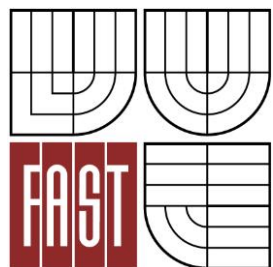




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV KOVOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF METAL AND TIMBER STRUCTURES

OCELOVÁ KONSTRUKCE HALY

STEEL STRUCTURE OF A HALL

B – STATICKÝ VÝPOČET

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAKUB KEROUŠ

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL SÝKORA

BRNO 2015

Obsah

1.	Průvodní informace	7
2.	Dispozice	8
2.1.	Půdorys – varianta A	8
2.2.	Půdorys – varianta B	8
2.3.	Řez	9
3.	Zatížení	10
3.1.	Zatížení stálé	10
3.2.	Klimatická zatížení	10
3.2.1.	Zatížení větrem	10
3.2.2.	Zatížení sněhem	12
4.	Zastřešení - varianta A	13
4.1.	Vaznice	13
4.1.1.	Schéma vaznice	13
4.1.2.	Zatížení	13
4.1.3.	Kombinace zatížení	14
4.1.4.	Vnitřní síly	14
4.1.5.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	16
4.2.	Vazník	24
4.2.1.	Schéma	24
4.2.2.	Zatížení	24
4.2.3.	Kombinace zatížení	26
4.2.4.	Vnitřní síly	26
4.2.5.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	28
4.2.6.	Návrh a posouzení připojení prutů	34
4.2.7.	Návrh a posouzení montážního přípoje	38
5.	Zastřešení - varianta B	42
5.1.	Vaznice	42

5.1.1.	Zatížení	42
5.1.2.	Kombinace zatížení	42
5.1.3.	Vnitřní síly	43
5.1.4.	Návrh a posouzení	43
5.2.	Vazník	47
5.2.1.	Schéma	47
5.2.2.	Zatížení	47
5.2.3.	Kombinace zatížení	49
5.2.4.	Vnitřní síly	49
5.2.5.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	51
6.	Srovnání hmotností jednotlivých typů zastřešení	58
6.1.	Varianta A	58
6.1.1.	Příhradová vaznice.....	58
6.1.2.	Příhradový vazník.....	58
6.1.3.	Hmotnost prvků v celé konstrukci	58
6.2.	Varianta B	59
6.2.1.	Plnostěnná vaznice	59
6.2.2.	Příhradový vazník.....	59
6.2.3.	Hmotnost prvků v celé konstrukci	59
6.3.	Porovnání variant	60
7.	Jeřábová dráha	61
7.1.	Základní atributy jeřábu	61
7.2.	Zatížení	61
7.2.1.	Stálé	61
7.2.2.	Zatížení jeřábem	62
7.2.3.	Zatížení kladkostroje.....	62
7.2.4.	rychlení mostového jeřábu.....	63
7.2.5.	Příčení mostu jeřábu.....	65

7.2.6.	Síla od vodícího prostředku jeřábu.....	66
7.2.7.	Zrychlení kočky	66
7.3.	Vnitřní síly a reakce	67
7.3.1.	Návrhové hodnoty maximálních svislých tlaků kol jeřábů	67
7.3.2.	Účinky stálého zatížení	68
7.3.3.	Kombinace účinků svislých zatížení	68
7.4.	Hlavní nosník jeřábové dráhy – návrh průřezu.....	69
7.4.1.	Návrh průřezu.....	69
7.5.	Posouzení rozhodujících průřezů hl. nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol	69
7.5.1.	Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí	69
7.5.2.	Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí	70
7.5.3.	Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí	70
7.5.4.	Brzdné síly ve skupině zatížení č. 1 a jejich účinky	73
7.5.5.	Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1	74
7.5.6.	Posouzení při dvojosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1.....	74
7.6.	Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními bočními rázy	75
7.6.1.	Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č. 5.....	75
7.6.2.	Boční rázy ve skupině zatížení č. 5 a jejich účinky	76
7.6.3.	Posouzení při dvojosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1.....	77
7.7.	Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na klopení	77
7.8.	Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na boulení.....	77
7.8.1.	Únosnost průřezu a související parametry	77
7.8.2.	Návrhová osová únosnost průřezu průřezů pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol.....	79

7.8.3.	Posouzení koncových výztuh	82
7.8.4.	Posouzení mezilehlých výztuh	82
7.8.5.	Posouzení účinného podepření tlačena pásnice stojinou	84
7.9.	Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku (krčních svarů)	84
7.10.	Mezní stav použitelnosti.....	86
7.10.1.	Svislé průhyby nosníku	86
7.10.2.	Štíhlost stojiny	87
7.10.3.	Štíhlost pásnice	88
7.11.	Mezní stav únosnosti - únava	88
7.11.1.	Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu	88
8.	Sloupy a příčná vazba	93
8.1.	Zatížení	93
8.1.1.	Stále	93
8.1.2.	Proměnné	93
8.2.	Výpočet příčné vazby.....	95
8.2.1.	Jednotkové pootočení	95
8.2.2.	Účinky od jednotlivých zatížení - stálé.....	96
8.2.3.	Účinky od jednotlivých zatížení – proměnné.....	96
8.3.	Zatěžovací stavy a jejich kombinace.....	98
8.3.1.	Zatěžovací stavy.....	98
8.3.2.	Kombinace	99
8.4.	Vnitřní síly	100
8.5.	Návrh a posouzení průřezu špičky: HE300B	101
8.5.1.	Průřezové charakteristiky a geometrie:	101
8.5.2.	Geometrické podmínky	101
8.5.3.	Prostá pevnost.....	101
8.5.4.	Vzpěr	102
8.6.	Návrh a posouzení průřezu dříku: svař. průřez h=700mm	104

8.6.1.	Průřezové charakteristiky a geometrie:	104
8.6.2.	Geometrické podmínky	104
8.6.3.	Prostá pevnost.....	105
8.6.4.	Vzpěr.....	105
9.	Kotvení sloupu a patka sloupu	108
9.1.	Předběžný návrh rozměrů patky	108
9.2.	Stanovení účinků zatížení	108
9.2.1.	Účinky od kombinace IV	108
9.2.2.	Účinky od kombinace VIII – s uvažováním přídatné síly od ztužidla	109
9.2.3.	Účinky od kombinace VIII – bez přídatné síly od ztužidla	109
9.3.	Posouzení maximálního napětí v betonu	110
9.4.	Návrh a posouzení kotevních šroubů	110
9.5.	Přenos posouvající síly.....	110
9.6.	Návrh a posouzení patního plechu	111
9.6.1.	1 - Volný přechýlující okraj.....	111
9.6.2.	2 - Deska podepřená po celém obvodu	112
9.6.3.	Deska podepřená po třech stranách	112
9.6.4.	Návrh plechu.....	112
9.7.	Návrh a posouzení průřezu patky.....	113
9.7.1.	Vnitřní síly od tlaku betonu:	113
9.7.2.	Vnitřní síly od tahu kotevních šroubů:.....	113
9.7.3.	Návrh průřezu patky: 600x350	113
9.8.	Návrh a posouzení kotevního příčníku	114
10.	Ztužidla	115
10.1.	Příčné střešní větrové ztužidlo	115
10.1.1.	Zatížení větrem	115
10.1.2.	Zatížení od stabilizace horního pásu vazníku proti vybočení	116
10.1.3.	Vnitřní síly	117

10.1.4.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	118
10.2.	Příčné stěnové větrové ztužidlo	121
10.2.1.	Ztížení větrem	121
10.2.2.	Vnitřní síly	121
10.2.3.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	121
10.3.	Podélné svislé střešní ztužidlo	122
10.3.1.	Zatížení od stabilizace horního pásu vazníku proti vybočení	122
10.4.	Podélné střešní ztužidlo v rovině střechy (okapové)	123
10.4.1.	Zatížení větrem	123
10.4.2.	Vnitřní síly	124
10.4.3.	Návrh a posouzení jednotlivých prutů	125

1. Průvodní informace

V tomto statickém výpočtu jsou navrženy a posouzeny všechny hlavní části nosné konstrukce průmyslové ocelové haly s rozpětím 30 m a délkou 63 m. Dále je navržen a posouzen nosník jeřábové dráhy pro dva mostové jeřáby o nosnosti 50 t a 32 t.

Střešní konstrukce je navržena ve dvou variantách. V obou variantách jsou navrženy příhradové vazníky. Ve variantě A jsou vazníky vzdálené 12 m a je navržena příhradová vaznice. Ve variantě B jsou vazníky vzdáleny 6 m a vaznice je navržena jako plnostěnná.

Tyto varianty jsou porovnány podle hmotnosti, výhodnější varianta je dále rozpracována.

Nosník jeřábové dráhy je navržen a posouzen na kombinaci účinků od pojezdu dvou mostových jeřábů (50 t a 32 t). Nosník navržen jako svařovaný I profil.

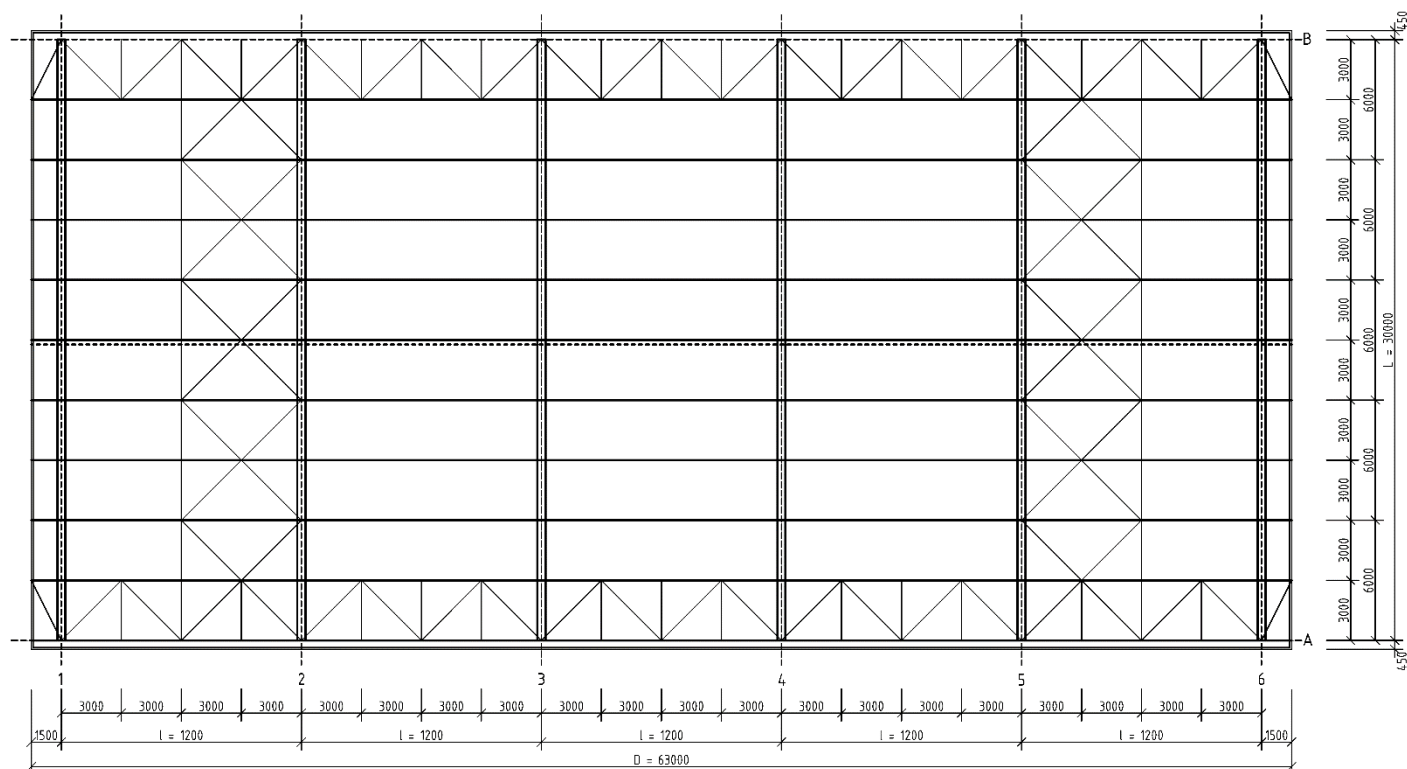
Dále je výpočtu zpracována příčná vazba, navrženy a posouzeny průřezy dříku a špičky sloupu. Špička je navržena jako válcovaný HEB profil, dřík je navržen jako svařovaný I profil.

