



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

B – STATICKÝ VÝPOČET

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Kerouš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JINDŘICH MELCHER,
DrSc.

BRNO 2017

Obsah

1.	Průvodní informace	4
2.	Dispozice	5
2.1.	Příčný řez – varianta A	5
2.2.	Příčný řez – varianta B	5
2.3.	Půdorys – varianta A i B	6
3.	Zatížení	7
3.1.	Zatížení stálé	7
3.2.	Klimatická zatížení	7
3.2.1.	Zatížení větrem – tlak a sání větru na střešní plášť	7
3.2.2.	Zatížení větrem – tření větru	10
3.2.3.	Zatížení vazníku tlakem větru na příhradovou konstrukci	10
3.2.4.	Zatížení sněhem	12
3.3.	Zatížení užité	12
3.4.	Kombinace a součinitele zatížení	13
3.4.1.	Kombinační rovnice pro MSÚ	13
3.4.2.	Kombinační rovnice pro MSP	13
4.	Střešní plášť a vaznice	14
4.1.	Střešní plášť	14
4.1.1.	Zatížení a kombinace zatížení	14
4.1.2.	Návrh trapézového plechu	15
4.2.	Vaznice	17
4.2.1.	Schéma vaznice	17
4.2.2.	Zatížení a kombinace zatížení $z_s = 2,3m$ a $\varphi = 0,702$	17
4.2.3.	Vnitřní síly – ruční výpočet	18
4.2.4.	Zatížení a kombinace zatížení $z_s = 2,65m$ a $\varphi = 0,000$	19
4.2.5.	Vnitřní síly	20
4.2.6.	Vnitřní síly – výsledky ze softwaru	21
4.2.7.	Vnitřní síly – dimenzační	24
4.2.8.	MSÚ - návrh a posouzení vaznice	24
4.2.9.	MSP – posouzení vaznice	29
4.2.10.	Vnitřní síly – okapová vaznice	30
4.2.11.	MSÚ - návrh a posouzení okapové vaznice	30
4.2.12.	MSP – posouzení okapové vaznice	31
5.	Varianta A - příhradový vazník	32
5.1.	Schéma vazníku	32
5.2.	Zatížení a kombinace zatížení	33
5.3.	Návrh a posouzení jednotlivých prvků vazníku na MSÚ	35
5.3.1.	Horní pás vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)	35
5.3.2.	Horní pás vazníku – MSÚ – návrh a posouzení	36
5.3.3.	Dolní pás vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)	38
5.3.4.	Dolní pás vazníku – MSÚ – návrh a posouzení	39
5.3.5.	Diagonály v převislé části vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)	41
5.3.6.	Diagonály v převislé části vazníku – MSÚ – návrh a posouzení	42
5.3.7.	Diagonály v části nad zázemím – vnitřní síly (výsledky ze SW)	43
5.3.8.	Diagonály v části nad zázemím – MSÚ – návrh a posouzení	44
5.3.9.	Diagonály stojky – vnitřní síly (výsledky ze SW)	45
5.3.10.	Diagonály stojky – MSÚ – návrh a posouzení	45
5.3.11.	Primární stojka střední podpory a svislice nad ní – vnitřní síly (výsledky ze SW)	46
5.3.12.	Primární stojka střední podpory – MSÚ – návrh a posouzení	47
5.3.13.	Svislice nad primární stojkou – MSÚ – návrh a posouzení	48
5.3.14.	Sekundární stojka střední podpory – vnitřní síly (výsledky ze SW)	49
5.3.15.	Sekundární stojka střední podpory – MSÚ – návrh a posouzení	50
5.3.16.	Krajní stojka – vnitřní síly (výsledky ze SW)	51

5.3.17.	Krajní podpora – MSÚ – návrh a posouzení	52
5.3.18.	Svislice – vnitřní síly (výsledky ze SW)	53
5.3.19.	Svislice – MSÚ – návrh a posouzení	54
5.4.	Návrh a posouzení celého vazníku na MSP	55
6.	Varianta B - plnostěnný vazník	56
6.1.	Schéma vazníku	56
6.2.	Zatížení a kombinace zatížení	57
6.3.	Návrh a posouzení jednotlivých prvků vazníku na MSÚ	59
6.3.1.	Plnostěnný vazník – vnitřní síly (výsledky ze SW)	59
6.3.2.	Plnostěnný vazník – vnitřní síly (přehled v tabulce)	61
6.3.3.	Posouzení - řez (vpravo)	62
6.3.4.	Posouzení - řez 1 (vlevo)	64
6.3.5.	Posouzení - řez 2	65
6.3.6.	Posouzení - řez 3	66
6.3.7.	Posouzení - řez 4	67
6.3.8.	Posouzení - řez 5	68
6.3.9.	Posouzení - řez 6	69
6.3.10.	Posouzení - řez 7	70
6.3.11.	Posouzení - řez 8	71
6.3.12.	Posouzení - řez 10	72
6.3.13.	Posouzení - řez 11	73
6.3.14.	Posouzení - řez 12	74
6.3.15.	Návrh a posouzení - řez 14	75
6.3.16.	Návrh a posouzení - řez 15	79
6.4.	Návrh a posouzení celého vazníku na MSP	80
7.	Porovnání variant	81
8.	Varianta A – ověření styčnicků podle ČSN-EN-1993-1-8	84
8.1.	Schéma ověřovaných styčnicků	84
8.2.	Styčnick A	84
8.2.1.	Parametry prvků	84
8.2.2.	Posouzení dle <i>tabulky 7.21</i>	85
8.3.	Styčnick B	87
8.3.1.	Parametry prvků	87
8.3.2.	Posouzení dle <i>tabulky 7.2</i>	88
8.3.3.	Doplňující posouzení podle <i>tabulky 7.6</i>	89
8.4.	Styčnick C	91
8.4.1.	Parametry prvků	91
8.4.2.	Posouzení dle <i>tabulky 7.2</i>	92
8.4.3.	Posouzení dle <i>tabulky 7.2</i> – styčnickový plech	94
8.5.	Styčnick D	95
8.5.1.	Parametry prvků	95
8.5.2.	Posouzení dle <i>tabulky 7.2</i>	96
8.6.	Styčnick E	97
8.6.1.	Parametry prvků	97
8.6.2.	Posouzení dle <i>tabulky 7.2</i> – styčnickový plech	97
9.	Varianta A – rozdělení na montážní celky a výpočet montážních spojů	98
9.1.	Schéma montážních celků	98
9.2.	Styčnick A – připojení diagonály nad zázemím	99
9.2.1.	Schéma	99
9.2.2.	Vnitřní síly a únosnost průřezu	99
9.2.3.	Šroubový přípoj – návrh a posouzení	99
9.2.4.	Oslabený průřez – posouzení	100
9.2.5.	Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce	100
9.2.6.	Návrh a posouzení přívaru přípojných plechů k čelní desce	101
9.2.7.	Návrh a posouzení přívaru styčnickového plechu	101
9.3.	Styčnick C – připojení diagonály převislé části	102
9.3.1.	Schéma	102

9.3.2.	Vnitřní síly a únosnost průřezu	102
9.3.3.	Šroubový přípoj – návrh a posouzení.....	103
9.3.4.	Oslabený průřez – posouzení	103
9.3.5.	Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce	104
9.3.6.	Návrh a posouzení přívaru přípojných plechů k čelní desce	104
9.3.7.	Návrh a posouzení přívaru styčnickového plechu	105
9.4.	Horní pás průřezu I – montážní spoj	106
9.4.1.	Schéma	106
9.4.2.	Vnitřní síly a únosnost průřezu	106
9.4.3.	Šroubový přípoj – návrh a posouzení.....	106
9.4.4.	Oslabený průřez I profilu – posouzení	107
9.4.5.	Oslabený průřez příločky – posouzení	108
9.5.	Dolní pás z CHS trubky – montážní spoj.....	108
9.5.1.	Schéma	108
9.5.2.	Vnitřní síly a únosnost průřezu	108
9.5.3.	Šroubový přípoj – návrh a posouzení.....	108
9.5.4.	Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce	109
10.	Varianta A – návrh a posouzení svarových přípojí mezipásových prvků k pásům vazníků	110
10.1.	Svarový přípoj diagonál nad převislou částí vazníku.....	111
10.2.	Svarový přípoj diagonál nad zázemím	112
10.3.	Svarový přípoj svislice nad primární stojkou	113
10.4.	Svarový přípoj svislic	114
10.5.	Svarový přípoj primární stojky	115
10.6.	Svarový přípoj sekundární stojky	116
10.7.	Svarový přípoj diagonál stojk	118
11.	Ztužidla	119
11.1.	Svislá podélná ztužidla	119
11.1.1.	schéma	119
11.2.	Návrh a posouzení jednotlivých prvků svislého podélného ztužidla	120
11.2.1.	Horní pás ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW).....	120
11.2.2.	Horní pás ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení	120
11.2.3.	Dolní pás ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)	121
11.2.4.	Dolní pás ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení.....	121
11.2.5.	Diagonála ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)	122
11.2.6.	Diagonála ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení	123
11.2.7.	Svislice ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW).....	124
11.2.8.	Diagonála ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení	124
11.3.	Podélné a příčné ztužidlo v rovině střechy	125
11.3.1.	schéma	125
11.4.	Návrh a posouzení jednotlivých prvků podélného a příčného ztužidla	126
11.5.	Příčné ztužidlo – vnitřní síly (výsledky ze SW).....	126
11.5.1.	Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení	126
11.6.	Podélné ztužidlo – vnitřní síly (výsledky ze SW)	127
11.6.1.	Podélné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení	127
11.7.	Návrh a posouzení ztužení krajní stojky	129
11.8.	Ztužení krajní stojky– vnitřní síly (výsledky ze SW).....	129
11.8.1.	Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení	129
11.9.	Návrh a posouzení ztužení vnitřní stojky	130
11.10.	Ztužení vnitřní stojky – vnitřní síly (výsledky ze SW)	130
11.10.1.	Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení.....	130
12.	Kotvení.....	131
12.1.	Schéma.....	131
12.2.	Kotvení středové stojky	131
12.3.	Kotvení krajní stojky.....	133

1. Průvodní informace

V tomto statickém výpočtu jsou navrženy a posouzeny všechny hlavní části nosné konstrukce zastřešení tribuny fotbalového stadionu. Tribuna je zastřešena v délce 82,8m a šířce 29,0m.

Základní rozměry tribuny a konstrukční uspořádání vycházejí ze zadání na vypracování výkresové dokumentace a z podkladů, které poskytla projekční kancelář *HT Steel*.

V první části statického výpočtu je stanoveno zatížení na konstrukci podle normy *ČSN EN 1991-1 - Zatížení*. Konstrukce je zatížena vlastní tíhou, sněhem (rovnoměrným i nerovnoměrným), větrem (konstrukce je uvažována jako přístřešek z části zaplněný) a montážním zatížením.

Konstrukce zastřešení je navržena a posouzena ve dvou variantách. Varianta A je navržena jako trubkový příhradový vazník s osovou vzdáleností 4,6m. Varianta B je navržena jako částečně rámový plnostěnný vazník svařovaného I průřezu, jehož osová vzdálenost v konstrukci je rovněž 4,6m.

Oba vazníky jsou navrženy ve stejných osových vzdálenostech a s stejným sklonem. Pro obě varianty vazníku je tedy navržen stejný střešní plášť z trapézového plechu a stejná vaznice z válcovaného profilu IPE200.

Obě varianty vazníků jsou v části *7. Porovnání variant* porovnány podle několika kritérií: pracnosti, architektonického ztvárnění konstrukce a především hmotnosti.

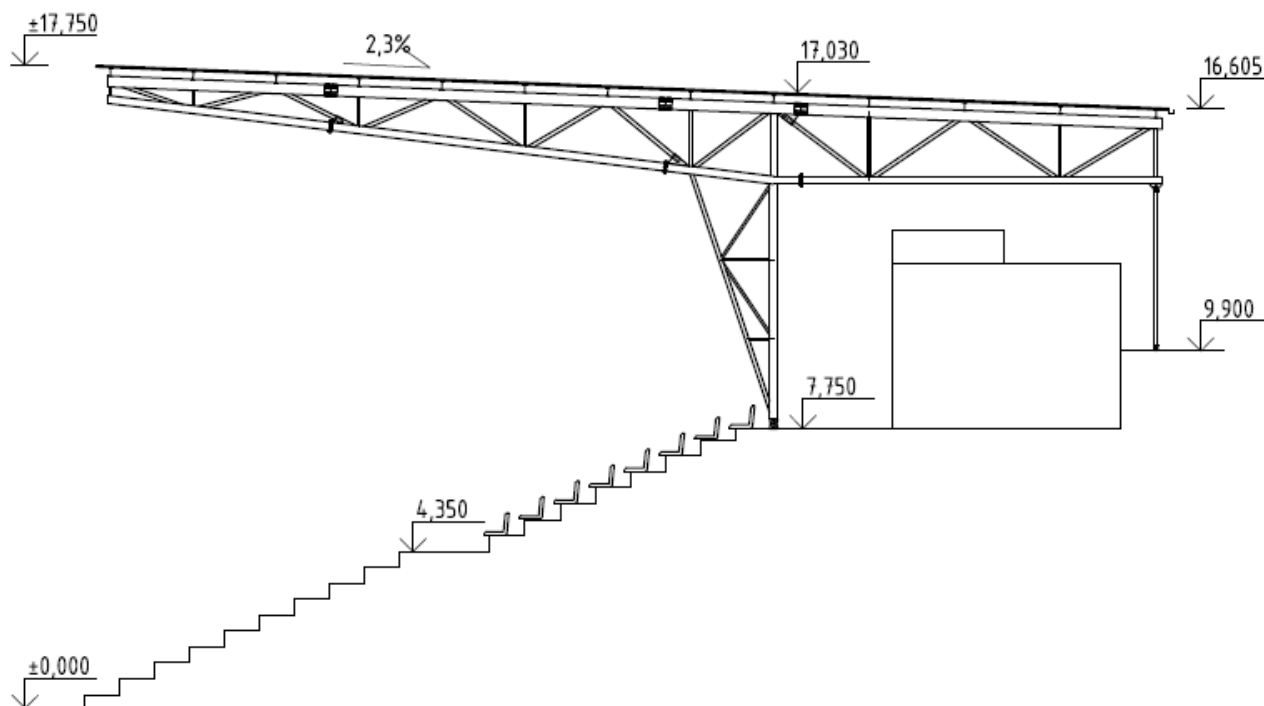
V následujících částech práce jsou podrobněji rozpracovány detaily vybrané varianty.

Pro daný vazník jsou posouzeny styčníky ve smyslu normy *ČSN-EN-1993-1-8 - Navrhování styčnicků* a jejich svarové přípoje. Dále jsou navrženy a posouzeny montážní spoje konstrukce a její kotvení.

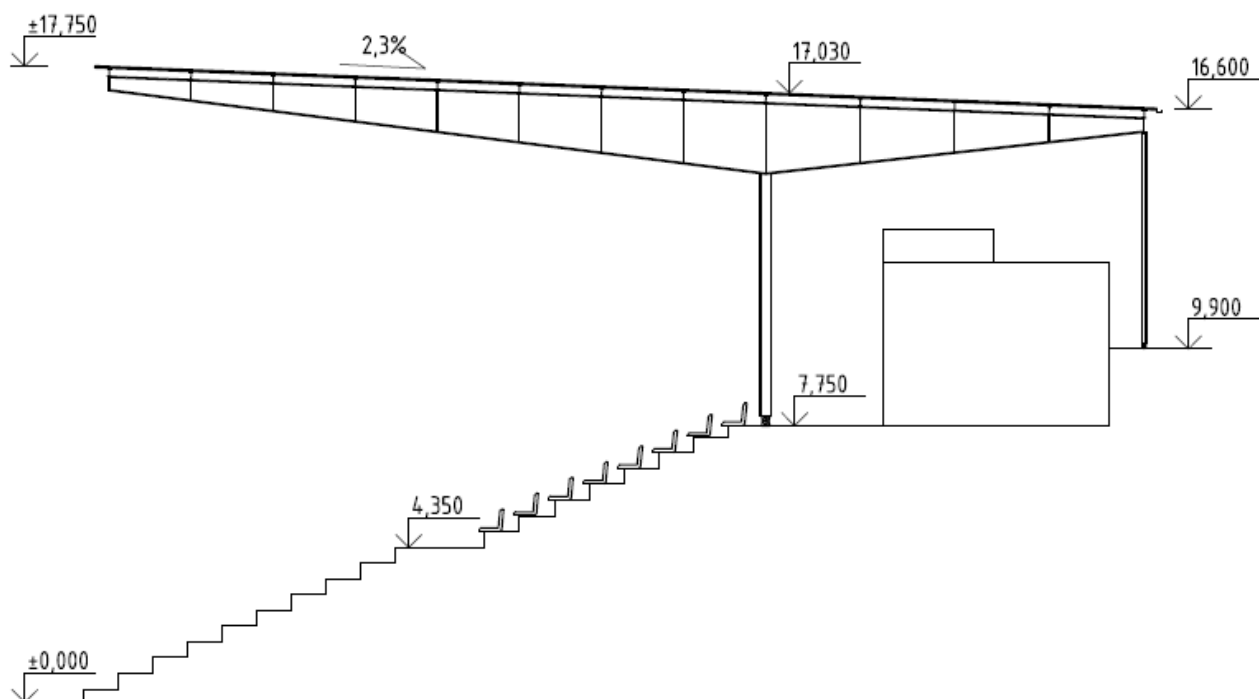
Nedílnou součástí výpočtu konstrukce jsou větrová ztužidla, která budou zpracována pro vybranou variantu.

2. Dispozice

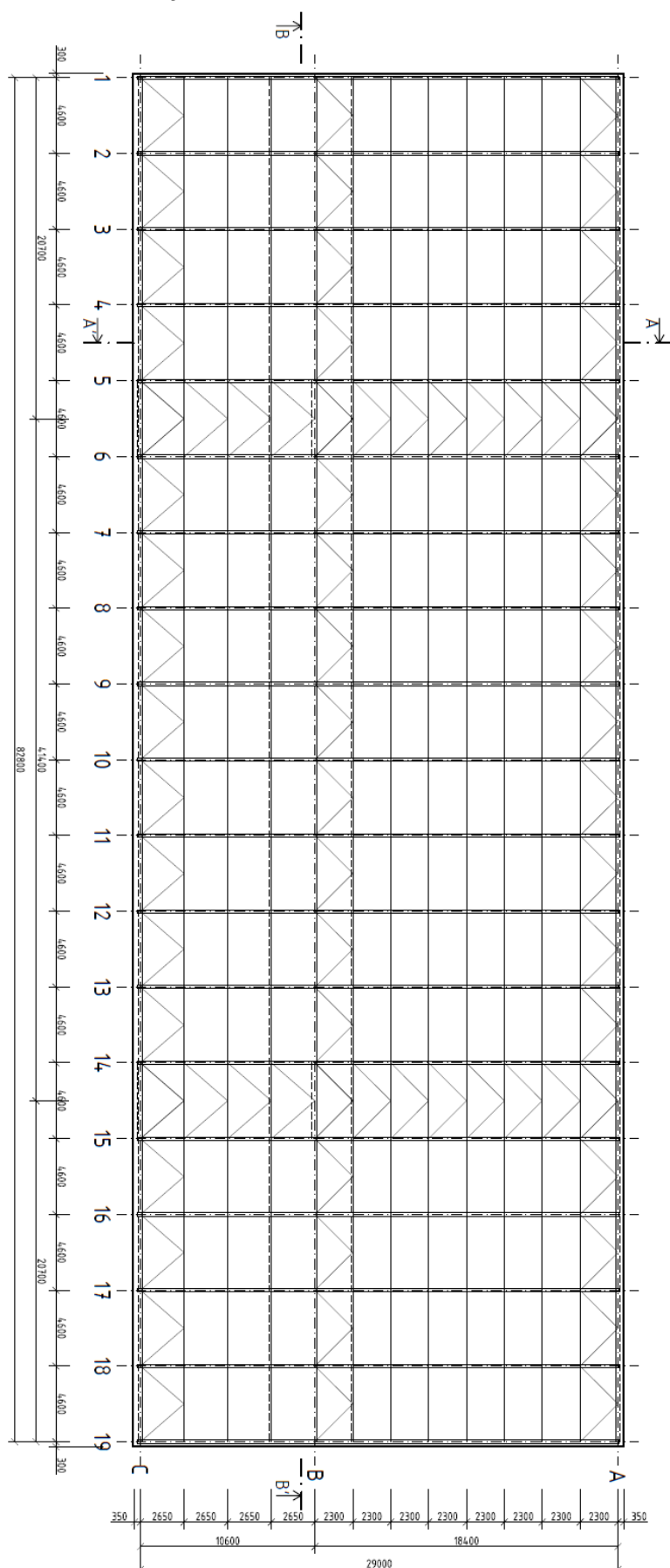
2.1. Příčný řez – varianta A



2.2. Příčný řez – varianta B



2.3. Půdorys – varianta A i B



3. Zatížení

3.1. Zatížení stálé

	<i>tl. [m]</i>	<i>kN/m³</i>	<i>kN/m²</i>
<i>trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm</i>			<i>0,061</i>
<i>stálé zatížení g_k'</i>			<i>0,061</i>

Viz. 4.1.3. Návrh trapézového plechu

3.2. Klimatická zatížení

3.2.1. Zatížení větrem – tlak a sání větru na střešní plášť

Větrová oblast II ($v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$)

Základní rychlost větru

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

$v_{b,0}$ základní rychlost větru podle větrové oblasti

c_{season} součinitel ročního období

c_{dir} součinitel směru větru

Charakteristická střední rychlost větru

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,878 \cdot 1 \cdot 25 = 20,95 \text{ m/s}$$

$c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,215 \cdot \ln\left(\frac{17,8}{0,3}\right) = 0,878$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0III}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,3}\right)^{0,07} = 0,215$$

$c_0(z)$ součinitel orografie

Maximální dynamický tlak větru

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot I_v(z)) \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m(z)^2$$

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,245) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20,95^2 = 0,745 \text{ kN/m}^2$$

ρ hustota vzduchu

$(1 + 7 \cdot I_v(z))$ vliv turbulencí

$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{17,8}{0,3}\right)} = 0,245$$

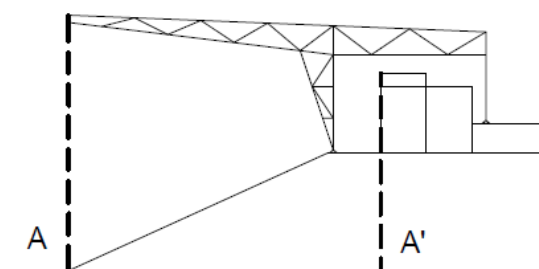
k_t součinitel turbulence

$c_0(z)$ součinitel expozice

Tlak větru na vnější povrch konstrukce

Výpočet zatížení větrem na vnější konstrukci je uvažován dle normy ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení větrem*. Konstrukce je uvažována jako přístřešek a výpočet je tedy proveden dle kapitoly **7.3 Přístřešky** výše uvedené normy.

Byl stanoven součinitel plnosti φ z poměru možných překážek pod přístřeškem a průřezu pod přístřeškem.



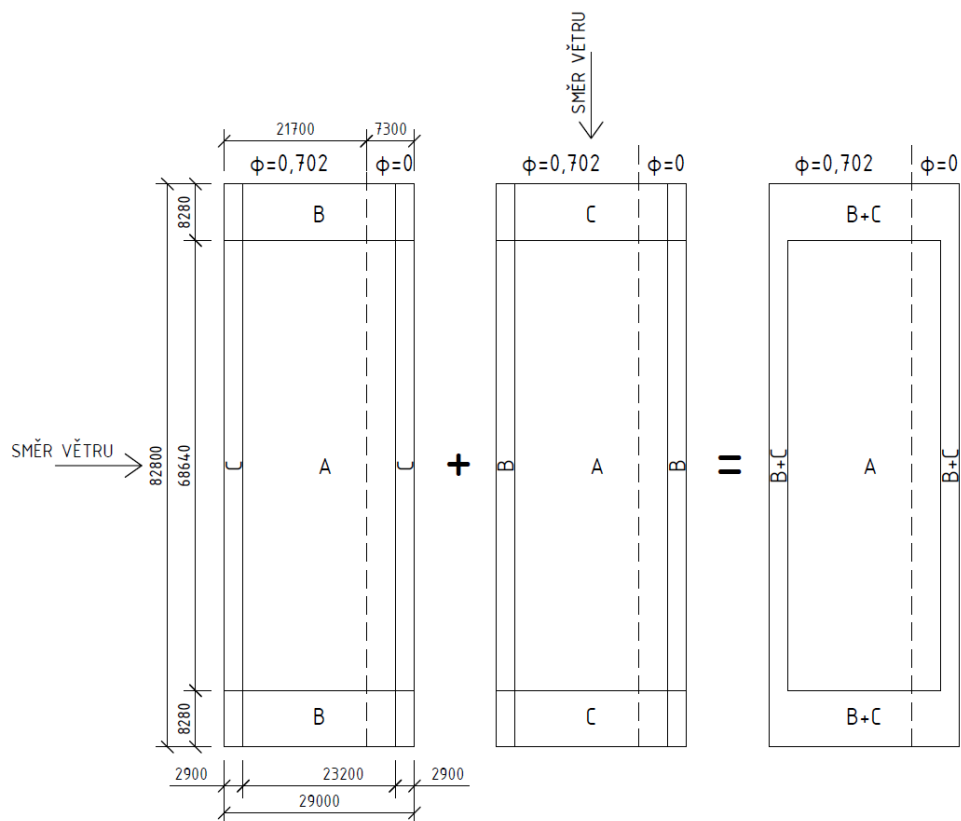
$$A = 15251,81m^2$$

$$A' = 10708,43m^2$$

$$\varphi = \frac{A'}{A} = \frac{10708,43}{15251,81} = 0,702$$

Z tabulky 7.6 byly interpolací určeny hodnoty součinitelů pro střechu se sklonem $\alpha = 2,3^\circ$ a pro součinitel plnosti $\varphi = 0,702$.

Úhel sklonu střechy α		Součinitel celkové síly C_t	Oblast A	Oblast B	Oblast C
0°	Maximum všech φ	0,2	0,5	1,8	1,1
	<i>Minimum $\varphi=0$</i>	-0,5	-0,6	-1,3	-1,4
	Minimum pro $\varphi=0,702$	-1,06	-1,23	-1,65	-1,96
	<i>Minimum $\varphi=1$</i>	-1,3	-1,5	-1,8	-2,2
2,3°	Maximum všech φ	0,292	0,638	1,938	1,192
	Minimum pro $\varphi=0$	-0,59	-0,83	-1,48	-1,58
	Minimum pro $\varphi=0,702$	-1,12	-1,33	-1,84	-2,11
5°	Maximum všech φ	0,4	0,8	2,1	1,3
	<i>Minimum $\varphi=0$</i>	-0,7	-1,1	-1,7	-1,8
	Minimum pro $\varphi=0,702$	-1,19	-1,45	-2,05	-2,29
	<i>Minimum $\varphi=1$</i>	-1,4	-1,6	-2,2	-2,5



Obecně pro střechy přístřešků: $w_e = q_p(z) \cdot c_{p,net} \left[\text{kN} / \text{m}^2 \right]$

$$b = 82,80\text{m} \quad b/10 = 8,28\text{m}$$

$$d = 29,00\text{m} \quad d/10 = 2,90\text{m}$$

φ	Oblast	$q_p(z)$ [kN/m ²]	Min $c_{p,net}$	Max $c_{p,net}$	Min w_e [kN/m ²]	Max w_e [kN/m ²]
0,702	A	0,745	-1,33	0,638	-0,993	0,475
	B+C	0,745	-2,11	1,938	-1,574	1,444
0,000	A	0,745	-0,83	0,638	-0,618	0,475
	B+C	0,745	-1,58	1,938	-1,083	1,444

$\phi=0,000$	<div> <div>+1,444 kN/m²</div> <div>-1,180 kN/m²</div> </div>	<div> <div>+0,475 kN/m²</div> <div>-0,618 kN/m²</div> </div>	<div> <div>+1,444 kN/m²</div> <div>-1,180 kN/m²</div> </div>
$\phi=0,702$	<div> <div>+1,444 kN/m²</div> <div>-1,574 kN/m²</div> </div>	<div> <div>+0,475 kN/m²</div> <div>-0,933 kN/m²</div> </div>	<div> <div>+1,444 kN/m²</div> <div>-1,574 kN/m²</div> </div>

3.2.2. Zatížení větrem – tření větru

$$b = 82,80m \quad d = 29,00m$$

$$A = b \cdot d = 82,80 \cdot 29,00 = 2488,2m^2 \quad \text{plocha střechy}$$

$$A_{fr} = 2A = 2488,2 \cdot 2 = 4976,4m^2 \quad \text{referenční plocha střechy}$$

$$C_{fr} = 0,04 \quad \text{součinitel tření pro velice hrubé povrchy}$$

$$F_{fr} = c_{fr} \cdot q_p(z) \cdot A_{fr} = 0,04 \cdot 0,745 \cdot 4976,4 = 148,30kN \quad \text{celková třecí síla}$$

$$f_{fr} = \frac{F_{fr}}{A} = \frac{148,30}{2488,20} = 0,06kN / m^2 \quad \text{třecí síla na } 1m^2 \text{ střechy}$$

3.2.3. Zatížení vazníku tlakem větru na příhradovou konstrukci

Zatížení tlakem větru na příhradovou konstrukci je spočítáno dle normy ČSN EN 1991-1-4 *Zatížení větrem* kapitoly **7.9 Kruhové válce**. Skutečnost, že horní pás je tvořen I profilem je v tomto případě zanedbána a nebude mít zásadní vliv na velikost zatížení. Zatížení na plnostěnnou konstrukci varianty B zde není zpracována, jelikož varianta B není dále podrobněji rozpracována.

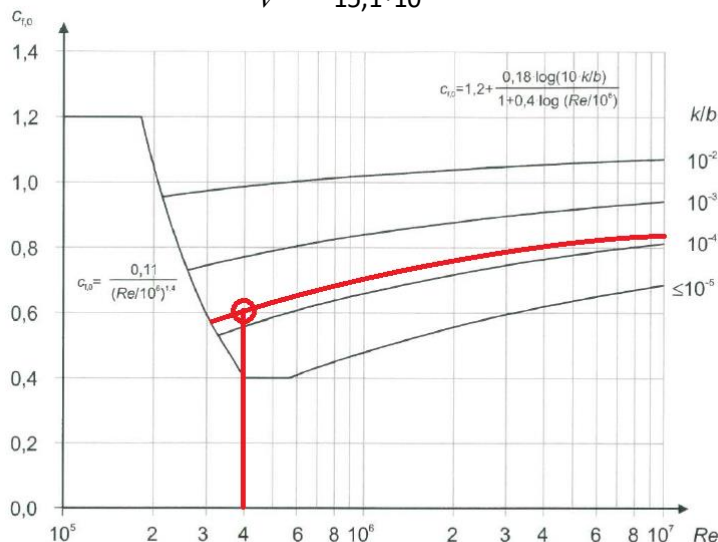
$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_{p(z)}}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 745}{1,25}} = 34,53m / s \quad \text{rychlost větru}$$

$$\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} m^2 / s \quad \text{kinematická viskozita}$$

$$b = \frac{29,01 \cdot 0,3 + 29,12 \cdot 0,219 + 21,15 \cdot 0,101 + 12,78 \cdot 0,101 + 2,0 \cdot 0,177}{130,6} + \frac{6,6 \cdot 0,219 + 7,25 \cdot 0,101 + 4,44 \cdot 0,1 + 18,16 \cdot 0,063}{130,6} = 0,173m$$

střední průměr prvku

$$Re = \frac{v \cdot b}{\nu} = \frac{34,53 \cdot 0,173}{15,1 \cdot 10^{-6}} = 3,96 \cdot 10^5 \quad \text{Reynoldsovo číslo}$$



pro: $k = 0,02mm$ - stříkaný nátěr

$$b = 150mm$$

$$\frac{k}{b} = \frac{0,02}{150} = 1,33 \cdot 10^{-4}$$

$$c_{f,0} = 0,60 \quad \text{součinitel síly}$$

Obrázek 7.28 – Součinitel síly $c_{f,0}$ pro kruhové válce bez vlivu proudění kolem volných konců a pro různé ekvivalentní drsnosti k/b

$$\psi_{\lambda} = 1,0 \quad \text{součinitel koncového efektu} \quad \text{pro:} \quad \alpha = 0,0^{\circ}$$

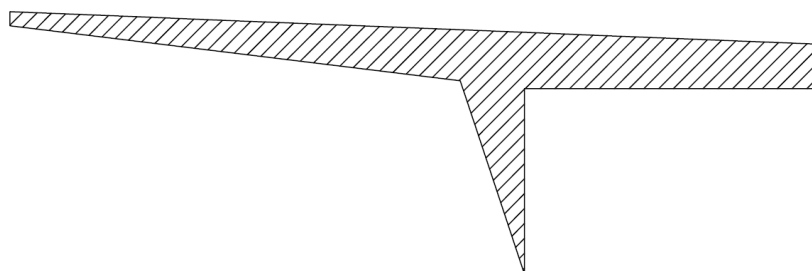
Redukce podle 7.9.3 Součinitele síly pro svislé válce v řadě:

$$a/b = 4,6/0,173 = 26,59 \quad 3,5 \leq 26,59 \leq 30$$

$$\kappa = \frac{210 - a/b}{180} = \frac{210 - 26,59}{180} = 1,02 \quad \text{podle tab. 7.14 pro } a/b \geq 30$$

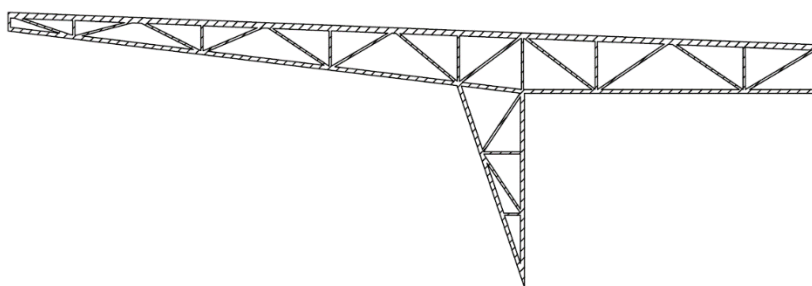
$$A_c = 49,54 \text{ m}^2$$

celková plocha



$$A_{ref} = 16,69 \text{ m}^2$$

referenční plocha



$$F_w = \psi_{\lambda} \cdot c_{f,0} \cdot \kappa \cdot q_{p(z)} \cdot A_{ref} =$$

$$F_w = 1,0 \cdot 0,60 \cdot 1,02 \cdot 0,745 \cdot 16,69 = 7,46 \text{ kN}$$

celková síla na jeden vazník

$$L = \sum L_i = 130,06 \text{ m}$$

součet délek jednotlivých prutů

$$F_w' = \frac{F_w}{L} = \frac{7,46}{130,06} = 0,057 \text{ kN / m'}$$

síla na jeden běžný metr délky

prutu vazníku

Takto určené účinky od tlaku větru na konstrukci budou zavedeny do statického modelu ve výpočtovém softwaru a bude s nimi počítáno dle příslušných kombinací pro vítr.

3.2.4. Zatížení sněhem

Sněhová oblast II ($s_k = 1,0 \text{ kN} / \text{m}^2$)

Sníh plný

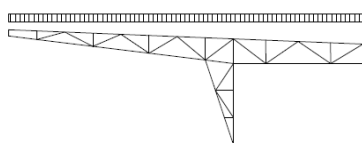
$$s = \mu_t \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 \text{ kN} / \text{m}^2$$

μ_1 tvarový součinitel (0,8 pro $\alpha = 4^\circ$ a pultové střechy)

c_e součinitel expozice

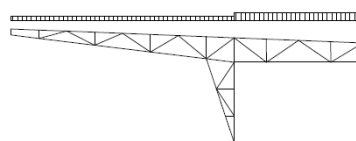
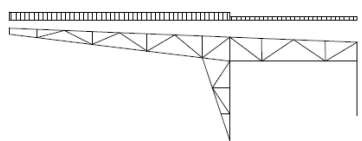
c_t tepelný součinitel

s_k charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi



Sníh nerovnoměrný

$$s' = 0,5 \cdot \mu_t \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,4 \text{ kN} / \text{m}^2$$



3.3. Zatížení užité

Montážní

Užitné zatížení bylo stanoveno dle normy ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Střecha je uvažována kategorie H - střechy nepřístupné s výjimkou běžné údržby a oprav.

$$q_k = 0,75 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad \text{typicky na } 10 \text{ m}^2 \text{ střechy}$$

$$Q_k = 1,0 \text{ kN} \quad \text{lokální působení montážního zatížení}$$

Od zařízení

Zatížení od zařízení není v zadání konstrukce od zadavatele požadováno a nepřepokládá se zavěšování těžké techniky na konstrukci.

3.4. Kombinace a součinitele zatížení

Kombinační součinitele:

$$\begin{array}{llll}
 \gamma_{G,\text{sup}} = 1,35 & \gamma_{Q,\text{sup}} = 1,50 & \psi_{0,\text{snih}} = 0,50 & \\
 \gamma_{G,\text{inf}} = 1,00 & \gamma_{Q,\text{inf}} = 0,00 & \psi_{0,\text{vitr}} = 0,60 & \xi = 0,85 \\
 & & \psi_{0,\text{střecha-H}} = 0,00 &
 \end{array}$$

3.4.1. Kombinační rovnice pro MSU

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

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

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

3.4.2. Kombinační rovnice pro MSP

$$\text{Charakteristická} \quad G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\text{Častá} \quad G_{k,j} + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\text{Kvazistálá} \quad G_{k,j} + \sum \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

4. Střešní plášť a vaznice

4.1. Střešní plášť

Střešní plášť je navržen z trapézového plechu a je uvažován jako tuhý (jeho dostatečné kotvení do vaznice je popsáno níže. Trapézový plech je navržen a posouzen podle podkladů výrobce.

4.1.1. Zatížení a kombinace zatížení

Střešní plášť bude navržen pro celou plochu střechy stejně. Pro jeho návrh tedy vybereme místo s největším zatížením. Toto místo odpovídá oblasti B+C pro kterou platí $\varphi = 0,702$ a rozpětí vaznice 2,3m. Dále bude ověřen v oblasti B+C pro kterou platí $\varphi = 0,0$ a rozpětí vaznice 2,65m. Střešní plášť bude navržen stejný pro všechny varianty konstrukce.

