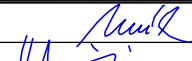


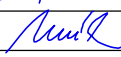


Odpovědný projektant:	Ing. Miroslav Novák		 SPOL. S R. O.
Vypracoval:	Ing. Martin Klomínský		
Kontroloval:	Ing. Miroslav Novák		
Objednatel: Správa železniční dopravní cesty, státní organizace OŘ Ústí nad Labem, Železničářská 1386/31, Ústí n/L 400 03			Žukovova 79/60, 400 03 Ústí nad Labem projekce@progi.cz Tel: 411 198 004
Stavba: Příprava a zpracování projektů staveb pro SMT na rok 2019 OBJEKT 15 Projekt stavby na opravu mostu v ev. km 7,166 TÚ č. 0661 Ústí n.L. západ - Bílina			Číslo projektu: 37/2018 Datum: 04/2019 Stupeň: P Měřítko:
STATICKÝ VÝPOČET			Část: Číslo výkresu: <div style="text-align: center; font-size: 1.5em;">11</div>

1 TECHNICKÁ ZPRÁVA KE STATICKÉMU VÝPOČTU

1.1 Celkový obsah s uvedením čísel stran jednotlivých částí

1	Technická zpráva ke statickému výpočtu	1
1.1	Celkový obsah s uvedením čísel stran jednotlivých částí	1
1.2	Základní údaje	3
1.3	Technický popis jednotlivých samostatných konstrukcí	3
1.4	Údaje o fyzikálně-mechanických vlastnostech použitých materiálů	4
1.5	Podklady pro zpracování statického výpočtu	4
1.6	Přehled použité literatury, využívaných norem a vzorových listů	5
1.7	Výpočetní pomůcky	5
2	Vlastní přepočet	5
2.1	Výpočetní model	5
2.2	Zatížení	6
2.2.1	Zatížení stálé	6
2.2.2	Zatížení proměnné	6
2.2.3	Sestavy zatížení železniční dopravou	14
2.2.4	Kombinace zatížení	14
2.3	Stanovení únosnosti průřezu	16
2.4	Stanovení zatížitelnosti nezesíleného průřezu	18
2.4.1	Deska pod kolejí č. 5	18
2.4.2	Deska pod kolejí č. 3	18
2.4.3	Deska pod kolejí č. 1	18
2.4.4	Deska pod kolejí č. 2	19
2.5	Zesílení mostu CFRP lamelami	19
2.5.1	KRITÉRIA NÁVRHU A OMEZENÍ	19
2.5.2	PŘEDPOKLADY VÝPOČTU	19
2.5.3	PEVNOST FRP ZESÍLENÍ	20
2.5.4	OČEKÁVANÁ PŘENÁŠENÁ KOMBINACE ZATÍŽENÍ	20
2.5.5	VÝSLEDNÁ	21
2.6	Stanovení zatížitelnosti zesíleného průřezu CFRP lamelami	24
2.6.1	Deska pod kolejí č. 5	24
2.6.2	Deska pod kolejí č. 3	24
2.6.3	Deska pod kolejí č. 1	25

2.6.4	Deska pod kolejí č. 2	25
2.7	Rozhodnutí o přechodnosti pro D4/60.....	25
3	Sestavení přehledných výsledků zatížitelnosti	26

1.2 Základní údaje

Evidenční km	7,166
Trať	č. 131 Ústí nad Labem - Úpořiny - Bílina
Traťový úsek	TÚ č. 0661 Ústí n. L. západ - Bílina
Definiční úsek	DÚ B1
Počet převáděných kolejí	5
Přemostovaná překážka	Trvalá vodoteč (Řehlovický potok)
Počet otvorů	1
Prostorová úprava (šikmost)	Kolmý most - 90°
Členění konstrukcí	Nosnou konstrukci tvoří 5 vzájemně oddílatovaných železobetonových monolitických desek, které jsou uloženy na spodní stavbu přes vrubové klouby. Spodní stavbu tvoří masivní betonové opěry na plošných základech.
Geometrická poloha koleje	Kolej v oblouku $R_1 = 305,0$ m, $R_2 = 300,0$ m, $R_3 = 310,0$ m, $R_4 = 295,0$ m, $R_5 = 315,0$ m,
Návrhová traťová rychlost	60 km/hod
Uvažované zatížení	Traťová třída zatížení D4
Prostorové uspořádání	VMP 2,5
Kategorie zatížitelnosti	C

1.3 Technický popis jednotlivých samostatných konstrukcí

Nosnou konstrukci tvoří 5 vzájemně oddílatovaných železobetonových monolitických desek. První čtyři desky ze strany vtoku byly zhotoveny v roce 1956. V roce 1965 byl most rozšířen samostatnou železobetonovou deskovou konstrukcí pro kolej č. 4. Desky prvních čtyř dilatačních celků jsou uloženy na obou koncích přes vrubové klouby. Konstrukce tedy staticky působí jako rozepřená. Uložení desky z roku 1965 není zřejmé a nedochovala se archivní dokumentace této části konstrukce. Dle archivní dokumentace k prvním čtyřem celkům jsou desky zhotoveny z betonu B 250 a pro vyztužení byla použit betonářská výztuž 10 512 (Roxor).

Spodní stavbu tvoří masivní betonové opěry pravděpodobně z prostého betonu B105 ve vrcholu doplněné železobetonovými úložnými prahy z betonu B 250. Plošné základy z betonu B 105 mají šířku 2,0 m a výšku 1,2 m. Na vtoku je konstrukce ukončena rovnoběžnými betonovými křídly.

Přehled zjištěných závad a poruch mostního objektu (ke dni 04. 02. 2019):

- Z pohledu desek zejména při dolních hranách u podélných dilatačních spár dochází k degradaci betonu do hl. 10 – 30 mm, v místě degradace lokálně obnažená ocelová výztuž (výztuž rezavá a korozně oslabená)
- Patrné protékání, průsaky vody podélnou dilatační spárou mezi díly NK (deskami) též z míst dilatací lokálně vytéká izolační materiál a z pohledu jsou pruhy izolačního materiálu odloupané, poškozené.
- Římsa 1. desky NK při horní vnější hraně porušená (beton degraduje – obnažená ocelová výztuž) + na začátku římsy odpadá omítka v délce 0,20 m.
- Výplň spáry mezi díly opěr místy hloubkově vypadaná, vyplavená.

1.4 Údaje o fyzikálně-mechanických vlastnostech použitých materiálů

Následující hodnoty byly odvozeny na základě dostupné archivní dokumentace a doporučení uvedených v Metodickém pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů. Vzhledem k tomu, že byla k dispozici podrobná archivní dokumentace včetně výkresu výztuže a na místě je výztuž značně obnažená, nebyl prováděn doplňující stavebně technický průzkum.

Beton

- | | |
|---|---|
| • Beton: | B 250 |
| • Sečnový modul pružnosti: | $E_{cm} = 29\,000\text{ MPa}$ |
| • Charakteristická pevnost v tlaku: | $f_{ck} = 16,0\text{ MPa}$ |
| • Dílčí součinitel spolehlivosti (MSÚ): | $\gamma_c = 1,50$ (pevnost neověřena zkouškami) |
| • Návrhová pevnost v tlaku (MSÚ): | $f_{cd} = 10,67\text{ MPa}$ |
| • Charakter. pevnost betonu v tahu: | $f_{ctk0,05} = 1,30\text{ MPa}$ |

Betonářská výztuž

- | | |
|--------------------------------------|--|
| • Výztuž: | 10 512 |
| • Charakteristická mez kluzu: | $f_{yk} = 380\text{ MPa}$ |
| • Dílčí součinitel spolehlivosti: | $\gamma_s = 1,10$ (most starší 30 let) |
| • Návrhová hodnota modulu pružnosti: | $E_p = 195\text{ GPa}$ |

1.5 Podklady pro zpracování statického výpočtu

- Archivní dokumentace – Přestavba a prodloužení mostu v km 7,187, 09/1954
- Prohlídka objektu projektantem (04. 02. 2019)
- Protokol o podrobné prohlídce mostního objektu (04/2015)
- Pasport koleje na mostním objektu

1.6 Přehled použité literatury, využívaných norem a vzorových listů

- Metodický pokyn pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů
- ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- ČSN EN 1991-1-5 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou
- ČSN EN 1991-2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou
- ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady
- ČSN EN 1997-1 Eurokód 7: Navrhování geotechnických konstrukcí - Část 1: Obecná pravidla
- ČSN EN 206 Beton: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
- ČSN EN 15528 Železniční aplikace – Traťové třídy zatížení pro určení vztahu mezi dovoleným zatížením infrastruktury a maximálním zatížením vozidly

1.7 Výpočetní pomůcky

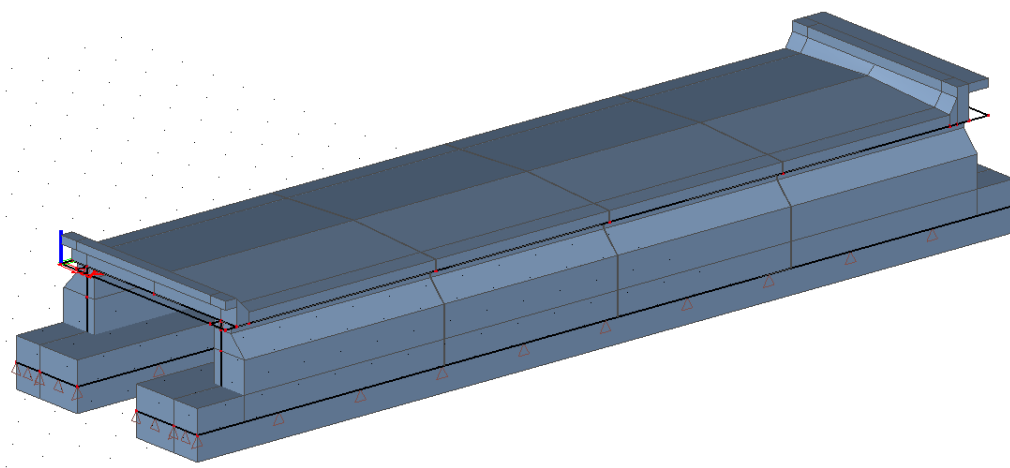
Pro posouzení mostní konstrukce byly použity tyto programy:

- SciaEngineer 16.0, © Nemetschek Group
- Mathcad 14.0, © 2007 Parametric Technology Corporation.
- MS OFFICE 365, © Microsoft Corporation.
- GEO 5, © Fine Ltd.