V návaznosti na sloupy je navrženo a posouzeno jejich kotvení. Jsou navrženy kotevní šrouby, minimální třída betonu patky a průřez patky.

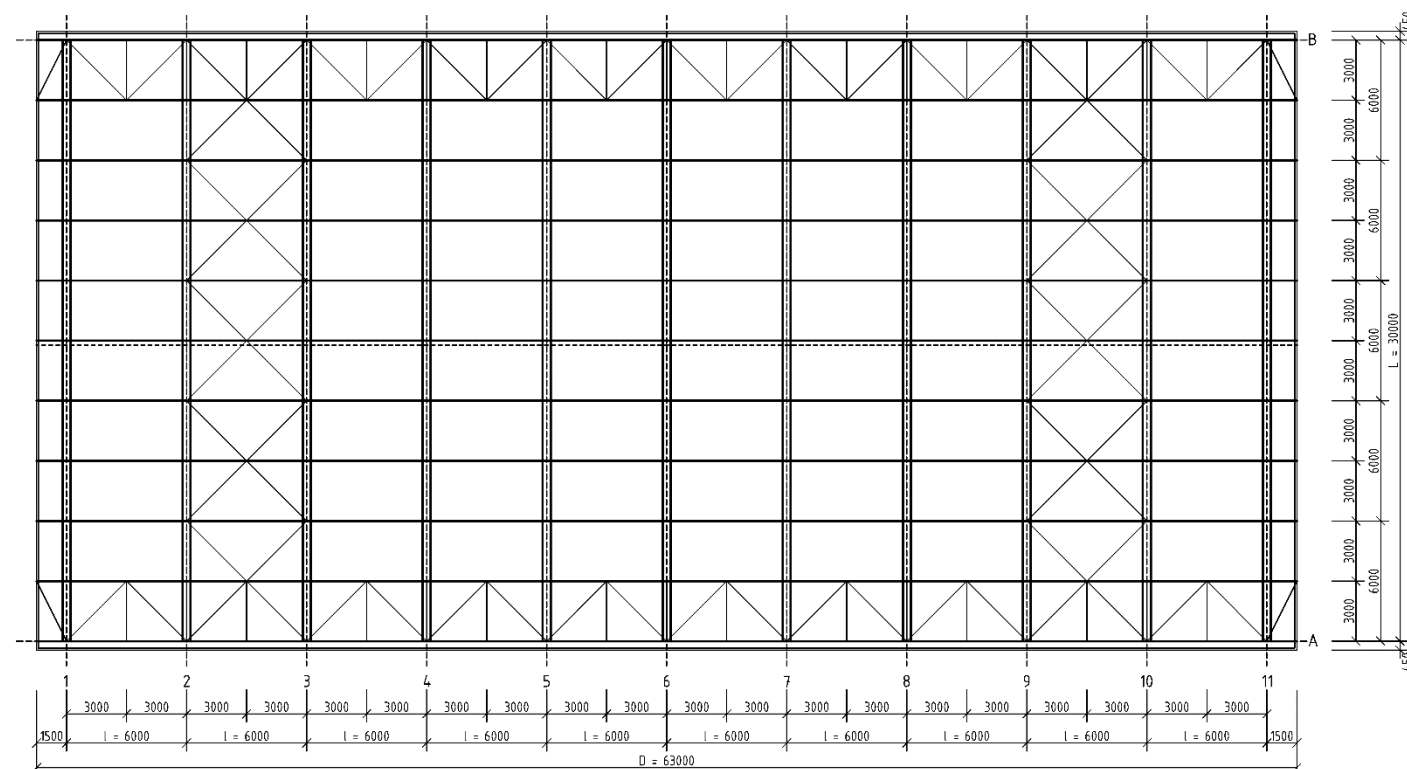
Jako poslední jsou navržena ztužidla konstrukce v příčném i podélném směru zabezpečující stabilitu konstrukce při působení větru na její stěny a střechu.

2. Dispozice

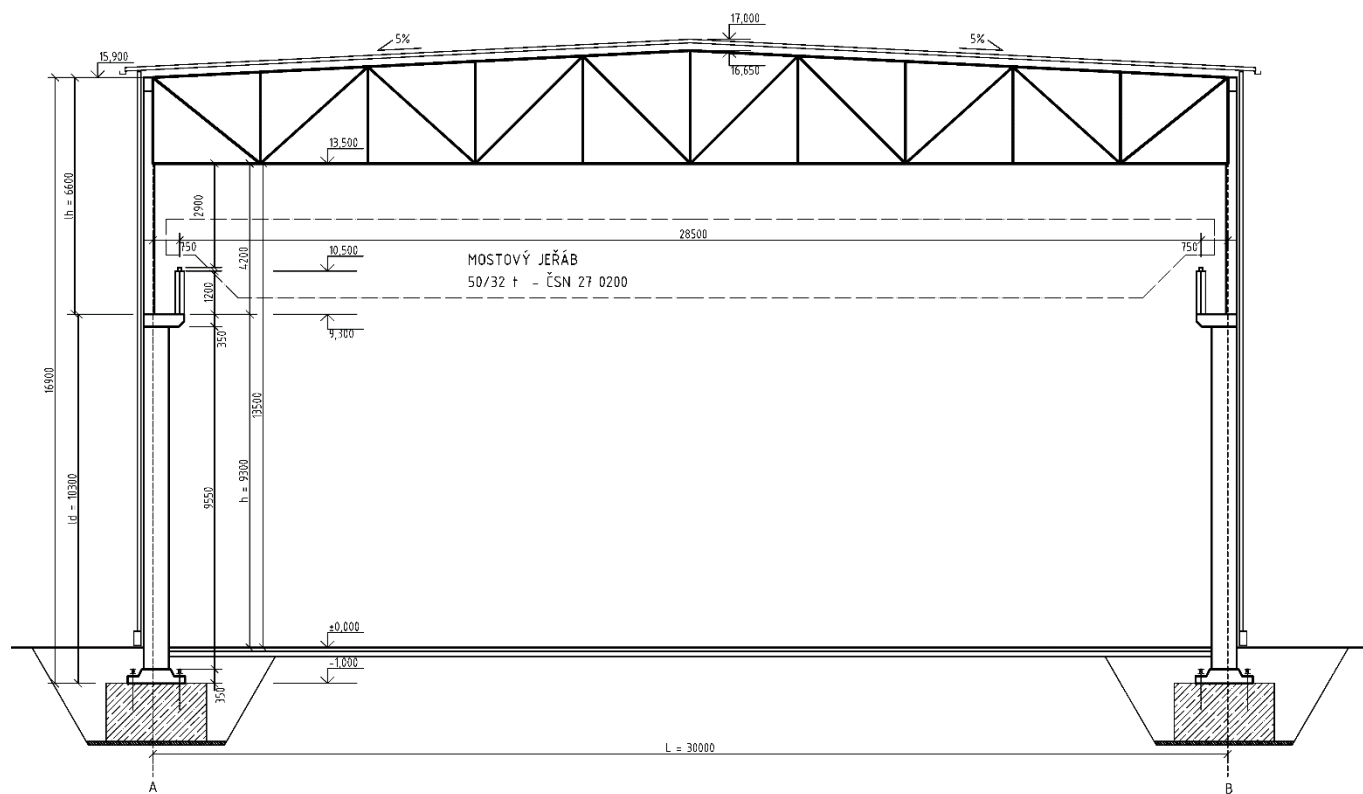
2.1. Půdorys – varianta A



2.2. Půdorys – varianta B



2.3. Řez



3. Zatížení

3.1. Zatížení stálé

	<i>tl. [m]</i>	<i>kN/m³</i>	<i>kN/m²</i>
<i>hydroizolace HDPE 1,5mm</i>			<i>0,020</i>
<i>tep. iz. desky z minerálních vláken</i>	<i>0,2</i>	<i>1,75</i>	<i>0,350</i>
<i>parozábrana LDPE 0,2mm</i>			<i>0,001</i>
<i>trapézový plech 150/280 tl. 1,0mm</i>			<i>0,143</i>
<i>stálé zatížení gk'</i>			<i>0,51</i>

3.2. Klimatická zatížení

3.2.1. Zatížení větrem

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

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b = 0,834 \cdot 1 \cdot 25 = 20,850 \text{ m/s}$$

$c_r(z)$ součinitel drsnosti terénu

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,208 \cdot \ln\left(\frac{17,0}{0,3}\right) = 0,834$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,208$$

$c_0(z)$ součinitel orografie

Maximální dynamický tlak větru

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

$$q_p(z) = (1 + 7 \cdot 0,250) \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 20,850^2 = 0,747 \text{ kN} / \text{m}^2$$

ρ hustota vzduchu

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

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{17,0}{3}\right)} = 0,250$$

k_I součinitel turbulence

$c_0(z)$ součinitel expozice

Tlak větru na vnější povrch konstrukce

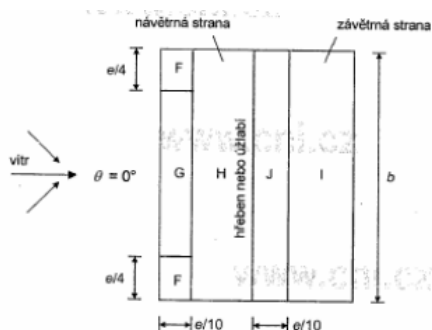
$$\text{Obecně pro plochy} > 10 \text{m}^2: w_e = q_p(z) \cdot c_{pe,10} \left[\text{kN} / \text{m}^2 \right]$$

$$b = 63,0 \text{m}$$

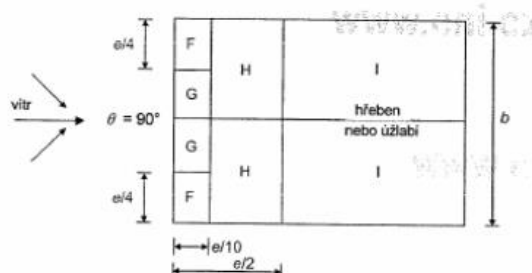
$$d = 30,0 \text{m}$$

$$h = 17,0 \text{m}$$

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{63,0; 2 \cdot 17,0\} = 34,0 \text{m}$$

