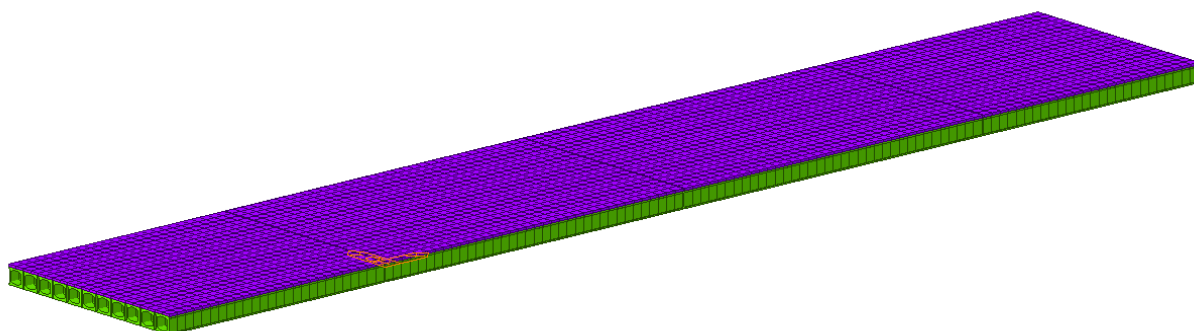


# STATICKÝ VÝPOČET

## Spřahující deska

**Stavba:** Rekonstrukce mostu na ul. Plzeňská přes ul. Výškovická



**Zpracovatel:** Dopravoprojekt Ostrava a.s., Masarykovo náměstí 5/5, 702 00, Ostrava

## OBSAH:

<b>1. VŠEOBECNÁ ČÁST .....</b>	<b>2</b>
1.1. Identifikační údaje.....	2
1.2. Základní údaje o mostě.....	3
1.3. Literatura a výpočtové programy.....	3
1.4. Výpočetní postupy .....	4
1.5. Použité materiály.....	4
1.6. Průřezy prutových prvků .....	5
1.6.1. Nosník KA67 .....	5
<b>2. VÝPOČTOVÝ MODEL .....</b>	<b>5</b>
<b>3. ZATÍŽENÍ .....</b>	<b>6</b>
3.1. Stálé zatížení .....	6
3.1.1. Vlastní tíha konstrukce .....	6
3.1.2. Ostatní stálé zatížení.....	6
3.2. Klimatická zatížení .....	6
3.2.1. Zatížení větrem .....	6
3.2.2. Zatížení teplotou.....	7
3.3. Pohyblivá zatížení - tramvaj.....	8
3.3.1. Svislé zatížení .....	8
3.3.2. Vodorovná zatížení .....	8
<b>4. KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....</b>	<b>8</b>
4.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti .....	9
4.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti .....	9
<b>5. POSOUZENÍ SPŘAŽUJÍCÍ DESKY.....</b>	<b>10</b>
5.1. Návrh výztuže desky nad podporou .....	10
5.1.1. Návrh výztuže .....	10
5.2. Návrh spřažení desky .....	10
5.2.1. Návrh spřažení .....	10
<b>6. ZÁVĚR .....</b>	<b>10</b>

## 1. VŠEOBECNÁ ČÁST

Jedná se o mostní objekt o 4 polích, který slouží pro převedení tramvajové dopravy. Nosná konstrukce mostního objektu je tvořena předpjatými prefabrikovanými nosníky typu KA67 se spřahující deskou o proměnné tloušťce (min.115mm). Rozpětí jednotlivých polí činí 12,7m, 18,0m, 18,0m, 12,7m. V každém poli je umístěno 11 nosníků. Nosníky zůstávají po rekonstrukci stávající. Novou konstrukci tvoří spřahující deska.

Statické schéma mostu je soustava prostých polí. Na opěře 1 a pilířích jsou pevná ložiska. Na opěře 5 jsou umístěna ložiska pohyblivá. Každý nosník je podepřen ložiskem.