Stálá zatížení	kN/m^2
Trapézový plech - odhad	$g_k' = 0,20$

Klimatická zatížení	kN/m^2
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$q_{w-}' = -1,57$
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$q_{w+}' = 1,44$
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$q_{w-}' = -1,08$
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$q_{w+}' = 1,44$
Sníh plný	$q_s' = 0,80$
Sníh nerovnoměrný	$q_s'' = 0,40$

Užitná zatížení	kN
Lokální montážní zatížení	$Q_k = 1,00$

Plošná užitná	kN/m^2
Plošné montážní zatížení	$q_k = 0,75$

Kombinace A pro maximální tlak větru (vlastní tíha + tlak větru + plný sníh)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g_k' + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w+}' + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_s' \\ 1,35 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,44 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 2,17 kN / m^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g_k' + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w+}' + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_s' \\ 0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 1,44 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 2,99 kN / m^2$$

Kombinace B pro maximální sání větru (vlastní tíha + sání větru)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,inf} \cdot g_k' + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w-}' \quad \varphi = 0,702 \\ 1,00 \cdot 0,2 - 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,57 = -1,21 kN / m^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,inf} \cdot g_k' + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w-}' \quad \varphi = 0,702 \\ 0,85 \cdot 1,00 \cdot 0,2 - 1,5 \cdot 1,57 = -2,19 kN / m^2$$

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,inf} \cdot g'_k + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q'_{w-} \quad \varphi = 0,0$$

$$1,00 \cdot 0,2 - 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,08 = -0,77 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,inf} \cdot g'_k + \gamma_{Q,sup} \cdot q'_{w-} \quad \varphi = 0,0$$

$$0,85 \cdot 1,00 \cdot 0,2 - 1,5 \cdot 1,08 = -0,80 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Kombinace C nerovnoměrný sníh (vlastní tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g'_k + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q'_{s+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q'_{w-}$$

$$1,35 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 0,8 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 1,44 = 2,17 \text{ kN} / \text{m}^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g'_k + \gamma_{Q,sup} \cdot q'_{snih+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q'_{w-}$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,8 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,44 = 2,51 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Kombinace D pro užité zatížení (vlastní tíha + lokální užité zatížení)

$$(6.10) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g'_k + \gamma_{Q,sup} \cdot q'_{k-} \quad \gamma_{Q,sup} \cdot Q_k$$

$$1,35 \cdot 0,2 + 1,5 \cdot 0,75 = 1,34 \text{ kN} / \text{m}^2 \quad 1,5 \cdot 1,00 = 1,5 \text{ kN}$$

- Ohybový moment uprostřed rozpětí způsobený kombinací A ($M=2,62\text{kNm}$) je větší než ohybový moment od kombinace C ($=2,20\text{kNm}$) i D ($=1,98\text{kNm}$). Pro návrh střešní krytiny tedy bude uvažována kombinace **A a B**.

- Trapézový plech je navržen pro oblast s nejhorsími účinky větru. Takto navržený plech bude použit na celé ploše střechy.

4.1.2. Návrh trapézového plechu

Trapézový plech bude navržen dle dostupných podkladů od výrobce AcelorMittal (http://svf.uniza.sk/kskm/web/pomocky/bc/kk2/Trapezove_profily.pdf).

Uvažovaná vzdálenost vaznic je 2,3m a 2,65m.

Navržený trapézový plech:

Hacierco 55/250

pozitivní poloha plechu

Technical drawing of the Hacierco 55/250 profile. The drawing shows a cross-section of the profile with the following dimensions: top flange width 117,7 mm, bottom flange width 132,3 mm, total width 1000 mm, pitch 250 mm, and height 55,1 mm. The profile is shown in a perspective view.

3D perspective view of the Hacierco 55/250 profile, showing the corrugated surface and the overall shape of the profile.

Charakteristiky

t [mm]	m [kg/m²]	plný průřez				efektivní průřez - pozitivní poloha - kladný moment				efektivní průřez - pozitivní poloha - záporný moment			
		A _s [mm²/m]	I _y [mm⁴/m]	z [mm]	W _{pl} [mm³/m]	A _{ef} [mm²/m]	I _{ef} [mm⁴/m]	z _{ef} [mm]	W _{ef} [mm³/m]	A _{ef} [mm²/m]	I _{ef} [mm⁴/m]	z _{ef} [mm]	W _{ef} [mm³/m]
0,55	5,27	671,15	300081,32	34,57	8680,17	477,85	205013,43	28,41	7216,44	608,64	246423,79	36,53	6745,99
0,63	6,03	768,77	343732,00	34,61	9931,32	587,43	251238,63	28,55	8798,53	711,09	293668,16	36,22	8107,22
0,75	7,18	915,20	409209,95	34,67	11802,69	728,91	315781,99	29,58	10675,81	867,61	367130,27	35,83	10247,04
0,88	8,43	1073,83	480147,47	34,74	13822,79	881,28	386952,31	30,40	12730,14	1040,25	449402,45	35,47	12668,38
1,00	9,58	1220,26	545631,55	34,80	15680,91	1026,35	454576,90	31,06	14637,57	1201,69	527052,21	35,21	14969,50
1,25	11,97	1525,33	682068,82	34,92	19531,81	1350,68	604903,72	32,37	18684,45	1525,33	682068,82	34,92	19531,81

Odhad vlastní tíhy byl předdimenzován, návrh je tedy na stranu bezpečnou.

Únosnost navrženého plechu na kombinaci A – maximální tlak (pozitivní poloha)

$q_{Ed,A} = 2,99 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rd} = 3,23 \text{ kN/m}^2$ pro $L=2,65 \text{ m}$ (hodna určena lineární interpolací)

Únosnost

NOSNÍK S JEDNÍM POLEM
- POZITIVNÍ POLOHA PLECHU

tN (mm)	g (kN/m²)	rozpětí pole L [m]																	
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
0,55	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	8,10	6,48	5,40	4,63	4,05	3,60	2,96	2,44	2,05	1,75	1,51	1,31	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	16,20	11,82	8,21	6,03	4,62	3,65	2,96	2,44	2,05	1,75	1,51	1,31	1,15	1,02	0,91	0,82	0,74	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	16,53	8,46	4,90	3,08	2,07	1,45	1,06	0,79	0,61	0,48	0,39	0,31	0,26	0,22	0,18	0,15	0,13	
0,63	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	10,76	8,60	7,17	6,15	5,38	4,45	3,60	2,98	2,50	2,13	1,84	1,60	1,41	1,25	1,11	1,00	0,90	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	21,51	14,42	10,01	7,35	5,63	4,45	3,60	2,98	2,50	2,13	1,84	1,60	1,41	1,25	1,11	1,00	0,90	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	20,26	10,37	6,00	3,78	2,53	1,78	1,30	0,97	0,75	0,59	0,47	0,38	0,32	0,26	0,22	0,19	0,16	
0,75	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	15,37	12,30	10,25	8,79	6,83	5,40	4,37	3,61	3,04	2,59	2,23	1,94	1,71	1,51	1,35	1,21	1,09	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	27,33	17,49	12,15	8,92	6,83	5,40	4,37	3,61	3,04	2,59	2,23	1,94	1,71	1,51	1,35	1,21	1,09	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	25,46	13,04	7,55	4,75	3,18	2,24	1,63	1,22	0,94	0,74	0,59	0,48	0,40	0,33	0,28	0,24	0,20	
0,88	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	21,22	16,98	14,15	10,64	8,15	6,44	5,21	4,31	3,62	3,09	2,66	2,32	2,04	1,80	1,61	1,44	1,30	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	32,59	20,86	14,48	10,64	8,15	6,44	5,21	4,31	3,62	3,09	2,66	2,32	2,04	1,80	1,61	1,44	1,30	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	31,20	15,98	9,25	5,82	3,90	2,74	2,00	1,50	1,16	0,91	0,73	0,59	0,49	0,41	0,34	0,29	0,25	
1,00	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	27,38	21,90	16,65	12,24	9,37	7,40	6,00	4,95	4,16	3,55	3,06	2,66	2,34	2,07	1,85	1,66	1,50	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	37,47	23,98	16,65	12,24	9,37	7,40	6,00	4,95	4,16	3,55	3,06	2,66	2,34	2,07	1,85	1,66	1,50	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	36,66	18,77	10,86	6,84	4,58	3,22	2,35	1,76	1,36	1,07	0,85	0,70	0,57	0,48	0,40	0,34	0,29	
1,25	$q_{Ed} (c \leq 1,5h)$	42,52	30,61	21,26	15,62	11,96	9,45	7,65	6,32	5,31	4,53	3,90	3,40	2,99	2,65	2,36	2,12	1,91	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	47,83	30,61	21,26	15,62	11,96	9,45	7,65	6,32	5,31	4,53	3,90	3,40	2,99	2,65	2,36	2,12	1,91	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	48,78	24,98	14,45	9,10	6,10	4,28	3,12	2,35	1,81	1,42	1,14	0,93	0,76	0,64	0,54	0,46	0,39	

Únosnost navrženého plechu na kombinaci B – maximální sání (negat. poloha)

$q_{Ed,B} = -2,19 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rd} = 3,79 \text{ kN/m}^2$ pro $L=2,30 \text{ m}$ (hodna určena lineární interpolací) a $q_{Ed,B} = -0,80 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rd} = 2,97 \text{ kN/m}^2$ pro $L=2,65 \text{ m}$ (hodna určena lineární interpolací)

Únosnost

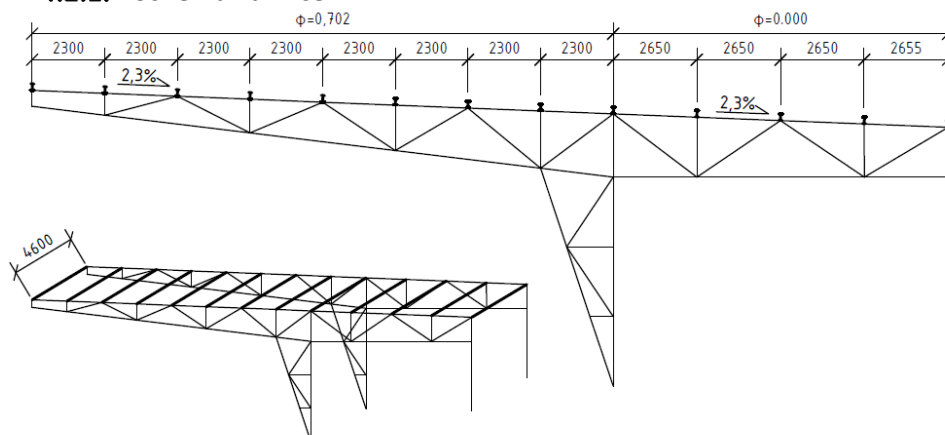
NOSNÍK S JEDNÍM POLEM
- NEGATIVNÍ POLOHA PLECHU

tN (mm)	g (kN/m²)	rozpětí pole L [m]																	
		1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	
0,55	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	6,71	5,37	4,48	3,84	3,36	2,98	2,69	2,28	1,92	1,64	1,41	1,23	1,08	0,96	0,85	0,77	0,69	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	13,43	10,74	7,68	5,64	4,32	3,41	2,76	2,28	1,92	1,64	1,41	1,23	1,08	0,96	0,85	0,77	0,69	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	19,87	10,17	5,89	3,71	2,48	1,74	1,27	0,96	0,74	0,58	0,46	0,38	0,31	0,26	0,22	0,19	0,16	
0,63	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	8,80	7,04	5,86	5,03	4,40	3,91	3,32	2,74	2,31	1,96	1,69	1,48	1,30	1,15	1,02	0,92	0,83	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	17,59	13,28	9,22	6,78	5,19	4,10	3,32	2,74	2,31	1,96	1,69	1,48	1,30	1,15	1,02	0,92	0,83	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	23,68	12,12	7,02	4,42	2,96	2,08	1,52	1,14	0,88	0,69	0,55	0,45	0,37	0,31	0,26	0,22	0,19	
0,75	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	12,50	10,00	8,34	7,14	6,25	5,18	4,20	3,47	2,91	2,48	2,14	1,87	1,64	1,45	1,30	1,16	1,05	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	25,01	16,79	11,66	8,57	6,56	5,18	4,20	3,47	2,91	2,48	2,14	1,87	1,64	1,45	1,30	1,16	1,05	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	29,61	15,16	8,77	5,52	3,70	2,60	1,89	1,42	1,10	0,86	0,69	0,56	0,46	0,39	0,32	0,28	0,24	
0,88	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	17,38	13,90	11,58	9,93	8,11	6,41	5,19	4,29	3,60	3,07	2,65	2,31	2,03	1,80	1,60	1,44	1,30	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	32,43	20,76	14,41	10,59	8,11	6,41	5,19	4,29	3,60	3,07	2,65	2,31	2,03	1,80	1,60	1,44	1,30	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	36,24	18,55	10,74	6,76	4,53	3,18	2,32	1,74	1,34	1,06	0,85	0,69	0,57	0,47	0,40	0,34	0,29	
1,00	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	22,75	18,20	15,17	12,51	9,58	7,57	6,13	5,07	4,26	3,63	3,13	2,73	2,40	2,12	1,89	1,70	1,53	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	38,32	24,53	17,03	12,51	9,58	7,57	6,13	5,07	4,26	3,63	3,13	2,73	2,40	2,12	1,89	1,70	1,53	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	42,50	21,76	12,59	7,93	5,31	3,73	2,72	2,04	1,57	1,24	0,99	0,81	0,66	0,55	0,47	0,40	0,34	
1,25	$q_{Ed} (c < 1,5h)$	37,09	29,67	22,22	16,33	12,50	9,88	8,00	6,61	5,56	4,73	4,08	3,56	3,13	2,77	2,47	2,22	2,00	
	$q_{Ed} (c \geq 1,5h)$	50,00	32,00	22,22	16,33	12,50	9,88	8,00	6,61	5,56	4,73	4,08	3,56	3,13	2,77	2,47	2,22	2,00	
	$q_{Ed} (\delta \leq L/200)$	55,00	28,16	16,30	10,26	6,88	4,83	3,52	2,64	2,04	1,60	1,28	1,04	0,86	0,72	0,60	0,51	0,44	

4.2. Vaznice

Vaznice je navržena a posouzena jako plnostěnná z profilu IPE. Pro vaznici je zatížení a vnitřní síly spočteno ručně i pomocí výpočetního SW.

4.2.1. Schéma vaznice



4.2.2. Zatížení a kombinace zatížení $zš = 2,3m$ a $\varphi = 0,702$

- Vlastní tíha vaznice byla odhadnuta: $0,22kN / m'$ (IPE200)
- Zatěžovací šířka $zš = 2,3m$ pro $\varphi = 0,702$
- Rozpětí vaznice $l = 4,6m$
- Uložení vaznice kloubové bez zabránění deplanace

Stálá zatížení	$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm	2,3	0,06	0,138
Vaznice IPE200 (odhad)			0,22
	$g_{k=}$		0,358
složka kolmá ke střešnímu plášti	$g_{k,y=}$		0,36
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$g_{k,x=}$		0,01

Klimatická zatížení	$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	q_{w-} 2,3	-1,57	-3,61
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	q_{w+} 2,3	1,44	3,31
Sníh plný	$q_{s=}$ 2,3	0,80	1,84
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{sk,y=}$		1,84
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{sk,x=}$		0,07
Sníh nerovnoměrný	$q_{s'}$ 2,3	0,40	0,92
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{sk,y=}$		0,92
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{sk,x=}$		0,04

Užitná zatížení			kN
Lokální montážní zatížení		$Q_{k=}$	1,00
Užitná zatížení	$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Plošná montážní zatížení	$q_{k=}$ 2,3	0,75	1,73
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{k,y=}$		1,72
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{k,x=}$		0,07

Kombinace A pro maximální tlak kolmo k plášti (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,y} \quad \varphi = 0,702$$

$$1,35 \cdot 0,36 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,31 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,84 = 4,85 kN / m'$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,y} \quad \varphi = 0,702$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,36 + 1,5 \cdot 3,31 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 1,84 = 6,76 kN / m'$$

Kombinace B pro maximální sání kolmo k plášti (vlastní tíha + sání větru)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,inf} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w-} \quad \varphi = 0,702$$

$$1,00 \cdot 0,36 - 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,61 = -2,89 kN / m^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,inf} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w-} \quad \varphi = 0,702$$

$$0,85 \cdot 1,00 \cdot 0,36 - 1,5 \cdot 3,61 = -5,11 kN / m^2$$

Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)

Tato kombinace nebude pro návrh vaznice rozhodující.

Kombinace D pro užité zatížení kolmo k plášti (vl. tíha + lokální užité zatížení)

$$(6.10) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_k \quad \gamma_{Q,sup} \cdot Q_k$$

$$1,35 \cdot 0,36 + 1,5 \cdot 1,72 = 3,07 kN / m^2 \quad 1,5 \cdot 1,00 = 1,5 kN$$

4.2.3. Vnitřní síly – ruční výpočet**Kombinace A – horní tlačný pás**

$$M_{Ed,A} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,A} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 6,76 \cdot 4,6^2 = 17,88 kNm$$

$$V_{Ed,A} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,A} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 6,76 \cdot 4,6 = 15,53 kN$$

Kombinace B – dolní tlačný pás

$$M_{Ed,B} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,B} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot -5,11 \cdot 4,6^2 = -13,52 kNm$$

$$V_{Ed,B} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,B} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot -5,11 \cdot 4,6 = -11,75 kN$$

Kombinace D – horní tlačný pás

$$M_{Ed,C} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,C} \cdot l^2 + \frac{1}{2} \cdot Q_d \cdot \frac{1}{2} \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 3,07 \cdot 4,6^2 + \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4,6 = 10,32 kNm$$

$$V_{Ed,C} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,C} \cdot l + \frac{1}{2} \cdot Q_{Ed,C} = \frac{1}{2} \cdot 3,07 \cdot 4,6 + \frac{1}{2} \cdot 1,5 = 8,23 kN$$

4.2.4. Zatížení a kombinace zatížení $zš = 2,65m$ a $\varphi = 0,000$

- Vlastní tíha vaznice byla odhadnuta: $0,22kN / m'$ (IPE200)
- Zatěžovací šířka $zš = 2,65m$ pro $\varphi = 0,000$
- Rozpětí vaznice $l = 4,6m$
- Uložení vaznice kloubové bez zabránění deplanace

Stálá zatížení		$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm		2,65	0,06	0,159
Vaznice IPE200 (odhad)				0,22
	$g_{k=}$			0,379
složka kolmá ke střešnímu plášti	$g_{k,y=}$			0,38
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$g_{k,x=}$			0,02
Klimatická zatížení		$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	q_{w-}	2,65	-1,08	-2,86
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	q_{w+}	2,65	1,44	3,82
Sníh plný	$q_{s=}$	2,65	0,80	2,12
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{sk,y=}$			2,12
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{sk,x=}$			0,09
Sníh plný	$q_{s=}$	2,65	0,40	1,06
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{sk,y=}$			1,06
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{sk,x=}$			0,04
Užitná zatížení				kN
Lokální montážní zatížení			$Q_{k=}$	1,00
Užitná zatížení		$zš [m]$	kN/m^2	kN/m'
Plošná montážní zatížení	$q_{k=}$	2,65	0,75	1,99
složka kolmá ke střešnímu plášti	$q_{k,y=}$			1,99
složka rovnoběžná se střeš. pláštěm	$q_{k,x=}$			0,08

Kombinace A pro maximální tlak kolmo k plášti (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,y} \quad \varphi = 0,0$$

$$1,35 \cdot 0,38 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 3,82 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 2,12 = 5,54 kN / m'$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w+} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,y} \quad \varphi = 0,0$$

$$0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,38 + 1,5 \cdot 3,82 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 2,12 = 7,76 kN / m'$$

Kombinace B pro maximální sání kolmo k plášti (vlastní tíha + sání větru)

$$(6.10a) \quad \gamma_{G,inf} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot \psi_{0,vitr} \cdot q_{w-} \quad \varphi = 0,0$$

$$1,00 \cdot 0,38 - 1,5 \cdot 0,6 \cdot 2,86 = -2,19 kN / m^2$$

$$(6.10b) \quad \xi \cdot \gamma_{G,inf} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_{w-} \quad \varphi = 0,0$$

$$0,85 \cdot 1,00 \cdot 0,38 - 1,5 \cdot 2,86 = -3,97 kN / m^2$$

Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)

Tato kombinace nebude pro návrh vaznice rozhodující.

Kombinace D pro užité zatížení kolmo k plášti (vl. tíha + lokální užité zatížení)

$$(6.10) \quad \gamma_{G,sup} \cdot g_{k,y} + \gamma_{Q,sup} \cdot q_k \quad \gamma_{Q,sup} \cdot Q_k$$

$$1,35 \cdot 0,38 + 1,5 \cdot 1,99 = 3,50 kN / m^2 \quad 1,5 \cdot 1,00 = 1,5 kN$$

4.2.5. Vnitřní síly**Kombinace A – horní tlačný pás**

$$M_{Ed,A} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,A} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 7,76 \cdot 4,6^2 = 20,53 kNm$$

$$V_{Ed,A} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,A} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 7,76 \cdot 4,6 = 17,85 kN$$

Kombinace B – dolní tlačný pás

$$M_{Ed,B} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,B} \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot -3,97 \cdot 4,6^2 = -10,50 kNm$$

$$V_{Ed,B} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,B} \cdot l = \frac{1}{2} \cdot -3,97 \cdot 4,6 = -9,13 kN$$

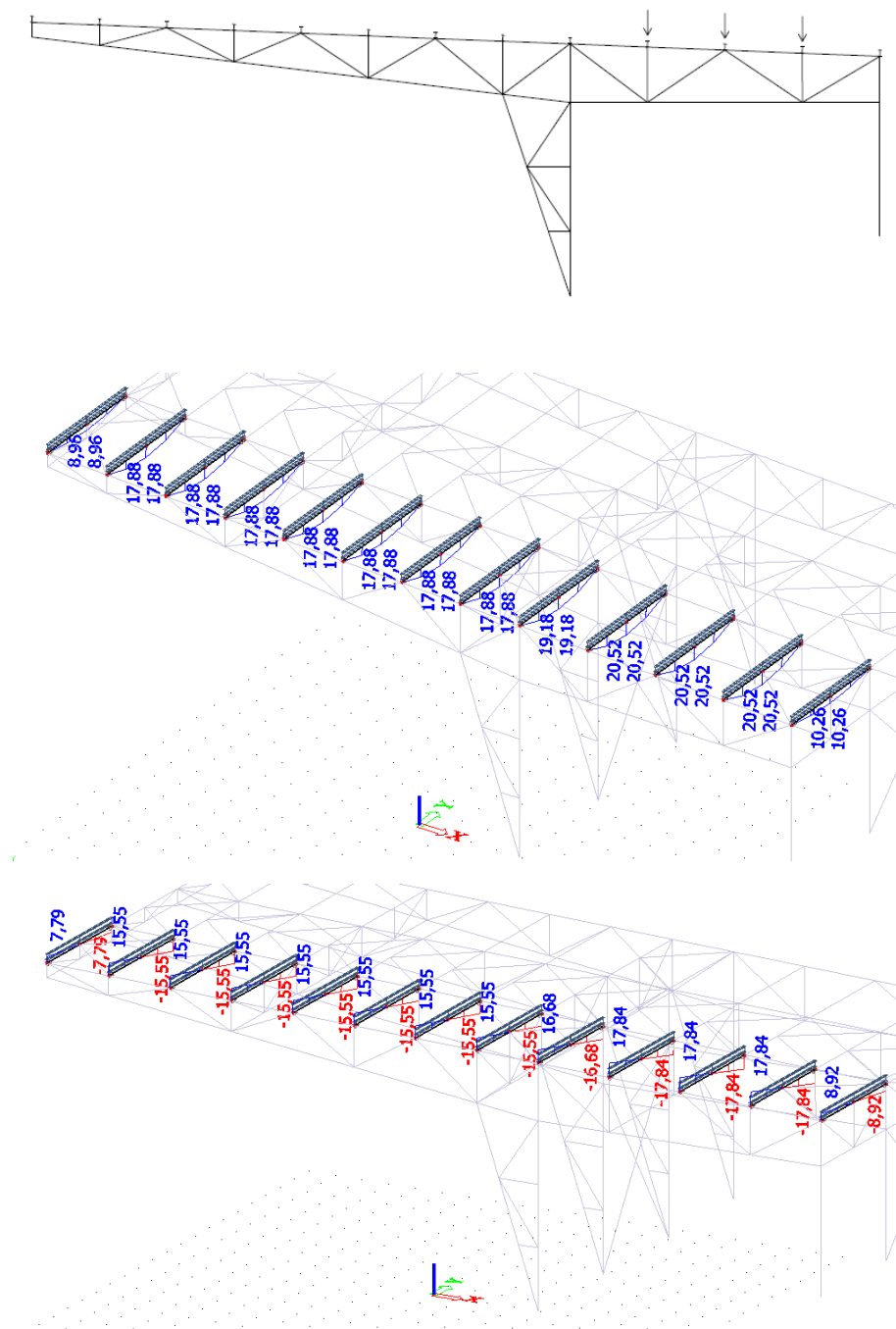
Kombinace D – horní tlačný pás

$$M_{Ed,C} = \frac{1}{8} \cdot q_{Ed,C} \cdot l^2 + \frac{1}{2} \cdot Q_d \cdot \frac{1}{2} \cdot l = \frac{1}{8} \cdot 3,50 \cdot 4,6^2 + \frac{1}{2} \cdot 1,5 \cdot \frac{1}{2} \cdot 4,6 = 10,98 kNm$$

$$V_{Ed,C} = \frac{1}{2} \cdot q_{Ed,C} \cdot l + \frac{1}{2} \cdot Q_{Ed,C} = \frac{1}{2} \cdot 3,5 \cdot 4,6 + \frac{1}{2} \cdot 1,5 = 8,80 kN$$

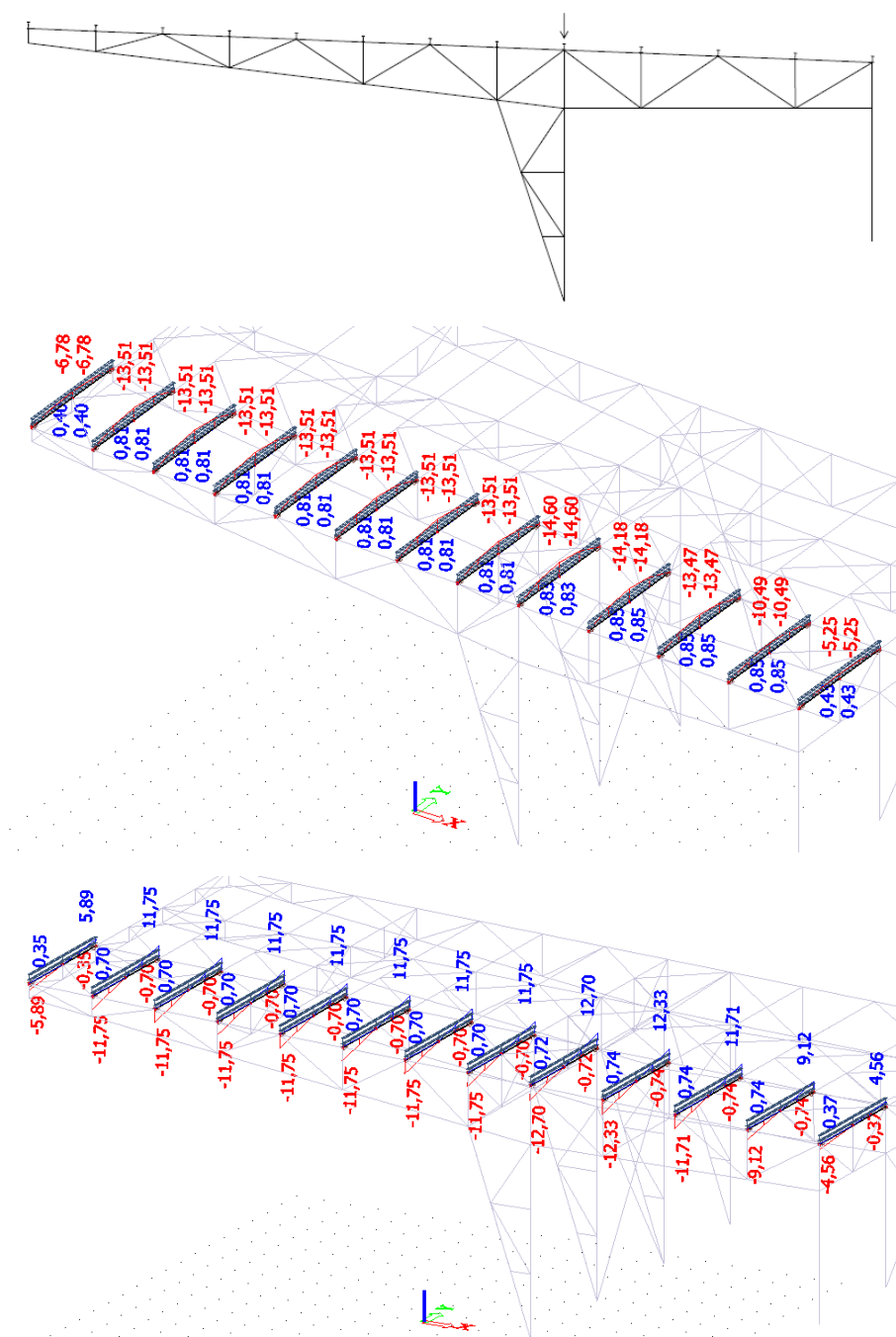
4.2.6. Vnitřní síly – výsledky ze softwaru

Kombinace A – horní tlačný pás



$$V_{Ed,A,\max} = 17,84 \text{ kN} \quad M_{Ed,A,\max} = 20,52 \text{ kNm}$$

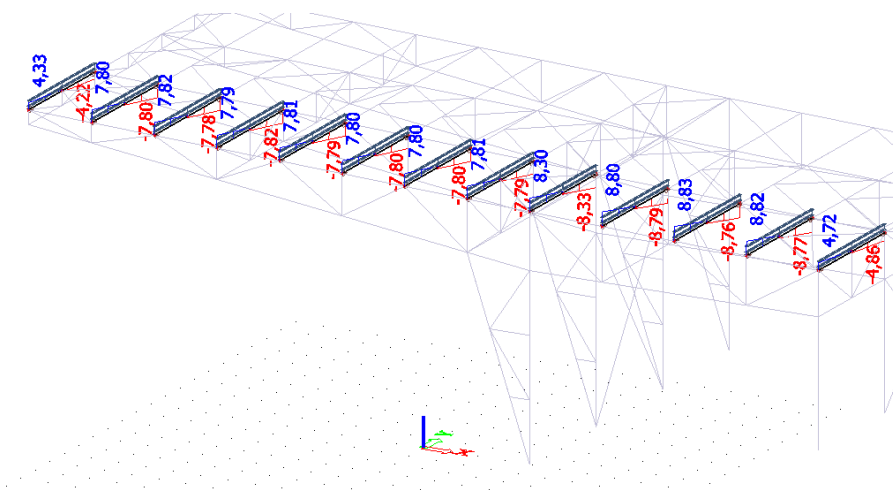
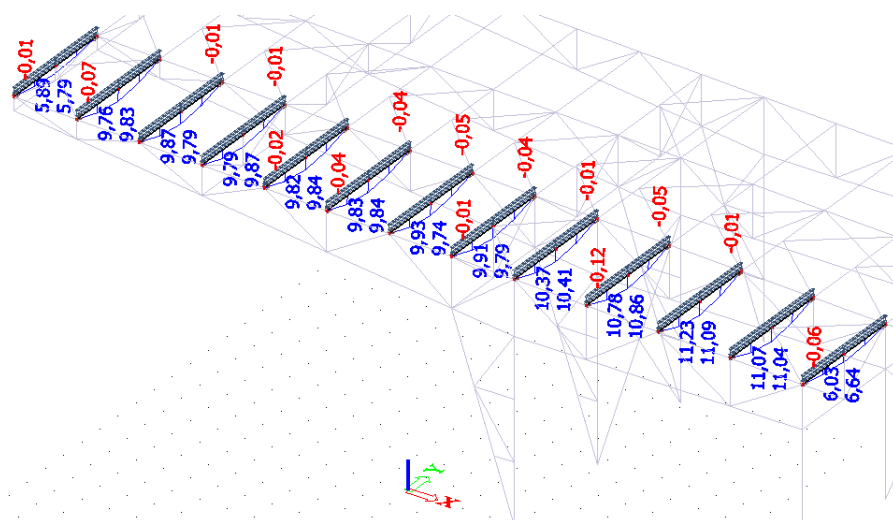
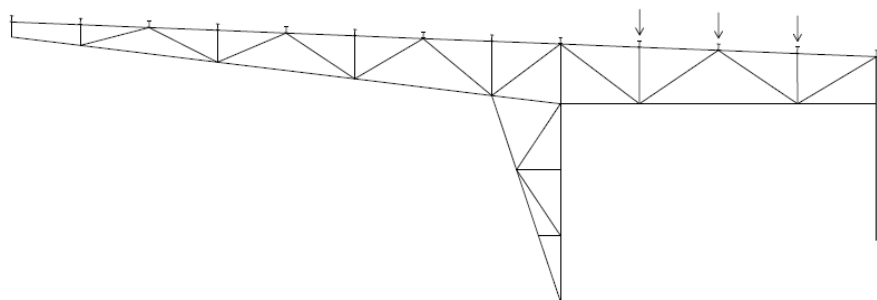
Kombinace B – dolní tlačný pás



$$V_{Ed,B,max} = 12,70 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,B,max} = -14,60 \text{ kNm}$$

Kombinace C – horní tlačný pás



$$V_{Ed,C,max} = 8,79 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,C,max} = 11,23 \text{ kNm}$$

4.2.7. Vnitřní síly – dimenzační

Ručně zkombinované a vypočítané výsledky odpovídají výsledkům určeným ve statickém SW. Takto získané a ručním výpočtem ověřené výsledky (reakce od vaznic) budou dále použity pro výpočet vnitřních sil vazníků a ztužujících prvků pomocí softwaru.

Vaznice bude ověřena na maximální kladný a záporný moment v kombinaci s odpovídající posouvající silou a osovou silou. A to v místě kde stabilizační síly od horního pásu vazníku nepřebírá podélné svislé ztužidlo, ale vaznice.

Maximální síly ze střešního pláště

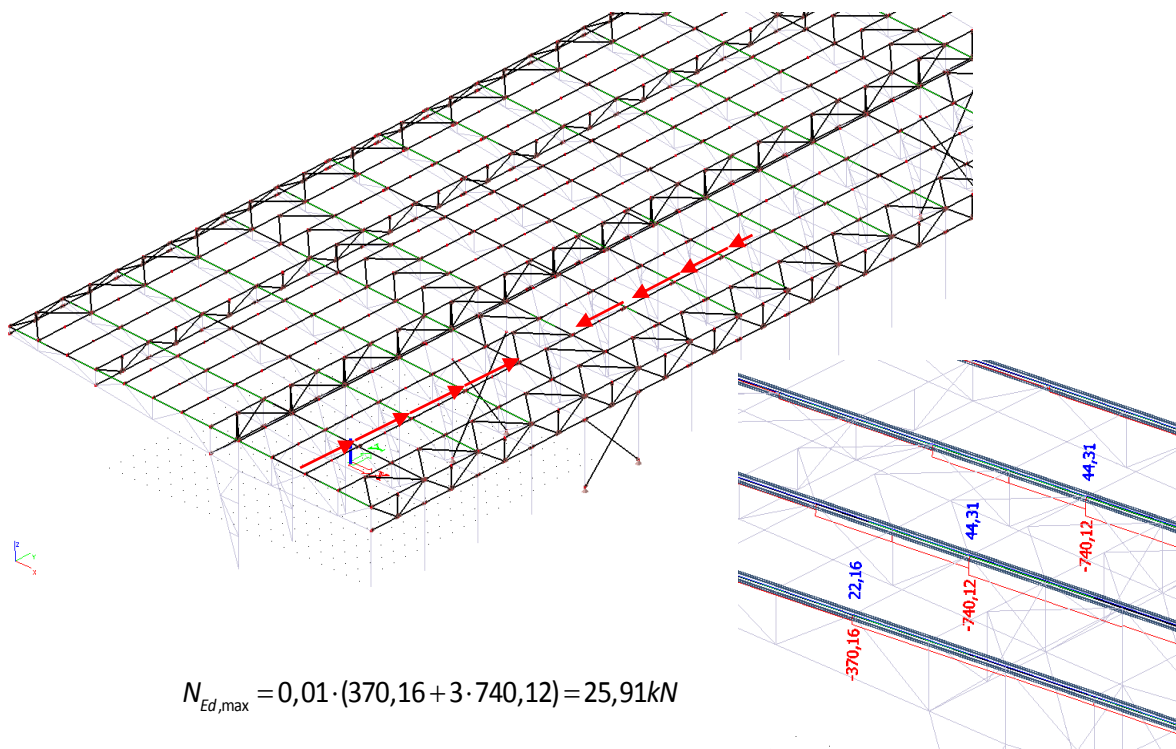
$$V_{Ed,+,\max} = 17,84 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,-,\max} = 12,70 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,+,\max} = 20,52 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,-,\max} = -14,60 \text{ kNm}$$

Stabilizační síly



$$N_{Ed,\max} = 0,01 \cdot (370,16 + 3 \cdot 740,12) = 25,91 \text{ kN}$$

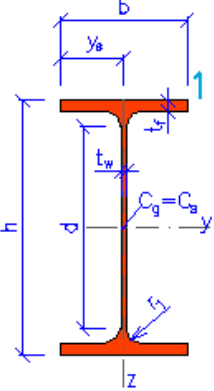
4.2.8. MSÚ - návrh a posouzení vaznice

Vzhledem k použité krytině (trapézový plech) uvažujeme použitý střešní plášť jako tuhý a vaznice bude namáhána pouze složkou sil kolmou k rovině střechy. Síly rovnoběžné s rovinou střechy budou přeneseny střešním pláštěm a zachyceny okapovou vaznicí.

Vaznice bude ve svislém směru posouzena na kombinaci ohybu a tlaku, v rovině střechy bude posouzena na vybočení od normálové síly.

Ohybové namáhání vzniká od účinků střešního pláště. Přidanou normálovou sílu uvažujeme od stabilizace horních pásů vazníku při sání větru.

Návrh: IPE 200

IPE200			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 200 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 100 \text{ mm}$		$I_y = 1.94\text{E}+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 1.42\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 8.5 \text{ mm}$		$W_{y1} = 1.94\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 2.85\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 5.6 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 2.20\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 4.46\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 12 \text{ mm}$		$i_y = 82.6 \text{ mm}$	$i_z = 22.4 \text{ mm}$
$y_s = 50 \text{ mm}$		$S_y = 1.10\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 2.23\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 159 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 2850 \text{ mm}^2$		$I_w = 1.30\text{E}+10 \text{ mm}^6$	$I_t = 6.98\text{E}+4 \text{ mm}^4$
$A_L = 0.77 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 22.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 25 \text{ mm}$	$i_{pc} = 85.6 \text{ mm}$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\text{Stojina: } \frac{c}{t} = \frac{159}{5,6} = 28,39 \leq \frac{396\varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 68,91 \quad \text{kategorie I}$$

$$\alpha = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot t_w \cdot d} \right) = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{25,91 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6 \cdot 0,0056 \cdot 0,159} \right) = 0,519$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t} = \frac{50}{8,9} = 5,6 \leq 9\varepsilon \quad \text{kategorie I}$$

Posouzení smykové únosnosti: maximální smyková síla $V_{Ed,+,\max} = 17,84 \text{ kN}$

$$V_{Rd} = \frac{f_y \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235 \cdot 890}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 120,75 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{17,84}{120,75} = 0,15 \leq 0,5 \quad \text{Není nutné redukovat momentovou únosnost}$$

Posouzení pro kombinaci A maximální tlak: $M_{Ed,A} = 20,50 \text{ kNm}$

- Vzhledem k tomu, že je tlačенý horní pás ohýbaného prutu, nepředpokládá se v tomto případě klopení. *Klopení horního pásu je zabráněno kotvením do trapézového plechu střešní krytiny a to maximálně po 300mm.*
- Pro tento případ bude ověřena vzdálenost mezi příčnými podporami L_c .