2 VLASTNÍ PŘEPOČET

2.1 Výpočetní model

V programu SciaEngineer byl vytvořen deskový model, který odpovídá tvaru střednice konstrukce. Jelikož konstrukce působí jako rozepřená, jsou součástí modelu NK také opěry a základy. Uložení NK je modelováno liniovým kloubem umožňujícím pouze pootočení kolem podélné osy. Založení objektu bylo modelováno jako pružné pomocí Winklerových pružin. Model nepředpokládá spolupůsobení nosné konstrukce s okolním zásypem.



2.2 Zatížení

Zatížení jsou uvažována dle EN 1991 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí. Roznos zatížení násypem je uvažován ve sklonu 4:1.

2.2.1 Zatížení stálé

Vlastní tíha nosné konstrukce

Objemová tíha obyčejného betonu se uvažuje hodnotou $24,0 \text{ kN/m}^3$. Tato hodnota se zvětší o 1 kN/m^3 pro běžné procento vyztužení. Tíha desky je proto uvažována hodnotou $25,0 \text{ kN/m}^3$.

Ostatní stálé zatížení

šterkové lože (žula, rula... 20 kN/m^3)

charakteristická hodnota zatížení: $= 20,0 \text{ kN/m}^3$

kolej (2 kolejnice S 49, předpjaté betonové pražce)

nominální hodnota zatížení: $= 6,0 \text{ kN/m}$

hydroizolace + ochrana

char. hodnota zatížení: $0,06 \text{ m} \times 25,0 \text{ kN/m}^3 = 1,50 \text{ kN/m}^2$

ocelové úhelníkové zábradlí

$= 0,3 \text{ kN/m}$

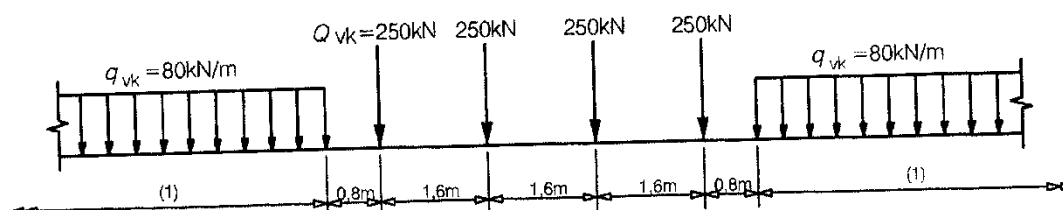
Zatížení zeminou

Jako materiál zásypu je uvažován šterk s příměsí jemnozrnné zeminy G3/G-F. Tíha zeminy je zadána 20 kN/m^3 , úhel vnitřního tření pak 30° .

součinitel zemního tlaku v klidu: $K_0 = 1 - \sin \varphi = 1 - \sin 30 = 0,50$

2.2.2 Zatížení proměnné

Model zatížení 71



Osamělé síly budou rozneseny v podélném směru na tři pražce v souladu s čl. 6.3.6.1 ČSN EN 1991-2. Z pražce se zatížení bude roznášet k povrchu desky ve sklonu 4:1. Zatížení bude do modelu zadáno již s požadovanou excentricitou.

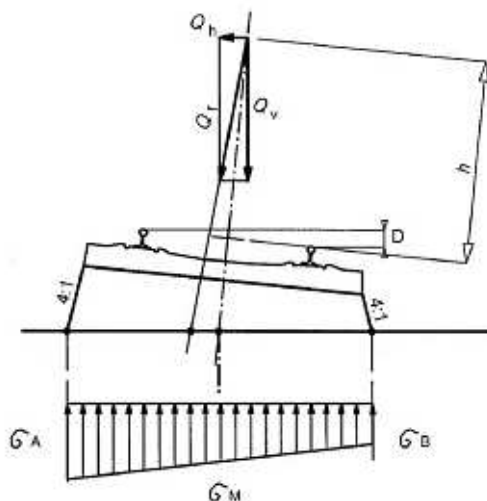
Dynamický součinitel

Dynamický součinitel je stanoven pro standardně udržovanou kolej.

$$\Phi = (2,16 / (\sqrt{L_d} - 0,2)) + 0,73 = 1,87$$

Náhradní délka je uvažována hodnotou $L_d = 4,40 \text{ m}$

Roznos bodového zatížení pražci a ložem s uvažováním excentricity



rozchod kolejnic	$L_{kol} := 1.5\text{m}$
převýšení koleje.....	$D_{kol} := 76\text{mm}$
délka pražce.....	$L_{pr} := 2.41\text{m}$
šířka pražce.....	$S_{pr} := 0.27\text{m}$
tloušťka štěrku lože..	$T_{loze} := 0.33\text{m}$
výška pražce s kolejnicí...	$H_{kol} := 0.375\text{m}$
svislá bodová síla.....	$Q_v := 250\text{kN}$
redukční součinitel.....	$f_{red} := 1.00$

Odstředivé síly působí vodorovně ven z oblouku ve výšce 1,80 m nad temenem kolejnice.

Stanovení šířky a délky nosné konstrukce, na kterou se roznese zatížení:

$$\text{šířka: } L_{roz} := L_{pr} + 0.25 \cdot T_{loze} + 0.25 \left[\left(\frac{D_{kol} \cdot L_{pr}}{L_{kol}} \right) + T_{loze} \right] = 2.606\text{m}$$

$$\text{délka: } D_{roz} := \min \left[(S_{pr} + 0.5 \cdot T_{loze}), 0.533\text{m} \right] = 0.435\text{m}$$

Excentricita zatížení:

Dle ČSN EN 1991-2 se musí uvažovat boční posunutí svislých zatížení u všech náprav až do poměru 1,25 : 1,00. Dle kapitoly 6.3.5 je maximální excentricita 1/18 rozchodu koleje.

Výsledné napětí pod pražcem pod bodovou silou:

$$\sigma_A := \left(\frac{0.5Q_v}{L_{roz} \cdot D_{roz}} \right) + \left[\frac{\left(\frac{L_{kol}}{18} \right) \cdot 0.5Q_v}{0.166666 \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_A = 131.451 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\sigma_B := \left(\frac{0.5Q_v}{L_{roz} \cdot D_{roz}} \right) - \left[\frac{\left(\frac{L_{kol}}{18} \right) \cdot 0.5Q_v}{(0.166666) \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_B = 89.122 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

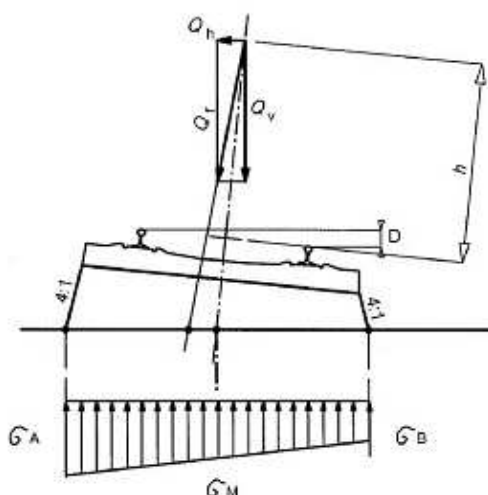
Boční přitížení vlakem

Svislé hodnoty zatížení budou násobeny součinitelem zemního tlaku v klidu.

$$K_0 = 0,50$$

Odstředivá síla

Roznos odstředivé síly



rozchod kolejnic	$L_{kol} := 1.5\text{m}$
převýšení koleje.....	$D_{kol} := 76\text{mm}$
délka pražce.....	$L_{pr} := 2.41\text{m}$
šířka pražce.....	$S_{pr} := 0.27\text{m}$
tloušťka štěrku lože..	$T_{loze} := 0.33\text{m}$
výška pražce s kolejnicí...	$H_{kol} := 0.375\text{m}$
svislá bodová síla.....	$Q_v := 250\text{kN}$
maximální rychlost...	$v_{tr} := 16.67\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
poloměr oblouku.....	$R_{obl} := 305\text{m}$
redukční součinitel.....	$f_{red} := 1.00$

Stanovení odstředivé síly:

$$Q_{tk} := \left(\frac{v_{tr}^2}{g \cdot R_{obl}} \right) \cdot (f_{red} \cdot Q_v) = 23.227 \cdot \text{kN}$$

Odstředivé síly působí vodorovně ven z oblouku ve výšce 1,80 m nad temenem kolejnice.