### 1.1. Identifikační údaje

1.1 Stavba:	Rekonstrukce mostu na ul. Plzeňská přes ul. Výškovická
1.2 Název objektu:	SO 201 Rekonstrukce tramvajového mostu
1.3 Katastrální obec:	Zábřeh nad Odrou 714 305
1.4 Kraj:	Moravskoslezský
1.5 Objednatel:	Dopravní podnik Ostrava a.s., Poděbradova 494/2, 702 00 Ostrava
1.7 Uvažovaný správce mostu:	Dopravní podnik Ostrava a.s., Poděbradova 494/2, 702 00 Ostrava
1.8 Generální projektant:	Dopravoprojekt Ostrava a.s. Masarykovo nám. č. 5, 702 00 Ostrava
1.9 Projektant objektu:	Dopravoprojekt Ostrava a.s. Masarykovo nám. č. 5, 702 00 Ostrava
1.10 Převáděná trať:	Tramvajová trať Nová Ves – Kotase - Na Obvodě Kolej č. 1 - km 2,223 77 – 2,391 32 směrově: oblouk R=1 568mm, d.o. = 191,07m sklonové poměry: km 2,227 63 - 2,264 07 stoupá 7,77‰ oblouk r=2000m, t=1,640m, y=0,001m km 2,264 07 - 2,395 29 stoupá 5,70‰ oblouk r=2000m, t=2,070m, y=0,001m km 2,395 29 - 2,416 83 stoupá 4,36‰ oblouk r=2000m, t=1,340m, y=0,000m  Kolej č. 2 - km 2,234 26 - 2,391 40 směrově: oblouk R=1 575mm, d.o. = 191,58m sklonové poměry: km 2,227 32 - 2,264 01 stoupá 9,08‰ oblouk r=2000m, t=3,380, y=0,003m km 2,264 01 - 2,395 74 stoupá 5,70‰ oblouk r=2000m, t=3,970m, y=0,004m km 2,395 74 - 2,416 91 stoupá 1,73‰ oblouk r=2000m, t=3,970m, y=0,004m

1.11 Křížení mostu s překážkami	Silnice III/4787 - ul Výškovická směr Výškovice
Bod křížení:	Y= - 473598.269 X= - 1104712.873
Tramvajová trať:	
Bod křížení:	Směr zast. Karpatská: Y= - 473597.113 X= - 1104720.342 91,85°
Úhel křížení:	
Bod křížení:	Směr zast. Palkovského: Y= - 473596.170 X= - 1104726.279 91,85°
Úhel křížení:	
Volná výška nad tramvajovou kolejí	5,197m
Bod křížení:	Silnice III/4787 - ul Výškovická směr Vítkovice Y= - 473594.911 X= - 1104733.371

## 1.2. Základní údaje o mostě

2.1 Charakteristika mostu:	Nosná konstrukce z předpjatých prefabrikovaných nosníků typu KA 67 a spřaženou železobetonovou deskou s neomezenou volnou výškou
2.2 Délka přemostění:	60,23 m
2.3 Délka mostu:	65,47 m
2.4 Délka nosné konstrukce:	62,17 m
2.5 Rozpětí polí:	12,73+18,03+18,03+12,71 m
2.6 Šikmost mostu:	pravá
2.7 Volná šířka mostu:	7,34 m
2.8 Šířka průchozího prostoru:	vpravo i vlevo – revizní chodník
2.9 Šířka mostu	10,90 m
2.10 Výška mostu nad terénem:	4,89
2.11 Stavební výška:	1,35 m
2.12 Plocha nosné konstrukce:	677,65 m <sup>2</sup>
2.13 Zatížení mostu:	zatěžovací vlak NB.1 z ČSN EN 1991-2/Z1.

## 1.3. Literatura a výpočtové programy

[1] ČSN EN 1990/A1	Zásady navrhování konstrukcí
[2] ČSN EN 1991	Skupina norem, Eurokód 1 – Zatížení konstrukcí
[3] ČSN EN 1991-2	Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou
[4] ČSN EN 1992-1-1	Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

- [5] Prof. Ing. Dr. techn. Vladimír Kolář, DrSc, Ing. Ivan Němec, CSc, Doc. Ing. Viktor Kanický, CSc:  
FEM, Principy a praxe konečných prvků v praxi, Computer Press, 1997  
[6] Použité programy: MIDAS Civil 2016 2.1, Microsoft Office (Word, Excel)

