



# 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

## EXPERIMENTÁLNÍ DŮM PRO RODINNÉ BYDLENÍ

THE EXPERIMENTAL FAMILY HOUSE

### STATICKÝ VÝPOČET

STRUCTURAL DESIGN REPORT

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Barbora Švorcová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. MILAN ŠMAK, Ph.D.

BRNO 2021

# 1. Obsah

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. ZATÍŽENÍ.....</b>	<b>1</b>
2.1. VLASTNÍ TÍHA.....	1
2.2. OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ.....	1
2.3. ZATÍŽENÍ SNĚHEM .....	1
2.4. ZATÍŽENÍ VĚTREM .....	4
2.5. PŘEHLED ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ.....	7
2.6. KOMBINACE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ .....	7
<b>3. VARIANTA A – GEODETICKÁ KOPULE Z LLD.....</b>	<b>9</b>
3.1. POPIS KONSTRUKCE .....	9
3.2. GEOMETRIE .....	9
3.3. MATERIÁL.....	10
3.3.1. Pruty.....	10
3.3.2. Ostatní konstrukční prvky .....	11
3.4. POSOUZENÍ PRUTŮ NA MSÚ.....	12
3.5. POSOUZENÍ NA MSP.....	15
3.6. TYPICKÝ STYČNÍK – VZÁJEMNÉ SPOJENÍ PRUTŮ .....	16
3.6.1. Posouzení připojení prutu na ocelovou desku.....	16
3.6.2. Posouzení středního plechu .....	20
3.6.3. Posouzení koutových svarů .....	20
3.7. KOTVENÍ.....	22
3.7.1. Návrh a posouzení kotevního čepu .....	22
3.7.2. Posouzení plechu a čepu v otláčení.....	23
3.7.3. Posouzení koutových svarů .....	24
3.7.4. Posouzení svislých plechů.....	25
3.7.5. Posouzení kotevních šroubů.....	26
3.7.6. Návrh a posouzení patního plechu.....	26
<b>4. VARIANTA B - GEODETICKÁ KOPULE OCELOVÁ .....</b>	<b>29</b>
4.1. POPIS KONSTRUKCE .....	29
4.2. GEOMETRIE .....	29
4.3. MATERIÁL.....	30
4.3.1. Pruty.....	30
4.3.2. Ostatní konstrukční prvky .....	30
4.4. POSOUZENÍ PRUTŮ NA MSÚ.....	31
4.5. POSOUZENÍ NA MSP.....	33
4.6. TYPICKÝ STYČNÍK – VZÁJEMNÉ SPOJENÍ PRUTŮ .....	34

4.6.1.	Posouzení šroubového spoje .....	34
4.6.2.	Posouzení styčnickového plechu .....	35
4.6.3.	Posouzení koutových svarů .....	35
4.7.	KOTVENÍ.....	36
4.7.1.	Návrh a posouzení kotevního čepu .....	36
4.7.2.	Posouzení svislých plechů.....	38
4.7.3.	Posouzení kotevních šroubů.....	39
4.7.4.	Návrh a posouzení patního plechu .....	40
4.7.5.	Posouzení koutových svarů .....	41
<b>5.</b>	<b>VARIANTA C - ŽEBROVÁ KOPULE Z LLD .....</b>	<b>43</b>
5.1.	POPIS KONSTRUKCE .....	43
5.2.	GEOMETRIE .....	43
5.3.	MATERIÁL.....	44
5.3.1.	Pruty.....	44
5.3.2.	Ostatní konstrukční prvky .....	45
5.4.	POSOUZENÍ NA MSÚ .....	46
5.4.1.	Vaznice .....	46
5.4.2.	Žebro .....	48
5.5.	POSOUZENÍ NA MSP.....	51
5.6.	NÁVRH A POSOUZENÍ VYBRANÝCH SPOJŮ.....	52
5.6.1.	Připojení vaznice na žebro .....	52
5.6.2.	Posouzení plechu .....	55
5.6.3.	Posouzení koutových svarů .....	56
5.6.4.	Připojení čelních plechů k žeburu .....	56
5.6.5.	Svorníkový spoj v místě kotvení .....	57
5.6.6.	Posouzení koutových svarů .....	60
5.7.	KOTVENÍ.....	60
5.7.1.	Návrh a posouzení kotevního čepu .....	60
5.7.2.	Posouzení kotevních šroubů.....	63
5.7.3.	Návrh a posouzení patního plechu .....	64
5.7.4.	Posouzení koutových svarů .....	65

# 1. Úvod

Předmětem statického výpočtu je návrh a posouzení konstrukce atypického zastřešení rodinného domu ve tvaru samostatně stojící kopule. Konstrukce zastřešení má tvar polokoule o průměru 24 m a výšce 12 m. Byla navržena ve třech variantách.

Návrh nosné konstrukce zastřešení byl proveden v souladu s těmito platnými normativními dokumenty:

- ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užité zatížení pozemních staveb.
- ČSN EN 1991-1-3: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení – zatížení sněhem
- ČSN EN 1991-1-4: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení – zatížení větrem
- ČSN EN 1993-1-1: Eurokód 2: Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí – část 1-1: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

Pro výpočet vnitřních sil a posouzení konstrukce byl použit následující software:

- Dlubal RFEM
- MS Office 365 – MS Excel

## 2. Zatížení

### 2.1. Vlastní tíha

Vlastní tíha konstrukce byla vygenerována programem RFEM od firmy ING. SOFTWARE DLUBAL, s.r.o.

### 2.2. Ostatní stálé zatížení

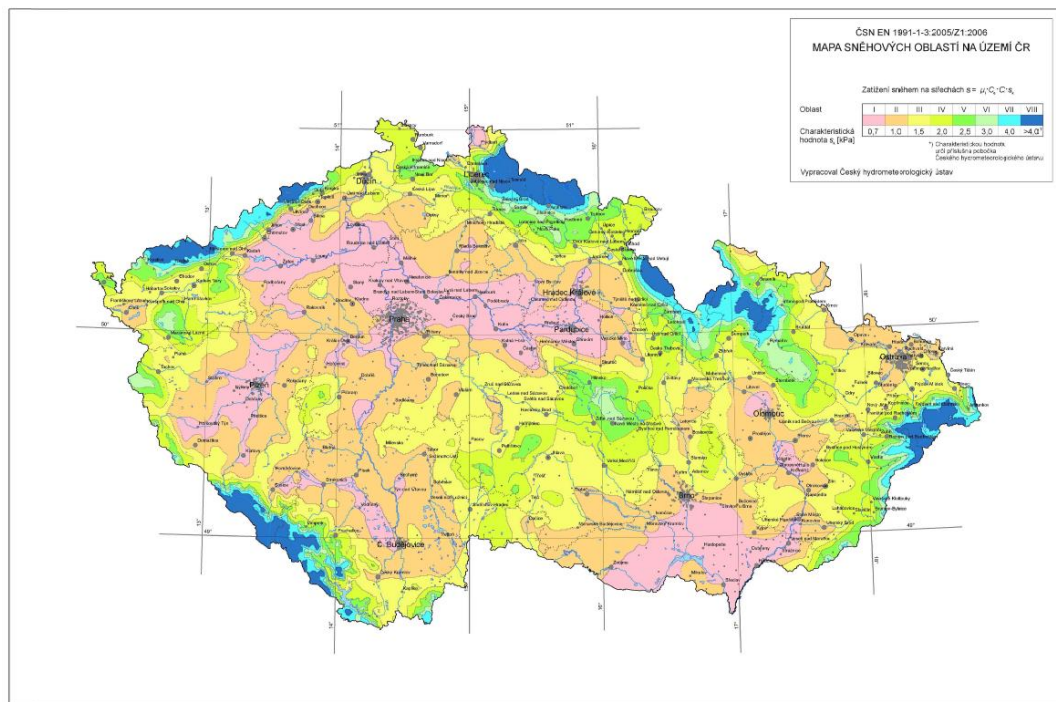
Ostatní stálé zatížení je reprezentováno tíhou střešního pláště. Navržen byl plášť z dutinového polykarbonátu.

$$g_{k1} = 0,027 \text{ kN.m}^{-2}$$

### 2.3. Zatížení sněhem

Zatížení sněhem bylo uvažováno dle ČSN EN 1991-1-3 pro III. sněhovou oblast.

lokalita: Husinec, Výrov



Obrázek NA.2 – Mapa sněhových oblastí České republiky

[2]

$s = s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i$       zatížení sněhem na střeše  
 $s_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$       charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi  
 $c_e = 1$       normální typ krajiny: plochy, kde nedochází na stavbách k výraznému přemístění sněhu větrem kvůli okolnímu terénu, jiným stavbám nebo stromům  
 $c_t = 1$       součinitel se má použít tam, kde je možné vzít v úvahu snížení zatížení sněhem na střeše, která má vysokou tepelnou prostupnost ( $> 1 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ), zejména u některých skleněných střeš, kde dochází k tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou

pro  $\beta \leq 60^\circ$   
 $\mu = 0,2$       tvarový součinitel zatížení sněhem

Rozměry konstrukce:

$h = 12 \text{ m}$

$b = 24 \text{ m}$

1) sníh plný

$$\mu_i = 0,8$$

$$s = s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_i$$

$$s = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ kN/m}^2$$

2) sníh navátý 1

řešen pro 4 kvadranty

$$\mu_3 = \mu + 10 \cdot \frac{h}{b}$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{12}{24} = 5,2 \quad \mu_3 \leq 2$$

$$\mu_3 = 2$$

$$s_{b1} = s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_3$$

$$s_{b1} = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{b2} = \frac{s_{b1}}{2}$$

$$s_{b2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{b3} = s_{b1} \cdot \frac{3}{4}$$

$$s_{b3} = 3 \cdot \frac{3}{4} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

3) sníh navátý 2

řešen pro 4 kvadranty

$$s_{b1} = s_k \cdot c_e \cdot c_t \cdot \mu_3$$

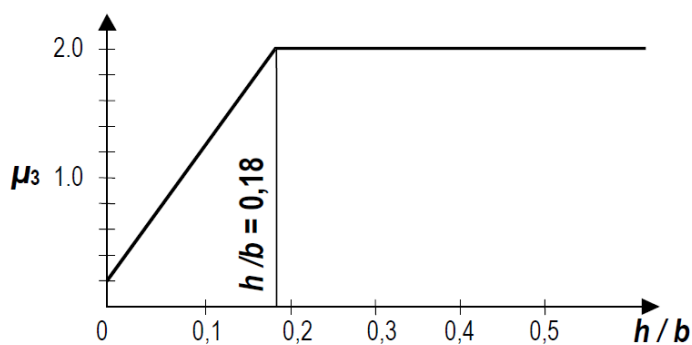
$$s_{b1} = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2 = 3 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{b2} = \frac{s_{b1}}{2}$$

$$s_{b2} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

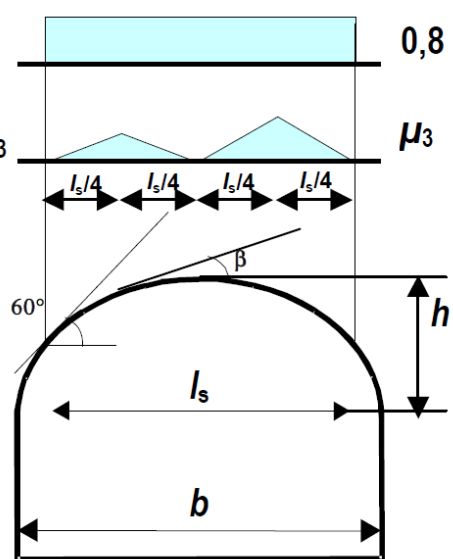
$$s_{b3} = s_{b1} \cdot \frac{3}{4}$$

$$s_{b3} = 3 \cdot \frac{3}{4} = 2,25 \text{ kN/m}^2$$

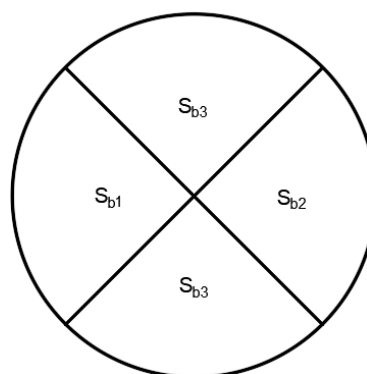


Případ (i)

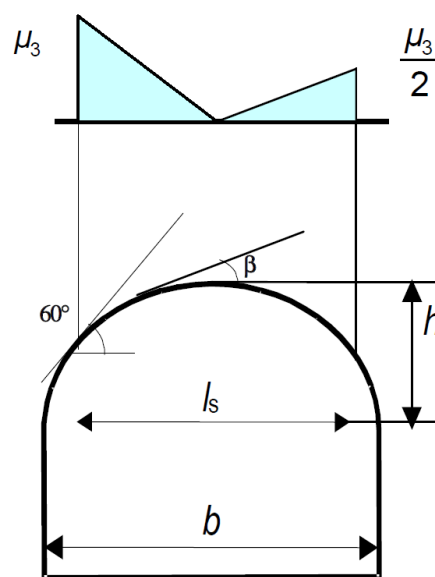
Případ (ii)  $0,5\mu_3$



[2]



půdorys



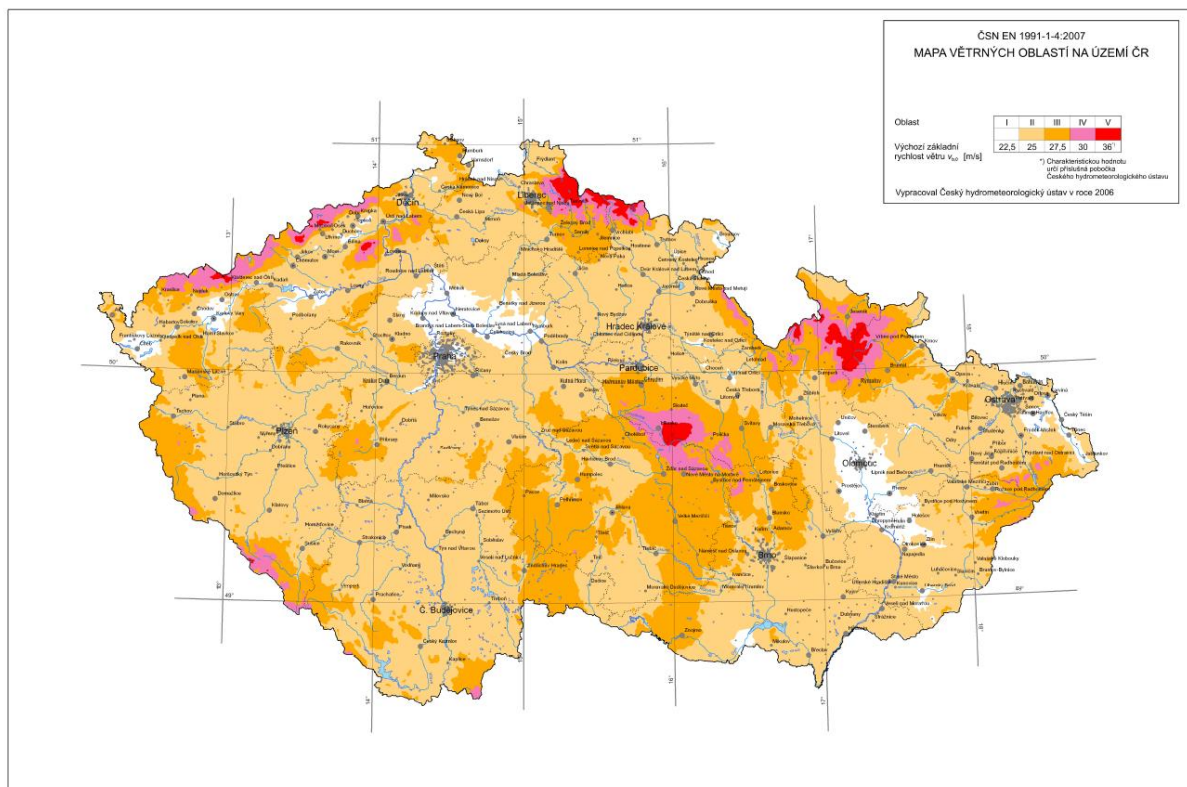
[2]

[2]

## 2.4. Zatížení větrem

Zatížení sněhem bylo uvažováno dle ČSN EN 1991-1-4 pro II. větrovou oblast a II. kategorii terénu.

Lokalita: Husinec, Výrov



[2]

větrová oblast – II. Kategorie

$$V_{b0} = 25 \text{ m/s}$$

kategorie terénu – II. Kategorie

$$z_0 = 0,05 \text{ m}$$
$$z_{\min} = 2 \text{ m}$$

základní rychlost větru

$$V_b = V_{b0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season}$$

$$V_b = 25 \cdot 1 \cdot 1 = 25 \text{ m/s}$$

$c_{dir} = 1$  součinitel směru větru

$C_{\text{season}} = 1$  součinitel ročního období

střední rychlost větru

$$V_m = c_r \cdot c_0 \cdot V_b$$

$$V_m = 1,041 \cdot 1 \cdot 25 = 26,033 \text{ m/s}$$

$$z = 12 \text{ m}$$

$$z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

$$5 \leq 12 \leq 200$$

VYHOVUJE

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{0,05}\right)^{0,07} \quad \text{součinitel terénu}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19$$

$$c_r = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{součinitel drsnosti}$$

$$c_r = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,05}\right) = 1,041$$

$$c_0 = 1$$

součinitel ortografie

maximální dynamický tlak

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot V_b^2$$

$$q_b = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 25^2 = 390,625 \text{ N/m}^2$$

$$\rho = 1,25$$

intenzita turbulence větru

$$I_v = \frac{k_l}{c_0 \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

$$I_v = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,05}\right)} = 0,182$$

$$k_l = 1$$

součinitel turbulence

Základní tlak větru

$$q_p = c_e \cdot q_b$$

$$q_p = 2,469 \cdot 390,625 \cdot \frac{1}{1000} = 0,965 \text{ kN/m}^2$$

$$c_e = (1 + 7 \cdot I_v) \cdot c_r^2 \cdot c_0^2$$

součinitel expozice

$$c_e = (1 + 7 \cdot 0,182) \cdot 1,041^2 \cdot 1^2 = 2,469$$

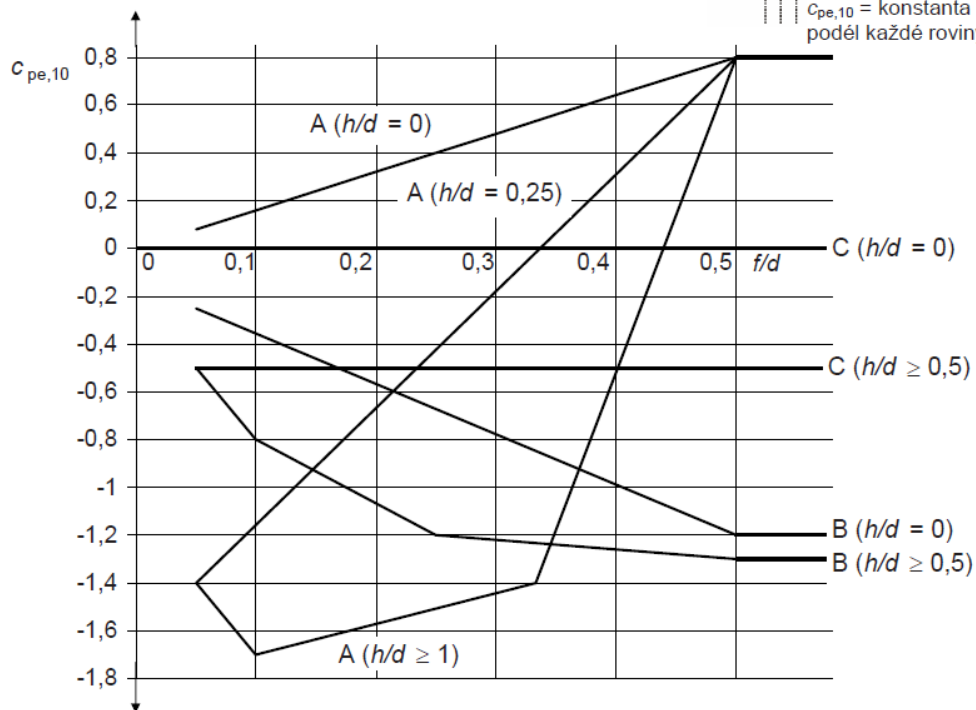
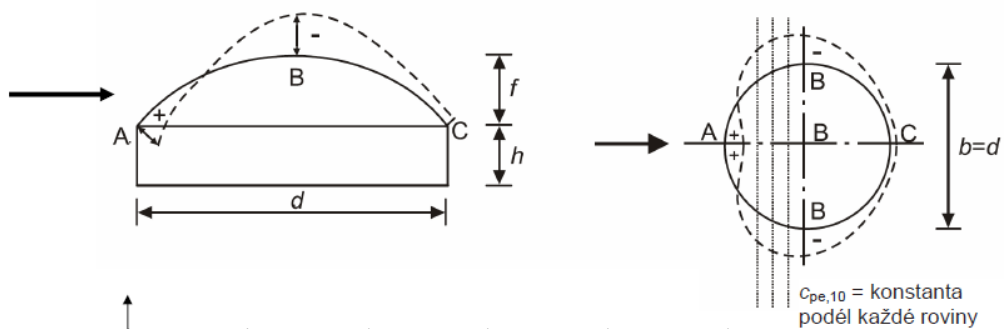
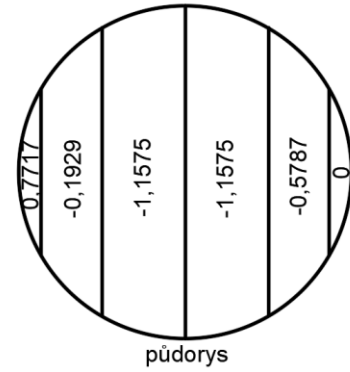
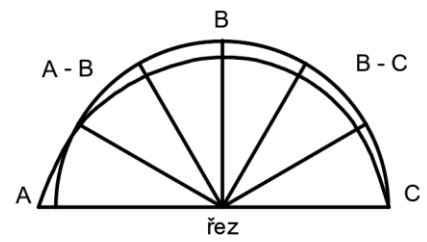
Tlak větru na vnější plochy

$$w_e = q_p \cdot c_{pe}$$

$$\frac{f}{d} = 0,5 \quad \frac{h}{d} = 0$$



	$q_p$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{pe}$	$W_e$ [kN/m <sup>2</sup> ]
A	0,964573	0,8	0,771659
A-B	0,964573	-0,2	-0,19291
B	0,964573	-1,2	-1,15749
B-C	0,964573	-0,6	-0,57874
C	0,964573	0	0



[2]

Hodnoty v bodech A, B, C byly odečteny z grafu. Hodnoty v mezilehlých intervalech byly dopočítány lineární interpolací.