Stanovení šířky a délky nosné konstrukce, na kterou se roznese zatížení:

$$\text{šířka: } L_{roz} := L_{pr} + 0.25 \cdot T_{loze} + 0.25 \left[\left(\frac{D_{kol} \cdot L_{pr}}{L_{kol}} \right) + T_{loze} \right] = 2.606 \text{ m}$$

$$\text{délka: } D_{roz} := \min[S_{pr} + 0.5 \cdot T_{loze}, 0.533\text{m}] = 0.435 \text{ m}$$

Excentricita zatížení:

Dle ČSN EN 1991-2 se musí uvažovat boční posunutí svislých zatížení u všech náprav až do poměru 1,25 : 1,00. Dle kapitoly 6.3.5 je maximální excentricita 1/18 rozchodu koleje.

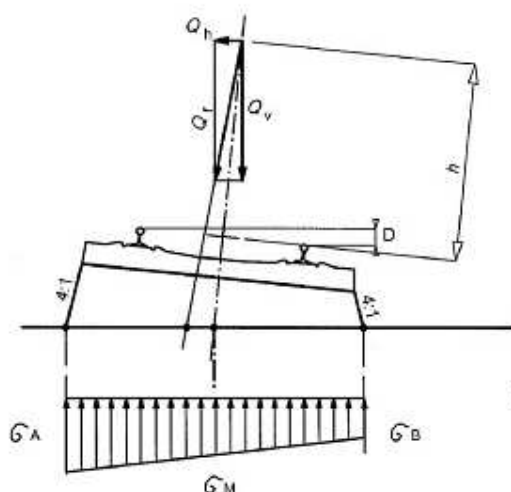
Výsledné napětí pod pražcem pod bodovou silou:

$$\sigma_A := \left[\frac{0.5 Q_{tk} \cdot (1.8\text{m} + H_{kol})}{0.166666 \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_A = 51.321 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$\sigma_B := \left[\frac{-0.5 Q_{tk} \cdot (1.8\text{m} + H_{kol})}{(0.166666) \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_B = -51.323 \cdot \text{kN}\cdot\text{m}^{-2}$$

Boční ráz

Roznos bočního rázu pražci a ložem



rozchod kolejnic	$L_{kol} := 1.5\text{m}$
převýšení koleje.....	$D_{kol} := 76\text{mm}$
délka pražce.....	$L_{pr} := 2.41\text{m}$
šířka pražce.....	$S_{pr} := 0.27\text{m}$
tloušťka štěrku lože..	$T_{loze} := 0.33\text{m}$
boční ráz.....	$Q_H := 100\text{kN}$
výška pražce s kolejnicí...	$H_{kol} := 0.375\text{m}$

Stanovení šířky a délky nosné konstrukce, na kterou se roznese zatížení:

$$\text{šířka: } L_{roz} := L_{pr} + 0.25 \cdot T_{loze} + 0.25 \left[\left(\frac{D_{kol} \cdot L_{pr}}{L_{kol}} \right) + T_{loze} \right] = 2.606\text{m}$$

$$\text{délka: } D_{roz} := \min[S_{pr} + 0.5 \cdot T_{loze}, 0.533\text{m}] = 0.435\text{m}$$

Výsledné napětí pod pražcem pod bodovou silou:

$$\sigma_A := \left(\frac{0.5 Q_H H_{kol}}{0.166666 \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right)$$

$$\sigma_A = 38.096 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$\sigma_B := \left(\frac{-0.5 Q_H H_{kol}}{(0.166666) \cdot D_{roz} \cdot L_{roz}^2} \right)$$

$$\sigma_B = -38.097 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Rovnoměrná složka teploty

Pro místo stavby (Řehlovice) byly z map maximálních a minimálních teplot vzduchu ve stínu převzaty následující hodnoty:

$$T_{\min} = -34^\circ\text{C}; \quad T_{\max} = 40^\circ\text{C}$$

Minimální a maximální rovnoměrná složka teploty se dopočítá pro konstrukci 3. typu (betonová nosná konstrukce)

$$T_{e,\min} = T_{\min} + 8^\circ\text{C} = -34^\circ\text{C} + 8^\circ\text{C} = -26^\circ\text{C}$$

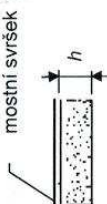
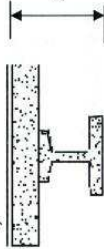
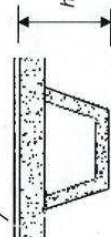
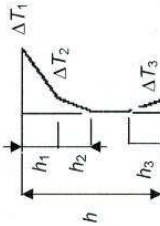
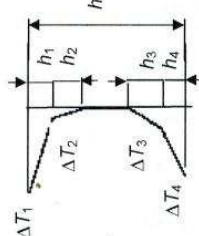
$$T_{e,\max} = T_{\max} + 1.5^\circ\text{C} = 40^\circ\text{C} + 1.5^\circ\text{C} = 41.5^\circ\text{C}$$

Charakteristická hodnota maximálního rozsahu rovnoměrné složky teploty bude dopočítána od výchozí teploty 10°C.

$$\Delta T_{N, \text{con}} = T_0 - T_{e, \text{min}} = 10^\circ\text{C} - (-26^\circ\text{C}) = 36^\circ\text{C} \quad (\text{ochlazení})$$

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

Rozdílová složka teploty

Typ konstrukce	Rozdíly teplot ΔT																																																							
	(a) oteplení	(b) ochlazení																																																						
<div><p>mostní svršek 100 mm</p></div> <p>Typ 3.a: betonová desková konstrukce</p> <div><p>mostní svršek 100 mm</p></div> <p>Typ 3.b: betonový nosník</p> <div><p>mostní svršek 100 mm</p></div> <p>Typ 3.c: betonový komorový nosník</p>	<div><p>$h_1 = 0,3 h$, avšak $\leq 0,15 \text{ m}$ $h_2 = 0,3 h$, avšak $\geq 0,10 \text{ m}$ avšak $\leq 0,25 \text{ m}$ $h_3 = 0,3 h$, avšak $\leq (0,10 +$ tloušťka mostního svršku v m) pro tenké desky je h_3 omezeno $h - h_1 - h_2$</p><table><tr><th>h m</th><th>ΔT_1</th><th>ΔT_2</th><th>ΔT_3</th></tr><tr><td>$\leq 0,2$</td><td>8,5</td><td>3,5</td><td>0,5</td></tr><tr><td>0,4</td><td>12,0</td><td>3,0</td><td>1,5</td></tr><tr><td>0,6</td><td>13,0</td><td>3,0</td><td>2,0</td></tr><tr><td>$\geq 0,8$</td><td>13,0</td><td>3,0</td><td>2,5</td></tr></table></div> <div><p>$h_1 = h_4 = 0,20 h$, avšak $\leq 0,25 \text{ m}$ $h_2 = h_3 = 0,25 h$, avšak $\leq 0,20 \text{ m}$</p><table><tr><th>h m</th><th>ΔT_1</th><th>ΔT_2</th><th>ΔT_3</th><th>ΔT_4</th></tr><tr><td>$\leq 0,2$</td><td>-2,0</td><td>-0,5</td><td>-0,5</td><td>-1,5</td></tr><tr><td>0,4</td><td>-4,5</td><td>-1,4</td><td>-1,0</td><td>-3,5</td></tr><tr><td>0,6</td><td>-6,5</td><td>-1,8</td><td>-1,5</td><td>-5,0</td></tr><tr><td>0,8</td><td>-7,6</td><td>-1,7</td><td>-1,5</td><td>-6,0</td></tr><tr><td>1,0</td><td>-8,0</td><td>-1,5</td><td>-1,5</td><td>-6,3</td></tr><tr><td>$\geq 1,5$</td><td>-8,4</td><td>-0,5</td><td>-1,0</td><td>-6,5</td></tr></table></div>	h m	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	h m	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4	$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h m	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3																																																					
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																					
0,4	12,0	3,0	1,5																																																					
0,6	13,0	3,0	2,0																																																					
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																					
h m	ΔT_1	ΔT_2	ΔT_3	ΔT_4																																																				
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																				
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																				
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																				
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																				
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																				
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																				

ZADÁNÍ GEOMETRIE:

šířka průřezu: $B_{pr} := 1.0\text{m}$

výška průřezu: $H_{pr} := 0.39\text{m}$

tloušťka mostního svršku: $H_{sv} := 0.49\text{m}$

STANOVENÍ PRŮŘEZOVÝCH CHARAKTERISTIK:

Průřezová plocha: $A_{pr} := B_{pr} \cdot H_{pr} = 0.39\text{m}^2$

Poloha těžiště od dolních vláken: $e_{pr} := 0.5 \cdot H_{pr} = 0.195\text{m}$

Moment setrvačnosti průřezu: $I_{y,pr} := \frac{B_{pr} \cdot H_{pr}^3}{12} = 4.943 \times 10^{-3}\text{m}^4$

