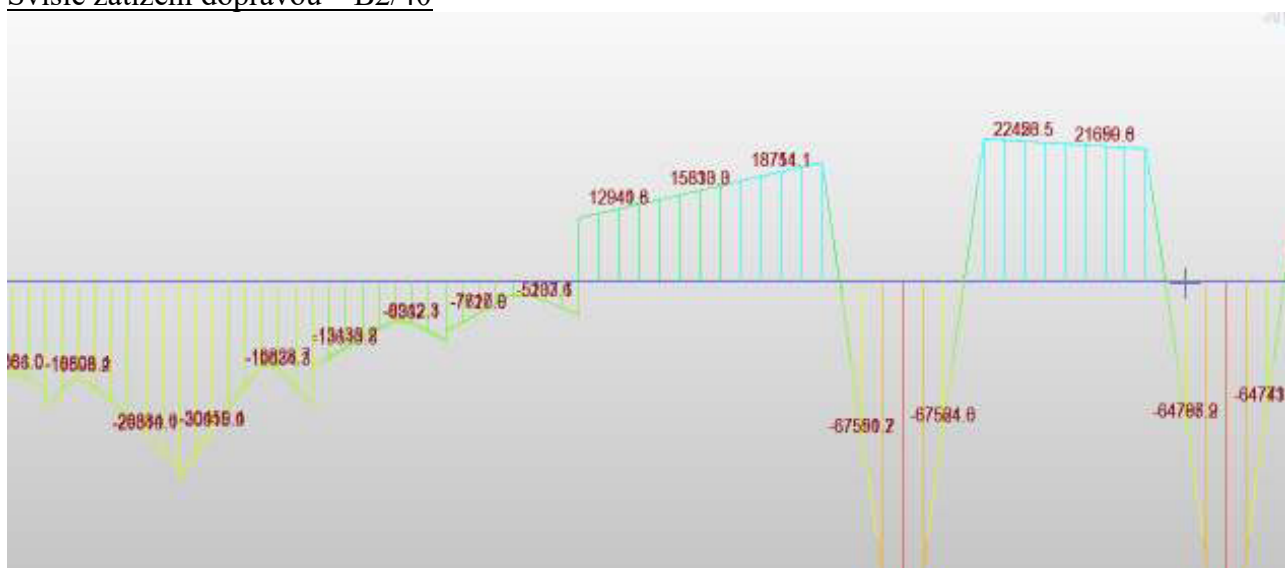
Oteplení nosné konstrukce:



Výsek z grafu nad opěrou O2:

Napětí:  $\sigma_x = 33,2 \text{ MPa}$

Svislé zatížení dopravou – B2/40



Max napětí:  $\sigma_x = 12,9 \text{ MPa}$

Min napětí:  $\sigma_x = -5,2 \text{ MPa}$

Lokální zatížení nápravou mezi pražci

Tíha nápravy 180kN je umístěna uprostřed mezi pražci vzdálenými 600 mm.  
Ohybový moment spočítaný jako pro prostý nosník:

$$M_0 = 0,25 \cdot F \cdot l = 0,25 \cdot 180 \cdot 0,6 = 27 \text{ kNm}$$

Napětí v kolejnici:

$$\sigma_s = M_{sp}/w = 0,027 / (2 \cdot 2,403 \cdot 10^{-4}) = 56,2 \text{ MPa}$$

## 8. POSOUZENÍ NAPĚTÍ V KOLEJNICI

Výpočet napětí v kolejnici (pro maximální tah):

č.	Zatěžovací stav	$\sigma_{\text{char}}$ [Mpa]	$\alpha$	$\delta$	$\gamma_f$	$\sigma_{\text{návrh}}$ [Mpa]
1	vnitřní napětí od výroby	100,00	-	-	1,00	100,0
2	ochlazení koleje	107,90	-	-	1,00	107,9
3	ochlazení NK	75,60	-	-	1,00	75,6
4	brzdná síla	7,80	-	-	1,45	11,3
5	svislé zatížení dopravou	12,90	1,00	1,42	1,45	26,6
6	lokální zatížení nápravou	56,20	1,00	1,26	1,45	102,7
<b>Celkové napětí v kolejnici</b>						<b>424,0</b>

Posouzení napětí:

$$\sigma_{\text{sd}} = 424,0 \text{ MPa} < 528 \text{ MPa} = f_{y,d} \quad \text{vyhovuje}$$

Výpočet napětí v kolejnici (pro maximální tlak):

č.	Zatěžovací stav	$\sigma_{\text{char}}$ [Mpa]	$\alpha$	$\delta$	$\gamma_f$	$\sigma_{\text{návrh}}$ [Mpa]
1	vnitřní napětí od výroby	100,00	-	-	1,00	100,0
2	oteplení koleje	141,40	-	-	1,00	141,4
3	oteplení NK	33,20	-	-	1,00	33,2
4	brzdná síla	7,80	-	-	1,45	11,3
5	svislé zatížení dopravou	5,20	1,00	1,42	1,45	10,7
6	lokální zatížení nápravou	56,20	1,00	1,26	1,45	102,7
<b>Celkové napětí v kolejnici</b>						<b>399,3</b>

Posouzení napětí:

$$\sigma_{\text{sd}} = 399,3 \text{ MPa} < 528 \text{ MPa} = f_{y,d} \quad \text{vyhovuje}$$

## 9. ZÁVĚR

Tímto statickým výpočtem byla posouzena kombinovaná odezva mostní konstrukce v km 29,281 s ověřením celkového napětí v kolejnici. Při uvážení tuhosti stávající spodní stavby a přímého upevnění kolejnic na mostnicích na ocelové nosné konstrukci dl. 6,6 m je vypočítaná hodnota maximálního a minimálního napětí z hlediska zřízení bezстыkové koleje vyhovující.

V Praze 10/2021

vypracoval: Ing. Martin Knytl