Tlak větru na vnitřní plochy

$$w_i = q_p \cdot c_{pi}$$

$$c_{pi1} = 0,2$$

$$c_{pi2} = -0,3$$

$$w_i = q_p \cdot c_{pi1}$$

$$w_i = 0,965 \cdot 0,2 = 0,193 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i = q_p \cdot c_{pi2}$$

$$w_i = 0,965 \cdot (-0,3) = -0,289 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet je proveden na možnost otevření až 1/3 povrchu kopule.

## 2.5. Přehled zatěžovacích stavů

Označení	Název	Druh zatížení
ZS1	Vlastní tíha a ostatní stálé	Stálé
ZS2	Sníh plný	Proměnné
ZS3	Sníh navátý 1	Proměnné
ZS4	Sníh navátý 2	Proměnné
ZS5	Vítr	Proměnné

## 2.6. Kombinace zatěžovacích stavů

Kombinace zatížení byly vytvořeny programem RFEM od firmy ING. SOFTWARE DLUBAL, s.r.o.

- pro MSÚ na základě rovnice 6. 10 dle ČSN EN 1990

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{G,i} G_{k,i} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [1]$$

- Charakteristická kombinace zatížení pro MSP na základě rovnice 6.14 dle ČSN EN 1990

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad [1]$$

Kombinační součinitelé:

Sníh:  $\psi_0 = 0,5$

Vítr:  $\psi_0 = 0,6$

Dílčí součinitelé zatížení:

Stálé:  $\gamma_G = 1,35$

Sníh:  $\gamma_Q = 1,50$

Vítr:  $\gamma_Q = 1,50$

$\gamma_Q = 1,50$

STR KZ1	$1.35 \cdot ZS1$
STR KZ2	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS2$
STR KZ3	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS3$
STR KZ4	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS4$
STR KZ5	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ6	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ7	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ8	$1.35 \cdot ZS1 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ9	$1.35 \cdot ZS1 + 0.75 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ10	$1.35 \cdot ZS1 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ11	$1.35 \cdot ZS1 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ12	$ZS1$
STR KZ13	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS2$
STR KZ14	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS3$
STR KZ15	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS4$
STR KZ16	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS2 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ17	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS3 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ18	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS4 + 0.9 \cdot ZS8$
STR KZ19	$ZS1 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ20	$ZS1 + 0.75 \cdot ZS2 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ21	$ZS1 + 0.75 \cdot ZS3 + 1.5 \cdot ZS8$
STR KZ22	$ZS1 + 0.75 \cdot ZS4 + 1.5 \cdot ZS8$
S Ch KZ23	$ZS1$
S Ch KZ24	$ZS1 + ZS2$
S Ch KZ25	$ZS1 + ZS3$
S Ch KZ26	$ZS1 + ZS4$
S Ch KZ27	$ZS1 + ZS2 + 0.6 \cdot ZS8$
S Ch KZ28	$ZS1 + ZS3 + 0.6 \cdot ZS8$
S Ch KZ29	$ZS1 + ZS4 + 0.6 \cdot ZS8$
S Ch KZ30	$ZS1 + ZS8$
S Ch KZ31	$ZS1 + 0.5 \cdot ZS2 + ZS8$
S Ch KZ32	$ZS1 + 0.5 \cdot ZS3 + ZS8$
S Ch KZ33	$ZS1 + 0.5 \cdot ZS4 + ZS8$

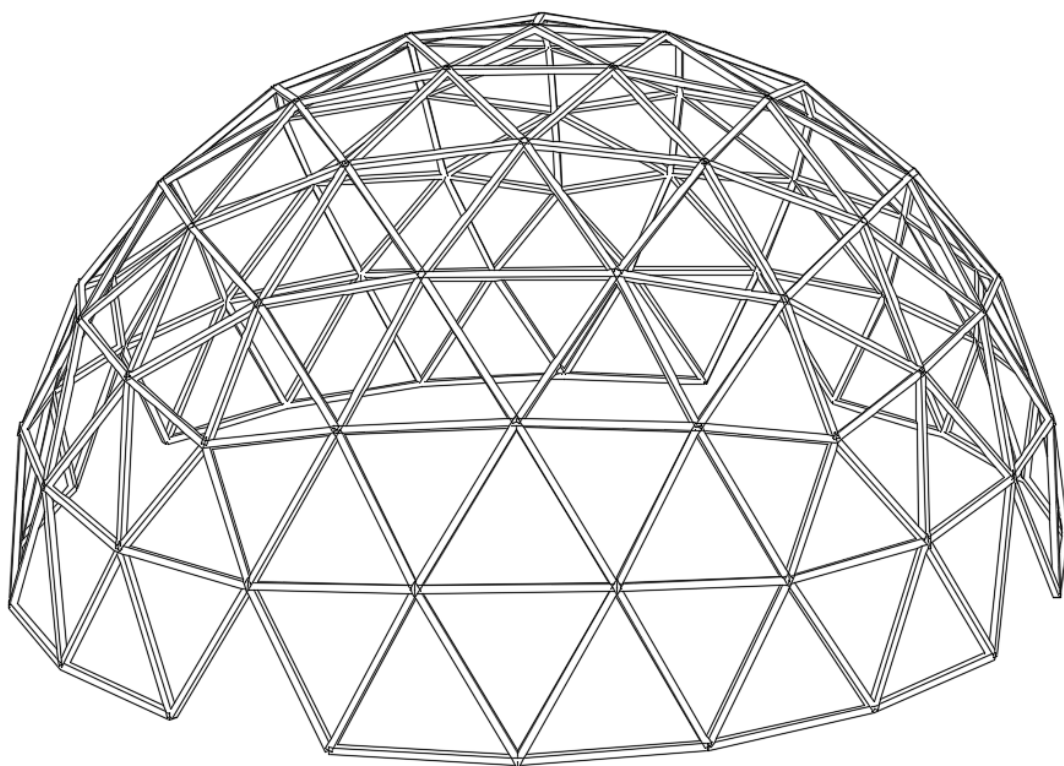
### 3. Varianta A – Geodetická kopule z LLD

#### 3.1. Popis konstrukce

Nosná konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva GL24h. Z hlediska statického systému je řešena jako geodetická kopule. Střešní plášť je navržen z dutinových polykarbonátových desek ve vlastním nosném rámu, který je osazen na konstrukci kopule prostřednictvím podpůrných prvků v místech styčníků. Je umožněn posuv segmentů opláštění, který dovoluje otevřít nejvýše 1/3 plochy opláštění. Kopule je kloubově uložena s použitím čepového spoje z konstrukční oceli S 235. Spoje jsou modelovány jako kloubové. Dimenze základních nosných prvků z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h je jednotná 120 x 200 mm.

#### 3.2. Geometrie

Geometrie geodetické kopule je odvozena z dvacetistěnu. Konstrukce má tvar polokoule a byla modelována jako geodetická sféra o průměru 24 m. Její výška je 12 m. Je tvořena 246 prutů šesti různých délek, pohybujících se od 3,038 do 3,899 m.



### 3.3. Materiál

#### 3.3.1. Pruty

Lepené lamelové dřevo pevnostní třídy GL24h

Charakteristika	Značka	Hodnota
Pevnost v ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{m,g,k}$	24
Pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{t,0,g,k}$	19,2
	$f_{t,90,g,k}$	0,5
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0,g,k}$	24
	$f_{c,90,g,k}$	2,5
Pevnost ve smyku [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{v,g,k}$	3,5
Modul pružnosti [kN/mm <sup>2</sup> ]	$E_{0,g,mean}$	11,5
	$E_{0,g,05}$	9,6
	$E_{90,g,mean}$	0,30
Modul pružnosti ve smyku [kN/mm <sup>2</sup> ]	$G_{r,g,mean}$	0,65
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_k$	385
	$\rho_{mean}$	420

třída provozu: 3 - klimatické podmínky vedoucí k vyšší vlhkosti než ve třídě provozu 2

modifikační součinitel	$k_{mod}$	0,50 - 0,65 - 0,70*
součinitel dotvarování	$k_{def}$	2,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_M$	1,35

\* dle třídy trvání zatížení

Návrhové hodnoty pro střednědobé zatížení

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{19,2}{1,25} = 9,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{3,5}{1,25} = 1,82 \text{ MPa}$$

### 3.3.2. Ostatní konstrukční prvky

Ocel S 235

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_y$	235
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_u$	360
Modul pružnosti [GPa]	$E$	210

Ocel 8.8

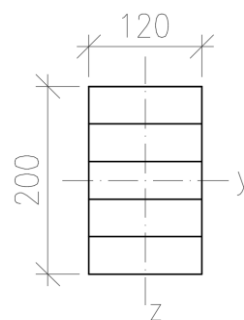
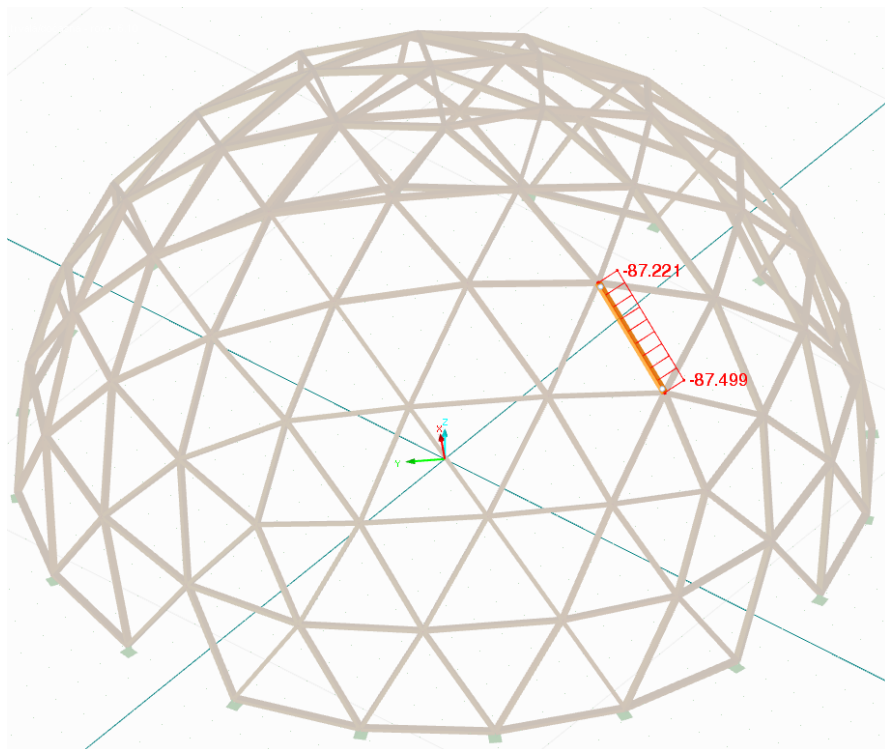
Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_{yb}$	640
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_{ub}$	800

Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu

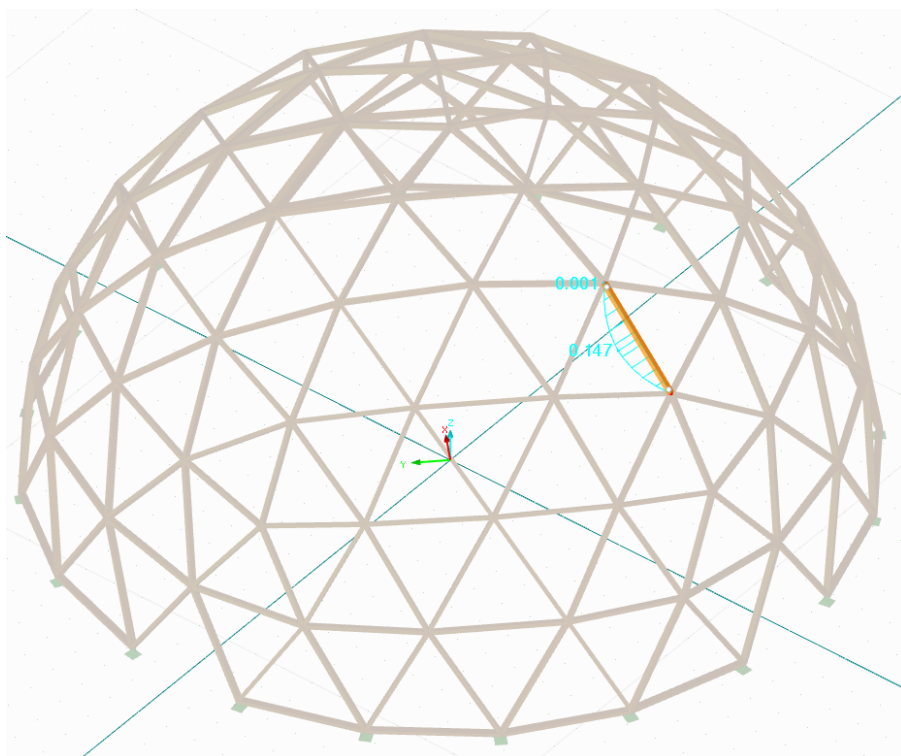
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M0}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M1}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M2}$	1,25

### 3.4. Posouzení prutů na MSÚ

Prut č. 36 - nejnepříznivější MSÚ



Normálová síla – prut č. 36



Ohybový moment  $M_y$  – prut č. 36

### Průřezové charakteristiky

Charakteristika	Značka	Hodnota	Jednotky
Šířka	b	120,000	mm
Výška	h	200,000	mm
Plocha průřezu	A	24000,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	80000000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>z</sub>	28800000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	57,700	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	34,600	mm
Hmotnost průřezu	G	8,900	kg/m
Plocha pláště	A <sub>plášť</sub>	0,640	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	72120000,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,max</sub>	800000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,min</sub>	-800000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z,max</sub>	480000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z,min</sub>	-480000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	600000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>z,max</sub>	360000,000	mm <sup>3</sup>

### Materiál

LLD pevnostní třídy GL24h (charakteristiky viz výše)

### Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení na MSÚ

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
- 87,499	0	0,164	0	0,147	0



### Posouzení na vzpěrný tlak

$$L_{cr} = L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,583 \text{ m}$$

Štíhlost:

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i_y} = \frac{3583}{57,7} = 62,10$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr}}{i_z} = \frac{3583}{34,6} = 103,6$$

Poměrná štíhlost:

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{62,10}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,99$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{103,6}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,65$$

$$\beta_c = 0,1$$

$$k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5[1 + 0,1(1,0 - 0,3) + 1,00^2] = 1,02$$

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,1(1,65 - 0,3) + 1,65^2] = 1,93$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$k_{cy} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,02 + \sqrt{1,02^2 - 1,00^2}} = 0,78$$

$$k_{cz} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{1,93 + \sqrt{1,93^2 - 1,65^2}} = 0,34$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,65}{0,78 \cdot 12,48} = 0,38 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{3,65}{0,34 \cdot 12,48} = 0,85 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na kombinaci tlaku a ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_y}{W_y} = \frac{147}{8 \cdot 10^{-4}} = 0,184 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \left(\frac{3,65}{12,48}\right)^2 + \frac{0,184}{12,48} = 0,10 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na kombinaci vzpěrného tlaku a ohybu

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{3,65}{0,78 \cdot 12,48} + \frac{0,184}{12,48} = 0,39 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{3,65}{0,34 \cdot 12,48} + 0,7 \cdot \frac{0,184}{12,48} = 0,86 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na klopení

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{mk}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,46$$

$$I_z = 2,88 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_{tor} = 7,212 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$G_{05} = 540 \text{ MPa}$$

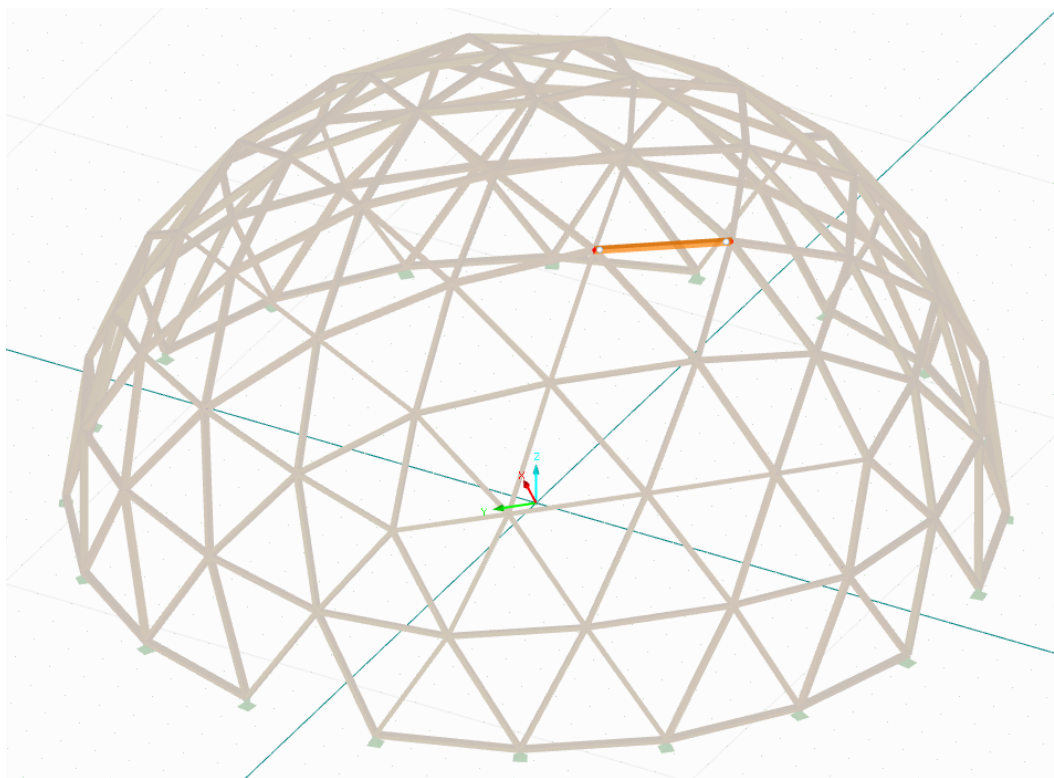
$$\sigma_{m,crit} = \frac{\pi \cdot \sqrt{e_{0,05} \cdot I_z \cdot G_{0,05} \cdot I_{tor}}}{l_{ef} \cdot W_y} = 113,7 \text{ MPa}$$

$$k_{crit} = 1 \text{ pro } \lambda_{rel,m} \leq 0.75$$

prut není nutné posuzovat na klopení

### 3.5. Posouzení na MSP

Prut č. 114



Poloha prutu č. 114

**Okamžitý průhyb od stálého a proměnného zatížení**

$$u_{inst} \leq \frac{L}{500} = \frac{24000}{500} = 48 \text{ mm}$$

$$u_{inst,G} = 0,6 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q1,snih} = 5,0 \text{ mm (pro sníh navátý 1)}$$

$$u_{inst,Q2,vitr} = 1,7 \text{ mm}$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q1} + u_{inst,Q2} = 0,6 + 5,0 + 1,7 = 7,3 \text{ mm} \leq 48 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Konečný průhyb od stálého a proměnného zatížení**

$$u_{fin} \leq \frac{L}{300} = \frac{24000}{300} = 80 \text{ mm}$$

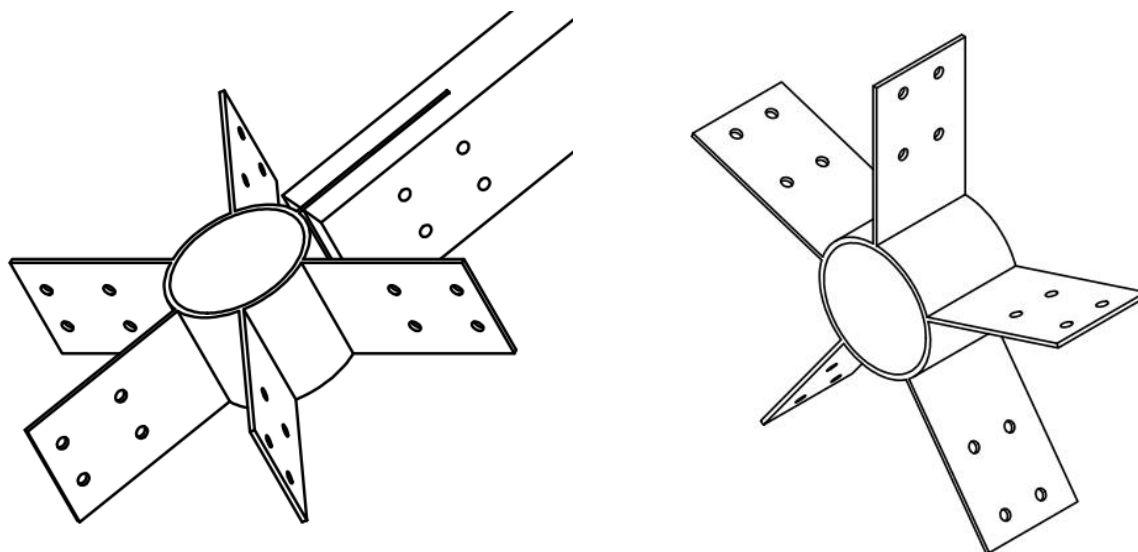
$$u_{fin,G} = u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) = 0,6 \cdot (1 + 2) = 1,8 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q1,snih} = u_{inst,Q1,snih} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 5,0 \cdot (1 + 0 \cdot 2) = 5,0 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q2,vitr} = u_{inst,Q2,vitr} \cdot (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 1,7 \cdot (0,6 + 0 \cdot 2) = 1,02 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1} + u_{fin,Q2} = 1,8 + 5,0 + 1,02 = 7,82 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 3.6. Typický styčník – vzájemné spojení prutů