Poloha neutrálné osy od spodních vláken: $N_O := e_{pr} = 0.195\text{m}$

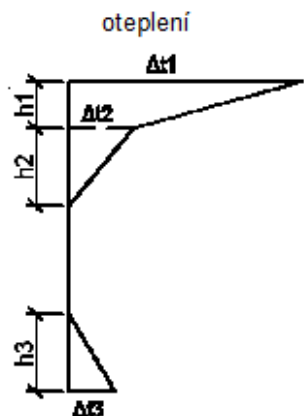
CHARAKTERISTIKA BETONU:

modul pružnosti v čase 28 dní: $E_{cmT} := 29000\text{MPa}$

pevnost betonu v čase 28 dní: $f_{ckT} := 16\text{MPa}$

ZATÍŽENÍ ROZDÍLOVOU SLOŽKOU TEPLOTY:

součinitel teplotní roztažnosti: $\alpha_t := 0.00001\text{K}^{-1}$

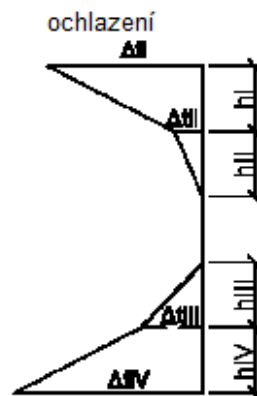


$h_1 = 0.117\text{m}$
 $h_2 = 0.117\text{m}$
 $h_3 = 0.117\text{m}$

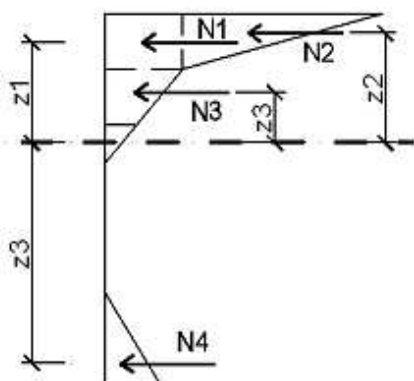
$\Delta t_1 := 13.0\text{K}$
 $\Delta t_2 := 3.0\text{K}$
 $\Delta t_3 := 2.5\text{K}$

$h_I = 0.078\text{m}$
 $h_{II} = 0.098\text{m}$
 $h_{III} = 0.098\text{m}$
 $h_{IV} = 0.078\text{m}$

$\Delta t_I := 7.6\text{K}$
 $\Delta t_{II} := 1.7\text{K}$
 $\Delta t_{III} := 1.5\text{K}$
 $\Delta t_{IV} := 6.0\text{K}$



Momentový účinek od oteplení:



$$N_1 = 0.102 \cdot \text{MN} \quad z_1 = 0.137 \text{ m} \quad M_1 = -13.894 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_2 = 0.17 \cdot \text{MN} \quad z_2 = 0.156 \text{ m} \quad M_2 = -26.465 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

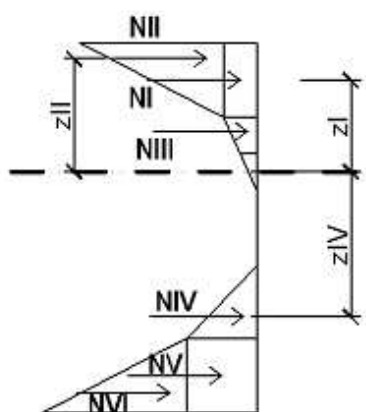
$$N_3 = 0.051 \cdot \text{MN} \quad z_3 = 0.039 \text{ m} \quad M_3 = -1.985 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_4 = 42.413 \cdot \text{kN} \quad z_4 = 0.156 \text{ m} \quad M_4 = 6.616 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{ot}} = 364.748 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{ot}} = -35.728 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Momentový účinek od ochlazení:



$$N_{\text{I}} = 0.038 \cdot \text{MN} \quad z_{\text{I}} = 0.156 \text{ m} \quad M_{\text{I}} = 5.999 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{II}} = 0.067 \cdot \text{MN} \quad z_{\text{II}} = 0.169 \text{ m} \quad M_{\text{II}} = 11.277 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{III}} = 24.034 \cdot \text{kN} \quad z_{\text{III}} = 0.085 \text{ m} \quad M_{\text{III}} = 2.031 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{IV}} = 21.206 \cdot \text{kN} \quad z_{\text{IV}} = 0.085 \text{ m} \quad M_{\text{IV}} = -1.792 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{V}} = 33.93 \cdot \text{kN} \quad z_{\text{V}} = 0.156 \text{ m} \quad M_{\text{V}} = -5.293 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{VI}} = 50.895 \cdot \text{kN} \quad z_{\text{VI}} = 0.169 \text{ m} \quad M_{\text{VI}} = -8.601 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$N_{\text{och}} = 235.248 \cdot \text{kN}$$

$$M_{\text{och}} = 3.621 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

ODPOVÍDAJÍCÍ PŘETVOŘENÍ OD OTEPLENÍ PRŮŘEZU:

$$\varepsilon_{\text{OT}} = \frac{N_{\text{ot}}}{E_{\text{cmT}} \cdot A_{\text{pr}}} = 3.225 \times 10^{-5}$$

$$\psi_{\text{ot}} = \frac{M_{\text{ot}}}{E_{\text{cmT}} \cdot I_{y\text{pr}}} = -2.492 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{m}}$$

ODPOVÍDAJÍCÍ PŘETVOŘENÍ OD OCHLAZENÍ PRŮŘEZU:

$$\varepsilon_{\text{och}} = \frac{N_{\text{och}}}{E_{\text{cmT}} \cdot A_{\text{pr}}} = 2.08 \times 10^{-5}$$

$$\psi_{\text{och}} = \frac{M_{\text{och}}}{E_{\text{cmT}} \cdot I_{y\text{pr}}} = 2.526 \times 10^{-5} \frac{1}{\text{m}}$$

Současné působení rovnoměrné a rozdílové složky teploty

Budou uvažovány dvě teplotní kombinace: $\Delta T_{\text{M}} + 0,35 \times \Delta T_{\text{N}}$
 $0,75 \times \Delta T_{\text{M}} + \Delta T_{\text{N}}$

Zatížení větrem

Zatížení větrem je definováno dle ČSN EN 1991-1-4. Působení větru bude uvažováno pouze na vlakovou soupravu, která bude přitěžovat nosnou konstrukci. Působení větru přímo na nosnou konstrukci bude zanedbáno.

Rychlost větru je určena podle mapy větrných oblastí ČR, území je III. kategorie. Vítr působí na vlakovou soupravu výšky 4,85 m. Výslednice tedy působí ve výšce 2,425 m nad temenem kolejnice.

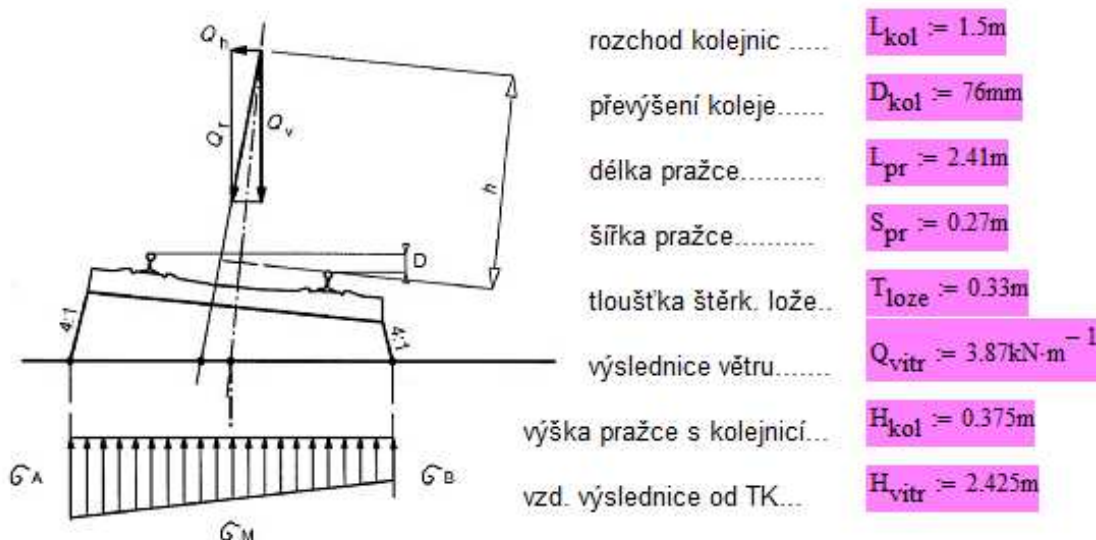
$$F_{wn} = 1/2 \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot A_{ref} = 1/2 \cdot 1,25 \cdot 27,5^2 \cdot 1,69 \cdot 4,85 = 3,87 \text{ kN/m}$$

měrná hmotnost vzduchu: $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

výchozí základní rychlost větru: $V_b = 27,5 \text{ m/s}$

Součinitel expozice: $C_e = 1,69$

Roznos příčného zatížení větrem pražci a ložem



Stanovení šířky a délky nosné konstrukce, na kterou se roznese zatížení:

$$\text{šířka: } L_{roz} := L_{pr} + 0.25 \cdot T_{loze} + 0.25 \left[\left(\frac{D_{kol} \cdot L_{pr}}{L_{kol}} \right) + T_{loze} \right] = 2.606\text{m}$$

Výsledné napětí pod pražcem pod bodovou silou:

$$\sigma_A := \left[\frac{Q_{vitr} \cdot (H_{kol} + H_{vitr})}{0.166666 \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_A = 9.577\text{-kN}\cdot\text{m}^{-2}$$

$$\sigma_B := \left[\frac{-Q_{vitr} \cdot (H_{kol} + H_{vitr})}{(0.16666) \cdot L_{roz}^2} \right] \quad \sigma_B = -9.577\text{-kN}\cdot\text{m}^{-2}$$

2.2.3 Sestavy zatížení železniční dopravou

Sestavy zatížení jsou zvoleny dle EN 1991-2. Vzhledem k tomu že na každé konstrukci se nachází jedna kolej, jsou uvažovány sestavy gr 11, gr 12, gr13 a gr14.

