



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

## LÁVKA PRO PĚŠÍ

FOOTBRIDGE

## C – STATICKÝ VÝPOČET

STATIC CALCULATION

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Černoch

#### VEDOUČÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2017

## OBSAH:

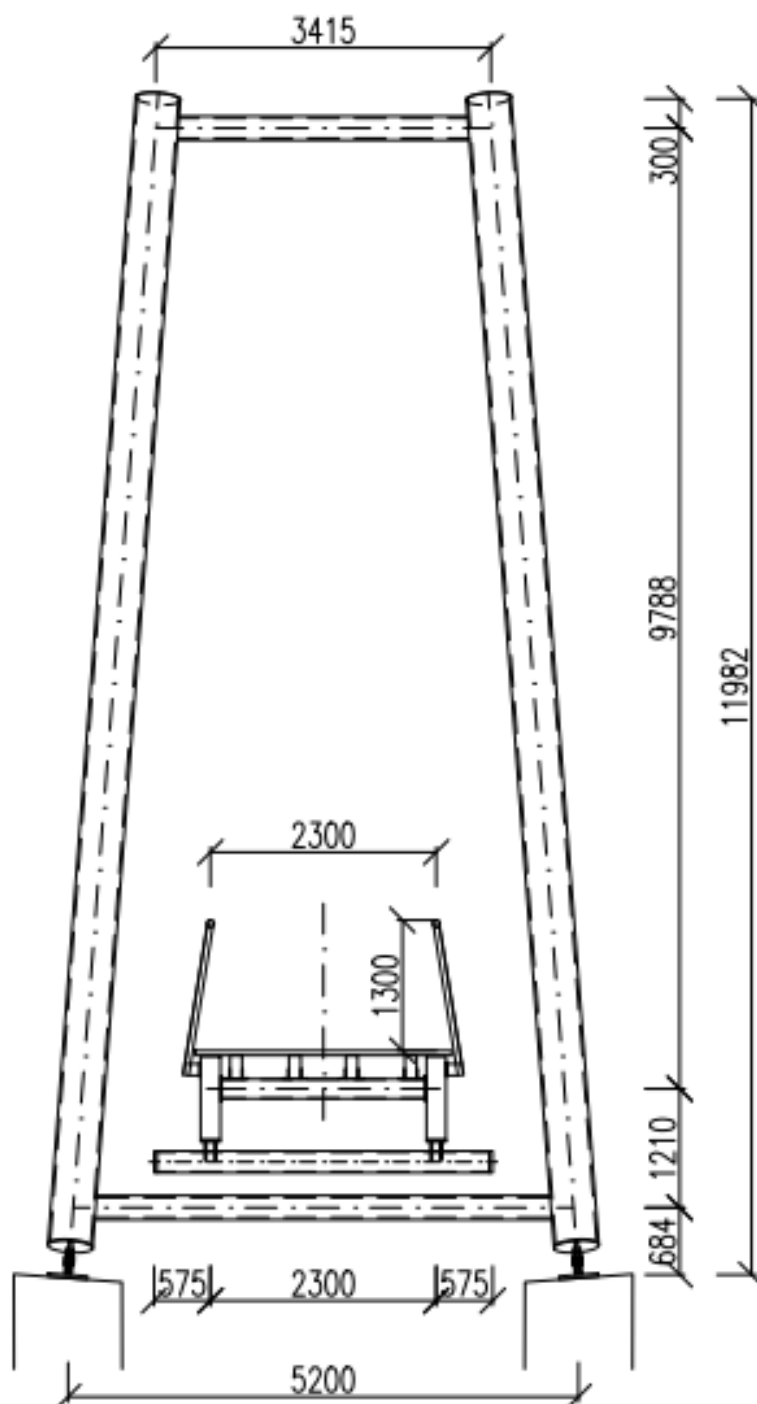
<b>1. GEOMETRIE KONSTRUKCE.....</b>	<b>1</b>
1.1 PŘÍČNÝ ŘEZ.....	1
1.2 PODÉLNÝ ŘEZ.....	2
1.3 MODEL.....	3
<b>2. ZATÍŽENÍ .....</b>	<b>3</b>
2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	3
2.1.1 Vlastní tíha .....	3
2.1.2 Ostatní stálé .....	3
2.2 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ .....	4
2.2.1 Rovnoměrné zatížení .....	4
2.2.2 Vodorovné síly .....	4
2.2.3 Zatížení na zábradlí .....	4
2.2.4 Soustředné zatížení .....	4
2.3 KLIMATICKÉ ZATÍŽENÍ.....	5
2.3.1 Zatížení větrem.....	5
2.3.2 Zatížení sněhem.....	6
2.4 KOMBINACE ZATÍŽENÍ .....	7
<b>3. DIMENZOVÁNÍ .....</b>	<b>8</b>
3.1 HLAVNÍ NOSNÍK – 200x850.....	8
3.1.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	8
3.1.2 Posouzení na MSÚ.....	10
3.1.3 Posouzení na MSP .....	14
3.2 PODÉLNÍK – 120x240 .....	15
3.2.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	15
3.2.2 Posouzení na MSÚ.....	16
3.2.3 Posouzení na MSP .....	20
3.3 PŘÍČNÍK – TR OBD 150x200x5.....	21
3.3.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	21
3.3.2 Posouzení na MSÚ.....	22
3.3.3 Posouzení na MSP .....	26
3.4 PŘÍČNÍK V MÍSTĚ ZÁVĚSU – TR 219,1 x 10 .....	27
3.4.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	27
3.4.2 Posouzení na MSÚ.....	28
3.4.3 Posouzení na MSP .....	29
3.5 PODMOSTOVKOVÉ ZTUŽIDLO – KR 28 .....	30
3.5.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	30
3.5.2 Posouzení na MSÚ.....	31
3.6 TÁHLA .....	31
3.6.1 Táhlo č. 1 – KR 39 .....	31
3.6.2 Táhlo č. 2 – KR 39 .....	32
3.6.3 Táhlo č. 3 – KR 60 .....	33
3.7 PYLON .....	35
3.7.1 Geometrie a charakteristika prvku .....	35
3.7.2 Posouzení na MSÚ.....	37
3.7.3 Posouzení na MSP .....	39
<b>4. SPOJE.....</b>	<b>40</b>
4.1 MONTÁŽNÍ SPOJ HLAVNÍHO NOSNÍKU .....	40
4.1.1 Geometrie a charakteristika spoje .....	40
4.1.2 Zatížení.....	41
4.1.3 Posouzení spoje na stěh .....	41

4.1.4	Únosnost nejvíce namáhaného spojovacího prostředku .....	43
4.2	ULOŽENÍ HLAVNÍHO NOSNÍKU – ČEP .....	44
4.2.1	Geometrie a charakteristika spoje .....	44
4.2.2	Zatížení .....	44
4.2.3	Posouzení čepu .....	45
4.2.4	Připojení vazného plechu do hlavního nosníku .....	46
4.2.5	Zatížení .....	47
4.2.6	Posouzení spoje na střih .....	47
4.3	PŘIPOJENÍ PŘÍČNÍKU K HLAVNÍMU NOSNÍKU .....	49
4.3.1	Geometrie a charakteristika spoje .....	49
4.3.2	Zatížení .....	50
4.3.3	Posouzení na tah .....	50
4.3.4	Posouzení na smyk .....	51
4.3.5	Kombinace střihu a přetržení .....	51
4.3.6	Připojení čelní desky na hlavní nosník .....	51
4.3.7	Svar příčník – čelní deska .....	54
4.4	KOTVENÍ PYLONU – ČEP .....	55
4.4.1	Geometrie a charakteristika spoje .....	55
4.4.2	Zatížení .....	55
4.4.3	Posouzení čepu .....	56
4.5	PŘIPOJENÍ TÁHLA Č. 1 NA PŘÍČNÍK V MÍSTĚ ZÁVĚSU .....	57
4.5.1	Zatížení .....	57
4.5.2	Návrh svaru .....	57
4.6	PŘIPOJENÍ TÁHLA Č. 3 DO ZÁKLADU .....	58
4.6.1	Zatížení .....	58
4.6.2	Návrh svaru .....	58
<b>5.</b>	<b>DYNAMIKA .....</b>	<b>59</b>
5.1	BUZENÍ LÁVKY CHODCI .....	59
5.2	KMITÁNÍ LÁVKY – VLASTNÍ FREKVENCE .....	59
5.2.1	Svislé kmitání .....	59
5.2.2	Vodorovné kmitání .....	59
5.2.3	Posouzení na kmitání .....	59

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	C - STATICKÝ VÝPOČET		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

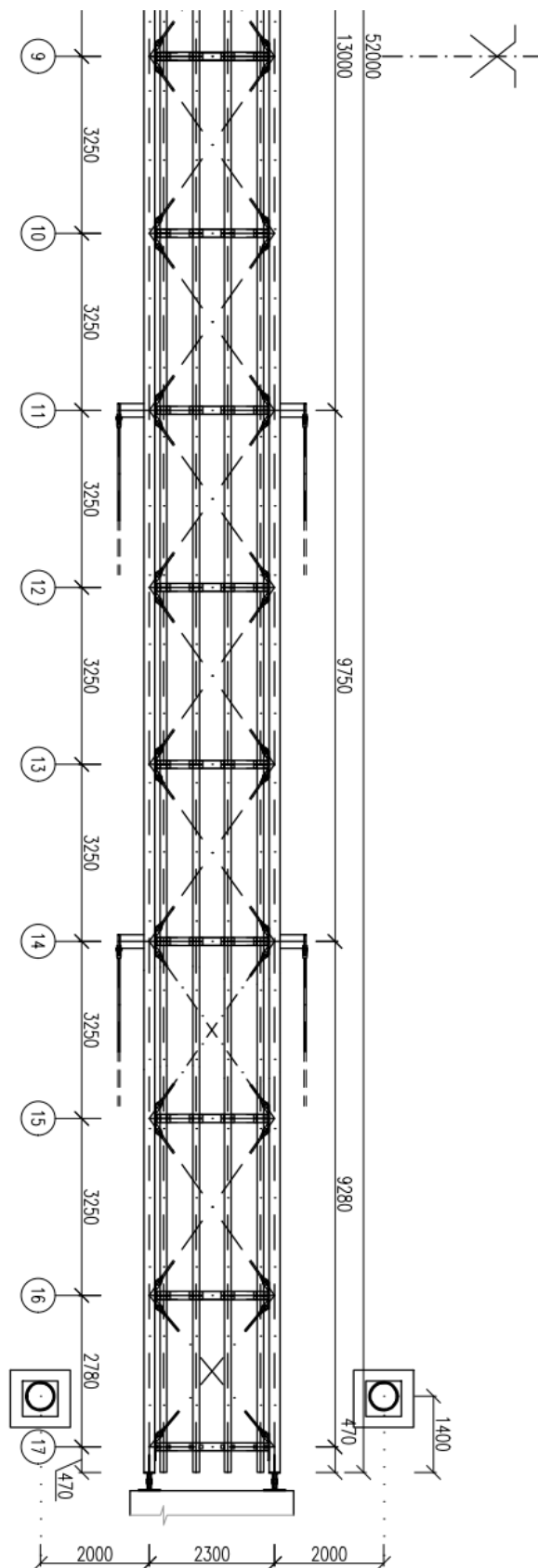
# 1. Geometrie konstrukce

## 1.1 Příčný řez



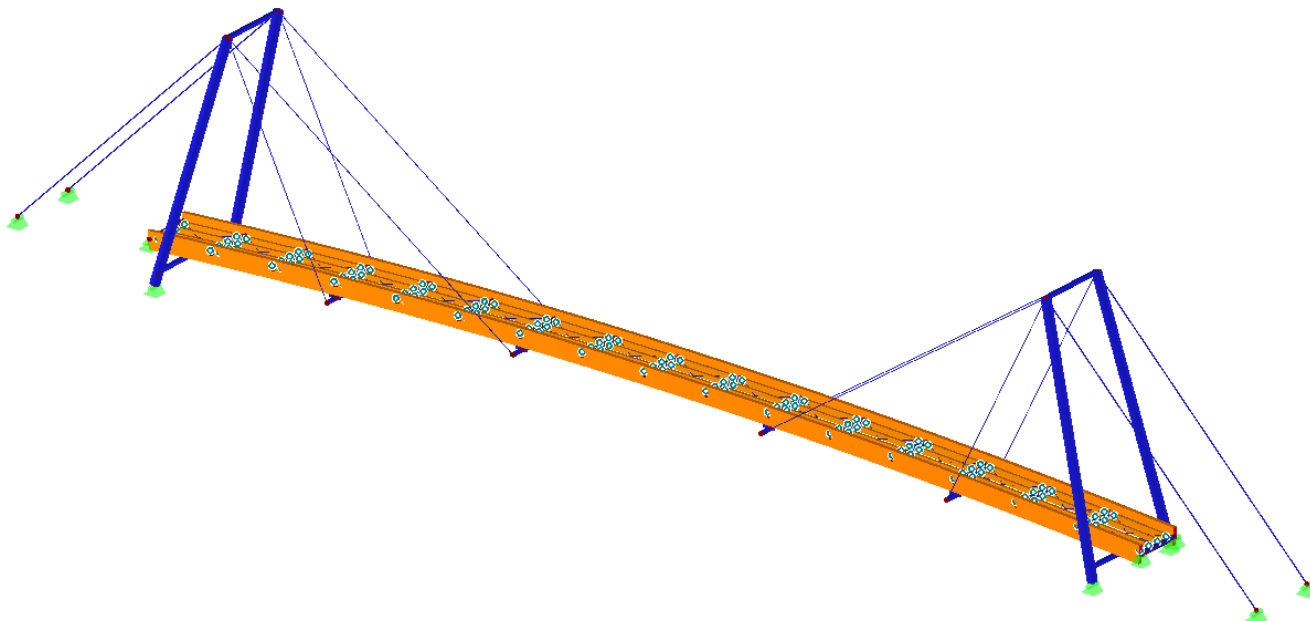
Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 1.2 Podélný řez



Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

## 1.3 Model



## 2. Zatížení

### 2.1 Stálé zatížení

#### 2.1.1 Vlastní tíha

- Vlastní tíha nosné konstrukce je generována výpočtním programem Dlubal RFEM 5.01

#### 2.1.2 Ostatní stálé

- **Podlaha mostu:**

Materiál – rostlé dřevo třídy pevnosti C24 ( $\rho = 4,2 \text{ kN/m}^3$ )

rozměry desek jsou 50x200x2620 [mm]

$$g_{k,0,1} = \rho \cdot v = 4,2 \cdot 0,05 = 0,210 \text{ kN/m}^2$$

Spojovací materiál: 0,02 kN/m<sup>2</sup>

$$g_{k,1} = g_{k,0,1} + 0,02 = 0,230 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{g_{k,1} = 0,230 \text{ kN/m}^2}$$

- **Zábradlí na mostě:**

$$g_{k,0,2} = 0,50 \text{ kN/m} \quad (\text{odhad hodnoty})$$

Spojovací materiál: 0,05 kN/m

$$g_{k,2} = g_{k,0,2} + 0,05 = 0,55 \text{ kN/m}$$

$$\mathbf{g_{k,2} = 0,55 \text{ kN/m}}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 2.2 Proměnné zatížení

- Zatížení navrženo dle ČSN EN 1991-2
- Na lávce se neuvažuje se zatížením od vozidel, lávka bude opatřena trvalým opatřením proti vjezdu vozidel na lávku.

### 2.2.1 Rovnoměrné zatížení

- Doporučená charakteristická hodnota zatížení chodci  $q_{fk}$  dle normy je  $5,0 \text{ kN/m}^2$ .
- Navržené rovnoměrné zatížení:

$$q_{fk} = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

- model zatížení 4 (zatížení davem lidí)
- zatížení již zahrnuje dynamický součinitel

### 2.2.2 Vodorovné síly

- Charakteristická hodnota vodorovné síly  $Q_{fk}$  se dle normy má rovnat 10% z celkového zatížení odpovídajícího rovnoměrného zatížení  $q_{fk}$ .
- Hodnota vodorovné síly:

$$q_{fk} = 0,1 \cdot q_{fk} = 0,1 \cdot 5,0 = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{fk} = 0,50 \text{ kN/m}^2$$

- Vodorovná síla působí současně s odpovídajícím svislým zatížením, ale nikdy se soustředným zatížením.

### 2.2.3 Zatížení na zábradlí

- Doporučená minimální hodnota proměnného zatížení na zábradlí ve směru svislém nebo vodorovném je dle normy  $1,0 \text{ kN/m}$ . Toto zatížení působí jako přímkové na horní hraně zábradlí.