#### 3.6.1. Posouzení připojení prutu na ocelovou desku

Dle ČSN EN 1995-1-1

Spoj ocel-dřevo, ocelová deska jako střední prvek dvojstřížného spoje

$N_{Ed} = 87,499 \text{ kN}$

$f_u = 800 \text{ MPa}$

$t_1 = 56 \text{ mm}$

tloušťka krajního dřevěného prvku

$d = 20 \text{ mm}$

průměr spojovacího kolíku

$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$

charakteristická hustota dřeva

charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{hk} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{hk} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 385 = 25,26 \text{ MPa}$$

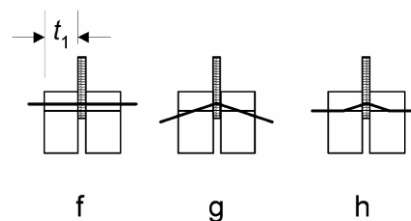
charakteristický plastický moment únosnosti v otláčení:

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$$

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 5,793 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

únosnost jednoho svorníku na jeden stříh:

$$F_{vRk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left( \sqrt{2 + \frac{4M_{yRk}}{f_{h,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{yRk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



[4]

$$F_{vRk} = \begin{cases} 25,26 \cdot 56 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1000} \\ 25,26 \cdot 56 \cdot 20 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 5,793 \cdot 10^5}{25,26 \cdot 56^2 \cdot 20}} - 1 \right) \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000} \\ 2,3 \cdot \sqrt{5793,10 \cdot 10^5 \cdot 25,26 \cdot 20} \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000} \end{cases}$$

$$F_{vRk} = \begin{cases} 28,29 \text{ kN} \\ 30,44 \text{ kN} \\ 49,18 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{vRk} = 28,29 \text{ kN}$$

*Návrh 4 svorníky M20, ocel pevnostní třídy 8.8*

$\alpha = 0$  úhel zatížení vzhledem k vláknům

$n = 4$  počet svorníků

$k_{\text{mod}} = 0,65$

$\gamma_m = 1,25$

**Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky**

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d$$

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

$$a_2 = 4 \cdot d$$

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

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot d; 80)$$

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot 20; 80) = 140 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin \alpha, 3 d)$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin 0,3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

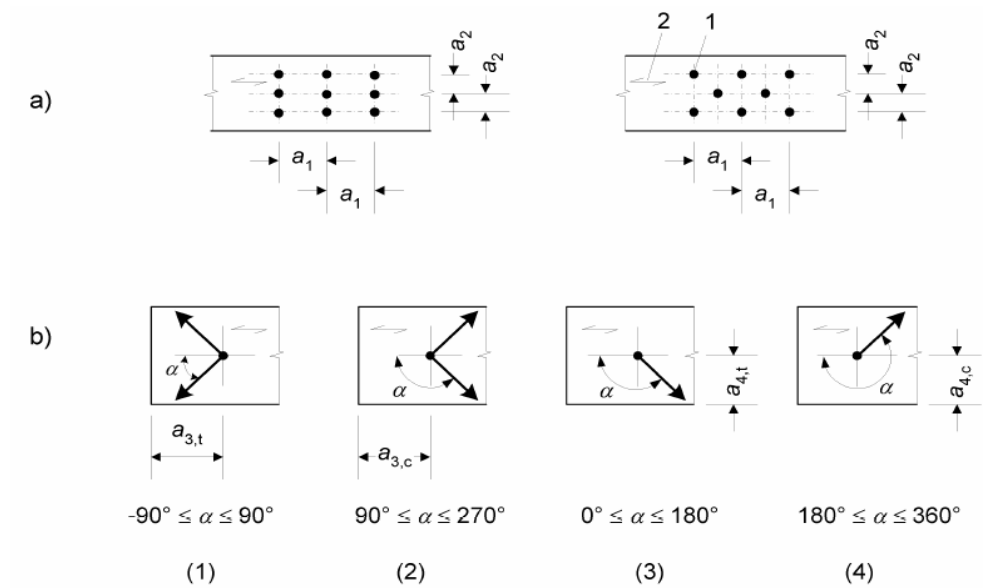
**návrh**

$$a_1 = 120 \text{ mm}$$

$$a_2 = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3t} = 140 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = 60 \text{ mm}$$



#### Legenda

- (1) Zatížený konec
- (2) Nezatížený konec
- (3) Zatížený okraj
- (4) Nezatížený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

[4]

efektivní počet svorníků v řadě:

$$n_{ef} = 2^{0,9} \cdot \left( \frac{a_1}{13d} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$n_{ef} = 2^{0,9} \cdot \left( \frac{120}{13 \cdot 20} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,538$$

návrhová únosnost jednoho svorníku:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,65 \cdot 28,29}{1,25} \cdot 2 = 29,42 \text{ kN} \quad (\text{dva střihy})$$

$$F_{Rd} = \frac{n}{2} \cdot n_{ef} \cdot F_{v,Rd}$$

$$F_{Rd} = \frac{4}{2} \cdot 1,538 \cdot 29,42 = 90,50 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \frac{87,499}{90,50} = 0,97 \leq 1$$

VYHOVUJE

## Porušení blokovým smykem

$$f_{vgk} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t0gk} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$l_{t1} = 60 \text{ mm}$$

$$l_{v1} = 130 \text{ mm}$$

$$l_{v2} = 100 \text{ mm}$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{yRk}}{f_{hk} \cdot d}} \\ 0,4 \cdot t_1 \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \sqrt{\frac{5793,10 \cdot 10^5}{25,26 \cdot 20}} \\ 0,4 \cdot 56 \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 47,41 \\ 22,4 \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = 22,4 \text{ mm}$$

$$A_{net,t} = l_{t1} \cdot t_1 = 3,36 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$l_{net,v} = 2 \cdot \left( l_{v1} + \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \cdot l_{v2} \right)$$

$$l_{net,v} = 2 \cdot \left( 130 + \left( \frac{4}{2} - 1 \right) \cdot 100 \right) = 460 \text{ mm}$$

$$A_{net,v} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_{net,v}}{2} \cdot (l_{t1} + 2 \cdot t_{ef}) \\ l_{net,v} \cdot t_1 \end{array} \right.$$

$$A_{net,v} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{460}{2} \cdot (60 + 2 \cdot 22,4) = 2,41 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \\ 460 \cdot 56 \end{array} \right.$$

$$A_{net,v} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2,41 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \\ 2,58 \cdot 10^4 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$$

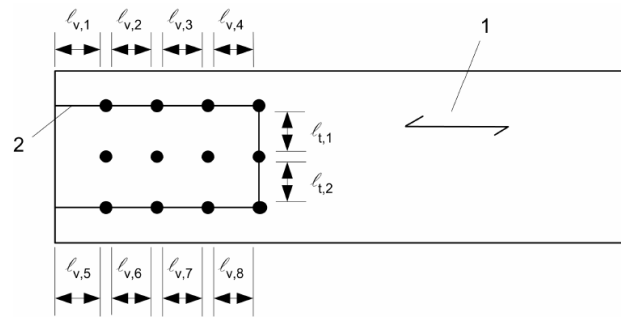
$$A_{net,v} = 2,41 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} A_{net,t} \cdot f_{t0gk} \cdot 1,5 \\ 0,7 \cdot A_{net,v} \cdot f_{vgk} \end{array} \right.$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 3,36 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{1000} \\ 0,7 \cdot 2,41 \cdot 10^4 \cdot 3,5 \cdot \frac{1}{1000} \end{array} \right.$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 96,768 \\ 59,055 \end{array} \right.$$

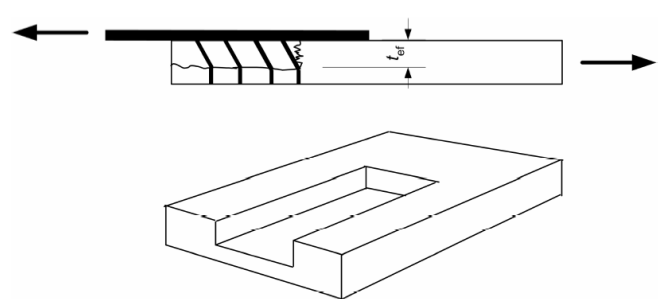
$$F_{bs,Rk} = 96,768 \text{ kN}$$



Legenda

- 1 Směr vláken
- 2 Čára lomu

[4]



[4]

$$F_{bs,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot f_{bsRk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{bs,Rd} = \frac{0,65 \cdot 96,768}{1,25} \cdot 2 = 100,639 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{F_{bs,Rd}} \leq 1 \quad \frac{87,499}{100,639} = 0,87 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 3.6.2. Posouzení středního plechu

$$N_{Ed}^- = 87,499 \text{ kN}$$

návrhová tlaková normálová síla

$$N_{Ed}^+ = 73,369 \text{ kN}$$

návrhová tahová normálová síla

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

šířka plechu

$$t = 8 \text{ mm}$$

tloušťka plechu

$$d = 20 \text{ mm}$$

průměr otvoru

$$A = b \cdot t = 200 \cdot 8 = 1600 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = (200 - 2 \cdot d) \cdot 8 = (200 - 2 \cdot 20) \cdot 8 = 1280 \text{ mm}^2$$

oslabená plocha průřezu

#### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1280 \cdot 360}{1,25} = 331,8 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{73,369}{331,8} = 0,22$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1600 \cdot 235}{1,25} = 376,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{87,499}{376} = 0,23$$

VYHOVUJE

### 3.6.3. Posouzení koutových svarů

#### Připojení plechu ke styčnickové trubce

$$N_{Ed} = 87,499 \text{ kN}$$

účinná tloušťka a délka svaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 200 - 2a = 200 - 2 \cdot 4 = 192 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 192 \cdot 3 = 11536 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\beta_w = 0,8$$

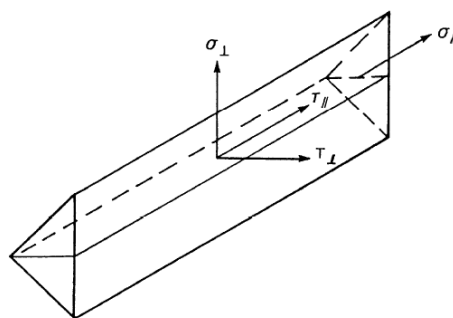
$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{87\,499}{11536} = 56,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{56,97}{\sqrt{2}} = 40,28 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

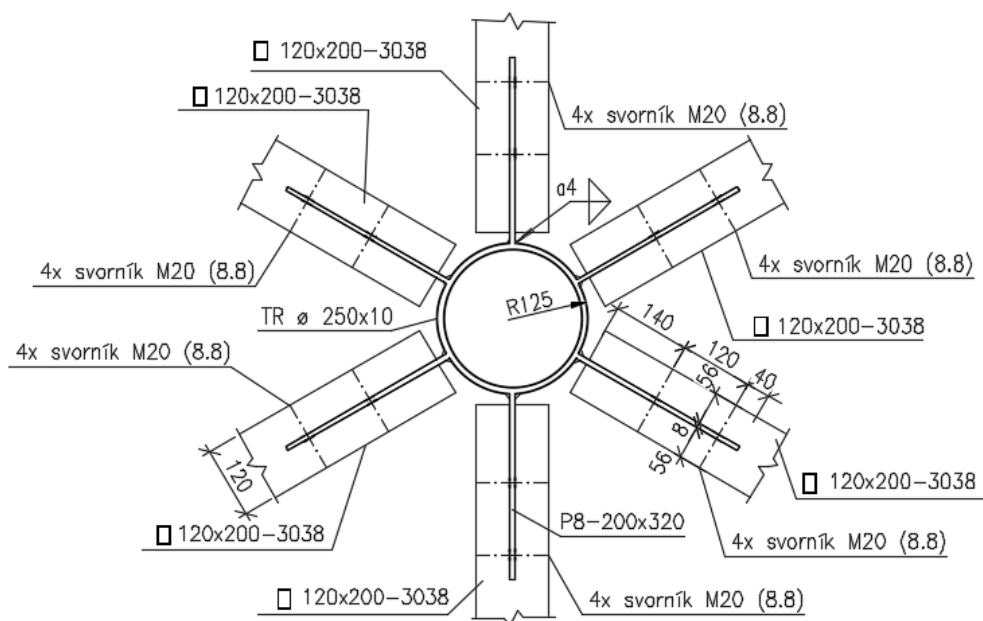
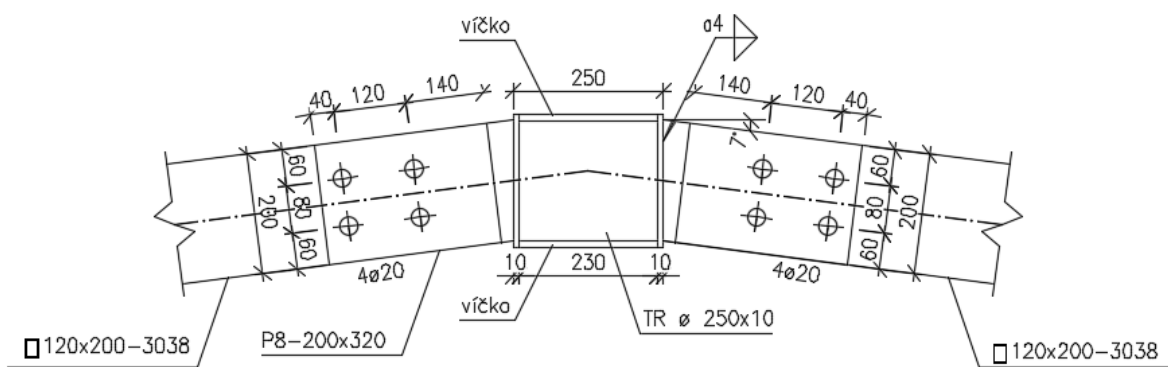
$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{40,28^2 + 3 \cdot 40,28^2 + 3 \cdot 0^2} = 80,56 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

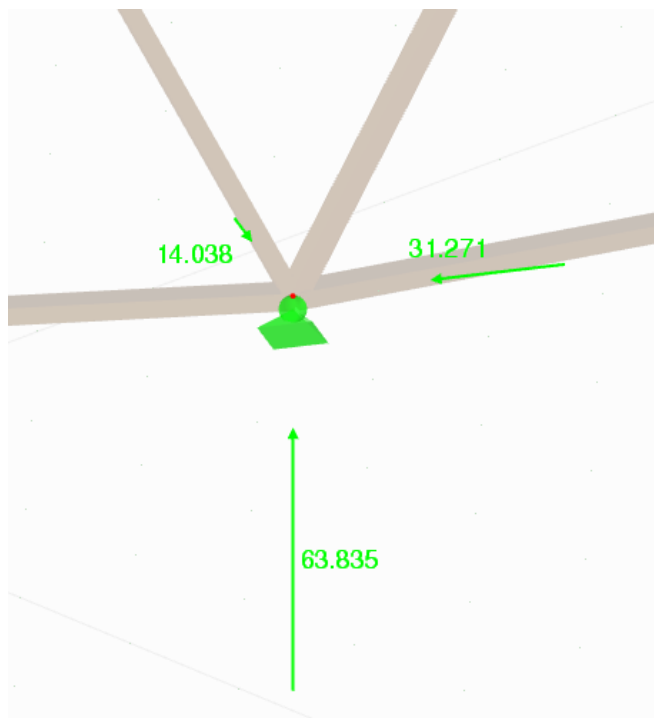
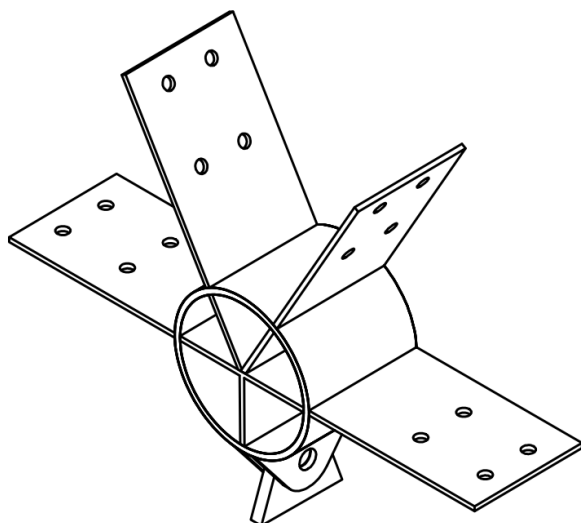


[3]





### 3.7. Kotvení



#### 3.7.1. Návrh a posouzení kotevního čepu

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

Reakce:

$$R_z = 63,835 \text{ kN}$$

$$R_x = 14,04 \text{ kN}$$

$$R_y = 31,27 \text{ kN}$$

Výsledná síla působící na čepový spoj

$$F_{Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2}$$

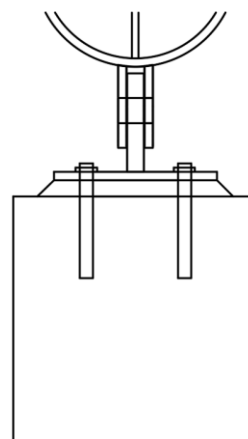
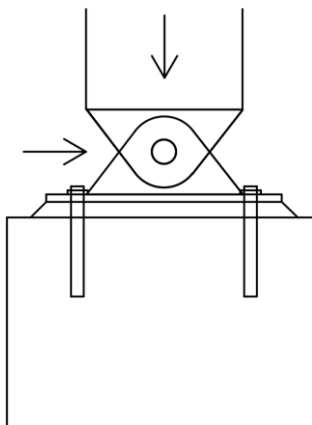
$$F_{Ed} = \sqrt{14,04^2 + 63,835^2} = 65,36 \text{ kN}$$

#### Geometrie

Návrh tloušťky plechu:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot 1000 \cdot \gamma_{m2}}{f_{yk}}}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{65,36 \cdot 1000 \cdot 1,25}{235}} = 18,646 \text{ mm}$$



$$t = 20 \text{ mm} \quad 20 > 18,646$$

VYHOVUJE

$$2,5t = 50 \text{ mm}$$

Návrh velikosti čepu:

$$d_b = 30 \text{ mm} \quad d_b < 2,5t \quad 30 < 50$$

VYHOVUJE

$$d_0 = d_b + 1$$

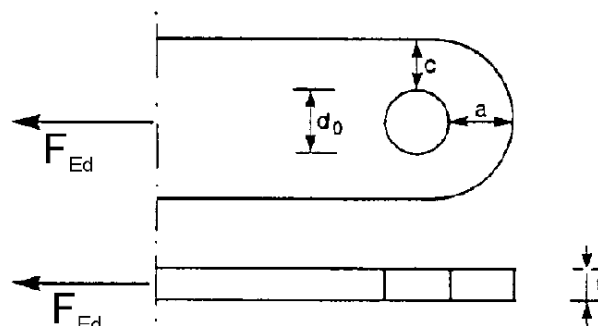
$$d_0 = 30 + 1 = 31 \text{ mm}$$

$$a_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yk}} + 2 \cdot \frac{d_0}{3}$$

$$a_{min} = \frac{65,36 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + 2 \cdot \frac{31}{3} = 27,62 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2t \cdot f_{yk}} + \frac{d_0}{3}$$

$$c_{min} = \frac{65,36 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{31}{3} = 17,29 \text{ mm}$$



[3]

Návrh rozměrů a, c:

$$a = 30 \text{ mm} \quad a > a_{min} \quad 30 > 27,62$$

VYHOVUJE

$$c = 42 \text{ mm} \quad c > c_{min} \quad 42 > 17,29$$

VYHOVUJE

Posouzení na střih

$$A = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 706,858 \text{ mm}^2$$

$$F_{vRd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{vRd} = \frac{0,6 \cdot 706,858 \cdot 360}{1,25} \cdot \frac{1}{1000} = 122,145 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} = \frac{65,36}{122,15} = 0,535 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} \leq 1$$

VYHOVUJE

### 3.7.2. Posouzení plechu a čepu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d_b \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 235}{1} \cdot \frac{1}{1000} = 211,5 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} = \frac{65,36}{211,5} = 0,309 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení v ohybu

$$c = 1 \text{ mm}$$

$$a = 10 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a)$$

$$M_{Ed} = \frac{65,36}{8} \cdot (20 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 10) \cdot \frac{1}{1000} = 0,359 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d_b^3}{32}$$

$$W_{el} = \frac{3,14 \cdot 30^3}{32} \cdot 10^{-9} = 2,651 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot 2,651 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} \cdot \frac{1}{1000} = 0,934 \text{ kN}$$

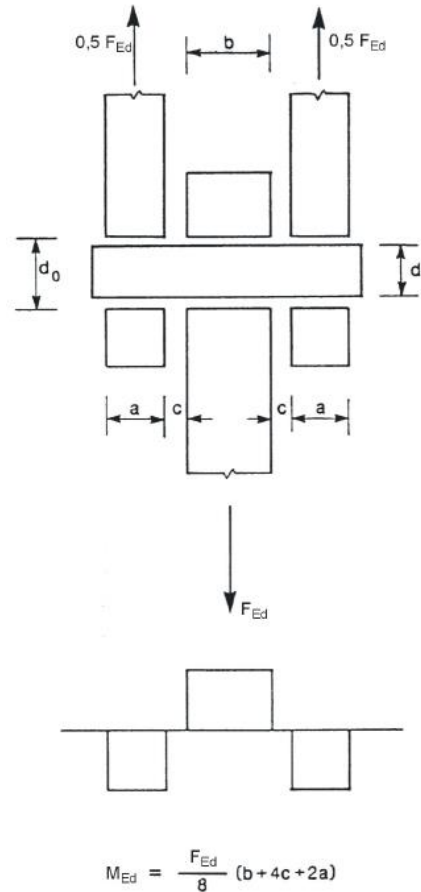
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,359}{0,934} = 0,385 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Posouzení v kombinaci stříhu a ohybu**

