

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:

Vypracoval: <i>M. Knytl</i> Ing. Martin Knytl		Zodp. projektant: <i>Kuczik</i> Ing. Dávid Kuczik		Kontroloval: <i>Hoznour</i> Ing. Vít Hoznour		
Kraj: Liberecký		Traťový úsek/Obec: 1671 Liberec - Harrachov st.hr.				
Investor: Správa železnic, státní organizace; Dlážděná 1003/7; 110 00 Praha 1						
Akce: <div style="text-align: center; font-size: 1.2em;">Oprava trati v úseku Tanvald - Kořenov</div>						
Most v ev. km 29,238						Formát: 13xA4
Obsah dokumentace: VÝPOČET INTERAKCE MOSTU S BK						Datum: 09/2021
						Účel: DSP+PDPS
						Č. zakázky: 64020136
						Změna: Č. kopie:
						Měřítko: -
						Část dokumentace: -

VÝPOČET KOMBINOVANÉ ODEZVY

OBSAH

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE.....	2
2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍM OBJEKTU	2
3. POSOUZENÍ DILATUJÍCÍ DÉLKY NK.....	2
4. KOMBINOVANÁ ODEZVA MOSTU A KOLEJE – PŘEDPOKLADY	3
4.1. ZÁKLADNÍ PŘEDPOKLADY VÝPOČTU	3
4.2. NÁVRHOVÁ KRITÉRIA	3
4.3. VÝPOČETNÍ METODA.....	4
4.4. CHARAKTERISTIKA KOLEJE	4
5. ZATÍŽENÍ.....	4
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
6. VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE	6
7. PRŮBĚHY VNITŘNÍCH SIL	8
8. POSOUZENÍ NAPĚTÍ V KOLEJNICI.....	12
9. ZÁVĚR	12

1. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Stavba:	Oprava trati v úseku Tanvald - Kořenov
Název objektu:	Most v ev. km 29,238
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

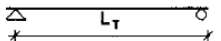
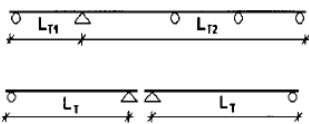
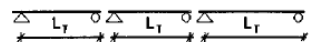
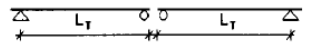
2. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍM OBJEKTU

Charakteristika mostu:	Železniční jednokolejný most, most je ocelový trémový příhradový most o 1 poli, uložení NK na ložiskách, žel. svršek na mostnicích
Statické působení:	Prosté pole
Rozpětí:	20,8 m
Úhel křížení:	75°
Délka přemostění:	19,90 m
Šířka mostu:	5,83 m
Volný mostní průřez:	VMP 2,5
Návrhové zatížení:	A-40
Trat'ová rychlost:	40 km/h
Směrové poměry:	k.č.1 – oblouk R=195 m,
Sklonové poměry:	k.č.1 - stoupá 19,9‰
Trakce:	není

3. POSOUZENÍ DILATUJÍCÍ DÉLKY NK

Rozpětí mostu = dilatující délka prostého pole
 $L_T = 20,8 \text{ m}$

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 koleje	s kolejovým ložem		s kolejovým ložem		
			pražce					pražce		pražce		
			dřevěné	betonové	centricky	plošně		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 uloženy plošně, tvar kolejnic S49)

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

Délka BK v úseku koleje o poloměrech $\leq 400 \text{ m}$ (v našem případě navazující oblouky $R=195 \text{ m}$ a 250 m) se předpokládá max 250 m , tedy 100 m střední část a 2×75 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:

- Požadavky na vodorovnou tuhost spodní stavby v úrovni ložisek K_x
- Určení součinitelů přenosu vodorovné reakce od teplotních změn NK ξ_D , a od brzdných/rozjezdových sil ξ_b , ξ_a vyjadřující poměr přenosu těchto sil mezi kolejí a mostem
- 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:	$W_y = 240,3 \times 10^3 \text{ mm}^3$