### 2.2.4 Soustředné zatížení

- Uvažuje se pouze, pokud na lávce není povolen vjezd obslužného vozidla.
- Charakteristická hodnota soustředného zatížení  $Q_{fwk}$  má být rovna  $2 \text{ kN}$  (dle NA) působící na čtvercové ploše o straně  $0,10 \text{ m}$ .
- Zvolené soustředné zatížení:

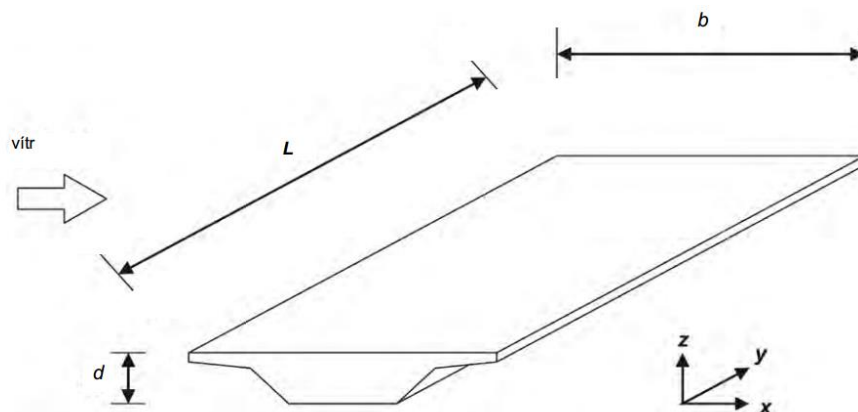
$$Q_{fwk} = 2,0 \text{ kN}$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

## 2.3 Klimatické zatížení

- Zatížení navrženo dle ČSN EN 1991-1-4

### 2.3.1 Zatížení větrem



Pozn. Pro výpočtový model zaměněny osy X a Y.

- Lávka se nachází ve větrné oblasti II

Výchozí základní rychlost větru  $v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$

Terén je kategorie III  $z_0 = 0,3 \text{ m}$

$z_{\min} = 5,0 \text{ m}$

**Základní rychlost větru  $v_b$  [m/s]**

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0}$$

$c_{\text{dir}} = 1,0$  součinitel směru (doporučená hodnota)

$c_{\text{season}} = 1,0$  součinitel ročního období (doporučená hodnota)

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

**$v_b = 25,0 \text{ m/s}$**

#### 2.3.1.1 Síly větru ve směru X

- Podle obecné metody platí, že  $c_{f,x} = c_{f,x,0}$ .

$c_{f,x,0} = 1,30$  součinitel sil pro zatížení nosné konstrukce mostu větrem ve směru X (hodnota pro běžné mosty)

$c_{f,x} = 1,30$  součinitel sil pro zatížení ve směru osy X

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

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

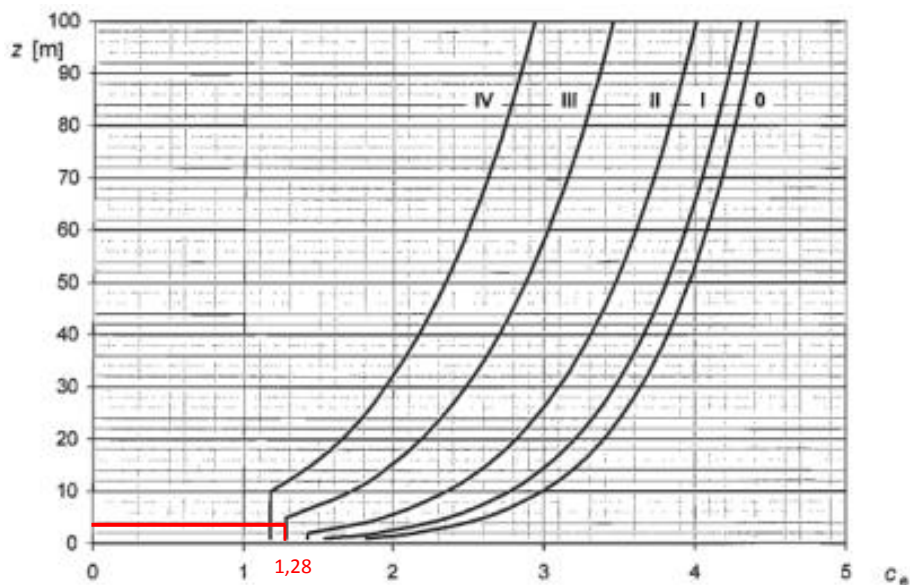
$C$  součinitel zatížení větrem

$$C = c_e \cdot c_{f,x}$$

$c_e = 1,28$  součinitel expozice (stanoveno dle grafu)



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	C - STATICKÝ VÝPOČET		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017



$$C = c_e \cdot c_{f,x} = 1,28 \cdot 1,30 = 1,67$$

$$F_{w,x,k} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,0^2 \cdot 1,67 \cdot A_{ref,x} = 650,5 \text{ N/m}^2 \cdot A_{ref,x}$$

$$F_{w,x,k} = 0,651 \text{ kN/m}^2 \cdot A_{ref,x}$$

### 2.3.1.2 Síla větru ve směru Y

- Síla ve směru Y se uvažuje jako 25% síly větru ve směru X pro plnostěnné mosty.

$$F_{w,y,k} = 0,25 \cdot F_{w,x,k} = 0,25 \cdot 0,651 = 0,163 \text{ kN/m}^2 \cdot A_{ref,y}$$

$$F_{w,y,k} = 0,163 \text{ kN/m}^2 \cdot A_{ref,y}$$

### 2.3.1.3 Síla větru ve směru Z

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

$-F_{w,z,k}$  působí proti směru osy Z (dolů)

$+F_{w,z,k}$  působí ve směru osy Z (nahoru – nadzvedává)

- Referenční plocha:  $A_{ref,z} = b \cdot L$

$c_{f,z} = 0,9$  součinitel sil pro zatížení větrem ve směru osy Z (doporučená hodnota)

$$C = c_e \cdot c_{f,z} = 1,28 \cdot 0,9 = 1,153$$

$$F_{w,z,k} = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25,0^2 \cdot 1,153 \cdot A_{ref,z} = 450,4 \text{ N/m}^2 \cdot A_{ref,z}$$

$$\pm F_{w,z,k} = 0,450 \text{ kN/m}^2 \cdot A_{ref,z}$$

## 2.3.2 Zatížení sněhem

- Zatížení sněhem na lávce neuvažujeme.

- Zatížení od rovnoměrného zatížení je mnohem větší než zatížení sněhem.

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 2.4 Kombinace zatížení

- Kombinace zatížení pro mezní stav únosnosti:

Dle ČSN EN 1990 zásady pro navrhování konstrukcí

$$6.10 \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 3. Dimenzování

- Posouzení jednotlivých prvků provedeno dle ČSN EN 1993 a ČSN EN 1995

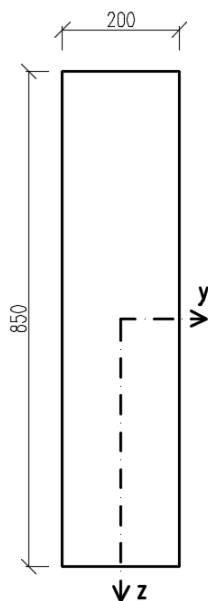
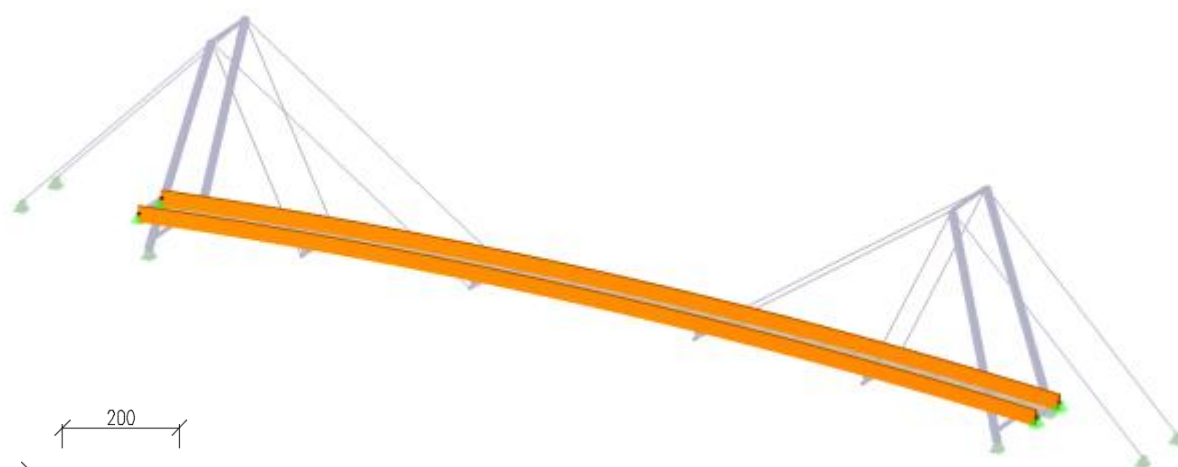
### 3.1 Hlavní nosník – 200x850

#### 3.1.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 2ks
- Zakřivený prutový prvek, kloubově uložen na neposuvných podporách

$L = 52,000 \text{ m}$  *přodýrná délka*

$L_s = 52,051 \text{ m}$  *délka po střednici (skutečná)*



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Šířka	b	200,000	mm
Výška	h	850,000	mm
Plocha průřezu	A	170000,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	1,0240E+10	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	5,6670E+08	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	245,400	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	57,700	mm
Hmotnost průřezu	G	71,400	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	2,100	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	1,9310E+09	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,max}$	2,4080E+07	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,min}$	-2,4100E+07	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,max}$	5,6667E+06	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,min}$	-5,6700E+06	mm <sup>3</sup>

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

### Geometrie oblouku:

$$h_{ap} = h = 850,0 \text{ mm} \quad \text{výška nosníku}$$

$$r = 338,47 \text{ m} \quad \text{střednicový poloměr oblouku}$$

*Vnitřní poloměr oblouku*

$$r_{in} = r - 0,5h_{ap} = 338,47 - 0,5 \cdot 0,850 = 338,045 \text{ m}$$

*Vnější poloměr oblouku*

$$r_{out} = r + 0,5h_{ap} = 338,47 + 0,5 \cdot 0,850 = 338,895 \text{ m}$$

$$\alpha_{ap} = 0,0^\circ \quad \text{úhel sklonu náběhu ve středu vrcholové oblasti}$$

$$\alpha_s = 8,81^\circ \quad \text{středový úhel oblouku}$$

$$\beta = 4,41^\circ \quad \text{úhel mezi horizontálou a tečnou na konci oblouku}$$

### Materiálové charakteristiky:

- Hlavní nosník je vyroben z lepeného lamelového konstrukčního dřeva třídy pevnosti GL 32h.

- Třída provozu **3**

- Třída trvání zatížení **krátkodobé**

$$k_{mod} = 0,7 \quad \text{modifikační součinitel}$$

$$\gamma_M = 1,25 \quad \text{dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu pro lepené lamelové dřevo}$$

- Stanovení návrhové hodnoty  $X_d$  pevnostní vlastnosti:

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

$X_k$  *charakteristická hodnota pevnostní vlastnosti*

GL32h				
Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	32,00 MPa	$f_{m,d}$	17,92 MPa
Pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	22,50 MPa	$f_{t,0,d}$	12,60 MPa
Pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,50 MPa	$f_{t,90,d}$	0,28 MPa
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	29,00 MPa	$f_{c,0,d}$	16,24 MPa
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	3,30 MPa	$f_{c,90,d}$	1,85 MPa
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	3,80 MPa	$f_{v,d}$	2,13 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,mean}$	13 700,00 MPa		
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,mean}$	460,00 MPa		
Smykový modul	$G_{0,mean}$	850,00 MPa		
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$	11 100,00 MPa		

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

### 3.1.2 Posouzení na MSÚ

#### 3.1.2.1 Napětí v ohybu ve vrcholové oblasti

**Zatížení:**

$$M_{ap,d} = 323,90 \text{ kNm}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,5 ZS3 + 0,9 ZS11)$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.4.3)

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan 0^\circ + 5,4 \cdot \tan^2 0^\circ = 1,00$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,35 + 8 \cdot \tan 0^\circ = 0,35$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \tan 0^\circ - 7,8 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,60$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \tan^2 0^\circ = 0,00$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,0 + 0,35 \left( \frac{0,85}{338,47} \right) + 0,6 \left( \frac{0,85}{338,47} \right)^2 + 0,0 \left( \frac{0,85}{338,47} \right)^3 = 1,001$$

Napětí v ohybu ve vrcholu:

$$\sigma_{m,ap,d} = k_t \cdot \frac{6M_{ap,d}}{bh_{ap}^2} = 1,001 \cdot \frac{6 \cdot 323,90}{0,2 \cdot 0,85^2} = 13461,0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{m,ap,d} = 13,461 \text{ MPa}$$

Zohlednění snížení pevnosti způsobené ohybem lamel během výroby:

$$t = 50 \text{ mm} \quad \text{tloušťka lamely}$$

$$\frac{r_{in}}{t} = \frac{338,045}{0,050} = 6760,9 > 240 \rightarrow k_r = 1,0$$

**Posouzení:**

$$\frac{\sigma_{m,ap,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \frac{13,461}{1,0 \cdot 17,92} = 0,75 \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 3.1.2.2 Posouzení na smyk

**Zatížení:**

$$V_{z,d} = 74,25 \text{ kNm}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 18**

$$(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,5 ZS5 + 0,9 ZS11)$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.1.7)

$$k_{cr} = 0,67 \quad \text{součinitel vzniku trhlin}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{k_{cr} \cdot A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{74,25}{0,67 \cdot 0,17} = 977,86 \text{ kPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,978 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,978}{2,130} = 0,46 \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 3.1.2.3 Jednoosý ohyb okolo osy Y a tlak

**Zatížení:**

$$M_{y,d} = 323,90 \text{ kNm}$$

$$N_{c,d} = 413,82 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.2.4 a 6.4.3)

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 1 + 1,4 \cdot \tan 0^\circ + 5,4 \cdot \tan^2 0^\circ = \underline{1,00}$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap} = 0,35 + 8 \cdot \tan 0^\circ = \underline{0,35}$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 0,6 + 8,3 \cdot \tan 0^\circ - 7,8 \cdot \tan^2 0^\circ = \underline{0,60}$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} = 6 \cdot \tan^2 0^\circ = \underline{0,00}$$

$$k_t = k_1 + k_2 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right) + k_3 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^2 + k_4 \left( \frac{h_{ap}}{r} \right)^3 = 1,0 + 0,35 \left( \frac{0,85}{338,47} \right) + 0,6 \left( \frac{0,85}{338,47} \right)^2 + 0,0 \left( \frac{0,85}{338,47} \right)^3 = \underline{1,001}$$

*Napětí v ohybu:*

$$\sigma_{m,d} = k_t \cdot \frac{M_{y,d}}{W_y} = 1,001 \cdot \frac{323,90}{0,02408} = 13461,0 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{m,d} = \underline{13,46 \text{ MPa}}$$

$$k_r = 1,0 \quad \text{dle 3.1.2.1}$$

*Napětí v tlaku:*

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{413,82}{0,17} = 2434,2 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \underline{2,43 \text{ MPa}}$$

**Posouzení:**

$$\left( \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,d}}{k_r \cdot f_{m,d}} = \left( \frac{2,43}{16,24} \right)^2 + \frac{13,46}{1,0 \cdot 17,92} = \underline{0,77} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.1.2.4 Kombinace šikmého ohybu a vzpěru

**Zatížení:**

$$N_{c,d} = 413,82 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 323,90 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 0,85 \text{ kNm}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.3.2 a 6.3.3)

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení v rovině prvku (okolo osy Y):*

$$L_{cr,y} = 13,000 \text{ m}$$

Pozn. Vzpěrná délka uvažována větší než je vzdálenost příčných vazeb. Výpočet proveden se čtyřnásobkem délky.