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2$$

$$\left(\frac{0,359}{0,934}\right)^2 + \left(\frac{65,36}{122,15}\right)^2 = 0,434$$

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$



### 3.7.3. Posouzení koutových svarů

**Připojení čepové desky k patnímu plechu**

síly působící na svar:

$$N_{Ed} = 63,835 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\parallel} = 14,038 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\perp} = 31,271 \text{ kN}$$

Účinná tloušťka a délka svaru:

$$a = 4 \text{ mm}$$

$$L = 200 - 2a = 200 - 8 = 192 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot L \cdot a = 2 \cdot 192 \cdot 4 = 1536 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

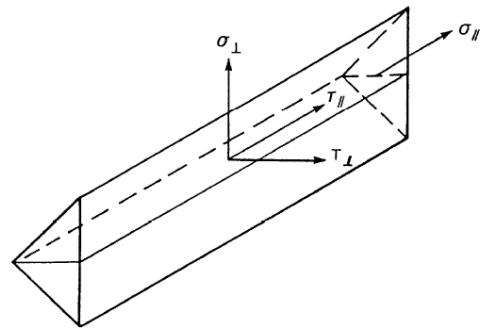
$$\beta_w = 0,8$$

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{63\,835}{1536} = 41,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{V\perp} = \frac{V_{Ed,\perp}}{A} = \frac{31\,271}{1536} = 20,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N + \sigma_{V\perp}}{\sqrt{2}} = \frac{41,56 + 20,36}{\sqrt{2}} = 43,78 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,\parallel}}{A} = \frac{14\,038}{1536} = 9,14 \text{ MPa}$$



[3]

[3]

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{43,78^2 + 3 \cdot 43,78 + 3 \cdot 9,14^2} = 88,98 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360$$

VYHOVUJE

### 3.7.4. Posouzení svislých plechů

$$N_{Ed}^- = 63,84 \text{ kN}$$

návrhová tlaková síla

$$N_{Ed}^+ = 45,47 \text{ kN}$$

návrhová tahová síla

$$b = 115 \text{ mm}$$

šířka plechu

$$t = 10 \text{ mm}$$

tloušťka plechu

$$d = 31 \text{ mm}$$

průměr otvoru

$$A = b \cdot t = 115 \cdot 10 = 1150 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = (b - d) \cdot t = (115 - 31) \cdot 10 = 840 \text{ mm}^2$$

plocha oslabeného průřezu

$$A_v = (b - d) \cdot \frac{t}{2} = (115 - 31) \cdot \frac{10}{2} = 420 \text{ mm}^2$$

smyková plocha

#### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 840 \cdot 360}{1,25} = 217,73 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{45,47}{217,73} = 0,21 \leq 1$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na smyk

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{420 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 56,98 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{14,04}{56,98} = 0,25 \leq 1$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na tlak

vzpěrná délka:

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 2 \cdot 55 = 110 \text{ mm}$$

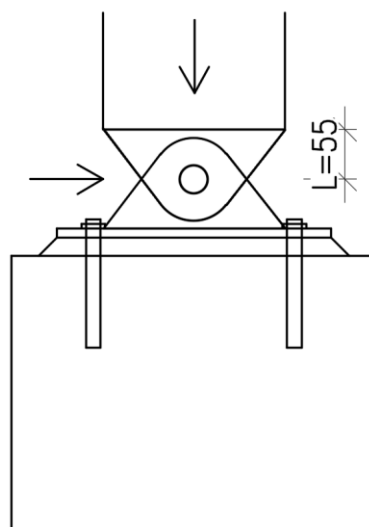
$$\beta = 2 \quad \text{vetknutí}$$

$$i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 10^2} = 2,89 \text{ mm}$$

štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{110}{2,89} = 38,11$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$



poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{19,05}{93,9} = 0,41$$

Křivka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,41 - 0,2) + 0,41^2) = 0,60$$

Součinitel vzpěrnosti:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,60 + \sqrt{0,60^2 + 0,41^2}} = 0,95$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,95 \cdot 1150 \cdot 235}{1,25} = 257,08 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{63,84}{257,08} = 0,25 \leq 1$$

VYHOVUJE

### 3.7.5. Posouzení kotevních šroubů

*návrh: 4x kotevní šroub HILTI HAS-U 5.8 M16*

*+ lepicí hmota HIT-HY 200*

Efektivní kotevní hloubka 80 mm

$$N_{rec} = 12,3 \text{ kN} \quad \text{maximální dovolené namáhání v tahu}$$

$$N_{Ed} = 45,47 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} = \frac{45,47}{4 \cdot 12,3} = 0,92 \quad \frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{rec} = 22,3 \text{ kN} \quad \text{maximální dovolené namáhání ve smyku}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{31,27^2 + 14,04^2} = 34,277 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} = \frac{34,277}{4 \cdot 22,3} = 0,38 \quad \frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 3.7.6. Návrh a posouzení patního plechu

rozměry patního plechu:

$$a = 300 \text{ mm}$$

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

$$t = 10 \text{ mm}$$

podlití 20 mm

Ocel S235

$$f_{yd} = 235$$

rozměry betonové patky:

$$A = 400 \text{ mm}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

beton C20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 13,333 \text{ MPa}$$

$$A_{c0} = a \cdot b$$

$$A_{c0} = 300 \cdot 200 = 6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 3a \cdot 3b$$

$$A_{c1} = 3 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 200 = 5,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

$$f_{Rdu} = 13,333 \cdot \sqrt{\frac{5,4 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^4}} = 40 \text{ MPa} \leq 3 \cdot f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

návrhová pevnost betonu pod patkou:

$$f_{jd} = \beta \cdot f_{Rdu} = f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot f_{Rdu} = \frac{2}{3} \cdot 40 = 26,667 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{2}{3} \text{ pro pevnost malty } f_{md} \geq 0,2 f_{cd}$$

účinná délka konzoly:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

$$c = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 26,667}} = 17,139 \text{ mm}$$

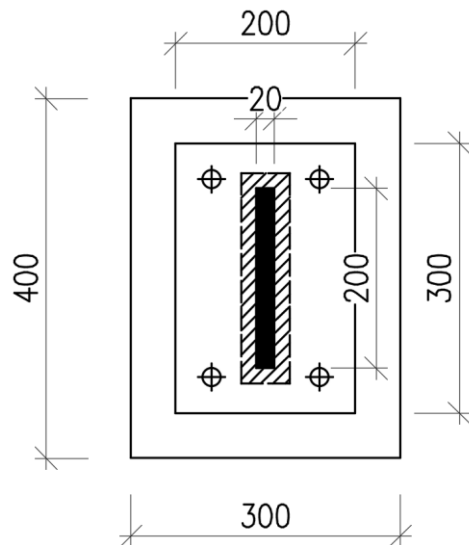
účinná plocha:

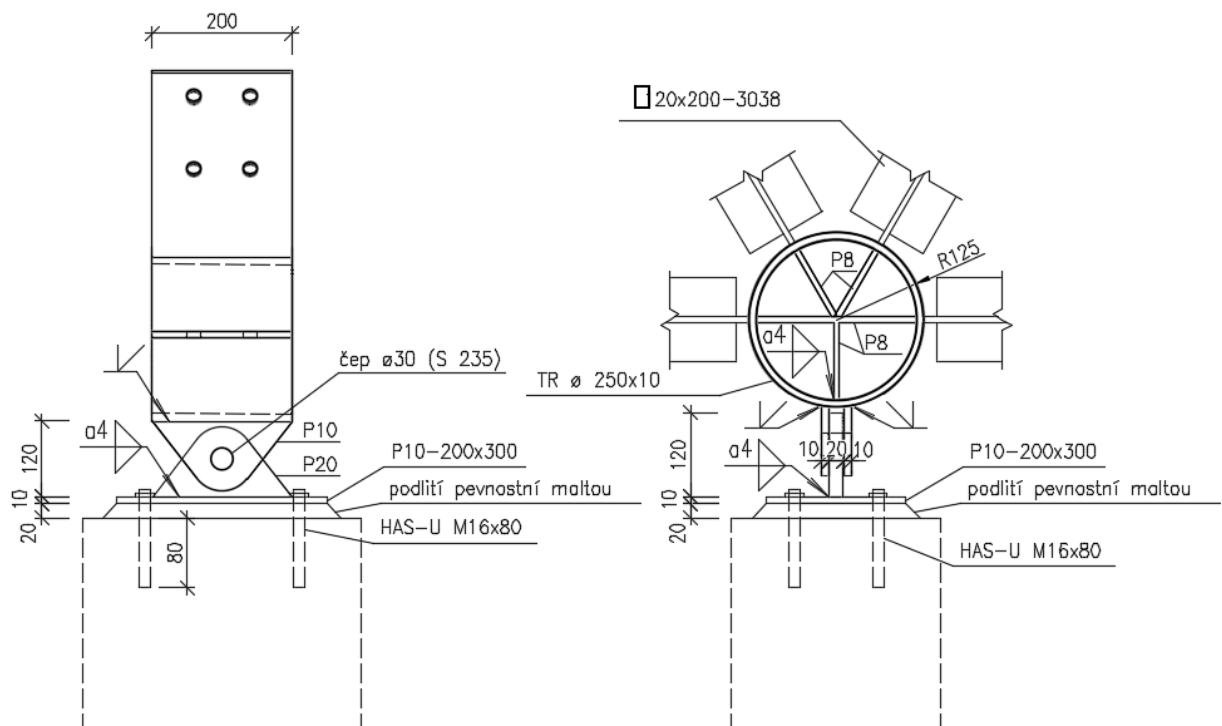
$$A_{eff} = (20 + 2 \cdot 17,14) \cdot (200 + 2 \cdot 17,14) = 12717 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd}$$

$$N_{Rd} = 127117 \cdot 26,667 \cdot \frac{1}{1000} = 339,12 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{63,835}{339,12} = 0,19 \quad \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$





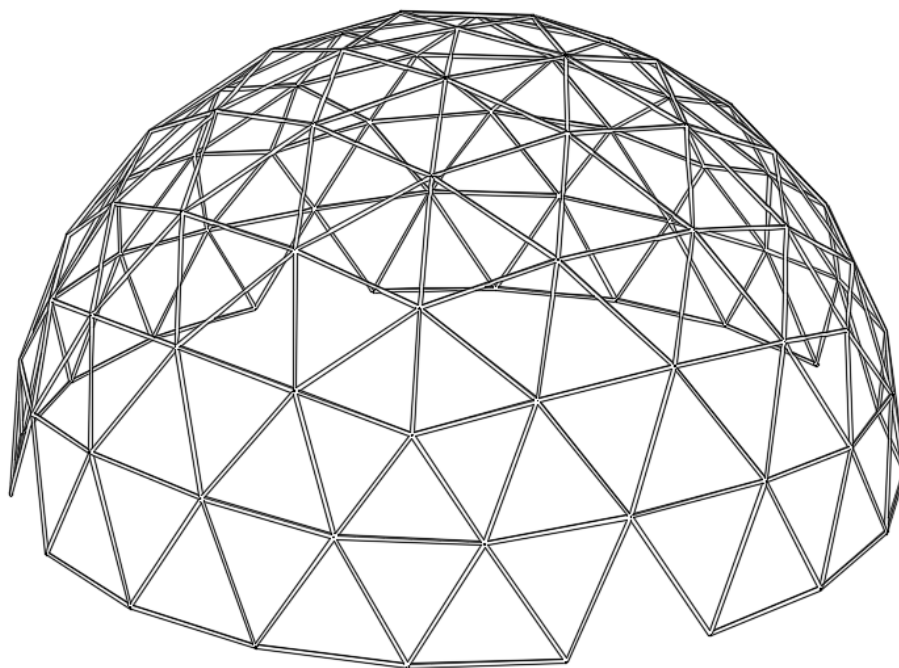
## 4. Varianta B - Geodetická kopule ocelová

### 4.1. Popis konstrukce

Nosná konstrukce je navržena z oceli S235. Z hlediska statického systému je řešena jako geodetická kopule. Střešní plášť je navržen z dutinových polykarbonátových desek ve vlastním nosném rámu, který je osazen na konstrukci kopule prostřednictvím podpůrných prvků v místech styčníků. Je umožněn posuv segmentů opláštění, který dovoluje otevřít nejvýše 1/3 plochy opláštění. Kopule je kloubově uložena s použitím čepového spoje z konstrukční oceli S 235. Spoje jsou modelovány jako kloubové. Základní nosné prvky jsou navrženy z ocelových trubek kruhového průřezu dimenze  $\varnothing 88,9 \times 3,2$  mm.

### 4.2. Geometrie

Geometrie geodetické kopule je odvozena z dvacetistěnu. Konstrukce má tvar polokoule a byla modelována jako geodetická sféra o průměru 24 m. Její výška je 12 m. Je tvořena 246 prutů šesti různých délek, pohybujících se od 3,038 do 3,899 m.





## 4.3. Materiál

### 4.3.1. Pruty

Ocel S 235

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_y$	235
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_u$	360
Modul pružnosti [GPa]	$E$	210

### 4.3.2. Ostatní konstrukční prvky

Ocel 10.9

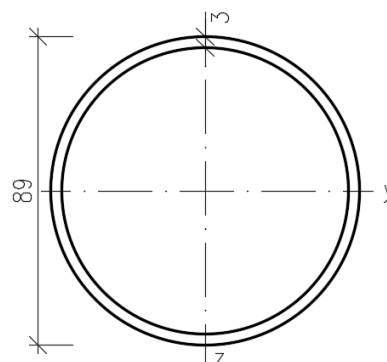
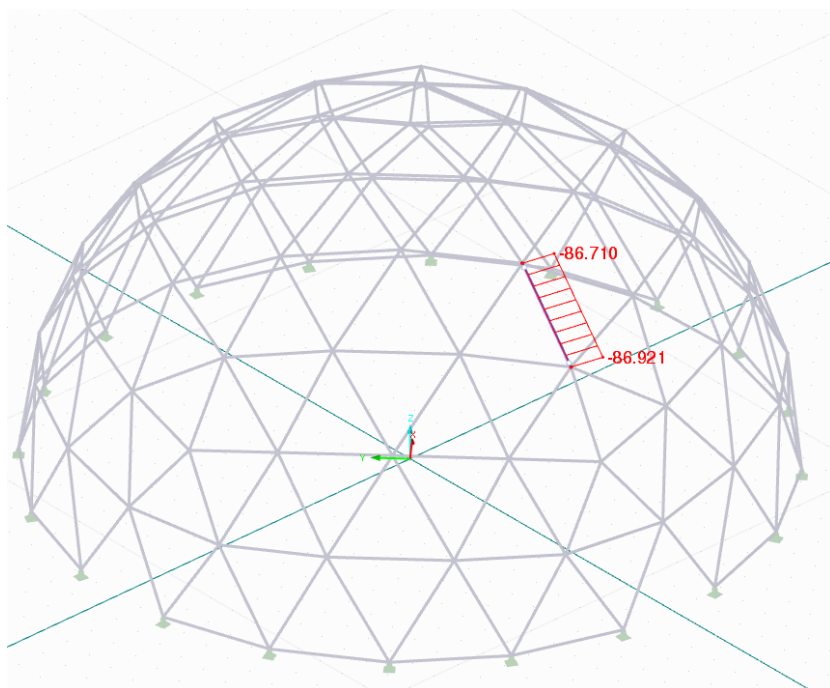
Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_{yb}$	900
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_{ub}$	1000

Dílčí součinitele spolehlivosti materiálu

Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M0}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M1}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M2}$	1,25

## 4.4. Posouzení prutů na MSÚ

prut 36 – nejnepříznivější MSÚ



Návrhová tlaková síla na prutu 36

### Průřezové charakteristiky

RO 88,9x3,2

Charakteristika	Značka	Hodnota	Jednotky
Vnější průměr	D	88,900	mm
Tloušťka stěny	s	3,200	mm
Plocha průřezu	A	862,000	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	A <sub>y</sub>	429,500	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	792000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	30,300	mm
Polární poloměr setrvačnosti	i <sub>p</sub>	42,900	mm
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	1580000,000	mm <sup>4</sup>
Průřezový modul v kroucení	W <sub>t</sub>	35600,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y</sub>	17800,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	5881,400	mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul	W <sub>pl,y</sub>	23500,000	mm <sup>3</sup>

### Materiál

Ocel S 235 (charakteristiky viz výše)

Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení na MSÚ:

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
- 86,92	0,13	0,01	0,00	0,01	0,11

Délka prutu:

$$L = 3583 \text{ mm}$$

### zatřídění průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1 \quad \text{poměrné přetvoření}$$

$$\frac{d}{t} = \frac{88,9}{3,2} = 27,78 \leq 50 \cdot \varepsilon^2 = 50 \quad \text{VYHOVUJE - třída 1}$$

### Posouzení na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{862 \cdot 235}{1000} = 202,6 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{86,92}{202,6} = 0,43 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Posouzení na vzpěrný tlak

$$L_{cr} = 3583 \text{ mm} \quad \text{vzpěrná délka}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3583}{30,3} = 118 \quad \text{štíhlost}$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{118}{93,9} = 1,26 \quad \text{poměrná štíhlost}$$

Křivka vzpěrné pevnosti  $\alpha$

$$\alpha = 0,21$$

$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,21(1,26 - 0,2) + 1,26^2) = 1,40$$

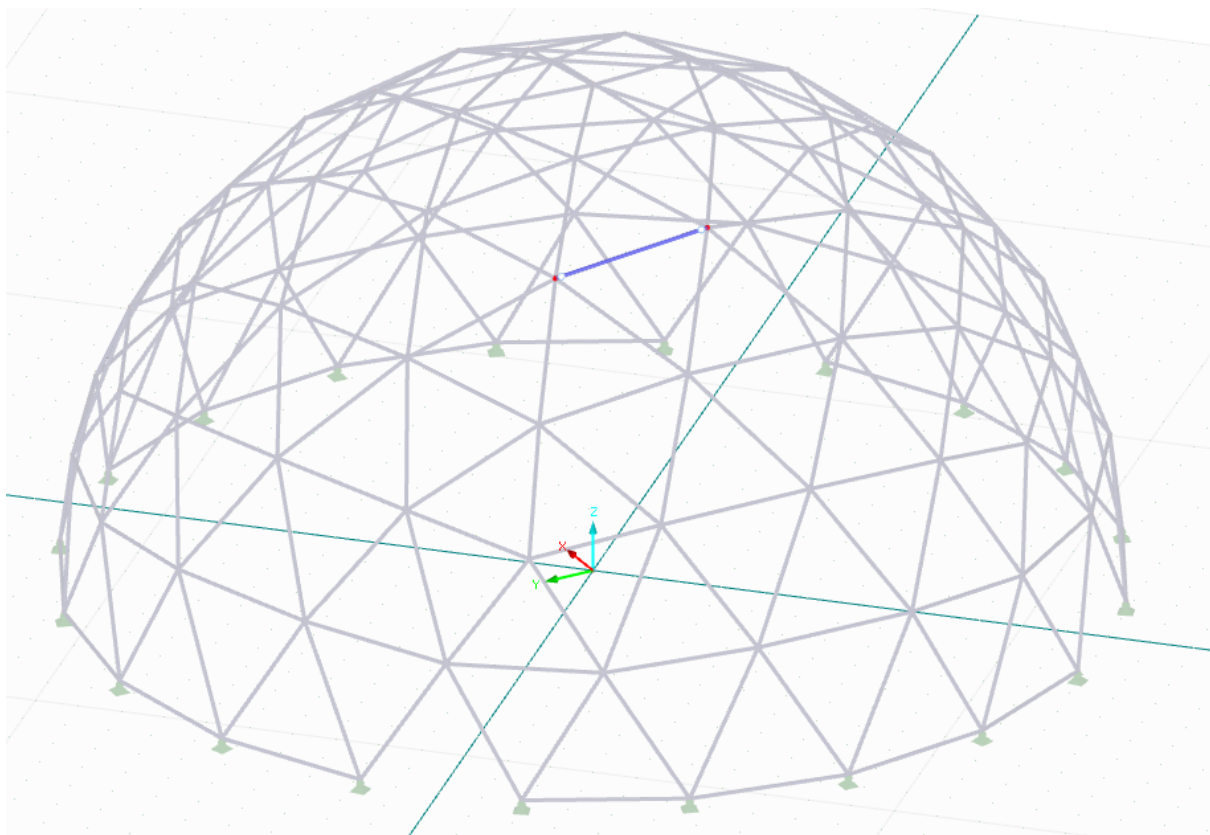
$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{1,40 + \sqrt{1,40^2 + 1,26^2}} = 0,49 \quad \text{součinitel vzpěrnosti}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,49 \cdot 862 \cdot 235}{1000} = 100,02 \text{ kN} \quad \text{vzpěrná únosnost}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{86,92}{100,02} = 0,87 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## 4.5. Posouzení na MSP

prut 115



Poloha prutu č. 115

**Průhyb od stálého a proměnného zatížení**

$$\delta_{max} \leq \frac{L}{250} = \frac{24000}{250} = 96 \text{ mm}$$

$$\delta_2 \leq \frac{L}{300} = \frac{24000}{300} = 80 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = 1,3 \text{ mm}$$

$$\delta_{2,snih} = 7,7 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm} \quad (\text{sníh navátý 1})$$