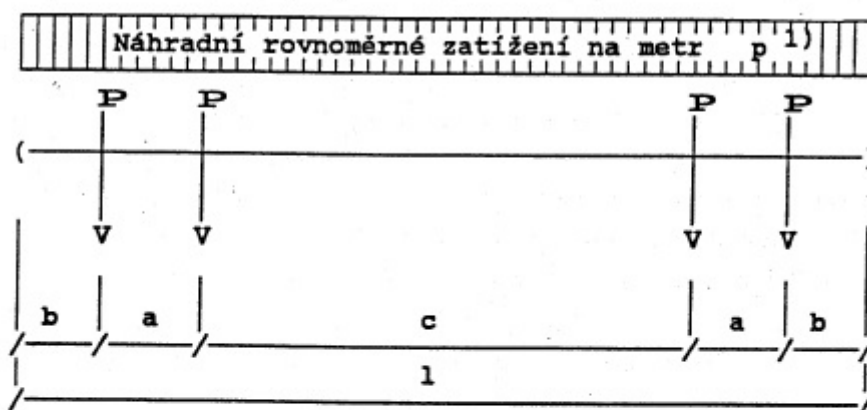
V modelu uvažovány obě kolejnice, definované okrajové podmínky (zatížení železniční dopravou, smykové odpory), které jsou určeny pro celou kolej, byly tomuto přizpůsobeny koeficientem 0,5.

5. ZATÍŽENÍ

5.1. Svislá zatížení železniční dopravou

Model zatížení A – 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:

$$\delta_{f1} = 1,16$$

kde L_d rozpětí prostého pole = 21 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
(A).

Rozjezdová síly: $Q_{lak} = 0,25 \times 640 \text{ kN} = 160 \text{ kN} < 1000 \text{ kN}$
 $q_{lak} = 160 / 12,8 = 12,5 \text{ kN/m}$

Brzdná síla: $Q_{lbk} = 0,25 \times 640 \text{ kN} = 160 \text{ kN} < 6000 \text{ kN}$
 $q_{lbk} = 160 / 12,8 = 12,5 \text{ kN/m}$

Rozhodující jsou síly působící jak na mostě, tak i na předpolí mostu. Kvůli omezení jsou rozhodující brzdné síly, je uvažováno zatížení maximální – 1250kN (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 $R=195\text{ m}$.

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

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

$q_{\max} = 5 \times 43 \times 6307/195000 = 6,95\text{ kN/m}$ (zatěžovací stav oteplení kolejnice)

$q_{\min} = 5 \times -53 \times 6307/195000 = -8,57\text{ kN/m}$ (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)

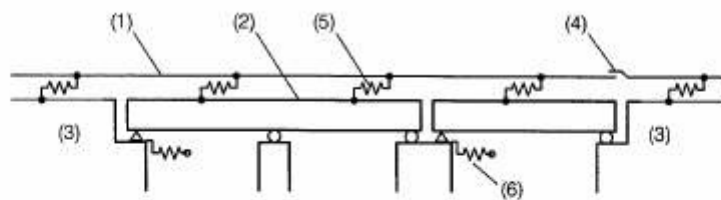
5.6. Zatížení od vlastního pnutí

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

6. VÝPOČETNÍ MODEL KONSTRUKCE

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

Obecný model:

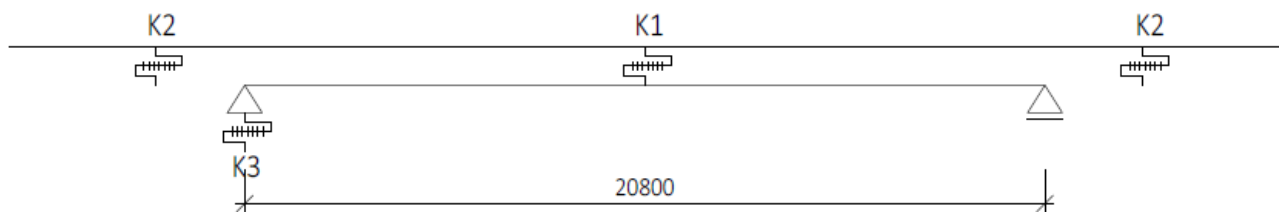


Legenda

- (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:

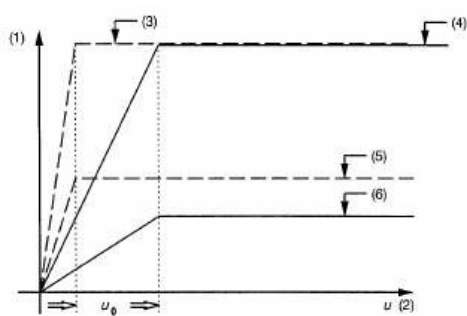


Tuhost K1 ... reprezentuje přenos vodorovných sil z koleje do mostu

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:

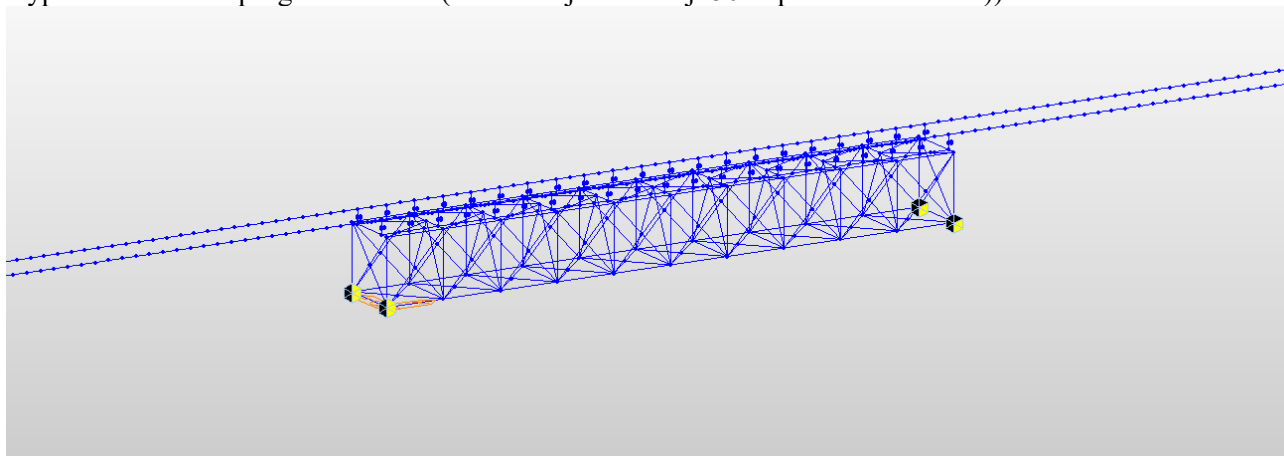


K1 – smykový odpor pro nezatíženou kolej (bez kol. lože) - 30 kN/m (5)
 - smykový odpor pro zatíženou kolej (bez kol. lože) - 60 kN/m (3)
 - deformace $u_0 = 0,5$ mm

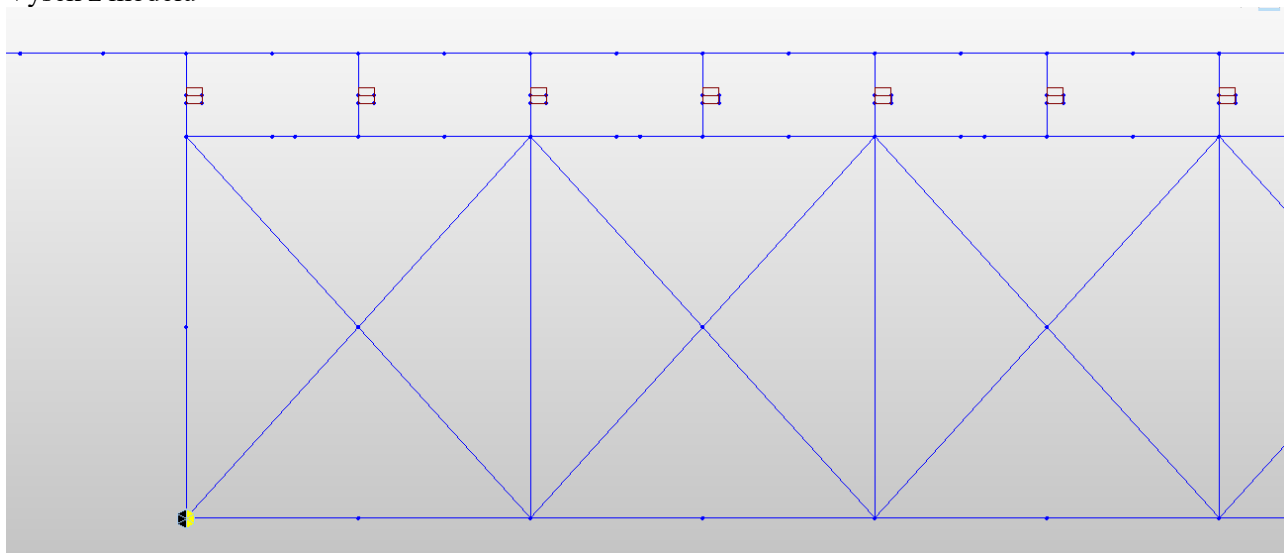
K2 - smykový odpor pro nezatíženou kolej (kol. lože) - 20 kN/m (6)
 - smykový odpor pro zatíženou kolej (kol. lože) - 60 kN/m (4)