Příčný vítr - střecha

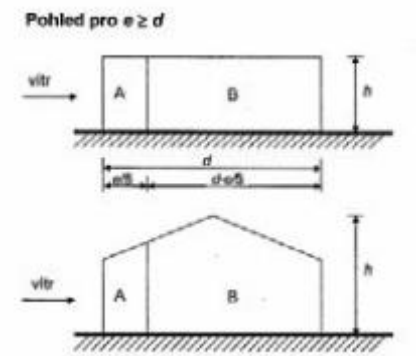
Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	$w_e [\text{kN/m}^2]$
F	-1,7	0,747	-1,270
G	-1,2	0,747	-0,896
H	-0,6	0,747	-0,448
I	-0,6	0,747	-0,448
J	-0,6	0,747	-0,448

Podélný vítr - střecha

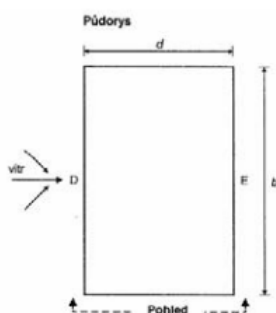
Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	$w_e [\text{kN/m}^2]$
F	-1,6	0,747	-1,195
G	-1,3	0,747	-0,971
H	-0,6	0,747	-0,448
I	-0,7	0,747	-0,523

Tlak větru na stěny

$$e \geq d = 34,0m \geq 30m$$



Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	-1,2	0,747	-0,896
B	-0,96	0,747	-0,717
D	0,74	0,747	0,553
E	-0,38	0,747	-0,284



3.2.2. Zatížení sněhem

Sněhová oblast II ($sk = 1,0 kN / m^2$)

Sníh plný

$$s = \mu_t \cdot c_e \cdot c_t \cdot sk = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,8 kN / m^2$$

μ_1 tvarový součinitel (0,8 pro $\alpha = 5^\circ$)

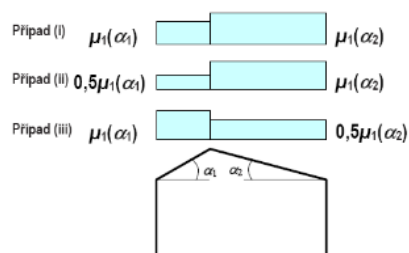
c_e součinitel expozice

c_t tepelný součinitel

sk charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi

Sníh nerovnoměrný

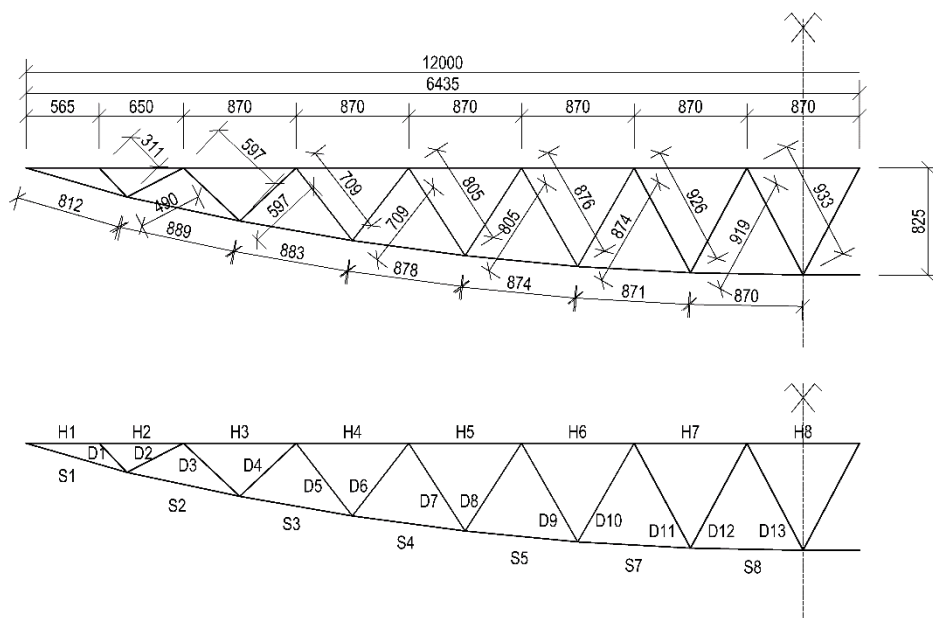
$$s' = 0,5 \cdot \mu_t \cdot c_e \cdot c_t \cdot sk = 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 = 0,4 kN / m^2$$



4. Zastřešení - varianta A

4.1. Vaznice

4.1.1. Schéma vaznice



4.1.2. Zatížení

Stálé

	kN/m^2
konstrukce střechy	0,510
vlastní tíha (odhad)	0,100
vlastní tíha g_k'	0,61

$$g_k = g_k' \cdot Z\check{S} = 0,61 \cdot 3,0 = 1,83 kN / m$$

Proměnné zatížení

Vítr

Oblast I

$$w_{H,k} = w_{e,H} \cdot Z\check{S} = -0,523 \cdot 3,0 = -1,57 kN / m$$

Oblast F

$$w_{F,k} = w_{e,F} \cdot Z\check{S} = -1,27 \cdot 3,0 = -3,81 kN / m$$

Sníh - plný

$$s_k = s \cdot Z \cdot S = 0,8 \cdot 3,0 = 2,40 \text{ kN} / \text{m}$$

Osamělé břemeno

$$F_k = 1,0 \text{ kN}$$

4.1.3. Kombinace zatížení**Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)**

$$g_1 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k = 1,35 \cdot 1,83 + 1,50 \cdot 2,40 = 6,07 \text{ kN} / \text{m}$$

Kombinace 2 - maximální sání (stálé + vítr oblast I)

$$g_2 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_{e,H,I,J} = 1,0 \cdot 1,83 - 1,50 \cdot 1,57 = -0,52 \text{ kN} / \text{m}$$

Kombinace 3 - maximální sání (stálé + vítr oblast F)

$$g_2 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_{e,F} = 1,0 \cdot 1,83 - 1,50 \cdot 3,81 = -3,88 \text{ kN} / \text{m}$$

4.1.4. Vnitřní síly

Vnitřní síly jsou určeny dle tabulky č. 9 „OSOvé SÍLY V PRUTECH PŘÍHRADOVÉ VAZNICE PRO ZATÍŽENÍ $q=1,0 \text{ kN/m}^2$ “ na straně 38 z publikace „Kovové konstrukce: Konstrukce průmyslových budov – Jindřich Melcher, Bohumil Straka“.

Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

$$g_1 = 6,07 \text{ kN} / \text{m}$$

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]	prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]	prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
H1	-19,60	-118,97	S1	20,60	125,04	D1	-0,81	-4,92
H2	-19,20	-116,54	S2	21,10	128,08	D2	-1,49	-9,04
H3	-20,60	-125,04	S3	21,70	131,72	D3	-0,12	-0,73
H4	-21,10	-128,08	S4	21,80	132,33	D4	-1,08	-6,56
H5	-21,40	-129,90	S5	22,00	133,54	D5	-0,27	-1,64
H6	-21,80	-132,33	S6	21,10	128,08	D6	-0,68	-4,13
H7	-21,80	-132,33	S7	22,00	133,54	D7	-0,34	-2,06
H8	-21,70	-131,72				D8	-0,81	-4,92
						D9	-0,20	-1,21
						D10	-0,47	-2,85
						D11	-0,54	-3,28
						D12	-0,20	-1,21
						D13	-0,81	-4,92

Kombinace 2 - maximální sání (stálé + vítr I)

$$g_2 = -0,52 \text{ kN} / \text{m}$$

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
H1	-19,60	10,19
H2	-19,20	9,98
H3	-20,60	10,71
H4	-21,10	10,97
H5	-21,40	11,13
H6	-21,80	11,34
H7	-21,80	11,34
H8	-21,70	11,28

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
S1	20,60	-10,71
S2	21,10	-10,97
S3	21,70	-11,28
S4	21,80	-11,34
S5	22,00	-11,44
S6	21,10	-10,97
S7	22,00	-11,44

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
D1	-0,81	0,42
D2	-1,49	0,77
D3	-0,12	0,06
D4	-1,08	0,56
D5	-0,27	0,14
D6	-0,68	0,35
D7	-0,34	0,18
D8	-0,81	0,42
D9	-0,20	0,10
D10	-0,47	0,24
D11	-0,54	0,28
D12	-0,20	0,10
D13	-0,81	0,42

Kombinace 3 - maximální sání (stálé + vítr oblast F)

$$g_3 = -3,88 \text{ kN} / \text{m}$$

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
H1	-19,60	76,05
H2	-19,20	74,50
H3	-20,60	79,93
H4	-21,10	81,87
H5	-21,40	83,03
H6	-21,80	84,58
H7	-21,80	84,58
H8	-21,70	84,20

prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
S1	20,60	-79,93
S2	21,10	-81,87
S3	21,70	-84,20
S4	21,80	-84,58
S5	22,00	-85,36
S6	21,10	-81,87
S7	22,00	-85,36

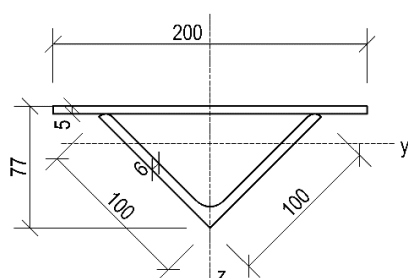
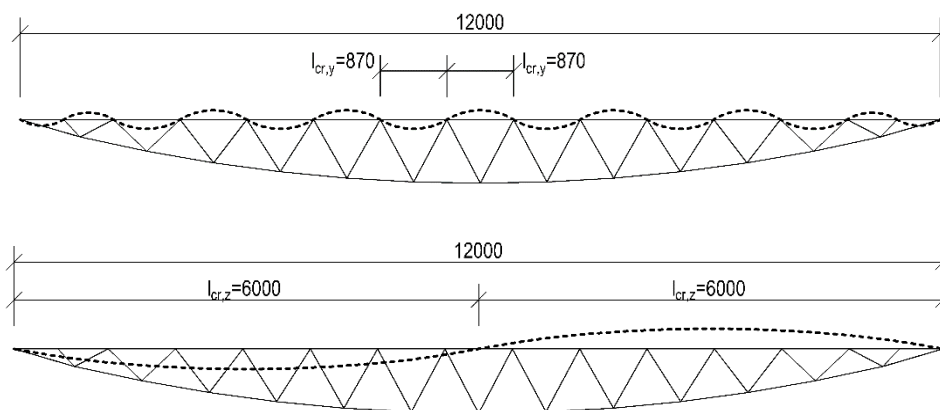
prut	jdnotk. zatížení [kN]	přepoč. zatížení [kN]
D1	-0,81	3,14
D2	-1,49	5,78
D3	-0,12	0,47
D4	-1,08	4,19
D5	-0,27	1,05
D6	-0,68	2,64
D7	-0,34	1,32
D8	-0,81	3,14
D9	-0,20	0,78
D10	-0,47	1,82
D11	-0,54	2,10
D12	-0,20	0,78
D13	-0,81	3,14

4.1.5. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

Horní tlačný pás (H6, H7)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{H6,7} = -132,33 \text{ kN}$ (viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

- Horní tlačný pás bude v celé konstrukci v polovině rozpětí zajištěn táhlem proti vybočení kolmo k ose z.