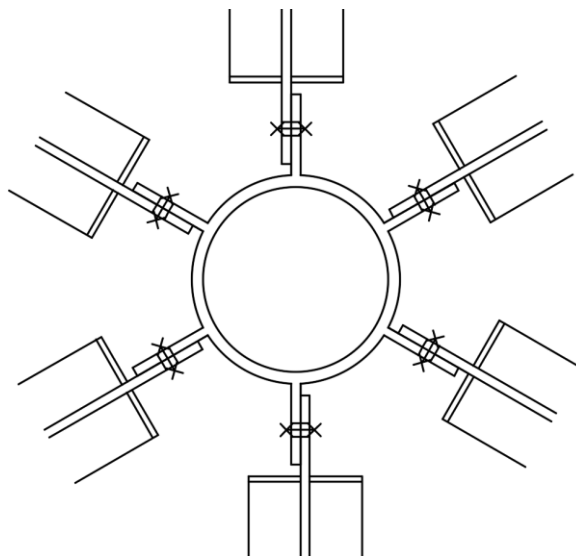
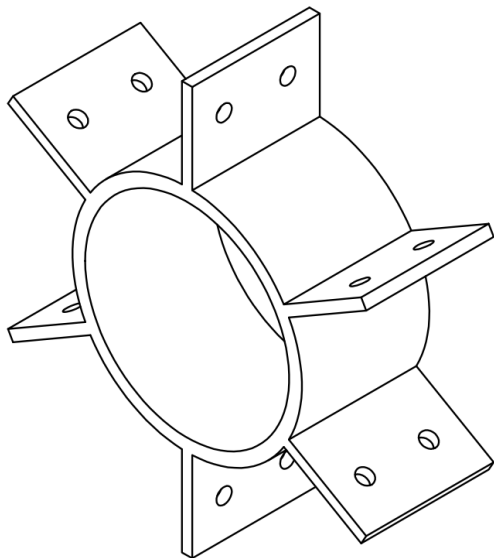
$$\delta_{2,vitr} = 2,7 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_{2,snih} + \delta_{2,vitr} = 1,3 + 7,7 + 2,7 = 11,7 \text{ mm} \leq 96 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

## 4.6. Typický styčník – vzájemné spojení prutů

### 4.6.1. Posouzení šroubového spoje



$$F_{Ed} = 86,92 \text{ kN}$$

Návrh 2 šrouby M12, ocel pevnostní třídy 10.9

$$f_{yb} = 900 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$$

$$d = 12 \text{ mm}$$

průměr dříku šroubu

$$d_0 = 12 \text{ mm}$$

průměr otvoru pro šroub

$$A = 113,1 \text{ mm}$$

plocha dříku šroubu

$$t = 8 \text{ mm}$$

tloušťka plechu

$$b = 100 \text{ mm}$$

šířka plechu

$$n = 2$$

počet šroubů

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

pro ocel S235

$$F_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{86,92}{2} = 43,46 \text{ kN} \quad \text{zatížení na 1 šroub}$$

#### Doporučené rozteče a vzdálenosti od krajů šroubů

$$p_2 = 3,5 \cdot d_0 = 3,5 \cdot 12 = 42 \text{ mm}$$

$$e_1 = 2 \cdot d_0 = 2 \cdot 12 = 24 \text{ mm}$$

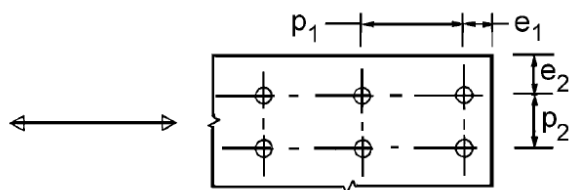
$$e_2 = 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 12 = 18 \text{ mm}$$

#### Návrh

$$p_2 = 50 \text{ mm}$$

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

$$e_2 = 25 \text{ mm}$$



[3]

### Únosnost ve střihu

$n = 1$  počet střihových rovin  
 $\alpha_v = 0,6$  rovina střihu neprochází závitem

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot \alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{1 \cdot 0,6 \cdot 500 \cdot 113,1}{1,25 \cdot 10^3} = 54,29 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \quad \frac{43,46}{54,29} = 0,80 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Únosnost v otláčení

$k_1 = 2,5$  (splněny podmínky pro doporučené rozteče)

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = 0,83$$

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right) = \left(0,83; \frac{1000}{360}; 1\right) = 0,83$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,83 \cdot 12 \cdot 8 \cdot 360}{1,25 \cdot 10^3} = 57,6 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \quad \frac{43,46}{57,6} = 0,75 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 4.6.2. Posouzení styčnickového plechu

$N_{Ed}^- = 86,92 \text{ kN}$  maximální návrhová tlaková síla

$N_{Ed}^+ = 72,53 \text{ kN}$  maximální návrhová tahová síla

$b = 100 \text{ mm}$  šířka plechu

$t = 8 \text{ mm}$  tloušťka plechu

$d_0 = 12 \text{ mm}$  průměr otvoru pro šroub

$A = b \cdot t = 100 \cdot 8 = 800 \text{ mm}^2$  plocha průřezu

$A_{net} = (b - 2 \cdot d) \cdot t = (100 - 2 \cdot 12) \cdot 8 = 608 \text{ mm}^2$  oslabená plocha průřezu

#### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 608 \cdot 360}{1,25} = 157,59 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{72,52}{157,59} = 0,46 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### Posouzení na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{800 \cdot 235}{1,25} = 188,0 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{72,52}{188} = 0,46 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 4.6.3. Posouzení koutových svarů

#### připojení plechu ke styčnickové trubce

$N_{Ed} = 86,92 \text{ kN}$

$a = 4 \text{ mm}$  účinná tloušťka svaru

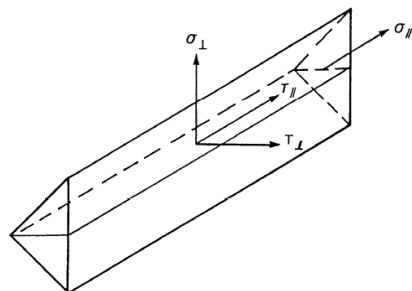
$L = 100 - 2a = 100 - 8 = 92 \text{ mm}$  účinná délka svaru

$A_w = 736 \text{ mm}$

$f_u = 360 \text{ MPa}$

$\gamma_{M2} = 1,25$

$\beta_w = 0,8$



[3]

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{86\,921}{736} = 118,10 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{118,10}{\sqrt{2}} = 83,51 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{108,98^2 + 3 \cdot 108,98^2 + 3 \cdot 0^2} = 167,02 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} =$$

$$360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

### Připojení plechu k prutu

$$V_{Ed,\parallel} = 86,92 \text{ kN}$$

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 50 - 2a = 50 - 6 = 44 \text{ mm}$$

$$A = 4 \cdot a \cdot L = 4 \cdot 3 \cdot 44 = 528 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

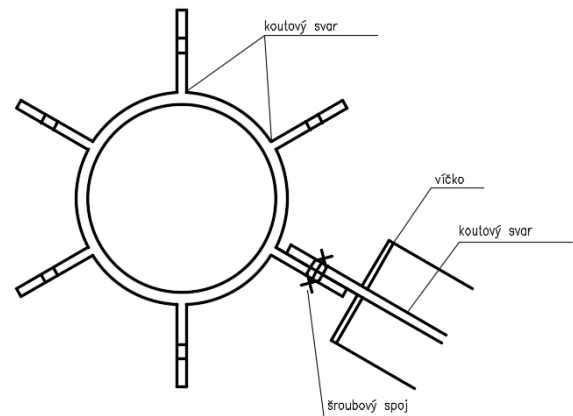
$$\beta_w = 0,8$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,\parallel}}{A} = \frac{86\,921}{528} = 164,62 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} =$$

$$\sqrt{0^2 + 3 \cdot 0^2 + 3 \cdot 164,62^2} = 285,14 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360$$

VYHOVUJE



## 4.7. Kotvení

### 4.7.1. Návrh a posouzení kotevního čepu

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Reakce:

$$R_z = 62,527 \text{ kN}$$

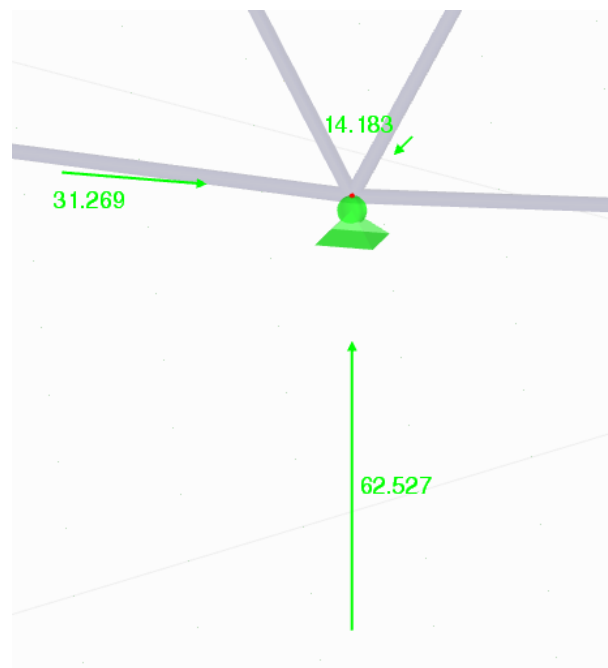
$$R_x = 14,183 \text{ kN}$$

$$R_y = 31,269 \text{ kN}$$

výsledná síla působící na čep:

$$F_{Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{14,183^2 + 62,527^2} = 64,115 \text{ kN}$$



## Geometrie

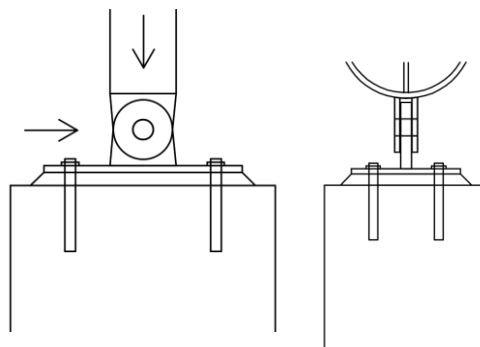
Návrh tloušťky plechu:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot 1000 \cdot \gamma_{m2}}{f_{yk}}}$$

$$t_{min} = \sqrt{\frac{64,115 \cdot 1000 \cdot 1,25}{235}} = 18,47 \text{ mm}$$

$$t = 20 \text{ mm} \quad 20 > 18,47$$

$$2,5t = 50 \text{ mm}$$



VYHOVUJE

Návrh velikosti čepu:

$$d_b = 30 \text{ mm} \quad d_b < 2,5t \quad 30 < 50$$

$$d_0 = d_b + 1$$

$$d_0 = 30 + 1 = 31 \text{ mm}$$

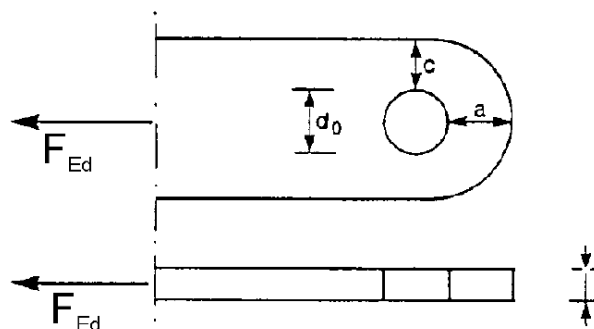
VYHOVUJE

$$a_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{2t \cdot f_{yk}} + 2 \cdot \frac{d_0}{3}$$

$$a_{min} = \frac{64,115 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + 2 \cdot \frac{31}{3} = 27,49 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{2t \cdot f_{yk}} + \frac{d_0}{3}$$

$$c_{min} = \frac{64,115 \cdot 1}{2 \cdot 20 \cdot 235} + \frac{31}{3} = 17,15 \text{ mm}$$



[3]

Návrh rozměrů a, c:

$$a = 30 \text{ mm} \quad a > a_{min} \quad 30 > 27,49$$

$$c = 30 \text{ mm} \quad c > c_{min} \quad 30 > 17,15$$

VYHOVUJE

VYHOVUJE

## Posouzení na střih

$$A = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \cdot 30^2}{4} = 706,858 \text{ mm}^2$$

$$F_{vRd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{vRd} = \frac{0,6 \cdot 706,858 \cdot 360}{1,25} \cdot \frac{1}{1000} = 122,145 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} = \frac{64,115}{122,145} = 0,52 \leq 1$$

VYHOVUJE



## Posouzení plechu a čepu v otláčení

$$F_{bRd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d_b \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}}$$

$$F_{bRd} = \frac{1,5 \cdot 20 \cdot 30 \cdot 235}{1} \cdot \frac{1}{1000} = 211,5 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} = \frac{64,115}{211,5} = 0,303 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Posouzení v ohybu

$$c = 1$$

$$a = 10$$

$$b = 20$$

$$M_{Ed} = \frac{64,115}{8} \cdot (b + 4c + 2a)$$

$$M_{Ed} = \frac{64,115}{8} \cdot (20 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 10) \cdot \frac{1}{1000} = 0,353 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d_b^3}{32}$$

$$W_{el} = \frac{3,14 \cdot 30^3}{32} \cdot 10^{(-9)} = 2,651 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}}$$

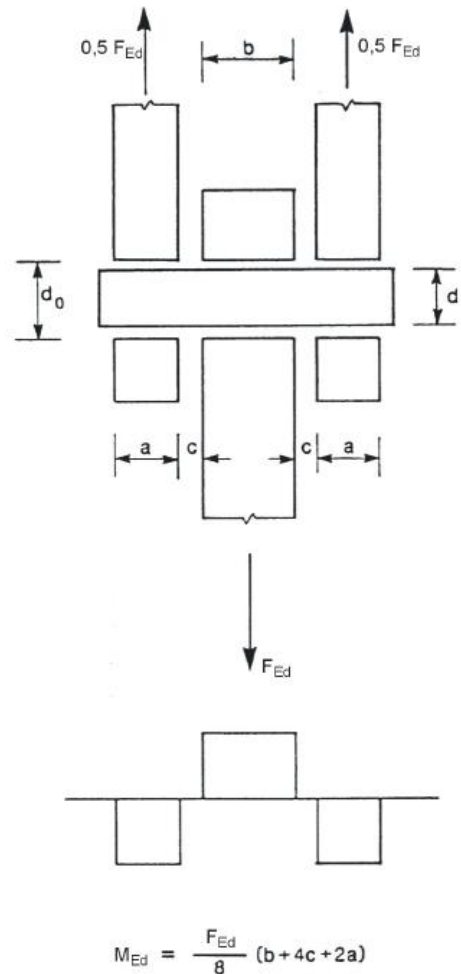
$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot 2,651 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} = 0,934 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,353}{0,934} = 0,377 \quad \frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

## Posouzení v kombinaci stříhu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2 = \left(\frac{0,353}{0,934}\right)^2 + \left(\frac{64,115}{122,145}\right)^2 = 0,418$$

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$



[3]

## 4.7.2. Posouzení svislých plechů

vnitřní síly působící na plech:

$$N_{Ed}^- = 62,53 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^+ = 46,41 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 14,18 \text{ kN}$$

$$b = 91 \text{ mm}$$

$$t = 10 \text{ mm}$$

$$d = 31 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot t = 91 \cdot 10 = 910 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (b - d) \cdot t = (91 - 31) \cdot 10 = 600 \text{ mm}^2$$

šířka plechu v místě porušení

tloušťka plechu

průměr čepu

plocha průřezu

oslabená plocha průřezu

$$A_v = (b - d) \cdot \frac{t}{2} = (91 - 31) \cdot \frac{10}{2} = 300 \text{ mm}^2$$

smyková plocha

#### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 360}{1,25} = 213,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{46,41}{213,85} = 0,22$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na smyk

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{300 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 40,70 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{14,18}{40,70} = 0,35$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na vzpěrný tlak

vzpěrná délka:

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 2 \cdot 55 = 110 \text{ mm}$$

$$\beta = 2 \quad \text{pro vetknutí}$$

$$i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 10^2} = 2,89 \text{ mm}$$

štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{110}{2,89} = 38,11$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{38,11}{93,9} = 0,41$$

Křivka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

součinitel imperfekce

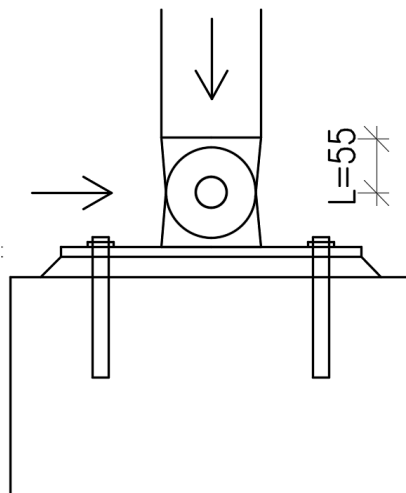
$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,41 - 0,2) + 0,41^2) = 0,60$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,60 + \sqrt{0,60^2 + 0,41^2}} = 0,95 \quad \text{Součinitel vzpěrnosti}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,95 \cdot 910 \cdot 235}{1,25} = 203,43 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{62,53}{203,43} = 0,31$$

VYHOVUJE



#### 4.7.3. Posouzení kotevních šroubů

návrh: 4x kotevní šroub HILTI HAS-U 5.8

+ lepicí hmota HIT-HY 200

Efektivní kotevní hloubka 80 mm

$$N_{rec} = 12,3 \text{ kN}$$

maximální dovolené namáhání v tahu

$$N_{Ed} = 46,409 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} = \frac{46,409}{4 \cdot 12,3} = 0,94 \quad \frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{rec} = 22,3 \text{ kN} \quad \text{maximální dovolené namáhání ve smyku}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{31,269^2 + 14,183^2} = 34,34 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} = \frac{34,34}{4 \cdot 22,3} = 0,385 \quad \frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### 4.7.4. Návrh a posouzení patního plechu

rozměry patního plechu:

$$a = 300 \text{ mm}$$

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

$$t = 10 \text{ mm}$$

podlití 20 mm

Ocel S235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

rozměry betonové patky:

$$A = 400 \text{ mm}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

beton C20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 13,333 \text{ MPa}$$

$$A_{c0} = a \cdot b = 6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_{c0} = 300 \cdot 200 = 6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 3a \cdot 3b = 5,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 3 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 200 = 5,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

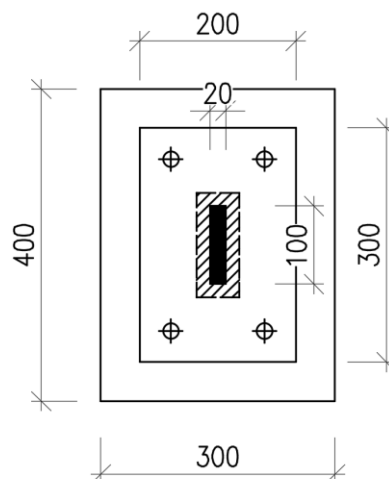
$$f_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

$$f_{Rdu} = 13,333 \cdot \sqrt{\frac{5,4 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^4}} = 40 \text{ MPa} \leq 3 \cdot f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonu pod patkou:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot f_{Rdu}$$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot 40 = 26,667 \text{ MPa}$$



$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} \quad \text{účinná délka konzoly}$$

$$c = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 26,667}} = 17,139 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 7289 \text{ mm}^2 \quad \text{účinná plocha}$$

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd}$$

$$N_{Rd} = 7289 \cdot 26,667 \cdot \frac{1}{1000} = 194,37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{62,527}{194,37} = 0,32 \leq \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

#### 4.7.5. Posouzení koutových svarů

Připojení čepové desky k patnímu plechu

vnitřní síly působící na svar:

$$N_{Ed} = 62,53 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\perp} = 31,27 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\parallel} = 14,18 \text{ kN}$$

$$a = 4$$

účinná tloušťka svaru

$$L = 150 - 2a = 150 - 2 \cdot 4 = 142 \text{ mm}$$

účinná délka svaru

$$A = 2 \cdot a \cdot L = 2 \cdot 4 \cdot 142 = 1136 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{62\,527}{1136} = 55,04 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{V\perp} = \frac{V_{Ed,\perp}}{A} = \frac{31\,269}{1136} = 27,53 \text{ MPa}$$