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 51,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 51,70 \text{ kNm} \quad \geq \quad M_{Ed,A} = 20,16 \text{ kNm} \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Průřezové charakteristiky průřezu ekvivalentní tlačené pásnice složené z tlačené pásnice a 1/3 tlačené části plochy stojiny, k ose nejmenší tuhosti průřezu:

$$A_f = b \cdot t_f + \frac{1}{3} \cdot (h - 2t_f) \cdot t_w = 100 \cdot 8,5 + \frac{1}{3} \cdot (200 - 2 \cdot 8,5) \cdot 5,6 = 1191,6 \text{ mm}^2$$

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} \cdot b^3 \cdot t_f + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot (h - 2t_f) \cdot t_w^3 =$$

$$I_{f,z} = \frac{1}{12} \cdot 100^3 \cdot 8,5 + \frac{1}{12} \cdot \frac{1}{3} \cdot (200 - 2 \cdot 8,5) \cdot 5,6^3 = 7,092 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$i_{f,z} = \sqrt{\frac{I_{f,z}}{A_f}} = \sqrt{\frac{7,092 \cdot 10^5}{1191,6}} = 24,396 \text{ mm}$$

Štíhlosti:

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3}{235}} = 93,91$$

$$\bar{\lambda}_{c,0} = \bar{\lambda}_{LT,0} + 0,1 = 0,4 + 0,1 = 0,5$$

$$\bar{\lambda}_f = \frac{k_c \cdot L_c}{i_{f,z} \cdot \lambda_1} \quad k_c = 0,94 - \text{pro parabolický průběh momentu}$$

$$\bar{\lambda}_f \leq \bar{\lambda}_{c,0} \cdot \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} = 0,5 \cdot \frac{51,70}{20,16} = 1,28$$

$$\rightarrow L_{c,max} = \frac{\bar{\lambda}_{f,max} \cdot i_{f,z} \cdot \lambda_1}{k_c} = \frac{1,28 \cdot 24,396 \cdot 93,91}{0,94} = 3,12 \text{ m}$$

Vzhledem k tomu, že trapézový plech bude do vaznice kotven v každé vlně

($L_c = 0,25 \text{ m}$) je tato podmínka dodržena.

Posouzení pro kombinaci B maximální sání: $M_{Ed,B} = -14,60kNm$ + osová síla

$$N_{Ed} = 25,91kN$$

Prostá pevnost

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2850 \cdot 235}{1,0} = 669,75kN$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 51,7kNm$$

Vzpěr – vybočení kolmo k ose y

$$l_{cr,y} = 4,6m$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,94 \cdot 10^{-5}}{4,6^2} = 1900,22kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2850 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1900,22 \cdot 10^3}} = 0,587$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily k ose **y-y** je „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,587 - 0,2) + 0,587^2 \right] = 0,738$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,738 + \sqrt{0,738^2 - 0,587^2}} = 0,843$$

Vzpěr – vybočení kolmo k ose z

$$l_{cr,z} = 4,6m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,42 \cdot 10^{-6}}{4,6^2} = 142,03kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2850 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{142,03 \cdot 10^3}} = 2,148$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily k ose **z-z** je „c“: $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,148 - 0,2) + 2,148^2 \right] = 3,139$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,139 + \sqrt{3,139^2 - 2,140^2}} = 0,184$$

Klopení od ohybu

- Klopení tlačného spodního pásu není zabráněno.

Koeficienty C_1 a C_2 pro parabolický průběh ohybového momentu a kloubové uložení vaznice:

$$C_1 = 1,132 \quad C_2 = 0,459 \quad \text{z tabulky NB.3.2, ČSN EN 1993-1-1}$$

$$L_z = 4,6m \quad L_\omega = 4,6m$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 E I_z}{L_z^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{L_z}{L_\omega} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{L_z^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} + (C_2 \cdot e_z)^2 + C_2 \cdot e_z \right] =$$

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,42 \cdot 10^6}{4,6^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{4,6}{4,6} \right)^2 \cdot \frac{1,30 \cdot 10^{10}}{1,42 \cdot 10^6} + \frac{4,6^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 6,98 \cdot 10^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,42 \cdot 10^6}} + (0,459 \cdot -0,10)^2 + 0,459 \cdot -0,10 \right] =$$

$$M_{cr} = 28,65 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2,20 \cdot 10^5 \cdot 235 \cdot 10^6}{28,65 \cdot 10^3}} = 1,343$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,343 - 0,2) + 1,343^2 \right] = 1,597$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,597 + \sqrt{1,597^2 - 1,343^2}} = 0,407$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,407 \cdot 2,20 \cdot 10^{-7} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 21,02 kNm$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left[1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rd}}{\gamma_{M1}}} \right] = 1,0 \cdot \left[1 + (0,587 - 0,2) \cdot \frac{25,9 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{669,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 1,018$$

$$k_{yy} = 1,018 \leq 1,0 \cdot \left[1 + 0,8 \cdot \frac{25,9 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{669,75 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 1,037$$

$$k_{zy} = 0,6 \cdot k_{yy} = 1,018 = 0,611$$

Posouzení – vybočení ve směru z

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rd}} = \frac{25,9}{0,184 \cdot 669,75} = 0,21 < 1,00$$

$$\gamma_{M1} \quad \gamma_{M1}$$

Posouzení – kombinace tlaku a ohybu ve směru y

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rd}} = \frac{25,9}{0,843 \cdot 669,75} + 1,018 \cdot \frac{14,6}{0,407 \cdot 51,7} = 0,75 < 1,00$$

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

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rd}} \cdot k_{zy} + \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rd}} = \frac{25,9}{0,843 \cdot 669,75} \cdot 0,611 + \frac{14,6}{0,407 \cdot 51,7} = 0,72 < 1,00$$

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

VYHOVÍ**4.2.9. MSP – posouzení vaznice****Kombinace pro MSP (charakteristická)**

Charakteristická kombinace: $g_{k,y} + q_{w+} + \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,y}$

$$0,38 + 3,82 + 0,5 \cdot 2,12 = 5,26 \text{ kN} / \text{m}^1$$

Svislý průhyb prostě uloženého nosníku

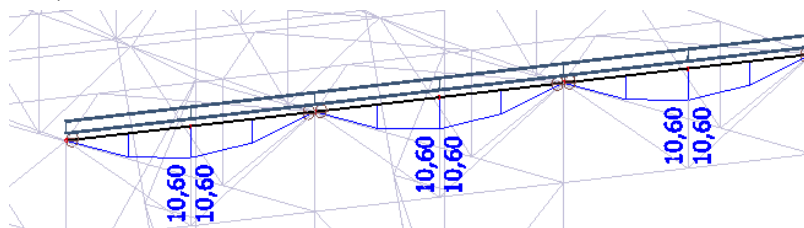
$$w_{lim} = \frac{1}{200} \cdot l = \frac{1}{200} \cdot 4600 = 23 \text{ mm}$$

$$w_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ek,char} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{5,26 \cdot 10^3 \cdot 4,6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,94 \cdot 10^{-5}} \cdot 10^3 = 7,53 \text{ mm} \leq w_{lim} \quad \text{VYHOVÍ}$$

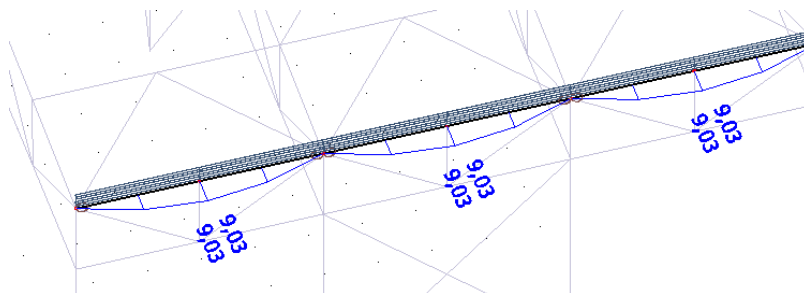
4.2.10. Vnitřní síly – okapová vaznice

Vnitřní síly pro kombinaci A maximální tlak:

$$M_{Ed,y,A} = 10,60 \text{ kNm}$$

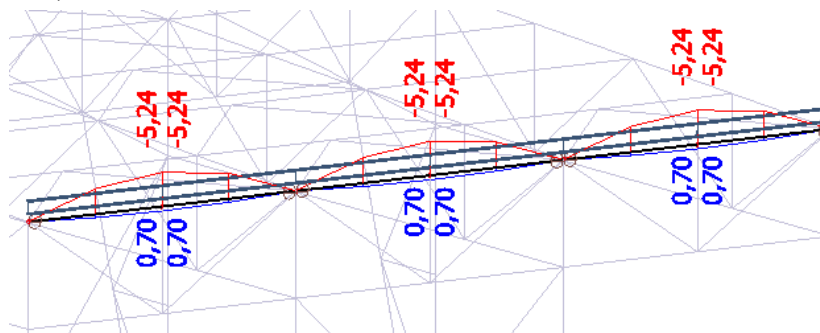


$$M_{Ed,z,A} = 9,03 \text{ kNm}$$

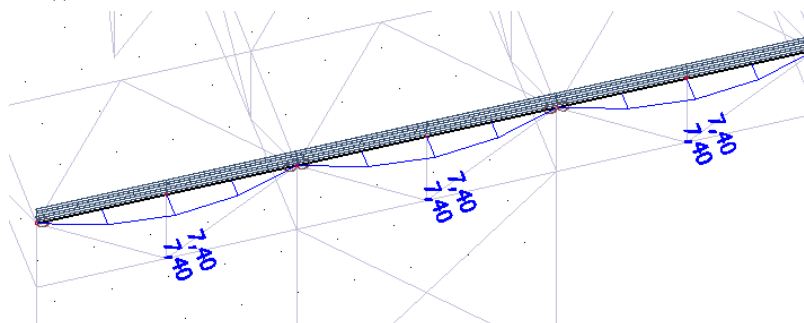


Vnitřní síly pro kombinaci B maximální sání:

$$M_{Ed,y,B} = -5,24 \text{ kNm}$$



$$M_{Ed,z,B} = 7,40 \text{ kNm}$$



4.2.11. MSÚ - návrh a posouzení okapové vaznice

Okapová vaznice díky tuhému střešnímu plášti přebírá účinky v rovině střechy od sněhu, tíhy střešního pláště a tření větru v příčném směru. Bude posouzena na ohyb ve dvou rovinách. Okapová vaznice není zatížena normálovou silou.

Posouzení pro kombinaci A maximální tlak:

$$M_{Rd,y} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,2 \cdot 10^{-4} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 51,7 kNm$$

$$M_{Rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,46 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 10,48 kNm$$

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}} \right)^\beta = \left(\frac{10,60}{51,70} \right)^2 + \left(\frac{9,03}{10,48} \right)^1 = 0,91 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\alpha = 2 \quad \beta = 1$$

Kdy koeficienty α a β jsou určeny dle ČSN EN 1993-1-1 Navrhování ocelových konstrukcí vztah 6.41 pro I a H profily.

Posouzení pro kombinaci B maximální sání:

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,407 \cdot 2,20 \cdot 10^{-7} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 21,02 kNm$$

viz. výše klopení od ohybu

$$M_{Rd,z} = \frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,46 \cdot 10^{-5} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 10,48 kNm$$

$$\left(\frac{M_{Ed,y}}{M_{Rd,y}} \right)^\alpha + \left(\frac{M_{Ed,z}}{M_{Rd,z}} \right)^\beta = \left(\frac{5,24}{21,02} \right)^2 + \left(\frac{7,40}{10,48} \right)^1 = 0,77 \leq 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\alpha = 2 \quad \beta = 1$$

4.2.12. MSP – posouzení okapové vaznice**Kombinace pro MSP (charakteristická)**

$$\text{Charakteristická kombinace: } g_{k,z} + q_{w,tření+} + \psi_{0,snih} \cdot q_{sk,z} \\ 0,13 + 1,74 + 0,5 \cdot 0,93 = 2,33 kN / m'$$

Průhyb prostě uloženého nosníku v rovině střechy

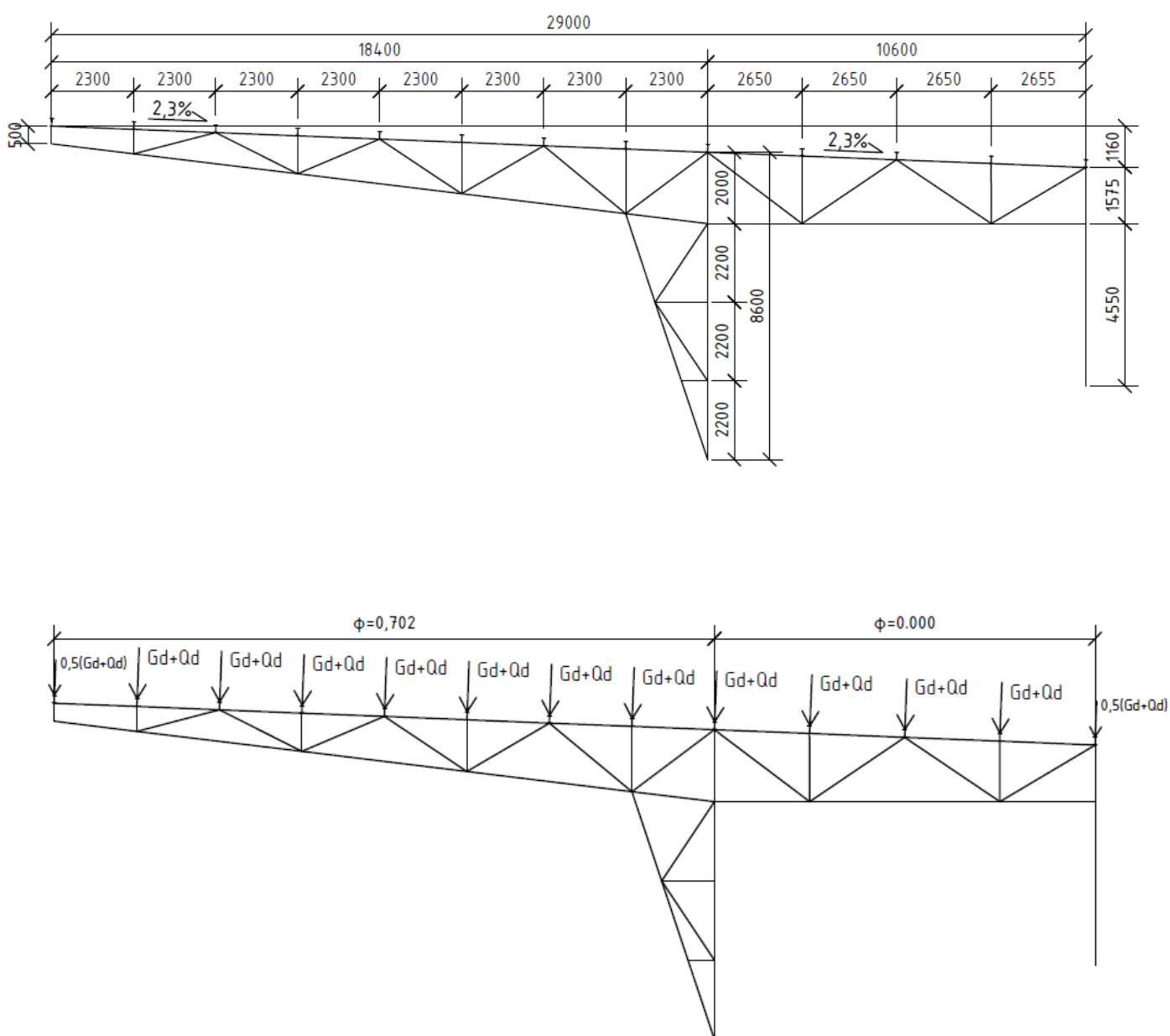
$$w_{lim} = \frac{1}{200} \cdot l = \frac{1}{200} \cdot 4600 = 23 mm$$

$$w_{max} = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ek,char} \cdot l^4}{E \cdot I_z} = \frac{5}{384} \cdot \frac{2,33 \cdot 10^3 \cdot 4,6^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 1,42 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^3 = 18,94 mm \leq w_{lim} \quad \text{VYHOVÍ}$$

5. Varianta A - příhradový vazník

Vazník varianty A je navržen jako příhradový. Pruty vazníku jsou ve všech případech, až na horní pás, navrženy jako trubky CHS. Použití trubek je odůvodněno především architektonickými nároky na konstrukci, jež bude celá pohledová. Pouze horní pás je navržen z profilu IPE, důvodem je menší pracnost při ukládání vaznic a jeho velká tuhost v rovině y-y oproti trubce. Tato tuhost pomáhá této variantě konstrukce dosahovat příznivějších deformací a lépe tak vyhovět meznímu stavu použitelnosti.

5.1. Schéma vazníku



5.2. Zatížení a kombinace zatížení

- Vlastní tíha vazníku byla generována SW
- Rozpětí vaznice $l = 4,6\text{m}$
- Oblast B+C $\varphi = 0,702$

Stálá zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm		4,6	0,138	0,63
Vaznice IPE200		4,6	0,22	1,01
Vlastní tíha vazníku - generováno SW				
	$G_{k,y=}$			1,65
Klimatická zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$Q_{w-}=$	4,6	-3,61	-16,61
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$Q_{w+}=$	4,6	3,31	15,24
Sníh plný	$Q_{s,y}=$	4,6	1,84	8,46
Sníh nerovnoměrný	$Q_{s,y'}=$	4,6	0,92	4,23
Užitná zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Plošná montážní zatížení	$Q_{k=}$	4,6	1,73	7,94

- Vlastní tíha vazníku byla generována SW
- Rozpětí vaznice $l = 4,6\text{m}$
- Oblast B+C $\varphi = 0,000$

Stálá zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm		4,6	0,159	0,73
Vaznice IPE200		4,6	0,22	1,01
Vlastní tíha vazníku - generováno SW				
	$G_{k,y=}$		0,38	1,74
Klimatická zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$Q_{w-}=$	4,6	-2,86	-13,17
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$Q_{w+}=$	4,6	3,82	17,55
Sníh plný	$Q_{s,y}=$	4,6	2,12	9,75
Sníh plný	$Q_{s,y'}=$	4,6	1,06	4,88
Užitná zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Plošná montážní zatížení	$Q_{k=}$	4,6	1,99	9,14

Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sních)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} \\
 & 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{w+} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} \\
 & 0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot Q_{w+} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y}
 \end{aligned}$$

Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{inf}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w-} \\
 & 1,00 \cdot G_{k,y} - 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w-}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{inf}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{w-} \\
 & 0,85 \cdot 1,00 \cdot G_{k,y} - 1,5 \cdot Q_{w-}
 \end{aligned}$$

Kombinace C pro nerovnoměrný sních (vl. tíha + nerovnoměrný sních + tlak větru)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} \\
 & 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{sk,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} \\
 & 0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot Q_{sk,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+}
 \end{aligned}$$

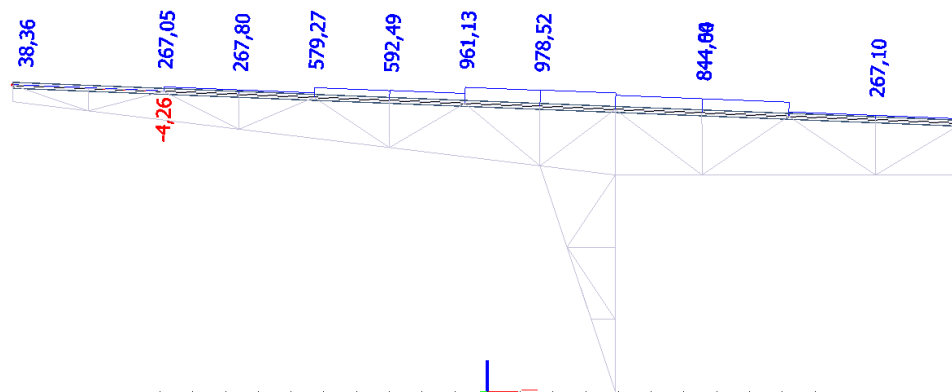
Kombinace D pro užité zatížení (vl. tíha + lokální užité zatížení)

Tato kombinace nebude pro návrh vazníku rozhodující.

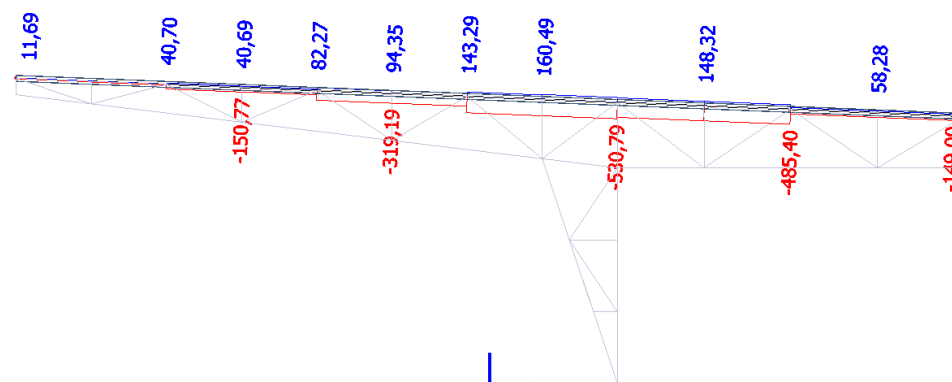
5.3. Návrh a posouzení jednotlivých prvků vazníku na MSÚ

5.3.1. Horní pás vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)

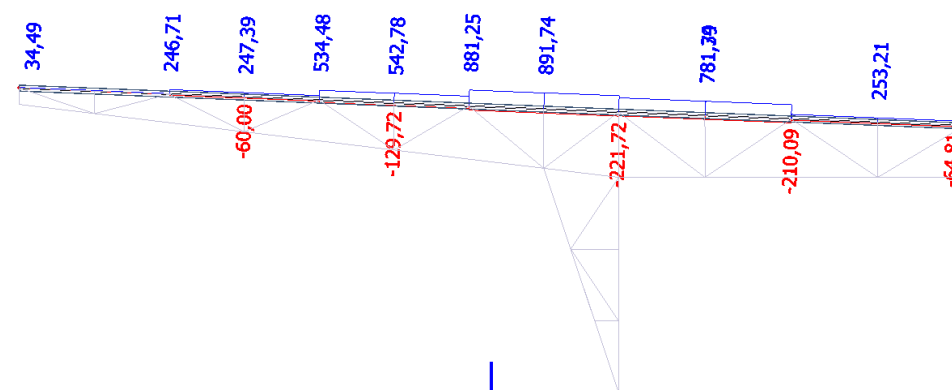
Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



Dimenzační normálová síla

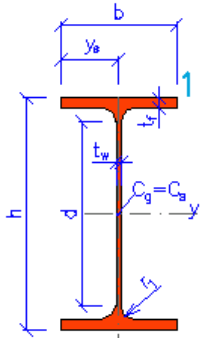
Tlaková: $N_{Ed-} = -530,79 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed+} = 978,52 \text{ kN}$

5.3.2. Horní pás vazníku – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

Horní pás vazníku je oproti ostatním prutům konstrukce navržen z profilu IPE a to z důvodů výše zmíněných: snadnější uložení vaznice a větší tuhost v rovině y-y.

IPE300			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 300 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 150 \text{ mm}$		$I_y = 8.36\text{E}+7 \text{ mm}^4$	$I_z = 6.04\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 10.7 \text{ mm}$		$W_{y1} = 5.57\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 8.05\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 7.1 \text{ mm}$		$W_{yp1} = 6.28\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{zp1} = 1.25\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 15 \text{ mm}$		$i_y = 125 \text{ mm}$	$i_z = 33.5 \text{ mm}$
$y_s = 75 \text{ mm}$		$S_y = 3.14\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$S_z = 6.26\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 248.6 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 5380 \text{ mm}^2$		$I_w = 1.26\text{E}+11 \text{ mm}^6$	$I_t = 2.01\text{E}+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.16 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 42.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 37.5 \text{ mm}$	$i_{pc} = 129 \text{ mm}$

$$\text{Stojina: } \frac{c}{t} = \frac{248,6}{7,1} = 35,01 \leq 38\varepsilon = 38 \quad \text{kategorie II}$$

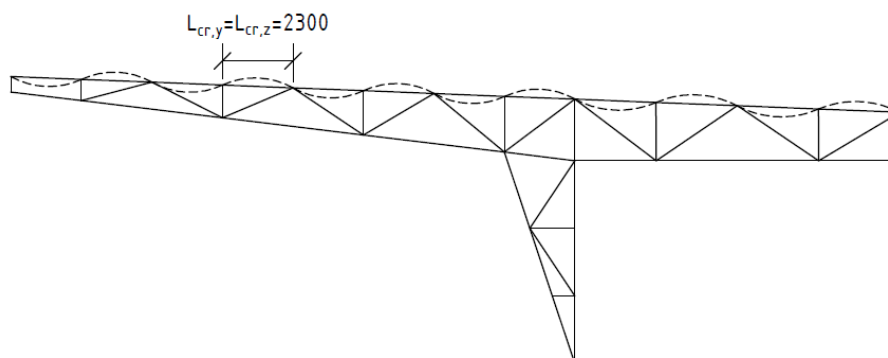
$$\text{Pásnice: } \frac{c}{t} = \frac{75}{10,7} = 7,01 \leq 9\varepsilon = 9 \quad \text{kategorie I}$$

Tlak

Všechny tlačené průřezy budou posouzeny podle ČSN EN 1993-1-1 *Navrhování ocelových konstrukcí* 6.3.1 *Tlačené pruty stálého průřezu*. V tomto případě bude v práci naznačen celý výpočet, posouzení dalších profilů bude provedeno v přehledné tabulce.

$$\text{Vzpěrné délky prutů - } L_{cr,y} = L_{cr,z} = 2,3\text{m}$$

Horní pás vazníku je zabezpečen proti vybočení v rovině **y-y** ve styčnicích vazníku. V rovině **z-z** je proti vybočení zajištěn vaznicemi. Normálová síla od stabilizace horního pásu pomocí vaznice je uvažována a zavedena do výpočtu výše v 4.2.7. *Vnitřní síly – dimenzační.*



Posouzení – směr y

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,36 \cdot 10^{-5}}{2,30^2} = 32754 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5380 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{32754 \cdot 10^3}} = 0,196 \leq 0,2$$

$$\chi_y = 1,0$$

Posouzení – směr z

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,04 \cdot 10^{-6}}{2,30^2} = 2366 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5380 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{2366 \cdot 10^3}} = 0,731$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný H ($h/b \leq 1,2$) profil ve směru **z-z** je „c“:

$$\alpha_z = 0,49$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha_z \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,731 - 0,2) + 0,731^2 \right] = 0,897$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{0,897 + \sqrt{0,897^2 - 0,731^2}} = 0,705$$

$$\chi = \min\{\chi_y; \chi_z\} = \min\{1,0; 0,705\} = 0,705$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,705 \cdot 5380 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 891,91 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{530,79}{891,91} = 0,64 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
570,00	210	235	5380	83600000	6040000	2,3	2,3

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y
32754	0,196	0,519	0,34	1,000
N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z
2366	0,731	0,897	0,49	0,705

χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
0,705	891,91

Posudek:

0,64
VYHOVÍ

Tah

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5380 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 1264,30 \text{ kN}$$

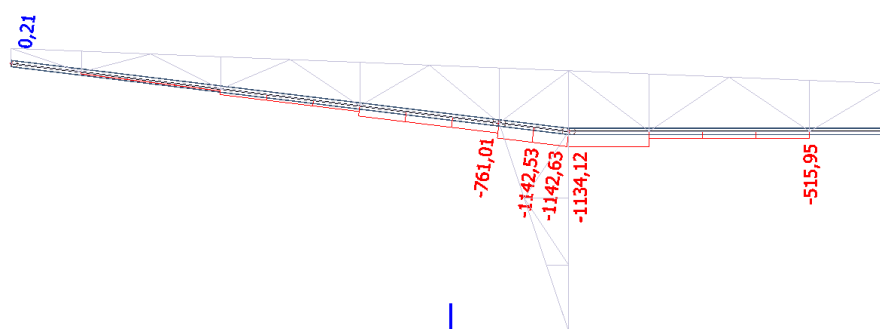
$$\frac{N_{Ed+}}{N_{t,Rd}} = \frac{978,52}{1264,30} = 0,77 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

N_{Ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
978,52	210	235	5380	1264,30

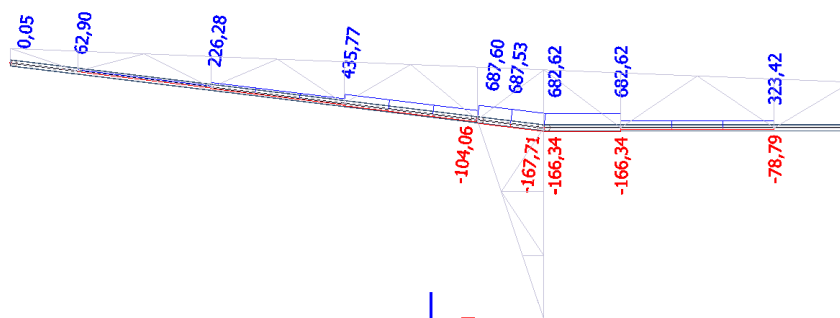
Posudek: **0,77**
VYHOVÍ

5.3.3. Dolní pás vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)

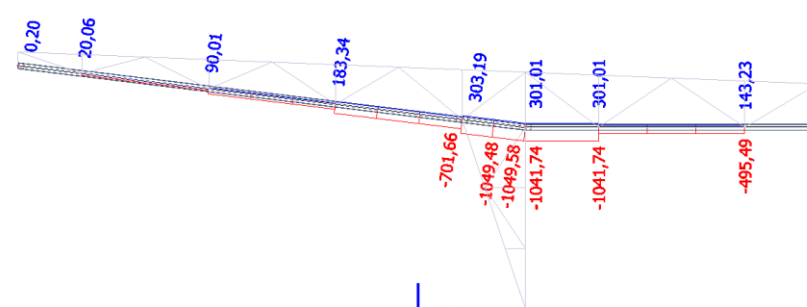
Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



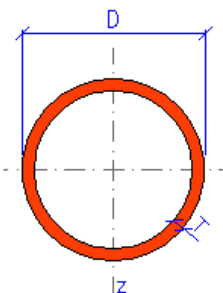
Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed,1,-} = -761,01 \text{ kN}$ $N_{Ed,2,-} = -1142,63 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed,2,+} = 687,60 \text{ kN}$

5.3.4. Dolní pás vazníku – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 219.1x12.5		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 4.34\text{E}+7 \text{ mm}^4$
$D = 219.1 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 3.97\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$T = 12.5 \text{ mm}$		$W_{y,p1} = W_{z,p1} = 5.34\text{E}+5 \text{ mm}^3$
$A = 8110 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 73.2 \text{ mm}$
$A_L = 0.688 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 8.69\text{E}+7 \text{ mm}^4$
$G = 63.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 7.93\text{E}+5 \text{ mm}^3$

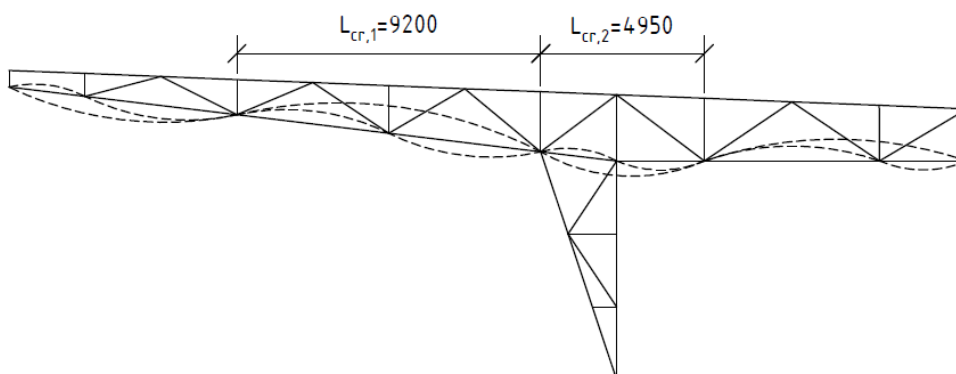
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{219,1}{12,5} = 17,53 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \quad \text{kategorie I}$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr,1} = 9,2\text{m}$ $L_{cr,2} = 4,95\text{m}$

Dolní pás vazníku je zabezpečen proti vybočení v rovině **y-y** ve styčnicích vazníku. V rovině **z-z** je proti vybočení zajištěn pomocí svislých ztužidel. Normálová síla od stabilizace dolního pásu je ve výpočtu uvažována v kapitole 11.2. *Návrh a posouzení jednotlivých prvků svislého podélného ztužidla.*



Posouzení

$$L_{cr,1} = 9,2m \quad N_{Ed,1,-} = -761,01kN$$

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	L_{cr} [m]
761,01	210	235	8110	43400000	9,2

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
1063	1,339	1,516	0,21	0,449	855,63

0,89
VYHOVÍ

$$L_{cr,2} = 4,95m \quad N_{Ed,2,-} = -1142,63kN$$

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
1142,63	210	235	8110	43400000	4,95

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
3671	0,721	0,814	0,21	0,838	1596,91

0,72
VYHOVÍ

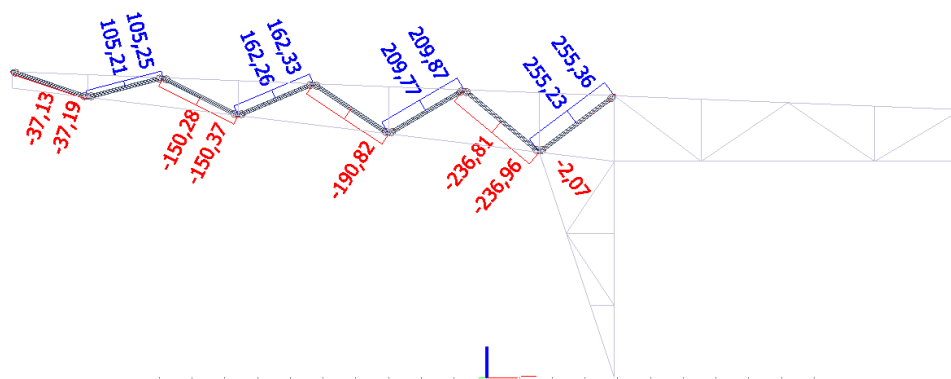
Tah**Posouzení**

N_{Ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
687,60	210	235	8110	1905,85

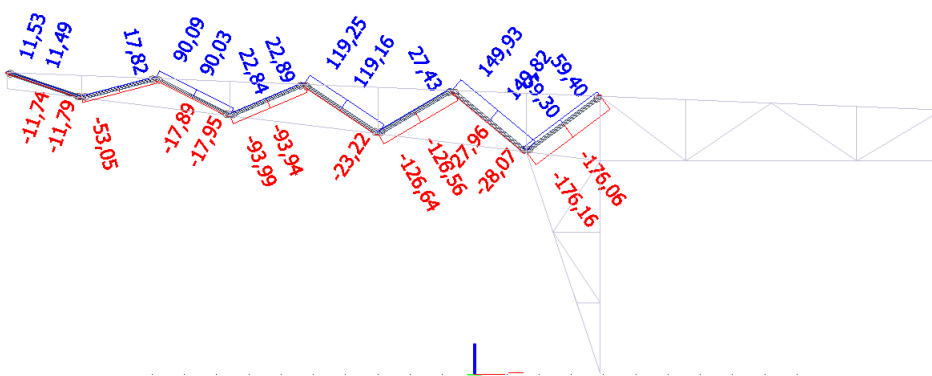
Posudek: **0,36**
VYHOVÍ

5.3.5. Diagonály v převislé části vazníku – vnitřní síly (výsledky ze SW)

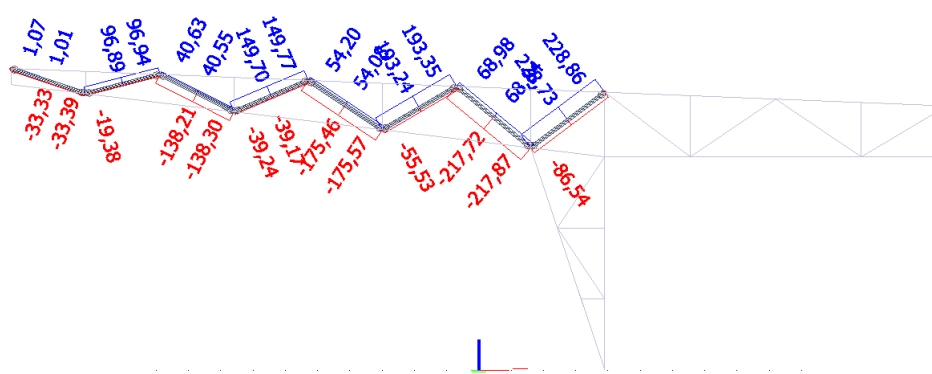
Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



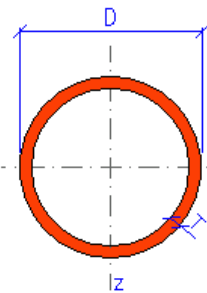
Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -236,96 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed,+} = 255,36 \text{ kN}$

5.3.6. Diagonály v převislé části vazníku – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 101.6x5		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 101.6 mm		$I_y = I_z = 1.77\text{E}+6 \text{ mm}^4$
T = 5 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 3.49\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 1520 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 4.67\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.319 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 34.2 \text{ mm}$
G = 11.9 kg·m ⁻¹		$I_t = 3.55\text{E}+6 \text{ mm}^4$
		$C_t = 6.99\text{E}+4 \text{ mm}^3$

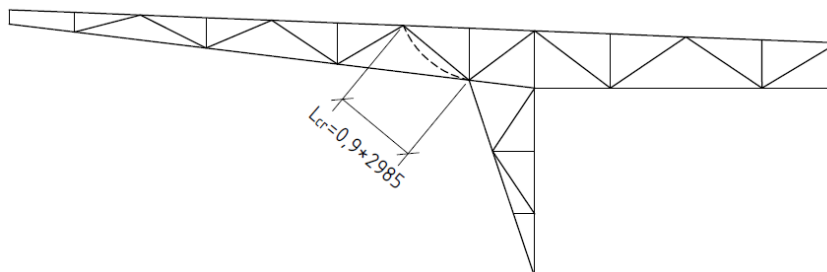
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{101,6}{5} = 20,32 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 0,9 \cdot 2,985 = 2,687 \text{ m}$

Diagonála je zabezpečena proti vybočení ve styčnicích vazníku.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
236,96	210	235	1520	1770000	2,687

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
508	0,838	0,919	0,21	0,773	276,12

0,86
VYHOVÍ

Tah

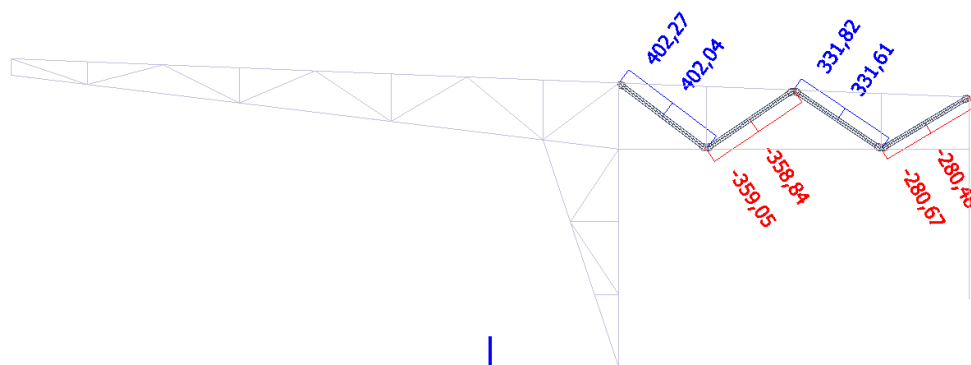
Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
255,36	210	235	1520	357,20

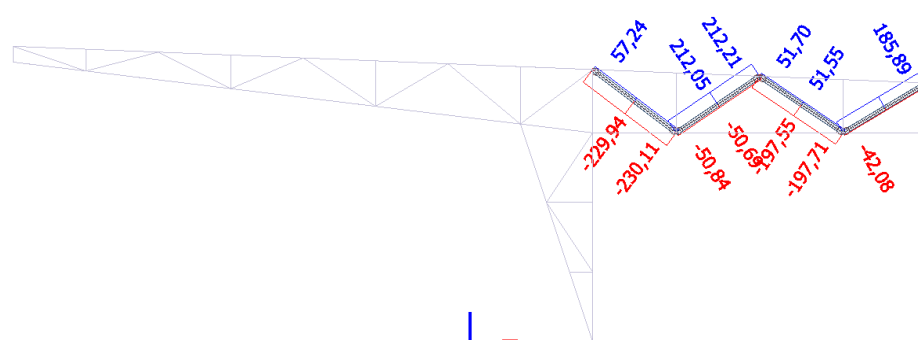
Posudek: **0,71**
VYHOVÍ

5.3.7. Diagonály v části nad zázemím – vnitřní síly (výsledky ze SW)

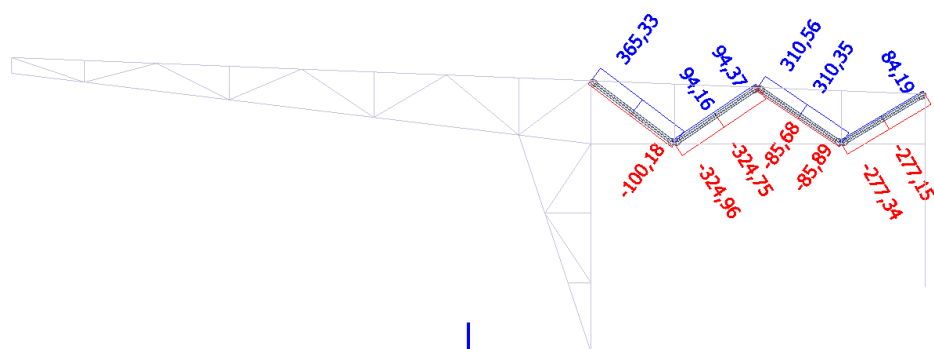
Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



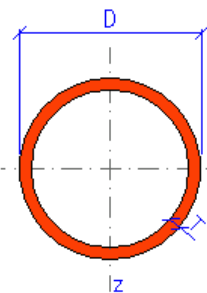
Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -359,06 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed,+} = 402,27 \text{ kN}$

5.3.8. Diagonály v části nad zázemím – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 101.6x10		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 3.05E+6 \text{ mm}^4$
$D = 101.6 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 6.01E+4 \text{ mm}^3$
$T = 10 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 8.42E+4 \text{ mm}^3$
$A = 2880 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 32.6 \text{ mm}$
$A_L = 0.319 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 6.11E+6 \text{ mm}^4$
$G = 22.6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 1.20E+5 \text{ mm}^3$

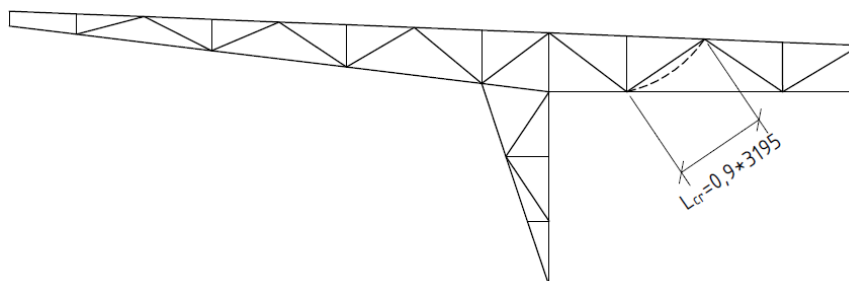
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{101,6}{10} = 10,16 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 0,9 \cdot 3,195 = 2,876 \text{ m}$

Diagonála je zabezpečena proti vybočení ve styčnicích vazníku.