Návrh: svařovaný uzavřený „V“ profil

$$c_1 = 27 \text{ mm}$$

$$l_{cr,y} = 0,87 \text{ m}$$

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

$$l_{cr,z} = 6,0 \text{ m}$$

$$A = 1789 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 6,51 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,el} = 14180 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 2,94 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,pl} = 119701 \text{ mm}^3$$

Účinky od zatížení:

$$N_{Ed} = 132,33 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{10} \cdot f_1 \cdot a^2 = \frac{1}{10} \cdot 6,07 \cdot 0,87^2 = 0,46 \text{ kNm}$$

Zatřetí průřezu

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yk}}} = \sqrt{\frac{235}{420}} = 0,748$$

$$\frac{c_1}{t_1} = \frac{27}{5} = 5,40$$

$$9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,748 = 6,73 \geq 5,40$$

kategorie I

Posouzení – vybočení kolmo k ose y

Průřez kategorie I: W_{pl} - vy výpočtu použito W_{el} , průřez s rezervou vyhoví

$$M_{Rk} = W_{y,el} \cdot f_y = 14180 \cdot 10^{-9} \cdot 420 \cdot 10^6 = 5,96 \text{ kNm}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6 = 751,38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 6,51 \cdot 10^{-7}}{0,87^2} = 1749,77 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1749,77 \cdot 10^3}} = 0,655$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro svařované profily „c“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,655 - 0,2) + 0,655^2 \right] = 0,792$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{0,792 + \sqrt{0,792^2 - 0,655^2}} = 0,808$$

$$\alpha_H = -0,25; \quad \psi = 1,0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_H = 0,95 + 0,05 \cdot (-0,25) = 0,9375; \quad C_{mz} = 1,0$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right] =$$

$$k_{yy} = 0,9375 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,655 - 0,2) \cdot \frac{132,33 \cdot 10^3}{0,808 \cdot 751,38 \cdot 10^3} \right] = 1,030$$

$$k_{zy} = 0,8 \cdot k_{yy} = 0,8 \cdot 1,030 = 0,824$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{132,330}{0,876 \cdot 751,38} + 1,030 \cdot \frac{0,460}{5,956} = 0,30 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{132,33}{751,38} + 0,824 \cdot \frac{0,460}{5,956} = 0,24 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení – vybočení kolmo k ose zPrůřez kategorie I: W_{pl}

$$M_{Rk} = W_{y,el} \cdot f_y = 119700 \cdot 10^{-9} \cdot 420 \cdot 10^6 = 50,27 kNm$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6 = 751,38 kN$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,94 \cdot 10^{-6}}{6,0^2} = 169,26 kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{169,26 \cdot 10^3}} = 2,107$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro svařované profily „c“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,107 - 0,2) + 2,107^2 \right] = 3,044$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{3,044 + \sqrt{3,044^2 - 2,107^2}} = 0,191$$

$$\alpha_H = -0,25; \quad \psi = 1,0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_H = 0,95 + 0,05 \cdot (-0,25) = 0,9375; \quad C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zy} = c_{mz} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right] =$$

$$k_{zy} = 1,0 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,107 - 0,2) \cdot \frac{132,33 \cdot 10^3}{0,191 \cdot 751,38 \cdot 10^3} \right] = 2,587$$

$$k_{zz} = 0,8 \cdot k_{zy} = 0,8 \cdot 2,587 = 2,070$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{132,330}{0,191 \cdot 751,38} + 2,587 \cdot \frac{0,460}{50,27} = 0,95 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{132,33}{751,38} + 2,070 \cdot \frac{0,460}{50,27} = 0,20 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Horní tažený pás (H6, H7)

Maximální tahová síla pro kombinaci 3: $F_{H6,7} = 84,58kN \rightarrow N_{Ed} = 84,58kN$

(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{900 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 378,00kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{84,58}{378,00} = 0,22 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená diagonála (D13)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 1: $F_{D13} = -4,92kN \rightarrow N_{Ed} = 4,92kN$

Návrh: tyčovina $\varnothing=20mm$

$$A = 314mm^2 \quad l_{cr} = 0,933m$$

$$I = 7850mm^4 \quad i = 5mm$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{930}{5} = 186$$

Posouzení

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,85 \cdot 10^{-9}}{0,933^2} = 18,69kN$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{314 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{18,96 \cdot 10^3}} = 2,656$$

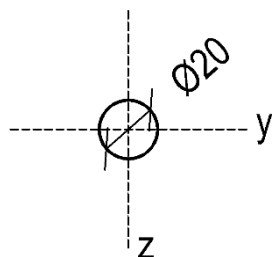
Křivka vzpěrné pevnosti pro plný kruhový průřez „c“: $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,656 - 0,2) + 2,656^2 \right] = 4,446$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{4,446 + \sqrt{4,446^2 - 2,656^2}} = 0,125$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,125 \cdot 314 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 16,46kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{4,92}{16,646} = 0,30 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$



Tažená diagonála (D2)

Maximální tahová síla pro **kombinaci 3**: $F_{D2} = 5,78kN \rightarrow N_{Ed} = 5,78kN$

(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{314 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 131,88kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{5,78}{131,88} = 0,05 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Svarový přípoj diagonál (D2, D3)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{H2} = -116,54kN \rightarrow F_{H3} = -125,04kN$

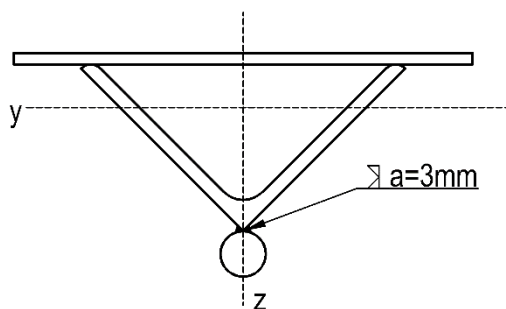
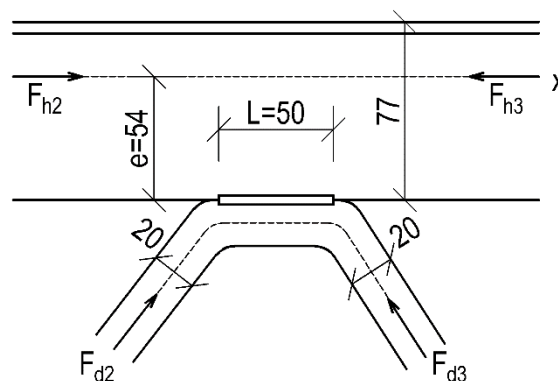
(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

Účinky od zatížení:

$$\Delta H = F_{H3} - F_{H2} = 116,54 - 125,04 = 8,50kN$$

$$Q = \frac{l_{H2} + l_{H3}}{2} \cdot f_1 = \frac{0,65 + 0,87}{2} \cdot 6,07 = 4,613kN$$

$$M = \Delta H \cdot e = 8,510 \cdot 0,054 = 0,459kNm$$

**Posouzení**

$$\tau_{zQ} = \frac{Q}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{4,613 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,05} = 15,38MPa$$

$$\tau_{zM} = \frac{M}{W} = \frac{3 \cdot M}{a \cdot L^2} = \frac{3 \cdot 0,459 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,05^2} = 91,80MPa$$

$$\tau_{xH} = \frac{\Delta H}{2 \cdot a \cdot L} = \frac{8,50 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,003 \cdot 0,05} = 28,33MPa$$

$$\tau_{\parallel} = \tau_{xH} = 28,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\tau_{zM} + \tau_{zQ}}{\sqrt{2}} = \frac{91,80 + 15,377}{\sqrt{2}} = 75,79 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{75,79^2 + 3 \cdot (75,79^2 + 28,33^2)} = 159,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416 \text{ MPa} \geq 159,32 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

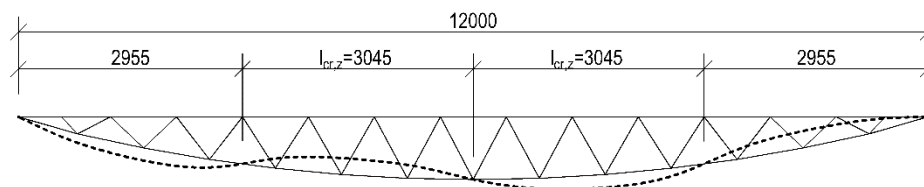
$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{520}{1,25} = 416 \text{ MPa} \geq \sigma_{\perp} = 159,32 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Tlačený spodní pás (S5)

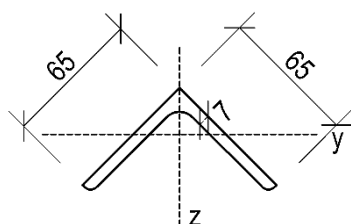
Maximální tlaková síla pro **kombinaci 3**: $F_{S5} = -85,36 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 85,36 \text{ kN}$

(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

- Pro krajní vaznice nad, kterými je oblast zatížení větrem F jsou navržena ztužidla spodního pásu ve čtvrtinách rozpětí. $l_{cr,z} = 3,045 \text{ m}$



Návrh: L 65x65x7



$$\begin{aligned} A &= 870 \text{ mm}^2 & l_{cr,y} &= 0,874 \text{ m} \\ l_{cr,z} &= 3,045 \text{ m} \\ I_y &= 1,38 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \\ I_z &= 5,31 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

Posouzení

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,38 \cdot 10^{-7}}{0,874^2} = 374,43 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,31 \cdot 10^{-7}}{3,045^2} = 117,99 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{374,43 \cdot 10^3}} = 0,988$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_z}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{117,99 \cdot 10^3}} = 1,760$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (0,988 - 0,2) + 0,988^2 \right] = 1,122$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,760 - 0,2) + 1,760^2 \right] = 2,313$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,122 + \sqrt{1,122^2 - 0,988^2}} = 0,605$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,313 + \sqrt{2,313^2 - 1,760^2}} = 0,262$$

$$\chi = \min \{ \chi_y; \chi_z \} = \min \{ 0,605; 0,262 \} = 0,262$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,262 \cdot 870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 95,77 \text{ kN}$$

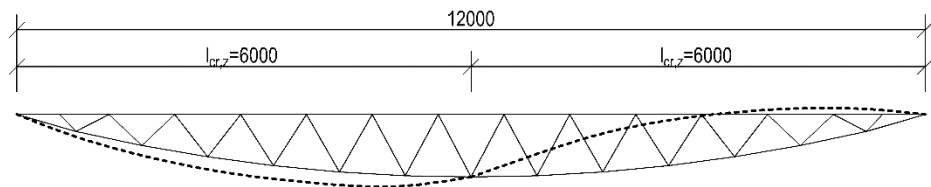
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{100,10}{95,77} = 0,89 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačený spodní pás (S5)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 2**: $F_{S5} = -11,44 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 11,44 \text{ kN}$

(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

- Pro všechny další vaznice je uvažována oblast I a je navrženo ztužidlo spodního pásu v polovině rozpětí. $l_{cr,z} = 6,0 \text{ m}$