## 1.4. Výpočetní postupy

Model	3D - plošný
Výpočet	Lineární
Odezva konstrukce	Statická
Statické veličiny	$N_x, V_z, M_y, f_{xx}, f_{yy}, f_{xy}, m_{xx}, m_{yy}, m_{xy}$

## 1.5. Použité materiály

**Beton:** Spřahující deska je z betonu C30/37. Pro výpočet a posouzení nosných prvků byly využity následující parametry materiálu:

Material Data

General

Material ID: 1 Name: C30/37

Elasticity Data

Type of Design: Concrete

Steel

Standard: DB

Concrete

Standard: EN04(RC) Code: DB C30/37

Type of Material

☒ Isotropic ☐ Orthotropic

☐ Concrete

Modulus of Elasticity : 3.2836e+007 kN/m<sup>2</sup>

Poisson's Ratio : 0.2

Thermal Coefficient : 5.5556e-006 1/[F]

Weight Density : 25 kN/m<sup>3</sup>

☐ Use Mass Density: 2.549 kN/m<sup>3</sup>/q

Součinitele dle příslušných norem:

- $\gamma_G=1,35$  [-] součinitel bezpečnosti pro stálá zatížení  
 $\gamma_Q=1,35$  [-] součinitel bezpečnosti pro pohyblivá zatížení  
 $\gamma_Q=1,50$  [-] součinitel bezpečnosti pro klimatická zatížení

## 1.6. Průřezy prutových prvků

### 1.6.1. Nosník KA67

DB/User Value

Section ID: 1

Name: KA67

☒ Built-Up Section

Section Properties

Area	3.55800e-001	m^2
Asy	1.80607e-001	m^2
Asz	1.50407e-001	m^2
Ixx	5.48213e-002	m^4
Iyy	3.45722e-002	m^4
Izz	3.75610e-002	m^4
Cyp	0.4899	m
Cym	0.4901	m
Czp	0.4243	m
Czm	0.4259	m
Qyb	0.2573	m^2
Qzb	0.2657	m^2
Peri:O	3.67715e+000	m
Peri:I	2.43193e+000	m
Cent:y	0.4901	m
Cent:z	0.4259	m
y1	-0.4699	m

Import SEC Files...

☐ FEM ☒ Equation

☒ Consider Shear Deformation.

☐ Consider Warping Effect(7th DOF)

Offset: Center-Top

Change Offset...

## 2. VÝPOČTOVÝ MODEL

Reálná konstrukce byla pro určení vnitřních sil a deformací modelována v programu MIDAS Civil jako prostorová desková konstrukce o čtyřech polích s prutovými prvky (žebry). Celá konstrukce je zatížena vlastní tíhou, stálým zatížením, nahodilým zatížením (teplota, vítr), a nahodilým zatížením dle ČSN EN 1991-2 (tj. městská kolejová doprava).

Posudky dílčích průřezů byly prováděny na extrémní (nejnepříznivější) kombinaci uvedených nahodilých zatížení se skupinou zatížení stálých.

### 3. ZATÍŽENÍ

#### 3.1. Stálé zatížení

##### 3.1.1. Vlastní tíha konstrukce

Vlastní tíha konstrukce byla generována programem MIDAS Civil.

##### 3.1.2. Ostatní stálé zatížení

Název zatížení	Popis	Hodnota
ŽB bloky pod kolejnice	Plošné zatížení působící po délce mostu o šířce 2m pro jednu kolej.	$25\text{kN.m}^{-3} \cdot 0,14\text{m} = \underline{\underline{3,5 \text{ kN.m}^{-2}}}$
Římsa	Plošné zatížení působící po délce mostu o šířce 2m pro jednu římsu.	$25\text{kN.m}^{-3} \cdot 0,37\text{m} = \underline{\underline{9,25 \text{ kN.m}^{-2}}}$
Stožár	Osamělá síla ve vzdálenosti 3m od osy uložení.	<u><b>10kN</b></u>

#### 3.2. Klimatická zatížení

##### 3.2.1. Zatížení větrem

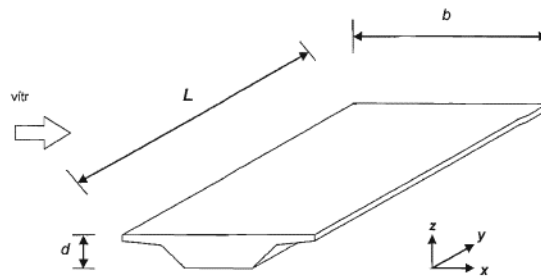
Lokalita: Ostrava

Konstrukce se nachází ve větrové oblasti II. a kategorii terénu IV.