Posouzení

$N_{ed} [\text{kN}]$	$E [\text{GPa}]$	$f_y [\text{GPa}]$	$A [\text{mm}^2]$	$I [\text{mm}^4]$	$L_{cr} [\text{m}]$
359,06	210	235	2880	3050000	2,876

$N_{cr} [\text{kN}]$	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd} [\text{kN}]$
764	0,941	1,021	0,21	0,706	478,10

**0,75
VYHOVÍ**

Tah

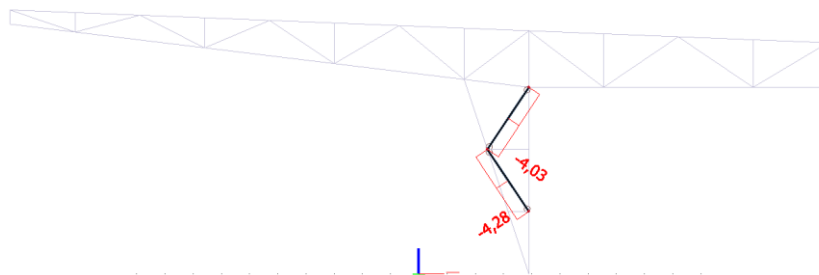
Posouzení

$N_{ed+} [\text{kN}]$	$E [\text{GPa}]$	$f_y [\text{MPa}]$	$A [\text{mm}^2]$	$N_{t,Rd} [\text{kN}]$
402,27	210	235	2880	676,80

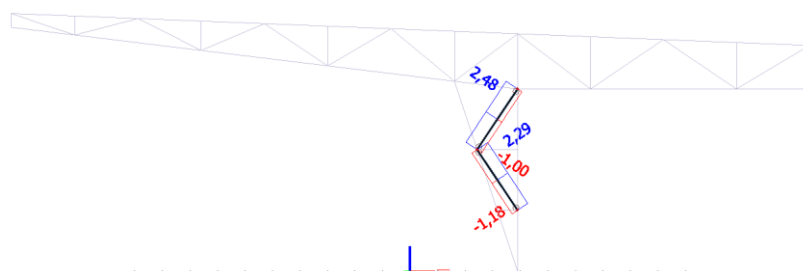
Posudek: **0,59
VYHOVÍ**

5.3.9. Diagonály stojky – vnitřní síly (výsledky ze SW)

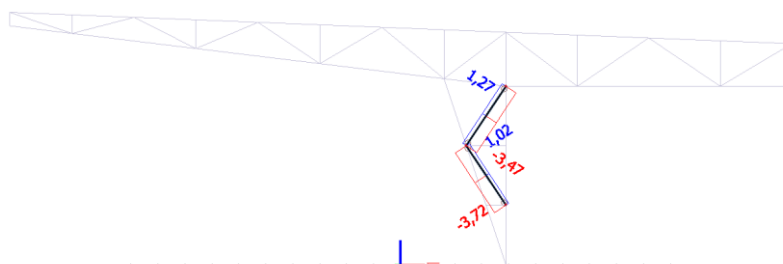
Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



5.3.10. Diagonály stojky – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 60.3x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 2.82E+5 \text{ mm}^4$
D = 60.3 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 9340 \text{ mm}^3$
T = 4 mm		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1.27E+4 \text{ mm}^3$
A = 707 mm ²		$i_y = i_z = 20 \text{ mm}$
$A_L = 0.189 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 5.63E+5 \text{ mm}^4$
G = 5.55 kg·m ⁻¹		$C_t = 1.87E+4 \text{ mm}^3$

Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{2650}{20} = 132,5$

Vzhledem k minimálním silám navrženo konstrukčně.

5.3.11. Primární stojka střední podpory a svislice nad ní – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



Dimenzační normálová síla - stojka

Tlaková: $N_{Ed-} = -535,27 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed,+} = 340,77 \text{ kN}$

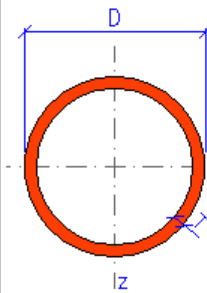
Dimenzační normálová síla - svislice

Tlaková: $N_{Ed-} = -435,24 \text{ kN}$

Tahová: $N_{Ed,+} = 272,09 \text{ kN}$

5.3.12. Primární stojka střední podpory – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 219.1x8		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 219.1 mm		$I_y = I_z = 2.96E+7 \text{ mm}^4$
T = 8 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.70E+5 \text{ mm}^3$
A = 5310 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.57E+5 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.688 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 74.7 \text{ mm}$
G = 41.6 kg·m ⁻¹		$I_t = 5.92E+7 \text{ mm}^4$
		$C_t = 5.40E+5 \text{ mm}^3$

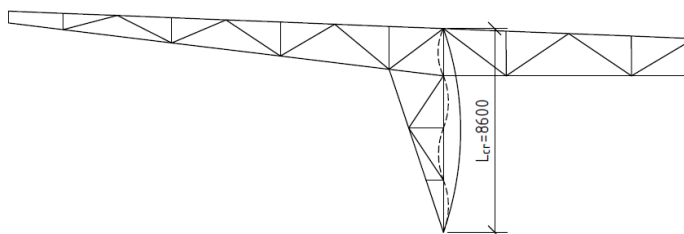
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{219,1}{8} = 27,34 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 8,6 \text{ m}$

Primární stojka je proti vybočení zabezpečena v kotvení vazníku a v rovině střechy vaznicí.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
535,27	210	235	5310	29600000	8,6

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
829	1,227	1,360	0,21	0,513	640,76

0,84
VYHOVÍ

Tah

Posouzení

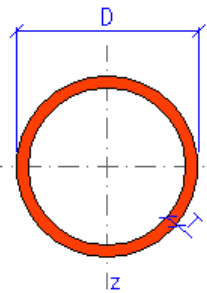
N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
340,77	210	235	5310	1247,85

Posudek: **0,27**
VYHOVÍ

5.3.13. Svislice nad primární stojkou – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

Průřez je navržen z menšího profilu než stojka z důvodu konstrukčního uspořádání styčníků (dostatečný prostor pro přivaření diagonál).

CHS 177.8x12.5		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 2.23E+7 \text{ mm}^4$
$D = 177.8 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.51E+5 \text{ mm}^3$
$T = 12.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.42E+5 \text{ mm}^3$
$A = 6490 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 58.6 \text{ mm}$
$A_L = 0.559 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 4.46E+7 \text{ mm}^4$
$G = 51 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 5.02E+5 \text{ mm}^3$

$$\text{Trubka: } \frac{d}{t} = \frac{177,8}{12,5} = 14,22 \leq 50\varepsilon^2 = 50 \quad \text{kategorie I}$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 8,6 \text{ m}$

Svislice nad stojkou tvoří se stojkou prakticky jeden prut, který je proti vybočení zabezpečena v kotvení vazníku a v rovině střechy vaznicí.

Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
435,24	210	235	6490	22300000	8,6

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
625	1,562	1,863	0,21	0,347	529,78

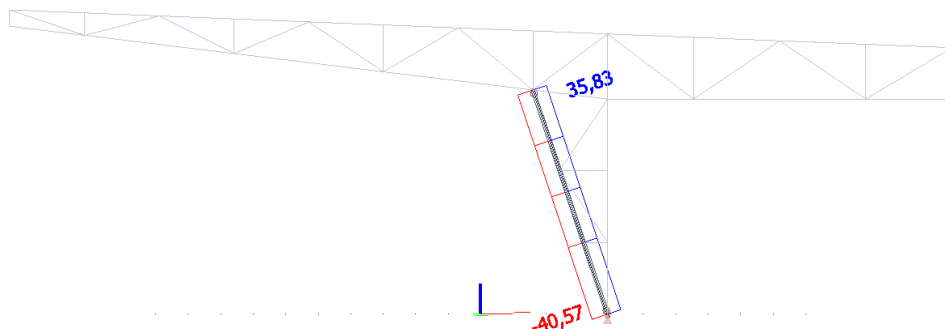
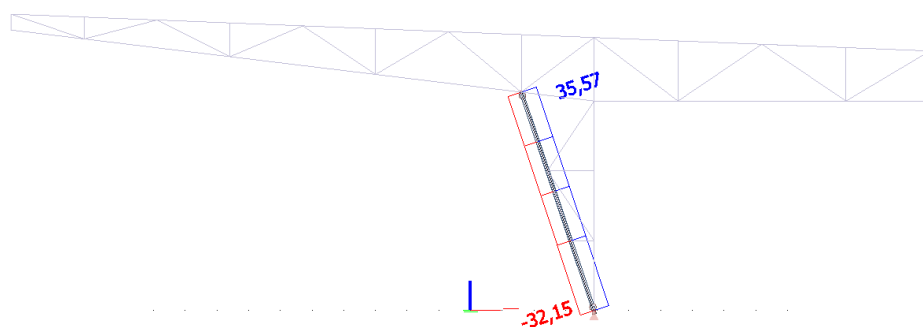
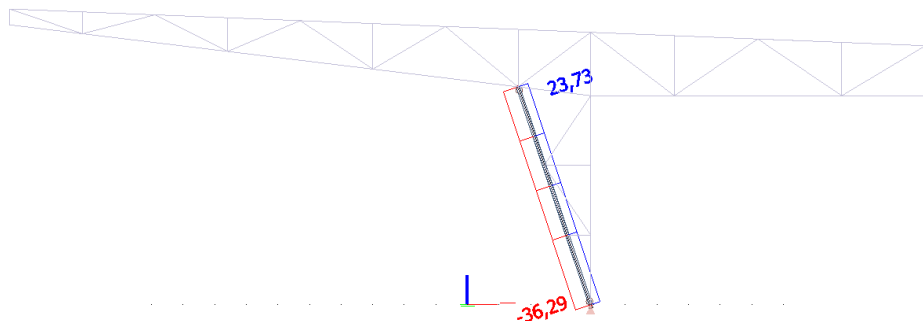
0,82
VYHOVÍ

Tah

Posouzení

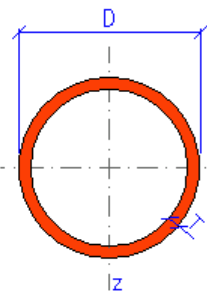
N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
272,09	210	235	6490	1525,15

Posudek: **0,18**
VYHOVÍ

5.3.14. Sekundární stojka střední podpory – vnitřní síly (výsledky ze SW)**Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)****Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)****Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)****Dimenzační normálová síla**Tlaková: $N_{Ed-} = -40,57 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed,+} = 35,83 \text{ kN}$

5.3.15. Sekundární stojka střední podpory – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 101.6x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 1.46\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$D = 101.6 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.88\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 4 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.81\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 1230 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 34.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.319 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 2.93\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 9.63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 5.76\text{E}+4 \text{ mm}^3$

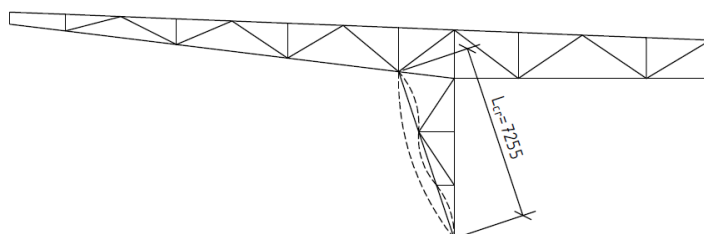
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{101,6}{4} = 25,4 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 7,255\text{m}$

Sekundární stojka je proti vybočení zabezpečena v kotvení vazníku a ve styčnicku vazníku (v rovině z-z podélným větrovým ztužidlem).



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
40,57	210	235	989	1460000	7,255

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
57	2,011	2,711	0,21	0,221	51,30

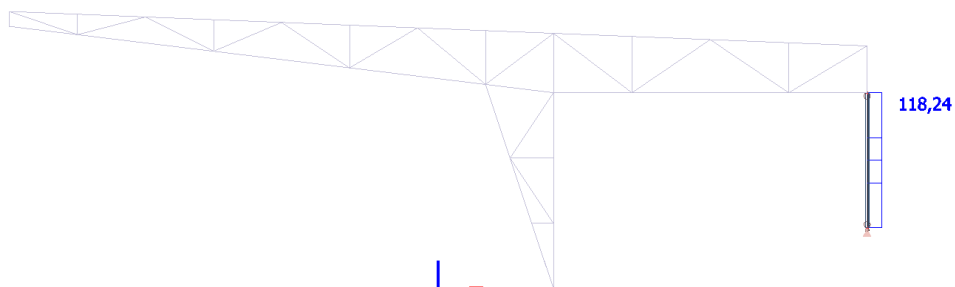
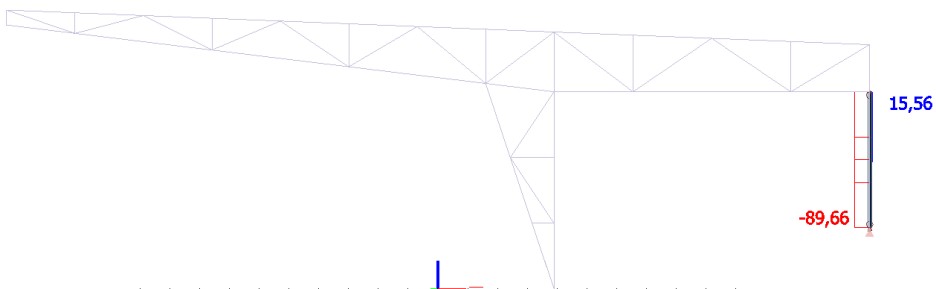
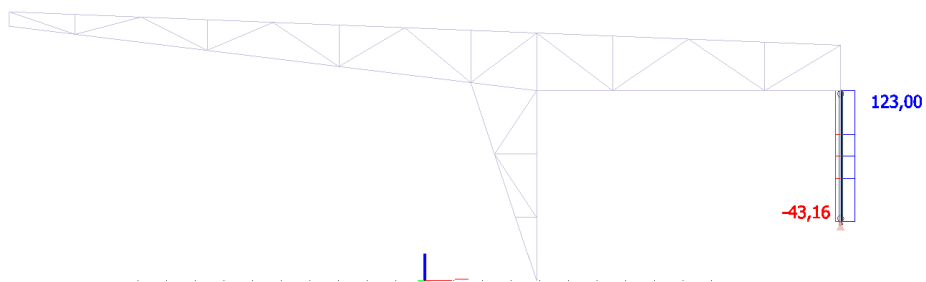
0,79
VYHOVÍ

Tah

Posouzení

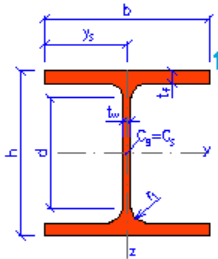
N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
35,83	210	235	989	232,42

Posudek: **0,15**
VYHOVÍ

5.3.16. Krajní stojka – vnitřní síly (výsledky ze SW)**Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)****Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)****Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)****Dimenzační normálová síla**Tlaková: $N_{Ed-} = -86,66 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed,+} = 123,00 \text{ kN}$

5.3.17. Krajní podpora – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

HE100B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 100 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 100 \text{ mm}$		$I_y = 4.49\text{E}+6 \text{ mm}^4$	$I_z = 1.67\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 10 \text{ mm}$		$W_{y1} = 8.99\text{E}+4 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 3.34\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 6 \text{ mm}$		$W_{ypl} = 1.04\text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{zpl} = 5.11\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 12 \text{ mm}$		$i_y = 41.6 \text{ mm}$	$i_z = 25.3 \text{ mm}$
$y_s = 50 \text{ mm}$		$S_y = 5.21\text{E}+4 \text{ mm}^3$	$S_z = 2.56\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 56 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 2600 \text{ mm}^2$		$I_w = 3.38\text{E}+9 \text{ mm}^6$	$I_t = 9.26\text{E}+4 \text{ mm}^4$
$A_L = 0.57 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 20.4 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 23.4 \text{ mm}$	$i_{pc} = 48.7 \text{ mm}$

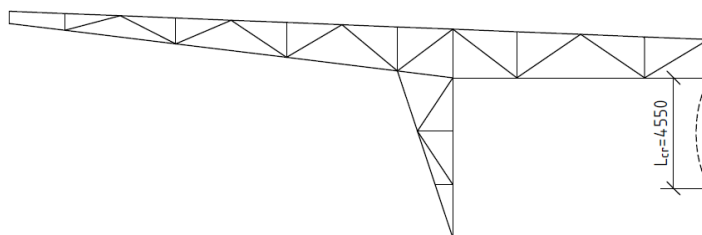
Stojina: $\frac{c}{t} = \frac{56}{6} = 9,33 \leq 33\varepsilon = 33$ *kategorie I*

Pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{47}{10} = 4,70 \leq 9\varepsilon = 9$ *kategorie I*

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 4,55\text{m}$

Sloup je kloubově uložen v kotvení a ve styčnicku vazníku (v rovině z-z podélným větrovým ztužidlem).



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
86,66	210	235	2600	4490000	1670000	4,55	4,55

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y
450	1,166	1,344	0,34	0,497
N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z
167	1,912	2,747	0,49	0,212

χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
0,212	129,48

Posudek: **0,67**
VYHOVÍ

Tah - Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
123,00	210	235	2600	611,00

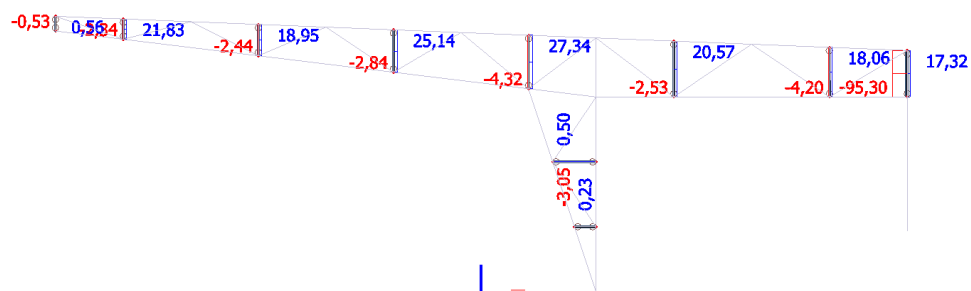
Posudek: **0,20** **VYHOVÍ**

5.3.18. Svislice – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)



Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)



Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)



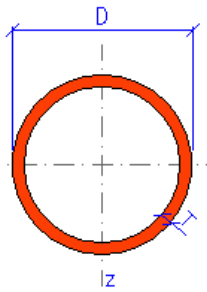
Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -95,30kN$

Tahová: $N_{Ed,+} = 134,19kN$

5.3.19. Svislice – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 60.3x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 60.3 mm		$I_y = I_z = 2.82E+5 \text{ mm}^4$
T = 4 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 9340 \text{ mm}^3$
A = 707 mm ²		$W_{y,p1} = W_{z,p1} = 1.27E+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.189 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 20 \text{ mm}$
G = 5.55 kg·m ⁻¹		$I_t = 5.63E+5 \text{ mm}^4$
		$C_t = 1.87E+4 \text{ mm}^3$

Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{60,3}{4} = 15,07 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

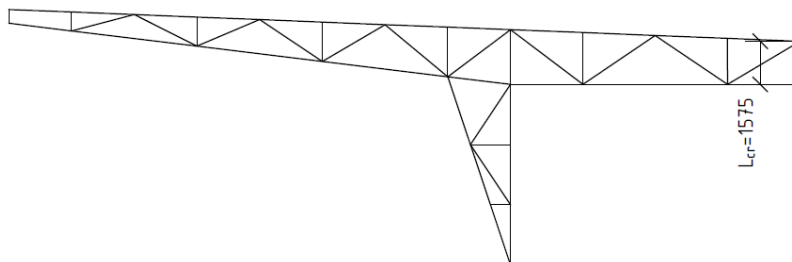
Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{t} = \frac{2000}{20} = 100$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 1,575 \text{ m}$

Svislice jsou proti vybočení zajištěny ve styčnicích vazníku.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
95,30	210	235	707	282000	1,575

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
236	0,840	0,920	0,21	0,772	128,30

0,74
VYHOVÍ

Tah - Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
134,19	210	235	707	166,15

Posudek: **0,81** **VYHOVÍ**

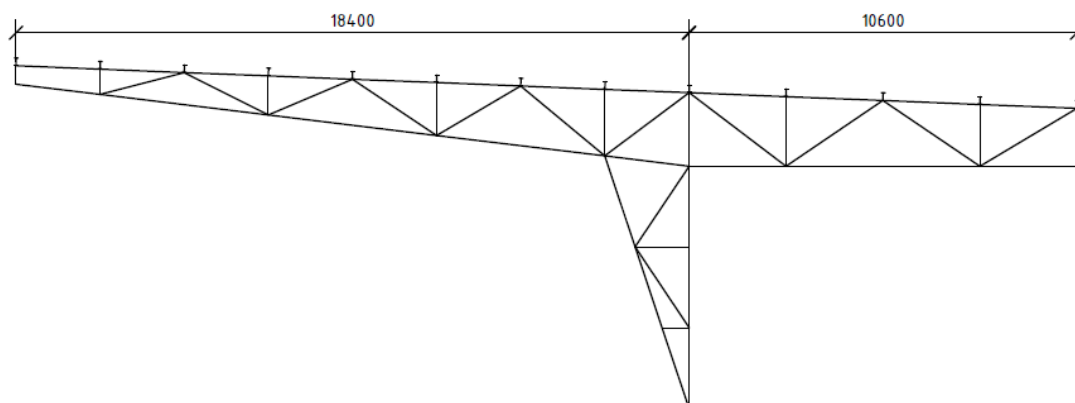
5.4. Návrh a posouzení celého vazníku na MSP

Charakteristická kombinace:

$$G_{k,z} + Q_{w,tření} + \psi_{0,snih} \cdot Q_{sk,z}$$

$$G_{k,z} + Q_{w+} + 0,5 \cdot Q_{sk,z}$$

Průhyb příhradového vazníku



$$w_{lim} = \frac{1}{200} \cdot l = \frac{1}{200} \cdot 18400 = 92 \text{ mm}$$



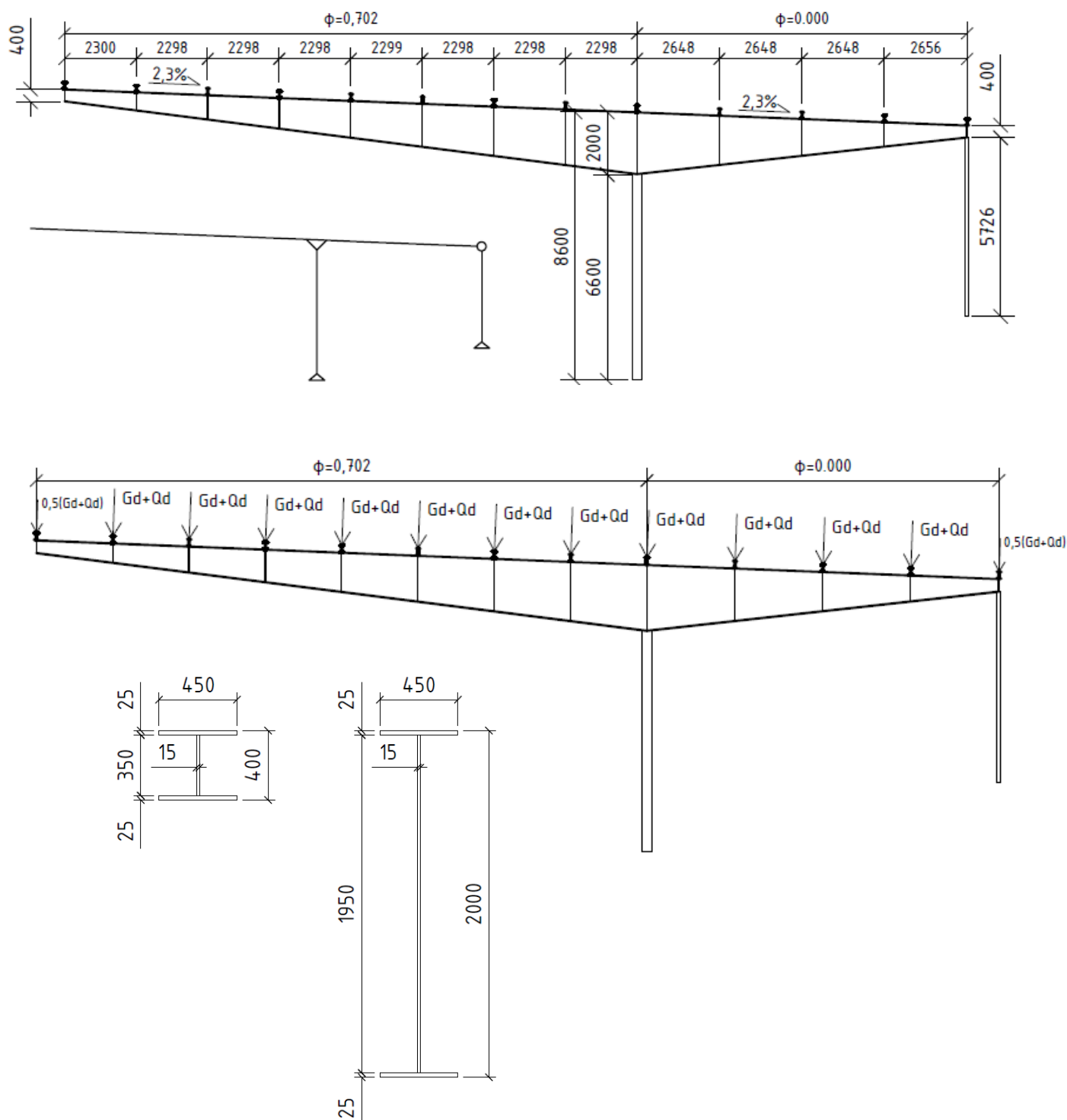
$$w_{max} = 84,80 \text{ mm} \leq w_{lim} \quad \text{VYHOVÍ}$$

6. Varianta B - plnostěnný vazník

Varianta B je navržena jako plnostěnný svařovaný nosník profilu I jež je rámově spojen se střední stojkou z válcovaného profilu HEB. Krajní stojka je kloubově uložena a je taktéž navržena z válcovaného HEB profilu. V rámci výpočtu plnostěnného vazníku jsou posouzeny jednotlivé řezy na vnitřní síly v nich působící.

Výpočet se také zabývá pouze výpočtem hlavních nosných prvků pro účely určení hrubé hmotnosti vazníku. V rámci výpočtu není posouzen rámový přípoj stojky k nosníku ani kloubový přípoj krajní stojky.

6.1. Schéma vazníku



6.2. Zatížení a kombinace zatížení

- Vlastní tíha vazníku byla generována SW
- Rozpětí vaznice $l = 4,6\text{m}$
- Oblast B+C $\varphi = 0,702$

Stálá zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm		4,6	0,138	0,63
Vaznice IPE200		4,6	0,22	1,01
Vlastní tíha vazníku - generováno SW				
	$G_{k,y=}$			1,65
Klimatická zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$Q_{w=-}$	4,6	-3,61	-16,61
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,702$)	$Q_{w+=}$	4,6	3,31	15,24
Sníh plný	$Q_{s,y=}$	4,6	1,84	8,46
Sníh nerovnoměrný	$Q_{s,y'}$	4,6	0,92	4,23
Užitná zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Plošná montážní zatížení	$Q_{k=}$	4,6	1,73	7,94

- Vlastní tíha vazníku byla generována SW
- Rozpětí vaznice $l = 4,6\text{m}$
- Oblast B+C $\varphi = 0,000$

Stálá zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Trapézový plech 55/250 tl. 0,63mm		4,6	0,159	0,73
Vaznice IPE200		4,6	0,22	1,01
Vlastní tíha vazníku - generováno SW				
	$G_{k,y=}$		0,38	1,74
Klimatická zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Vítr - sání (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$Q_{w=-}$	4,6	-2,86	-13,17
Vítr - tlak (oblast B+C, $\varphi=0,0$)	$Q_{w+=}$	4,6	3,82	17,55
Sníh plný	$Q_{s,y=}$	4,6	2,12	9,75
Sníh plný	$Q_{s,y'}$	4,6	1,06	4,88
Užitná zatížení		délka vaznice [m]	kN/m'	kN
Plošná montážní zatížení	$Q_{k=}$	4,6	1,99	9,14

Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sních)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} \\
 & 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{w+} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} \\
 & 0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot Q_{w+} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y}
 \end{aligned}$$

Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{inf}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w-} \\
 & 1,00 \cdot G_{k,y} - 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w-}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{inf}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{w-} \\
 & 0,85 \cdot 1,00 \cdot G_{k,y} - 1,5 \cdot Q_{w-}
 \end{aligned}$$

Kombinace C pro nerovnoměrný sních (vl. tíha + nerovnoměrný sních + tlak větru)

$$\begin{aligned}
 (6.10a) \quad & \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{snih}} \cdot Q_{sk,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} \\
 & 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot Q_{sk,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (6.10b) \quad & \xi \cdot \gamma_{G,\text{sup}} \cdot G_{k,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot Q_{sk,y} + \gamma_{Q,\text{sup}} \cdot \psi_{0,\text{vitr}} \cdot Q_{w+} \\
 & 0,85 \cdot 1,35 \cdot G_{k,y} + 1,5 \cdot Q_{sk,y} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot Q_{w+}
 \end{aligned}$$

Kombinace D pro užité zatížení (vl. tíha + lokální užité zatížení)

Tato kombinace nebude pro návrh vazníku rozhodující.

Vzhledem ke stejnému střešnímu plášti a vaznicím odpovídají zatížení a jejich kombinace variantě A a jsou zde uvedeny jen pro úplnost.

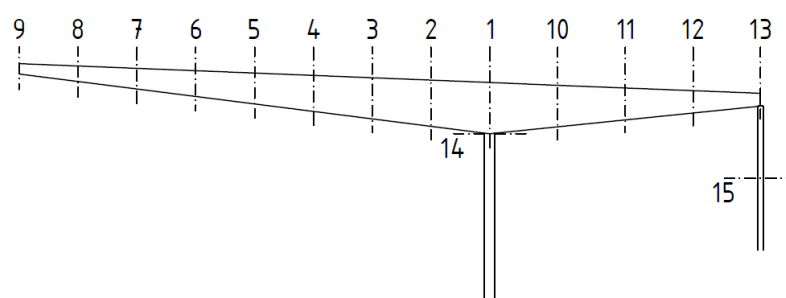
6.3. Návrh a posouzení jednotlivých prvků vazníku na MSÚ

Dimenze plnostěnného nosníku vychází především z potřeb mezního stavu použitelnosti. Nosník byl nejdříve pomocí SW ověřen na MSP a poté zpětně ručně posouzen v jednotlivých řezech na MSÚ.

Pokud by rozhodujícím faktorem pro dimenze nosníku nebyl průhyb, ale jeho únosnost, bylo by vhodnější zvolit zabezpečení spodního pásu proti vybočení vzpěrkou v místě každé, nebo každé druhé vaznice. Takto postačí vzpěrka na okrajích a u převislé části v polovině rozpětí nosníku. Průřez i poté vychází podle MSÚ předimenzovaný.

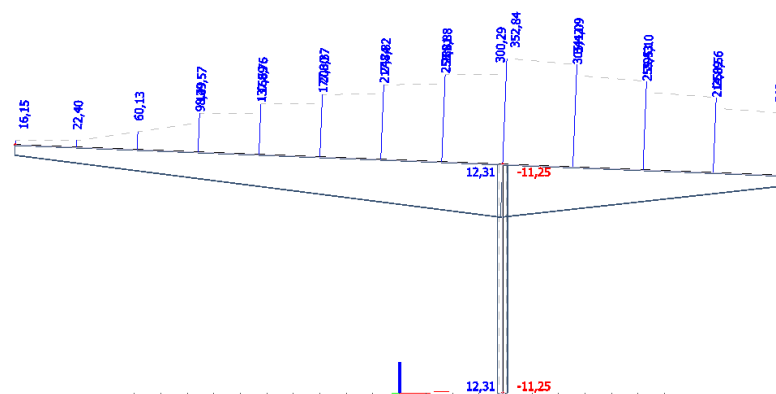
6.3.1. Plnostěnný vazník – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Poloha jednotlivých řezů odpovídá poloze vaznic.