**Posouzení**

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,31 \cdot 10^{-7}}{6,0^2} = 30,57 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{30,57 \cdot 10^3}} = 3,457$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (3,457 - 0,2) + 3,457^2 \right] = 7,030$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{7,030 + \sqrt{7,030^2 - 3,457^2}} = 0,076$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,076 \cdot 870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 27,79 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{11,44}{27,79} = 0,41 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tažený spodní pás (S5,S7)

Maximální tahová síla pro **kombinaci 1**: $F_{S5,7} = 133,54 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 133,54 \text{ kN}$

(viz. 4.1.4. Vnitřní síly)

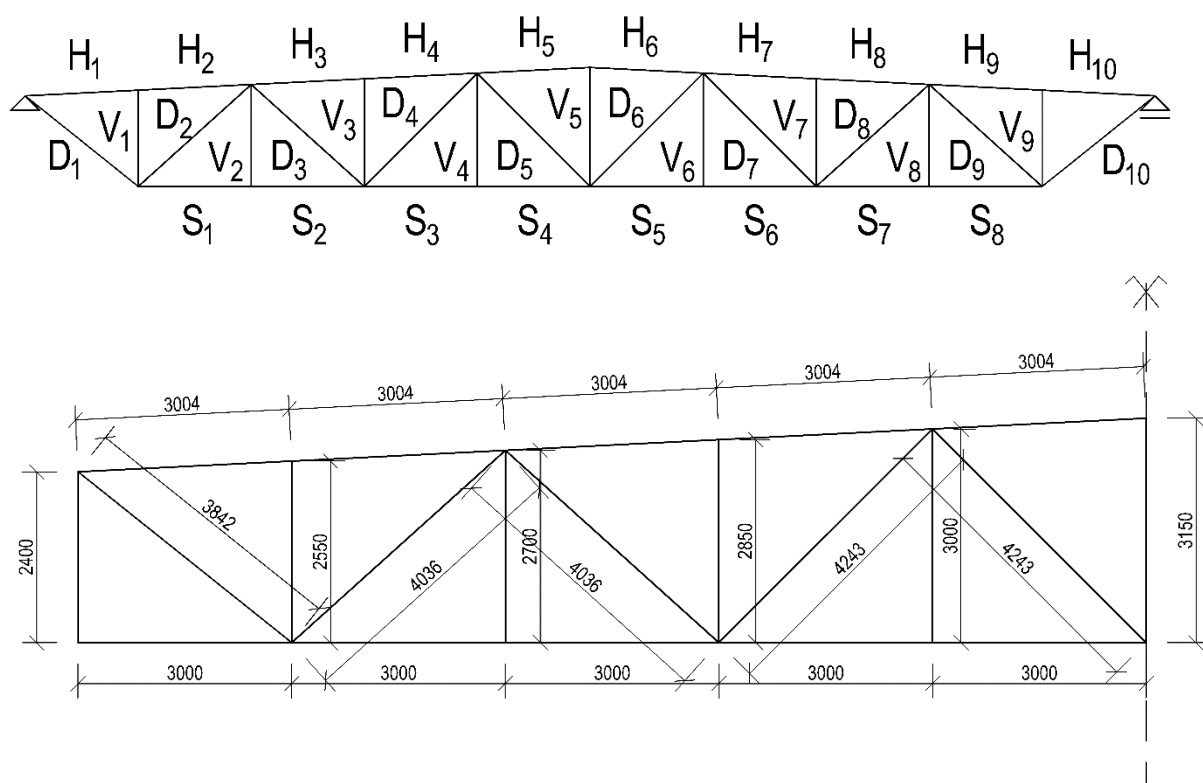
Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{870 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 365,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{133,54}{365,40} = 0,37 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

4.2. Vazník

4.2.1. Schéma



4.2.2. Zatížení

Stálé

	kN/m^2	Z.š. m	kN/m
konstrukce střechy	0,51	12	6,12
vlastní tíha (odhad)	0,17	12	2,04
vlastní tíha g_k			8,16
	kN		
tíha vaznice G_{vaz}	2,99		

Síla ve styčnicku:

$$G_{s1,k} = g_k \cdot \frac{l}{2} + G_{vaz,k} = 8,16 \cdot \frac{3,0}{2} + 2,99 = 13,35 kN$$

$$G_{s2,k} = g_k \cdot l + G_{vaz,k} = 8,16 \cdot 3,0 + 2,99 = 25,59 kN$$

Proměnné zatížení**Vítr**

Oblast H, I, J

$$w_{H,k} = w_{e,H} \cdot Z\check{S} = -0,448 \cdot 12,0 = -5,38 kN / m$$

Oblast G

$$w_{G,k} = w_{e,G} \cdot Z\check{S} = -1,27 \cdot 12,0 = -15,24 kN / m$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,w,k} = w_{G,k} \cdot \frac{l}{2} = -15,24 \cdot \frac{3,0}{2} = -22,89 kN$$

$$Q_{s2,w,k} = w_{G,k} \cdot 1,796 + w_{H,k} \cdot 1,204 = -15,24 \cdot 1,796 - 5,38 \cdot 1,204 = -33,89 kN$$

$$G_{s3,w,k} = w_{H,k} \cdot l = -5,38 \cdot 3,0 = -16,14 kN$$

Sníh - plný

$$s_k = s \cdot Z\check{S} = 0,8 \cdot 12,0 = 9,60 kN / m$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,s,k} = s_k \cdot \frac{l}{2} = 9,6 \cdot \frac{3,0}{2} = 14,40 kN$$

$$Q_{s2,s,k} = s_k \cdot l = 9,6 \cdot 3,0 = 28,80 kN$$

Sníh - nerovnoměrný

$$s_k' = s' \cdot Z\check{S} = 0,4 \cdot 12,0 = 4,80 kN / m$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,s,k} = s_k' \cdot \frac{l}{2} = 4,8 \cdot \frac{3,0}{2} = 7,20 kN$$

$$Q_{s2,s,k} = s_k' \cdot l = 4,8 \cdot 3,0 = 14,40 kN$$

4.2.3. Kombinace zatížení

Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

$$g_1 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{sk} = 1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{sk}$$

Kombinace 2 – nerovnoměrný tlak (stálé + nerovnoměrný sníh)

$$g_2 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{sk'} = 1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{sk'}$$

Kombinace 3 – maximální tah (stálé + vítr)

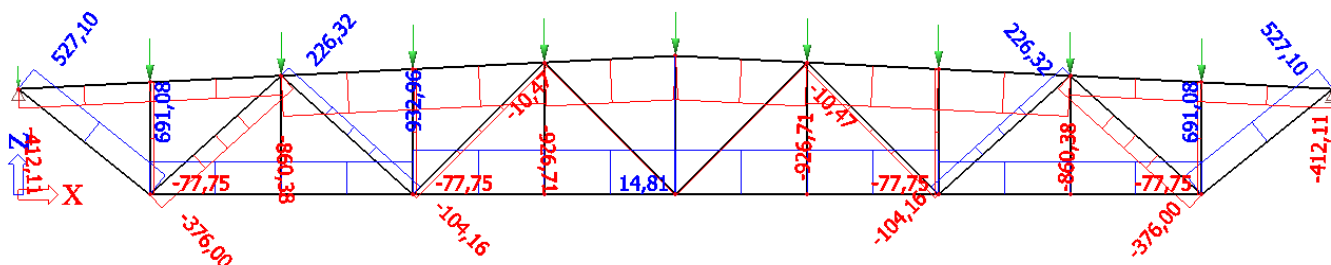
$$g_3 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{wk} = 1,0 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{wk}$$

4.2.4. Vnitřní síly

Vnitřní síly byly zjištěny pomocí software Scia Engineer 14.0.1043 – studentská verze.

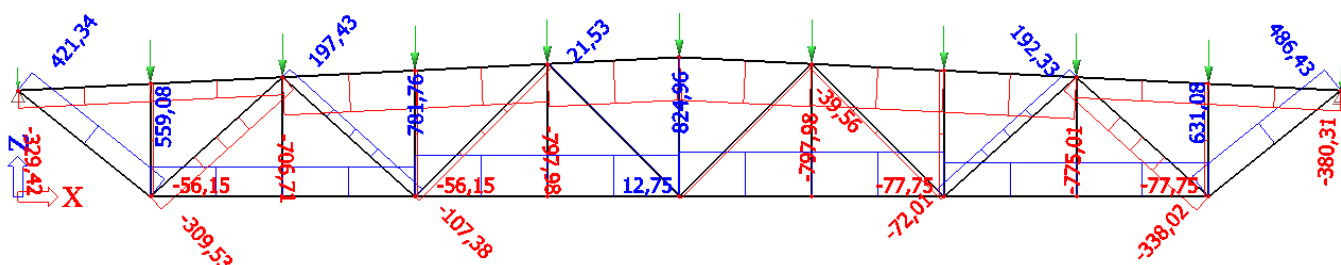
Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	-412,11	S1	691,08	D1	527,10	V1	-77,75
H2	-412,11	S2	691,08	D2	-376,00	V2	0,00
H3	-860,38	S3	932,76	D3	226,30	V3	-77,75
H4	-860,38	S4	932,76	D4	-104,16	V4	0,00
H5	-926,71	S5	932,76	D5	0,00	V5	0,00
H6	-926,71	S6	932,76	D6	0,00	V6	0,00
H7	-860,38	S7	691,08	D7	-104,16	V7	-77,75
H8	-860,38	S8	691,08	D8	226,30	V8	0,00
H9	-412,11			D9	-376,00	V9	-77,75
H10	-412,11			D10	527,10		



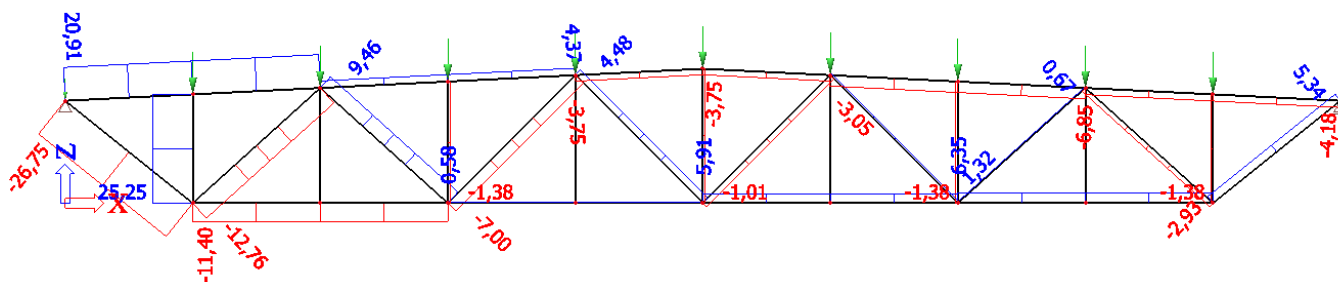
Kombinace 2 – nerovnoměrný tlak (stálé + nerovnoměrný sníh)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	-329,42	S1	559,08	D1	421,34	V1	-56,15
H2	-329,42	S2	559,08	D2	-309,53	V2	0,00
H3	-706,71	S3	781,76	D3	197,43	V3	-56,15
H4	-706,71	S4	781,76	D4	-107,38	V4	0,00
H5	-797,98	S5	824,96	D5	21,53	V5	0,00
H6	-797,98	S6	824,96	D6	-39,56	V6	0,00
H7	-775,01	S7	631,08	D7	-72,01	V7	-77,75
H8	-775,01	S8	631,08	D8	192,33	V8	0,00
H9	-380,31			D9	-338,02	V9	-77,75
H10	-380,31			D10	486,43		