Výška mostu nad terénem	$z = 10 \text{ m}$
Výchozí základní rychlost větru	$v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$
Součinitel směru větru	$C_{dir} = 1,0$
Součinitel ročního období	$C_{season} = 1,0$
Základní rychlost větru	$v_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot v_{b,0} = 25 \text{ ms}^{-1}$
Parametr drsnosti terénu	$z_0 = 1,0 \text{ m} \quad z_{min} = 10 \text{ m} \quad z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$
Součinitel terénu	$k_r = 0,19 \cdot \left( \frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,234$
Součinitel drsnosti	$c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0} = 0,540$
Součinitel ortografie	$c_0(z) = 1,0$
Charakteristická střední rychlost větru	$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 13,49 \text{ ms}^{-1}$
Součinitel turbulence	$k_1 = 1,0$
Intenzita turbulence	$I_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln \frac{z}{z_0}} = 0,355$
Součinitel expozice	$c_e(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot c_0(z)^2 \cdot c_r(z)^2 = 1,176$
Základní tlak větru	$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,391$

Charakteristický maximální dynamický  
tlak větru

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = 0,459 \text{ kNm}^{-2}$$



Obrázek 8.2 – Směry zatížení větrem na mostech

#### • Síly ve směru X

součinitel sil bez vlivu proudění kolem volných  
konců (běžné mosty)

$$c_{f,x,0} = 1,3$$

Součinitel zatížení větrem

$$C = c_e(z) \cdot c_{f,x,0} = 1,529$$

Referenční plocha

$$A_{ref,x} = L \cdot d_{tot} = 90 \text{ m}^2$$

Síla ve směru X

$$F_{w,x} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,x} = 54 \text{ kN}$$

Přepočet na podélné zatížení

$$F_{w,x,L} = \frac{F_{w,x,L}}{L} = 2,99 \text{ kN/m}$$

#### • Síly ve směru Z

součinitel sil

$$c_{f,z} = \pm 0,9$$

Součinitel zatížení větrem

$$C = c_e(z) \cdot c_{f,z} = 1,059$$

Referenční plocha

$$A_{ref,z} = L \cdot b = 196,2 \text{ m}^2$$

Síla ve směru Z

$$F_{w,z} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \cdot C \cdot A_{ref,z} = 81 \text{ kN}$$

Přepočet na plošné zatížení

$$F_{w,z,A} = \frac{F_{w,z,L}}{A_{ref,z}} = 0,41 \text{ kN/m}^2$$

#### • Síly ve směru Y

Síla ve směru Y

$$F_{w,y} = 0,25 \cdot F_{w,x} = 13 \text{ kN}$$

Přepočet na plošné zatížení

$$F_{w,y,A} = \frac{F_{w,y}}{A_{ref,z}} = 0,06 \text{ kN/m}^2$$

### 3.2.2. Zatížení teplotou

#### • Rovnoměrná složka teploty

Typ nosné konstrukce - 3. typ: betonová nosná konstrukce - betonová deska

$$T_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{e,max} = 38 \text{ }^{\circ}\text{C} + 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C} = 39,5 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad T_{e,min} = -36 \text{ }^{\circ}\text{C} + 8 \text{ }^{\circ}\text{C} = -28 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

#### • Nerovnoměrná složka teploty

Typ nosné konstrukce - 3. typ: betonová nosná konstrukce - betonová deska

$$\Delta T_{m,heat} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad \Delta T_{m,cool} = 8 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad k_{sur} = 1,0$$

### 3.3. Pohyblivá zatížení - tramvaj

#### 3.3.1. Svislé zatížení

Bylo uvažováno pohyblivé zatížení dle ČSN EN 1991-2/Z1 - Zatížení městskou kolejovou dopravou. Uvažovaný nápravový tlak je  $Q_k=120\text{kN}$ .