2.2.4 Kombinace zatížení

Mezní stavy únosnosti

Dle EN 1990 se pro mezní stavy STR (vnitřní porucha nebo nadměrná deformace) a GEO (porucha nebo nadměrná deformace základové půdy) použije následující kombinace zatížení.

- a) Kombinace pro trvalé a dočasné návrhové situace

$$6.10 \quad \sum \gamma_G G + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Mezní stavy použitelnosti

Dle ČSN EN 1990 a ČSN EN 1992 se pro mezní stavy použitelnosti použijí následující kombinace zatížení.

- b) Charakteristická kombinace

$$6.14b \quad \sum G + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Hodnoty součinitelů zatížení a kombinace:

$\gamma_G = 1,30$...součinitel stálého zatížení (prvek starší než 30 let bez kontroly rozměrů)

$\gamma_Q = 1,30$...součinitel zatížení pro železniční dopravu (most starší než 30 let)

$\gamma_Q = 1,35$...součinitel zatížení pro účinky teploty a větru (most starší než 30 let)

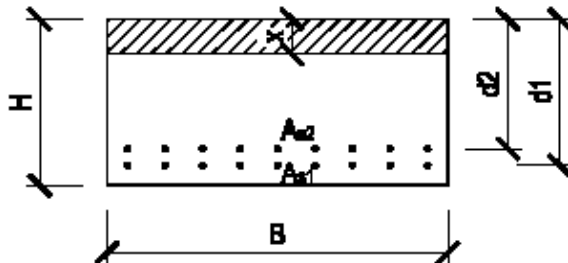
$\psi_0 = 0,60$... součinitel kombinace pro zatížení teplotou

$\psi_0 = 0,75$... součinitel kombinace pro zatížení větrem

Kombinace 6.10		konstrukce pod kolejí			
		č. 5	č. 3	č. 1	č. 2
vlastní tíha	M_y	19,12	21,60	21,62	21,62
	Q_z	19,94	19,92	20,00	19,92
	součinitel zatížení	1,30			
	součinitel v kombinaci	-			
ostatní stálé	M_y	24,01	25,97	31,03	19,55
	Q_z	26,01	24,07	31,94	19,65
	součinitel zatížení	1,30			
	součinitel v kombinaci	-			
gr 11	M_y vč. δ	177,45	194,24	229,35	132,95
	Q_z vč. δ	183,89	183,12	273,36	166,29
	součinitel zatížení	1,30			
	součinitel v kombinaci	-			
gr 12	M_y vč. δ	179,76	196,49	231,85	139,52
	Q_z vč. δ	185,98	196,12	280,31	169,36
	součinitel zatížení	1,30			
	součinitel v kombinaci	-			
teplota	M_y	8,63	9,86	9,68	5,86
	Q_z	40,33	36,17	42,81	37,82
	součinitel zatížení	1,35			
	součinitel v kombinaci	0,60			
vítr	M_y	2,82	2,70	2,85	1,14
	Q_z	5,96	5,97	8,11	4,01
	součinitel zatížení	1,35			
	součinitel v kombinaci	0,75			
KOMB. 6.10	M_y	299,60	328,00	380,58	240,80
	Q_z	340,21	347,49	474,81	306,30

2.3 Stanovení únosnosti průřezu

Únosnost železobetonového obdelníkového průřezu



$$H := 0.39\text{m}$$

$$B := 1\text{m}$$

$$\text{krytí} \dots c_{\text{nom}} := 25\text{mm}$$

$$\text{charakteristická pevnost betonu v tlaku} \dots f_{\text{ck}} := 16\text{MPa}$$

$$\text{součinitel dlouhodobých účinků} \dots \alpha_{\text{cc}} := 1.00$$

$$\text{součinitel materiálu pro beton} \dots \gamma_c := 1.50$$

$$\text{charakteristická mez kluzu výztuže} \dots f_{\text{yk}} := 380\text{MPa}$$

$$\text{součinitel materiálu pro výztuž} \dots \gamma_s := 1.10$$

1. řada betonářské výztuže (uvažován profil "roxor"):

$$\text{počet prutů} \dots n_1 := 7.7$$

$$\text{průměr prutů} \dots \phi_1 := 28\text{mm} \quad \text{plocha výztuže 1. řady} \dots A_{s1} := 0.48158 \cdot \phi_1^2 \cdot n_1 = 2.907 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$\text{účinná výška 1. řady prutů} \dots d_1 := H - \left(c_{\text{nom}} + \frac{\phi_1}{2} \right) = 0.351\text{m}$$

2. řada betonářské výztuže (uvažován profil "roxor"):

$$\text{počet prutů} \dots n_2 := 0$$

$$\text{průměr prutů} \dots \phi_2 := 16\text{mm} \quad \text{plocha výztuže 2. řady} \dots A_{s2} := 0.48158 \cdot \phi_2^2 \cdot n_2 = 0 \cdot \text{mm}^2$$

$$\text{účinná výška 1. řady prutů} \dots d_2 := H - \left(c_{\text{nom}} + \phi_1 + 35\text{mm} + \frac{\phi_2}{2} \right) = 0.294\text{m}$$

Průměrné hodnoty betonářské výztuže:

$$\text{plocha výztuže} \dots A_s := A_{s1} + A_{s2} = 2.907 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$\text{účinná výška výztuže} \dots d := \frac{d_1 \cdot A_{s1} + d_2 \cdot A_{s2}}{A_s} = 0.351\text{m}$$

$$\text{výška tlačené oblasti} \dots x := \frac{A_s \cdot f_{yd}}{0.8 \cdot B \cdot f_{cd}} = 0.118\text{m}$$

$$\frac{x}{d} = 0.335$$

$$\text{posudek}_x = \text{"VYHOVUJE"}$$

rameno vnitřních sil průřezu $z := d - 0.4 \cdot x = 0.304 \text{ m}$

Moment únosnosti průřezu $M_{Rd} := A_s \cdot f_{yd} \cdot z$ **$M_{Rd} = 305.232 \text{ kN}\cdot\text{m}$**

Procento vyztužení:

$$P_{vyz} := \frac{A_s}{B \cdot d} \quad P_{vyz} = 0.828\%$$

posudek_{vyz} = "VYHOVUJE"

Posouzení smykové výztuže

tloušťka průřezu $B = 1 \text{ m}$

rameno vnitřních sil $z = 0.214 \text{ m}$

sklon tlakových diagonál $\phi := 21.8 \text{ deg}$ $\cotg \phi := 2.5$

plocha průřezu $A_{pr} := B \cdot H = 0.3 \text{ m}^2$

$\nu_1 := 0.6$

Spony:

osová vzdálenost **$s_1 := 0.25 \text{ m}$**

profil spony **$\Phi_1 := 12 \text{ mm}$**

počet v metru šířky **$n_{str} := 3.8$**

$$V_{Rd.1.1} := \frac{B \cdot z \cdot \nu_1 \cdot f_{cd}}{\cotg \phi + \tan(\phi)} \quad V_{Rd.1.1} = 472.111 \text{ kN}$$

$$V_{Rd.s} := \left(\frac{A_{sw.1}}{s_1} \right) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cotg \phi \quad V_{Rd.s} = 194.744 \text{ kN}$$

Ohyby:

počet ohybů **$n_o := 3.33$**

profil ohybu **$\Phi_o := 30 \text{ mm}$**

úhel od vodorovné **$\alpha_o := 45^\circ$**

$$V_{Rd.b} := n_o \cdot A_{s.o1} \cdot \frac{z}{l_m} \cdot f_{yd} \cdot \left(\cotg \phi + \frac{1}{\tan(\alpha_o)} \right) \cdot \sin(\alpha_o) = 263.971 \text{ kN}$$

Celková únosnost

smykové výztuže:

$$V_{Rd.s.celk} := V_{Rd.s} + V_{Rd.b}$$

$$\mathbf{V_{Rd.s.celk} = 458.715 \text{ kN}}$$

2.4 Stanovení zatížitelnosti nezesíleného průřezu

2.4.1 Deska pod kolejí č. 5

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (305,23 - 1,30 \cdot 43,13 - 1,30 \cdot 4,63 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 8,63 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,82) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 93,65 = \mathbf{1,01}$$

Smyk:

$$Z_{LM71} = (Q_{Rd} - Q_{st} - Q_{zb}) / Q_{nah} = (458,72 - 1,30 \cdot 45,95 - 1,30 \cdot 4,39 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 40,33 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 5,96) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 97,22 = \mathbf{1,50}$$

Napětí v základové spáře:

$$Z_{LM71} = (\sigma_u - \sigma_{st} - \sigma_{zb}) / \sigma_{nah} = (250,0 - 1,30 \cdot 123,3 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 4,0 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,0) / 1,30 \cdot 62,0 = \mathbf{1,06}$$

2.4.2 Deska pod kolejí č. 3

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (305,23 - 1,30 \cdot 47,57 - 1,30 \cdot 4,51 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 9,86 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,70) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 102,66 = \mathbf{0,91}$$