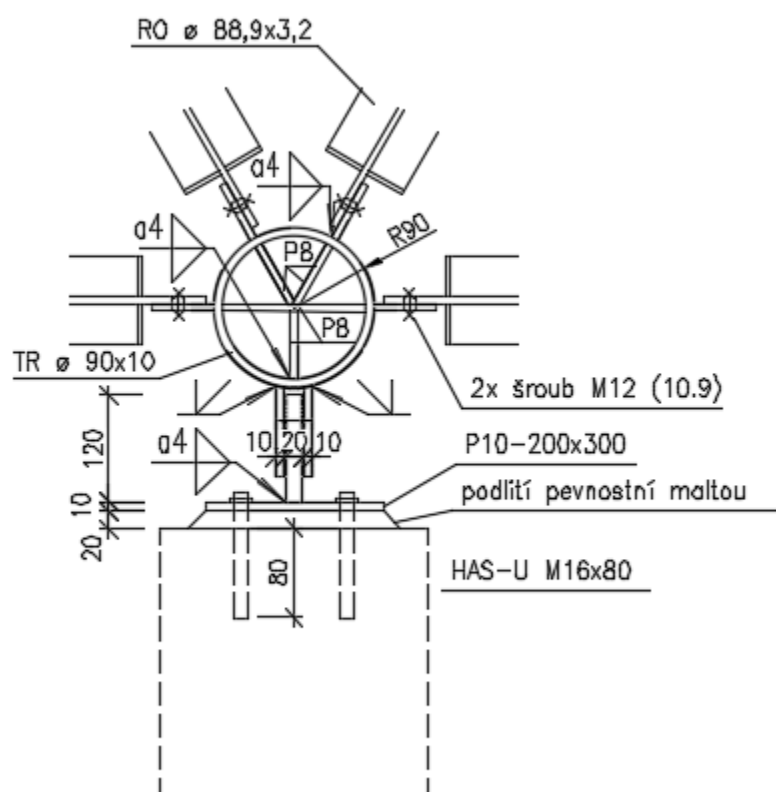
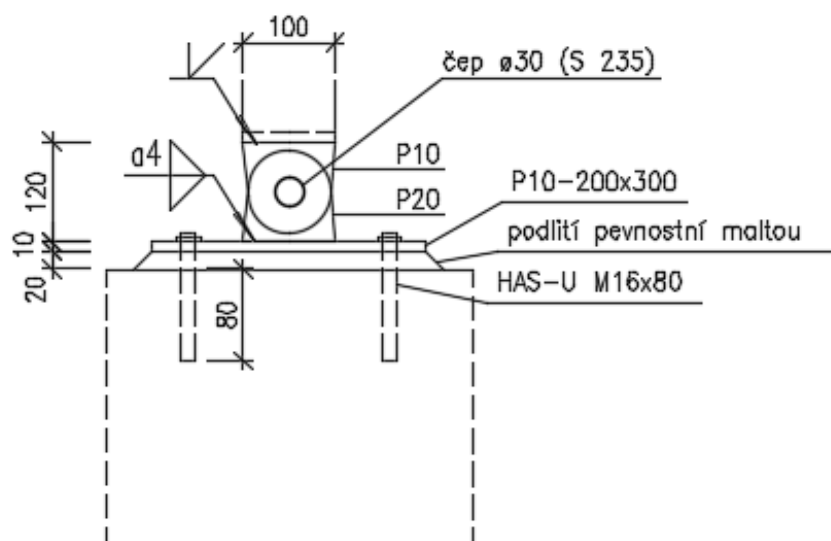
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N + \sigma_{V\perp}}{\sqrt{2}} = \frac{55,04 + 27,53}{\sqrt{2}} = 58,38 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,\parallel}}{A} = \frac{14\,183}{1136} = 12,49 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{58,38^2 + 3 \cdot 58,38^2 + 3 \cdot 12,49^2} = 118,75 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} =$$

$$360 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE



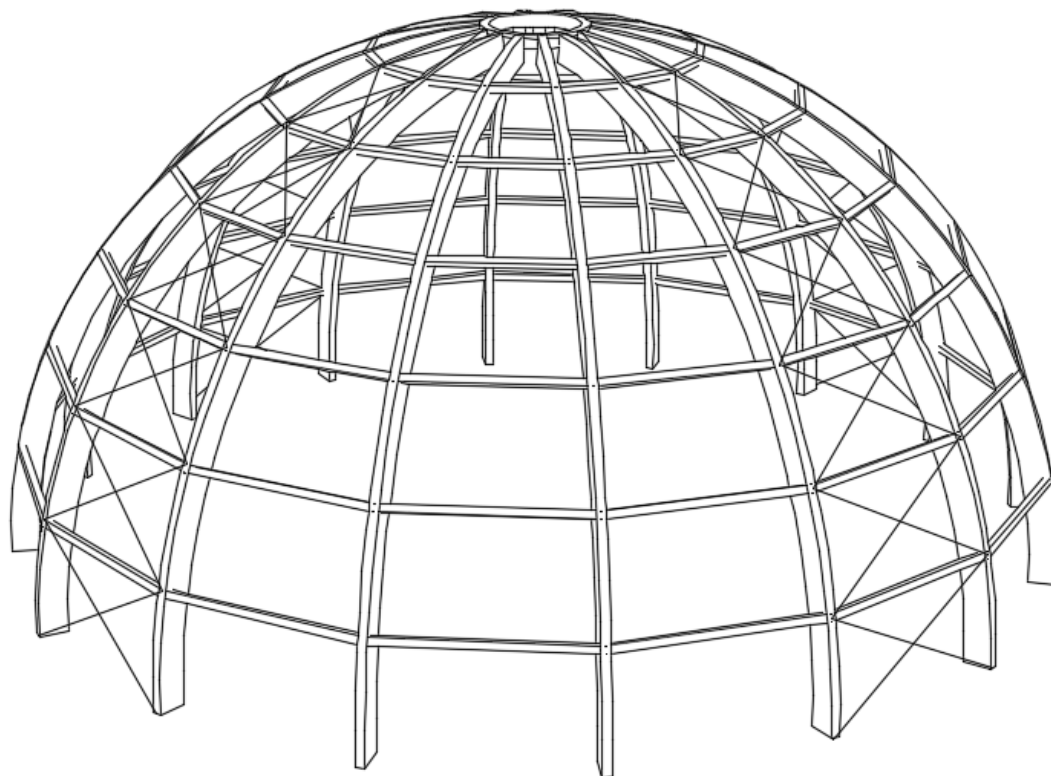
## 5. Varianta C - Žebrová kopule z LLD

### 5.1. Popis konstrukce

Nosná konstrukce je navržena z lepeného lamelového dřeva GL24h. Z hlediska statického systému je řešena jako žebrová kopule. Žebra staticky působí jako dvoukloubové oblouky usazené prostřednictvím čepových spojů na kotevní bloky a ocelový prstenec ve vrcholové části. Na žebra jsou prostřednictvím ocelových plechů osazeny vodorovné pruty (vaznice), které staticky působí jako prosté nosníky. Prostorová tuhost a tvarová neměnnost je zajištěna ocelovými ztužidly z tyčí kruhového průřezu  $\varnothing 12$  mm oceli S 235. Střešní plášť je navržen z dutinových polykarbonátových desek ve vlastním nosném rámu, který je osazen na konstrukci kopule prostřednictvím podpůrných prvků v místech styčnicků. Je umožněn posuv segmentů opláštění, který dovoluje otevřít nejvýše 1/3 plochy opláštění. Kopule je kloubově uložena s použitím čepového spoje z konstrukční oceli S 235. Spoje jsou modelovány jako kloubové. Dimenze žebér z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti GL24h je 200 x 640 mm, vodorovné pruty ze stejného materiálu jsou navrženy o rozměrech 160 x 160 mm.

### 5.2. Geometrie

Konstrukce má tvar polokoule o průměru 24 m. Její výška je 12 m. Tvoří ji 16 žebér o délce 17,6 m, na nichž jsou uloženy vaznice šesti různých délek pohybujících se od 1,5 do 4,6 m.



## 5.3. Materiál

### 5.3.1. Pruty

Lepené lamelové dřevo pevnostní třídy GL24h

Charakteristika	Značka	Hodnota
Pevnost v ohybu [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{m,g,k}$	24
Pevnost v tahu [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{t,0,g,k}$	19,2
	$f_{t,90,g,k}$	0,5
Pevnost v tlaku [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{c,0,g,k}$	24
	$f_{c,90,g,k}$	2,5
Pevnost ve smyku [N/mm <sup>2</sup> ]	$f_{v,g,k}$	3,5
Modul pružnosti [kN/mm <sup>2</sup> ]	$E_{0,g,mean}$	11,5
	$E_{0,g,05}$	9,6
	$E_{90,g,mean}$	0,30
Modul pružnosti ve smyku [kN/mm <sup>2</sup> ]	$G_{r,g,mean}$	0,65
Hustota [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_k$	385
	$\rho_{mean}$	420

třída provozu: 3 - klimatické podmínky vedoucí k vyšší vlhkosti než ve třídě provozu 2

modifikační součinitel	$k_{mod}$	0,50 - 0,65 - 0,70*
součinitel dotvarování	$k_{def}$	2,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_M$	1,35

\* dle třídy trvání zatížení

Návrhové hodnoty pro střednědobé zatížení

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{19,2}{1,25} = 9,98 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{24}{1,25} = 12,48 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,g,k}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{3,5}{1,25} = 1,82 \text{ MPa}$$

### 5.3.2. Ostatní konstrukční prvky

#### Ocel S 235

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_y$	235
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_u$	360
Modul pružnosti [GPa]	$E$	210

#### Ocel S355

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_y$	355
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_u$	510
Modul pružnosti [GPa]	$E$	210

#### Ocel 5.8

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_{yb}$	400
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_{ub}$	500

#### Ocel 8.8

Charakteristika	Značka	Hodnota
Charakteristická mez kluzu [MPa]	$f_{yb}$	640
Charakteristická mez pevnosti [MPa]	$f_{ub}$	800

#### Dílčí součinitelé spolehlivosti materiálu:

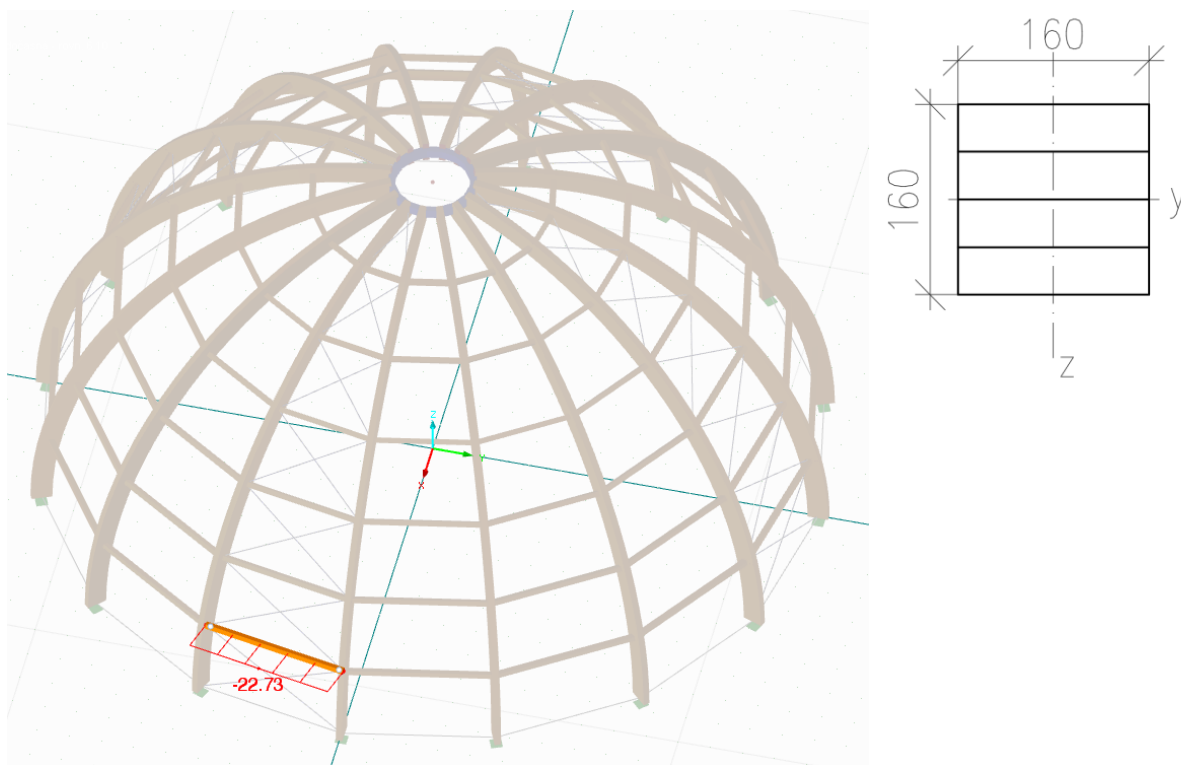
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M0}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M1}$	1,0
Dílčí součinitel spolehlivosti materiálu	$\gamma_{M2}$	1,25



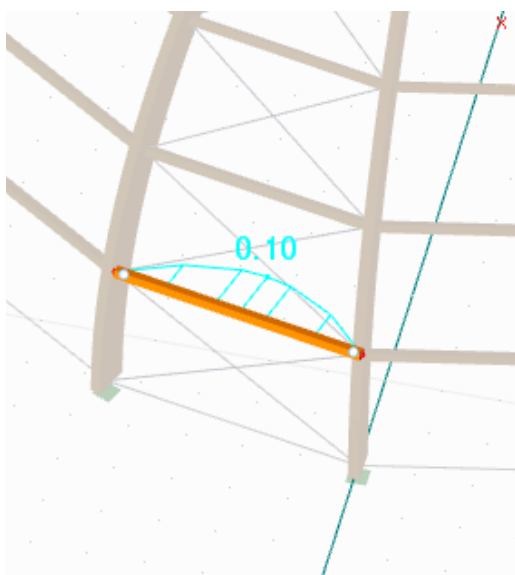
## 5.4. Posouzení na MSÚ

### 5.4.1. Vaznice

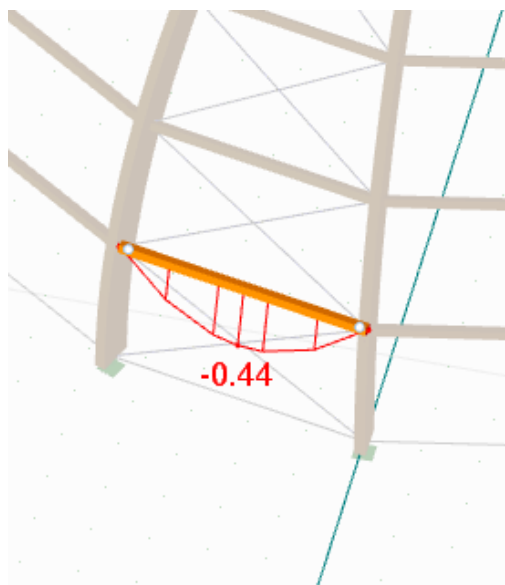
prut 43 – nejnepříznivější MSÚ



Normálová síla na prutu č. 43



Ohybový moment  $M_y$  na prutu č. 43



Ohybový moment  $M_z$  na prutu č. 43

### Průřezové charakteristiky

Charakteristika	Značka	Hodnota	Jednotky
Šířka	b	160,000	mm
Výška	h	160,000	mm
Plocha průřezu	A	25600,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>y</sub>	54610000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	I <sub>z</sub>	54610000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	i <sub>y</sub>	46,200	mm
Poloměr setrvačnosti	i <sub>z</sub>	46,200	mm
Hmotnost průřezu	G	12,800	kg/m
Plocha pláště	A <sub>plášť</sub>	0,640	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	I <sub>t</sub>	92190000,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,max</sub>	682667,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>y,min</sub>	-682667,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z,max</sub>	682667,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	W <sub>z,min</sub>	-682667,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>y,max</sub>	512000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	S <sub>z,max</sub>	512000,000	mm <sup>3</sup>

### Materiál

LLD pevnostní třídy GL24h (charakteristiky viz výše)

### Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení na MSÚ

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
- 22,73	0,39	0,08	0,01	0,10	0,44

Délka prutu

L = 4580 mm

### Posouzení na vzpěrný tlak

$$L_{cr} = 4580 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{4580}{46,2} = 99,1$$

$$\lambda_{rel} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{99,1}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,58$$

$$\beta_c = 0,1$$

$$k = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}^2] = 0,5[1 + 0,1(1,58 - 0,3) + 1,58^2] = 1,81$$

$$k_c = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,81 + \sqrt{1,81^2 - 1,58^2}} = 0,37$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{22\,730}{25\,600} = 0,89 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,89}{0,37 \cdot 12,48} = 0,19 \leq 1$$

vzpěrná délka

štíhlost

poměrná štíhlost

součinitel imperfekce

VYHOVUJE

Posouzení na vzpěrný tlak za ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W} = \frac{0,1}{0,682667} = 0,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W} = \frac{0,44}{0,682667} = 0,64 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,15}{12,48} + 0,7 \cdot \frac{0,64}{12,48} + \frac{0,89}{0,37 \cdot 12,48} = 0,24 \leq 1$$

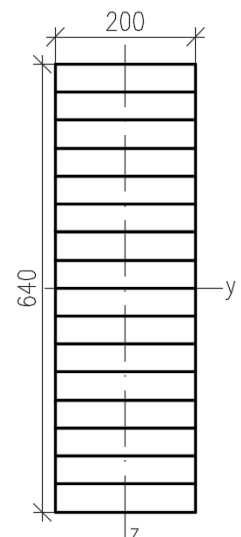
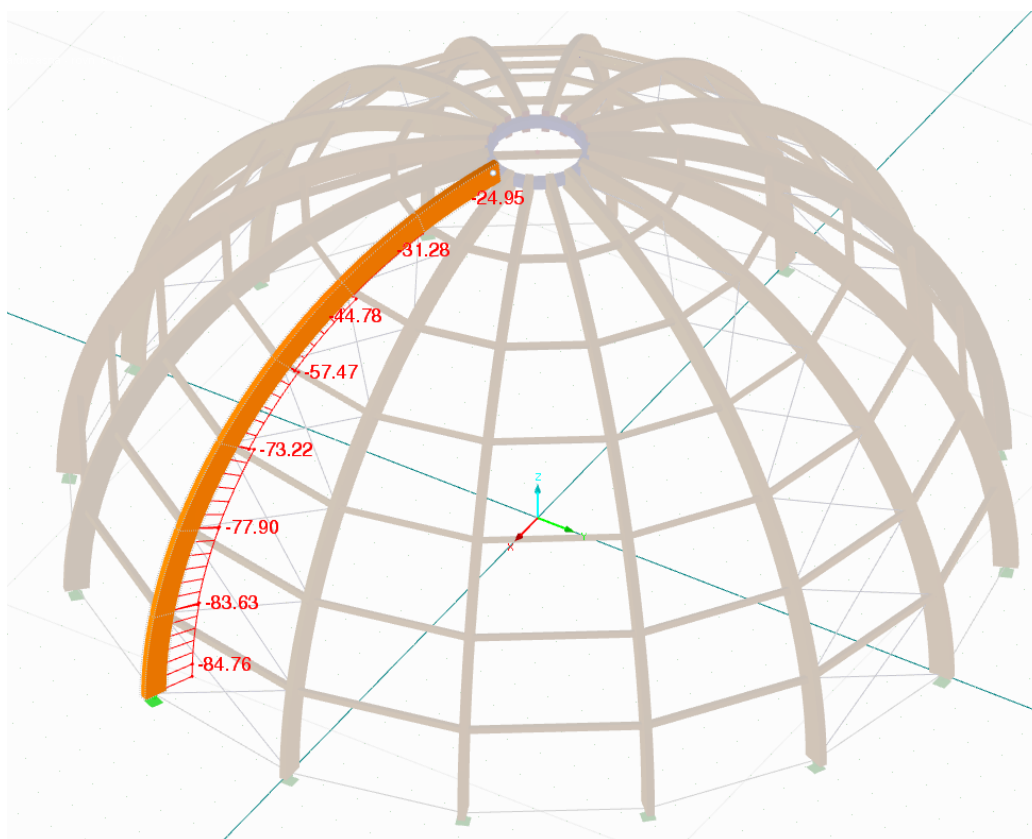
$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_c \cdot f_{c,0,d}} = 0,7 \cdot \frac{0,15}{12,48} + \frac{0,64}{12,48} + \frac{0,89}{0,37 \cdot 12,48} = 0,25 \leq 1$$

VYHOVUJE

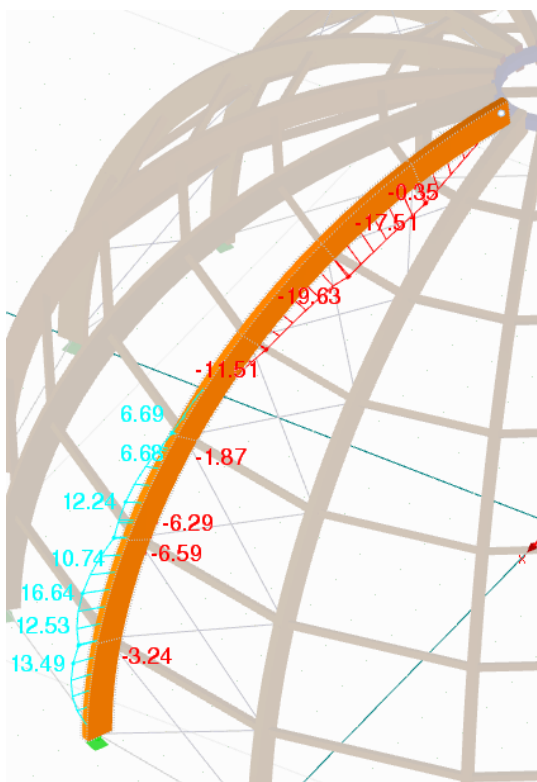
### 5.4.2. Žebro

sada prutů č. 6

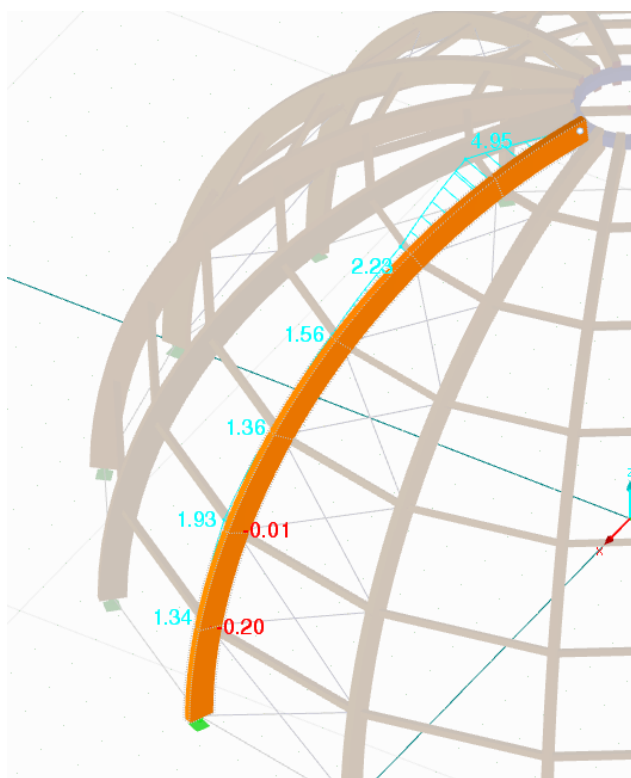
Průřezové charakteristiky



Normálová síla – sada prutů č. 6



Ohybový moment  $M_y$  – sada prutů č. 6



Ohybový moment  $M_z$  – sada prutů č. 6

Charakteristika	Značka	Hodnota	Jednotky
Šířka	b	200,000	mm
Výška	h	640,000	mm
Plocha průřezu	A	128000,000	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti	$I_y$	4369000000,000	mm <sup>4</sup>
Moment setrvačnosti	$I_z$	426700000,000	mm <sup>4</sup>
Poloměr setrvačnosti	$i_y$	184,800	mm
Poloměr setrvačnosti	$i_z$	57,700	mm
Hmotnost průřezu	G	64,000	kg/m
Plocha pláště	$A_{\text{plášť}}$	1,680	m <sup>2</sup> /m
Moment tuhosti v kroucení	$I_t$	1371000000,000	mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,\text{max}}$	13650000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{y,\text{min}}$	-13700000,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,\text{max}}$	4266670,000	mm <sup>3</sup>
Elastický průřezový modul	$W_{z,\text{min}}$	-4270000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{y,\text{max}}$	10240000,000	mm <sup>3</sup>
Statický moment	$S_{z,\text{max}}$	3200000,000	mm <sup>3</sup>