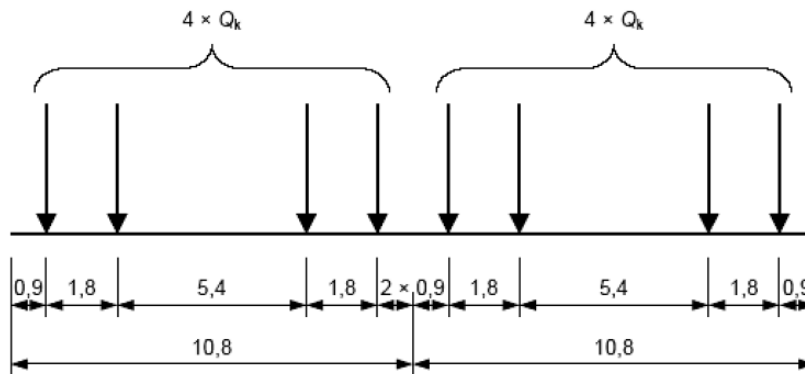


Schéma rozmístění kolejových náprav

#### • Dynamický součinitel

$$L_\phi = 18\text{m} \text{ (prostě podepřené nosníky a desky)}$$

$$\phi_3 = \frac{2,16}{\sqrt{L_\phi} - 0,2} + 0,73 = 1,26 \quad (1,00 \leq \phi_t \leq 2,00)$$

$$\phi_t = 1 + 0,85 (\phi_3 - 1) = 1,22 \quad (1,13 \leq \phi_t \leq 1,68)$$

#### 3.3.2. Vodorovná zatížení

##### • Odstředivé síly

Vzhledem ke směrovému profilu trati se zanedbávají.

##### • Rozjezdové a brzdné síly

Rozjezdové/brzdné síly se určí jako 15% zatížení svislého. Při více kolejkách na téže konstrukci se součet vodorovných (brzdných a rozjezdových sil) sčítá a redukuje 75%.

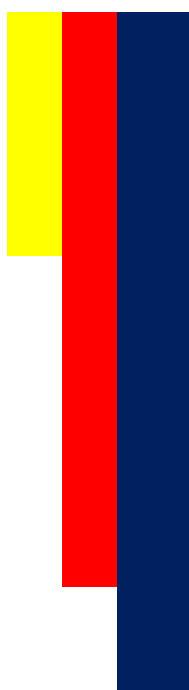
$$F_{break} = 2 \cdot 120 \cdot 8 \cdot 0,15 \cdot 0,75 = 216 \text{ kN}$$

Zatížení působí v úrovni temene kolejnice.

### 4. KOMBINACE ZATÍŽENÍ

Sestavení sestav zatížení městskou kolejovou dopravou

Počet kolejí na konstrukci			Sestavy zatížení			Svislé síly	Vodorovné síly			Poznámka
			odkazy na NA ČSN EN 1991-2			na základě čl. NB.2.1	čl. NB.2.4	čl. NB.2.3	čl. NB.2.5	
1	2	≥3	Počet zatížených kolejí	Sestava zatížení <sup>(4)</sup>	zatížená kolej	souprava tramvaje	Rozjezd (brždění)	Odstředivá síla	Boční ráz	
			1	gr 111	T <sub>1</sub>	1	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	max. svislá 1 s max. podélnou

	1	gr 112	T <sub>1</sub>	1	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	max. svislá 2 s max. příčnou
	1	gr 113	T <sub>1</sub>	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	max. podélná
	1	gr 114	T <sub>1</sub>	1 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	max. boční
	2	gr 121	T <sub>1</sub>	1	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	max. svislá 1 s max. podélnou
			T <sub>2</sub>	1	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	
	2	gr 122	T <sub>1</sub>	1	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	max. svislá 2 s max. příčnou
			T <sub>2</sub>	1	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	
	2	gr 123	T <sub>1</sub>	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	max. podélná
			T <sub>2</sub>	1 <sup>(2)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	
	2	gr 124	T <sub>1</sub>	1 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	max. boční
			T <sub>2</sub>	1 <sup>(2)</sup>	0,5 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	1 <sup>(3)</sup>	
	≥3	gr 131	T <sub>i</sub>	0,75	0,75 <sup>(3)</sup>	0,75 <sup>(3)</sup>	0,75 <sup>(3)</sup>	přídavný zatěžovací případ