Smyk:

$$Z_{LM71} = (Q_{Rd} - Q_{st} - Q_{zb}) / Q_{nah} = (458,72 - 1,30 \cdot 43,99 - 1,30 \cdot 4,41 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 36,17 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 6,14) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 96,79 = \mathbf{1,53}$$

Napětí v základové spáře:

$$Z_{LM71} = (\sigma_u - \sigma_{st} - \sigma_{zb}) / \sigma_{nah} = (250,0 - 1,30 \cdot 125,3 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 4,0 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,0) / 1,30 \cdot 70,0 = \mathbf{0,91}$$

2.4.3 Deska pod kolejí č. 1

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (305,23 - 1,30 \cdot 52,65 - 1,30 \cdot 5,01 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 9,68 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,85) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 121,31 = \mathbf{0,74}$$

Smyk:

$$Z_{LM71} = (Q_{Rd} - Q_{st} - Q_{zb}) / Q_{nah} = (458,72 - 1,30 \cdot 51,94 - 1,30 \cdot 5,33 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 42,81 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 8,11) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 147,05 = \mathbf{0,95}$$

Napětí v základové spáře:

$$Z_{LM71} = (\sigma_u - \sigma_{st} - \sigma_{zb}) / \sigma_{nah} = (250,0 - 1,30 \cdot 125,3 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 4,0 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,0) / 1,30 \cdot 70,0 = \mathbf{0,91}$$

2.4.4 Deska pod kolejí č. 2

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (305,23 - 1,30 \cdot 41,17 - 1,30 \cdot 5,92 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 5,86 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,14) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 71,44 = \mathbf{1,37}$$

Smyk:

$$Z_{LM71} = (Q_{Rd} - Q_{st} - Q_{zb}) / Q_{nah} = (458,72 - 1,30 \cdot 39,57 - 1,30 \cdot 4,0 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 37,82 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 4,01) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 91,27 = \mathbf{1,65}$$

Napětí v základové spáře:

$$Z_{LM71} = (\sigma_u - \sigma_{st} - \sigma_{zb}) / \sigma_{nah} = (250,0 - 1,30 \cdot 123,3 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 4,0 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,0) / 1,30 \cdot 62,0 = \mathbf{1,06}$$

2.5 Zesílení mostu CFRP lamelami

2.5.1 KRITÉRIA NÁVRHU A OMEZENÍ

Zesílení nosníku v ohybu pomocí FRP

Technický věstník č. 55 Mezinárodní federace pro konstrukční beton, 3. vydání (2012): Design guidance for strengthening concrete structures using fibre composite materials.

EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Země: Czech Republic

2.5.2 PŘEDPOKLADY VÝPOČTU

Geometrie

Průřez = Deska

Výška = 390 mm



Beton

Pevnost betonu v tlaku

Pevnost betonu (f_{ck}) = 16 MPa

Valcový vzorek = 16 MPa

Krychelný vzorek = 20 MPa

Betonářská výztuž

Vrstvy výztuže

Horní vrstva	d ₁ mm	Ocel f _{yk} (MPa)	E _s (MPa)	Plocha (mm ²)
1.	25	(Grade 380) 380	200000	183.00
Dolní vrstva	d ₁ mm	Ocel f _{yk} (MPa)	E _s (MPa)	Plocha (mm ²)
1.	34	(Grade 380) 380	200000	2907.00

Dílčí součinitele spolehlivosti

Definované (Eurokód)

Beton

γ_c (Stálý a přechodný) = 1.50

γ_c (Mimořádný) = 1.20

γ_c (Požár) = 1.00

α_{cc} = 1.00

Ocel

γ_s (Stálý a přechodný) = 1.15

γ_s (Mimořádný) = 1.00

γ_s (Požár) = 1.00

Součinitele zatížení

Výchozí kombinace dle Eurokódu	Stálá zatížení	Proměnná zatížení
Očekávaná přenášená zatížení	1.35	1.50
Porušení FRP zesílení	1.00	0.50
Požární situace	1.00	0.30
MSP, charakteristická	1.00	1.00

2.5.3 PEVNOST FRP ZESÍLENÍ

Hlavní FRP zesílení

Se soudržností. Sika CarboDur® S

Sika CarboDur® S512	Typ vlákna	Dílčí součinitele spolehlivosti	ϵ_{fk}	E _{fk} (MPa)	t _f (mm)	osová vzdálenost (mm)	šířka (mm)
Vrstva: 1	Uhlík	$\gamma_{FRP,E}$: 1.10, $\gamma_{FRP,m}$: 1.05, $\gamma_{FRP,E}$: 1.25, γ_A : 4.00	0.0176	165000.00	1.200	200	50.00

2.5.4 OČEKÁVANÁ PŘENÁŠENÁ KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Stávající zatížení

(Kladný) M_i : 52.65 kN·m/m

Očekávaná zatížení (návrh zesílení)

Stálá zatížení

(Kladný) M_G : 5.01 kN·m/m

Proměnná zatížení

(Kladný) M_Q : 231.85 kN·m/m

2.5.5 VÝSLEDNÁ

Shrnutí výsledků

Očekávaná zatížení v MSÚ			
zatěžování	M _{Ed} (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _{Ed} (N _{Ed} = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.35 · S _G + 1.50 · S _Q	354.54	379.06	Zesílený průřez 379.06 kN·m/m ≥ 354.54 kN·m/m ✓
Porušení výztuže v MSÚ			
zatěžování	M _{Ed} (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _{Ed} (N _{Ed} = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.50 · S _Q	120.94	350.21	Nezesílený průřez 350.21 kN·m/m ≥ 120.94 kN·m/m ✓
Mezní stav použitelnosti			
zatěžování	Provozní napětí		
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 1.00 · S _Q	σ _s ≤ 0.8·f _{yk}		
	251.25 MPa ≤ 304.00 MPa ✓		
Požární odolnost (t 0 min.)			
zatěžování	M _{Ed} (kN·m/m)	M _{Rd} (kN·m/m)	M _{Rd} ≥ M _{Ed} (N _{Ed} = N _{Rd})
S _{Ed} = 1.00 · S _G + 0.30 · S _Q	74.57	357.10	Nezesílený průřez 357.10 kN·m/m ≥ 74.57 kN·m/m ✓

Mezní stav únosnosti

Při analýze průřezu pro stanovení momentu únosnosti by měly být uvažovány následující předpoklady:

Rozdělení přetvoření betonu v tlaku a přetvoření výztuže v tahu i tlaku je vypočteno s uvažováním předpokladu o zachování rovinnosti průřezu po deformaci a předpokladu o dokonalé soudržnosti mezi materiály průřezu.

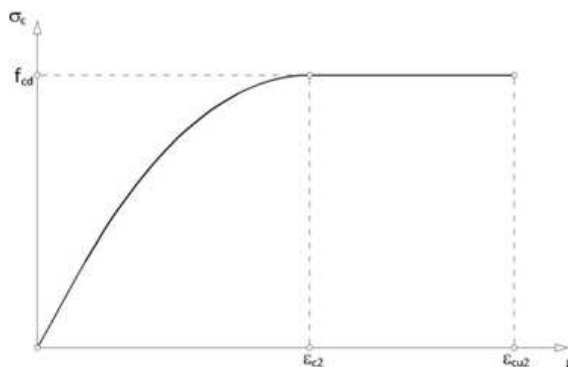
Napětí betonu v tlaku je určeno z pracovního diagramu dle odstavce 3.1.7 v EN 1992-1-1.

$$\sigma_c = f_{cd} \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{for } 0 \leq \epsilon_c \leq \epsilon_{c2}$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{for } \epsilon_{c2} < \epsilon_c \leq \epsilon_{cu2}$$

S

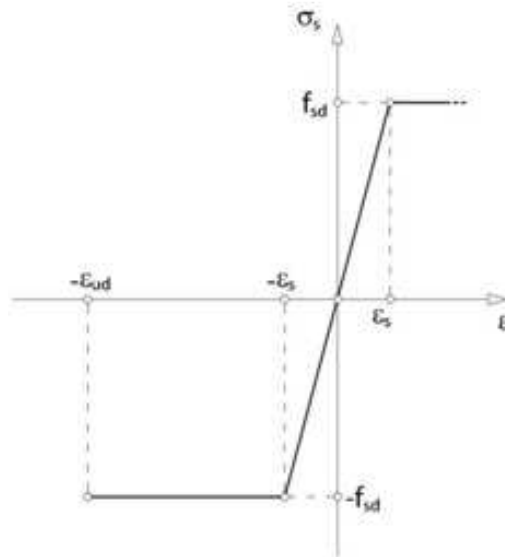
$$f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$



f _{cd} (MPa)	ε _{c2}	ε _{cu2}	n
10.7	0.0020	0.0035	2

Tahová pevnost betonu se zanedbává.

Napětí v ocelové výztuži je určeno z pracovního diagramu dle odstavce 3.2 v EN 1992-1-1.