Kombinace 3 – maximální tah (stálé + vítr)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	20,91	S1	-11,40	D1	-26,75	V1	25,25
H2	20,91	S2	-11,40	D2	-12,76	V2	0,00
H3	4,37	S3	0,58	D3	9,46	V3	-1,38
H4	4,37	S4	0,58	D4	-7,00	V4	0,00
H5	-3,75	S5	5,91	D5	4,48	V5	-1,01
H6	-3,75	S6	5,91	D6	-3,05	V6	0,00
H7	-6,85	S7	6,36	D7	1,32	V7	-1,38
H8	-6,85	S8	6,36	D8	0,67	V8	0,00
H9	-4,18			D9	-2,93	V9	-1,38
H10	-4,18			D10	5,34		

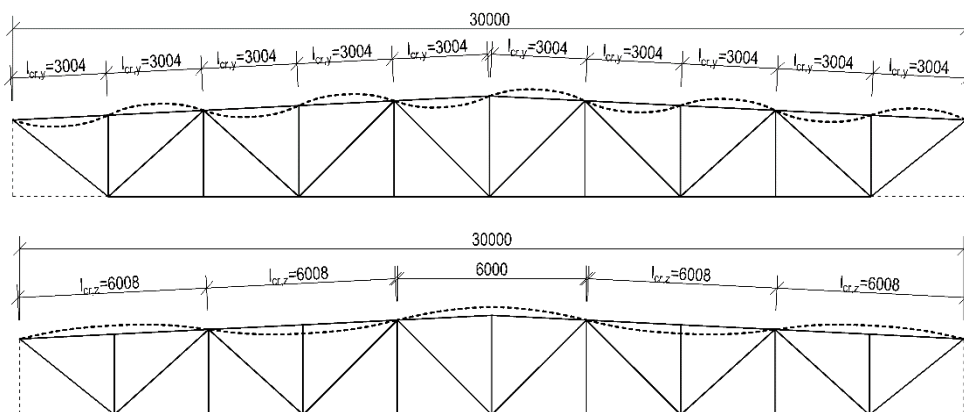


4.2.5. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

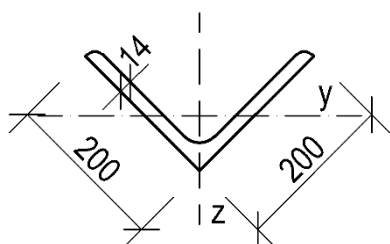
Tlačený horní pás (H5, H6)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 1: $F_{H5,6} = -926,71 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 926,71 \text{ kN}$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)



Návrh: L 200x200x14



$$A = 5210 \text{ mm}^2$$

$$l_{cr,y} = 3,004 \text{ m}$$

$$l_{cr,z} = 6,008 \text{ m}$$

$$I_y = 8,57 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 3,30 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3004}{39,7} = 76 \quad \lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6008}{77,9} = 77$$

Posouzení

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,57 \cdot 10^{-6}}{3,004^2} = 1968,34 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,30 \cdot 10^{-5}}{6,008^2} = 1894,84 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{5440 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1968,34 \cdot 10^3}} = 1,077$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{5440 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1894,84 \cdot 10^3}} = 1,098$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,077 - 0,2) + 1,077^2 \right] = 1,230$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,098 - 0,2) + 1,098^2 \right] = 1,256$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,230 + \sqrt{1,230^2 - 1,077^2}} = 0,549$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,256 + \sqrt{1,256^2 - 1,098^2}} = 0,536$$

$$\chi = \min \{ \chi_y; \chi_z \} = \min \{ 0,549; 0,536 \} = 0,536$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,536 \cdot 5440 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 1225,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{926,71}{1225,4} = 0,75 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tažený horní pás (H3, H4, H5)

Maximální tahová síla pro kombinaci 3: $F_{H3,4,5} = 20,91 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 20,91 \text{ kN}$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

Posouzení

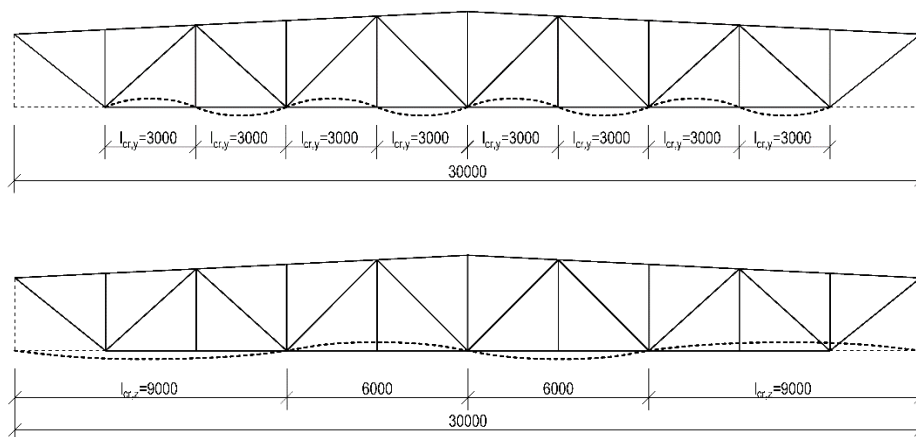
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{5210 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 2188,20 \text{ kN}$$

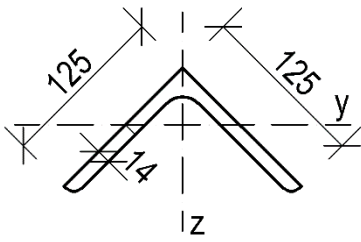
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{20,91}{2188,20} = 0,01 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačený spodní pás (S4, S5)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 3: $F_{S4,5} = -11,40 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 11,40 \text{ kN}$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)



**Návrh: L 125x125x14**

$A = 3340 \text{ mm}^2$	$l_{cr,y} = 3,0 \text{ m}$
	$l_{cr,z} = 9,0 \text{ m}$
$I_y = 2,02 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{24,6} = 122$
$I_z = 7,64 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{9000}{47,8} = 188$

Posouzení

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,02 \cdot 10^{-6}}{3,0^2} = 465,19 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 7,64 \cdot 10^{-6}}{9,0^2} = 195,49 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{465,19 \cdot 10^3}} = 1,737$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3340 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{195,49 \cdot 10^3}} = 2,679$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,737 - 0,2) + 1,737^2 \right] = 2,269$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,679 - 0,2) + 2,679^2 \right] = 4,509$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,269 + \sqrt{2,269^2 - 1,737^2}} = 0,268$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{4,509 + \sqrt{4,509^2 - 2,679^2}} = 0,123$$

$$\chi = \min \{ \chi_y; \chi_z \} = \min \{ 0,268; 0,123 \} = 0,123$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,123 \cdot 3340 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 172,41 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{11,40}{172,41} = 0,07 < 1,00$$

Tažený spodní pás (S4, S5, S6, S7)

Maximální tahová síla pro kombinaci 3: $F_{S4,5,6,7} = 932,76kN \rightarrow N_{Ed} = 932,76kN$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

Posouzení

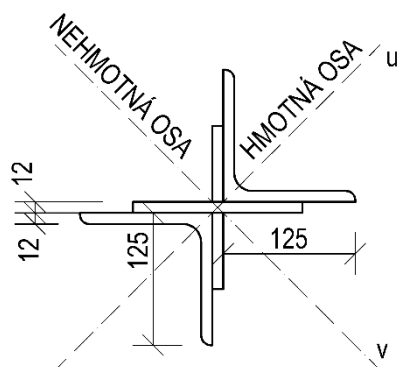
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{3340 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 1402,80kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{932,76}{1402,80} = 0,67 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená diagonála (D2, D9)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 1: $F_{D2,9} = -376,00kN \rightarrow N_{Ed} = 376,00kN$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

**Návrh: 2 x L125x125x12**

$A = 5780mm^2$	$l = 4,036m$
$i_u = 24,70mm$	$l_{cr,u} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 4,036 = 3,632m$
$i_v = 48,20mm$	$l_{cr,v} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 4,036 = 3,632m$

Posouzení – nehmotná osa u

$$a = \frac{1}{3} \cdot l_{cr,v} = \frac{1}{3} \cdot 3632 = 1210,7$$

$$a \leq 70 \cdot i_{\min}$$

$$1210,7 \leq 70 \cdot 24,70 = 1729$$

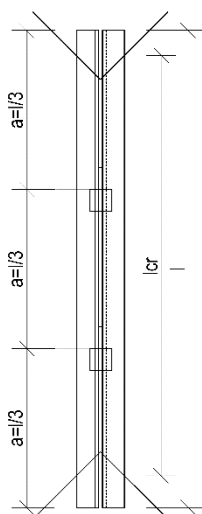
CELISTVÝ PRUT

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_v = \frac{l_{cr,v}}{i_v} = \frac{3632}{48,20} = 75,353 \quad \bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{75,353}{70,238} = 1,073$$

$$\phi_v = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,073 - 0,2) + 1,073^2 \right] = 1,289$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{1,289 + \sqrt{1,289^2 - 1,073^2}} = 0,499$$



$$N_{b,Rd,v} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,499 \cdot 5780 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 1211,37 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,v}} = \frac{338,02}{1211,37} = 0,30 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení – hmotná osa v

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_u = \frac{l_{cr,u}}{i_u} = \frac{3632}{24,70} = 147,045 \quad \bar{\lambda}_u = \frac{\lambda_u}{\lambda_1} = \frac{147,045}{70,238} = 2,094$$

$$\phi_u = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_u - 0,2) + \bar{\lambda}_u^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,094 - 0,2) + 2,094^2 \right] = 3,155$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi_u + \sqrt{\phi_u^2 - \bar{\lambda}_u^2}} = \frac{1}{3,155 + \sqrt{3,155^2 - 2,094^2}} = 0,181$$

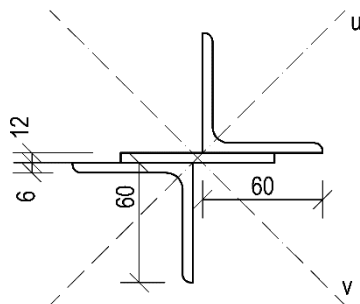
$$N_{b,Rd,u} = \frac{\chi_u \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,181 \cdot 5780 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 440,10 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,u}} = \frac{376,00}{440,10} = 0,85 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tažená diagonála (D1, D10)

Maximální tahová síla pro kombinaci 1: $F_{D1,10} = 527,10 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 527,10 \text{ kN}$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

**Návrh: 2xL 60x60x6**

$$A = 1382 \text{ mm}^2$$

$$\lambda_v = \frac{l}{i_u} = \frac{3842}{22,9} = 168 \quad \lambda_u = \frac{l}{2 \cdot i_u} = \frac{3840}{2 \cdot 11,7} = 164$$

Posouzení

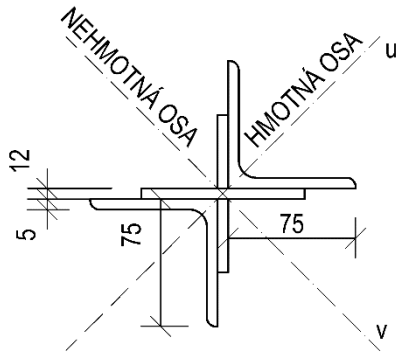
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1382 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 580,44 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{527,10}{580,44} = 0,91 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