#### 4.1. Kombinace pro mezní stav únosnosti

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

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

#### 4.2. Kombinace pro mezní stav použitelnosti

Charakteristická kombinace:	$\sum G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} Q_{k,i}$
Častá kombinace	$\sum G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$
Kvazistálá kombinace	$\sum G_{k,j} + P + \sum \psi_{2,i} Q_{k,i}$

## 5. POSOUZENÍ SPŘAHUJÍCÍ DESKY

Posouzení nosné konstrukce bylo provedeno pro spřahující desku (zatížení nad podporou, spřažení). Posouzení nosníků není uvažováno. Dle provedené diagnostiky mostu bylo prokázáno, že nosníky zcela plní svou statickou funkci, předpětí není negativně ovlivněno a beton kvalitativně odpovídá typovým nosníkům KA67. Navíc se v projektu nepředpokládá změna statického systému mostu, ani nárůstu zatížení ve srovnání se stávajícím stavem.

### 5.1. Návrh výztuže desky nad podporou

Návrh výztuže je proveden v místě extrémního namáhání, tj. na maximální záporný moment nad pilíři. Toto chování bylo modelováno deskovým spojením jednotlivých polí. Z takto modelované konstrukce byly vybrány maximální hodnoty normálové síly v desce, na které je navržena nosná výztuž desky.

$$F_{Ed,max} = 672 \text{ kN/m}$$

#### 5.1.1. Návrh výztuže

$$\phi 18 \text{ mm} \text{ á } 100 \text{ mm} \rightarrow A_{\phi} = 254 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 500 \text{ MPa} \rightarrow f_{yd} = 434,78 \text{ MPa}$$

$$F_1 = 110,64 \text{ kN} \rightarrow F_{RD,10ks} = 1106,38 \text{ kN/m}$$

$$F_{RD,10ks} = 1106,38 \text{ kN/m} > F_{Ed,max} = 672 \text{ kN/m}$$

Navržený průřez vyhovuje.

### 5.2. Návrh spřažení desky

Návrh spřažení předpokládá lineární chování mostu. Síla na spřahující prvky je určena na základě smykového toku vyvolané posouvající silou. Z numerického modelu byla převzata maximální posouvající síla na nosnících.

$$V_{Ed,max} = 690 \text{ kN}$$

$$S_y = 0,04416 \text{ m}^3, I_y = 0,05486 \text{ m}^4$$

$$F_{trn} = \frac{V_{Ed,max} S_y}{I_y} = 555,38 \text{ kNm}^{-1} \rightarrow F_{Ed} = 111 \text{ kN}$$

#### 5.2.1. Návrh spřažení

$$2 \times \phi 16 \text{ mm} \text{ á } 200 \text{ mm}$$

$$F_{Rk} = \left\{ \begin{array}{l} 0,8 f \frac{\pi d^2}{4} = 101,78 \text{ kN} \\ 0,29 \alpha d^2 \sqrt{f_{ck} E_{cm}} = 93,2 \text{ kN} \end{array} \right\} = 101,78 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = \frac{2F_{Rk}}{1,2} = 147,45 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = 111 \text{ kN} < F_{Rd} = 147,45 \text{ kN}$$

Navržené spřažení vyhovuje.

## 6. ZÁVĚR

Statický výpočet spřahující desky byl proveden na základě platných norem (Eurokódů). Numerický model pro získání vnitřních sil byl proveden v programu Midas Civil. Na základě zjištěných vnitřních sil byly provedeny návrh pro oblast nad vnitřními podporami a návrh spřažení.

Statická výpočet na základě diagnostiky mostu předpokládá perfektní stav prefabrikovaných nosníků.

V Ostravě, srpen 2019

Ing. Jakub Vašek