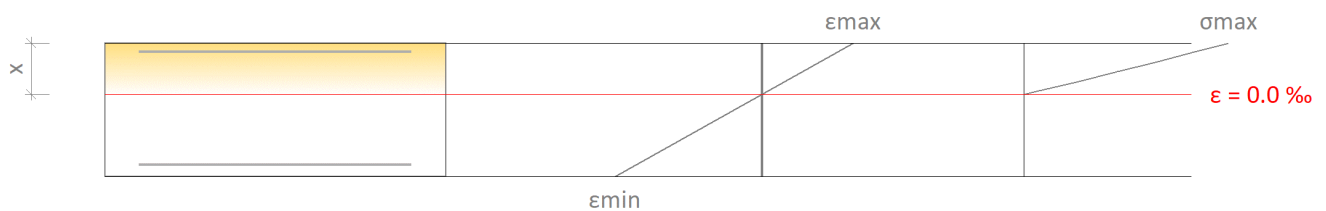


Přetvoření průřezu musí být uvažováno dle přetvoření ve stávající konstrukci v okamžiku zesilování.

Napětí v FRP zesílení je určeno dle předpokladu linárního chování FRP až do porušení.

Rovnováha sil na průřezu. Stávající zatížení

$M_i = 52.65 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$



Maximální a minimální přetvoření

$$\epsilon_{\max} = 0.21 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{\min} = -0.34 \text{ ‰}$$

Maximální napětí v betonu

$$f_c = 2.17 \text{ MPa}$$

Vzdálenost od krajních tlačných vláken po neutrálnou osu

$$x = 149.76 \text{ mm}$$

Napětí a přetvoření ve výztuži			
Ref.	souřadnice Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
A. 183	170	35.74	0.18
A. 2907	-161	-59.08	-0.30

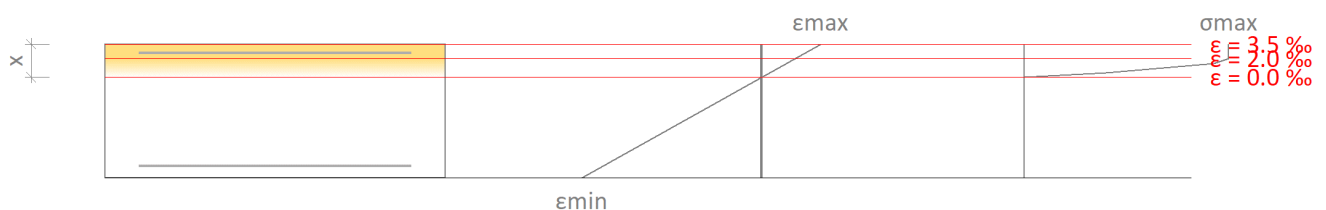
Porušení FRP zesílení. Nejmenší kombinace zatížení, kterou musí přenést nezesílený prvek.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.50 \cdot S_Q$$

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

$$350.21 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \geq 120.94 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \quad \checkmark$$

$$M_{Rd} : 350.21 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$



Maximální a minimální přetvoření

$$\epsilon_{\max} = 3.48 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{\min} = -10.66 \text{ ‰}$$

Maximální napětí v betonu

$$f_c = 13.33 \text{ MPa}$$

Vzdálenost od krajních tlačných vláken po neutrálnou osu

$$x = 96.01 \text{ mm}$$

Napětí a přetvoření ve výztuži			
Ref.	souřadnice Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
A. 183	170	380.00	2.58
A. 2907	-161	-380.00	-9.43

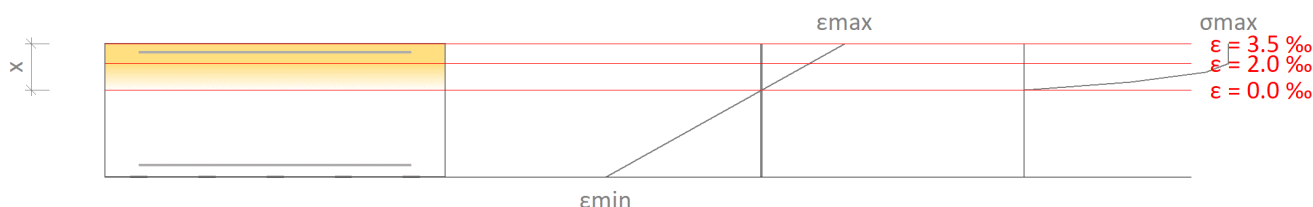
Zesílený průřez a očekávaná zatížení.

$$S_{Ed} = 1.35 \cdot S_G + 1.50 \cdot S_Q$$

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

$$379.06 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \geq 354.54 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \checkmark$$

$$M_{Rd} : 379.06 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$



Maximální a minimální přetvoření

$$\epsilon_{\max} = 3.48 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{\min} = -6.56 \text{ ‰}$$

Maximální napětí v betonu

$$f_c = 10.67 \text{ MPa}$$

Vzdálenost od krajních tlačných vláken po neutrálnou osu

$$x = 135.30 \text{ mm}$$

Napětí a přetvoření ve výztuži			
Ref.	souřadnice Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
A. 183	170	330.43	2.84
A. 2907	-161	-330.43	-5.68
FRP	-196	-889.45	-6.23

Požární situace. Nezesílený průřez.

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 0.30 \cdot S_Q$$

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

$$357.10 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \geq 74.57 \text{ kN}\cdot\text{m/m} \checkmark$$

$$M_{Rd} : 357.10 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

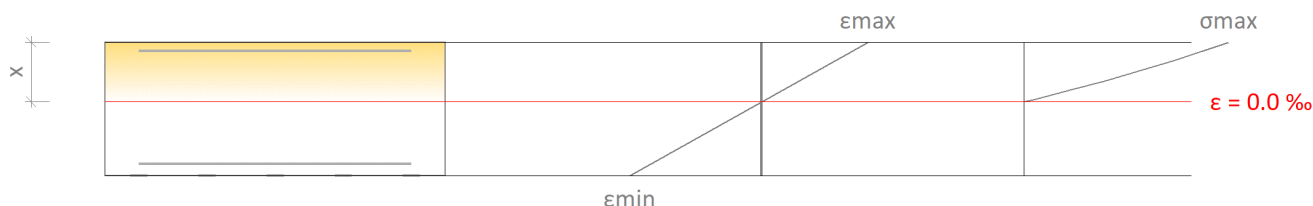
Únosnost nezesíleného prvku je dostatečná pro přenesení kombinace zatížení při požární situaci. Zesílení pomocí FRP tedy není potřebné v případě požární situace a tudíž nemusí být chráněno. Pokud je požadována určitá třída požární odolnosti železobetonového prvku (betonu a ocelové výztuže), musí uživatel navrhnout požární ochranu.

5.3.- Mezní stav použitelnosti

Napětí v mezním stavu použitelnosti v ocelové výztuži při charakteristické kombinaci zatížení nesmí překročit dané omezení v Eurokódu 2, část 1-1.

Rovnováha sil na průřezu. MSP Charakteristická kombinace zatížení

$$S_{Ed} = 1.00 \cdot S_G + 1.00 \cdot S_Q$$



Maximální a minimální přetvoření

$$\varepsilon_{\max} = 1.20 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{\min} = -1.49 \text{ ‰}$$

Maximální napětí v betonu

$$f_c = 8.15 \text{ MPa}$$

Vzdálenost od krajních tlačných vláken po neutrálnou osu

$$x = 173.84 \text{ mm}$$

Napětí a přetvoření ve výztuži			
Ref.	souřadnice Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
A. 183	170	205.29	1.03
A. 2907	-161	-251.25	-1.26
FRP	-196	-191.72	-1.16

V případě působení významných dynamických zatížení během vytvrzování lepidla zůstane pevnost lepidla vyšší než návrhová pevnost betonového podkladu (TR55, 6.9.4) a je uvažováno, že působící zatížení během této doby odpovídá kvazi-stálé kombinaci zatížení. Přetvoření zesílení při těchto podmínkách je rovno:

$$\varepsilon_{fe, \text{ošetřování}} = 0.000153 \leq 0.000200$$

5.4.- Dodatečný posudek

Kromě toho, v případě, že je moment na mezi únosnosti menší než 1,15 násobek požadované únosnosti, měl by být průřez navržen tak, že přetvoření v úrovni těžiště tažené ocelové výztuže není menší než $0.002 + f_{yk}/(E_s \gamma_s)$.

$$M_{Rd} \leq 1,15 \cdot M_{Ed} \quad ; \quad \varepsilon_s \geq 0,002 + \frac{f_{yk}}{E_s \gamma_s}$$

$$0.00568 \geq 0.00365 \quad \checkmark$$

5.5.- Uspořádání FRP zesílení

Předchozí výsledky odpovídají následujícímu schématu FRP zesílení:

Hlavní FRP zesílení: Sika CarboDur® S512. osová vzdálenost: 200 mm

2.6 Stanovení zatížitelnosti zesíleného průřezu CFRP lamelami

2.6.1 Deska pod kolejí č. 5

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (350,21 - 1,30 \cdot 43,13 - 1,30 \cdot 4,63 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 8,63 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,82) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 93,65 = 1,22$$

2.6.2 Deska pod kolejí č. 3

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (350,21 - 1,30 \cdot 47,57 - 1,30 \cdot 4,51 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 9,86 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,70) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 102,66 = 1,09$$

2.6.3 Deska pod kolejí č. 1

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (350,21 - 1,30 \cdot 52,65 - 1,30 \cdot 5,01 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 9,68 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 2,85) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 121,31 = \mathbf{0,90}$$

2.6.4 Deska pod kolejí č. 2

Ohyb:

$$Z_{LM71} = (M_{Rd} - M_{st} - M_{zb}) / M_{nah} = (350,21 - 1,30 \cdot 41,17 - 1,30 \cdot 5,92 - 1,35 \cdot 0,6 \cdot 5,86 - 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1,14) / 1,30 \cdot 1,87 \cdot 71,44 = \mathbf{1,63}$$

2.7 Rozhodnutí o přechodnosti pro D4/60

Přechodnost vyhovuje, pokud je splněna následující podmínka:

$$Z_{UIC} \geq \psi \cdot \lambda_{UIC}$$

$$\psi = \delta_f / \delta = 1,68 / 1,87 = 0,90$$

$$\lambda_{UIC} = U_{D4} / U_{UIC} = 87,19 \text{ kNm} / 121,31 \text{ kNm} = 0,72$$

δ_f – dynamický součinitel pro zatížení D4

δ – dynamický součinitel pro zatížení LM71

$$Z_{UIC} = 0,90 > 0,65 = \psi \cdot \lambda_{UIC}$$

V provedených výpočtech byla stanovena zatížitelnost stávajícího železobetonového deskového mostu s uvažováním oslabení výztuže korozí o 1 mm.