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{13000}{245,4} = 52,98$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{52,98}{\pi} \sqrt{\frac{29,0}{11100,0}} = \mathbf{0,862 > 0,3}$$

*V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti*

$\beta_c = 0,1$  součinitel přímosti pro lepené lamelové dřevo

$$k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5[1 + 0,1(0,862 - 0,3) + 0,862^2] = 0,90$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,90 + \sqrt{0,90^2 - 0,862^2}} = \underline{0,864}$$

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení z roviny prvku (okolo osy Z):*

$L_{cr,z} = 3,250$  m vzdálenost příčniců

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3250}{57,7} = 56,29$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{56,29}{\pi} \sqrt{\frac{29,0}{11100,0}} = \mathbf{0,916 > 0,3}$$

*V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti*

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,1(0,92 - 0,3) + 0,92^2] = 0,95$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,95 + \sqrt{0,95^2 - 0,92^2}} = 0,831$$

*Ověření na klopení:*

$l_{ef} = 3,250$  m vzdálenost příčniců

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 200^2}{850 \cdot 3250} \cdot 11100 = 125,36 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{32,00}{125,36}} = \mathbf{0,51 < 0,75} \rightarrow \underline{k_{crit} = 1,0}$$

***Klopení nenastává,***

*není nutné redukovat pevnost dřeva v ohybu.*

*Napětí v tlaku:*

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{413,82}{0,17} = 2434,2 \text{ kPa}$$

**$\sigma_{c,0,d} = 2,43 \text{ MPa}$**

*Napětí v ohybu:*

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{323,90}{0,02408} = 13449,1 \text{ kPa}$$

**$\sigma_{m,y,d} = 13,45 \text{ MPa}$**

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{0,85}{0,00567} = 150,2 \text{ kPa}$$

**$\sigma_{m,z,d} = 0,15 \text{ MPa}$**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$k_m = 0,7$  *součinitel pro obdélníkové průřezy*

**Posouzení:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,43}{0,864 \cdot 16,24} + \frac{13,45}{17,92} + 0,7 \cdot \frac{0,15}{17,92} = \underline{\underline{0,93}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} = \frac{2,43}{0,831 \cdot 16,24} + 0,7 \cdot \frac{13,45}{17,92} + \frac{0,15}{17,92} = \underline{\underline{0,71}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

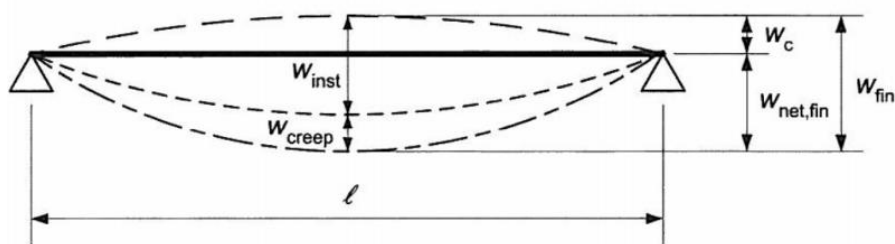
*Pozn. Při posouzení je ponechána dostatečná rezerva pro oslabený průřez.*



Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

### 3.1.3 Posouzení na MSP

- Hodnoty pro okamžitou a konečnou deformaci jsou získané z výpočetního programu Dlubal RFEM 5.01



$w_c$	<i>nadvýšení</i>
$w_{inst}$	<i>okamžitý průhyb</i>
$w_{creep}$	<i>průhyb od dotvarování</i>
$w_{fin}$	<i>konečný průhyb</i>

#### 3.1.3.1 Okamžitá deformace

$$w_{inst,z} = 125,1 \text{ mm} \quad w_{inst,y} = 13,1 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = \sqrt{w_{inst,z}^2 + w_{inst,y}^2} = \sqrt{125,1^2 + 13,1^2} = \underline{125,8 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,inst} = \frac{L_s}{400} = \frac{52051}{400} = \underline{130,1 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{w_{inst}}{w_{lim,inst}} = \frac{125,8}{130,1} = \underline{0,97} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 3.1.3.2 Konečná deformace

*Pozn. Konečná deformace je včetně složky od dotvarování.*

$$w_{fin,z} = 194,8 \text{ mm} \quad w_{fin,y} = 16,6 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{fin,z}^2 + w_{fin,y}^2} = \sqrt{194,8^2 + 16,6^2} = \underline{195,5 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,fin} = \frac{L_s}{250} = \frac{52051}{250} = \underline{208,2 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

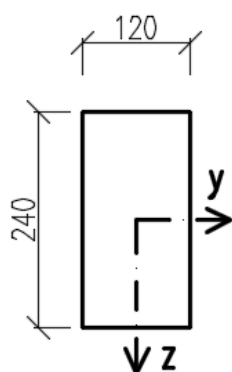
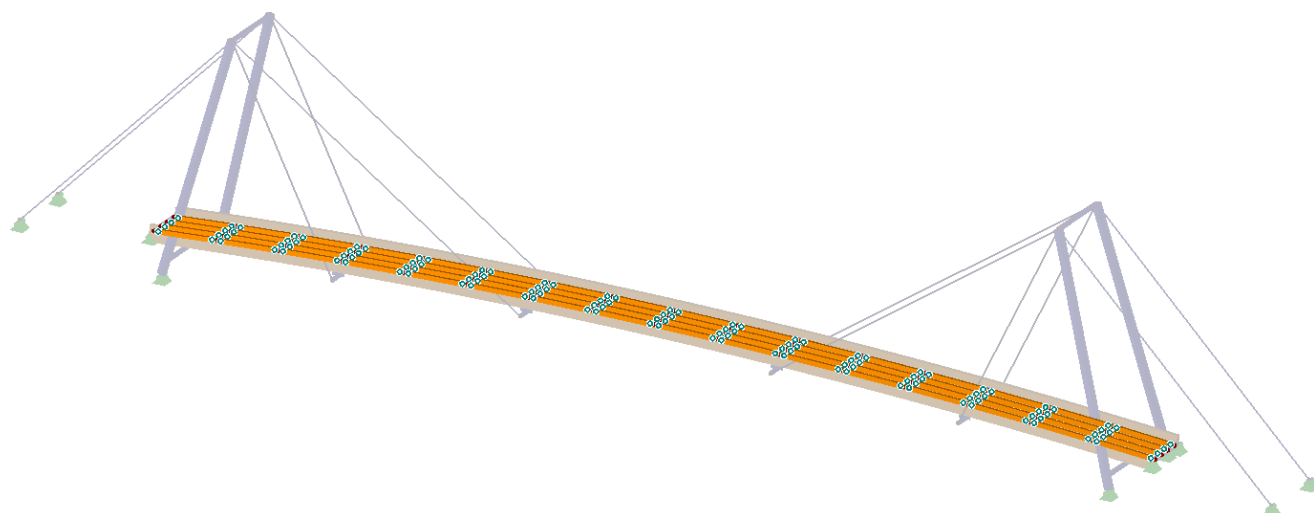
$$\frac{w_{fin}}{w_{lim,fin}} = \frac{195,5}{208,2} = \underline{0,94} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

## 3.2 Podélník – 120x240

### 3.2.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 64ks
- Přímý prutový prvek, kloubově uložen na příčnicích
  - $L = 3,250 \text{ m}$  *půdorysná délka*
  - $L_s = 3,253 \text{ m}$  *délka po střednici (skutečná)*



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Šířka	b	120,000	mm
Výška	h	240,000	mm
Plocha průřezu	A	28800,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	1,3820E+08	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	3,4560E+07	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	69,300	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	34,600	mm
Hmotnost průřezu	G	12,100	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	0,720	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	9,4920E+07	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,max}$	1,1520E+06	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,min}$	-1,1500E+06	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,max}$	5,7600E+05	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,min}$	-5,7600E+05	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{u,max}$	8,6400E+05	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{v,max}$	4,3200E+05	mm <sup>3</sup>

#### Materiálové charakteristiky:

- Podélník je vyroben z rostlého jehličnatého dřeva třídy pevnosti C24.
- Třída provozu **3**
- Třída trvání zatížení **krátkodobé**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$k_{\text{mod}} = 0,7$  *modifikační součinitel*

$\gamma_M = 1,30$  *dílčí součinitel pro vlastnosti materiálu pro rostlé dřevo*

- Stanovení návrhové hodnoty  $X_d$  pevnostní vlastnosti:

$$X_d = k_{\text{mod}} \cdot \frac{X_k}{\gamma_M}$$

$X_k$  *charakteristická hodnota pevnostní vlastnosti*

<b>C24</b>				
Pevnost v ohybu	$f_{m,k}$	24,00 MPa	$f_{m,d}$	12,92 MPa
Pevnost v tahu	$f_{t,0,k}$	14,00 MPa	$f_{t,0,d}$	7,54 MPa
Pevnost v tahu kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,40 MPa	$f_{t,90,d}$	0,22 MPa
Pevnost v tlaku	$f_{c,0,k}$	21,00 MPa	$f_{c,0,d}$	11,31 MPa
Pevnost v tlaku kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,50 MPa	$f_{c,90,d}$	1,35 MPa
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	4,00 MPa	$f_{v,d}$	2,15 MPa
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,\text{mean}}$	11 000,00 MPa		
Modul pružnosti kolmo k vláknům	$E_{90,\text{mean}}$	370,00 MPa		
Smykový modul	$G_{0,\text{mean}}$	690,00 MPa		
Modul pružnosti rovnoběžně s vlákny	$E_{0,05}$	7 400,00 MPa		

## 3.2.2 Posouzení na MSÚ

### 3.2.2.1 Kombinace ohybu a vzpěru

**Zatížení:**

$N_{c,d} = 45,65 \text{ kN}$

$M_{y,d} = 8,80 \text{ kNm}$

- Rozhodující kombinace: **KZ 88**

$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,05 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11} + 1,5 \text{ ZS14})$

**Výpočet napětí:** *dle ČSN EN 1995-1-1 (6.3.2 a 6.3.3)*

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení v rovině prvku (okolo osy Y):*

$L_{cr,y} = L_s = 3,253 \text{ m}$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3253}{69,3} = 46,94$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{46,94}{\pi} \sqrt{\frac{21,0}{7400,0}} = 0,796 > 0,3$$

*V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti*

$\beta_c = 0,2$  *součinitel přímosti pro rostlé dřevo*

$$k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5[1 + 0,2(0,796 - 0,3) + 0,796^2] = 0,87$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,87 + \sqrt{0,87^2 - 0,796^2}} = \underline{0,827}$$

Štíhlostní poměr odpovídající vybočení z roviny prvku (okolo osy Z):

$$L_{cr,z} = L_s = 3,253 \text{ m}$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3253}{34,6} = 94,02$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{94,02}{\pi} \sqrt{\frac{21,0}{7400,0}} = \underline{1,594} > \underline{0,3}$$

V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,2(1,594 - 0,3) + 1,594^2] = 1,90$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,90 + \sqrt{1,90^2 - 1,594^2}} = 0,341$$

Ověření na klopení:

$$L_{ef} = L_s = 3,253 \text{ m}$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{ef}} \cdot E_{0,05} = \frac{0,78 \cdot 120^2}{240 \cdot 3253} \cdot 7400 = 106,46 \text{ MPa}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = \sqrt{\frac{24,00}{106,46}} = \underline{0,47} < \underline{0,75} \rightarrow \underline{k_{crit} = 1,0}$$

**Klopení nenastává,**

není nutné redukovat pevnost dřeva v ohybu.

Napětí v tlaku:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{45,65}{0,0288} = 1585,1 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \underline{1,585 \text{ MPa}}$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{8,80}{0,00115} = 7635,4 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \underline{7,635 \text{ MPa}}$$

$$k_m = 0,7 \quad \text{součinitel pro obdélníkové průřezy}$$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,585}{0,827 \cdot 11,31} + \frac{7,635}{12,92} = \underline{0,76} \leq \underline{1,0}$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{1,585}{0,341 \cdot 11,31} + 0,7 \cdot \frac{7,635}{12,92} = \underline{0,82} \leq \underline{1,0}$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 3.2.2.2 Rovinný vzpěr

**Zatížení:**

$$N_{c,d} = 85,59 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.3.2)

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení v rovině prvku (okolo osy Y):*

$$L_{cr,y} = L_s = 3,253 \text{ m}$$

$$k_{c,y} = 0,827 \quad \text{viz. 3.2.2.1}$$

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení z roviny prvku (okolo osy Z):*

$$L_{cr,z} = L_s = 3,253 \text{ m}$$

$$k_{c,z} = 0,341 \quad \text{viz. 3.2.2.1}$$

*Napětí v tlaku:*

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{85,59}{0,0288} = 2971,8 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 2,972 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,972}{0,827 \cdot 11,31} = \underline{0,32} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{2,972}{0,341 \cdot 11,31} = \underline{0,77} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.2.2.3 Posouzení na smyk

**Zatížení:**

$$V_{z,d} = 10,63 \text{ kNm}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.1.7)

$$k_{cr} = 0,67 \quad \text{součinitel vzniku trhlin}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,d}}{k_{cr} \cdot A} = \frac{3}{2} \cdot \frac{74,25}{0,67 \cdot 0,17} = \underline{826,2} \text{ kPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,826 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

$$\frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} = \frac{0,826}{2,130} = \underline{0,38} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 3.2.2.4 Kombinace ohybu a osového tlaku

**Zatížení:**

$$N_{c,d} = 45,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,d} = 8,80 \text{ kNm}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

**Výpočet napětí:** dle ČSN EN 1995-1-1 (6.3.3)

*Štíhlostní poměr odpovídající vybočení z roviny prvku (okolo osy Z):*

$$L_{cr,z} = L_s = 3,253 \text{ m}$$

$$k_{c,z} = 0,341 \quad \text{viz. 3.2.2.1}$$

Ověření na klopení:

$$\lambda_{rel,m} = 0,475 < 0,75 \rightarrow \underline{k_{crit} = 1,0} \quad \text{viz. 3.2.2.1}$$

*Napětí v tlaku:*

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{c,d}}{A} = \frac{45,65}{0,0288} = 1585,1 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 1,585 \text{ MPa}$$

*Napětí v ohybu:*

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{8,80}{0,00115} = 7635,4 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = 7,635 \text{ MPa}$$

**Posouzení:**

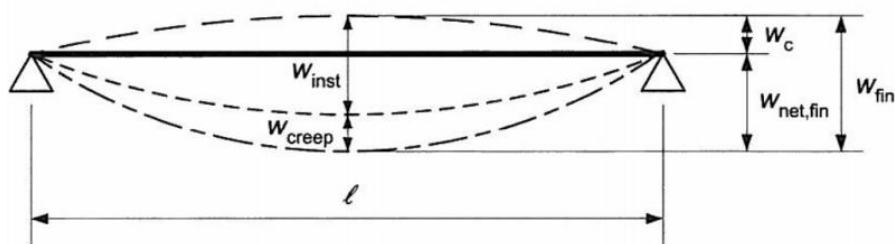
$$\left( \frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \left( \frac{7,635}{1,0 \cdot 12,92} \right)^2 + \frac{1,585}{0,341 \cdot 11,31} = \underline{0,76} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 3.2.3 Posouzení na MSP

- Hodnoty pro okamžitou a konečnou deformaci jsou získané z výpočetního programu Dlubal RFEM 5.01



$w_c$	<i>nadvýšení</i>
$w_{inst}$	<i>okamžitý průhyb</i>
$w_{creep}$	<i>průhyb od dotvarování</i>
$w_{fin}$	<i>konečný průhyb</i>

#### 3.2.3.1 Okamžitá deformace

$$w_{inst,z} = 3,40 \text{ mm} \quad w_{inst,y} = 0,15 \text{ mm}$$

$$w_{inst} = \sqrt{w_{inst,z}^2 + w_{inst,y}^2} = \sqrt{3,40^2 + 0,15^2} = \underline{3,40 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,inst} = \frac{L_s}{400} = \frac{3253}{400} = \underline{8,13 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{w_{inst}}{w_{lim,inst}} = \frac{3,40}{8,13} = \underline{0,42} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 3.2.3.2 Konečná deformace

*Pozn. Konečná deformace je včetně složky od dotvarování.*

$$w_{fin,z} = 6,75 \text{ mm} \quad w_{fin,y} = 0,20 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{fin,z}^2 + w_{fin,y}^2} = \sqrt{6,75^2 + 0,20^2} = \underline{6,75 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,fin} = \frac{L_s}{250} = \frac{3253}{250} = \underline{13,01 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{w_{fin}}{w_{lim,fin}} = \frac{6,75}{13,01} = \underline{0,52} \leq 1,0$$