## Materiál

LLD pevnostní třídy GL24h (charakteristiky viz výše)

### Návrhové hodnoty vnitřních sil pro posouzení na MSÚ

N [kN]	V <sub>y</sub> [kN]	V <sub>z</sub> [kN]	M <sub>T</sub> [kNm]	M <sub>y</sub> [kNm]	M <sub>z</sub> [kNm]
- 84,76	1,78	12,24	2,59	19,63	4,95

### Posouzení na vzpěrný tlak

$$L_{cr,y} = 17593 \text{ mm}$$

vzpěrná délka

$$L_{cr,z} = 2513 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{17593}{184,8} = 95,20$$

štíhlost

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{2513}{57,7} = 43,55$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{95,20}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 1,52$$

poměrná štíhlost

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{43,55}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{24}{9600}} = 0,69$$

$$\beta_c = 0,1$$

součinitel imperfekce

$$k_y = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2] = 0,5[1 + 0,1(1,52 - 0,3) + 1,52^2] = 1,71$$

$$k_z = 0,5[1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2] = 0,5[1 + 0,1(0,69 - 0,3) + 0,69^2] = 0,76$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,71 + \sqrt{1,71^2 - 1,52^2}} = 0,40 \leq 1$$

součinitel vzpěrnosti

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = \frac{1}{0,76 + \sqrt{0,76^2 - 0,69^2}} = 0,93 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,66}{0,4 \cdot 12,48} = 0,13 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{0,66}{0,93 \cdot 12,48} = 0,05 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na vzpěrný tlak za ohybu

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} = \frac{19,63}{13,65 \cdot 10^{-6}} = 1,44 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d}}{W_z} = \frac{4,95}{4,27 \cdot 10^{-6}} = 1,16 \text{ MPa}$$

$$k_m = 0,7$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cy} \cdot f_{c,0,d}} = \frac{1,44}{12,48} + 0,7 \cdot \frac{1,16}{12,48} + \frac{0,66}{0,40 \cdot 12,48} = 0,31 \leq 1$$

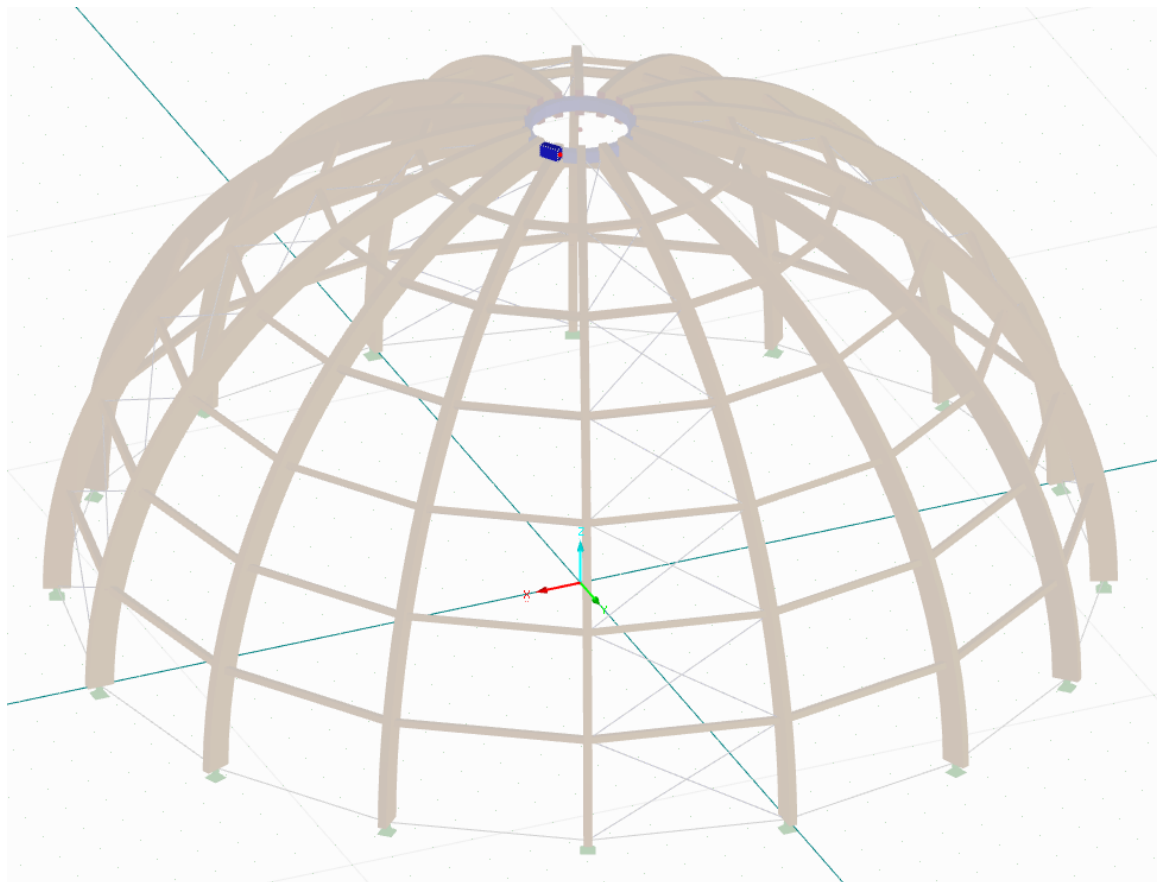
VYHOVUJE

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} = 0,7 \cdot \frac{1,44}{12,48} + \frac{1,16}{12,48} + \frac{0,66}{0,93 \cdot 12,48} = 0,23 \leq 1$$

VYHOVUJE

## 5.5. Posouzení na MSP

prut 139



Poloha prutu č. 139

**Okamžitý průhyb od stálého a proměnného zatížení**

$$u_{inst} \leq \frac{L}{400} = \frac{24000}{500} = 48 \text{ mm}$$

$$u_{inst,G} = 0,3 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q1,vitr} = 18,3 \text{ mm}$$

$$u_{inst,Q2,snih} = 15,5 \text{ mm} \quad (\text{snih navátý 1})$$

$$u_{inst} = u_{inst,G} + u_{inst,Q1} + u_{inst,Q2} = 0,3 + 18,3 + 15,5 = 34,1 \text{ mm} \leq 48 \text{ mm} \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Konečný průhyb od stálého a proměnného zatížení**

$$u_{fin} \leq \frac{L}{300} = \frac{24000}{300} = 80 \text{ mm}$$

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) = 0,3 \cdot (1 + 2) = 0,9 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q1,vitr} = u_{inst,Q1,vitr} (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) = 18,3 \cdot (1 + 0 \cdot 2) = 18,3 \text{ mm}$$

$$u_{fin,Q2,snih} = u_{inst,Q2,snih} (\psi_{0,2} + \psi_{2,2} \cdot k_{def}) = 15,5 \cdot (0,5 + 0 \cdot 2) = 7,75 \text{ mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q1,vitr} + u_{fin,Q2,snih} = 0,9 + 18,3 + 7,75 = 26,95 \text{ mm} \leq 80 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

## 5.6. Návrh a posouzení vybraných spojů

### 5.6.1. Připojení vaznice na žebro

$$F_{Ed} = 33,14 \text{ kN}$$

$$f_u = 800 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 76 \text{ mm} \quad \text{tloušťka krajního dřevěného prvku}$$

$$d = 10 \text{ mm} \quad \text{průměr svorníku}$$

$$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 0^\circ \quad \text{úhel mezi silou a směrem vláken}$$

charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 10) \cdot 385 = 28,41 \text{ MPa}$$

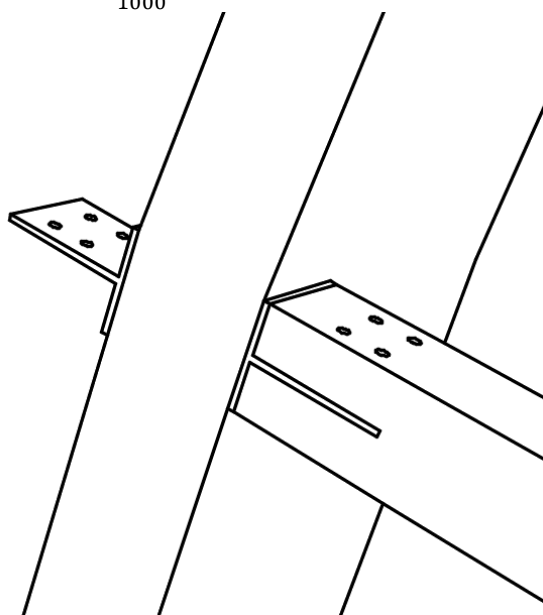
charakteristický plastický moment únosnosti v otláčení:

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$$

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot 800 \cdot 10^{2,6} = 95,546 \text{ kNm}$$

únosnost jednoho svorníku na jeden střih:

$$F_{v,Rk} = \begin{cases} f_{h,k} \cdot t_1 \cdot d \left( \sqrt{2 + \frac{4M_{yRk}}{f_{h,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right) \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{yRk} \cdot f_{h,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases}$$
$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 28,41 \cdot 76 \cdot 0 \cdot \frac{1}{1000} \\ 28,41 \cdot 76 \cdot 10 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 95,546}{28,41 \cdot 76^2 \cdot 10}} - 1 \right) \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000} \\ 2,3 \cdot \sqrt{95,546 \cdot 28,41 \cdot 10} \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000} \end{cases}$$
$$F_{v,Rk} = \begin{cases} 21,59 \text{ kN} \\ 13,34 \text{ kN} \\ 14,98 \text{ kN} \end{cases}$$
$$F_{v,Rk} = 13,34 \text{ kN}$$

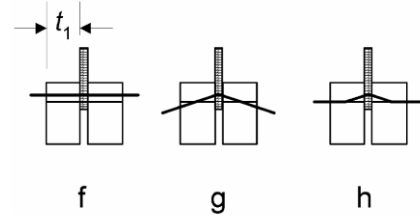


*návrh 4 svorníky M10, pevnostní třídy 8.8*

$n = 4$

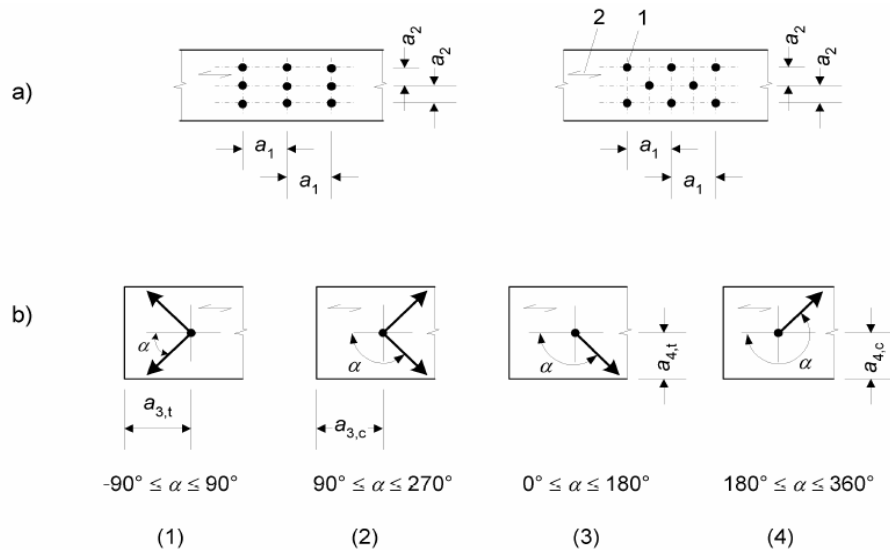
$k_{\text{mod}} = 0,65$

$\gamma_M = 1,25$



Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky:

[4]



#### Legenda

- (1) Zatížený konec
- (2) Nezatížený konec
- (3) Zatížený okraj
- (4) Nezatížený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

[4]

$$a_1 = (4 + \cos \alpha) \cdot d$$

$$a_1 = (4 + \cos 0) \cdot 10 = 50$$

$$a_2 = 4 \cdot d$$

$$a_2 = 4 \cdot 10 = 40 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot d; 80)$$

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot 20; 80) = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin \alpha, 3 d)$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin 0; 3 \cdot 10) = 30 \text{ mm}$$

**návrh:**

$$a_2 = 50 \text{ mm}$$

$$a_2 = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_{3t} = 80 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = 40 \text{ mm}$$



efektivní počet svorníků v řadě

$$n_{ef} = 2^{0,9} \cdot \left( \frac{a_1}{13d} \right)^{\frac{1}{4}}$$

$$n_{ef} = 2^{0,9} \cdot \left( \frac{50}{13 \cdot 10} \right)^{\frac{1}{4}} = 1,47$$

návrhová únosnost jednoho svorníku:

$$F_{vRd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{vRk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{vRd} = \frac{0,65 \cdot 13,34}{1,25} \cdot 2 = 13,88 \text{ kN} \quad (\text{dva střihy})$$

$$F_{Rd} = 2n_{ef} \cdot F_{vRd}$$

$$F_{Rd} = 2 \cdot 1,47 \cdot 13,88 = 40,78 \text{ kN}$$

posouzení

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \frac{33,14}{40,78} = 0,81 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### Porušení blokovým smykem

$$f_{vgk} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t0gk} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$l_{t1} = 70 \text{ mm}$$

$$l_{v1} = 75 \text{ mm}$$

$$l_{v2} = 40 \text{ mm}$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{yRk}}{f_{h,k} \cdot d}} \\ 0,4 \cdot t_1 \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,4 \cdot \sqrt{\frac{95546}{28,41 \cdot 10}} \\ 0,4 \cdot 76 \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} 25,7 \text{ mm} \\ 30,4 \text{ mm} \end{array} \right.$$

$$t_{ef} = 25,7 \text{ mm}$$

$$A_{net,t} = l_{t1} \cdot t_1 = 70 \cdot 76 = 5320 \text{ mm}^2$$

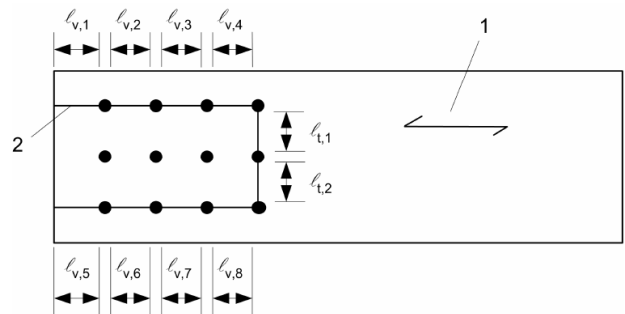
$$l_{netv} = 2 \cdot \left( l_{v1} + \left( \frac{n}{2} - 1 \right) \cdot l_{v2} \right)$$

$$l_{netv} = 2 \cdot \left( 75 + \left( \frac{4}{2} - 1 \right) \cdot 40 \right) = 230 \text{ mm}$$

$$A_{netv} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{l_{netv}}{2} \cdot (l_{t1} + 2 \cdot t_{ef}) \\ l_{netv} \cdot t_1 \end{array} \right.$$

$$A_{netv} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{230}{2} \cdot (70 + 2 \cdot 25,7) \\ 230 \cdot 76 \end{array} \right.$$

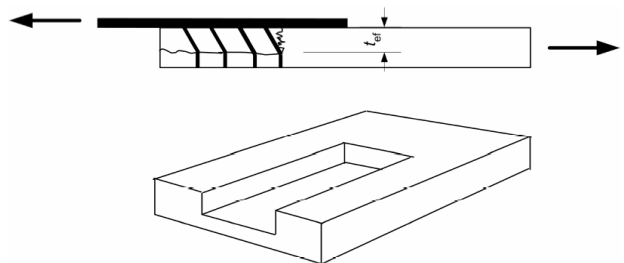
$$A_{netv} = \min \left\{ \begin{array}{l} 13955 \text{ mm}^2 \\ 17480 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$$



Legenda

- 1 Směr vláken
- 2 Čára lomu

[4]



[4]

$$A_{netv} = 13955 \text{ mm}^2$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot A_{netv} \cdot f_{vgk} \\ A_{net,t} \cdot f_{t0gk} \cdot 1,5 \end{array} \right.$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,7 \cdot 13955 \cdot 3,5 \cdot \frac{1}{1000} \\ 5320 \cdot 19,2 \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{1000} \end{array} \right.$$

$$F_{bs,Rk} = \max \left\{ \begin{array}{l} 34,19 \text{ kN} \\ 153,22 \text{ kN} \end{array} \right.$$

$$F_{bs,Rk} = 153,22 \text{ kN}$$

$$F_{bs,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{bsRk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{bs,Rd} = \frac{0,65 \cdot 153,22}{1,25} \cdot 2 = 159,34 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{bs,Rd}} \leq 1 \quad \frac{33,11}{159,34} = 0,21 \leq 1$$

VYHOVUJE

### 5.6.2. Posouzení plechu

$$N_{Ed}^- = 29,35 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^+ = 33,14 \text{ kN}$$

$$b = 160 \text{ mm}$$

šířka plechu

$$t = 8 \text{ mm}$$

tloušťka plechu

$$d = 10 \text{ mm}$$

průměr otvoru

$$A = b \cdot t = 160 \cdot 8 = 1280 \text{ mm}^2$$

plocha průřezu

$$A_{net} = (b - 2 \cdot d) \cdot t = (160 - 2 \cdot 10) \cdot 8 = 1120 \text{ mm}^2$$

plocha oslabeného průřezu

#### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1120 \cdot 360}{1,25} = 290,30 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{33,14}{290,30} = 0,11 \leq 1$$

VYHOVUJE

#### Posouzení na tlak

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1280 \cdot 235}{1,25} = 300,80 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{29,35}{300,80} = 0,10 \leq 1$$

VYHOVUJE

### 5.6.3. Posouzení koutových svarů

Připojení středního plechu spoje ocel-dřevo k čelnímu plechu

$$N_{Ed} = 33,14 \text{ kN}$$

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 160 - 2a = 160 - 6 = 154 \text{ mm}$$

$$A = 2 \cdot a \cdot L = 2 \cdot 3 \cdot 154 = 924 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{33\,140}{924} = 35,87 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N}{\sqrt{2}} = \frac{35,87}{\sqrt{2}} = 25,36 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$\tau_{\parallel} = 0$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{25,36^2 + 3 \cdot 25,36^2 + 3 \cdot 0^2} = 50,72 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360$$

VYHOVUJE

### 5.6.4. Připojení čelních plechů k žeburu

$$F_{Ed} = 2 \cdot 33,14 = 66,28 \text{ kN}$$

návrh 4 svorníky M10, ocel pevnostní třídy 5.8

$$f_{yb} = 400 \text{ MPa}$$

$$f_{ub} = 500 \text{ MPa}$$

$$d = 10 \text{ mm} \quad \text{průměr dřívku svorníku}$$

$$d_0 = 10 \text{ mm} \quad \text{průměr otvoru}$$

$$A = 78,5 \text{ mm}^2 \quad \text{průřezová plocha dřívku šroubu}$$

$$A_s = 58 \text{ mm}^2 \quad \text{plocha jádra šroubu}$$

$$t = 8 \text{ mm} \quad \text{tloušťka plechu}$$

$$n = 4 \text{ mm} \quad \text{počet svorníků}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa} \quad \text{ocel S235}$$

$$F_{Ed,1} = \frac{F_{Ed}}{n} = \frac{66,28}{4} = 16,57 \text{ kN}$$

Únosnost v tahu

$$k_2 = 0,9$$

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 58}{1,25 \cdot 10^3} = 20,88 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \frac{16,57}{20,88} = 0,79 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

Únosnost v protlačení

$$d_m = 20,5$$

$$F_{Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 20,5 \cdot 8 \cdot 360}{1,25 \cdot 10^3} = 89,03 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed,1}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \frac{16,57}{89,03} = 0,19 \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 5.6.5. Svorníkový spoj v místě kotvení

Vnitřní síly působící na spoj:

$$N_{Ed} = 80,12 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 26,72 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{80,12^2 + 26,72^2} = 84,46 \text{ kN}$$

Návrh 4 svorníky M20, ocel pevnostní třídy 8.8

$$f_u = 800 \text{ MPa}$$

$$t_1 = 96 \text{ mm}$$

tloušťka krajního dřevěného

prvku

$$d = 20 \text{ mm}$$

průměr spojovacího kolíku

$$\rho_k = 385 \text{ kg/m}^3$$

$$\alpha = 18,4^\circ$$

úhel odklonu síly od směru vláken

$$k_{90} = 1,3 + 0,015d = 1,3 + 0,015 \cdot 20 = 1,6$$

charakteristická pevnost dřeva v otláčení:

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k$$

$$f_{h,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 20) \cdot 385 = 25,26 \text{ MPa}$$

charakteristická pevnost dřeva v otláčení pro úhel  $\alpha$ :

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,k}}{1,6 \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{25,26}{1,6 \cdot \sin^2 18,4 + \cos^2 18,4} = 22,97 \text{ MPa}$$

charakteristický plastický moment únosnosti v otláčení:

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot f_u \cdot d^{2,6}$$

$$M_{yRk} = 0,3 \cdot 800 \cdot 20^{2,6} = 5,793 \cdot 10^5 \text{ kNm}$$

únosnost jednoho svorníku na jeden stříh:

$$F_{vRk} = \begin{cases} \frac{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \left( \sqrt{2 + \frac{4M_{yRk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot t_1^2 \cdot d}} - 1 \right) \frac{F_{ax,Rk}}{4}} \\ 2,3 \cdot \sqrt{M_{yRk} \cdot f_{h,\alpha,k} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{cases}$$