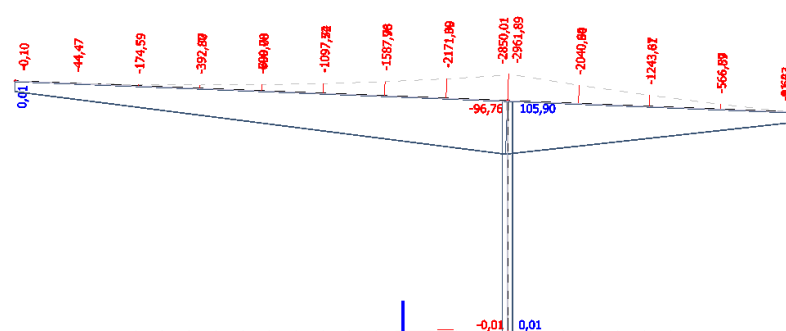


Kombinace A pro maximální tlak (vl. tíha + tlak větru + plný sníh)

V

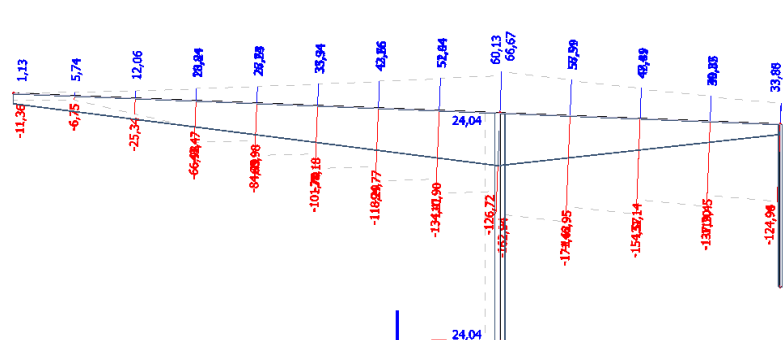


M

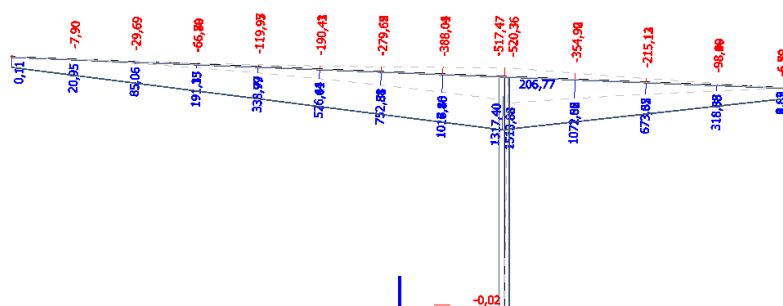


Kombinace B pro maximální sání (vlastní tíha + sání větru)

V

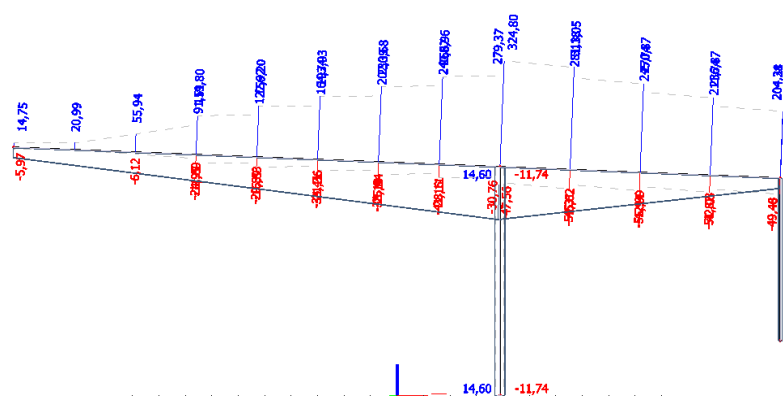


M

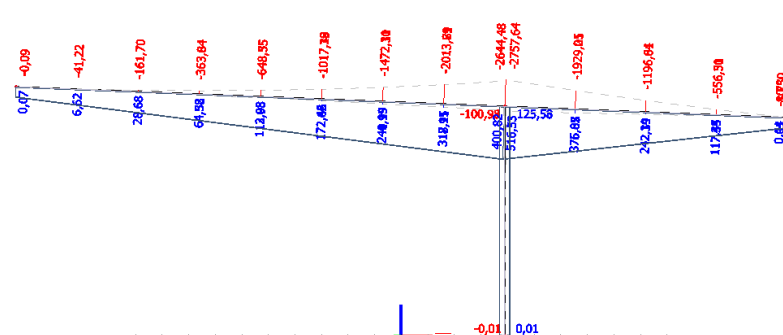


Kombinace C pro nerovnoměrný sníh (vl. tíha + nerovnoměrný sníh + tlak větru)

V



M



6.3.2. Plnostěnný vazník – vnitřní síly (přehled v tabulce)

KOMB.	ŘEZ	9	8	7	6	5	4	3	2	1-L
A	V [kN]	16,15	22,40	60,13	129,57	168,76	208,37	248,82	289,88	300,29
	M [kNm]	0,00	-44,47	-174,59	-392,60	-700,00	-1097,71	-1587,98	-2171,08	-2850,01
B	V [kN]	-11,36	-6,75	-25,34	-66,98	-84,49	-101,70	-118,30	-134,41	-126,72
	M [kNm]	0,00	20,95	85,06	191,35	338,99	526,64	752,88	1013,80	1317,40
C	V [kN]	14,75	20,99	55,94	119,80	156,20	193,03	230,68	268,96	279,37
	M [kNm]	0,00	-41,22	-161,7	-363,54	-648,35	-1017,4	-1472,3	-2013,7	-2644,5

KOMB.	ŘEZ	1-P	10	11	12	13
A	V [kN]	352,84	341,09	295,10	250,56	207,43
	M [kNm]	-2961,89	-2040,40	-1243,67	-566,89	0,00
B	V [kN]	-162,94	-171,63	-154,57	-137,70	-124,96
	M [kNm]	1513,88	1072,61	673,62	318,84	0,00
C	V [kN]	324,80	313,05	270,87	236,87	204,31
	M [kNm]	-2757,6	-1929,6	-1196,5	-556,3	0,00

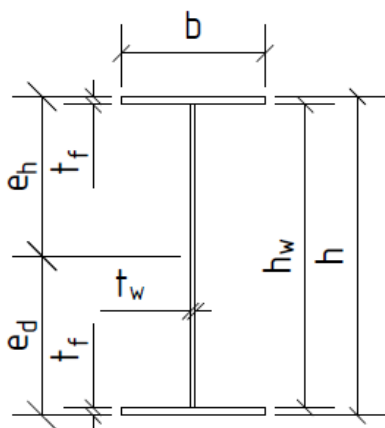
KOMB.	ŘEZ	14	15
A	N+ [kN]	0,00	150,70
	N- [kN]	-687,23	0,00
	V [kN]	12,31	-
	M [kNm]	105,90	-
B	N+ [kN]	314,35	32,73
	N- [kN]	-133,04	-118,61
	V [kN]	24,04	-
	M [kNm]	206,77	-
C	N+ [kN]	91,96	191,32
	N- [kN]	-635,42	-49,51
	V [kN]	14,60	-
	M [kNm]	125,58	-

6.3.3. Posouzení - řez (vpravo)

Při posouzení průřezu 1, ve kterém je největší namáhání, bude v této práci naznačeno celým výpočtem, posouzení dalších průřezů bude provedeno v přehledné tabulce.

$$V_{Ed} = 352,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2961,89 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	2000	mm
$h_w =$	1950	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	53700	mm ²
$A_v =$	37440	mm ²
$e_h = e_d =$	1000	mm

$h_w/t_w =$	121,875	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	31828687500	mm ⁴
$W_{y,el} =$	31828688	mm ³
$I_z =$	380353100	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1690458	mm ³
$I_w =$	370903702671875	mm ⁶
$I_t =$	7349900	mm ⁴

$$\text{Stojina: } \frac{h_w}{t_w} = \frac{1950}{16} = 121,9 \leq 124\varepsilon = 124 \quad \text{kategorie III}$$

$$\text{Pásnice: } \frac{c_f}{t_f} = \frac{212,5}{25} = 8,5 \leq 9\varepsilon \quad \text{kategorie I}$$

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie III*.

Smyk

$$A_w = \eta \sum h_w \cdot t_w = 1,2 \cdot 1950 \cdot 16 = 37440 \text{ mm}^2$$

$\eta = 1,2$ Viz ČSN EN 1993-1-5. Pro oceli do třídy S460 se v ČR uvažuje hodnota $\eta = 1,20$, pro vyšší třídy ocelí $\eta = 1,00$.

$$V_{Rd} = \frac{f_y \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{235 \cdot 37440}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 5079,76 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{352,84}{5079,76} = 0,07 \leq 0,5 \quad \text{Není nutné redukovat momentovou únosnost.}$$

$$V_{Ed} = 352,84 \text{ kN}$$

$$A_v = 37440 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 5079,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,07 VYHOVÍ

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$$C_1 = 1,181 \quad C_2 = 0,0 \quad C_3 = 1,0 \quad \text{Z tabulky NB.3.1, ČSN EN 1993-1-1}$$

$$k_y = 1,0 \quad k_z = 1,0 \quad k_w = 1,0$$

$$L_y = 2,65m \quad L_z = 2,65m \quad L_w = 2,65m$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 E I_z}{L_z^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{L_z}{L_w} \right)^2 \cdot \frac{I_w}{I_z} + \frac{L_z^2 G I_t}{\pi^2 E I_z}} + (C_2 \cdot e_z - C_3 \cdot z_j)^2 - (C_2 \cdot e_z - C_3 \cdot z_j) \right] =$$

$$M_{cr} = 1,181 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,80 \cdot 10^{-4}}{10,60^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{10,60}{10,60} \right)^2 \cdot \frac{3,71 \cdot 10^{-4}}{3,80 \cdot 10^{-4}} + \frac{10,60^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 7,03 \cdot 10^{-6}}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,80 \cdot 10^{-4}} + (0 \cdot 0,99 - 1 \cdot 0)^2 - (0 \cdot 0,99 - 1 \cdot 0)} \right] =$$

$$M_{cr} = 8787 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3,18 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{8787 \cdot 10^3}} = 0,923$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro svařované I ($h/b > 2,0$) profily je „d“:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,76 \cdot (0,923 - 0,2) + 0,923^2 \right] = 1,200$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,200 + \sqrt{1,200^2 - 0,923^2}} = 0,508$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,508 \cdot 3,18 \cdot 10^{-2} \cdot 235 \cdot 10^6}{1,0} = 3801,05 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{2169,89}{3801,05} = 0,78 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$C_1 =$	1,182	$L_y =$	10,60	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	10,60	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	10,60	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

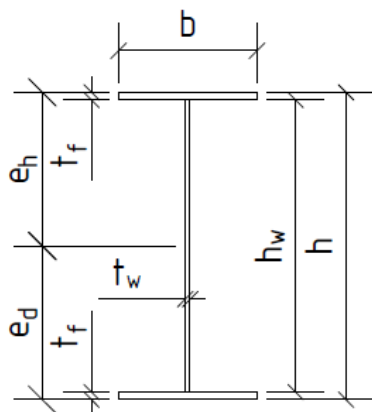
$M_{cr} =$	8787	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,923	
$\phi_{LT} =$	1,200	
$\chi_{LT} =$	0,508	

$M_{b,Rd} =$	3801,05	kNm
$M_{Ed} =$	2169,89	kNm
Posouzení:	0,78	VYHOVÍ

6.3.4. Posouzení - řez 1 (vlevo)

$$V_{Ed} = 300,29 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2850,01 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	2000	mm
$h_w =$	1950	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	53700	mm ²
$A_v =$	37440	mm ²
$e_h = e_d =$	1000	mm

$h_w/t_w =$	121,875	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	31828687500	mm ⁴
$W_{y,el} =$	31828688	mm ³
$I_z =$	380353100	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1690458	mm ³
$I_w =$	370903702671875	mm ⁶
$I_t =$	7349900	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie III*.

Smyk

$$V_{Ed} = 300,29 \text{ kN}$$

$$A_v = 37440 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 5079,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,133	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	10969	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,826	
$\phi_{LT} =$	1,079	
$\chi_{LT} =$	0,564	

$$M_{b,Rd} = 4219,03 \text{ kNm}$$

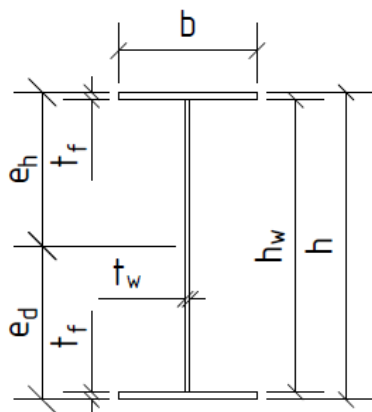
$$M_{Ed} = 2850,01 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,68 VYHOVÍ

6.3.5. Posouzení - řez 2

$$V_{Ed} = 289,88 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2171,08 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1800	mm
$h_w =$	1750	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	50500	mm ²
$A_v =$	33600	mm ²
$e_h = e_d =$	900	mm

$h_w/t_w =$	109,375	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	24869270833	mm ⁴
$W_{y,el} =$	27632523	mm ³
$I_z =$	380284833	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1690155	mm ³
$I_w =$	299533725755208	mm ⁶
$I_t =$	7076833	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatříděn do *kategorie III*.

Smyk

$$V_{Ed} = 289,88 \text{ kN}$$

$$A_v = 33600 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 4558,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,153	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	9115	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,844	
$\phi_{LT} =$	1,101	
$\chi_{LT} =$	0,553	

$$M_{b,Rd} = 3592,00 \text{ kNm}$$

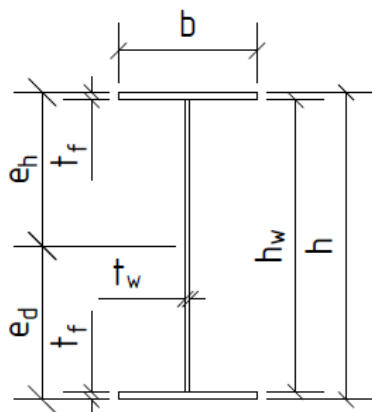
$$M_{Ed} = 2171,08 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,60 VYHOVÍ

6.3.6. Posouzení - řez 3

$$V_{Ed} = 248,82 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1587,98 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1600	mm
$h_w =$	1550	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	47300	mm ²
$A_v =$	29760	mm ²
$e_h = e_d =$	800	mm

$h_w/t_w =$	96,875	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	18919854167	mm ⁴
$W_{y,el} =$	23649818	mm ³
$I_z =$	380216567	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1689851	mm ³
$I_w =$	235793680171875	mm ⁶
$I_t =$	6803767	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie III*.

Smyk

$$V_{Ed} = 248,82 \text{ kN}$$

$$A_v = 29760 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 4037,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,180	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	7463	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,863	
$\phi_{LT} =$	1,124	
$\chi_{LT} =$	0,542	

$$M_{b,Rd} = 3012,52 \text{ kNm}$$

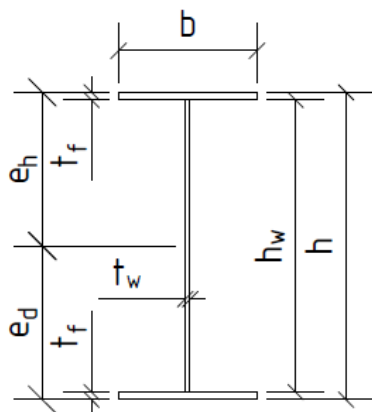
$$M_{Ed} = 1587,98 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,53 VYHOVÍ

6.3.7. Posouzení - řez 4

$$V_{Ed} = 208,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1097,71 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1400	mm
$h_w =$	1350	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	44100	mm ²
$A_v =$	25920	mm ²
$e_h = e_d =$	700	mm

$h_w/t_w =$	84,375	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	13916437500	mm ⁴
$W_{y,el} =$	19880625	mm ³
$I_z =$	380148300	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1689548	mm ³
$I_w =$	179679469921875	mm ⁶
$I_t =$	6530700	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatříděn do *kategorie III*.

Smyk

$$V_{Ed} = 208,37 \text{ kN}$$

$$A_v = 25920 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 3516,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,216	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	5995	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,883	
$\phi_{LT} =$	1,149	
$\chi_{LT} =$	0,531	

$$M_{b,Rd} = 2478,89 \text{ kNm}$$

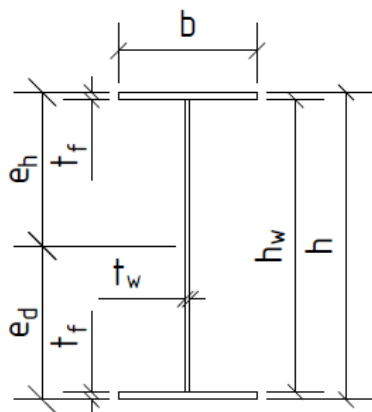
$$M_{Ed} = 1097,71 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,44 VYHOVÍ

6.3.8. Posouzení - řez 5

$$V_{Ed} = 168,76 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 700,00 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1200	mm
$h_w =$	1150	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	40900	mm ²
$A_v =$	22080	mm ²
$e_h = e_d =$	600	mm

$h_w/t_w =$	71,875	tř. I
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	9795020833	mm ⁴
$W_{y,el} =$	16325035	mm ³
$I_z =$	380080033	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1689245	mm ³
$I_w =$	131186999005208	mm ⁶
$I_t =$	6257633	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatříděn do *kategorie I*.

Smyk

$$V_{Ed} = 168,76 \text{ kN}$$

$$A_v = 22080 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 2995,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,269	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	4718	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,902	
$\phi_{LT} =$	1,173	
$\chi_{LT} =$	0,520	

$$M_{b,Rd} = 1994,26 \text{ kNm}$$

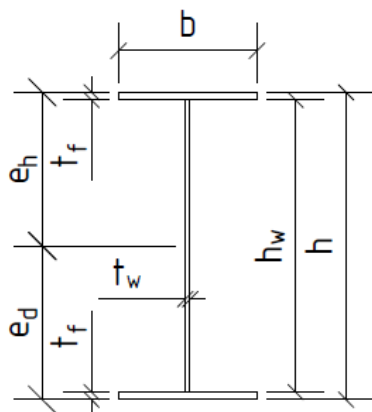
$$M_{Ed} = 700,00 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,35 VYHOVÍ

6.3.9. Posouzení - řez 6

$V_{Ed} = 129,57 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 392,60 \text{ kNm}$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1000	mm
$h_w =$	950	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	37700	mm ²
$A_v =$	18240	mm ²
$e_h = e_d =$	500	mm

$h_w/t_w =$	59,375	tř. I
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	6491604167	mm ⁴
$W_{y,el} =$	12983208	mm ³
$I_z =$	380011767	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1688941	mm ³
$I_w =$	90312171421875	mm ⁶
$I_t =$	5984567	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie I*.

Smyk

$V_{Ed} = 168,76 \text{ kN}$

$A_v = 22080 \text{ mm}^2$

$V_{Rd} = 2995,76 \text{ kN}$

Posouzení: 0,06 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,356	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	3657	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,913	
$\phi_{LT} =$	1,188	
$\chi_{LT} =$	0,513	

$M_{b,Rd} = 1566,11 \text{ kNm}$

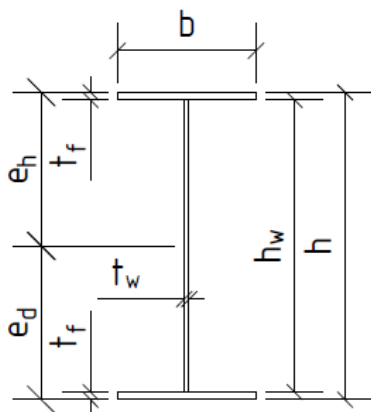
$M_{Ed} = 392,60 \text{ kNm}$

Posouzení: 0,25 VYHOVÍ

6.3.10. Posouzení - řez 7

$$V_{Ed} = 60,13 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 174,59 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	800	mm
$h_w =$	750	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	34500	mm ²
$A_v =$	14400	mm ²
$e_h = e_d =$	400	mm

$h_w/t_w =$	46,875	tř. I
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	3942187500	mm ⁴
$W_{y,el} =$	9855469	mm ³
$I_z =$	379943500	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1688638	mm ³
$I_w =$	57050891171875	mm ⁶
$I_t =$	5711500	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatříděn do *kategorie I*.

Smyk

$V_{Ed} =$	60,13	kN
$A_v =$	14400	mm ²
$V_{Rd} =$	1953,75	kN

Posouzení: 0,03 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,516	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

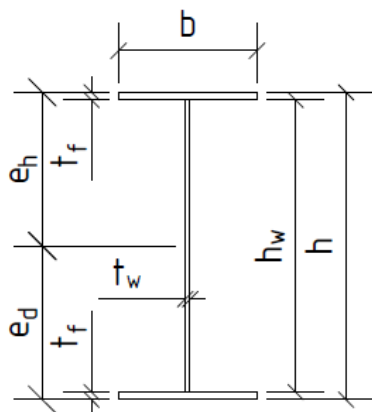
$M_{cr} =$	2819	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,906	
$\phi_{LT} =$	1,179	
$\chi_{LT} =$	0,517	

$M_{b,Rd} =$	1197,89	kNm
$M_{Ed} =$	174,59	kNm
Posouzení:	0,15	VYHOVÍ

6.3.11. Posouzení - řez 8

$V_{Ed} = 22,40 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 44,47 \text{ kNm}$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	600	mm
$h_w =$	550	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	31300	mm ²
$A_v =$	10560	mm ²
$e_h = e_d =$	300	mm

$h_w/t_w =$	34,375	tř. I
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	2082770833	mm ⁴
$W_{y,el} =$	6942569	mm ³
$I_z =$	379875233	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1688334	mm ³
$I_w =$	31399062255208	mm ⁶
$I_t =$	5438433	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatříděn do *kategorie I*.

Smyk

$V_{Ed} =$	22,40	kN
$A_v =$	10560	mm ²
$V_{Rd} =$	1432,75	kN

Posouzení: 0,02 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou, v polovině vyložení a na konci vyložení – tedy ve vzdálenostech 9,2m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,770	$L_y =$	9,20	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	9,20	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	9,20	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

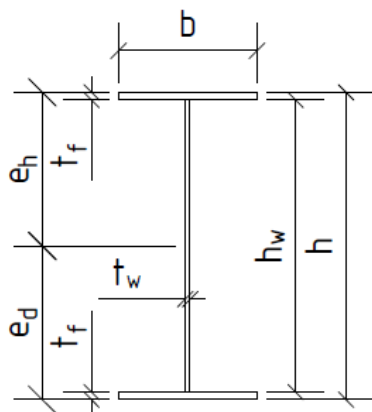
$M_{cr} =$	2141	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,873	
$\phi_{LT} =$	1,137	
$\chi_{LT} =$	0,536	

$M_{b,Rd} =$	874,81	kNm
$M_{Ed} =$	44,47	kNm
Posouzení:	0,05 VYHOVÍ	

6.3.12. Posouzení - řez 10

$$V_{Ed} = 341,09 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2040,40 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1600	mm
$h_w =$	1550	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	47300	mm ²
$A_v =$	29760	mm ²
$e_h = e_d =$	800	mm

$h_w/t_w =$	96,875	tř. III
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	18919854167	mm ⁴
$W_{y,el} =$	23649818	mm ³
$I_z =$	380216567	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1689851	mm ³
$I_w =$	235793680171875	mm ⁶
$I_t =$	6803767	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie III*.

Smyk

$$V_{Ed} = 341,09 \text{ kN}$$

$$A_v = 29760 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 4037,76 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,08 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou a nad krajní stojkou – tedy ve vzdálenosti 10,60m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,236	$L_y =$	10,60	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	10,60	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	10,60	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	6055	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,958	
$\phi_{LT} =$	1,247	
$\chi_{LT} =$	0,489	

$$M_{b,Rd} = 2717,40 \text{ kNm}$$

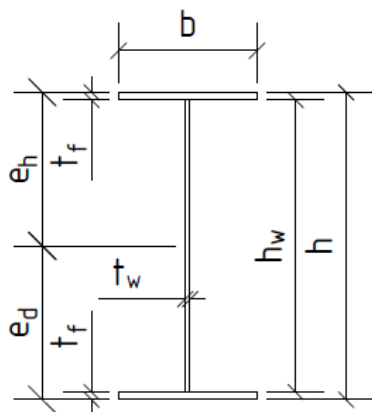
$$M_{Ed} = 2040,40 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,75 VYHOVÍ

6.3.13. Posouzení - řez 11

$V_{Ed} = 295,10 \text{ kN}$

$M_{Ed} = 1243,67 \text{ kNm}$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	1200	mm
$h_w =$	1150	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	40900	mm ²
$A_v =$	22080	mm ²
$e_h = e_d =$	600	mm

$h_w/t_w =$	71,875	tř. II
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	9795020833	mm ⁴
$W_{y,el} =$	16325035	mm ³
$I_z =$	380080033	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1689245	mm ³
$I_w =$	131186999005208	mm ⁶
$I_t =$	6257633	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie II*.

Smyk

$V_{Ed} = 295,10 \text{ kN}$

$A_v = 22080 \text{ mm}^2$

$V_{Rd} = 2995,76 \text{ kN}$

Posouzení: 0,10 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou a nad krajní stojkou – tedy ve vzdálenosti 10,60m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,347	$L_y =$	10,60	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	10,60	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	10,60	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	3943	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,986	
$\phi_{LT} =$	1,285	
$\chi_{LT} =$	0,474	

$M_{b,Rd} = 1818,67 \text{ kNm}$

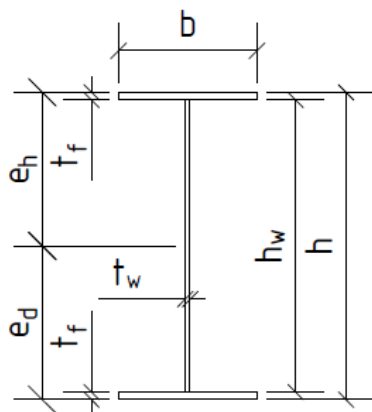
$M_{Ed} = 1243,67 \text{ kNm}$

Posouzení: 0,68 VYHOVÍ

6.3.14. Posouzení - řez 12

$$V_{Ed} = 250,56 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 566,89 \text{ kNm}$$

Průřez

$f_y =$	235	MPa
$h =$	800	mm
$h_w =$	750	mm
$t_w =$	16	mm
$b =$	450	mm
$t_f =$	25	mm
$A =$	34500	mm ²
$A_v =$	14400	mm ²
$e_h = e_d =$	400	mm

$h_w/t_w =$	46,875	tř. II
$c_f/t_f =$	8,5	tř. I
$I_y =$	3942187500	mm ⁴
$W_{y,el} =$	9855469	mm ³
$I_z =$	379943500	mm ⁴
$W_{z,el} =$	1688638	mm ³
$I_w =$	57050891171875	mm ⁶
$I_t =$	5711500	mm ⁴

Průřez bude jako celek zatřizen do *kategorie II*.

Smyk

$$V_{Ed} = 250,56 \text{ kN}$$

$$A_v = 14400 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = 1953,75 \text{ kN}$$

Posouzení: 0,13 VYHOVÍ

Není nutné redukovat momentovou únosnost.

Ohyb

Horní pás vazníku je proti vybočení zajištěn pomocí vaznic po 2,3m a 2,65m. Dolní pás vazníku je proti vybočení zabezpečen nad stojkou a nad krajní stojkou – tedy ve vzdálenosti 10,60m. Dolní pás bude zabezpečen vzpěrkou podélného větrového ztužidla. Rozhodující kombinací je kombinace A pro max. tlak.

Koeficient C_1 je určen lineární interpolací.

$C_1 =$	1,770	$L_y =$	10,60	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	10,60	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	10,60	m

$k_y =$	1,000
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	2682	kNm
$\alpha =$	0,76	
$\lambda_{LT} =$	0,929	
$\phi_{LT} =$	1,209	
$\chi_{LT} =$	0,504	

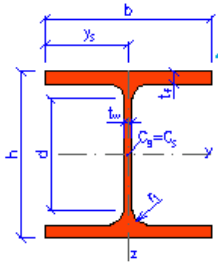
$$M_{b,Rd} = 1168,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 566,89 \text{ kNm}$$

Posouzení: 0,49 VYHOVÍ

6.3.15. Návrh a posouzení - řez 14

Návrh průřezu

HE320B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
h = 320 mm		Osa y	Osa z
b = 300 mm		$I_y = 3.08E+8 \text{ mm}^4$	$I_z = 9.24E+7 \text{ mm}^4$
$t_f = 20.5 \text{ mm}$		$W_{y1} = 1.93E+6 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 6.16E+5 \text{ mm}^3$
$t_w = 11.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 2.14E+6 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 9.34E+5 \text{ mm}^3$
$r_1 = 27 \text{ mm}$		$i_y = 138 \text{ mm}$	$i_z = 75.7 \text{ mm}$
$y_s = 150 \text{ mm}$		$S_y = 1.07E+6 \text{ mm}^3$	$S_z = 4.67E+5 \text{ mm}^3$
$d = 225 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 16100 \text{ mm}^2$		$I_w = 2.07E+12 \text{ mm}^6$	$I_t = 2.31E+6 \text{ mm}^4$
$A_L = 1.77 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 127 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 71.9 \text{ mm}$	$i_{pc} = 158 \text{ mm}$

Stojina: $\frac{c}{t} = \frac{225}{11,5} = 19,56 \leq \frac{396\varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 44,01$ *kategorie I*

$$\alpha = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot t_w \cdot d} \right) = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{687,23 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6 \cdot 0,0115 \cdot 0,225} \right) = 0,769$$

Pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{150}{20,5} = 7,32 \leq 9\varepsilon = 9$ *kategorie I*

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr,y} = L_{cr,z} = 7,03 \text{ m}$

V dolní části je uložena do kotvení a v horní části vetknutá do vazníku. Vzhledem k tomu, že svislice je ve směru y-y na jedné straně vetknutá a na straně druhé kloubově uložena, je uvažováno $k_y = 0,7$.

Smyk – posouzení

Posouzeno na maximální smykovou sílu z kombinace B ($V_{Ed} = 24,04 \text{ kN}$)

$V_{Ed} =$	24,04	kN
$A_v =$	2587,5	mm ²
$V_{Rd} =$	351,07	kN
Posouzení:	0,07	VYHOVÍ

Tah – posouzení

Posouzeno na maximální tahovou sílu z kombinace B ($N_{Ed+} = 314,35 \text{ kN}$)

$N_{Ed+} [\text{kN}]$	$E [\text{GPa}]$	$f_y [\text{MPa}]$	$A [\text{mm}^2]$	$N_{t,Rd} [\text{kN}]$
314,35	210	235	16100	3783,50

Posudek: **0,08** **VYHOVÍ**

Kombinace A

$$N_{Ed} = -687,23 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 105,90 \text{ kNm}$$

Tlak - posouzení

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
687,23	210	235	16100	308000000	92400000	8,6	8,6

N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z	$N_{b,Rd,z}$ [kN]
2589	1,209	1,478	0,49	0,430	1625,38

0,42**VYHOVÍ**

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y	$N_{b,Rd,y}$ [kN]
8631	0,662	0,798	0,34	0,805	3044,52

0,23**VYHOVÍ****Ohyb**

$C_1 =$	1,770	$L_y =$	7,03	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	7,03	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	7,03	m

$k_y =$	0,700
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	408	kNm
$\alpha =$	0,34	
$\lambda_{LT} =$	1,110	
$\phi_{LT} =$	1,271	
$\chi_{LT} =$	0,529	

$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	105,90	kNm
Posouzení:	0,40	VYHOVÍ

Posouzení – kombinace účinků

$$C_{my} = 0,6$$

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	687,23	kN
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	105,90	kNm
$k_{yy} =$	0,663	
Posouzení:	0,49	VYHOVÍ

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	687,23	kN
$k_{zy} =$	0,398	
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	105,90	kNm
Posouzení:	0,49	VYHOVÍ

Kombinace B

$$N_{Ed} = -133,04 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 206,77 \text{ kNm}$$

Tlak - posouzení

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
133,04	210	235	16100	308000000	92400000	8,6	8,6

N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z	$N_{b,Rd,z}$ [kN]
2589	1,209	1,478	0,49	0,430	1625,38

0,08**VYHOVÍ**

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y	$N_{b,Rd,y}$ [kN]
8631	0,662	0,798	0,34	0,805	3044,52

0,04**VYHOVÍ****Ohyb**

$C_1 =$	1,770	$L_y =$	7,03	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	7,03	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	7,03	m

$k_y =$	0,700
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	408	kNm
$\alpha =$	0,34	
$\lambda_{LT} =$	1,110	
$\phi_{LT} =$	1,271	
$\chi_{LT} =$	0,529	

$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	206,77	kNm
Posouzení:	0,78	VYHOVÍ

Posouzení – kombinace účinků

$$C_{my} = 0,6$$

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	133,04	kN
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	206,77	kNm
$k_{yy} =$	0,612	
Posouzení:	0,52	VYHOVÍ

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	133,04	kN
$k_{zy} =$	0,367	
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	206,77	kNm
Posouzení:	0,79	VYHOVÍ

Kombinace C

$$N_{Ed} = -635,42 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 125,58 \text{ kNm}$$

Tlak - posouzení

N_{Ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
635,42	210	235	16100	308000000	92400000	8,6	8,6

N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z	$N_{b,Rd,z}$ [kN]
2589	1,209	1,478	0,49	0,430	1625,38

0,39**VYHOVÍ**

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y	$N_{b,Rd,y}$ [kN]
8631	0,662	0,798	0,34	0,805	3044,52

0,21**VYHOVÍ****Ohyb**

$C_1 =$	1,770	$L_y =$	7,03	m
$C_2 =$	0,000	$L_z =$	7,03	m
$C_3 =$	1,000	$L_w =$	7,03	m

$k_y =$	0,700
$k_z =$	1,000
$k_w =$	1,000

$M_{cr} =$	408	kNm
$\alpha =$	0,34	
$\lambda_{LT} =$	1,110	
$\phi_{LT} =$	1,271	
$\chi_{LT} =$	0,529	

$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	125,58	kNm
Posouzení:	0,47	VYHOVÍ

Posouzení – kombinace účinků

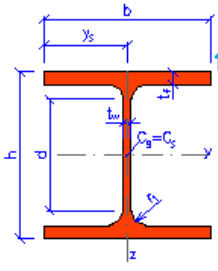
$$C_{my} = 0,6$$

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	635,42	kN
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	125,58	kNm
$k_{yy} =$	0,658	
Posouzení:	0,52	VYHOVÍ

$N_{b,Rd,y} =$	3044,52	kN
$N_{Ed} =$	635,42	kN
$k_{zy} =$	0,395	
$M_{b,Rd} =$	266,13	kNm
$M_{Ed} =$	125,58	kNm
Posouzení:	0,55	VYHOVÍ

6.3.16. Návrh a posouzení - řez 15

Návrh průřezu

HE120B			
Geometrie		Průřezové charakteristiky	
$h = 120 \text{ mm}$		Osa y	Osa z
$b = 120 \text{ mm}$		$I_y = 8.64 \text{E}+6 \text{ mm}^4$	$I_z = 3.17 \text{E}+6 \text{ mm}^4$
$t_f = 11 \text{ mm}$		$W_{y1} = 1.44 \text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z1} = 5.29 \text{E}+4 \text{ mm}^3$
$t_w = 6.5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = 1.65 \text{E}+5 \text{ mm}^3$	$W_{z,pl} = 8.05 \text{E}+4 \text{ mm}^3$
$r_1 = 12 \text{ mm}$		$i_y = 50.4 \text{ mm}$	$i_z = 30.6 \text{ mm}$
$y_s = 60 \text{ mm}$		$S_y = 8.26 \text{E}+4 \text{ mm}^3$	$S_z = 4.03 \text{E}+4 \text{ mm}^3$
$d = 74 \text{ mm}$		Kroucení a klopení	
$A = 3400 \text{ mm}^2$		$I_w = 9.41 \text{E}+9 \text{ mm}^6$	$I_t = 1.39 \text{E}+5 \text{ mm}^4$
$A_L = 0.69 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$	$G = 26.7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$	$i_w = 28.2 \text{ mm}$	$i_{pc} = 59 \text{ mm}$

Stojina: $\frac{c}{t} = \frac{74}{6,5} = 11,38 \leq 33\varepsilon = 33$ *kategorie I*

Pásnice: $\frac{c}{t} = \frac{60}{11} = 5,45 \leq 9\varepsilon = 9$ *kategorie I*

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 6,05 \text{ m}$

Stojka je na obou koncích uložena v obou směrech klubově. V dolní části je uložena do kotvení a v části horní brání vybočení nosník vazníku.

Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	I_y [mm ⁴]	I_z [mm ⁴]	L_{cry} [m]	L_{crz} [m]
118,61	210	235	3400	8640000	3170000	6,05	6,05

N_{cry} [kN]	λ_y	θ_y	α_y	χ_y
571	1,183	1,367	0,34	0,487
N_{crz} [kN]	λ_z	θ_z	α_z	χ_z
210	1,953	2,836	0,49	0,204

χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
0,204	163,29

Posudek: **0,73**
VYHOVÍ

Tah - Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
191,32	210	235	3400	799,00

Posudek: **0,24** **VYHOVÍ**

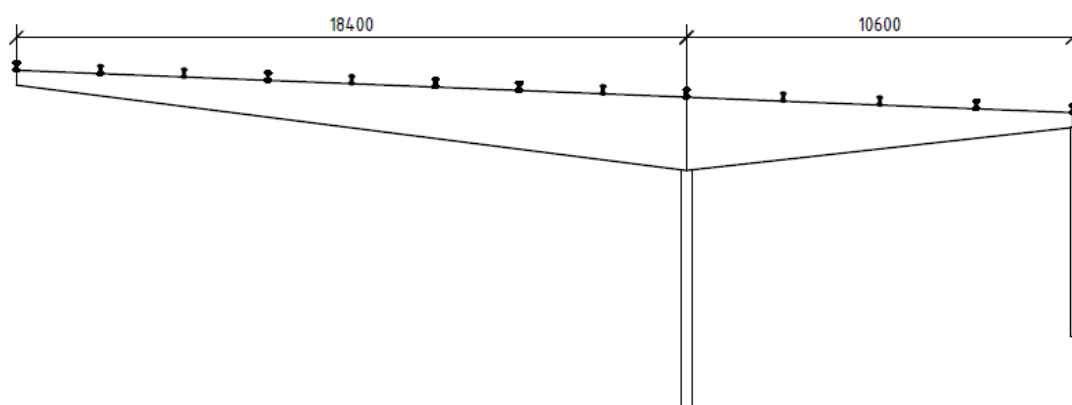
6.4. Návrh a posouzení celého vazníku na MSP

Charakteristická kombinace:

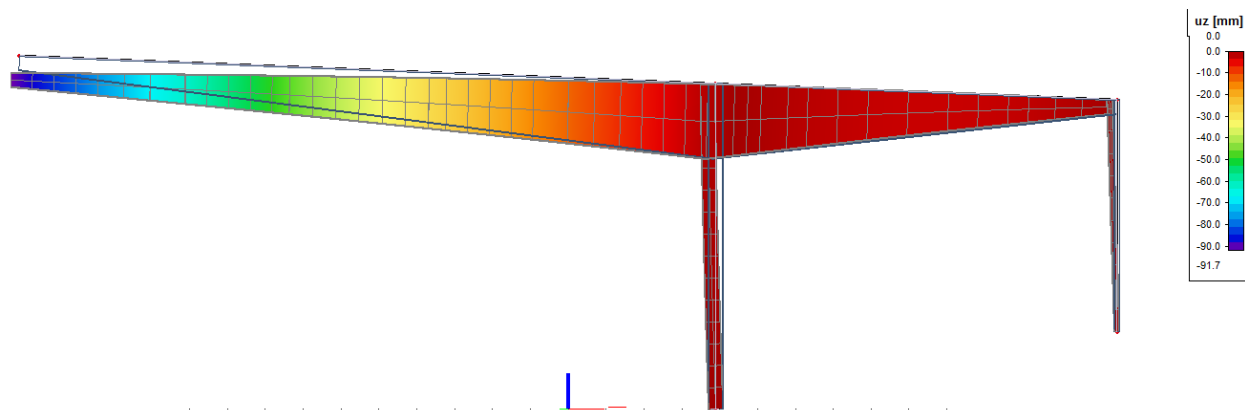
$$G_{k,z} + Q_{w,tření+} + \psi_{0,snih} \cdot Q_{sk,z}$$

$$G_{k,z} + Q_{w+} + 0,5 \cdot Q_{sk,z}$$

Průhyb příhradového vazníku



$$w_{lim} = \frac{1}{200} \cdot l = \frac{1}{200} \cdot 18400 = 92mm$$



$$w_{max} = 91,70mm \leq w_{lim} \quad \text{VYHOVÍ}$$

7. Porovnání variant

Tato kapitola bude věnována srovnání Varianty A, která je navržena s příhradovým trubkovým vazníkem a Varianty B, které je navržena s plnostěnným svařovaným vazníkem. Dispoziční uspořádání je pro obě varianty stejné, stejný je tedy i střešní plášť a použité vaznice.

Pro každou variantu je spočtena hrubá hmotnost, do které je započtena hmotnost střešní konstrukce a vazníku. Hmotnost je určena z navržených průřezů a jejich osových délek. Nejsou započítána ztužidla (ta budou navržena pouze pro vítěznou variantu).