Na základě výpočtu výše lze konstatovat, že most vyhovuje pro traťovou třídu zatížení D4 s přidruženou rychlostí 60 km/hod.

3 SESTAVENÍ PŘEHLEDNÝCH VÝSLEDKŮ ZATÍŽITELNOSTI

Tabulka zatížitelnosti

podle Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů
 (novelizovaného předpisu SŽDC SR 5 (S))

Přehled zatížitelnosti

A. Identifikace mostního objektu (propustku)

TÚ (číslo, název): **TÚ č. 0661 Ústí n. L. západ - Bílina**

DÚ: **B1**

km: **7,166**

B. Identifikace části mostního objektu (propustku)

část mostního objektu: **nosná konstrukce**

pod kolejí č. **1**

C. Doplňující data pro část mostního objektu (propustku)

Kategorie zatížitelnosti: **C** Výpočetní model: **rozepřená deska**

Geometrie koleje, uvažovaná v přepočtu pro část mostního objektu v jejím profilu (ve směru staničení)

	na začátku	uprostřed	na konci
číslo koleje		č.1	
poloměr oblouku	-- [m]	305 [m]	-- [m]
převýšení koleje	-- [mm]	76 [mm]	-- [mm]
excentricita vůči ose mostního objektu	-- [m]	1,04 [m]	-- [m]

Popis závad uvažovaných ve výpočtu: Je uvažováno s korozním oslabením výztuže o 1,0 mm (Ø28 mm z původních 30 mm)

Datum zjištění zpracovaného stavu mostu - orgány SŽDC:/.../... - zpracovatelem přepočtu:/.../...

Poznámka k části mostu:

Poř. č.	Prvek (vč. umístění)	DETAIL	NAMÁHÁNÍ	k _i	typ	L _p	δ	L _D	viz. str.	Poznámky	Z _{LM71}
1	2	3	4		6	7	8	9	10	11	12
1	Deska	Střed rozpětí	ohyb	1,0	S	-	1,87	4,4	25		0,90
2	Deska	Nad opěrou	smyk	1,0	S	-	1,87	4,4	17		0,95
3	Základ	Základová spára	Kontaktní napětí	1,0	S	-	-	-	18		0,91

Dne: 29/04/2019 zatížitelnost určil: Ing. Martin Klomínský

Dne: .../.../....

do databáze zadal: ...

Tabulka zatížitelnosti

podle Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů
 (novelizovaného předpisu SŽDC SR 5 (S))

Přehled zatížitelnosti

A. Identifikace mostního objektu (propustku)

TÚ (číslo, název): **TÚ č. 0661 Ústí n. L. západ - Bílina**

DÚ: **B1**

km: **7,166**

B. Identifikace části mostního objektu (propustku)

část mostního objektu: **nosná konstrukce**

pod kolejí č. **2**

C. Doplnující data pro část mostního objektu (propustku)

Kategorie zatížitelnosti: **C** Výpočetní model: **rozepřená deska**

Geometrie koleje, uvažovaná v přepočtu pro část mostního objektu v jejím profilu (ve směru staničení)

	na začátku	uprostřed	na konci
číslo koleje		č.2	
poloměr oblouku	-- [m]	300 [m]	-- [m]
převýšení koleje	-- [mm]	76 [mm]	-- [mm]
excentricita vůči ose mostního objektu	-- [m]	0,62 [m]	-- [m]

Popis závad uvažovaných ve výpočtu: Je uvažováno s korozním oslabením výztuže o 1,0 mm (Ø28 mm z původních 30 mm)

Datum zjištění zpracovaného stavu mostu - orgány SŽDC: ...--.../.../... - zpracovatelem přepočtu: ...--.../.../...

Poznámka k části mostu:

Poř. č.	Prvek (vč. umístění)	DETAIL	NAMÁHÁNÍ	k _i	typ	L _p	δ	L _D	viz. str.	Poznámky	Z _{LM71}
1	2	3	4		6	7	8	9	10	11	12
1	Deska	Střed rozpětí	ohyb	1,0	S	-	1,87	4,4	25		1,63
2	Deska	Nad opěrou	smyk	1,0	S	-	1,87	4,4	18		1,65
3	Základ	Základová spára	Kontaktní napětí	1,0	S	-	-	-	18		1,06

Dne: 29/04/2019 zatížitelnost určil: Ing. Martin Klomínský

Dne: .../.../....

do databáze zadal: ...

Tabulka zatížitelnosti

podle Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů
 (novelizovaného předpisu SŽDC SR 5 (S))

Přehled zatížitelnosti

A. Identifikace mostního objektu (propustku)

TÚ (číslo, název): **TÚ č. 0661 Ústí n. L. západ - Bílina**

DÚ: **B1**

km: **7,166**

B. Identifikace části mostního objektu (propustku)

část mostního objektu: **nosná konstrukce**

pod kolejí č. **3**

C. Doplnující data pro část mostního objektu (propustku)

Kategorie zatížitelnosti: **C** Výpočetní model: **rozepřená deska**

Geometrie koleje, uvažovaná v přepočtu pro část mostního objektu v jejím profilu (ve směru staničení)

	na začátku	uprostřed	na konci
číslo koleje		č.3	
poloměr oblouku	-- [m]	310 [m]	-- [m]
převýšení koleje	-- [mm]	76 [mm]	-- [mm]
excentricita vůči ose mostního objektu	-- [m]	0,56 [m]	-- [m]

Popis závad uvažovaných ve výpočtu: Je uvažováno s korozním oslabením výztuže o 1,0 mm (Ø28 mm z původních 30 mm)

Datum zjištění zpracovaného stavu mostu - orgány SŽDC: ...--.../.../... - zpracovatelem přepočtu: ...--.../.../...

Poznámka k části mostu:

Poř. č.	Prvek (vč. umístění)	DETAIL	NAMÁHÁNÍ	k _i	typ	L _p	δ	L _D	viz. str.	Poznámky	Z _{LM71}
1	2	3	4		6	7	8	9	10	11	12
1	Deska	Střed rozpětí	ohyb	1,0	S	-	1,87	4,4	24		1,09
2	Deska	Nad opěrou	smyk	1,0	S	-	1,87	4,4	17		1,53
3	Základ	Základová spára	Kontaktní napětí	1,0	S	-	-	-	17		0,91

Dne: 29/04/2019 zatížitelnost určil: Ing. Martin Klomínský

Dne: .../.../....

do databáze zadal: ...

Tabulka zatížitelnosti

podle Metodického pokynu pro určování zatížitelnosti železničních mostních objektů
 (novelizovaného předpisu SŽDC SR 5 (S))

Přehled zatížitelnosti

A. Identifikace mostního objektu (propustku)

TÚ (číslo, název): **TÚ č. 0661 Ústí n. L. západ - Bílina**

DÚ: **B1**

km: **7,166**

B. Identifikace části mostního objektu (propustku)

část mostního objektu: **nosná konstrukce**

pod kolejí č. **5**

C. Doplnující data pro část mostního objektu (propustku)

Kategorie zatížitelnosti: **C** Výpočetní model: **rozepřená deska**

Geometrie koleje, uvažovaná v přepočtu pro část mostního objektu v jejím profilu (ve směru staničení)

	na začátku	uprostřed	na konci
číslo koleje		č.5	
poloměr oblouku	-- [m]	315 [m]	-- [m]
převýšení koleje	-- [mm]	76 [mm]	-- [mm]
excentricita vůči ose mostního objektu	-- [m]	0,61 [m]	-- [m]

Popis závad uvažovaných ve výpočtu: Je uvažováno s korozním oslabením výztuže o 1,0 mm (Ø28 mm z původních 30 mm)

Datum zjištění zpracovaného stavu mostu - orgány SŽDC: ...--.../.../... - zpracovatelem přepočtu: ...--.../.../...

Poznámka k části mostu:

Poř. č.	Prvek (vč. umístění)	DETAIL	NAMÁHÁNÍ	k _i	typ	L _p	δ	L _D	viz. str.	Poznámky	Z _{LM71}
1	2	3	4		6	7	8	9	10	11	12
1	Deska	Střed rozpětí	ohyb	1,0	S	-	1,87	4,4	24		1,22
2	Deska	Nad opěrou	smyk	1,0	S	-	1,87	4,4	17		1,50
3	Základ	Základová spára	Kontaktní napětí	1,0	S	-	-	-	17		1,06

Dne: 29/04/2019 zatížitelnost určil: Ing. Martin Klomínský

Dne: .../.../....

do databáze zadal: ...