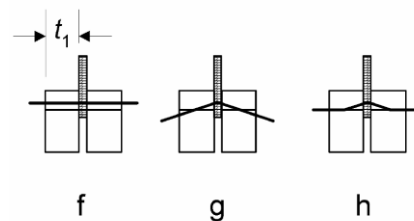
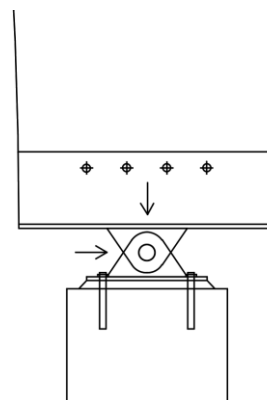
$$F_{vRk} = \begin{cases} \frac{22,97 \cdot 96 \cdot 20 \cdot \frac{1}{1000}}{22,97 \cdot 96 \cdot 20 \cdot \left( \sqrt{2 + \frac{4 \cdot 5,793 \cdot 10^5}{22,97 \cdot 96^2 \cdot 20}} - 1 \right) \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000}} \\ 2,3 \cdot \sqrt{57930 \cdot 10^5 \cdot 22,97 \cdot 20} \cdot 1,25 \cdot \frac{1}{1000} \end{cases}$$

$$F_{vRk} = \begin{cases} 44,10 \text{ kN} \\ 32,86 \text{ kN} \\ 46,90 \text{ kN} \end{cases}$$

$$F_{vRk} = 32,86 \text{ kN}$$

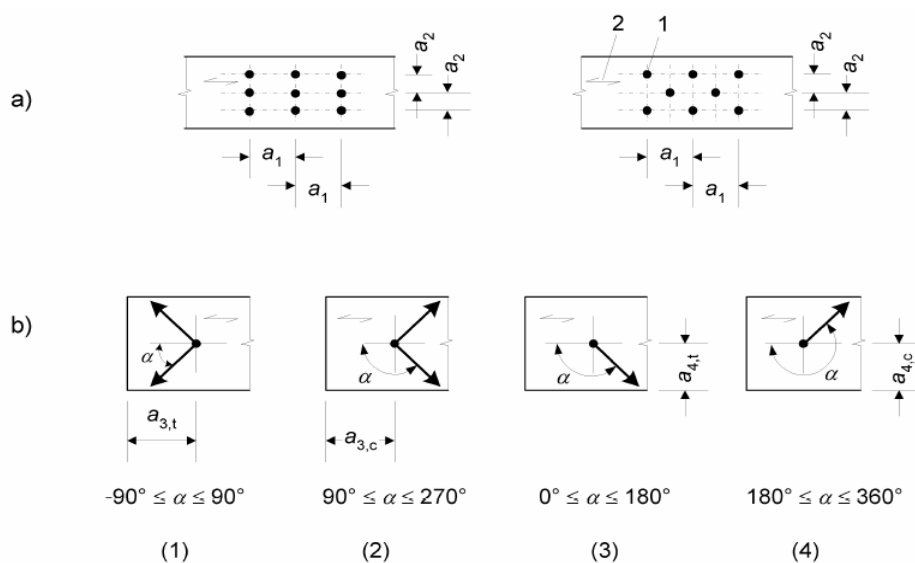
$$k_{mod} = 0,65$$

$$\gamma_m = 1,25$$



[4]

Minimální rozteče a vzdálenosti od okrajů a konců pro svorníky:



#### Legenda

- (1) Zatížený konec
- (2) Nezatížený konec
- (3) Zatížený okraj
- (4) Nezatížený okraj
- 1 Spojovací prostředek
- 2 Směr vláken

[4]

$$a_2 = 4 \cdot d$$

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

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot d; 80)$$

$$\alpha_{3t} = \max(7 \cdot 20; 80) = 140 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin(\alpha), 3 \cdot d)$$

$$\alpha_{4t} = \max(2 + 2 \sin(18,4), 3 \cdot 20) = 60 \text{ mm}$$

#### návrh:

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

$$\alpha_{3t} = 140 \text{ mm}$$

$$\alpha_{4t} = 170 \text{ mm}$$

efektivní počet svorníků v řadě:

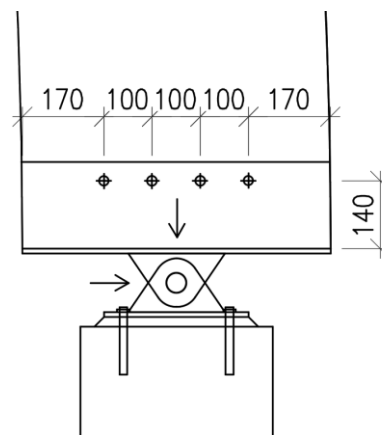
$$n_{ef} = n^{0,9}$$

$$n_{ef} = 4^{0,9} = 3,48$$

návrhová únosnost jednoho svorníku:

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{vRk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,65 \cdot 32,86}{1,25} \cdot 2 = 34,17 \text{ kN} \quad (\text{dva střihy})$$



$$F_{Rd} = n_{ef} \cdot F_{vRd}$$

$$F_{Rd} = 3,48 \cdot 34,17 = 118,99 \text{ kN}$$

posouzení

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1 \quad \frac{84,46}{117,88} = 0,72 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Porušení blokovým smykem

$$f_{v,g,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,g,k} = 19,2 \text{ MPa}$$

$$l_{t1} = 80 \text{ mm}$$

$$l_{t1} = 130 \text{ mm}$$

$$t_{ef} = \min \left\{ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{M_{yRk}}{f_{h,\alpha,k} \cdot d}}, 0,4 \cdot t_1 \right\}$$

$$t_{ef} = \min \left\{ 1,4 \cdot \sqrt{\frac{5793,10 \cdot 10^5}{22,97 \cdot 20}}, 0,4 \cdot 96 \right\}$$

$$t_{ef} = \min \begin{cases} 49,72 \text{ mm} \\ 38,4 \text{ mm} \end{cases}$$

$$t_{ef} = 38,4 \text{ mm}$$

$$A_{net,t} = l_{t1} \cdot t_1 = 80 \cdot 96 = 7680 \text{ mm}^2$$

$$l_{net,v} = 2 \cdot l_{v1}$$

$$l_{netv} = 2 \cdot 130 = 260 \text{ mm}$$

$$A_{netv} = \min \left\{ \frac{l_{netv}}{2} \cdot (l_{t1} + 2 \cdot t_{ef}), l_{netv} \cdot t_1 \right\}$$

$$A_{netv} = \min \left\{ \frac{260}{2} \cdot (80 + 2 \cdot 38,4), 260 \cdot 96 \right\}$$

$$A_{netv} = \min \begin{cases} 20384 \text{ mm}^2 \\ 24960 \text{ mm}^2 \end{cases}$$

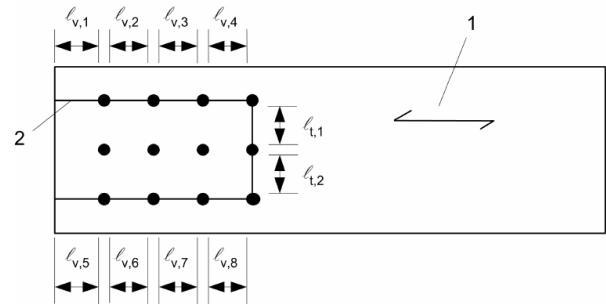
$$A_{netv} = 20384 \text{ mm}^2$$

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 0,7 \cdot A_{netv} \cdot f_{vgk} \\ A_{net,t} \cdot f_{t0gk} \cdot 1,5 \end{cases}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 0,7 \cdot 2,04 \cdot 10^4 \cdot 3,5 \cdot \frac{1}{1000} \\ 7,68 \cdot 10^3 \cdot 19,2 \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{1000} \end{cases}$$

$$F_{bs,Rk} = \max \begin{cases} 49,94 \text{ kN} \\ 221,18 \text{ kN} \end{cases}$$

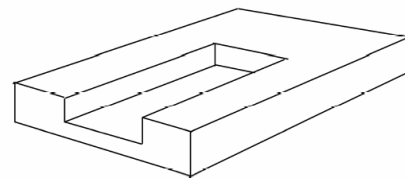
$$F_{bs,Rk} = 221,18 \text{ kN}$$



Legenda

- 1 Směr vláken
- 2 Čára lomu

[4]



[4]

$$F_{bs,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{bsRk}}{\gamma_m} \cdot 2$$

$$F_{bs,Rd} = \frac{0,65 \cdot 221,18}{1,25} \cdot 2 = 230,03 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{bs,Rd}} \leq 1 \quad \frac{84,46}{230,03} = 0,37 \leq 1$$

VYHOVUJE

### 5.6.6. Posouzení koutových svarů

Připojení středního plechu spoje ocel-dřevo k čelnímu plechu

Síly působící na svar:

$$N_{Ed} = 63,02 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\perp} = 31,88 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,\parallel} = 9,6 \text{ kN}$$

Účinná tloušťka a délka svaru:

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$L = 640 - 2a = 640 - 6 = 634 \text{ mm}$$

$$A = 3804 \text{ mm}^2$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

$$\beta_w = 0,8$$

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{63\,020}{3804} = 16,57 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{V\perp} = \frac{V_{Ed,\perp}}{A} = \frac{31\,880}{3804} = 8,38 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_N + \sigma_{V\perp}}{\sqrt{2}} = \frac{16,57 + 8,38}{\sqrt{2}} = 17,64 \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2$$

VYHOVUJE

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,\parallel}}{A} = \frac{9\,600}{3804} = 2,52 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau_{\perp}^2 + 3\tau_{\parallel}^2} = \sqrt{17,64^2 + 3 \cdot 17,64^2 + 3 \cdot 2,52^2} = 35,55 \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2} \cdot \beta_w} = \frac{360}{1,25 \cdot 0,8} = 360$$

VYHOVUJE

## 5.7. Kotvení

### 5.7.1. Návrh a posouzení kotevního čepu

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{m0} = 1$$

$$\gamma_{m2} = 1,25$$

Vnitřní síly působící na čep:

$$R_z = 84,95 \text{ kN}$$

$$R_x = 13,78 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_z^2}$$

$$F_{Ed} = \sqrt{13,78^2 + 84,95^2} = 86,06 \text{ kN}$$

### Geometrie

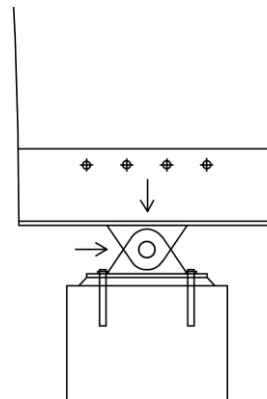
Návrh tloušťky plechu:

$$t_{min} = \sqrt{\frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{m2}}{f_{yk}}}$$

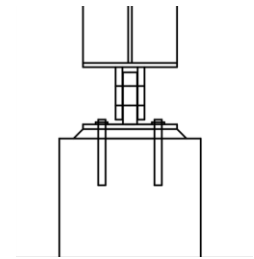
$$t_{min} = \sqrt{\frac{86,06 \cdot 1000 \cdot 1,25}{235}} = 21,40 \text{ mm}$$

$$t = 30 \text{ mm} \quad 30 > 21,40$$

$$2,5t = 75 \text{ mm}$$



VYHOVUJE



Návrh velikosti čepu:

$$d_b = 40 \text{ mm} \quad d_b < 2,5t \quad 40 < 75$$

$$d_0 = d_b + 1$$

$$d_0 = 40 + 1 = 41 \text{ mm}$$

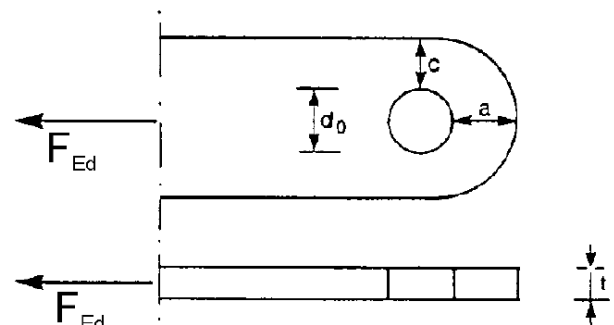
VYHOVUJE

$$a_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{2t \cdot f_{yk}} + 2 \cdot \frac{d_0}{3}$$

$$a_{min} = \frac{86,06 \cdot 1}{2 \cdot 30 \cdot 235} + 2 \cdot \frac{41}{3} = 33,44 \text{ mm}$$

$$c_{min} = \frac{F_{Ed} \cdot \gamma_{m0}}{2t \cdot f_{yk}} + \frac{d_0}{3}$$

$$c_{min} = \frac{86,06 \cdot 1}{2 \cdot 30 \cdot 235} + \frac{41}{3} = 19,77 \text{ mm}$$



[3]

Návrh rozměrů a, c:

$$a = 35 \text{ mm} \quad a > a_{min} \quad 35 > 33,44$$

$$c = 38 \text{ mm} \quad c > c_{min} \quad 43 > 19,77$$

VYHOVUJE

VYHOVUJE

### Posouzení na střih

$$A = \frac{\pi \cdot d_b^2}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} = 1257 \text{ mm}^2$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A \cdot f_u}{\gamma_{m2}}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot 1257 \cdot 360}{1,25} \cdot \frac{1}{1000} = 217,15 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} = \frac{86,06}{217,15} = 0,396 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{vRd}} \leq 1$$

VYHOVUJE



### Posouzení plechu a čepu v otláčení

$$F_{bRd} = \frac{1,5 \cdot t \cdot d_b \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}}$$

$$F_{bRd} = \frac{1,5 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 235}{1} \cdot \frac{1}{1000} = 423 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} = \frac{86,06}{423} = 0,203 \quad \frac{F_{Ed}}{F_{bRd}} \leq 1$$

### Posouzení v ohybu

$$c = 1 \text{ mm}$$

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

$$b = 30 \text{ mm}$$

$$M_{Ed} = \frac{F_{Ed}}{8} \cdot (b + 4c + 2a)$$

$$M_{Ed} = \frac{86,06}{8} \cdot (40 + 4 \cdot 1 + 2 \cdot 15) \cdot \frac{1}{1000} = 0,688 \text{ kNm}$$

$$W_{el} = \frac{\pi \cdot d_b^3}{32}$$

$$W_{el} = \frac{3,14 \cdot 40^3}{32} \cdot 10^{(-9)} = 6,283 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$f_{yk} = 235 \text{ MPa}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yk}}{\gamma_{m0}}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot 6,283 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1} \cdot \frac{1}{1000} = 2,21 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{0,688}{2,21} = 0,31$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1$$

vyhovuje

### Posouzení na kombinaci střihu a ohybu

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2 = \left(\frac{0,688}{2,21}\right)^2 + \left(\frac{86,06}{217,15}\right)^2 = 0,25$$

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{Ed}}{F_{vRd}}\right)^2 \leq 1 \quad \text{vyhovuje}$$

### Posouzení svislých plechů

Vnitřní síly působící na plech:

$$N_{Ed}^- = 84,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed}^+ = 66,34 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 26,72 \text{ kN}$$

$$b = 127 \text{ mm}$$

šířka plechu

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

tloušťka plechu

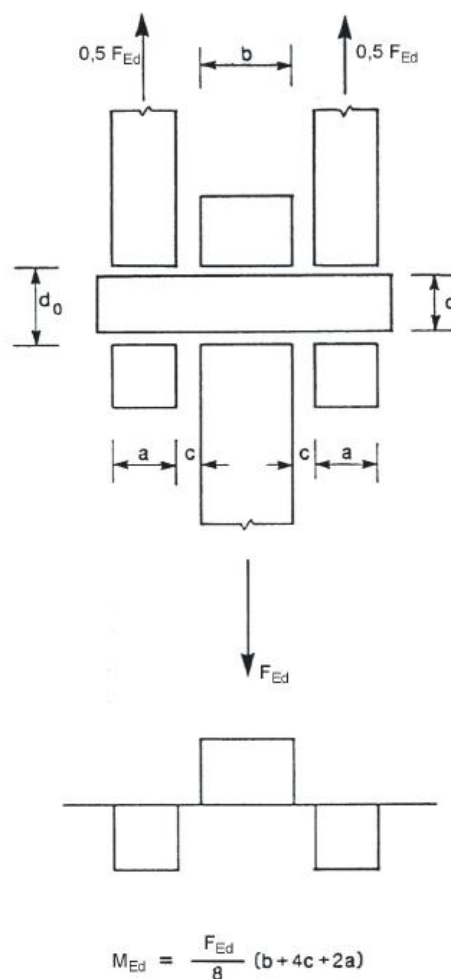
$$d = 41 \text{ mm}$$

průměr otvoru

$$A = b \cdot t = 127 \cdot 15 = 1905 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = (b - d) \cdot t = (127 - 41) \cdot 15 = 1290 \text{ mm}^2$$

$$A_v = (b - d) \cdot \frac{t}{2} = (127 - 41) \cdot \frac{15}{2} = 645 \text{ mm}^2$$



[3]

plocha průřezu

oslabená plocha průřezu

smyková plocha průřezu

### Posouzení na tah v oslabeném průřezu

$$N_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1290 \cdot 360}{1,25} = 334,4 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{66,34}{334,4} = 0,20 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na smyk

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{645 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1} = 87,51 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{26,72}{87,51} = 0,31 \leq 1$$

VYHOVUJE

### Posouzení na vzpěrný tlak

vzpěrná délka

$$L_{cr} = \beta \cdot L = 2 \cdot 65 = 130 \text{ mm}$$

$\beta = 2$  vetknutí

$$i = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot t^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 15^2} = 4,33 \text{ mm}$$

štíhlost:

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{130}{4,33} = 30,02$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9$$

poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{30,02}{93,9} = 0,32$$

Křivka vzpěrné pevnosti c

$$\alpha = 0,49$$

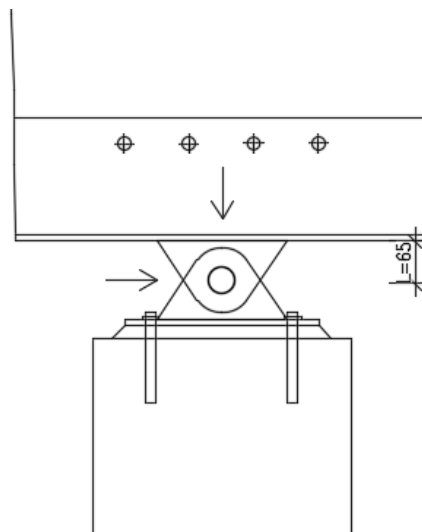
$$\phi = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2) = 0,5(1 + 0,49(0,32 - 0,2) + 0,32^2) = 0,56$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 + \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,56 + \sqrt{0,56^2 + 0,32^2}} = 0,97 \quad \text{součinitel vzpěrnosti}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,97 \cdot 1905 \cdot 235}{1,25} = 447,68 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{84,95}{412,43} = 0,19 \leq 1$$

VYHOVUJE



### 5.7.2. Posouzení kotevních šroubů

návrh: 4x kotevní šroub HILTI HAS-U 5.8 M16

+ lepicí hmota HIT-HY 200

Efektivní kotevní hloubka 125 mm

$$N_{rec} = 23,9 \text{ kN} \quad \text{největší dovolené namáhání v tahu}$$

$$N_{Ed} = 66,34 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} = \frac{66,34}{4 \cdot 23,9} = 0,69 \quad \frac{N_{Ed}}{4N_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

$$V_{rec} = 22,3 \text{ kN}$$

největší dovolené namáhání ve smyku

$$V_{Ed} = \sqrt{31,88^2 + 9,6^2} = 33,29 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} = \frac{33,29}{4 \cdot 22,3} = 0,37 \quad \frac{V_{Ed}}{4V_{rec}} \leq 1 \quad \text{VYHOVUJE}$$

### 5.7.3. Návrh a posouzení patního plechu

rozměry patního plechu:

$$a = 300 \text{ mm}$$

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

$$t = 10 \text{ mm}$$

Ocel S235

$$f_{yd} = 235 \text{ MPa}$$

rozměry betonové patky

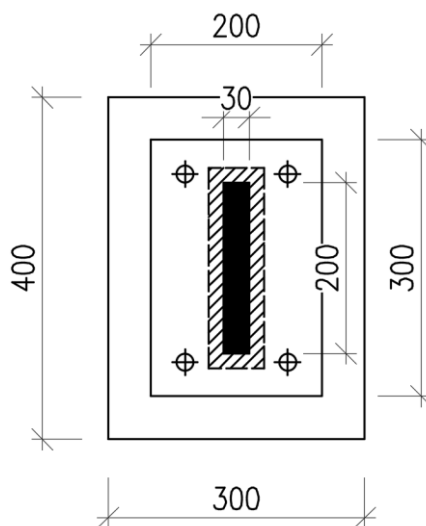
$$A = 400 \text{ mm}$$

$$B = 300 \text{ mm}$$

beton C20/25

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1,5} = 13,333 \text{ MPa}$$



$$A_{c0} = a \cdot b$$

$$A_{c0} = 300 \cdot 200 = 6 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_{c1} = 3a \cdot 3b$$

$$A_{c1} = 3 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 200 = 5,4 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$f_{Rdu} = f_{cd} \cdot \sqrt{\frac{A_{c1}}{A_{c0}}}$$

$$f_{Rdu} = 13,333 \cdot \sqrt{\frac{5,4 \cdot 10^5}{6 \cdot 10^4}} = 40 \text{ MPa} \leq 3 \cdot f_{cd} = 40 \text{ MPa}$$

Návrhová pevnost betonu pod patkou:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot f_{Rdu}$$

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot 40 = 26,667 \text{ MPa}$$

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

účinná délka konzoly

$$c = 10 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 26,667}} = 17,139 \text{ mm}$$

$$A_{eff} = 15059 \text{ mm}^2$$

účinná plocha