7.1. Varianta A – hrubá hmotnost

	profil	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Vaznice	IPE200	4,60	2850	22,37	102,91

		hmotnost [kg/m ²]
Střešní plášť	HACIERCO 55/250	6,03

Příhradový vazník	profil	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Horní pás vazníku	IPE300	29,00	5380	42,23	1224,76
Dolní pás vazníku	CHS 219,1x12,5	29,12	8110	63,66	1853,88
Diagonály v převislé části	CHS 101,6x5,0	21,16	1520	11,93	252,48
Diagonály nad zázemím	CHS 101,6x10,0	12,80	2880	22,61	289,38
Diagonály stojky	CHS 60,3x4,0	5,29	707	5,55	29,36
Primární stojka	CHS 219,1x8,0	8,60	1230	9,66	83,04
Sekundární stojka	CHS 101,6x4,0	7,25	5310	41,68	302,21
Krajní stojka	HE100B	4,55	2600	20,41	92,87
Svislice	CHS 60,3x4,0	19,05	707	5,55	105,73

4233,70

	hmotnost prvku [kg]	počet prvků [ks]	celková hmotnost [kg]	plocha zastřeš. [m ²]	poměrná hm. [kg/m ²]
Střešní plášť	-	-	-	-	6,03
Vaznice	102,91	234	24081,8	2488,2	9,68
Vazník	4233,70	19	80440,2	2489,2	32,32

48,02

7.2. Varianta B - hrubá hmotnost

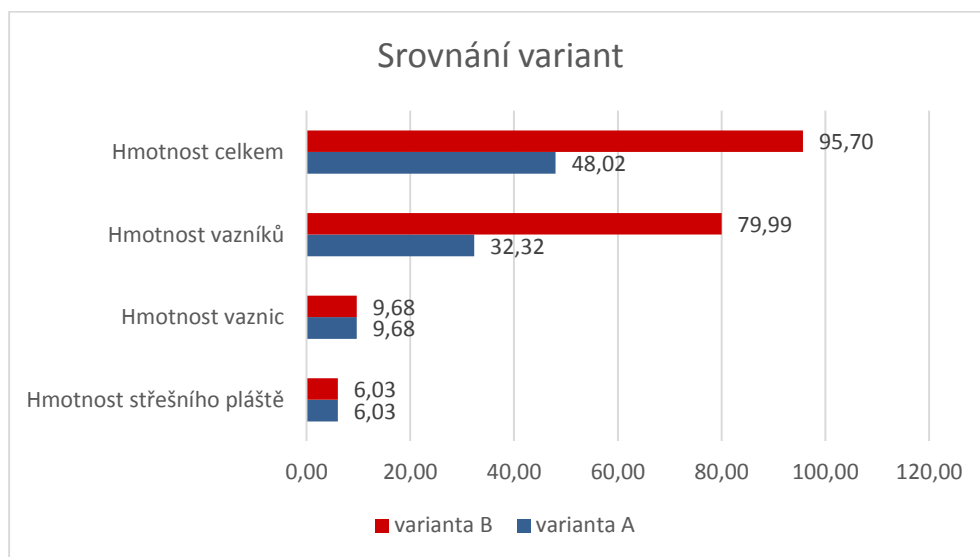
	profil	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Vaznice	IPE200	4,60	2850	22,37	102,91

		hmotnost [kg/m ²]
Střešní plášť	HACIERCO 55/250	6,03

Plnostěnný vazník	profil	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Horní pás nosníku	P 25x450	29,00	11250	88,31	2561,06
Dolní pás nosníku	P 25x450	29,00	11250	88,31	2561,06
Stojina nosníku	P 16x1200 (prům.)	29,00	19200	150,72	4370,88
Středová stojka	HE320B	6,60	16100	126,39	834,14
Krajní stojka	HE120B	5,72	3400	26,69	152,67
					10479,81

	hmotnost prvku [kg]	počet prvků [ks]	celková hmotnost [kg]	plocha zastřeš. [m ²]	poměrná hm. [kg/m ²]
Střešní plášť	-	-	-	-	6,03
Vaznice	102,91	234	24081,8	2488,2	9,68
Vazník	10479,81	19	199116,4	2489,2	79,99
					95,70

7.3. Vyhodnocení variant



Jak je výše zmíněno, střešní plášť i vaznice jsou pro obě varianty stejné, hmotnost je tedy také stejná. Naopak výrazný rozdíl můžeme pozorovat u hmotností vazníků, kdy plnostěnný vazník vychází téměř 2,5x těžší než příhradová varianta.

Tuto skutečnost si autor práce vysvětluje tím, že je plnostěnný vazník již navržen především s ohledem na MSP a vychází oproti příhradové variantě předimenzovaný. Příhradová varianta neměla se splněním podmínek použitelnosti problém a je tedy z hlediska hmotnosti výrazně úspornější.

V porovnání varianty byla také zohledněna pracnost a vzhled. Příhradová varianta je považována celkově za estetičtější a výrobně náročnější oproti variantě plnostěnné svařované.

	hmotnost	váha	pracnost	váha	vzhled	váha	známka
Varianta A	1	0,5	5	0,3	1	0,2	2,2
Varianta B	5	0,5	2	0,3	3	0,2	3,7

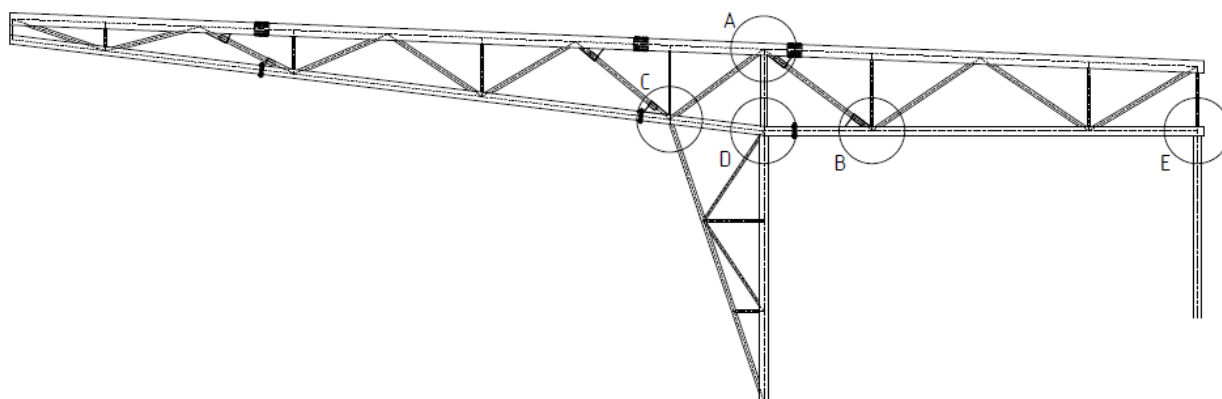
Zvolené váhy a výsledné známky použité v tabulce srovnání jsou k diskuzi, především u pracnosti a vzhledu.

Rozdíl hmotností je ovšem tak výrazný, že varianta A – příhradový vazník je vybrána jako ekonomičtější a celkově vhodnější.

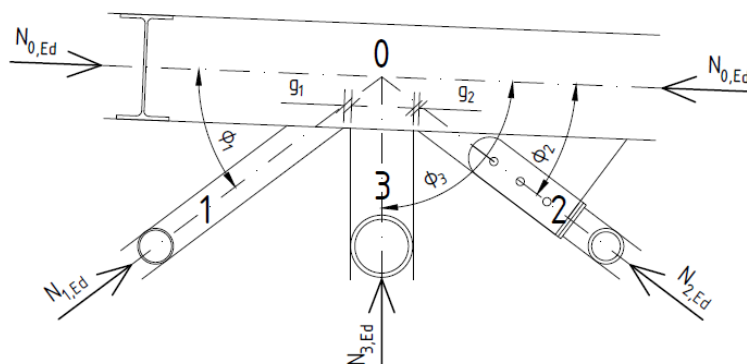
8. Varianta A – ověření styčníků podle ČSN-EN-1993-1-8

V kapitole 7. *Porovnání variant* byla jako celkově vhodnější zvolena varianta A – příhradový vazník. V této části budou posouzeny styčníky příhradoviny. Byly vybrány takové styčníky, kde dosahují vnitřní síly v jednotlivých prutech maximálních hodnot.

8.1. Schéma ověřovaných styčníků



8.2. Styčník A



8.2.1. Parametry prvků

Prvek 0

$h = 300\text{mm}$	$t_w = 7,1\text{mm}$	$r = 15\text{mm}$	$N_{0,Ed,+} = 978,52\text{kN}$
$b = 150\text{mm}$	$t_f = 10,7\text{mm}$		$N_{0,Ed,-} = -530,79\text{kN}$

Prvek 1	Prvek 2	Prvek 3
$d_1 = 101,6\text{mm}$	$d_2 = 101,6\text{mm}$	$d_3 = 177,8\text{mm}$
$t_1 = 5,0\text{mm}$	$t_2 = 10,0\text{mm}$	$t_3 = 12,5\text{mm}$
$\varphi_1 = 39,11^\circ$	$\varphi_2 = 34,75^\circ$	$\varphi_3 = 87,71^\circ$
$N_{1,Ed,+} = 255,36\text{kN}$	$N_{2,Ed,+} = 420,27\text{kN}$	$N_{3,Ed,+} = 272,09\text{kN}$
$N_{1,Ed,-} = -176,10\text{kN}$	$N_{2,Ed,-} = -230,11\text{kN}$	$N_{3,Ed,-} = -434,65\text{kN}$

Pro účely posouzení připojení CHS trubek k pásu z I profilu podle ČSN-EN-1993-1-8 - *Navrhování styčníků* nejdříve ověříme, zda se nacházíme v rozsahu *tabulky 7.20* této normy.

Prvek 0	$d_w/t_w = 248,6/7,1 = 35,01 \leq 38\varepsilon$	třída I ✓
	$b_0/t_f = 75/10,7 = 7,00 \leq 9\varepsilon$	třída I ✓
Prvek 1	$d_1/t_1 = 101,6/5,0 = 20,32 \leq 50$	✓
Prvek 2	$d_2/t_2 = 101,6/10,0 = 10,16 \leq 50$	✓
Prvek 3	$d_3/t_3 = 177,8/12,5 = 14,22 \leq 50$	✓
	$g_1 = 21\text{mm} \geq t_1 + t_3 = 5 + 12,5 = 17,5\text{mm}$	✓
	$g_2 = 15\text{mm} \geq t_2 = 10\text{mm}$	

Všechny prvky odpovídají podmínkám *tabulky 7.20*, posouzení tedy bude provedeno podle *tabulky 7.21*.

8.2.2. Posouzení dle *tabulky 7.21*

Plastifikace stěny pásu

Prvek 1

$$b_{w,1} = \frac{d_1}{\sin(\varphi_1)} + 5 \cdot (t_f + r) = \frac{101,6}{\sin(39,11)} + 5 \cdot (10,7 + 15) = 289,56\text{mm}$$

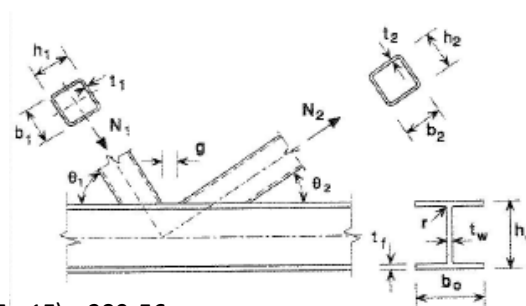
$$b_{w,1} \leq 2 \cdot t_1 + 10 \cdot (t_f + r) = 2 \cdot 5 + 10 \cdot (10,7 + 15) = 267\text{mm} \quad b_{w,1} = 267\text{mm}$$

$$N_{1,Rd} = \frac{f_y \cdot t_w \cdot b_{w,1}}{\sin(\varphi_1)} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = \frac{235 \cdot 7,1 \cdot 267}{\sin(39,11)} \cdot \frac{1}{1,0} = 706,22\text{kN} \geq \begin{matrix} N_{1,Ed,+} = 255,36\text{kN} \\ N_{1,Ed,-} = -176,10\text{kN} \end{matrix}$$

VYHOVÍ

Prvek 3

$$b_{w,3} = \frac{d_3}{\sin(\varphi_3)} + 5 \cdot (t_f + r) = \frac{177,8}{\sin(87,71)} + 5 \cdot (10,7 + 15) = 306,44\text{mm}$$



$$b_{w,3} \leq 2 \cdot t_3 + 10 \cdot (t_f + r) = 2 \cdot 12,5 + 10 \cdot (10,7 + 15) = 282 \text{ mm} \quad b_{w,1} = 282 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{f_y \cdot t_w \cdot b_{w,3}}{\sin(\varphi_3)} \bigg/ \gamma_{M5} = \frac{235 \cdot 7,1 \cdot 267}{\sin(87,71)} \bigg/ 1,0 = 470,89 \text{ kN} \geq \begin{aligned} N_{3,Ed,+} &= 272,09 \text{ kN} \\ N_{3,Ed,-} &= -434,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Porušení mezipásového prutu****Prvek 1**

$$\rho_{eff,1} = t_w + 2 \cdot r + 7t_f = 7,1 + 2 \cdot 15 + 7 \cdot 10,7 = 112 \text{ mm}$$

$$\rho_{eff,1} \leq d_1 + d_1 - 2 \cdot t_1 = 101,6 + 101,6 - 2 \cdot 5 = 193,2 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot f_y \cdot t_1 \cdot \rho_{eff,1} \bigg/ \gamma_{M5} = \frac{\pi}{2} \cdot 235 \cdot 5 \cdot 112 \bigg/ 1,0 = 263,20 \text{ kN} \geq$$

$$N_{1,Ed,+} = 255,36 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed,-} = -176,10 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**Prvek 3**

$$\rho_{eff,3} = t_w + 2 \cdot r + 7t_f = 7,1 + 2 \cdot 15 + 7 \cdot 10,7 = 112 \text{ mm}$$

$$\rho_{eff,3} \leq d_3 + d_3 - 2 \cdot t_3 = 177,8 + 177,8 - 2 \cdot 12,5 = 330,6 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot f_y \cdot t_3 \cdot \rho_{eff,3} \bigg/ \gamma_{M5} = \frac{\pi}{2} \cdot 235 \cdot 12,5 \cdot 112 \bigg/ 1,0 = 658,00 \text{ kN} \geq \begin{aligned} N_{3,Ed,+} &= 272,09 \text{ kN} \\ N_{3,Ed,-} &= -434,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Smyk pásu**

$$A_v = A_0 - 2 \cdot b_0 \cdot t_f + t_f \cdot (t_w + 2 \cdot r) = 5380 - 2 \cdot 150 \cdot 10,7 + 10,7 \cdot (7,1 + 2 \cdot 15) = 2567 \text{ mm}^2$$

Prvek 1

$$N_{1,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \sin(\varphi_1)} \bigg/ \gamma_{M5} = \frac{2567 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot \sin(39,11)} \bigg/ 1,0 = 618,14 \text{ kN} \geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 255,36 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -176,10 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Prvek 2**

$$N_{2,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \sin(\varphi_2)} \bigg/ \gamma_{M5} = \frac{2567 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot \sin(34,75)} \bigg/ 1,0 = 611,03 \text{ kN} \geq \begin{aligned} N_{2,Ed,+} &= 420,27 \text{ kN} \\ N_{2,Ed,-} &= -230,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ

Prvek 3

$$N_{3,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \sin(\varphi_3)} / \gamma_{M5} = \frac{2567 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot \sin(87,71)} / 1,0 = 348,56 \text{ kN} \leq \begin{matrix} N_{3,Ed,+} = 272,09 \text{ kN} \\ N_{3,Ed,-} = -434,65 \text{ kN} \end{matrix}$$

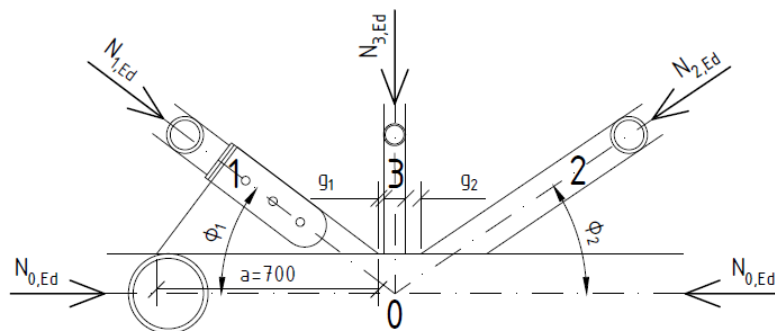
NEVYHOVÍ

Navržena smyková výztuha (příložka) na stojinu pásu **2x P 248x4**

$$A_v = 2567 + 2 \cdot 248 \cdot 4 = 4551 \text{ mm}^2$$

Prvek 3

$$N_{3,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \sin(\varphi_3)} / \gamma_{M5} = \frac{4551 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot \sin(87,71)} / 1,0 = 617,96 \text{ kN} \geq \begin{matrix} N_{3,Ed,+} = 272,09 \text{ kN} \\ N_{3,Ed,-} = -434,65 \text{ kN} \end{matrix}$$

VYHOVÍ**8.3. Styčník B****8.3.1. Parametry prvků**

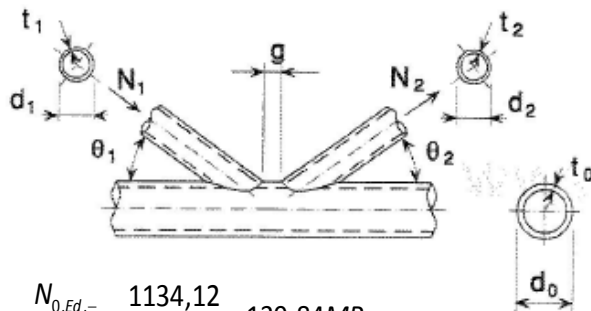
Prvek 0	Prvek 1	Prvek 2	Prvek 3
$d_0 = 219,1 \text{ mm}$	$d_1 = 101,6 \text{ mm}$	$d_2 = 101,6 \text{ mm}$	$d_3 = 60,3 \text{ mm}$
$t_0 = 12,5 \text{ mm}$	$t_1 = 10,0 \text{ mm}$	$t_2 = 10,0 \text{ mm}$	$t_3 = 4,0 \text{ mm}$
	$\varphi_1 = 37,04^\circ$	$\varphi_2 = 34,05^\circ$	$\varphi_3 = 90,0^\circ$
$N_{0,Ed,+} = 682,62 \text{ kN}$	$N_{1,Ed,+} = 402,27 \text{ kN}$	$N_{2,Ed,+} = 212,21 \text{ kN}$	$N_{3,Ed,+} = 20,57 \text{ kN}$
$N_{0,Ed,-} = -1134,12 \text{ kN}$	$N_{1,Ed,-} = -230,11 \text{ kN}$	$N_{2,Ed,-} = -359,05 \text{ kN}$	$N_{3,Ed,-} = -32,36 \text{ kN}$

Pro účely posouzení připojení CHS trubek k pásu z trubky CHS podle ČSN-EN-1993-1-8 - *Navrhování styčnicků* nejdříve ověříme, zda se nacházíme v rozsahu *tabulky 7.1* této normy.

Prvek 0	$10 \leq d_0/t_0 = 219,1/12,5 = 17,53 \leq 50;$	✓
	$0,2 \leq \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} = \frac{101,6 + 101,6 + 60,3}{3 \cdot 219,1} = 0,4 \leq 0,5$	✓
Prvek 1	$10 \leq d_1/t_1 = 101,6/10,0 = 10,16 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_1/d_0 = 101,6/219,1 = 0,46 \leq 1,0$	✓
Prvek 2	$10 \leq d_2/t_2 = 101,6/10,0 = 10,16 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_2/d_0 = 101,6/219,1 = 0,46 \leq 1,0$	✓
Prvek 3	$10 \leq d_3/t_3 = 60,3/4,0 = 15,08 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_3/d_0 = 60,3/219,1 = 0,28 \leq 1,0$	✓
	$g_1 = 15mm \geq t_1 + t_3 = 10 + 4 = 14,0mm$	
	$g_2 = 41mm \geq t_2 + t_3 = 10 + 4 = 14,0mm$	✓
	$g = 117mm$	

Všechny prvky odpovídají podmínkám *tabulky 7.1*, posouzení tedy bude provedeno podle *tabulky 7.2 a 7.3*.

8.3.2. Posouzení dle *tabulky 7.2*



$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 12,5} = 8,76$$

$$\eta_p = \frac{\sigma_0}{f_y} = \frac{139,84}{235} = 0,595$$

$$\sigma_0 = \frac{N_{0,Ed,-}}{A_0} = \frac{1134,12}{8110} = 139,84 MPa$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0} - 1,33 \right)}} \right) = 8,76^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 8,76^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot 117}{12,5} - 1,33 \right)}} \right) = 1,553$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot \eta_p \cdot (1 + \eta_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,595 \cdot (1 + 0,595) = 0,715$$

Porušení povrchu pásu

Prvek 2 - tlak

$$N_{2,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_2)} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_2}{d_0} \right) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{2,Rd} = \frac{1,553 \cdot 0,715 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(34,05)} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{101,6}{219,1} \right) / 1,0 = 398,93 kN$$

$$\geq N_{2,Ed,-} = -359,05 kN$$

VYHOVÍ

Prvek 2 – tah

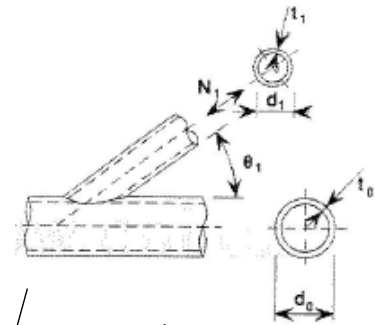
$$N_{2,Rd} = \frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin(37,04)}{\sin(34,05)} \cdot 431,71 = 464,44 \text{ kN} \geq N_{2,Ed,+} = 212,21 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**Prvek 3**

$$N_{3,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_3)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{d_3}{d_0} \right)^2 \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{8,76^2 \cdot 0,715 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(90,0)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{60,3}{219,1} \right)^2 \right) / 1,0 = 780,79 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} &\geq N_{3,Ed,+} = 20,57 \text{ kN} \\ &N_{3,Ed,-} = -32,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Porušení prolomení smykem****Prvek 2**

$$d_2 = 101,6 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_2)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_2)} / \gamma_{M5} = 12,5 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(34,05)}{2 \cdot \sin^2(34,05)} / 1,0 = 1346,75 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} &\geq N_{2,Ed,+} = 212,21 \text{ kN} \\ &N_{2,Ed,-} = -359,05 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Prvek 3**

$$d_3 = 60,3 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_3)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_3)} / \gamma_{M5} = 12,5 \cdot \pi \cdot 60,3 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(90,0)}{2 \cdot \sin^2(90,0)} / 1,0 = 321,28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} &\geq N_{3,Ed,+} = 20,57 \text{ kN} \\ &N_{3,Ed,-} = -32,36 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ

8.3.3. Posouzení dle *tabulky 7.3* – styčníkový plech

Prvek 1

Porušení povrchu pásu

$$\eta = \frac{a}{d_0} = \frac{700,0}{219,1} = 3,19$$

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\sin(\varphi_1)} = \frac{5 \cdot 0,715 \cdot 235 \cdot 12,5^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 3,19)}{\sin(37,04)} = 431,71 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 402,27 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -230,11 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ

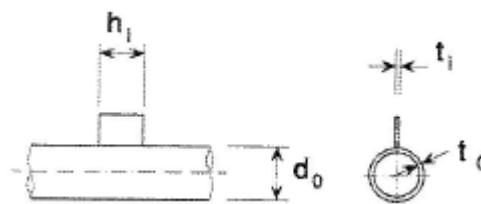
Porušení prolomení smykem

$$\sigma_{\max} \cdot t_p \leq 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$$

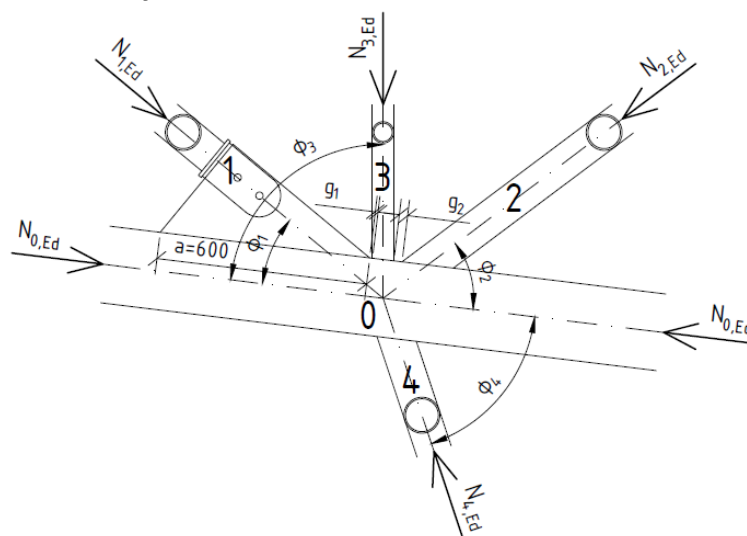
$$140,88 \cdot 14 \leq 2 \cdot 12,5 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} / 1,0$$

$$1972,32 \leq 3391,93$$

VYHOVÍ



8.4. Styčník C



8.4.1. Parametry prvků

Prvek 0	Prvek 1	Prvek 2	Prvek 3	Prvek 4
$d_0 = 219,1mm$	$d_1 = 101,6mm$	$d_2 = 101,6mm$	$d_3 = 60,3mm$	$d_4 = 101,6mm$
$t_0 = 12,5mm$	$t_1 = 5,0mm$	$t_2 = 5,0mm$	$t_3 = 4,0mm$	$t_4 = 4,0mm$
	$\varphi_1 = 32,72^\circ$	$\varphi_2 = 43,75^\circ$	$\varphi_3 = 83,07^\circ$	$\varphi_4 = 64,62^\circ$
$N_{0,Ed,+} = 687,60kN$	$N_{1,Ed,+} = 149,93kN$	$N_{2,Ed,+} = 255,23kN$	$N_{3,Ed,+} = 27,34kN$	$N_{4,Ed,+} = 35,83kN$
$N_{0,Ed,-} = -1142,53kN$	$N_{1,Ed,-} = -236,96kN$	$N_{2,Ed,-} = -176,16kN$	$N_{3,Ed,-} = -33,29kN$	$N_{4,Ed,-} = -40,57kN$

Pro účely posouzení připojení CHS trubek a styčnickového plechu k pásu z trubky CHS podle ČSN-EN-1993-1-8 - *Navrhování styčnicků* nejdříve ověříme, zda se nacházíme v rozsahu tabulky 7.1 této normy.

Prvek 0	$10 \leq d_0/t_0 = 219,1/12,5 = 17,53 \leq 50;$	✓
	$0,2 \leq \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3 \cdot d_0} = \frac{101,6 + 101,6 + 60,3}{3 \cdot 219,1} = 0,4 \leq 0,5$	✓
Prvek 1	$10 \leq d_1/t_1 = 101,6/5,0 = 20,32 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_1/d_0 = 101,6/219,1 = 0,46 \leq 1,0$	✓
Prvek 2	$10 \leq d_2/t_2 = 101,6/5,0 = 20,32 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_2/d_0 = 101,6/219,1 = 0,46 \leq 1,0$	✓
Prvek 3	$10 \leq d_3/t_3 = 60,3/4,0 = 15,08 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_3/d_0 = 60,3/219,1 = 0,28 \leq 1,0$	✓
Prvek 4	$10 \leq d_4/t_4 = 101,6/4,0 = 25,40 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_4/d_0 = 101,6/219,1 = 0,46 \leq 1,0$	✓

$$g_1 = 10\text{mm} \geq t_1 + t_3 = 5 + 4 = 9,0\text{mm}$$

$$g_2 = 24\text{mm} \geq t_2 + t_3 = 5 + 4 = 9,0\text{mm}$$

$$g = 93\text{mm}$$

Všechny prvky odpovídají podmínkám *tabulky 7.1*, posouzení tedy bude provedeno podle *tabulky 7.2 a 7.3*.

8.4.2. Posouzení dle *tabulky 7.2*

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 12,5} = 8,76 \quad n_p = \frac{\sigma_0}{f_y} = \frac{140,88}{235} = 0,599$$

$$\sigma_0 = \frac{N_{0,Ed,-}}{A_0} = \frac{1142,53}{8110} = 140,88\text{MPa}$$

$$k_g = \gamma^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot \gamma^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot g}{t_0} - 1,33 \right)}} \right) = 8,76^{0,2} \cdot \left(1 + \frac{0,024 \cdot 8,76^{1,2}}{1 + e^{\left(\frac{0,5 \cdot 93}{12,5} - 1,33 \right)}} \right) = 1,586$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,599 \cdot (1 + 0,599) = 0,713$$

Porušení povrchu pásu

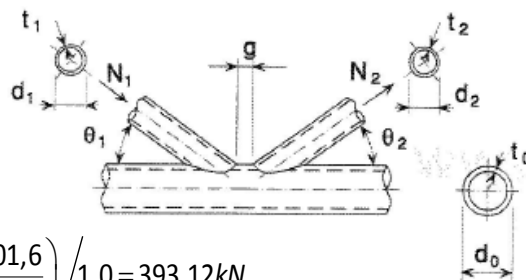
Prvek 2 - tlak

$$N_{2,Rd} = \frac{k_g \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_2)} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{d_2}{d_0} \right) / \gamma_{M5} =$$

$$N_{2,Rd} = \frac{1,586 \cdot 0,713 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(43,76)} \cdot \left(1,8 + 10,2 \cdot \frac{101,6}{219,1} \right) / 1,0 = 393,12\text{kN}$$

$$\geq N_{2,Ed,-} = -359,05\text{kN}$$

VYHOVÍ



Prvek 2 – tah

$$N_{2,Rd} = \frac{\sin(\varphi_1)}{\sin(\varphi_2)} \cdot N_{1,Rd} = \frac{\sin(32,72)}{\sin(43,75)} \cdot 408,06 = 318,97 \text{ kN} \geq N_{2,Ed,+} = 212,21 \text{ kN}$$

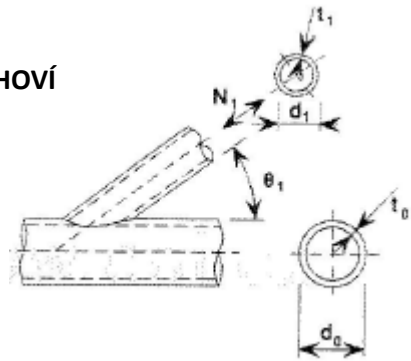
VYHOVÍ**Prvek 3**

$$N_{3,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_3)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{d_3}{d_0} \right)^2 \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{3,Rd} = \frac{8,76^{0,2} \cdot 0,713 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(83,07)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{60,3}{219,1} \right)^2 \right) / 1,0 = 157,76 \text{ kN}$$

$$\geq N_{3,Ed,+} = 27,34 \text{ kN}$$

$$N_{3,Ed,-} = -33,29 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**Prvek 4**

$$N_{4,Rd} = \frac{\gamma^{0,2} \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_4)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{d_4}{d_0} \right)^2 \right) / \gamma_{M5}$$

$$N_{4,Rd} = \frac{8,76^{0,2} \cdot 0,713 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(64,62)} \cdot \left(2,8 + 14,2 \cdot \left(\frac{101,6}{219,1} \right)^2 \right) / 1,0 = 261,80 \text{ kN}$$

$$\geq N_{4,Ed,+} = 35,83 \text{ kN}$$

$$N_{4,Ed,-} = -40,57 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**Porušení prolomení smykem****Prvek 2**

$$d_2 = 101,6 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{2,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_2 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_2)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_2)} / \gamma_{M5} = 12,5 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(43,75)}{2 \cdot \sin^2(43,75)} / 1,0 = 957,43 \text{ kN}$$

$$\geq N_{2,Ed,+} = 255,23 \text{ kN}$$

$$N_{2,Ed,-} = -176,16 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

Prvek 3

$$d_3 = 60,3 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{3,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_3 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_3)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_3)} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = 12,5 \cdot \pi \cdot 60,3 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(83,07)}{2 \cdot \sin^2(83,07)} \cdot \frac{1}{1,0} = 324,83 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{3,Ed,+} &= 27,34 \text{ kN} \\ N_{3,Ed,-} &= -33,29 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Prvek 4**

$$d_4 = 101,6 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{4,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_4 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_4)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_4)} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}} = 12,5 \cdot \pi \cdot 101,6 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(64,62)}{2 \cdot \sin^2(64,62)} \cdot \frac{1}{1,0} = 631,16 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{4,Ed,+} &= 35,83 \text{ kN} \\ N_{4,Ed,-} &= -40,57 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**8.4.3. Posouzení dle tabulky 7.3 – styčníkový plech****Prvek 1****Porušení povrchu pásu**

$$\eta = \frac{a}{d_0} = \frac{600,0}{219,1} = 2,74$$

$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\sin(\varphi_1)} = \frac{5 \cdot 0,713 \cdot 235 \cdot 12,5^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 2,74)}{\sin(32,72)} = 408,06 \text{ kN}$$

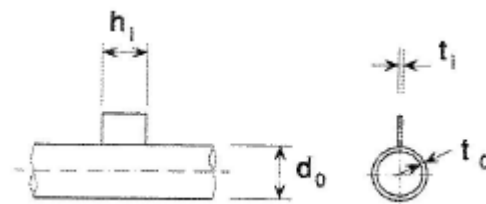
$$\geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 149,93 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -236,96 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Porušení prolomení smykem**

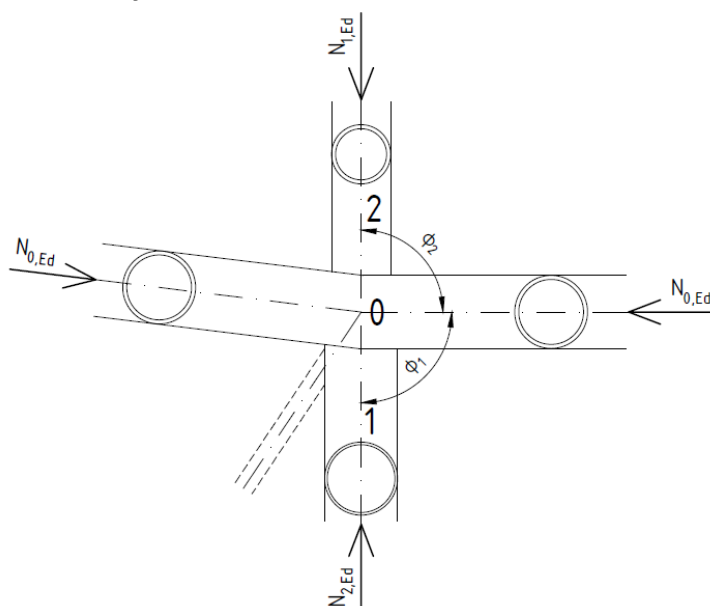
$$\sigma_{\max} \cdot t_p \leq 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M5}}$$

$$140,88 \cdot 14 \leq 2 \cdot 12,5 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1,0}$$

$$1972,32 \leq 3391,93$$

VYHOVÍ

8.5. Styčník D



8.5.1. Parametry prvků

Prvek 0	Prvek 1	Prvek 2
$d_0 = 219,1\text{mm}$	$d_1 = 177,8\text{mm}$	$d_2 = 219,1\text{mm}$
$t_0 = 12,5\text{mm}$	$t_1 = 12,5\text{mm}$	$t_2 = 8,0\text{mm}$
	$\varphi_1 = 90,0^\circ$	$\varphi_2 = 90,0^\circ$
$N_{0,Ed,+} = 682,62\text{kN}$	$N_{1,Ed,+} = 272,09\text{kN}$	$N_{2,Ed,+} = 340,77\text{kN}$
$N_{0,Ed,-} = -1134,12\text{kN}$	$N_{1,Ed,-} = -434,65\text{kN}$	$N_{2,Ed,-} = -535,27\text{kN}$

Pro účely posouzení připojení CHS trubek k pásu z trubky CHS podle ČSN-EN-1993-1-8 - *Navrhování styčnicků* nejdříve ověříme, zda se nacházíme v rozsahu *tabulky 7.1* této normy.

Prvek 0	$10 \leq d_0/t_0 = 219,1/12,5 = 17,53 \leq 50;$	✓
Prvek 1	$10 \leq d_1/t_1 = 177,8/12,5 = 14,22 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_1/d_0 = 177,8/219,1 = 0,81 \leq 1,0$	✓
Prvek 2	$10 \leq d_2/t_2 = 219,1/8,0 = 27,34 \leq 50$	✓
	$0,2 \leq d_2/d_0 = 219,1/219,1 = 1,0 \leq 1,0$	✓

Všechny prvky odpovídají podmínkám *tabulky 7.1*, posouzení tedy bude provedeno podle *tabulky 7.2 a 7.6*.

8.5.2. Posouzení dle tabulky 7.2

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 12,5} = 8,76$$

$$\sigma_0 = \frac{N_{0,Ed,-}}{A_0} = \frac{1134,12}{8110} = 139,84 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_0}{f_y} = \frac{139,84}{235} = 0,595$$

$$\beta_1 = \frac{d_1}{d_0} = \frac{177,8}{219,1} = 0,82 \quad \beta_2 = \frac{d_2}{d_0} = \frac{219,1}{219,1} = 1,0$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,595 \cdot (1 + 0,595) = 0,715$$

Porušení povrchu pásu**Prvek 1**

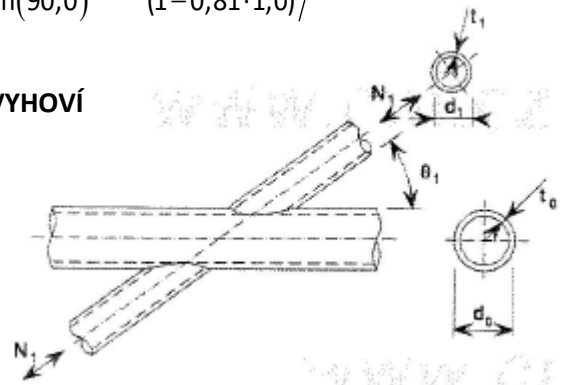
$$N_{1,Rd} = \frac{k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_1)} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot \beta_1)} \Bigg/ \gamma_{M5} = \frac{0,715 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(90,0)} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot 0,82)} \Bigg/ \gamma_{M5} = 506,55 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 272,09 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -434,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Prvek 2**

$$N_{2,Rd} = \frac{k_p \cdot f_y \cdot t_0^2}{\sin(\varphi_2)} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot \beta_2)} \Bigg/ \gamma_{M5} = \frac{0,715 \cdot 235 \cdot 12,5^2}{\sin(90,0)} \cdot \frac{5,2}{(1 - 0,81 \cdot 1,0)} \Bigg/ \gamma_{M5} = 718,53 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{2,Ed,+} &= 340,77 \text{ kN} \\ N_{2,Ed,-} &= -535,27 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Porušení prolomení smykem****Prvek 1**

$$d_1 = 177,8 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

$$N_{1,Rd} = t_0 \cdot \pi \cdot d_1 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(\varphi_1)}{2 \cdot \sin^2(\varphi_1)} \Bigg/ \gamma_{M5} = 12,5 \cdot \pi \cdot 177,8 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1 + \sin(90,0)}{2 \cdot \sin^2(90,0)} \Bigg/ 1,0 = 947,35 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 272,09 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -434,65 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ**Prvek 2**

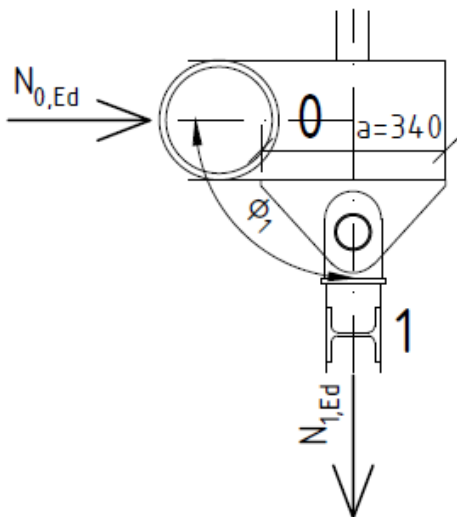
$$d_2 = 219,1 \text{ mm} \leq d_0 - 2 \cdot t_0 = 219,1 - 2 \cdot 12,5 = 194,1 \text{ mm}$$

- Není potřeba posuzovat

VYHOVÍ

8.6. Styčník E

8.6.1. Parametry prvků



Prvek 0

$$d_0 = 219,1 \text{ mm}$$

$$t_0 = 12,5 \text{ mm}$$

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

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

Prvek 1

$$h = 100,0 \text{ mm}$$

$$b = 100,0 \text{ mm}$$

$$t_f = 10,0 \text{ mm}$$

$$t_w = 6,0 \text{ mm}$$

$$N_{1,Ed,+} = 123,00 \text{ kN}$$

$$N_{1,Ed,-} = -86,66 \text{ kN}$$

8.6.2. Posouzení dle tabulky 7.2 – styčníkový plech

Prvek 1

$$\gamma = \frac{d_0}{2 \cdot t_0} = \frac{219,1}{2 \cdot 12,5} = 8,76$$

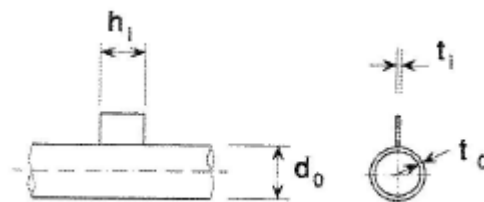
$$\sigma_0 = \frac{N_{0,Ed,-}}{A_0} = \frac{0,0}{8110} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$n_p = \frac{\sigma_0}{f_y} = \frac{0,0}{235} = 0,0$$

$$k_p = 1 - 0,3 \cdot n_p \cdot (1 + n_p) = 1 - 0,3 \cdot 0,0 \cdot (1 + 0,599) = 1,0$$

Porušení povrchu pásu

$$\eta = \frac{a}{d_0} = \frac{340,0}{219,1} = 1,55$$



$$N_{1,Rd} = \frac{5 \cdot k_p \cdot f_y \cdot t_0^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot \eta)}{\sin(\varphi_1)} = \frac{5 \cdot 1,0 \cdot 235 \cdot 12,5^2 \cdot (1 + 0,25 \cdot 1,55)}{\sin(90,0)} = 254,74 \text{ kN}$$

$$\geq \begin{aligned} N_{1,Ed,+} &= 123,00 \text{ kN} \\ N_{1,Ed,-} &= -86,66 \text{ kN} \end{aligned}$$

VYHOVÍ

Porušení prolomení smykem

$$\sigma_{\max} \cdot t_p \leq 2 \cdot t_0 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} / \gamma_{M5}$$

$$0,0 \cdot 14 \leq 2 \cdot 12,5 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} / 1,0$$

$$0,0 \leq 3391,93$$

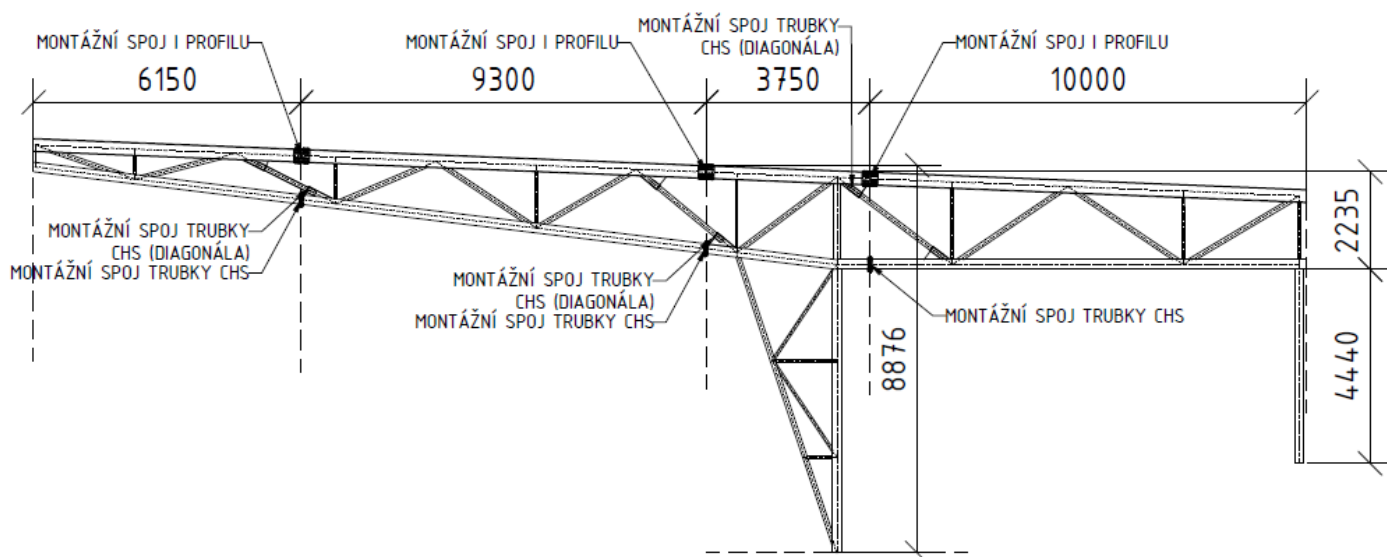
VYHOVÍ

9. Varianta A – rozdělení na montážní celky a výpočet montážních spojů

Konstrukce bude z hlediska přepravy rozdělena na několik montážních celků. Jednotlivé montážní celky jsou přehledně zobrazeny na obrázku níže, včetně jejich rozměrů. Dle dostupných informací by mělo být možné montážní celky této velikosti přepravit po pozemních komunikacích.