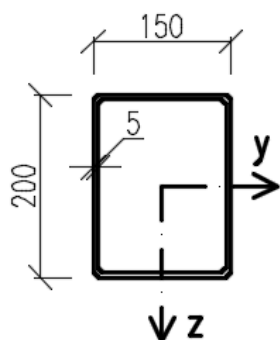
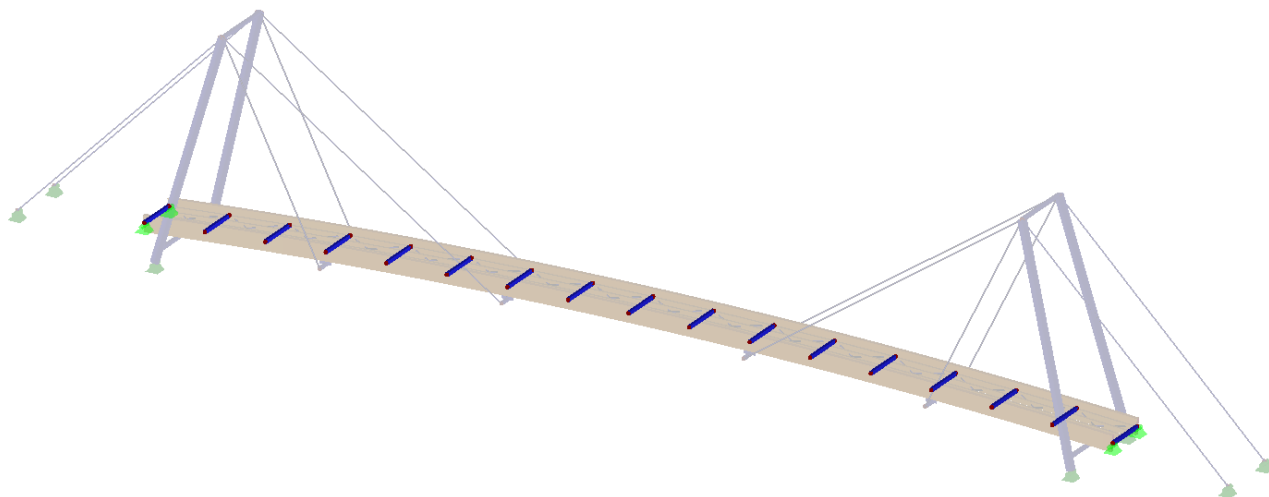
**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

## 3.3 Příčník – TR OBD 150x200x5

### 3.3.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 17ks
- Rovný, prostě uložený prutový prvek.
  - $L = 2,070 \text{ m}$       *půdorysná délka*
  - $L_s = 2,070 \text{ m}$       *délka po střednici (skutečná)*



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá výška vnější hrany	$h$	200,0	mm
Jmenovitá délka vnější hrany	$b$	150,0	mm
Tloušťka stěny	$t$	5,0	mm
Vnější poloměr zaoblení	$r$	7,5	mm
Plocha průřezu	$A$	3340,0	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_y$	1126,3	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_z$	1721,3	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{v,y}$	1431,4	mm <sup>2</sup>
Účinná smyková plocha	$A_{v,z}$	1908,6	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	1,935E+07	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	1,245E+07	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	76,2	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	61,1	mm
Objem	$V$	3,340E+06	mm <sup>3</sup> /m
Hmotnost průřezu	$G$	26,2	kg/m
Plocha pláště	$A_{plášť}$	0,68	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	2,391E+07	mm <sup>4</sup>
Průřezový modul v kroucení	$W_t$	2,670E+05	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	1,930E+05	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_z$	1,660E+05	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	2,300E+05	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,z}$	1,890E+05	mm <sup>3</sup>



Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### Materiálové charakteristiky:

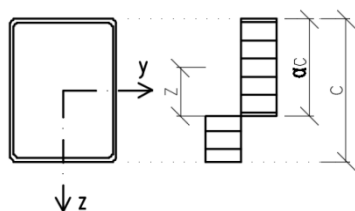
- Příčník je vyroben z oceli třídy pevnosti S355
- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	210,0	GPa
Smykový modul	G	80,8	GPa
Mez kluzu	$f_y$	355,0	MPa

### Zatřídění průřezu:



$$z = \frac{N_{c,d}}{2 \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = \frac{31,25}{2 \cdot 5,0 \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0}} = 8,80 \text{ mm}$$

$$\alpha c = \frac{c}{2} + \frac{z}{2} = \frac{185}{2} + \frac{8,8}{2} = 96,9 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha c}{c} = \frac{96,9}{185} = 0,524 > 0,5$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{c}{t} = \frac{185}{5} = 37,0 \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,524 - 1} = 55,46$$

**VYHOVUJE** podmínkám TŘ. 1

## 3.3.2 Posouzení na MSÚ

### 3.3.2.1 Rovinný vzpěr

#### Zatížení:

$$N_{c,d} = 31,25 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 52**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,05 \text{ ZS7} + 1,5 \text{ ZS9})$$

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.3.1)

Štíhlostní poměr odpovídající vybočení v rovině prvku (okolo osy Y):

$$L_{cr,y} = L_s = 2,070 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,935 \cdot 10^{-5}}{2,070^2} = 9359,64 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{9359,64}} = 0,356 > 0,20$$

V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

Křivka vzpěrné pevnosti a  $\rightarrow \alpha = 0,21$  válcované za tepla

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,356 - 0,2) + 0,356^2] = 0,580$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,580 + \sqrt{0,580^2 - 0,356^2}} = 0,964$$

Štíhlostní poměr odpovídající vybočení z roviny prvku (okolo osy Z):

$$L_{cr,z} = L_s = 2,070 \text{ m}$$

Pozn. Kritická vzpěrná délka je rovna skutečné délce, kvůli možnému natočení hlavních nosníků.

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 1,245 \cdot 10^{-5}}{2,070^2} = 6022,10 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{6022,10}} = 0,444 > 0,20$$

V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti

Křivka vzpěrné pevnosti a  $\rightarrow \alpha = 0,21$  válcované za tepla

$$\phi_z = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,444 - 0,2) + 0,444^2] = 0,624$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,624 + \sqrt{0,624^2 - 0,444^2}} = 0,940$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\chi = \min\{\chi_y; \chi_z\} = \{0,964; 0,940\} = 0,940$$

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,940 \cdot \frac{3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = 1114,90 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{c,d}}{N_{b,Rd}} = \frac{31,25}{1114,90} = 0,03 \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.3.2.2 Kombinace ohybu s osovou silou

Zatížení:

$$M_{y,d} = 10,88 \text{ kNm}$$

$$N_{c,d} = 31,25 \text{ kN}$$

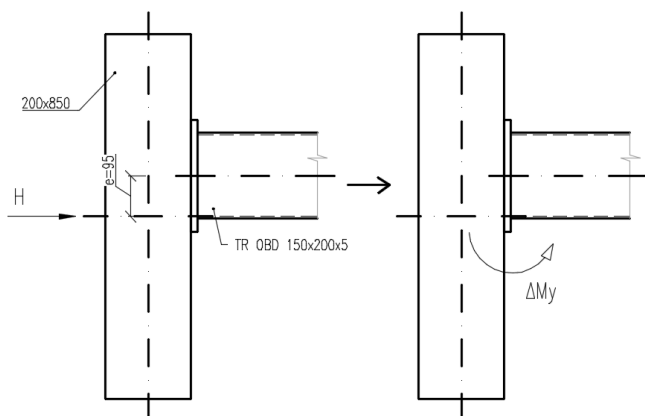
- Rozhodující kombinace: **KZ 52**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,05 \text{ ZS7} + 1,5 \text{ ZS9})$$

Ověření vlivu smykové síly: ČSN EN 1993-1-1 (6.2.10)

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

**Výpočet přídatného momentu od napětí hlavního nosníku:**



$\sigma = \sigma_h = \sigma_d = 4,545 \text{ MPa}$     *napětí v horních a dolních vláknech hlavního nosníku*

$$H = \sigma \cdot A = 4,545 \cdot 10^3 \cdot 0,17 = 772,65 \text{ kN}$$

$$\Delta M_y = H \cdot e = 772,65 \cdot 0,095 = 73,40 \text{ kNm}$$

**Výpočet únosnosti:**    *dle ČSN EN 1993-1-1 (6.3.3)*

*Charakteristická hodnota osové únosnosti v tlaku:*

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3,34 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1185,70 \text{ kN}$$

*Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y:*

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,44 \cdot 10^{-4} \cdot 355 \cdot 10^3 = 122,12 \text{ kNm}$$

*Poměrná štíhlost pro vzpěr osy y:*    viz. 3.3.2.1

$$\bar{\lambda}_y = 0,356$$

*Součinitel vzpěrnosti pro vzpěr okolo osy y:*    viz. 3.3.2.1

$$\chi_y = 0,964$$

*Poměrná štíhlost pro vzpěr osy z:*    viz. 3.3.2.1

$$\bar{\lambda}_z = 0,444$$

*Součinitel vzpěrnosti pro vzpěr okolo osy z:*    viz. 3.3.2.1

$$\chi_z = 0,940$$

*Součinitel klopení:*

$$\chi_{LT} = 1,00 \quad \text{průřez je tuhý v kroucení}$$

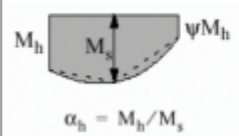
Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
			ROK	2016/2017

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu  $C_{my}$ :

$$M_h = 73,40 \text{ kNm}$$

$$M_s = 84,28 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{73,40}{84,28} = 0,871$$

Průběh momentu	Rozsah		$C_{my}$ a $C_{mz}$ a $C_{m1,T}$
			rovnomořné zatížení
	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_s = 0,95 + 0,05 \cdot 0,871 = \underline{0,994}$$

Interakční součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,994 \cdot \left( 1 + (0,358 - 0,2) \cdot \frac{31,25}{0,964 \cdot 1185,7 / 1,0} \right) \\ 0,994 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{31,25}{0,964 \cdot 1185,7 / 1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \{0,998\} = \underline{0,998}$$

Interakční součinitel  $k_{yz}$ :

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{yy} = 0,6 \cdot 0,998 = 0,599$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed,y} + \Delta M_y}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,y}} = \frac{31,25}{0,964 \cdot 1185,7} + 0,998 \cdot \frac{10,88 + 73,40}{1,0 \cdot 122,12} = \underline{0,72} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed,y} + \Delta M_y}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,y}} = \frac{31,25}{0,940 \cdot 1185,7} + 0,599 \cdot \frac{10,88 + 73,40}{1,0 \cdot 122,12} = \underline{0,44} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

### 3.3.3 Posouzení na MSP

- Hodnoty získané z výpočetního programu Dlubal RFEM 5.01

**Konečná deformace:**

$$w_{fin,z} = 2,60 \text{ mm}$$

$$w_{fin,y} = 0,20 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{fin,z}^2 + w_{fin,y}^2} = \sqrt{2,60^2 + 0,20^2} = \underline{2,61 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,fin} = \frac{L_s}{250} = \frac{2080}{250} = \underline{8,32 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{w_{inst}}{w_{lim,inst}} = \frac{2,61}{8,32} = \underline{0,31} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

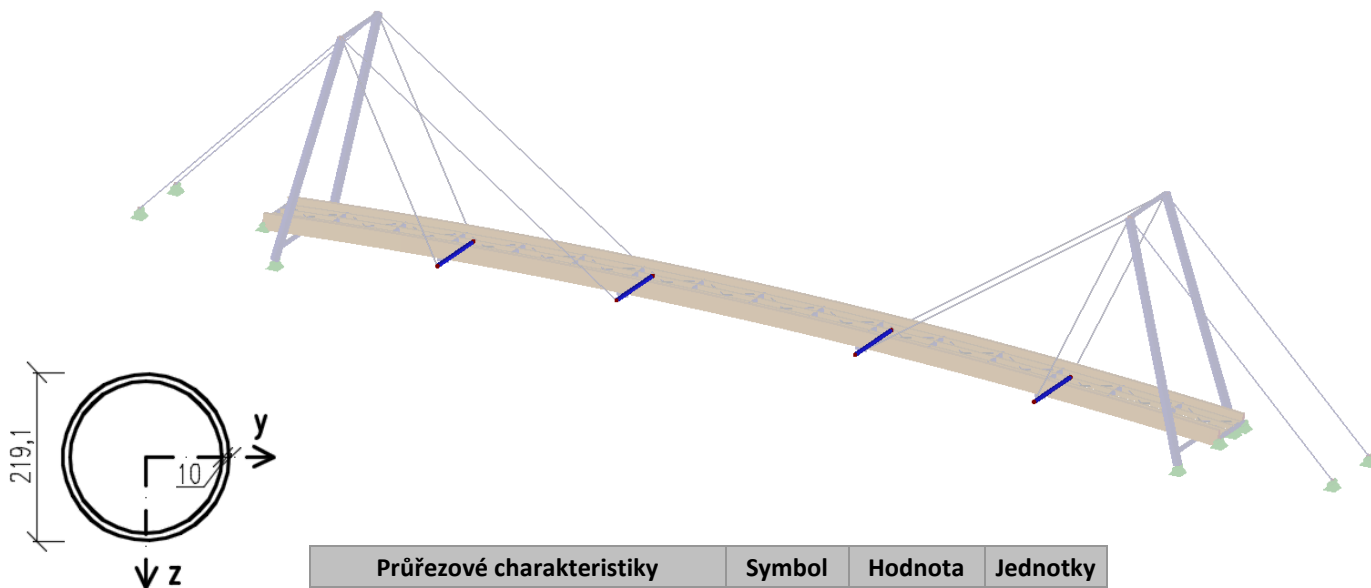
Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

## 3.4 Příčník v místě závěsu – TR 219,1 x 10

### 3.4.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 4ks
- Rovný prostě podepřený prutový prvek.

$L = 3,380 \text{ m}$  *půdorysná délka*  
 $L_s = 3,380 \text{ m}$  *délka po střednici (skutečná)*



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	219,1	mm
Tloušťka stěny	s	10,0	mm
Plocha průřezu	A	6570,0	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_y$	3261,6	mm <sup>2</sup>
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	4182,0	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	3,598E+07	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	74,0	mm
Objem	V	6,570E+06	mm <sup>3</sup> /m
Hmotnost průřezu	G	51,60	kg/m
Plocha pláště	$A_{pláš}$	0,688	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	7,197E+07	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	3,280E+05	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	4,380E+05	mm <sup>3</sup>

#### Materiálové charakteristiky:

- Příčník v místě závěsu je vyroben z oceli třídy pevnosti S355
- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	210,0	GPa
Smykový modul	G	80,8	GPa
Mez kluzu	$f_y$	355,0	MPa

Zatřídění průřezu:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{219,1}{10,0} = \underline{21,91} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = \underline{26,73}$$

**VYHOVUJE** podmínkám TŘ. 1

### 3.4.2 Posouzení na MSÚ

#### 3.4.2.1 Kombinace dvouosého ohybu se smykem a osovou silou

Zatížení:

$$M_{y,d} = 80,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d} = 119,03 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 5,37 \text{ kN}$$

$$V_{y,d} = 214,45 \text{ kN}$$

$$V_{z,d} = 143,99 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

Ověření vlivu smykové síly: ČSN EN 1993-1-1 (6.2.10)

$$V_{c,Rd,y} = \frac{A_{v,y} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{4,183 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 857,26 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{V_{y,d}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{214,45}{857,26} = \underline{0,25} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

$$\underline{0,25} \leq 0,5$$

*není třeba redukovat ohybovou únosnost*

$$\frac{V_{z,d}}{V_{c,Rd,y}} = \frac{143,99}{857,26} = \underline{0,17} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

$$\underline{0,17} \leq 0,5$$

*není třeba redukovat ohybovou únosnost*

Pozn. Jestliže smyková síla je menší než polovina plastické smykové únosnosti, je možné její účinek na únosnost v ohybu zanedbat.