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

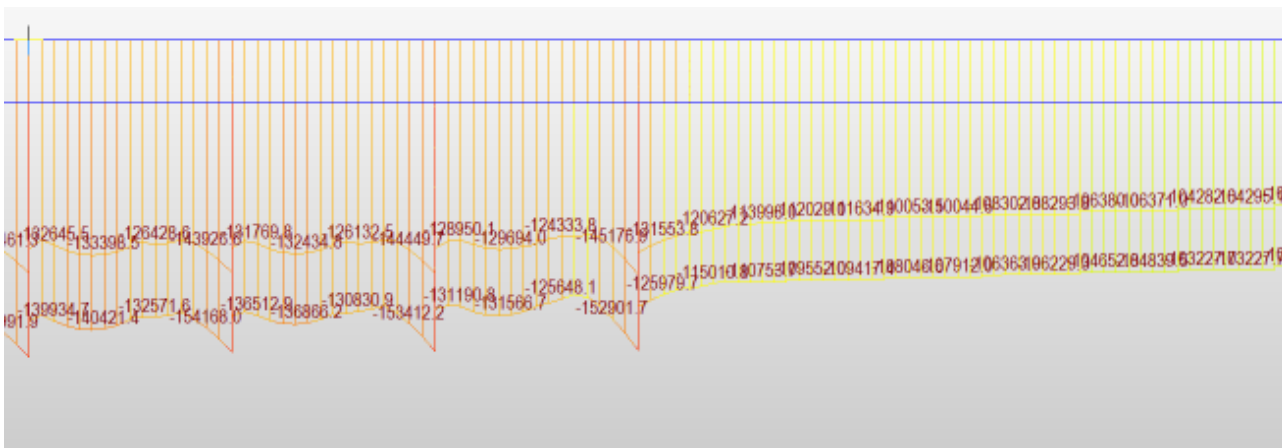
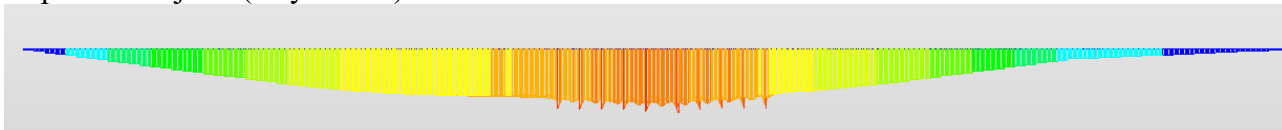
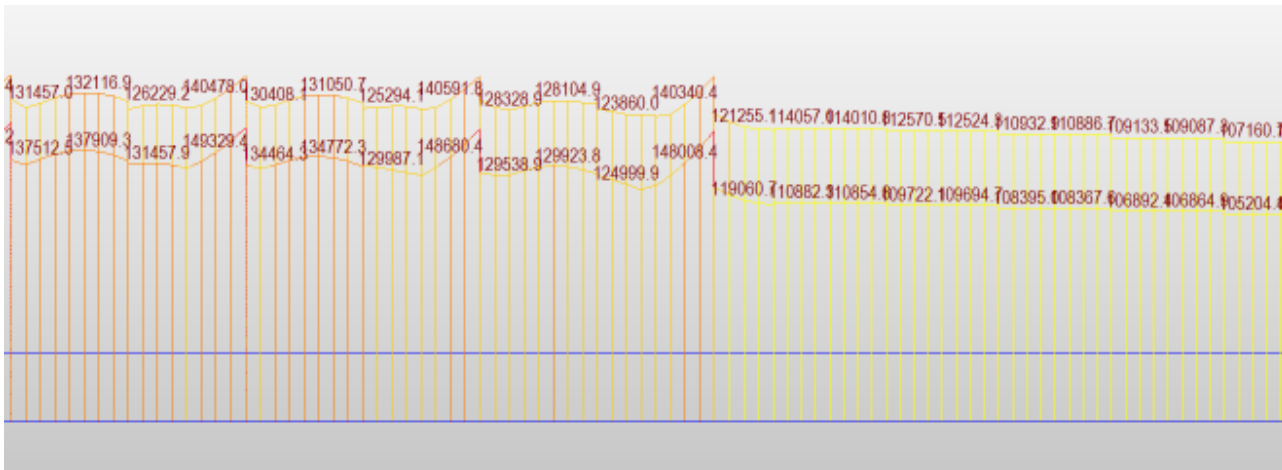
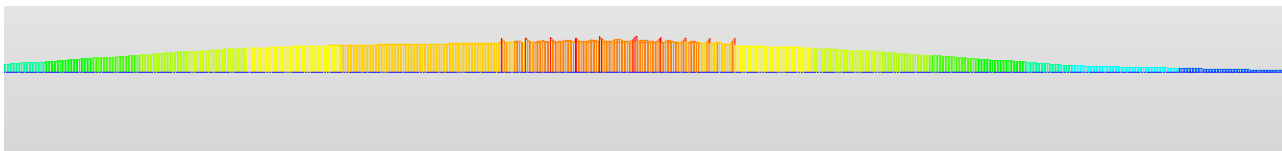
Vnitřní síly v kolejnici budou stanoveny v oblasti nad posuvným ložiskem na opěře O2.