Jednotlivé montážní celky budou spojeny pomocí šroubových spojů přímo na staveništi.

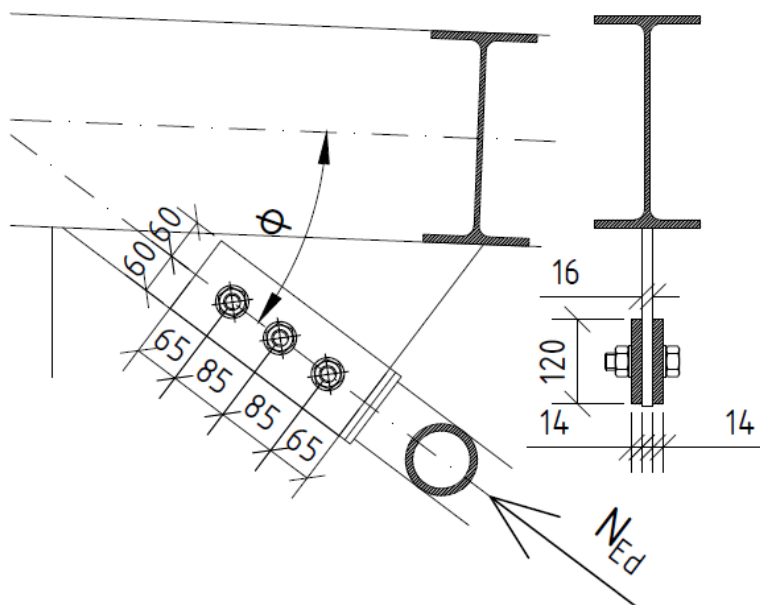
9.1. Schéma montážních celků



9.2. Styčník A – připojení diagonály nad zázemím

Únosnost montážního spoje nebude navržena na působící normálovou sílu, ale na plnou únosnost profilu diagonály.

9.2.1. Schéma



9.2.2. Vnitřní síly a únosnost průřezu

$$N_{Ed,+} = 420,27 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -230,11 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2880 \cdot 235}{1,0} = 676,80 \text{ kN}$$

9.2.3. Šroubový přípoj – návrh a posouzení

Návrh: 3x M24 8.8

$d = 24 \text{ mm}$	$A = 452 \text{ mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$e_1 = 65 \text{ mm}$
$d_0 = 26 \text{ mm}$	$A_s = 353 \text{ mm}^2$	$\alpha_v = 0,6$	$p_1 = 85 \text{ mm}$
$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$	$t_{\min} = 16 \text{ mm}$	$n = 2$	$e_2 = 60 \text{ mm}$

Posouzení - únosnost 1 šroubu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 452 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 347,14 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_{d,krajní}; \alpha_{d,vnitřní}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \{0,833; 0,840; 2,222; 1,0\} = 0,833$$

$$\alpha_{d,krajní} = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{65}{3 \cdot 26} = 0,833 \quad \alpha_{d,vnitřní} = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{85}{3 \cdot 26} - \frac{1}{4} = 0,840$$

$$k_{1,krajní} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 60}{26} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{4,76; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,833 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,024 \cdot 0,016}{1,25} = 230,40 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,1} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{347,14; 230,40\} = 230,40 \text{ kN}$$

Počet šroubů $n_s = \frac{N_{Rd}}{F_{Rd}} = \frac{676,80}{230,40} = 2,94 \rightarrow n_s = 3 \quad \text{VYHOVÍ}$

$$F_{Rd} = 691,20 \text{ kN} \approx N_{Rd} = 676,80 \text{ kN}$$

9.2.4. Oslabený průřez – posouzení

$$A_{net} = 2 \cdot (h - d_0) \cdot t = 2 \cdot (120 - 26) \cdot 14 = 2632 \text{ mm}^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2632 \cdot 360}{1,25} = 682,20 \text{ kN} \approx N_{Rd} = 676,80 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

9.2.5. Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce

$$N_{Rd} = 676,80 \text{ kN}$$

$$a = 9 \text{ mm}$$

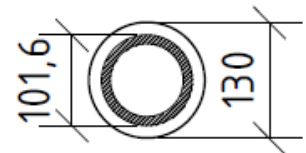
$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$l = \pi \cdot d = \pi \cdot (101,6 + 9,0) = 347 \text{ mm} \quad l_{\min} = 6a = 54 \text{ mm}$$

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

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Rd} / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{676,80 / \sqrt{2}}{9 \cdot 347} = 153,24 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = \sqrt{153,24^2 + 3 \cdot 153,24^2} = 306,48 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 306,48 \text{ MPa} \quad 85\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 153,24 \text{ MPa} \quad 89\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.2.6. Návrh a posouzení přívaru přípojných plechů k čelní desce

$$N_{Rd} = 676,80 \text{ kN}$$

$$a = 7 \text{ mm}$$

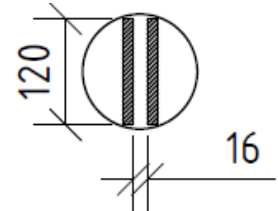
$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$l = 4 \cdot (120 - 2 \cdot a) = 4 \cdot (120 - 2 \cdot 7) = 4 \cdot 106 = 424 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 42 \text{ mm}$$

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



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Rd} / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{676,80 / \sqrt{2}}{7 \cdot 424} = 161,24 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = \sqrt{161,24^2 + 3 \cdot 161,24^2} = 322,49 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 322,49 \text{ MPa} \quad 90\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 161,24 \text{ MPa} \quad 93\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.2.7. Návrh a posouzení přívaru styčnickového plechu

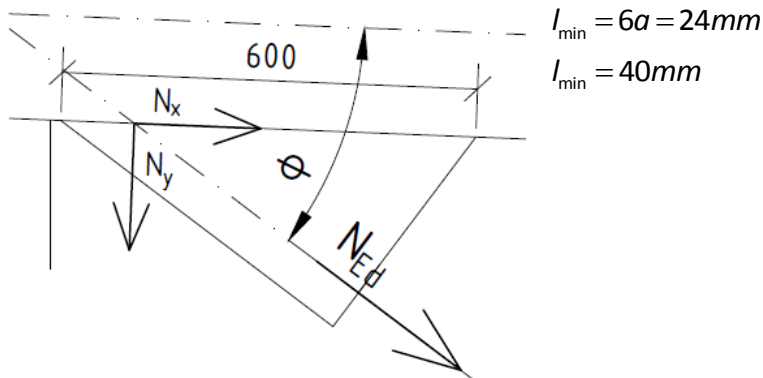
$$N_{Rd} = 676,80 \text{ kN} \quad \varphi = 34,75^\circ$$

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

$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10,7 = 11,77 \text{ mm}$$

$$l = 2 \cdot (600 - 2 \cdot a) = 2 \cdot (600 - 2 \cdot 4) = 2 \cdot 592 = 1184 \text{ mm}$$



$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 676,80 \cdot \cos(34,75) = 558,72 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 676,80 \cdot \sin(34,75) = 387,56 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{558,72}{4 \cdot 1184} = 117,97 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{387,56 / \sqrt{2}}{4 \cdot 1184} = 57,87 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{57,87^2 + 3 \cdot (57,87^2 + 117,97^2)} = 234,84 \text{ MPa}$$

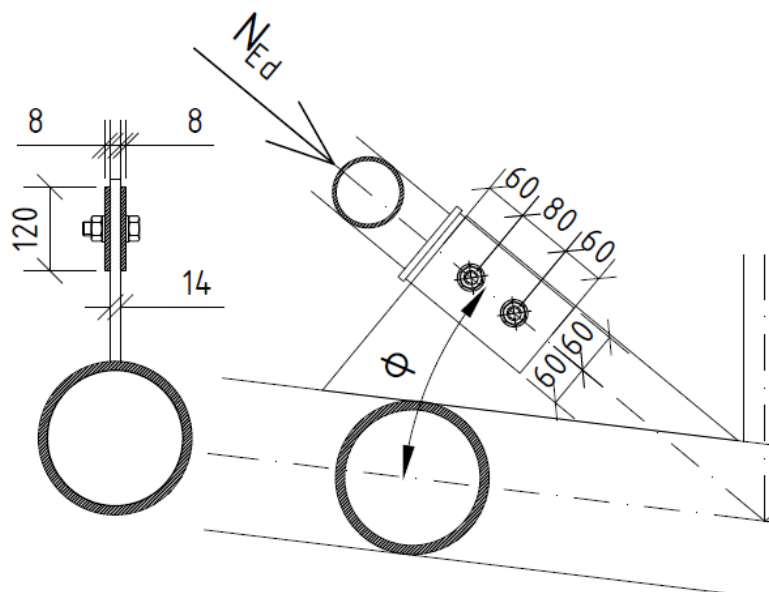
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 234,84 \text{ MPa} \quad 65\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 57,87 \text{ MPa} \quad 33\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.3. Styčník C – připojení diagonály převislé části

Únosnost montážního spoje nebude navržena na působící normálovou sílu, ale na plnou únosnost profilu diagonály.

9.3.1. Schéma



9.3.2. Vnitřní síly a únosnost průřezu

$$N_{Ed,+} = 149,93 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -236,96 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1520 \cdot 235}{1,0} = 357,20 \text{ kN}$$

9.3.3. Šroubový přípoj – návrh a posouzení

Návrh: 2x M20 8.8

$d = 20mm$	$A = 314mm^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$e_1 = 60mm$
$d_0 = 22mm$	$A_s = 245mm^2$	$\alpha_v = 0,6$	$p_1 = 80mm$
$f_{ub} = 800MPa$	$t_{min} = 14mm$	$n = 2$	$e_2 = 60mm$

Posouzení - únosnost 1 šroubu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 241,15kN$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_{d,vnitřní}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \{0,909; 2,222; 1,0\} = 0,909$$

$$\alpha_{d,krajní} = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 22} = 0,909$$

$$k_{1,krajní} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 60}{22} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{5,94; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,909 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,020 \cdot 0,014}{1,25} = 183,27kN$$

$$F_{Rd,1} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{241,15; 183,27\} = 183,27kN$$

$$\text{Počet šroubů} \quad n_s = \frac{N_{Rd}}{F_{Rd}} = \frac{357,20}{183,27} = 1,95 \quad \rightarrow \quad n_s = 2 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$F_{Rd} = 366,54kN \quad \approx \quad N_{Rd} = 357,20kN$$

9.3.4. Oslabený průřez – posouzení

$$A_{net} = 2 \cdot (h - d_0) \cdot t = 2 \cdot (120 - 22) \cdot 8 = 1372mm^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1372 \cdot 360}{1,25} = 355,6kN \quad \approx \quad N_{Rd} = 357,20kN$$

VYHOVÍ

9.3.5. Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce

$$N_{Rd} = 357,20 \text{ kN}$$

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

$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$l = \pi \cdot d = \pi \cdot (101,6 + 9,0) = 347 \text{ mm} \quad l_{\min} = 6a = 54 \text{ mm}$$

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

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Rd} / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{357,20 / \sqrt{2}}{5 \cdot 347} = 145,57 \text{ MPa}$$



$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = \sqrt{145,57^2 + 3 \cdot 145,57^2} = 291,14 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 291,14 \text{ MPa} \quad 81\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 145,57 \text{ MPa} \quad 85\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.3.6. Návrh a posouzení přívaru přípojných plechů k čelní desce

$$N_{Rd} = 357,20 \text{ kN}$$

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

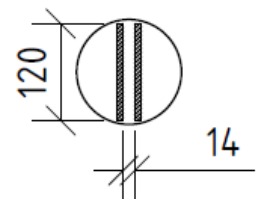
$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10 = 11 \text{ mm}$$

$$l = 4 \cdot (120 - 2 \cdot a) = 4 \cdot (120 - 2 \cdot 4) = 4 \cdot 112 = 448 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 42 \text{ mm}$$

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



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Rd} / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{357,20 / \sqrt{2}}{4 \cdot 448} = 140,95 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = \sqrt{140,95^2 + 3 \cdot 140,95^2} = 281,90 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 281,90 \text{ MPa} \quad 78\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 140,95 \text{ MPa} \quad 82\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.3.7. Návrh a posouzení přívaru styčnickového plechu

$$N_{Rd} = 357,20 \text{ kN} \quad \varphi = 32,72^\circ$$

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

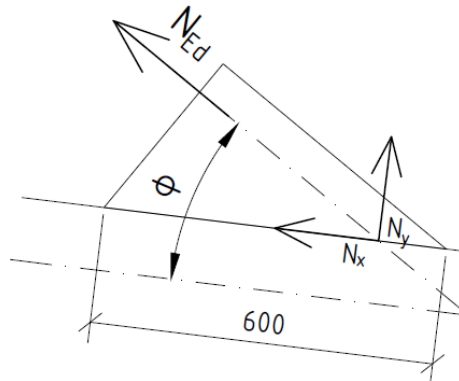
$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10,7 = 11,77 \text{ mm}$$

$$l = 2 \cdot (600 - 2 \cdot a) = 2 \cdot (600 - 2 \cdot 4) = 2 \cdot 592 = 1184 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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



$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 357,20 \cdot \cos(32,72) = 300,52 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 357,20 \cdot \sin(32,72) = 193,08 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{300,52}{4 \cdot 1184} = 63,45 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{193,08 / \sqrt{2}}{4 \cdot 1184} = 28,83 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{28,83^2 + 3 \cdot (28,83^2 + 63,45^2)} = 124,11 \text{ MPa}$$

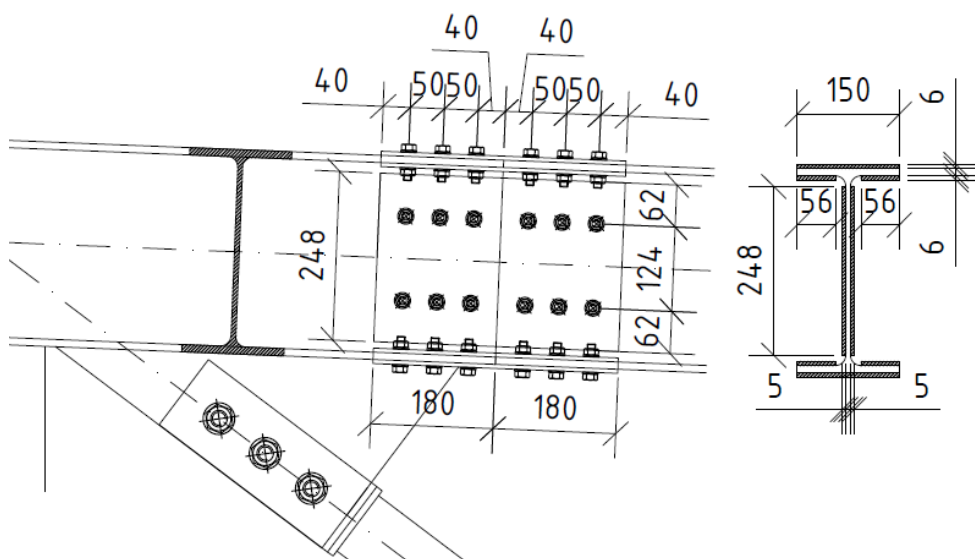
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 124,11 \text{ MPa} \quad 35\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 28,83 \text{ MPa} \quad 17\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.4. Horní pás průřezu I – montážní spoj

Únosnost montážního spoje nebude navržena na působící normálovou sílu, ale na plnou únosnost profilu horního pásu.

9.4.1. Schéma



9.4.2. Vnitřní síly a únosnost průřezu

$$N_{Ed+} = 978,52 \text{ kN} \quad N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5380 \cdot 235}{1,0} = 1264,30 \text{ kN}$$

$$N_{Ed-} = -530,79 \text{ kN}$$

9.4.3. Šroubový přípoj – návrh a posouzení

Návrh: Pásnice 12x M12 8.8

$d = 12 \text{ mm}$	$A = 113 \text{ mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$e_1 = 40 \text{ mm}$
$d_0 = 13 \text{ mm}$	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$	$\alpha_v = 0,6$	$p_1 = 50 \text{ mm}$
$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$	$t_{\min} = 10,7 \text{ mm}$	$n = 2$	$e_2 = 28 \text{ mm}$

Posouzení - únosnost 1 šroubu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 113 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 86,78 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_{d,krajní}; \alpha_{d,vnitřní}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \{1,025; 1,032; 2,222; 1,0\} = 1,0$$

$$\alpha_{d,krajní} = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 13} = 1,025 \quad \alpha_{d,vnitřní} = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{50}{3 \cdot 13} - \frac{1}{4} = 1,032$$

$$k_{1,krajní} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 28}{13} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{5,84; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,012 \cdot 0,0107}{1,25} = 92,45 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,1} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{86,78; 92,45\} = 86,78 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,pásnice} = F_{Rd,1} \cdot n_{s,pásnice} = 86,78 \cdot 12 = 1043,36 \text{ kN}$$

Návrh: Pásnice 6x M12 8.8

$d = 12 \text{ mm}$	$A = 113 \text{ mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$
$d_0 = 13 \text{ mm}$	$A_s = 84,3 \text{ mm}^2$	$\alpha_v = 0,6$
$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$	$t_{\min} = 7,1 \text{ mm}$	$n = 2$

Posouzení - únosnost 1 šroubu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 113 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 86,78 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = 1,0 \quad k_{1,krajní} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 360 \cdot 10^6 \cdot 0,012 \cdot 0,0071}{1,25} = 61,34 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,1} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{86,78; 61,34\} = 61,34 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,stojina} = F_{Rd,1} \cdot n_{s,stojina} = 61,34 \cdot 6 = 368,04 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = F_{Rd,stojina} + F_{Rd,pásnice} = 1043,3 + 368,04 = 1411,34 \text{ kN} \approx N_{Rd} = 1264,30 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

9.4.4. Oslabený průřez I profilu – posouzení

$$A_{net} = A - 4 \cdot t_f \cdot d_0 - 2 \cdot t_w \cdot d_0 = 5380 - 4 \cdot 10,7 \cdot 13 - 2 \cdot 7,1 \cdot 13 = 4639 \text{ mm}^2$$

$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4639 \cdot 360}{1,25} = 1205,90 \text{ kN} \approx N_{Rd} = 1264,30 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

9.4.5. Oslabený průřez příločky – posouzení

$$A_{net,p-pásnice} = (a_1 + 2 \cdot a_2) \cdot t - 4 \cdot t \cdot d_0 = (150 + 2 \cdot 56) \cdot 6 - 4 \cdot 6 \cdot 13 = 1260 \text{ mm}^2$$

$$A_{net,p-stojina} = a \cdot t - 2 \cdot t \cdot d_0 = 5 \cdot 248 - 2 \cdot 5 \cdot 13 = 1110 \text{ mm}^2$$

$$A_{net} = 2 \cdot A_{net,p-pásnice} + 2 \cdot A_{net,p-stojina} = 2 \cdot 1260 + 2 \cdot 1110 = 4740 \text{ mm}^2$$

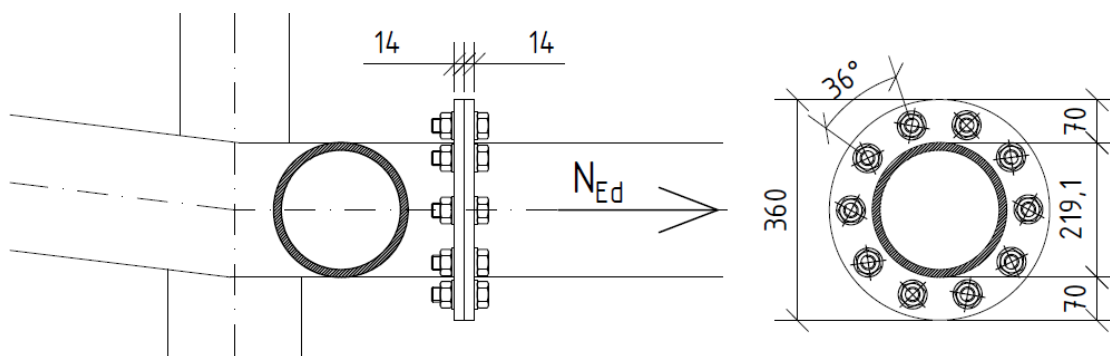
$$N_{net,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 4740 \cdot 360}{1,25} = 1228,61 \text{ kN} \quad \approx \quad N_{Rd} = 1264,30 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

9.5. Dolní pás z CHS trubky – montážní spoj

Únosnost montážního spoje nebude navržena na působící normálovou sílu, ale na plnou únosnost profilu dolního pásu.

9.5.1. Schéma



9.5.2. Vnitřní síly a únosnost průřezu

$$N_{Ed,+} = 687,60 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -1142,63 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{8110 \cdot 235}{1,0} = 1905,85 \text{ kN}$$

9.5.3. Šroubový přípoj – návrh a posouzení

Návrh: 10x M24 8.8

$d = 24 \text{ mm}$	$A = 452 \text{ mm}^2$	$d_m = 38,80 \text{ mm}$
$d_0 = 26 \text{ mm}$	$A_s = 353 \text{ mm}^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$
$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$	$t_{\min} = 14 \text{ mm}$	

Posouzení - únosnost 1 šroubu

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 800 \cdot 10^6 \cdot 353 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 203,33 \text{ kN}$$

$$B_{p,Rd} = 0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,6 \cdot \pi \cdot 38,80 \cdot 14 \cdot \frac{360}{1,25} = 294,89 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,1} = \min\{F_{t,Rd}; B_{p,Rd}\} = \min\{203,33; 294,89\} = 203,33 \text{ kN}$$

$$F_{Rd,pásnice} = F_{Rd,1} \cdot n_s = 203,33 \cdot 10 = 2033,30 \text{ kN} \quad \approx \quad N_{Rd} = 1905,85 \text{ kN}$$

9.5.4. Návrh a posouzení přívaru čelní desky k trubce

$$N_{Rd} = 1905,85 \text{ kN}$$

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

$$a_{\min} = 4 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 12,5 = 13,75 \text{ mm}$$

$$l = \pi \cdot d = \pi \cdot (219,1 + 10,0) = 726 \text{ mm} \quad l_{\min} = 6a = 54 \text{ mm}$$

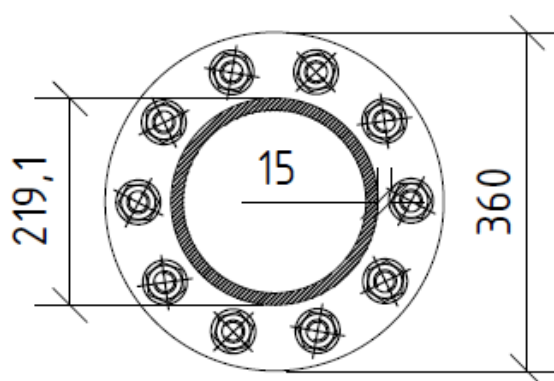
$$l_{\min} = 40 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Rd} / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{1905,85 / \sqrt{2}}{12 \cdot 726} = 154,69 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot \tau_{\perp}^2} = \sqrt{154,69^2 + 3 \cdot 154,69^2} = 309,38 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 309,38 \text{ MPa} \quad 86\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 153,24 \text{ MPa} \quad 90\% \quad \text{VYHOVÍ}$$



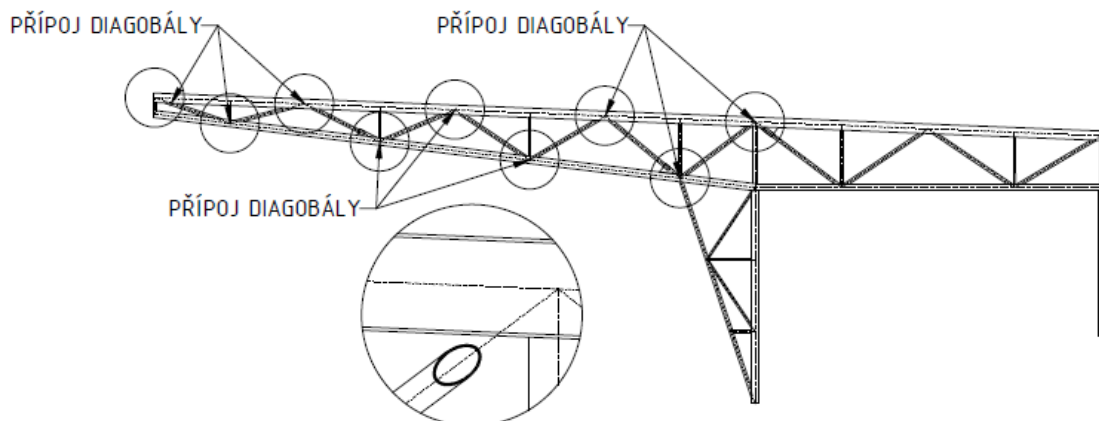
10. Varianta A – návrh a posouzení svarových přípojů mezipásových prvků k pásům vazníku

Svarové přípoje budou posouzeny zjednodušenou metodou pro koutový svar.

I v případě napojení trubka-trubka bude délka svaru uvažována jako obvod elipsy, která vznikne průnikem trubky pod daným úhlem s rovinou. Skutečná délka svaru na styku trubka-trubka bude mírně delší, toto zjednodušení je tedy na stranu bezpečnou.

Pro daný profil bude vždy navržen a posouzen svar na únosnost průřezu. Tento svar bude poté navržen pro všechny přípoje daného profilu.

10.1. Svarový přípoj diagonál nad převislou částí vazníku



$$N_{Ed,+} = 149,93 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -236,96 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1520 \cdot 235}{1,0} = 357,20 \text{ kN}$$

$$\varphi = 43,75^\circ$$

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

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 5,0 = 5,5 \text{ mm}$$

$$l = 423 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 357,20 \cdot \cos(43,75) = 258,03 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 357,20 \cdot \sin(43,75) = 247,01 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{258,03}{4 \cdot 423} = 152,53 \text{ MPa}$$

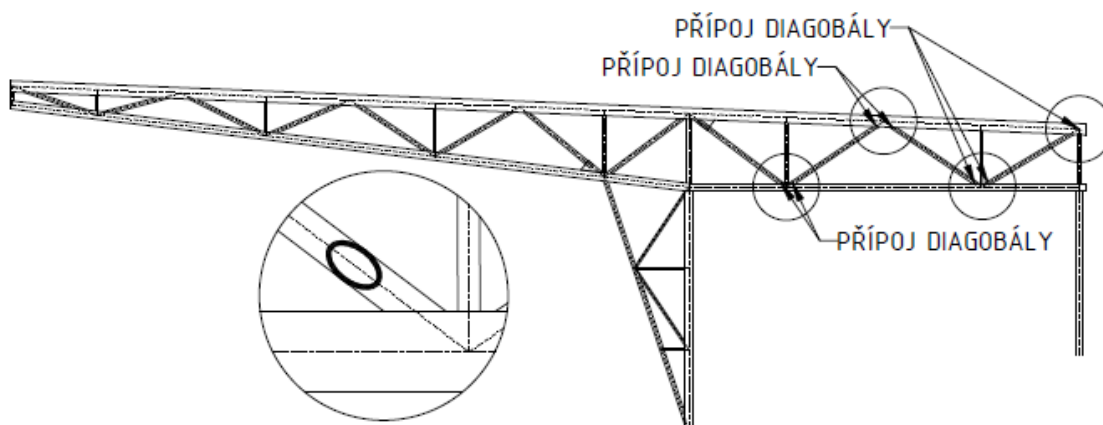
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{247,01 / \sqrt{2}}{4 \cdot 423} = 103,25 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{103,25^2 + 3 \cdot (103,25^2 + 152,53^2)} = 335,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 335,32 \text{ MPa} \quad 93\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 103,25 \text{ MPa} \quad 60\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

10.2. Svarový přípoj diagonál nad zázemím



$$N_{Ed,+} = 420,27 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -230,11 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2880 \cdot 235}{1,0} = 676,80 \text{ kN}$$

$$\varphi = 37,04^\circ$$

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

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 10,0 = 11,0 \text{ mm}$$

$$l = 438 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 676,80 \cdot \cos(37,04) = 540,23 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 676,80 \cdot \sin(37,04) = 407,69 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{540,23}{8 \cdot 438} = 154,16 \text{ MPa}$$

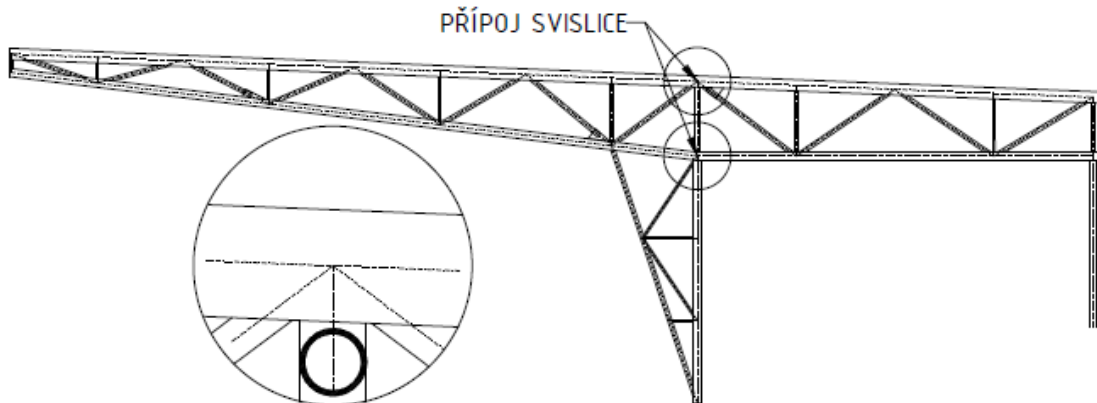
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{407,69 / \sqrt{2}}{8 \cdot 438} = 82,26 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{82,26^2 + 3 \cdot (82,26^2 + 154,16^2)} = 335,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 335,32 \text{ MPa} \quad 87\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 82,26 \text{ MPa} \quad 48\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

10.3. Svarový přípoj svislice nad primární stojkou



$$N_{Ed,+} = 272,09 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -435,24 \text{ kN}$$

$$\varphi = 87,71^\circ$$

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

$$l = 559 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{6490 \cdot 235}{1,0} = 1525,15 \text{ kN}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 12,5 = 13,75 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 1525,15 \cdot \cos(87,71) = 60,94 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 1525,15 \cdot \sin(87,71) = 1523,90 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{60,94}{12 \cdot 559} = 9,09 \text{ MPa}$$

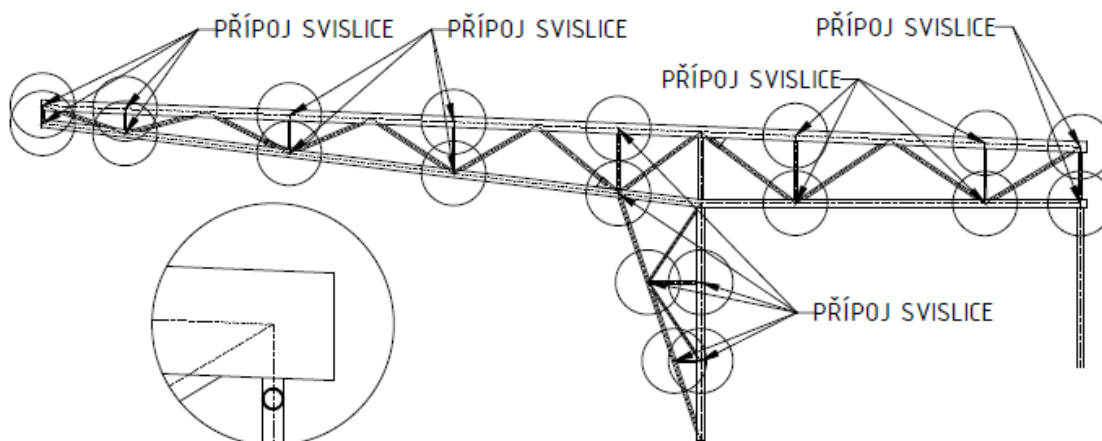
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{1523,90 / \sqrt{2}}{12 \cdot 559} = 160,67 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{160,67^2 + 3 \cdot (160,67^2 + 9,09^2)} = 321,73 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 321,73 \text{ MPa} \quad 93\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 160,67 \text{ MPa} \quad 89\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

10.4. Svarový přípoj svislic



$$N_{Ed,+} = 134,19 \text{ kN}$$

$$N_{Ed-} = -95,30 \text{ kN}$$

$$\varphi = 87,71^\circ$$

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

$$l = 189 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{707 \cdot 235}{1,0} = 166,15 \text{ kN}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4,0 = 4,4 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 166,15 \cdot \cos(87,71) = 6,46 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 166,15 \cdot \sin(87,71) = 166,02 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{6,46}{4 \cdot 189} = 8,76 \text{ MPa}$$

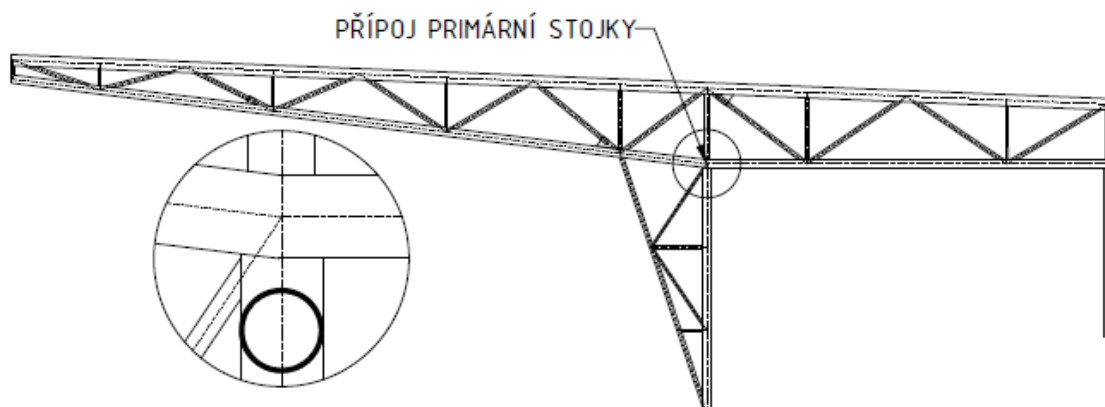
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{166,02 / \sqrt{2}}{4 \cdot 189} = 154,92 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{154,92^2 + 3 \cdot (154,92^2 + 8,76^2)} = 310,21 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 310,21 \text{ MPa} \quad 90\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 154,92 \text{ MPa} \quad 86\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

10.5. Svarový přípoj primární stojky



$$N_{Ed,+} = 340,77 \text{ kN}$$

$$N_{Ed-} = -535,27 \text{ kN}$$

$$\varphi = 90,0^\circ$$

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

$$l = 688 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5310 \cdot 235}{1,0} = 1247,85 \text{ kN}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 8,0 = 8,8 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 1247,90 \cdot \cos(90,0) = 0,0 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 1247,9 \cdot \cos(90,0) = 1247,9 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = 0,0 \text{ MPa}$$