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.2.9)

$$N_{pl,Rd} = A \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 6,57 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 2332,35 \text{ kN}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4,38 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 155,49 \text{ kNm}$$

*Návrhový plastický moment únosnosti, redukovaný v důsledku působení osově síly:*

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = \frac{5,37}{2332,35} = 0,002$$

$$M_{N,y,Rd} = M_{N,z,Rd} = M_{pl,Rd} \cdot (1 - n^{1,7}) = 155,49 \cdot (1 - 0,002^{1,7}) = \underline{155,485 \text{ kNm}}$$

**Posouzení:**

- Pro kruhové duté průřezy:  $\alpha = 2,0$

$$\beta = 2,0$$

$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{N,y,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{N,z,Rd}} \right)^\beta = \left( \frac{80,02}{155,485} \right)^2 + \left( \frac{119,03}{155,485} \right)^2 = \underline{0,85} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.4.3 Posouzení na MSP

- Hodnoty získané z výpočetního programu Dlubal RFEM 5.01

**Konečná deformace:**

$$w_{fin,z} = 7,90 \text{ mm}$$

$$w_{fin,y} = 5,20 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{fin,z}^2 + w_{fin,y}^2} = \sqrt{7,90^2 + 5,20^2} = \underline{9,46 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,fin} = \frac{L_s}{300} = \frac{3410}{300} = \underline{11,37 \text{ mm}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{w_{inst}}{w_{lim,inst}} = \frac{9,46}{11,37} = \underline{0,83} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**



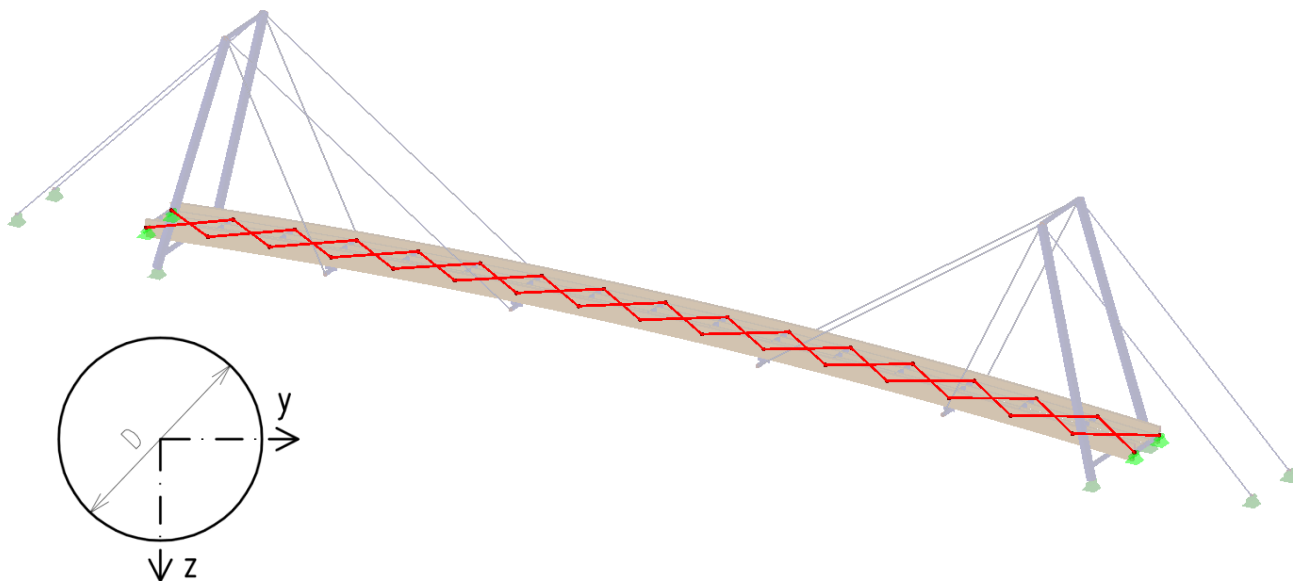
## 3.5 Podmostokové ztužidlo – KR 28

### 3.5.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 32ks
- Rovný prutový prvek. Kloubově připojen k příčnicím

$L = 3,135 \text{ m}$  *půdorysná délka*

$L_s = 3,137 \text{ m}$  *délka po střednici (skutečná)*



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr tyče	D	28,0	mm
Plocha jádra závitové tyče	As	561	mm <sup>2</sup>

- Ocelová tyč o průměru 28 mm, opatřená závitěm **M30**

#### Materiálové charakteristiky:

- Ztužidlo je vyroben z **austenitické konstrukční nerezové oceli** (systém společnosti Macalloy). Třída pevnosti **S460**

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	190,0	GPa
Mez kluzu	$f_y$	460,0	MPa
Mez pevnosti	$f_u$	610,0	MPa

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

## 3.5.2 Posouzení na MSÚ

### 3.5.2.1 Osový tah

Zatížení:

$$N_{Ed} = 35,88 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 36**

(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,05 ZS3 + 1,5 ZS9)

Výpočet únosnosti: dle ČSN EN 1993-1-1 (6.2.3)

Výpočet únosnosti v místě oslabené závitem:

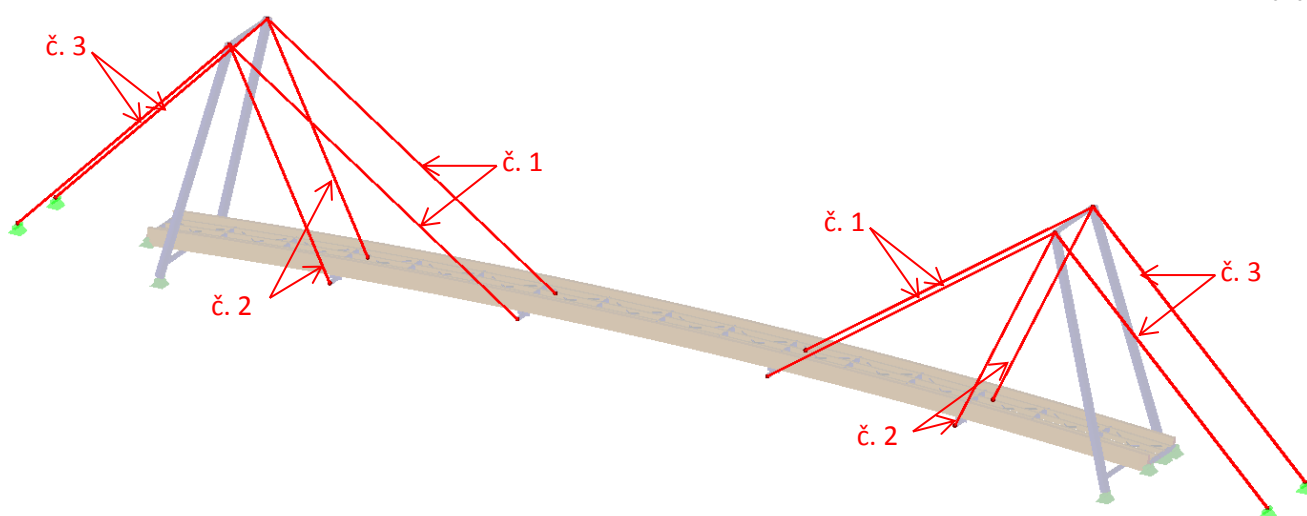
$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 561 \cdot 10^{-6} \cdot 610 \cdot 10^3}{1,25} = 246,39 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{35,88}{246,39} = \underline{0,15} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

## 3.6 Táhla



### 3.6.1 Táhlo č. 1 – KR 39

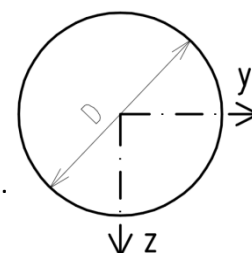
#### 3.6.1.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 4ks

- Rovný prutový prvek. Kloubově připojen k příčníku v místě závěsu a vrcholem pylonu.

$$L_s = 17,340 \text{ m}$$

délka po střednici (skutečná)



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr tyče	D	39,0	mm
Plocha jádra závitové tyče	As	1088	mm <sup>2</sup>

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

- Ocelová tyč o průměru 39 mm, opatřená závitem **M42**

#### Materiálové charakteristiky:

- Táhlo je vyroben z **austenitické konstrukční nerezové oceli** (systém společnosti Macalloy).

Třída pevnosti **S460**

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	190,0	GPa
Mez kluzu	$f_y$	460,0	MPa
Mez pevnosti	$f_u$	610,0	MPa

### 3.6.1.2 Posouzení na MSÚ

#### OSO VÝ TAH

#### Zatížení:

$$N_{Ed} = 260,13 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,5 ZS3 + 0,9 ZS11)$$

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.2.3)

Výpočet únosnosti v místě oslabené závitem:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1088 \cdot 10^{-6} \cdot 610 \cdot 10^3}{1,25} = 478,01 \text{ kN}$$

#### Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{260,13}{478,01} = \underline{0,54} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

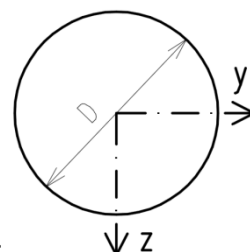
### 3.6.2 Táhlo č. 2 – KR 39

#### 3.6.2.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 4ks

- Rovný prutový prvek. Kloubově připojen k příčníku v místě závěsu a vrcholem pylonu.

$$L_s = 11,010 \text{ m} \quad \text{délka po střednici (skutečná)}$$



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr tyče	D	39,0	mm
Plocha jádra závitové tyče	$A_s$	1088	mm <sup>2</sup>

- Ocelová tyč o průměru 39 mm, opatřená závitem **M42**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### Materiálové charakteristiky:

- Táhlo je vyroben z **austenitické konstrukční nerezové oceli** (systém společnosti Macalloy).

Třída pevnosti **S460**

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	190,0	GPa
Mez kluzu	$f_y$	460,0	MPa
Mez pevnosti	$f_u$	610,0	MPa

### 3.6.2.2 Posouzení na MSÚ

#### OSOÝ TAH

#### Zatížení:

$$N_{Ed} = 167,27 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,5 ZS3 + 0,9 ZS11)$$

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.2.3)

Výpočet únosnosti v místě oslabené závitem:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1088 \cdot 10^{-6} \cdot 610 \cdot 10^3}{1,25} = 478,01 \text{ kN}$$

#### Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{167,27}{478,01} = \underline{0,32} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

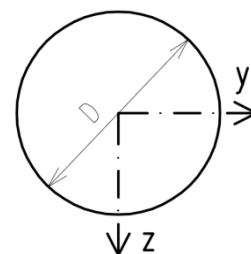
### 3.6.3 Táhlo č. 3 – KR 60

#### 3.6.3.1 Geometrie a charakteristika prvku

- Počet: 4ks

- Rovný prutový prvek. Kloubově připojen k vrcholu rámu a základovému bloku.

$$L_s = 14,660 \text{ m} \quad \text{délka po střednici (skutečná)}$$



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Průměr tyče	D	60,0	mm
Plocha jádra závitové tyče	$A_s$	2576	mm <sup>2</sup>

- Ocelová tyč o průměru 60 mm, opatřená závitem **M64**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### Materiálové charakteristiky:

- Táhlo je vyroben z **austenitické konstrukční nerezové oceli** (systém společnosti Macalloy).

Třída pevnosti **S460**

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	190,0	GPa
Mez kluzu	$f_y$	460,0	MPa
Mez pevnosti	$f_u$	610,0	MPa

### 3.6.3.2 Posouzení na MSÚ

#### OSOÝ TAH

#### Zatížení:

$$N_{Ed} = 720,81 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,5 ZS3 + 0,9 ZS11)$$

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.2.3)

Výpočet únosnosti v místě oslabené závitem:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_y}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2576 \cdot 10^{-6} \cdot 610 \cdot 10^3}{1,25} = \underline{1131,39 \text{ kN}}$$

#### Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{720,81}{1131,39} = \underline{0,64} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

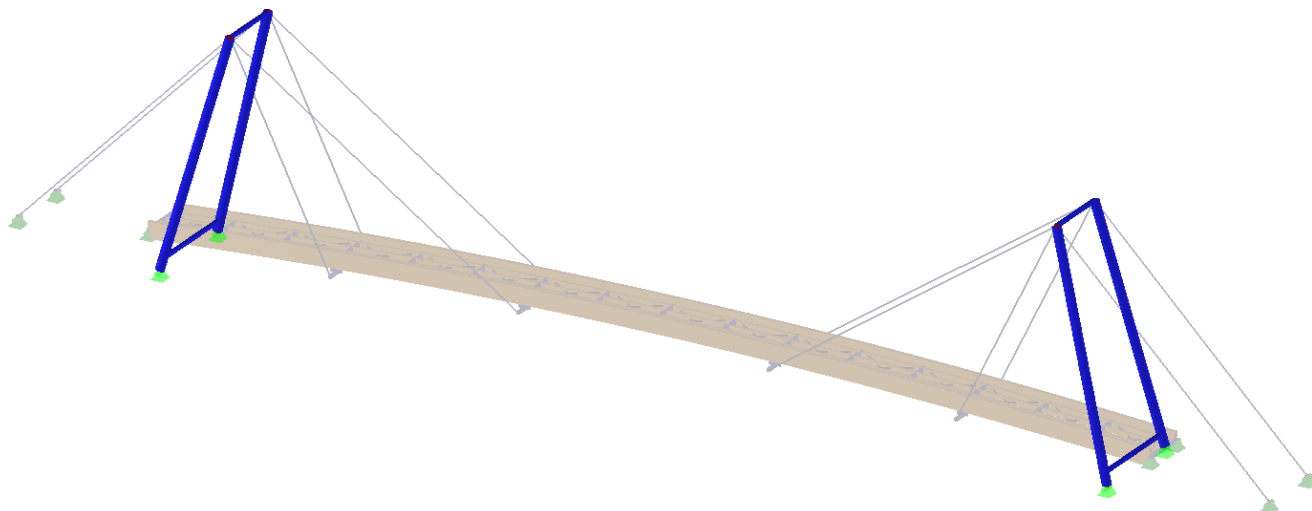
## 3.7 Pylon

### 3.7.1 Geometrie a charakteristika prvku

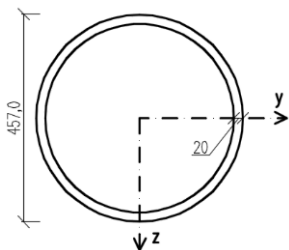
- Počet: 2ks
- Tvořený ocelovým rámem.

$L_{s,sloup} = 12,100 \text{ m}$  délka sloupu po střednici (skutečná)

$L_{s,příčel} = 2,930 \text{ m}$  délka příčle po střednici (skutečná)



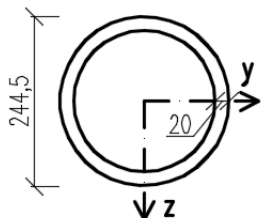
Pro sloup – TR 457 x 20



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	457,0	mm
Tloušťka stěny	s	20,0	mm
Plocha průřezu	A	27500,0	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_y$	13631,0	mm <sup>2</sup>
Plastická smyková plocha	$A_{pl,y}$	17480,0	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	6,568E+08	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	155,0	mm
Objem	V	2,750E+07	mm <sup>3</sup> /m
Hmotnost průřezu	G	215,90	kg/m
Plocha pláště	$A_{pláš}$	1,44	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	1,314E+09	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_y$	2,874E+06	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	$W_{pl,y}$	3,822E+06	mm <sup>3</sup>

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### Pro příčel – TR 244,5 x 20



Průřezové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	244,5	mm
Tloušťka stěny	s	20,0	mm
Plocha průřezu	A	14100,0	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>y</sub>	7030,2	mm <sup>2</sup>
Plastická smyková plocha	A <sub>pl,y</sub>	8980,0	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	8,957E+07	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	79,700	mm
Objem	V	1,410E+07	mm <sup>3</sup> /m
Hmotnost průřezu	G	110,70	kg/m
Plocha pláště	A <sub>plášť</sub>	0,77	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	1,791E+08	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y</sub>	7,330E+05	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	1,011E+06	mm <sup>3</sup>

### Materiálové charakteristiky:

- Sloupy i příčle jsou vyrobeny z oceli třídy pevnosti S355
- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

Materiálové charakteristiky	Symbol	Hodnota	Jednotky
Modul pružnosti	E	210,0	GPa
Smykový modul	G	80,8	GPa
Mez kluzu	f <sub>y</sub>	355,0	MPa

### Zatřídění průřezu:

Sloup:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{457}{20} = \underline{21,91} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = \underline{26,73}$$

**VYHOVUJE podmínkám TŘ. 1**

Příčel:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

$$\frac{d}{t} = \frac{244,5}{20} = \underline{12,23} \leq 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 0,81 = \underline{26,73}$$

**VYHOVUJE podmínkám TŘ. 1**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

### 3.7.2 Posouzení na MSÚ

- Pro posouzení byl rám idealizován.
- Posouzení provedeno pouze na sloupu, které je v tomto případě rozhodující.