Vnitřní napětí od výroby:

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

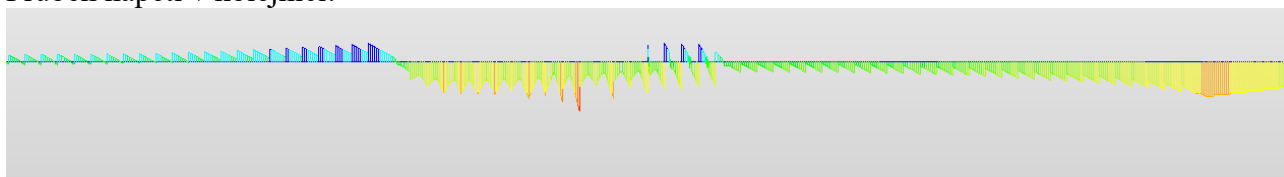
Ochlazení koleje:

Napětí v kolejnici (celý model):

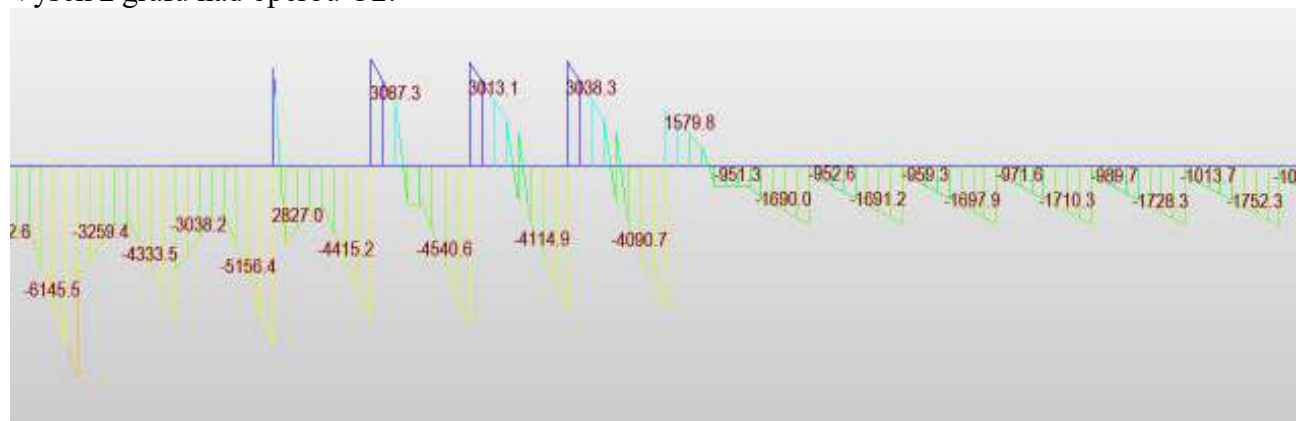


(Síla působí v úseku 100 m, celkem $F = 1250$ kN, v modelu rozdělena na obě kolejnice)