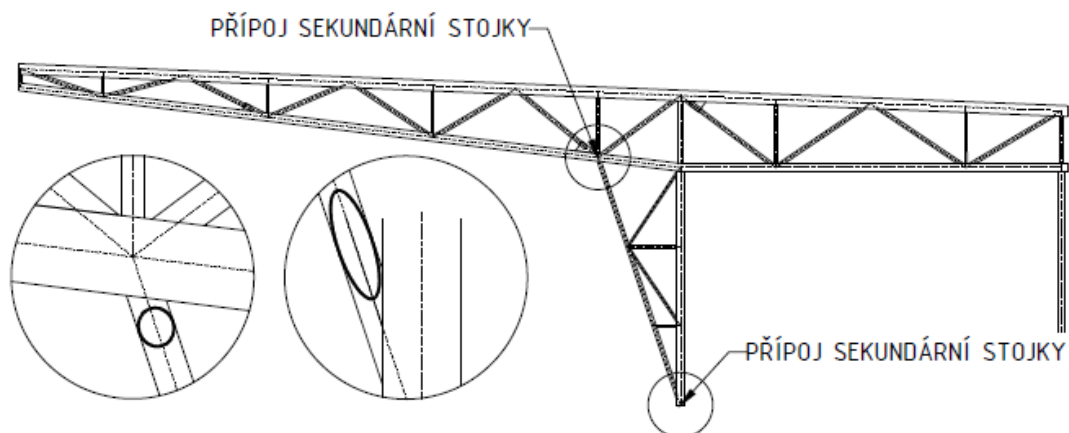
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{1247,9 / \sqrt{2}}{8 \cdot 688} = 160,24 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{160,24^2 + 3 \cdot (160,24^2 + 0,0^2)} = 320,48 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 320,48 \text{ MPa} \quad 93\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 160,24 \text{ MPa} \quad 89\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

10.6. Svarový přípoj sekundární stojky



$$N_{Ed,+} = 123,00 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -86,66 \text{ kN}$$

$$\varphi = 64,62^\circ$$

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

$$l = 329 \text{ mm}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5310 \cdot 235}{1,0} = 289,05 \text{ kN}$$

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4,0 = 4,4 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 289,05 \cdot \cos(64,62) = 123,89 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 289,05 \cdot \sin(64,62) = 261,15 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{123,89}{4 \cdot 329} = 94,03 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{261,15 / \sqrt{2}}{4 \cdot 329} = 140,15 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{140,15^2 + 3 \cdot (140,15^2 + 94,03^2)} = 324,19 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 324,19 \text{ MPa} \quad 81\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8 \text{ MPa} \geq 140,15 \text{ MPa} \quad 90\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\varphi = 18,49^\circ$$

$$a = 4mm$$

$$a_{\min} = 3mm$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4,0 = 4,4mm$$

$$l = 746mm$$

$$l_{\min} = 6a = 24mm$$

$$l_{\min} = 40mm$$

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 289,05 \cdot \cos(18,49) = 274,13kN$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 289,05 \cdot \sin(18,49) = 91,67kN$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{274,13}{4 \cdot 746} = 91,89MPa$$

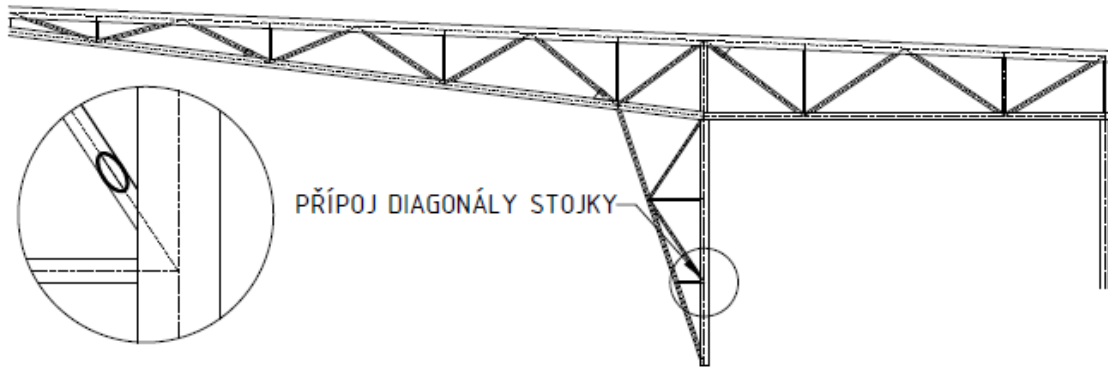
$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{91,67 / \sqrt{2}}{4 \cdot 746} = 21,73MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{21,73^2 + 3 \cdot (21,73^2 + 91,89^2)} = 164,98MPa$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0MPa \geq 164,98MPa \quad 46\% \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 172,8MPa \geq 21,73MPa \quad 13\% \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

10.7. Svarový přípoj diagonál stojky



$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{707 \cdot 235}{1,0} = 166,15 \text{ kN}$$

$$\varphi = 33,77^\circ$$

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

$$a_{\min} = 3 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 1,1 \cdot t_{\min} = 1,1 \cdot 4,0 = 4,4 \text{ mm}$$

$$l = 189 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 6a = 24 \text{ mm}$$

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

$$N_x = N_{\parallel} = N_{Rd} \cdot \cos(\varphi) = 166,15 \cdot \cos(33,77) = 138,12 \text{ kN}$$

$$N_y = N_{Rd} \cdot \sin(\varphi) = 166,15 \cdot \sin(33,77) = 93,02 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_x}{a \cdot l} = \frac{138,12}{4 \cdot 262} = 131,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_y / \sqrt{2}}{a \cdot l} = \frac{93,02 / \sqrt{2}}{4 \cdot 262} = 62,21 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{62,21^2 + 3 \cdot (62,21^2 + 131,56^2)} = 259,62 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{360}{0,8 \cdot 1,25} = 360,0 \text{ MPa} \geq 259,62 \text{ MPa} \quad 72\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

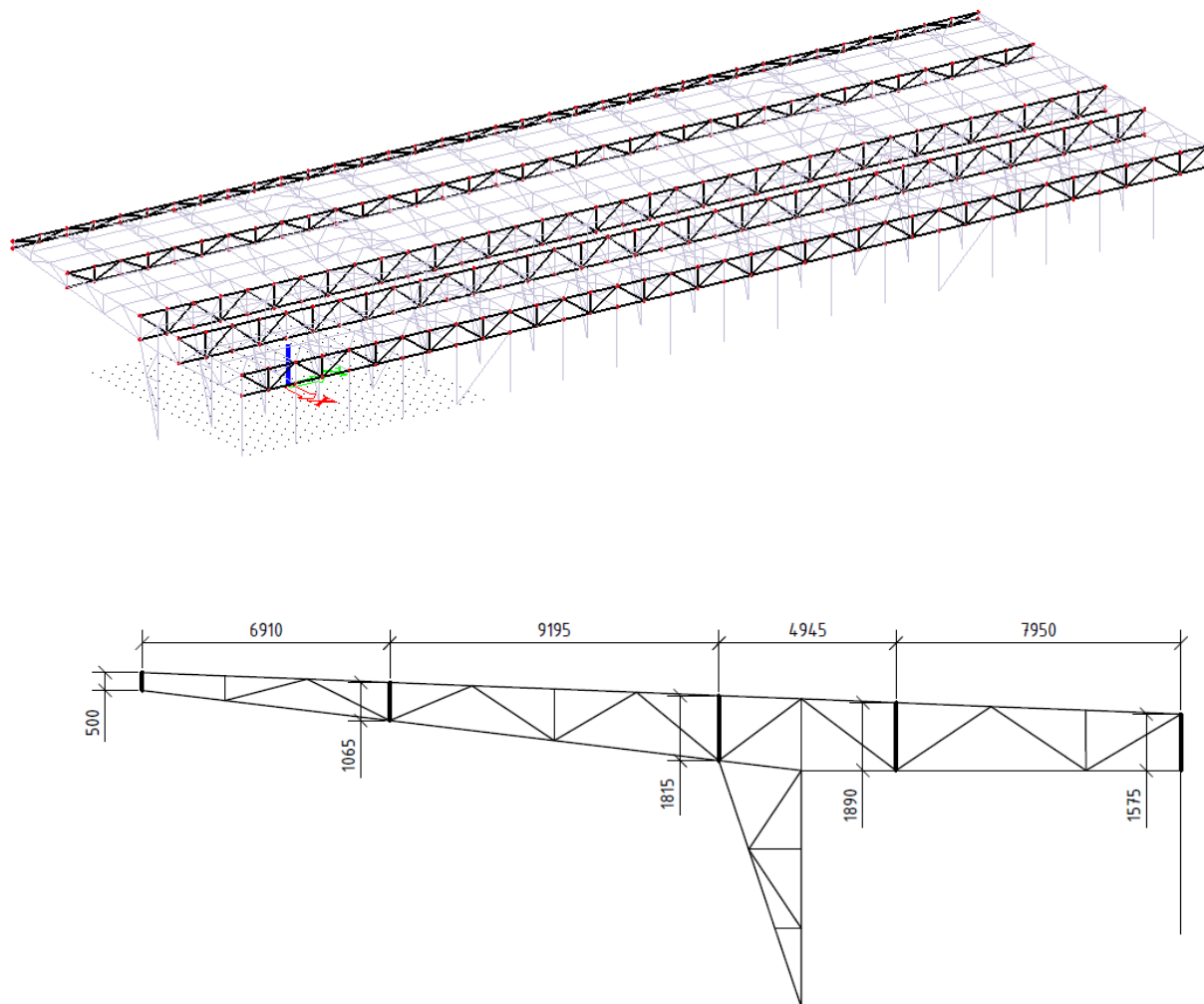
$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa} \geq 259,62 \text{ MPa} \quad 36\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

11. Ztužidla

11.1. Svislá podélná ztužidla

Přenášejí vodorovné síly od větru do příčných ztužidel v rovině střechy a zabezpečují spodní pás vazníku proti vybočení a jsou navržena jako příhradovina z trubek CHS.

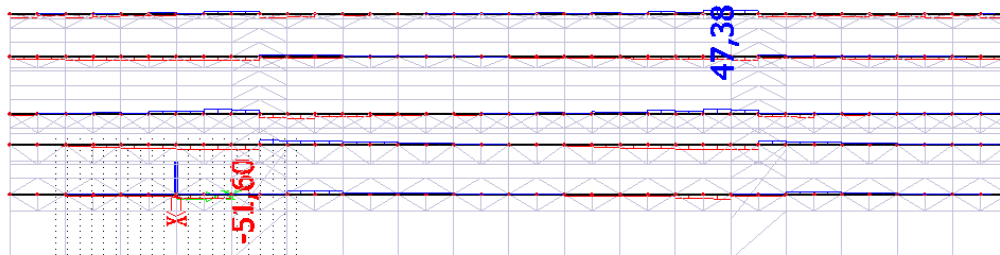
11.1.1. schéma



11.2. Návrh a posouzení jednotlivých prvků svislého podélného ztužidla

11.2.1. Horní pás ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky



Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -51,60 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed+} = 47,38 \text{ kN}$

11.2.2. Horní pás ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 76.1x5		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 7.09 \text{E}+5 \text{ mm}^4$
$D = 76.1 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.86 \text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 5 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 2.53 \text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 1120 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 25.2 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.42 \text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 8.77 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 3.73 \text{E}+4 \text{ mm}^3$

Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{76,1}{5} = 15,22 \leq 50 \varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

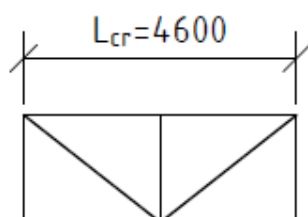
Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{4600}{25,2} = 182,5 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 4,600 \text{ m}$

Horní pás ztužidla je proti vybočení zabezpečen ve styčnicích vazníku.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
51,60	210	235	1120	709000	4,6

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
69	1,947	2,578	0,21	0,234	61,65

0,84
VYHOVÍ

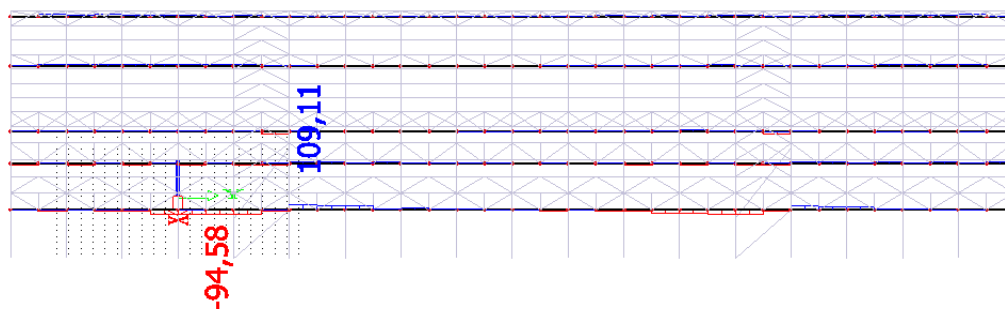
Tah**Posouzení**

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
47,38	210	235	1120	263,20

Posudek: **0,18**
VYHOVÍ

11.2.3. Dolní pás ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky

**Dimenzační normálová síla**

Tlaková: $N_{Ed-} = -94,58 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed+} = 109,11 \text{ kN}$

11.2.4. Spodní pás ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení**Návrh průřezu**

CHS 101.6x4		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 1.46\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$D = 101.6 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.88\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$T = 4 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.81\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A = 1230 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 34.5 \text{ mm}$
$A_L = 0.319 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 2.93\text{E}+6 \text{ mm}^4$
$G = 9.63 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 5.76\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{101,6}{4} = 25,4 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

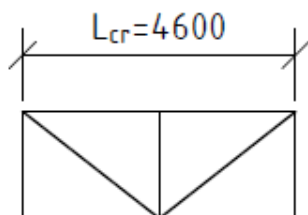
Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{4600}{34,5} = 133,5 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 4,600m$

Horní pás ztužidla je proti vybočení zabezpečen ve styčnicích vazníku.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
94,58	210	235	1230	1460000	4,6

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
143	1,422	1,639	0,21	0,407	117,78

0,80
VYHOVÍ

Tah

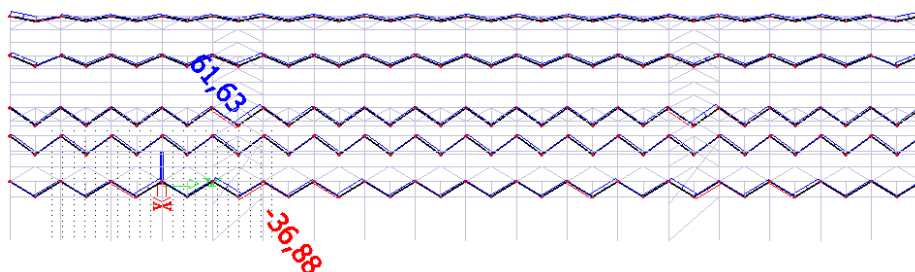
Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
101,11	210	235	1230	289,05

Posudek: **0,35**
VYHOVÍ

11.2.5. Diagonála ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky

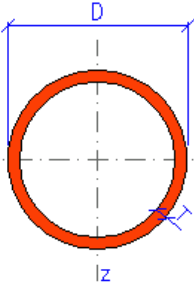


Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -36,88kN$ Tahová: $N_{Ed+} = 61,63kN$

11.2.6. Diagonála ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 60.3x2.6		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 60.3 mm		$I_y = I_z = 1.97E+5 \text{ mm}^4$
T = 2.6 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 6520 \text{ mm}^3$
A = 471 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 8660 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.189 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 20.4 \text{ mm}$
G = 3.7 kg·m ⁻¹		$I_t = 3.93E+5 \text{ mm}^4$
		$C_t = 1.30E+4 \text{ mm}^3$

Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{60,3}{2,6} = 23,19 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

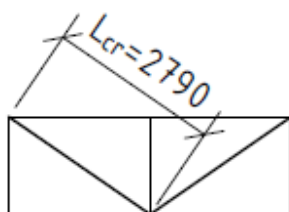
Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{2790}{20,4} = 136,8 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 2,790 \text{ m}$

Horní pás ztužidla je proti vybočení zabezpečen ve styčnicích vazníků.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
36,88	210	235	471	197000	2,79

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
52	1,453	1,687	0,21	0,393	43,51

0,85
VYHOVÍ

Tah

Posouzení

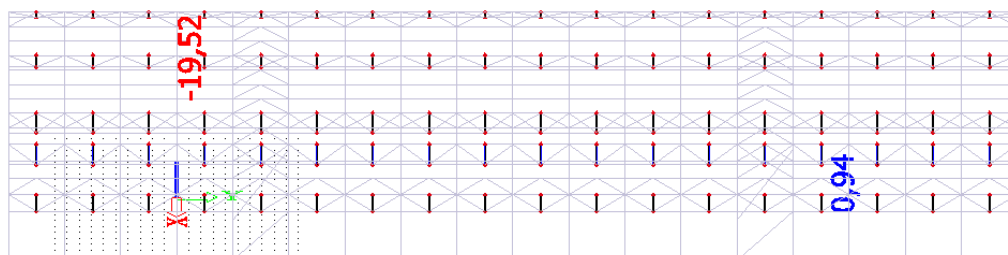
N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
61,63	210	235	471	110,69

Posudek: **0,56**

VYHOVÍ

11.2.7. Svislice ztužidla – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky

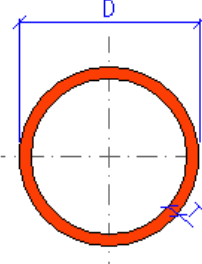


Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -19,52 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed+} = 15,34 \text{ kN}$

11.2.8. Diagonála ztužidla – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 42.4x2.6		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 6.46\text{E}+4 \text{ mm}^4$
D = 42.4 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 3050 \text{ mm}^3$
T = 2.6 mm		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 4120 \text{ mm}^3$
A = 325 mm ²		$i_y = i_z = 14.1 \text{ mm}$
$A_L = 0.133 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 1.29\text{E}+5 \text{ mm}^4$
G = 2.55 kg·m ⁻¹		$C_t = 6100 \text{ mm}^3$

Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{42,4}{2,6} = 16,31 \leq 50 \varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

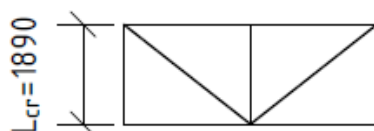
Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{1890}{20,4} = 134,0 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 1,890 \text{ m}$

Horní pás ztužidla je proti vybočení zabezpečen ve styčnicích vazníku.



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
19,52	210	235	325	64600	1,89

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
37	1,427	1,648	0,21	0,405	30,91

0,63
VYHOVÍ

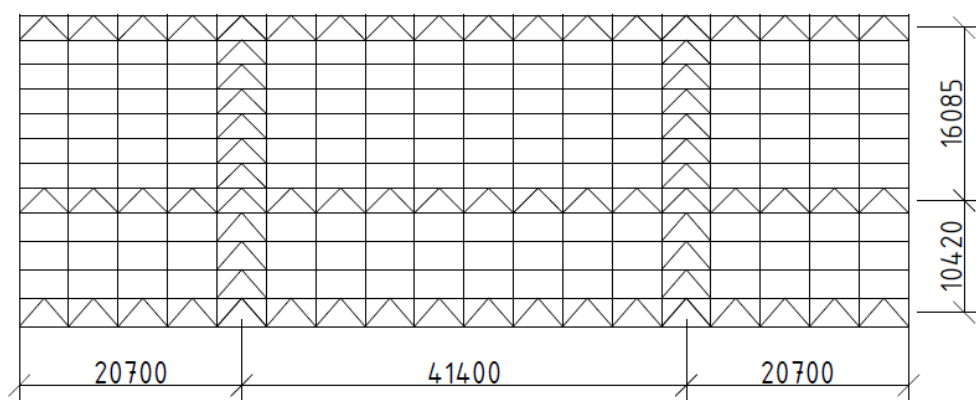
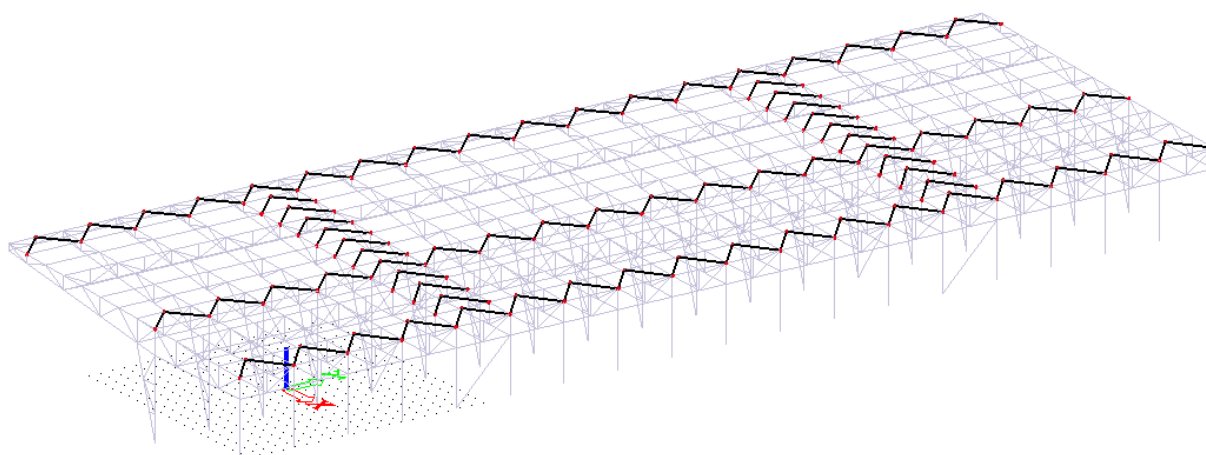
Tah**Posouzení**

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
15,34	210	235	325	76,38

Posudek: **0,20**
VYHOVÍ

11.3. Podélné a příčné ztužidlo v rovině střechy

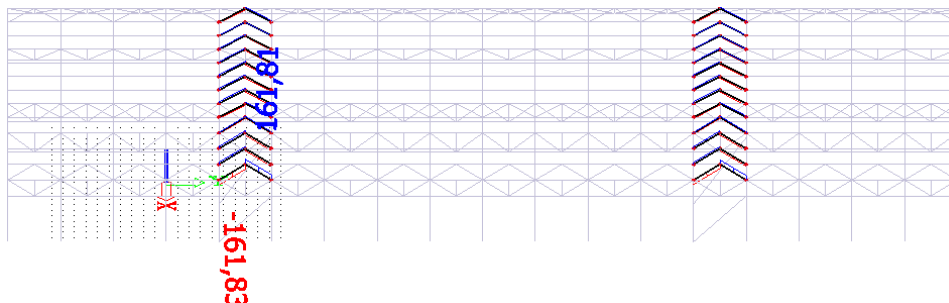
Přenášejí vodorovné síly od větru do svislých ztužidel mezi stojkami a jsou navržena jako polopříčková z trubek CHS.

11.3.1. schéma

11.4. Návrh a posouzení jednotlivých prvků podélného a příčného ztužidla

11.4.1. Příčné ztužidlo – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky



Dimenzační normálová síla

Tlaková: $N_{Ed-} = -161,83 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed+} = 161,83 \text{ kN}$

11.4.2. Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 114.3x3.2		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 114.3 mm		$I_y = I_z = 1.72\text{E}+6 \text{ mm}^4$
T = 3.2 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 3.02\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 1120 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.95\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.359 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 39.3 \text{ mm}$
G = 8.77 kg·m ⁻¹		$I_t = 3.45\text{E}+6 \text{ mm}^4$
		$C_t = 6.04\text{E}+4 \text{ mm}^3$

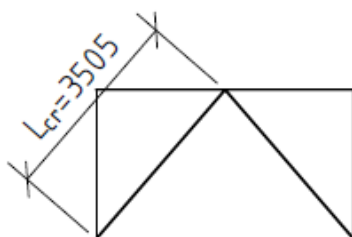
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{114,3}{3,2} = 35,72 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{3505}{39,3} = 89,2 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 3,505 \text{ m}$



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
161,83	210	235	1120	1720000	3,505

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
290	0,952	1,033	0,21	0,699	183,89

0,88
VYHOVÍ

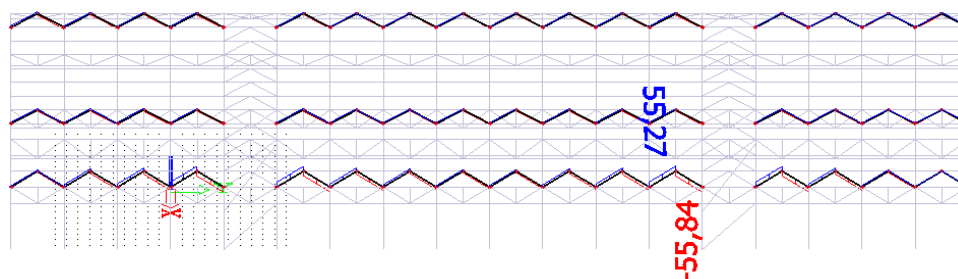
Tah**Posouzení**

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
161,83	210	235	1120	263,20

Posudek: **0,61**
VYHOVÍ

11.4.3. Podélné ztužidlo – vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky

**Dimenzační normálová síla**

Tlaková: $N_{Ed-} = -55,84 \text{ kN}$ Tahová: $N_{Ed+} = 55,84 \text{ kN}$

11.4.4. Podélné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení**Návrh průřezu**

CHS 76.1x3.2		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
		$I_y = I_z = 4.88E+5 \text{ mm}^4$
$D = 76.1 \text{ mm}$		$W_{y,el} = W_{z,el} = 1.28E+4 \text{ mm}^3$
$T = 3.2 \text{ mm}$		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 1.70E+4 \text{ mm}^3$
$A = 733 \text{ mm}^2$		$i_y = i_z = 25.8 \text{ mm}$
$A_L = 0.239 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$I_t = 9.76E+5 \text{ mm}^4$
$G = 5.75 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1}$		$C_t = 2.56E+4 \text{ mm}^3$

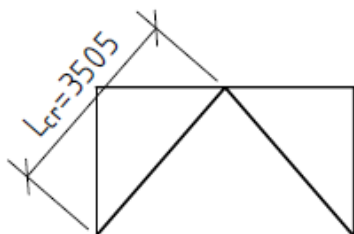
Trubka: $\frac{d}{t} = \frac{76,1}{3,2} = 23,78 \leq 50\varepsilon^2 = 50$ *kategorie I*

Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{3505}{25,8} = 135,85 \leq 200$

Křivka vzpěrné pevnosti pro trubky za tepla tvarované je „a“: $\alpha = 0,21$

Tlak

Vzpěrné délky prutů - $L_{cr} = 3,505m$



Posouzení

N_{ed} [kN]	E [GPa]	f_y [GPa]	A [mm ²]	I [mm ⁴]	L_{cr} [m]
55,84	210	235	733	488000	3,505

N_{cr} [kN]	λ	θ	α	χ	$N_{b,Rd}$ [kN]
82	1,446	1,677	0,21	0,396	68,20

**0,82
VYHOVÍ**

Tah

Posouzení

N_{ed+} [kN]	E [GPa]	f_y [MPa]	A [mm ²]	$N_{t,Rd}$ [kN]
55,84	210	235	733	172,26

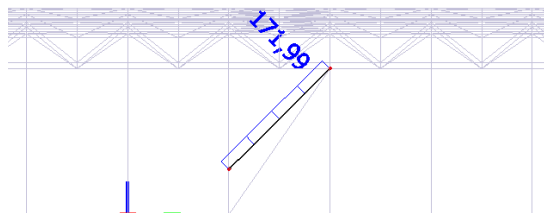
Posudek: **0,32
VYHOVÍ**

11.5. Návrh a posouzení ztužení krajní stojky

Ztužidlo je navrženo jako křížové a ve výpočtu je uvažována vždy jen tažená diagonála. U tlačené diagonály se předpokládá pružené vybočení. Křížení diagonál bude řešeno vevařeným středovým styčnickým plechem.

11.5.1. Ztužení krajní stojky– vnitřní síly (výsledky ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky.



Dimenzační normálová síla

Tahová: $N_{Ed+} = 171,99 \text{ kN}$

11.5.2. Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 101.6x3.2		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 101.6 mm		$I_y = I_z = 1.20\text{E}+6 \text{ mm}^4$
T = 3.2 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 2.36\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 989 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.10\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.319 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 34.8 \text{ mm}$
G = 7.77 kg·m ⁻¹		$I_t = 2.40\text{E}+6 \text{ mm}^4$
		$C_t = 4.72\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{6470}{34,8} = 185,9 \leq 200$

Délky prutů - $L_{cr} = 6,47 \text{ m}$

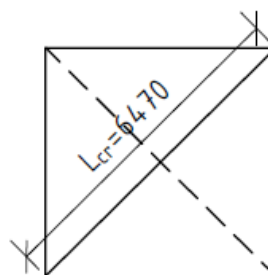
Posouzení

Tah

Posouzení

$N_{Ed+} [\text{kN}]$	E [GPa]	$f_y [\text{MPa}]$	A [mm ²]	$N_{t,Rd} [\text{kN}]$
171,99	210	235	989	232,42

Posudek: **0,74**
VYHOVÍ

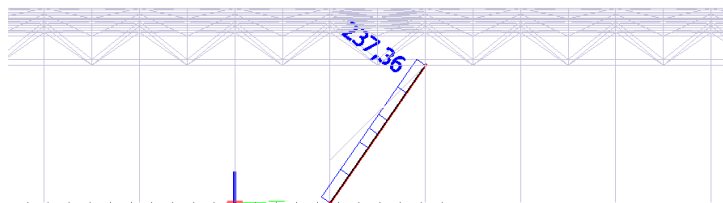


11.6. Návrh a posouzení ztužení vnitřní stojky

Ztužidlo je navrženo jako křížové a ve výpočtu je uvažována vždy jen tažená diagonála. U tlačené diagonály se předpokládá pružené vybočení. Křížení diagonál bude řešeno vevařeným středovým styčnickým plechem.

11.6.1. Ztužení vnitřní stojky – vnitřní síly (výsledek ze SW)

Vnitřní síly jsou z kombinace A, která ve svislém ztužidle vyvolává největší účinky



Dimenzační normálová síla

Tahová: $N_{Ed+} = 237,36 \text{ kN}$

11.6.2. Příčné ztužidlo – MSÚ – návrh a posouzení

Návrh průřezu

CHS 114.3x3.2		
Geometrie		Průřezové charakteristiky
D = 114.3 mm		$I_y = I_z = 1.72\text{E}+6 \text{ mm}^4$
T = 3.2 mm		$W_{y,el} = W_{z,el} = 3.02\text{E}+4 \text{ mm}^3$
A = 1120 mm ²		$W_{y,pl} = W_{z,pl} = 3.95\text{E}+4 \text{ mm}^3$
$A_L = 0.359 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-1}$		$i_y = i_z = 39.3 \text{ mm}$
G = 8.77 kg·m ⁻¹		$I_t = 3.45\text{E}+6 \text{ mm}^4$
		$C_t = 6.04\text{E}+4 \text{ mm}^3$

Štíhlost: $\frac{l_{\max}}{i} = \frac{8045}{39,3} = 204,7 \approx 200$

Délky prutů - $L_{cr} = 8,045 \text{ m}$

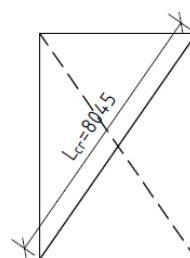
Posouzení

Tah

Posouzení

$N_{Ed+} [\text{kN}]$	E [GPa]	$f_y [\text{MPa}]$	A [mm ²]	$N_{t,Rd} [\text{kN}]$
237,36	210	235	1120	263,20

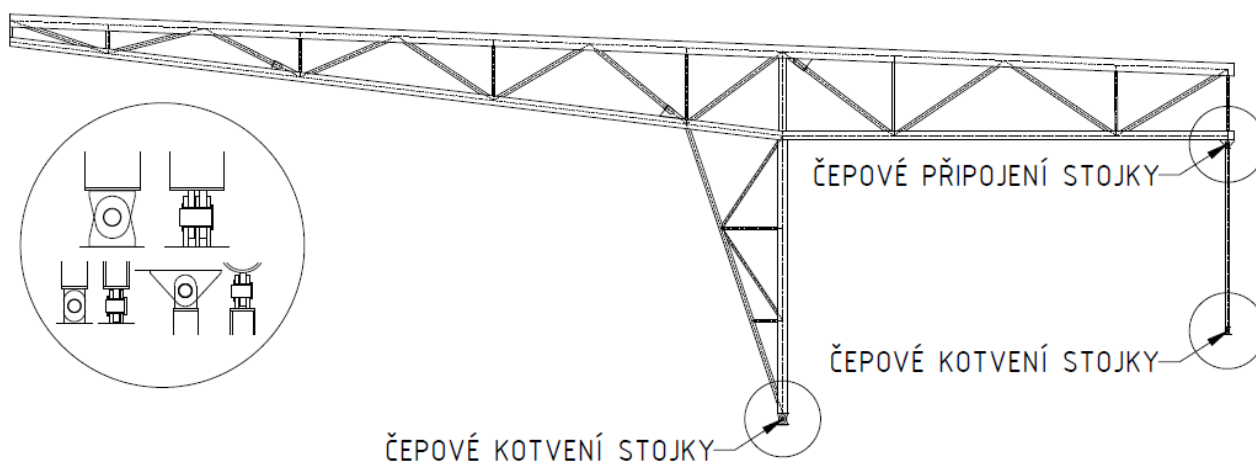
Posudek: **0,90**
VYHOVÍ



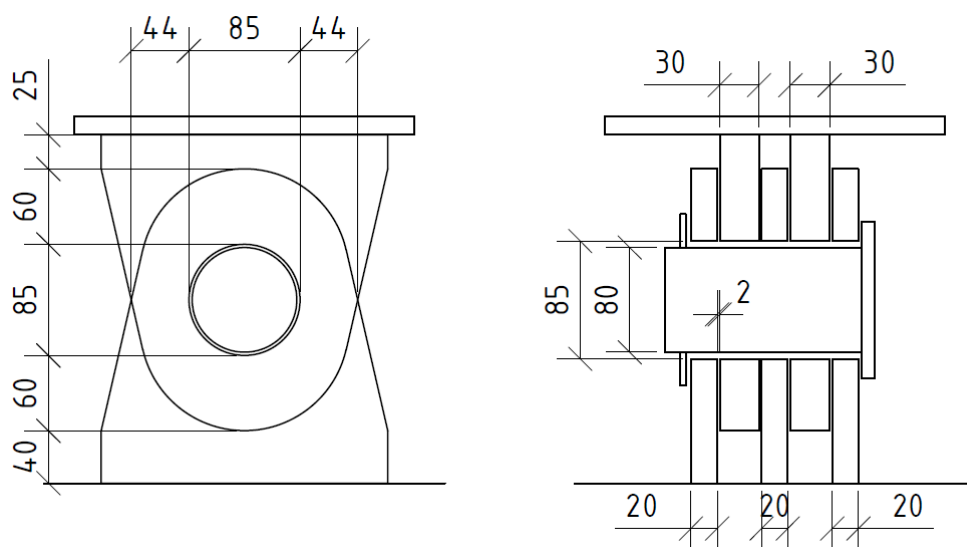
12. Kotvení

12.1. Schéma

Čepové kotvení a přípoj jsou posouzeny podle ČSN-EN-1993-1-8 3.13 Čepové spoje. Čepové spoje jsou navrženy na únosnost průřezu, nikoli na působící normálové síly. Čepy jsou navrženy z oceli S355, všechny ostatní prvky z oceli S235.



12.2. Kotvení středové stojky



$$N_{Ed,+} = 340,77 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,-} = -535,27 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5310 \cdot 235}{1,0} = 1247,85 \text{ kN}$$

Návrh čepu: Ø 80, S355

$d = 80mm$	$a = 20,0mm$	$\gamma_{M0} = 1,00$	$f_{yp} = 355MPa$
$d_0 = 85mm$	$b = 30,0mm$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_{up} = 490MPa$
$A = 5027mm^2$	$c = 2,0mm$	$n = 4$	$f_y = 235MPa$
$W_{el} = 50265mm^3$			

Posouzení:**Únosnost čepu ve stříhu**

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 4 \cdot \frac{0,6 \cdot 5027 \cdot 490}{1,25} = 4728,98kN$$

$$\frac{F_{Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{1247,85}{4728,98} = 0,26$$

VYHOVÍ**Únosnost plechu v otláčení**

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t_{\min} \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 80 \cdot 235}{1,0} = 1692,0kN$$

$$\frac{F_{Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{1247,85}{1692,0} = 0,74$$

VYHOVÍ**Únosnost čepu v ohybu**

$$M_{Ed} = \frac{F_{Rd}}{8} \cdot (2 \cdot b + 8 \cdot c + 3 \cdot a) = \frac{1247,85}{8} \cdot (2 \cdot 30 + 8 \cdot 2 + 3 \cdot 20) = 21,21kNm$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 50265 \cdot 355}{\gamma_{M0}} = 26,27kNm$$

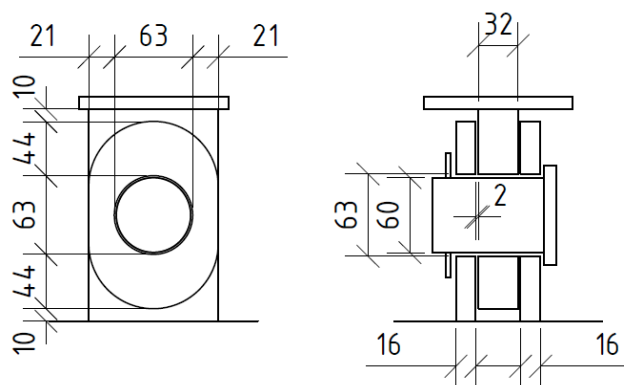
$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{21,21}{26,27} = 0,79$$

VYHOVÍ**Únosnost čepu v kombinaci stříhu a ohybu**

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Rd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{21,21}{26,27} \right)^2 + \left(\frac{1247,85}{4728,98} \right)^2 = 0,79$$

VYHOVÍ

12.3. Kotvení krajní stojky



$$N_{Ed,+} = 123,00kN$$

$$N_{Ed,-} = -86,66kN$$

$$N_{Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{2600 \cdot 235}{1,0} = 611,00kN$$

Návrh čepu: Ø 60, S355

$d = 60mm$	$a = 16,0mm$	$\gamma_{M0} = 1,00$	$f_{yp} = 355MPa$
$d_0 = 63mm$	$b = 32,0mm$	$\gamma_{M2} = 1,25$	$f_{up} = 490MPa$
$A = 2827mm^2$	$c = 2,0mm$	$n = 2$	$f_y = 235MPa$
$W_{el} = 21206mm^3$			

Posouzení:

Únosnost čepu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot A \cdot f_{up}}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 2827 \cdot 490}{1,25} = 1330,02kN$$

$$\frac{F_{Rd}}{F_{v,Rd}} = \frac{611,00}{1330,02} = 0,46$$

VYHOVÍ

Únosnost plechu v otláčení

$$F_{b,Rd} = \frac{1,5 \cdot t_{min} \cdot d \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 32 \cdot 60 \cdot 235}{1,0} = 676,80kN$$

$$\frac{F_{Rd}}{F_{b,Rd}} = \frac{611,00}{676,80} = 0,90$$

VYHOVÍ

Únosnost čepu v ohybu

$$M_{Ed} = \frac{F_{Rd}}{8} \cdot (b + 4 \cdot c + 2 \cdot a) = \frac{611,00}{8} \cdot (32 + 4 \cdot 2 + 2 \cdot 16) = 5,50 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{1,5 \cdot W_{el} \cdot f_{yp}}{\gamma_{M0}} = \frac{1,5 \cdot 21206 \cdot 355}{\gamma_{M0}} = 11,29 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} = \frac{5,50}{11,29} = 0,49$$

VYHOVÍ**Únosnost čepu v kombinaci střihu a ohybu**

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{Rd}}{F_{v,Rd}} \right)^2 = \left(\frac{5,50}{11,29} \right)^2 + \left(\frac{611,00}{1330,02} \right)^2 = 0,45$$

VYHOVÍ