Výpočet vzpěrného součinitele  $\beta$  pro idealizovaný rám:

$$I_b = I_{y,\text{příčel}} = 8,957 \cdot 10^{-5} \text{ m}^4$$

$$I = I_{y,\text{sloup}} = 6,568 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4$$

$$h = L_{s,\text{sloup}} = 12,100 \text{ m}$$

$$L = 5,200 \text{ m} \quad \text{skutečná vzdálenost pat sloupů}$$

$$\beta_1 = 0,7 \cdot \sqrt{2} = 0,99$$

$$\kappa = \frac{I \cdot L}{I_b \cdot h} = \frac{6,568 \cdot 10^{-4} \cdot 5,2}{8,957 \cdot 10^{-5} \cdot 12,10} = 3,151$$

$$\beta = 2 \cdot \beta_1 \sqrt{1 + 0,4 \cdot \kappa} = 2 \cdot 0,99 \sqrt{1 + 0,4 \cdot 3,151} = \underline{2,977}$$



#### 3.7.2.1 Rovinný vzpěr

Zatížení:

$$N_{cd} = 879,68 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

Výpočet únosnosti: dle ČSN EN 1993-1-1 (6.3.1)

Štíhlostní poměr odpovídající vybočení v rovině prvku (okolo osy Y):

$$L_{cr,y} = L_s \cdot \beta = 12,100 \cdot 2,977 = 36,019 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^6 \cdot 6,568 \cdot 10^{-4}}{36,019^2} = 1049,27 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{2,75 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1049,27}} = \underline{3,05} > \underline{0,20}$$

V posudku je nutné zohlednit vliv součinitele vzpěrnosti

Křivka vzpěrné pevnosti  $\alpha \rightarrow \alpha = 0,21$  válcované za tepla

$$\phi_y = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (3,05 - 0,2) + 3,05^2] = 5,45$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{5,45 + \sqrt{5,45^2 - 3,05^2}} = \underline{0,10}$$

Návrhová vzpěrná únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = 0,10 \cdot \frac{2,75 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3}{1,0} = \underline{979,25 \text{ kN}}$$



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

**Posouzení:**

$$\frac{N_{c,d}}{N_{b,Rd}} = \frac{879,68}{979,25} = \underline{0,90} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.7.2.2 Kombinace ohybu s osovou silou

**Zatížení:**

$$M_{Ed} = 25,65 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 650,76 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 36**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,05 \text{ ZS7} + 1,5 \text{ ZS9})$$

**Výpočet únosnosti:** dle ČSN EN 1993-1-1 (6.3.3)

Charakteristická hodnota osové únosnosti v tlaku:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 2,75 \cdot 10^{-2} \cdot 355 \cdot 10^3 = 9762,50 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota únosnosti v ohybu k ose y:

$$M_{Rk,y} = W_{pl,y} \cdot f_y = 3,822 \cdot 10^{-3} \cdot 355 \cdot 10^3 = 1356,81 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost pro vzpěr osy y: viz. 3.7.2.1

$$\bar{\lambda}_y = 3,05$$

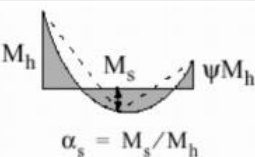
Součinitel vzpěrnosti pro vzpěr okolo osy y: viz. 3.7.2.1

$$\chi_y = 0,10$$

**Součinitel klopení:**

$$\chi_{LT} = 1,00 \quad \text{průřez je tuhý v kroucení}$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu  $C_{my}$ :

Průběh momentu	Rozsah		$C_{my}$ a $C_{mz}$ a $C_{mLT}$
			rovnomměrné zatížení
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$

$$M_h = 25,65 \text{ kNm}$$

$$M_s = -8,19 \text{ kNm}$$

$$\alpha_s = \frac{-8,19}{25,65} = -0,319$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

$$\psi = -0,32$$

$$C_{my} = \max \left\{ 0,1(1 - (-0,32) - 0,8 \cdot (-0,319)) \right\} = \max \left\{ \frac{0,387}{0,400} \right\} = \underline{0,40}$$

Interakční součinitel  $k_{yy}$ :

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} C_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \\ C_{my} \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}} \right) \end{array} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \begin{array}{l} 0,40 \cdot \left( 1 + (3,05 - 0,2) \cdot \frac{650,76}{0,10 \cdot 9762,5/1,0} \right) \\ 0,40 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{650,76}{0,10 \cdot 9762,5/1,0} \right) \end{array} \right\} = \min \left\{ \frac{1,158}{0,613} \right\} = \underline{0,613}$$

Posouzení:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk,y}} = \frac{650,76}{0,10 \cdot 9762,5} + 0,613 \cdot \frac{25,65}{1,0 \cdot 1356,81} = \underline{0,68} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 3.7.3 Posouzení na MSP

- Hodnoty získané z výpočetního programu Dlubal RFEM 5.01

#### 3.7.3.1 Konečná deformace

$$w_{fin,x} = 26,80 \text{ mm} \quad w_{fin,z} = 8,5 \text{ mm}$$

$$w_{fin} = \sqrt{w_{fin,x}^2 + w_{fin,z}^2} = \sqrt{26,80^2 + 8,50^2} = \underline{28,12 \text{ mm}}$$

$$w_{lim,fin} = \frac{L_s}{300} = \frac{12100}{300} = \underline{40,33 \text{ mm}}$$

Posouzení:

$$\frac{w_{inst}}{w_{lim,inst}} = \frac{28,12}{40,33} = \underline{0,70} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 4. Spoje

- Výpočet vybraných spojů dle ČSN EN 1995-1-1 a 1993-1-8

### 4.1 Montážní spoj hlavního nosníku

- Montážní spoj je umístěn ve vzdálenosti 17m a 35 m od počátku hlavního nosníku. Hlavní nosník je rozdělen na 2 stejné (zrcadlově otočené) 17m dlouhé části a jednu středovou 18m dlouhou.

#### 4.1.1 Geometrie a charakteristika spoje

- Svorníkový spoj s jednou vnitřní ocelovou deskou

##### Charakteristika spojovacího prostředku:

- Pozinkovaný svorník **M20** z oceli pevnosti **8.8**

$d = 20 \text{ mm}$	<i>průměr svorníku</i>
$A = 314 \text{ mm}^2$	<i>průřezová plocha svorníku</i>
$f_{u,b} = 800 \text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>
$f_{y,b} = 640 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

##### Charakteristika desky:

- Deska z oceli **S355**

$t = 15 \text{ mm}$	<i>tloušťka desky</i>
$d_0 = 22 \text{ mm}$	<i>průměr otvoru</i>
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

##### Počet a uspořádání spojovacích prostředků:

$n_{fir} = 2$	počet spojovacích prostředků v řadě
$n_r = 5$	počet řad
$n = n_{fir} \cdot n_r = 2 \cdot 5 = 10$	celkový počet spojovacích prostředků

- Minimální rozteče pro svorníky:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha)d = (4 + \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

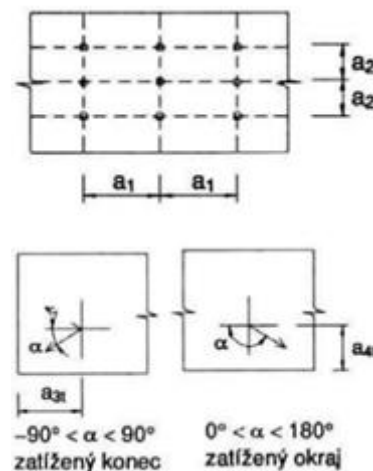
$$a_{3,t} = \max\{7d; 80\} = \max\{140; 80\} = 140 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max\{(2 + 2\sin \alpha)d; 3d\} = \max\{2 + 2\sin 90^\circ; 3 \cdot 20\} = \{80; 60\} = 80 \text{ mm}$$

- Minimální rozteče pro ocelovou desku:

$$p_1 = 2,2 d_0 = 2,2 \cdot 22 = 50 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 d_0 = 2,4 \cdot 22 = 55 \text{ mm}$$



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$e_1 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 22 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 22 = 30 \text{ mm}$$

- Navržená geometrie:

$$p_1 = a_1 = \underline{150 \text{ mm}}$$

$$p_2 = a_2 = \underline{100 \text{ mm}}$$

$$a_{3,t} = \underline{140 \text{ mm}}$$

$$a_{4,t} = \underline{80 \text{ mm}}$$

$$e_2 = e_1 = \underline{30 \text{ mm}}$$

#### 4.1.2 Zatížení

$$M_{Ed} = 19,23 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN} \quad \text{pouze tlak} \rightarrow \text{přenesen kontaktem s čelní deskou}$$

$$V_{Ed} = 35,08 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 10**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS11})$$

Výsledné namáhání:

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{0^2 + 35,08^2} = \underline{35,08 \text{ kN}}$$

#### 4.1.3 Posouzení spoje na střih

Charakteristická pevnost v otláčení dřevěného prvku:

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 + 0,01d)\rho_k = 0,082(1 + 0,01 \cdot 20) \cdot 430 = 28,21 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65 \quad \text{Pro dřevo jehličnatých dřevin}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = \underline{17,10 \text{ MPa}}$$

Nejmenší tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = 92,5 \text{ mm}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

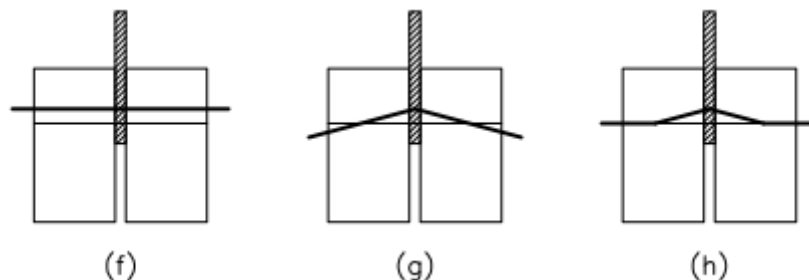
$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = \underline{579\,280,93 \text{ Nmm}}$$

Charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku:

$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN}$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:



$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 17,10 \cdot 92,5 \cdot 20 = \underline{31,627 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$= 17,10 \cdot 92,5 \cdot 20 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 579280,9}{17,10 \cdot 20 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} = \underline{21,220 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \sqrt{579280,9 \cdot 17,10 \cdot 20} + \frac{0}{4} = \underline{32,369 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk} = \begin{Bmatrix} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 31,627 \\ 21,220 \\ 32,369 \end{Bmatrix} = 21,22 \text{ kN}$$

Účinný počet spojovacích prostředků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n_{fir}}{n_{fir}^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = \min \left\{ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{150}{13 \cdot 20}} = 1,63 \right\} = 1,63$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh řady spojovacích prostředků:

$$F_{v,ef,Rk} = F_{v,Rk} \cdot n_{ef} = 21,22 \cdot 1,63 = 34,51 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost dvojstřížného spoje:

$$F_{v,tot,Rk} = F_{v,ef,Rk} \cdot n_s \cdot n_r = 34,51 \cdot 2 \cdot 5 = 345,10 \text{ kN}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{dílní součinitel únosnosti pro spoje}$$

$$F_{v,tot,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,tot,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{345,10}{1,3} = \underline{185,83 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,tot,Rd}} = \frac{35,08}{185,83} = \underline{0,19} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### 4.1.4 Únosnost nejvíce namáhaného spojovacího prostředku

Vzdálenost těžiště přípoje od působící střížné síly:

$$e = 0,223 \text{ m}$$

Ohybový moment:

$$M_d = M_{y,d} + (V_{z,d} \cdot e) = 19,23 + (35,08 \cdot 0,223) = 27,05 \text{ kNm}$$

Střížná síla od ohybového momentu působící na nejvzdálenější spojovací prostředek od těžiště spoje:

$$F_{1,M,d} = \frac{M_d \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{27,05 \cdot 0,214^2}{4 \cdot (0,214^2 + 0,125^2) + 2 \cdot 0,075^2} = 22,53 \text{ kN}$$

$$F_{1,M,d,y} = F_{1,M,d} \cdot \sin 17,4^\circ = 22,53 \cdot \sin 20,6^\circ = 7,49 \text{ kN}$$

$$F_{1,M,d,x} = F_{1,M,d} \cdot \cos 17,4^\circ = 22,53 \cdot \cos 20,6^\circ = 21,09 \text{ kN}$$

$$F_{1,V} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{35,08}{10} = 3,51 \text{ kN}$$

$$F_{1,V,Ed} = \sqrt{F_{1,M,d,x}^2 + (F_{1,M,d,y} + F_{1,V})^2} = \sqrt{21,09^2 + (7,49 + 3,51)^2} = \underline{23,99 \text{ kN}}$$

Úhel mezi výslednou střížnou silou a směrem vláken:

$$\alpha = 20,6^\circ$$

Charakteristická pevnost v otlacení dřevěného prvku:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 20,6^\circ + \cos^2 20,6^\circ} = \underline{26,12 \text{ MPa}}$$

Obdobným způsobem jako při posouzení na stříh (4.1.3) získáme návrhovou únosnost **jednoho** dvojstřížného spojovacího prostředku:

$$F_{v,tot,Rd} = \underline{30,54 \text{ kN}}$$

**Posouzení:**

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,tot,Rd}} = \frac{23,99}{30,54} = \underline{0,79} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	AUTOR	
		ROK	2016/2017

## 4.2 Uložení hlavního nosníku - čep

### 4.2.1 Geometrie a charakteristika spoje

- Hlavní nosník je uložen pomocí čepu.

**Charakteristika čepu:**

- Čep průměru **80 mm** z oceli pevnosti **5.8**

$d = 80 \text{ mm}$	<i>průměr svorníku</i>
$A = 5027 \text{ mm}^2$	<i>průřezová plocha svorníku</i>
$W_{y,el} = 50265 \text{ mm}^3$	<i>elastický průřezový modul</i>
$f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>
$f_{y,b} = 400 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

**Charakteristika plechu:**

- Deska z oceli **S355**

$d_0 = 82 \text{ mm}$	<i>průměr otvoru</i>
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

### 4.2.2 Zatížení

$$N_{Ed} = 772,64 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20,68 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 8**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS9})$$

*Výsledné namáhání:*

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{772,64^2 + 20,68^2} = \underline{\underline{772,92 \text{ kN}}}$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 4.2.3 Posouzení čepu

Požadavky na čepový spoj:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{772,92 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 33 \text{ mm}$$

**t = 35 mm**

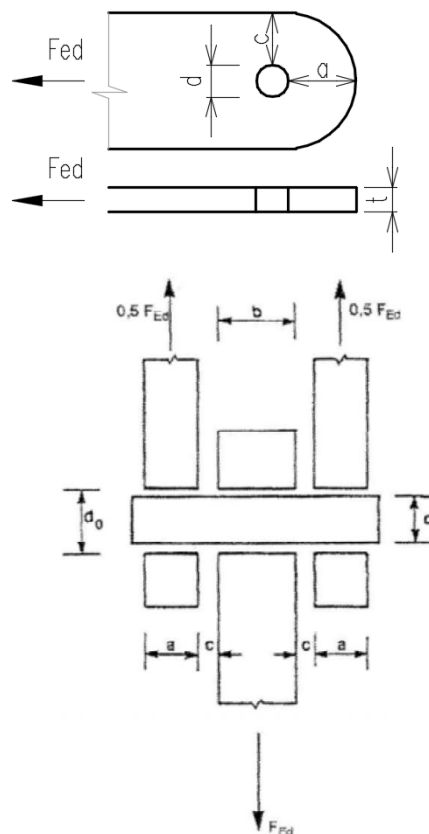
$$t_1 \geq \frac{t}{2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ mm} \rightarrow \underline{\mathbf{t_1 = 20 \text{ mm}}}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{772,92 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 35 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 82}{3} = 86 \text{ mm}$$

**a = 90 mm**

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{772,92 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 35 \cdot 355} + \frac{82}{3} = 58 \text{ mm}$$

**c = 60 mm**



#### 4.2.3.1 Posouzení čepu na střih

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{u,b}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 5027 \cdot 500}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{\mathbf{1206,37 \text{ kN}}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{772,92}{1206,37} = \underline{\mathbf{0,64}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.2.3.2 Posouzení čepu na ohyb

c = 1 mm      mezera mezi otvorem a průměrem čepu

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{772,92}{8} \cdot (35 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 20) = \underline{\mathbf{7,63 \text{ kNm}}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{y,el} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 50265 \cdot 540}{1,0} \cdot 10^{-6} = \underline{\mathbf{40,72 \text{ kNm}}}$$

Posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{7,63}{40,72} = \underline{\mathbf{0,19}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.2.3.3 Posouzení čepu na kombinaci střihu a ohybu

Posouzení:

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{7,63}{40,72} \right]^2 + \left[ \frac{772,92}{1206,37} \right]^2 = \underline{\mathbf{0,45}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### 4.2.3.4 Posouzení čepu a plechu na otláčení

$$F_{b,Ed} = 772,92 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 35 \cdot 80 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 1491,0 \text{ kN}$$

**Posouzení:**

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{772,92}{1491,0} = \underline{0,52} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.2.4 Připojení vazného plechu do hlavního nosníku