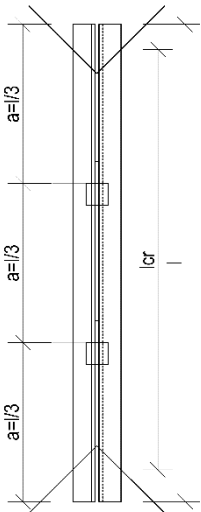
Tlačená svislice (V4, V8)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{V4,8} = -77,75 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 77,75 \text{ kN}$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

Návrh: 2xL 75x75x5

$l = 2,85 \text{ m}$
$A = 1468 \text{ mm}^2$
$l_{cr,u} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,40 = 2,56 \text{ m}$
$l_{cr,v} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,40 = 2,56 \text{ m}$
$i_u = 14,70 \text{ mm}$
$i_v = 24,80 \text{ mm}$



Posouzení – nehmotná osa u

$$a = \frac{1}{3} \cdot l_{cr,v} = \frac{1}{3} \cdot 2560 = 855$$

$$a \leq 70 \cdot i_{\min}$$

$$855 \leq 70 \cdot 14,70 = 1029$$

CELISTVÝ PRUT

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_v = \frac{l_{cr,v}}{i_v} = \frac{2560}{24,8} = 103,43 \quad \bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{103,43}{70,238} = 1,473$$

$$\phi_v = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,473 - 0,2) + 1,473^2 \right] = 1,896$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{1,896 + \sqrt{1,896^2 - 1,473^2}} = 0,324$$

$$N_{b,Rd,v} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,324 \cdot 1746 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 237,60 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,v}} = \frac{77,75}{237,60} = 0,33 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení – hmotná osa v

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_u = \frac{l_{cr,u}}{i_u} = \frac{2560}{14,70} = 174,49 \quad \bar{\lambda}_u = \frac{\lambda_u}{\lambda_1} = \frac{174,49}{70,238} = 2,484$$

$$\phi_u = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_u - 0,2) + \bar{\lambda}_u^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,484 - 0,2) + 2,484^2 \right] = 4,145$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi_u + \sqrt{\phi_u^2 - \bar{\lambda}_u^2}} = \frac{1}{4,145 + \sqrt{4,145^2 - 2,484^2}} = 0,134$$

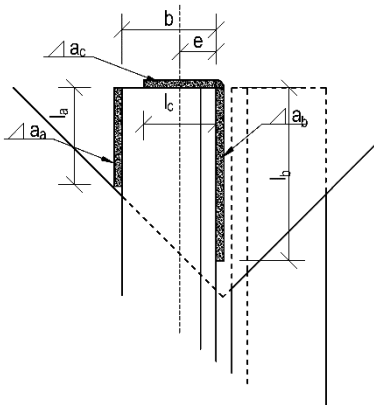
$$N_{b,Rd,u} = \frac{\chi_u \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,134 \cdot 1746 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 98,25 kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,u}} = \frac{77,75}{98,25} = 0,79 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

4.2.6. Návrh a posouzení připojení prutů**Tažená diagonála – svar (D1, D10)**

Maximální tahová síla pro kombinaci 1: $F_{D1,10} = 527,10 kN$ (viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

2 x L60x60x6	$b = 60 mm$	$e = 16,9 mm$
Síla na jeden úhelník:	$N_{Ed} = 263,55 kN$	
Styčnickový plech:	$t = 12 mm$	

Návrh:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 6 = 4,2 mm$$

$$\text{Svar } a: \quad a_a = 4 mm \quad l_a = 90 mm$$

$$\text{Svar } b: \quad a_b = 4 mm \quad l_b = 160 mm$$

$$\text{Svar } c: \quad a_c = 4 mm \quad l_c = 2 \cdot e = 2 \cdot 16,9 = 34 mm$$

Vzhledem k velké tahové síle a malé tloušťce příruby úhelníku v tažené diagonále je navržen i čelní svar přebírající část síly. Prvek je posouzen tak, že nejdříve určíme sílu, kterou převezme čelní svar, tu odečteme od celkové působící síly na jeden prvek a dále na zbylou sílu navrhne klasickou dvojicí svarů na úhelníku.

Čelní svar c

$$A_c = a_c \cdot l_c = 4 \cdot 34 = 136 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{Rd} = \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}} = 294,16 \text{ MPa}$$

$$N_{Rd,c} = \sigma_{Rd} \cdot A_c = 294,16 \cdot 136 = 40,00 \text{ kN}$$

Síly ve svarech

$$F_a = (N_{Ed} - N_{Rd,c}) \cdot \frac{e}{b} = (263,55 - 40,00) \cdot \frac{16,9}{60} = 62,97 \text{ kN}$$

$$F_b = (N_{Ed} - N_{Rd,c}) \cdot \frac{b-e}{b} = (263,55 - 40,00) \cdot \frac{60-16,9}{60} = 160,58 \text{ kN}$$

Posouzení svarů**Svar a**

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a_a \cdot l_a} = \frac{62,97 \cdot 10^3}{0,004 \cdot 0,09} = 174,92 \text{ MPa} \quad \sigma_{\perp} = 0,0 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 174,92^2)} = 302,95 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416,0 \text{ MPa} \geq 302,95 \text{ MPa} \quad 73\% \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Svar b

$$M_b = \frac{F_b}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{160,58 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{0,06}{2} = 3,35 \text{ kNm}$$

$$\sigma_M = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot a_b \cdot l_b^2} = \frac{3,95}{\frac{1}{6} \cdot 0,004 \cdot 0,20^2} = 125,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{125,75}{\sqrt{2}} = 88,92 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_b}{a_b \cdot l_b} = \frac{160,58 \cdot 10^3}{0,004 \cdot 0,20} = 200,73 \text{ MPa}$$

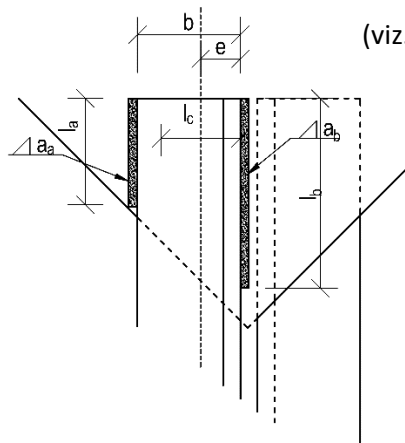
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{88,92^2 + 3 \cdot (88,92^2 + 200,73^2)} = 390,51 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416,0 \text{ MPa} \geq 390,51 \text{ MPa} \quad 94\% \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{520}{1,25} = 374,4 \text{ MPa} \geq 88,92 \text{ MPa} \quad 24\% \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená diagonála – svar (D2, D9)Maximální tlaková síla pro kombinaci 1: $F_{D2,9} = -376,00kN$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)



2 x L125x125x12	$b = 125mm$	$e = 35,2mm$
Síla na jeden úhelník:	$N_{Ed} = 188,00kN$	
Styčnickový plech:	$t = 12mm$	

Návrh:

$a_{max} = 0,7 \cdot t_{min} = 0,7 \cdot 12 = 8,4mm$	
Svar a:	$a_a = 6mm \quad l_a = 40mm$
Svar b:	$a_b = 8mm \quad l_b = 140mm$

Síly ve svarech

$$F_a = N_{Ed} \cdot \frac{e}{b} = 188,00 \cdot \frac{35,2}{125} = 52,94kN$$

$$F_b = N_{Ed} \cdot \frac{b-e}{b} = 188,00 \cdot \frac{125-35,2}{125} = 135,06kN$$

Posouzení svarů**Svar a**

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a_a \cdot l_a} = \frac{52,94 \cdot 10^3}{0,006 \cdot 0,040} = 220,59 MPa \quad \sigma_{\perp} = 0,0 MPa \quad \tau_{\perp} = 0,0 MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 220,59^2)} = 382,07 MPa$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416,0 MPa \geq 382,07 MPa \quad 92\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

Svar b

$$M_b = \frac{F_b}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{135,06 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{0,125}{2} = 5,88 kNm$$

$$\sigma_M = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot a_b \cdot l_b^2} = \frac{5,88}{\frac{1}{6} \cdot 0,008 \cdot 0,14^2} = 224,81 MPa$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_M}{\sqrt{2}} = \frac{224,81}{\sqrt{2}} = 158,96 MPa$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_b}{a_b \cdot l_b} = \frac{135,06 \cdot 10^3}{0,008 \cdot 0,140} = 120,59 MPa$$

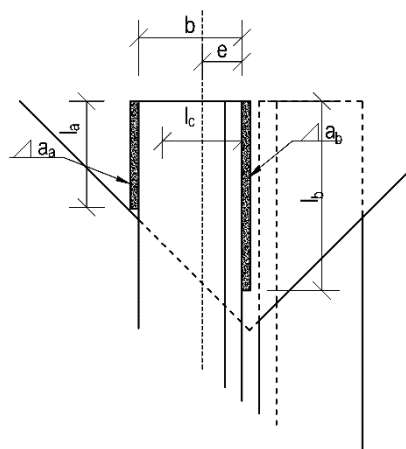
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{158,96^2 + 3 \cdot (158,96^2 + 120,59^2)} = 380,40 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416,0 \text{ MPa} \geq 380,40 \text{ MPa} \quad 91\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$0,9 \cdot \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = 0,9 \cdot \frac{520}{1,25} = 374,4 \text{ MPa} \geq 158,96 \text{ MPa} \quad 42\% \quad \text{VYHOVÍ}$$

Svislice – svar (V1, V11)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{D1,10} = -77,75 \text{ kN}$ (viz. 4.2.4. Vnitřní síly)



2x L 75x75x5 $b = 75 \text{ mm}$ $e = 20,1 \text{ mm}$

Síla na jeden úhelník: $N_{Ed} = 38,88 \text{ kN}$

Styčnickový plech: $t = 12 \text{ mm}$

Návrh:

$$a_{\max} = 0,7 \cdot t_{\min} = 0,7 \cdot 5 = 3,5 \text{ mm}$$

Svar a: $a_a = 3 \text{ mm}$ $l_a = 30 \text{ mm}$

Svar b: $a_b = 3 \text{ mm}$ $l_b = 80 \text{ mm}$

Síly ve svarech

$$F_a = N_{Ed} \cdot \frac{e}{b} = 38,88 \cdot \frac{20,1}{75} = 10,42 \text{ kN}$$

$$F_b = N_{Ed} \cdot \frac{b-e}{b} = 38,88 \cdot \frac{75-20,1}{75} = 28,46 \text{ kN}$$