Průběh napětí v kolejnici:

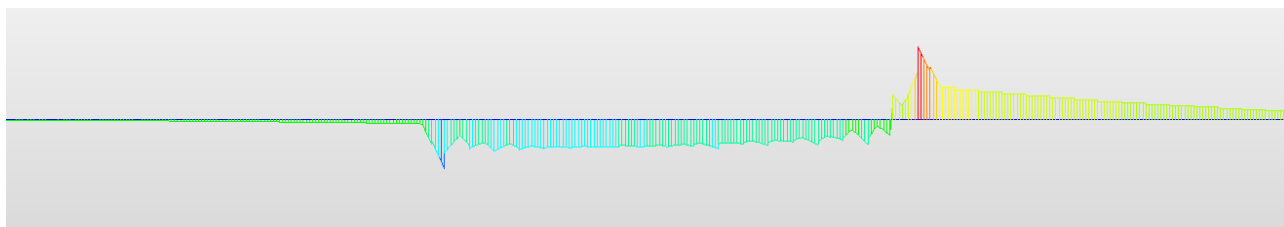


Výšek z grafu nad opěrou O2:

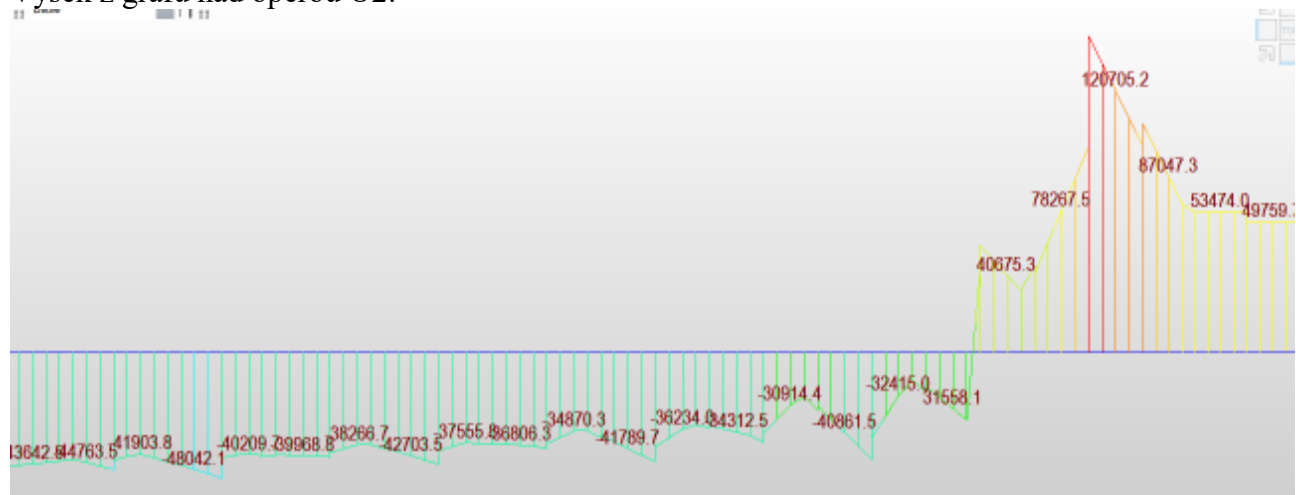


Napětí: $\sigma_x = \pm 4,1$ MPa

Ochlazení nosné konstrukce:

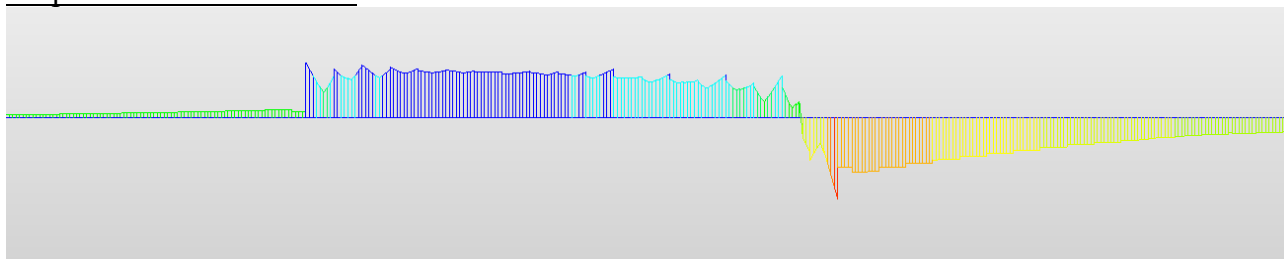


Výšek z grafu nad opěrou O2:

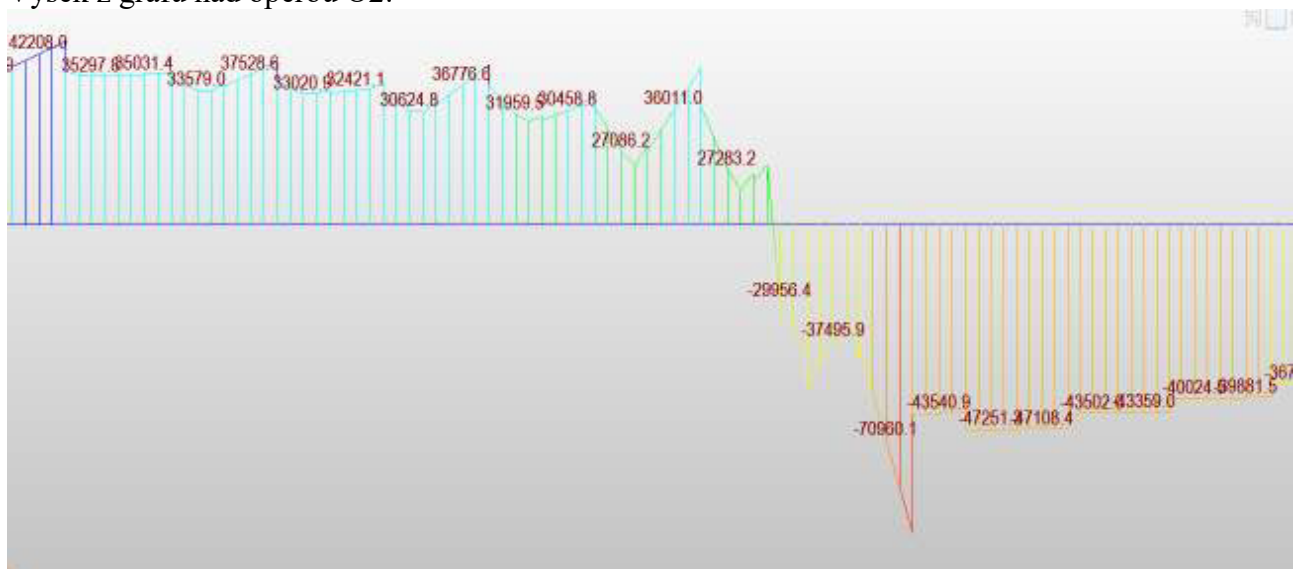


Napětí: $\sigma_x = 120,7$ MPa

Oteplení nosné konstrukce:

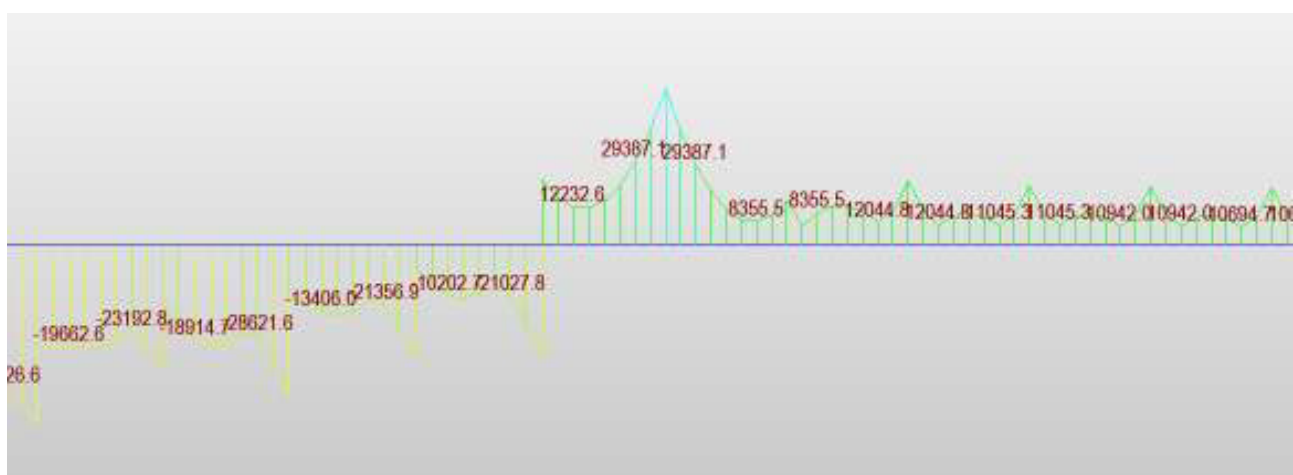


Výsek z grafu nad opěrou O2:



Napětí: $\sigma_x = -71,0 \text{ MPa}$

Svislé zatížení dopravou – B2/40



Max napětí: $\sigma_x = 12,2 \text{ MPa}$

Min napětí: $\sigma_x = -21,0 \text{ MPa}$

Lokální zatížení nápravou mezi pražci

Tíha nápravy 160kN je umístěna uprostřed mezi pražci vzdálenými 600 mm.
Ohybový moment spočítaný jako pro prostý nosník:

$$M_0 = 0,25 \cdot F \cdot l = 0,25 \cdot 160 \cdot 0,6 = 24 \text{ kNm}$$

Napětí v kolejnici:

$$\sigma_s = M_{sp}/w = 0,024 / (2 \cdot 2,403 \cdot 10^{-4}) = 49,9 \text{ MPa}$$

8. POSOUZENÍ NAPĚTÍ V KOLEJNICI

Výpočet napětí v kolejnici (pro maximální tah):

č.	Zatěžovací stav	σ_{char} [Mpa]	α	δ	γ_f	$\sigma_{\text{návrh}}$ [Mpa]
1	vnitřní napětí od výroby	100,00	-	-	1,00	100,0
2	ochlazení koleje	148,10	-	-	1,00	148,1
3	ochlazení NK	120,70	-	-	1,00	120,7
4	brzdna síla	4,10	-	-	1,45	5,9
5	svislé zatížení dopravou	12,20	1,00	1,16	1,45	20,5
6	lokální zatížení nápravou	49,90	1,00	1,26	1,45	91,2
Celkové napětí v kolejnici						486,4

Posouzení napětí:

$$\sigma_{sd} = 486,4 \text{ MPa} < 528 \text{ MPa} = f_{y,d} \quad \text{vyhovuje}$$

Výpočet napětí v kolejnici (pro maximální tlak):

č.	Zatěžovací stav	σ_{char} [Mpa]	α	δ	γ_f	$\sigma_{\text{návrh}}$ [Mpa]
1	vnitřní napětí od výroby	100,00	-	-	1,00	100,0
2	oteplení koleje	152,90	-	-	1,00	152,9
3	oteplení NK	71,00	-	-	1,00	71,0
4	brzdna síla	4,10	-	-	1,45	5,9
5	svislé zatížení dopravou	21,00	1,00	1,16	1,45	35,3
6	lokální zatížení nápravou	49,90	1,00	1,26	1,45	91,2
Celkové napětí v kolejnici						456,3

Posouzení napětí:

$$\sigma_{sd} = 456,3 \text{ MPa} < 528 \text{ MPa} = f_{y,d} \quad \text{vyhovuje}$$

9. ZÁVĚR

Tímto statickým výpočtem byla posouzena kombinovaná odezva mostní konstrukce v km

29,238 s ověřením celkového napětí v kolejnici. Při uvážení tuhosti stávající spodní stavby a přímého upevnění kolejnic na mostnicích na ocelové nosné konstrukci dl. 20,8 m je vypočítaná hodnota maximálního a minimálního napětí z hlediska zřízení bezstykové koleje vyhovující.

V Praze 10/2021

vypracoval: Ing. Martin Knytl