**Charakteristika spojovacího prostředku:**

- Pozinkovaný svorník **M20** z oceli pevnosti **5.8**

$d = 20 \text{ mm}$	<i>průměr svorníku</i>
$A = 314 \text{ mm}^2$	<i>průřezová plocha svorníku</i>
$f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>
$f_{y,b} = 400 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

**Charakteristika desky:**

- Deska z oceli **S355**

$t = 15 \text{ mm}$	<i>tloušťka desky</i>
$d_0 = 22 \text{ mm}$	<i>průměr otvoru</i>
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

**Počet a uspořádání spojovacích prostředků:**

$n_{fir} = 2$	počet spojovacích prostředků v řadě
$n_r = 3$	počet řad
$n = n_{fir} \cdot n_r = 2 \cdot 3 = \underline{6}$	celkový počet spojovacích prostředků

- Minimální rozteče pro svorníky:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha)d = (4 + \cos 0^\circ) \cdot 20 = 100 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 20 = 80 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = \max\{7d ; 80\} = \max\{140 ; 80\} = 140 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max\{(2 + 2\sin \alpha)d ; 3d\} = \max\{(2 + 2\sin 90^\circ)20 ; 3 \cdot 20\} = \{80 ; 60\} = 80 \text{ mm}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

- Minimální rozteče pro ocelovou desku:

$$p_1 = 2,2 d_0 = 2,2 \cdot 22 = 50 \text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 d_0 = 2,4 \cdot 22 = 55 \text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 22 = 30 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 22 = 30 \text{ mm}$$

- Navržená geometrie:

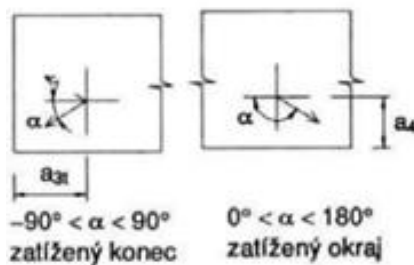
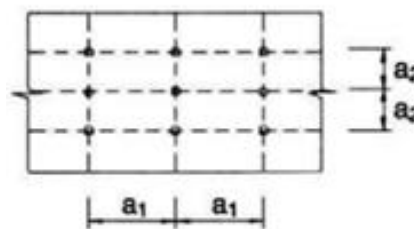
$$p_1 = a_1 = \underline{150 \text{ mm}}$$

$$p_2 = a_2 = \underline{150 \text{ mm}}$$

$$a_{3,t} = \underline{140 \text{ mm}}$$

$$a_{4,t} = \underline{80 \text{ mm}}$$

$$e_2 = e_1 = \underline{30 \text{ mm}}$$



## 4.2.5 Zatížení

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

*tlak → přenesen kontaktem s čelní deskou*

$$V_{Ed} = 32,45 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 26**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS7} + 0,9 \text{ ZS11})$$

Výsledné namáhání:

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{0^2 + 32,45^2} = \underline{32,45 \text{ kN}}$$

## 4.2.6 Posouzení spoje na stříh

Charakteristická pevnost v otlacení dřevěného prvku:

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 + 0,01d)\rho_k = 0,082(1 + 0,01 \cdot 20) \cdot 430 = 28,21 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 20 = 1,65 \quad \text{Pro dřevo jehličnatých dřevin}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{28,21}{1,65 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = \underline{17,10 \text{ MPa}}$$

Nejmenší tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = 92,5 \text{ mm}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 500 \cdot 20^{2,6} = \underline{362\,050,58 \text{ Nmm}}$$

Charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku:

$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:

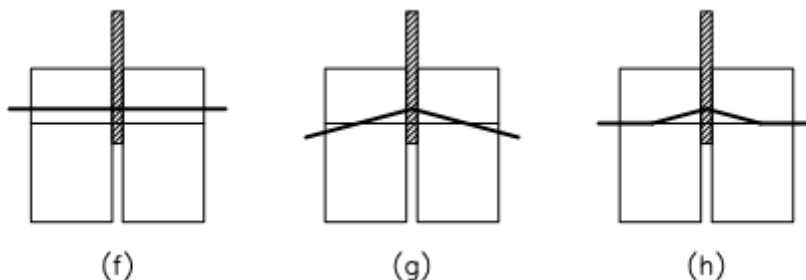
$$F_{v,Rk,f} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 17,10 \cdot 92,5 \cdot 20 = \underline{31,627 \text{ kN}}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$F_{v,Rk,g} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$= 17,10 \cdot 92,5 \cdot 20 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 362050,58}{17,10 \cdot 20 \cdot 92,5^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} = \underline{18,330 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk,h} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \sqrt{362050,58 \cdot 17,10 \cdot 20} + \frac{0}{4} = \underline{25,590 \text{ kN}}$$



$$F_{v,Rk} = \begin{Bmatrix} F_{v,Rk,f} \\ F_{v,Rk,g} \\ F_{v,Rk,h} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 31,627 \\ 18,330 \\ 25,590 \end{Bmatrix} = \underline{18,33 \text{ kN}}$$

Účinný počet spojovacích prostředků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n_{fir}}{n_{fir}^{0,9} \sqrt{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = \min \left\{ 2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{150}{13 \cdot 20}} = 1,47 \right\} = 1,63$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh řady spojovacích prostředků:

$$F_{v,ef,Rk} = F_{v,Rk} \cdot n_{ef} = 18,33 \cdot 1,63 = 29,81 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost dvojstřížného spoje:

$$F_{v,tot,Rk} = F_{v,ef,Rk} \cdot n_s \cdot n_r = 29,81 \cdot 2 \cdot 3 = 178,86 \text{ kN}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{dílní součinitel únosnosti pro spoje}$$

$$F_{v,tot,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,tot,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{178,86}{1,3} = \underline{96,31 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,tot,Rd}} = \frac{32,45}{96,31} = \underline{0,34} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 4.3 Připojení příčnicku k hlavnímu nosníku

- Příčník je přivařen k čelní desce, přes kterou je spojen pomocí svorníků s hlavním nosníkem.

### 4.3.1 Geometrie a charakteristika spoje

**Charakteristika spojovacího prostředku:**

- Pozinkovaný svorník **M24** z oceli pevnosti **10.8**

$d = 24\text{mm}$	<i>průměr svorníku</i>
$A = 452,4\text{ mm}^2$	<i>průřezová plocha svorníku</i>
$A_s = 353\text{ mm}^2$	<i>plocha dříku v místě závitu svorníku</i>
$f_{u,b} = 1000\text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>
$f_{y,b} = 800\text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

**Charakteristika desky:**

- Deska z oceli **S355**

$t = 15\text{ mm}$	<i>tloušťka desky</i>
$d_0 = 26\text{ mm}$	<i>průměr otvoru</i>
$f_{y,k} = 355\text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>
$f_{u,k} = 490\text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

**Počet a uspořádání spojovacích prostředků:**

$n_s = 1$	<i>počet střižných rovin</i>
$n_{fir} = 2$	<i>počet spojovacích prostředků v řadě</i>
$n_r = 2$	<i>počet řad</i>
$n = n_{fir} \cdot n_r = 2 \cdot 2 = 4$	<i>celkový počet spojovacích prostředků</i>

- Minimální rozteče pro ocelovou desku:

$$p_1 = 2,2 d_0 = 2,2 \cdot 26 = 60\text{ mm}$$

$$p_2 = 2,4 d_0 = 2,4 \cdot 26 = 65\text{ mm}$$

$$e_1 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 26 = 35\text{ mm}$$

$$e_2 = 1,2 d_0 = 1,2 \cdot 26 = 35\text{ mm}$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 4.3.2 Zatížení

$$M_{yd} = 84,28 \text{ kN} \quad \text{viz. 3.3.2.2}$$

$$V_{Ed} = 109,49 \text{ kN} \quad \text{Kombinace stříhu ve dvou rovinách}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 52**  
*(1,35 ZS1 + 1,35 ZS2 + 1,05 ZS7 + 1,5 ZS9)*

### 4.3.3 Posouzení na tah

Posouzení na páčení:

$$F_{1,M} = \frac{M \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{84,48 \cdot 0,19}{2 \cdot 0,19^2} = 221,79 \text{ kN}$$

$$t_e = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{b \cdot d^2}{a}} = 4,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{23 \cdot 24^2}{140}} = \underline{19,6 \text{ mm}} \geq \underline{t = 15 \text{ mm}}$$

*je nutné vzít v úvahu vliv páčení*

součinitel páčení:

$$\gamma_P = 1 + 0,005 \cdot \frac{t_e^3 - t^3}{d^2} = 1 + 0,005 \cdot \frac{19,6^3 - 15^3}{d^2} = 1,036$$

$$F_{t,Ed} = \gamma_P \cdot F_{1,M} = 1,036 \cdot 221,79 = \underline{229,78 \text{ kN}}$$

#### 4.3.3.1 Přetržení šroubu

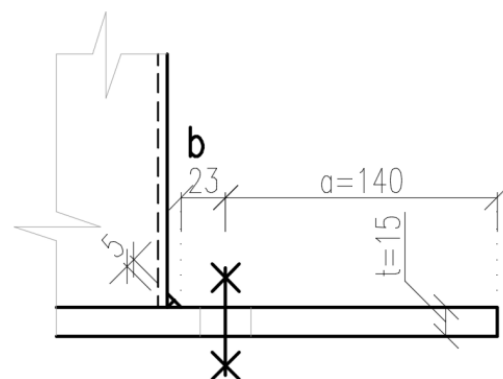
$$k_2 = 0,9 \quad \rightarrow \quad \text{šrouby nejsou zapuštěny}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{u,b} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 353}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{254,16 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} = \frac{229,78}{254,16} = \underline{0,90} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**



#### 4.3.3.2 Protlačení šroubu

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

$$d_m = 38,8 \text{ mm} \rightarrow \text{poměr kružnice opsané a vepsané šestiúhelníku}$$

$$B_{p,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_{u,k}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 38,8 \cdot 15 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{430,04 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,Ed}}{B_{p,Rd}} = \frac{229,78}{430,04} = \underline{0,53} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### 4.3.4 Posouzení na smyk

Síla působící na jeden šroub:

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{109,49}{4} = \underline{27,37 \text{ kN}}$$

##### 4.3.4.1 Posouzení na střih

$$\alpha_v = 0,5$$

$$F_{v,Rd} = n_s \frac{\alpha_v \cdot f_{u,b} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,5 \cdot 1000 \cdot 452,4}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{180,96 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{27,37}{180,96} = \underline{0,15} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

##### 4.3.4.2 Posouzení na otláčení

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7}{2,5} \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot \frac{35}{26} - 1,7}{2,5} = 2,07 \right\} = 2,07$$

$$\alpha = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{35}{3 \cdot 26} = 0,449 \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,519 \\ \frac{f_{u,b}}{f_u} = \frac{1000}{490} = 2,041 \\ 1 \end{array} \right\} = 0,449$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha \cdot f_{u,k} \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,07 \cdot 0,449 \cdot 490 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{131,03 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{27,37}{131,03} = \underline{0,21} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.3.5 Kombinace střihu a přetržení

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} = \frac{27,37}{180,96} + \frac{229,78}{1,4 \cdot 245,16} = \underline{0,80} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.3.6 Připojení čelní desky na hlavní nosník

- Minimální rozteče pro svorníky:

$$a_1 = (4 + \cos \alpha)d = (4 + \cos 0^\circ) \cdot 24 = 120 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4d = 4 \cdot 24 = 96 \text{ mm}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$a_{3,t} = \max\{7d ; 80\} = \max\{168 ; 80\} = 168 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = \max\{2 + 2\sin \alpha ; 3d\} = \max\{(2 + 2\sin 90^\circ)24 ; 3 \cdot 24\} = \{96 ; 72\} = 96 \text{ mm}$$

- Navržená geometrie:

$$p_1 = a_1 = \underline{210 \text{ mm}}$$

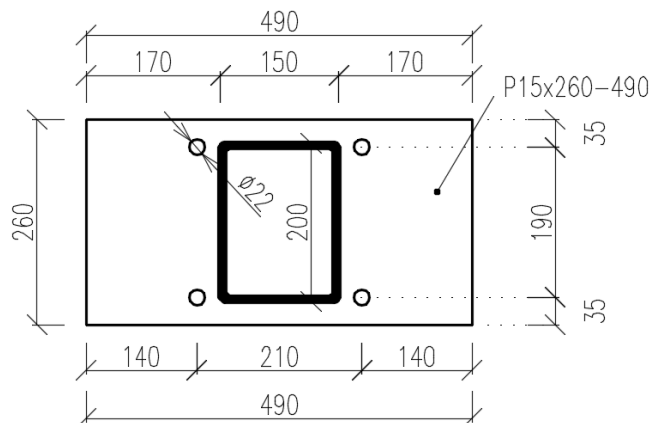
$$p_2 = a_2 = \underline{190 \text{ mm}}$$

$$a_{3,t} = \underline{170 \text{ mm}}$$

$$a_{4,t} = \underline{100 \text{ mm}}$$

$$e_2 = \underline{35 \text{ mm}}$$

$$e_1 = \underline{140 \text{ mm}}$$



#### 4.3.6.1 Posouzení spoje na stříh

Charakteristická pevnost v otlacení dřevěného prvku:

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 + 0,01d)\rho_k = 0,082(1 + 0,01 \cdot 24) \cdot 430 = 26,80 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015d = 1,35 + 0,015 \cdot 24 = 1,71 \quad \text{Pro dřevo jehličnatých dřevin}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{26,80}{1,71 \cdot \sin^2 90^\circ + \cos^2 90^\circ} = \underline{15,67 \text{ MPa}}$$

Nejmenší tloušťka dřevěného prvku:

$$t_1 = 200 \text{ mm}$$

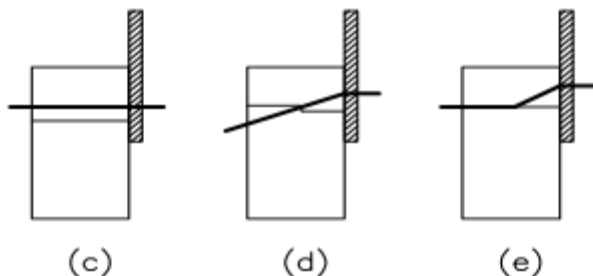
Charakteristický plastický moment únosnosti spojovacího prostředku:

$$M_{y,Rk} = 0,3f_{u,b} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 1000 \cdot 24^{2,6} = \underline{1163243 \text{ Nmm}}$$

Charakteristická únosnost na vytažení spojovacího prostředku:

$$F_{ax,Rk} = 0 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh jednoho spojovacího prostředku:



$$t_1 = 10 \text{ mm} > 0,5 \cdot d = 6 \text{ mm} \quad \rightarrow \quad \text{jedná se o tlustou desku}$$

$$F_{v,Rk,C} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \left[ \sqrt{2 + \frac{4M_{y,Rk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} =$$

$$= 15,67 \cdot 200 \cdot 24 \left[ \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 1163243}{15,67 \cdot 24 \cdot 200^2}} - 1 \right] + \frac{0}{4} = \underline{39,088 \text{ kN}}$$

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

$$F_{v,Rk,D} = 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 2,3 \sqrt{1163243 \cdot 15,67 \cdot 24} + \frac{0}{4} = \underline{48,108 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk,E} = f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d = 15,67 \cdot 200 \cdot 24 = \underline{75,221 \text{ kN}}$$

$$F_{v,Rk} = \begin{Bmatrix} F_{v,Rk,C} \\ F_{v,Rk,D} \\ F_{v,Rk,E} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 39,088 \\ 48,108 \\ 75,221 \end{Bmatrix} = \underline{39,088 \text{ kN}}$$

Účinný počet spojovacích prostředků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{ef} = \min \left\{ \frac{n_{fir}}{n_{fir}^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}} \right\} = \min \left\{ \frac{2,0}{2^{0,9} \cdot \sqrt[4]{\frac{210}{13 \cdot 24}}} = 1,69 \right\} = 1,69$$

Charakteristická únosnost pro jeden stříh řady spojovacích prostředků:

$$F_{v,ef,Rk} = F_{v,Rk} \cdot n_{ef} = 39,088 \cdot 1,69 = 66,07 \text{ kN}$$

Charakteristická únosnost jednostřížného spoje:

$$F_{v,tot,Rk} = F_{v,ef,Rk} \cdot n_s \cdot n_r = 66,07 \cdot 1 \cdot 2 = 132,13 \text{ kN}$$

$$\gamma_M = 1,3 \quad \text{dílní součinitel únosnosti pro spoje}$$

$$F_{v,tot,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,tot,Rk}}{\gamma_M} = 0,7 \cdot \frac{132,13}{1,3} = \underline{71,15 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,tot,Rd}} = \frac{27,37}{71,15} = \underline{0,38} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**



Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černoch AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 4.3.7 Svar příčník – čelní deska

- koutový svar po obvodu příčníku

Vstupní údaje:

$$t_1 = 15 \text{ mm} \quad \text{tloušťka plechu}$$

$$t_2 = 5 \text{ mm} \quad \text{tloušťka stěny příčníku}$$

Návrh geometrie:

$$t_{\min} = \min\{t_1; t_2\} = \min\{15; 5\} = 5 \text{ mm}$$

$$t_{\max} = \max\{t_1; t_2\} = \max\{15; 5\} = 15 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 4 \text{ mm} \quad \text{pro } 11 \text{ mm} \leq t_{\max} < 20 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 5 = 5,5 \text{ mm}$$

$$a = 5 \text{ mm}$$

$$L_V = 2 \cdot (200 - 2 \cdot 7,5) = 370 \text{ mm}$$

$$W_y = 2,876 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Složky napětí ve svaru:

$$\sigma_M = \frac{M_y}{W_y} = \frac{84,28 \cdot 10^6}{2,876 \cdot 10^5} = 293,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{293,08}{\sqrt{2}} = 207,24 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{L_V \cdot a} = \frac{109,49}{370 \cdot 5} = 59,19 \text{ MPa}$$

Posouzení:

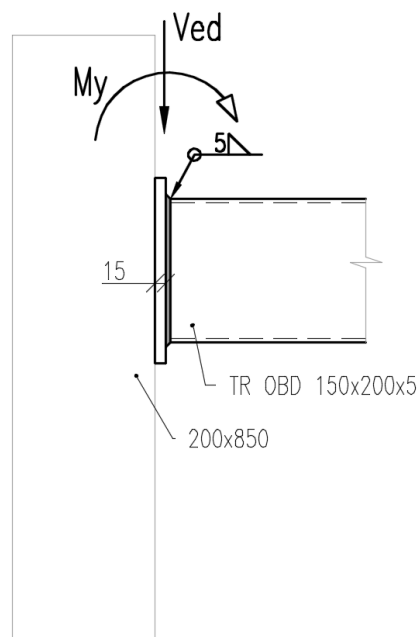
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{207,24^2 + 3 \cdot 207,45^2 + 3 \cdot 59,19^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$\underline{426,96 \text{ MPa}} \leq \underline{435,56 \text{ MPa}}$$

**VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} = \underline{207,24 \text{ MPa}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \underline{352,8 \text{ MPa}}$$

**VYHOVUJE**



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 4.4 Kotvení pylonu – Čep

### 4.4.1 Geometrie a charakteristika spoje

- Pylon je kotven pomocí čepu.

**Charakteristika čepu:**

- Čep průměru **80 mm** z oceli pevnosti **5.8**

$d = 80 \text{ mm}$	<i>průměr svorníku</i>
$A = 5027 \text{ mm}^2$	<i>průřezová plocha svorníku</i>
$W_{y,el} = 50265 \text{ mm}^3$	<i>elastický průřezový modul</i>
$f_{u,b} = 500 \text{ MPa}$	<i>mez pevnosti</i>
$f_{y,b} = 400 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

**Charakteristika plechu:**

- Deska z oceli **S355**

$d_0 = 82 \text{ mm}$	<i>průměr otvoru</i>
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	<i>mez kluzu</i>

- Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu:

$$\gamma_{M0} = 1,0 \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

### 4.4.2 Zatížení

$$N_{Ed} = 799,10 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20,18 \text{ kN}$$

- Rozhodující kombinace: **KZ 8**

$$(1,35 \text{ ZS1} + 1,35 \text{ ZS2} + 1,5 \text{ ZS3} + 0,9 \text{ ZS9})$$

*Výsledné namáhání:*

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{799,10^2 + 20,18^2} = \underline{799,35 \text{ kN}}$$

Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

### 4.4.3 Posouzení čepu

Požadavky na čepový spoj:

$$t \geq 0,7 \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \sqrt{\frac{799,35 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{355}} = 33 \text{ mm}$$

**t = 35 mm**

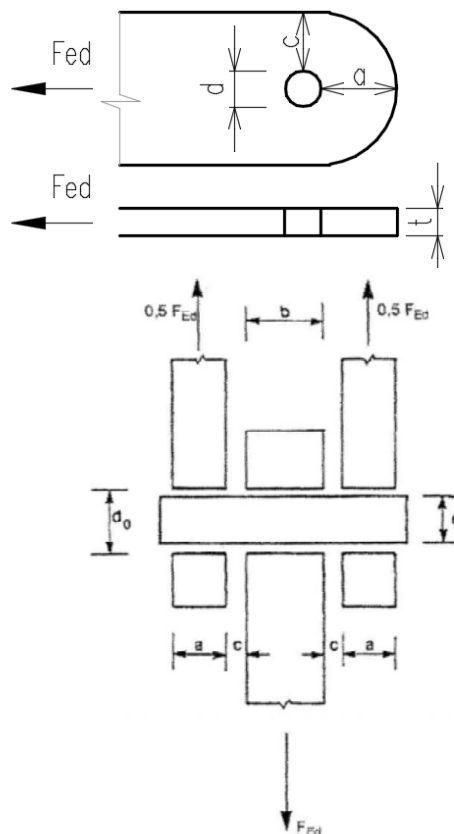
$$t_1 \geq \frac{t}{2} = \frac{35}{2} = 17,5 \text{ mm} \rightarrow \underline{t_1 = 20 \text{ mm}}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{2d_0}{3} = \frac{799,35 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 35 \cdot 355} + \frac{2 \cdot 82}{3} = 87 \text{ mm}$$

**a = 90 mm**

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{799,35 \cdot 10^3 \cdot 1,0}{2 \cdot 35 \cdot 355} + \frac{82}{3} = 60 \text{ mm}$$

**c = 60 mm**



#### 4.4.3.1 Posouzení čepu na střih

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{u,b}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 5027 \cdot 500}{1,25} \cdot 10^{-3} = \underline{1206,37 \text{ kN}}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{799,35}{1206,37} = \underline{0,66} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.4.3.2 Posouzení čepu na ohyb

c = 1 mm      mezeru mezi otvorem a průměrem čepu

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a) = \frac{799,35}{8} \cdot (35 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 20) = \underline{7,89 \text{ kNm}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{y,el} \cdot f_{y,b}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 50265 \cdot 540}{1,0} \cdot 10^{-6} = \underline{40,72 \text{ kNm}}$$

Posouzení:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{7,89}{40,72} = \underline{0,19} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

#### 4.4.3.3 Posouzení čepu na kombinaci střihu a ohybu

Posouzení:

$$\left[ \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right]^2 + \left[ \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right]^2 = \left[ \frac{7,89}{40,72} \right]^2 + \left[ \frac{799,35}{1206,37} \right]^2 = \underline{0,48} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

#### 4.4.3.4 Posouzení čepu a plechu na otláčení

$$F_{b,Ed} = 799,35 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 35 \cdot 80 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 1491,0 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{799,35}{1491,0} = \underline{\underline{0,54}} \leq 1,0$$

**VYHOVUJE**

### 4.5 Připojení táhla č. 1 na příčník v místě závěsu

- Konce táhel jsou opatřeny koncovkami s čepy, které jsou připojeny do styčnickových plechů navařených na čele příčníků v místě závěsu. Styčnickový plech je navržen podle tabulek dodaných výrobcem Macalloy.

#### 4.5.1 Zatížení

$$N_{Ed} = 260,13 \text{ kN} \quad \text{viz. 3.6.1.2}$$

#### 4.5.2 Návrh svaru

Tloušťka plechu pro připojení táhla:

$$t_p = 35 \text{ mm}$$

Svar navržen tupý, částečně provařený.

$$a_{\min} = 6 \text{ mm} \Rightarrow \text{pro } t_{\max} \geq 31 \text{ mm}$$

$$a = a_{\min} = \underline{\underline{6 \text{ mm}}}$$

$$L = \pi \cdot d_{\text{příčníku}} = \pi \cdot 219,1 = 688 \text{ mm}$$

Složky napětí ve svaru:

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{L \cdot a} = \frac{260,13 \cdot 10^3}{688 \cdot 6} = 62,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{62,99}{\sqrt{2}} = 44,54 \text{ MPa}$$

Posouzení:

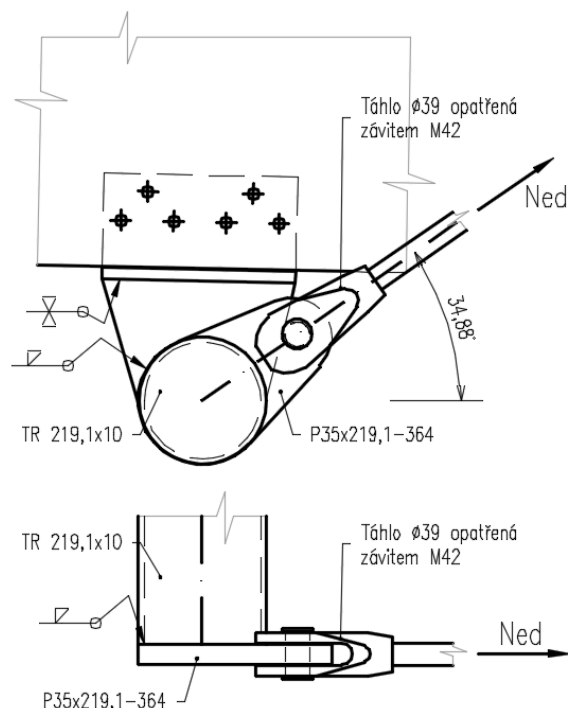
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{44,54^2 + 3 \cdot 44,54^2 + 3 \cdot 0^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$\underline{\underline{89,08 \text{ MPa}}} \leq \underline{\underline{435,56 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} = \underline{\underline{44,54 \text{ MPa}}} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = \underline{\underline{352,8 \text{ MPa}}}$$

**VYHOVUJE**



Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černocho	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

## 4.6 Připojení táhla č. 3 do základu

- Konce táhl jsou opatřeny koncovkami s čepy, které jsou připojeny do styčnickových plechů navařených kotevní desky. Styčnickový plech je navržen podle tabulek dodaných výrobcem Macalloy. Kotevní desky jsou zakotveny do základových bloků.

### 4.6.1 Zatížení

$$N_{Ed} = 720,81 \text{ kN} \quad \text{viz. 3.6.3.2}$$

### 4.6.2 Návrh svaru

Tloušťka přivařeného plechu pro táhlo:

$$t_p = 55 \text{ mm} > 40 \text{ mm} \rightarrow f_u = 470 \text{ MPa}$$

- Svar navržen tupý, částečně provařený.

$$a_{min} = 6 \text{ mm} \Rightarrow \text{pro } t_{max} \geq 31 \text{ mm}$$

$$a = a_{min} = 6 \text{ mm}$$

Délka svaru je rovna délce styčnickového plechu:

$$L = 445 \text{ mm}$$

Složky napětí ve svaru:

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{2L \cdot a} = \frac{720,81 \cdot 10^3}{2 \cdot 445 \cdot 6} = 135,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{135,10}{\sqrt{2}} = 95,53 \text{ MPa}$$

Posouzení:

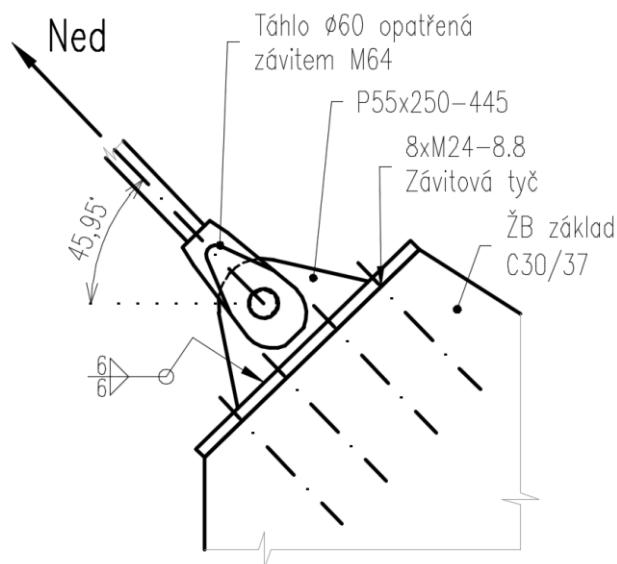
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{95,53^2 + 3 \cdot 95,53^2 + 3 \cdot 0^2} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$191,07 \text{ MPa} \leq 417,78 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**

$$\sigma_{\perp} = 95,53 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 470}{1,25} = 338,4 \text{ MPa}$$

**VYHOVUJE**



Diplomová práce ROK:2016/2017	Lávka pro pěší	Bc. Jakub Černocho AUTOR	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>	ROK	2016/2017

## 5. Dynamika

### 5.1 Buzení lávky chodci

- Pokud nedochází k významné odezvě lávky, chodci vyvolávají na lávce současně působící periodické síly:

- normálně se pohybující chodci:
  - ve svislém směru 1,0 - 5,0 Hz
  - ve vodorovném směru 0,5 - 2,5 Hz
- skupina běžících
  - ve svislém směru 1,9 - 3,3 Hz
  - ve vodorovném směru 1,0 - 1,7 Hz

### 5.2 kmitání lávky – vlastní frekvence

#### 5.2.1 Svislé kmitání

- Vlastní frekvence pro svislé kmitání byla získána pomocí programu Dlubal RFEM 5.01

Vl. tvar č.	Vlastní číslo	Kruhová frekvence	Vlastní frekvence	Vlastní perioda
	$\lambda$ [1/s <sup>2</sup> ]	$\omega$ [rad/s]	f [Hz]	T [s]
1	1024,821	30,013	5,095	0,196
2	2043,558	45,206	7,195	0,139
3	2083,359	45,644	7,264	0,138
4	4264,686	65,305	10,394	0,096
5	4718,465	68,691	10,933	0,091

Vlastní frekvence 1. vlastního čísla pro svislé kmitání je 5,10 Hz.

#### 5.2.2 Vodorovné kmitání

- Vlastní frekvence pro vodorovné kmitání byla získána pomocí programu Dlubal RFEM 5.01

Vl. tvar č.	Vlastní číslo	Kruhová frekvence	Vlastní frekvence	Vlastní perioda
	$\lambda$ [1/s <sup>2</sup> ]	$\omega$ [rad/s]	f [Hz]	T [s]
1	450,634	21,228	3,379	0,296
2	457,544	21,390	3,404	0,294
3	640,224	25,303	4,027	0,248
4	2764,265	52,576	8,368	0,120
5	6948,929	83,360	13,267	0,075

Vlastní frekvence 1. vlastního čísla pro vodorovné kmitání je 3,38 Hz.

#### 5.2.3 Posouzení na kmitání

Vlastní frekvence lávky, jak pro svislé kmitání, tak pro vodorovné jsou mimo intervaly stanovené normou.

Lávka je dostatečně tuhá a proto není nutné provést podrobnou dynamickou analýzu.

Diplomová práce	Lávka pro pěší		Bc. Jakub Černoch	
	<b>C - STATICKÝ VÝPOČET</b>		AUTOR	
ROK:2016/2017			ROK	2016/2017

### Seznam použité literatury:

#### Literatura:

- [1] ČSN EN 1991-1-1 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 44s.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení – Zatížení sněhem*. Praha: Český normalizační institut, 2005, 52 s.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení – Zatížení větrem*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 124 s.
- [4] ČSN EN 1993-1-1 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006, 96 s.
- [5] ČSN EN 1993-1-8 *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: Český normalizační institut, 2004, 128 s.
- [6] ČSN EN 1995-1-1 *Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2007, 114 s.
- [7] STRAKA, Bohumil a Karel SÝKORA. *Dřevěné konstrukce - Modul BO03-M03 - Spoje dřevěných konstrukcí*. Brno: 2006, 46 s.
- [8] KOŽELOUH, Bohumil. *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5. STEP 1: Navrhování a konstrukční materiály*. 1. vyd. Zlín: Bohumil Koželouh, 1998. 456 s.

#### Webové stránky:

- [9] TENSION SYSTEMS. *Systém konstrukčních táhel Macalloy*. [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: [http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni\\_12/macalloy-system-konstrukcnich-tahel\\_57.pdf](http://www.tension.cz/www/media/files/pdf-k-pripojeni_12/macalloy-system-konstrukcnich-tahel_57.pdf)