Posouzení svarů

Svar a

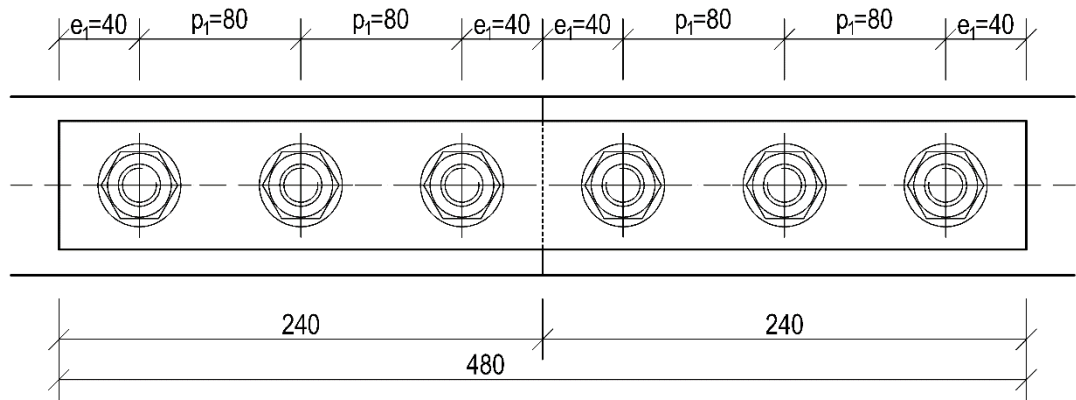
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_a}{a_a \cdot l_a} = \frac{10,42 \cdot 10^3}{0,003 \cdot 0,030} = 115,78 \text{ MPa} \quad \sigma_{\perp} = 0,0 \text{ MPa} \quad \tau_{\perp} = 0,0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 115,78^2)} = 200,53 \text{ MPa}$$

Svar b

$$M_b = \frac{F_b}{2} \cdot \frac{b}{2} = \frac{28,46 \cdot 10^3}{2} \cdot \frac{0,075}{2} = 0,73 \text{ kNm}$$

$$\sigma_M = \frac{M_b}{\frac{1}{6} \cdot a_b \cdot l_b^2} = \frac{0,73}{\frac{1}{6} \cdot 0,003 \cdot 0,08^2} = 227,81 \text{ MPa}$$

**Únosnost 1 šroubu**

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 2 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot 380 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 182,40 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \{0,566; 0,962; 1,0\} = 0,566$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 24} = 0,556$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 45}{24} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,967; 2,5\} = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,556 \cdot 520 \cdot 10^6 \cdot 0,022 \cdot 0,014}{1,25} = 178,10 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{182,40; 178,10\} = 178,10 \text{ kN}$$

Počet šroubů $n_s = \frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{932,76}{178,10} = 5,24 \rightarrow n_s = 6$

Posouzení oslabeného průřezu – L 120x120x15: $F_{D4,7} = 932,76 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 932,76 \text{ kN}$
(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

$$A_{net} = A_L - A_o = 3393 - 2 \cdot 14 \cdot 24 = 3393 - 720 = 2721 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 2721 \cdot 10^{-6} \cdot 520 \cdot 10^6}{1,25} = 1029,97 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{932,76}{1029,97} = 0,91 < 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení oslabeného průřezu – 4x P 500x90x10: $F_{D4,7} = 932,76kN \rightarrow$

$N_{Ed} = 233,19kN$ (viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

$$A_{net} = A_p - A_o = 90 \cdot 10 - 10 \cdot 24 = 900 - 240 = 660mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 660 \cdot 10^{-6} \cdot 520 \cdot 10^6}{1,25} = 247,10kN$$

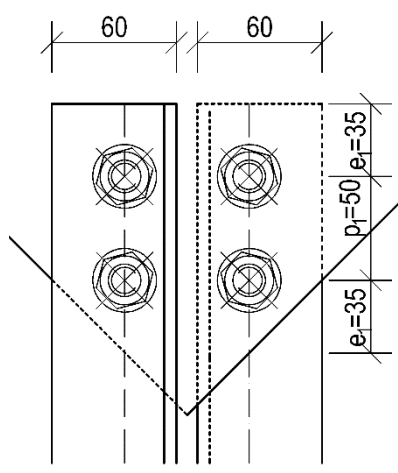
$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{233,19}{247,10} = 0,94 < 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Diagonála (D4, D7)

Maximální tahová síla pro **kombinaci 1:** $F_{D4,7} = -107,38kN \rightarrow N_{Ed} = 53,69kN$

(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

Návrh šroubového spoje: M12 5.6



$d = 16mm$	$A = 201mm^2$	$\gamma_{M2} = 1,25$
$d_0 = 17mm$	$A_s = 157mm^2$	$\alpha_v = 0,6$
$f_{ub} = 500MPa$	$t = 12mm$	$n = 1$

Rozteče

$e_{1,min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 16 = 20,40$
 $p_{1,min} = 2,2 \cdot d_0 = 2,2 \cdot 16 = 37,40$
 $e_{2,min} = 1,2 \cdot d_0 = 1,2 \cdot 16 = 20,40$
 $e_1 = 35mm$
 $p_1 = 50mm$
 $e_2 = 25mm$

$e_{1,dop} = 2,0 \cdot d_0 = 2,0 \cdot 16 = 34,00$
 $p_{1,dop} = 3,5 \cdot d_0 = 3,5 \cdot 16 = 59,50$
 $e_{2,dop} = 1,5 \cdot d_0 = 1,5 \cdot 16 = 25,50$

Únosnost 1 šroubu

$$F_{V,Rd} = n \cdot \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 500 \cdot 10^6 \cdot 201 \cdot 10^{-6}}{1,25} = 48,24kN$$

$$\alpha_b = \min \left\{ \alpha_d; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right\} = \min \{ 0,686; 0,962; 1,0 \} = 0,686$$

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{35}{3 \cdot 17} = 0,686$$

$$k_1 = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot e_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \left\{ \frac{2,8 \cdot 25}{24} - 1,7; 2,5 \right\} = \min \{2,418; 2,5\} = 2,418$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,418 \cdot 0,686 \cdot 520 \cdot 10^6 \cdot 0,017 \cdot 0,006}{1,25} = 66,26 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = \min \{F_{V,Rd}; F_{b,Rd}\} = \min \{48,24; 66,26\} = 48,24 \text{ kN}$$

Počet šroubů $n_s = \frac{N_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{53,69}{48,24} = 1,11 \rightarrow n_s = 2$

Posouzení oslabeného průřezu – L 60x60x6: $F_{D4,7} = -107,38 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 53,69 \text{ kN}$
(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

$$A_{net} = A_L - A_o = 691 - 6 \cdot 18 = 691 - 108 = 583 \text{ mm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 583 \cdot 10^{-6} \cdot 520 \cdot 10^6}{1,25} = 218,28 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{53,69}{218,28} = 0,25 < 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

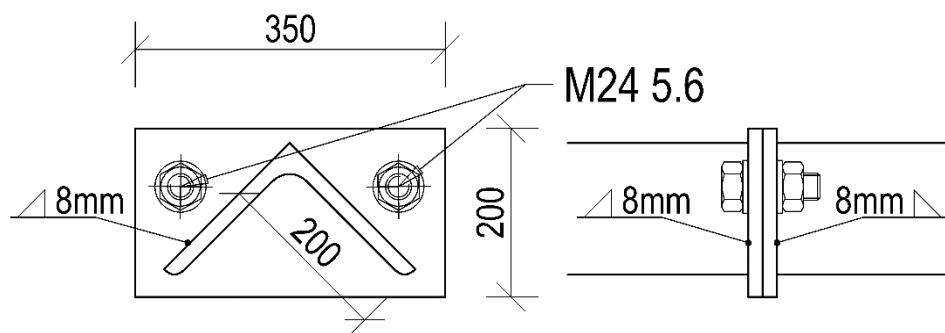
Horní pás (H4, H7)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1:** $F_{D4,7} = -923,71 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 923,71 \text{ kN}$
(viz. 4.2.4. Vnitřní síly)

Návrh šroubů: 2x M24 5.6 – navrženo konstrukčně

Návrh styčnickového plechu: 2x P 350x200x12 – navrženo konstrukčně

Návrh svaru: $a_{eff} = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 12 = 8,4 \rightarrow a = 8 \text{ mm}$ - po celém obvodu, navrženo konstrukčně.



5. Zastřešení - varianta B

5.1. Vaznice

5.1.1. Zatížení

Stálé

	kN/m^2	kN/m
<i>střešní krytina</i>	0,510	
<i>vlastní tíha (odhad)</i>		0,16
<i>vlastní tíha g_k'</i>	0,51	
<i>vlastní tíha g_k</i>		0,16

$$g_k = g_k' \cdot Z\check{S} + g_k = 0,51 \cdot 3,0 + 0,16 = 1,69 kN / m$$

Proměnné zatížení

Vítr

Oblast I

$$w_{H,k} = w_{e,H} \cdot Z\check{S} = -0,523 \cdot 3,0 = -1,57 kN / m$$

Oblast F

$$w_{F,k} = w_{e,F} \cdot Z\check{S} = -1,27 \cdot 3,0 = -3,81 kN / m$$

Sníh - plný

$$s_k = s \cdot Z\check{S} = 0,8 \cdot 3,0 = 2,40 kN / m$$

Osamělé břemeno

$$F_k = 1,0 kN$$

5.1.2. Kombinace zatížení

Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

$$g_1 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot s_k = 1,35 \cdot 1,69 + 1,50 \cdot 2,40 = 5,88 kN / m$$

Kombinace 2 - maximální sání (stálé + vítr oblast I)

$$g_2 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_{e,I} = 1,0 \cdot 1,69 - 1,50 \cdot 1,57 = -0,67 kN / m$$

Kombinace 3 - maximální sání (stálé + vítr oblast F)

$$g_3 = \gamma_G \cdot g_k + \gamma_Q \cdot w_{e,F} = 1,0 \cdot 1,69 - 1,50 \cdot 3,81 = -4,03 kN / m$$

5.1.3. Vnitřní síly

Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

$$g_1 = 5,88 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,1} = \frac{1}{8} \cdot g_1 \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 5,88 \cdot 6,0^2 = 26,46 \text{ kNm}$$

Kombinace 2 - maximální sání (stálé + vítr oblast I)

$$g_2 = -0,67 \text{ kN/m}$$

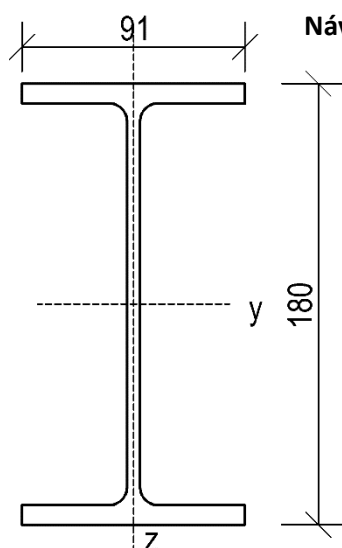
$$M_{Ed,2} = \frac{1}{8} \cdot g_2 \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot -0,67 \cdot 6,0^2 = -3,02 \text{ kNm}$$

Kombinace 3 - maximální sání (stálé + vítr oblast F)

$$g_3 = -4,03 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,3} = \frac{1}{8} \cdot g_3 \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot -4,03 \cdot 6,0^2 = -18,14 \text{ kNm}$$

5.1.4. Návrh a posouzení



Návrh: IPE 180

$$A = 2390 \text{ mm}^2$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

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

$$e_z = -\frac{h}{2} = -\frac{180}{2} = -90 \text{ mm}$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

$$G = 81 \text{ GPa}$$

$$I_y = 1,32 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 1,6610^5 \text{ mm}^3$$

$$I_z = 1,01 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{z,pl} = 3,46 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$I_\omega = 7,43 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$I_t = 4,78 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

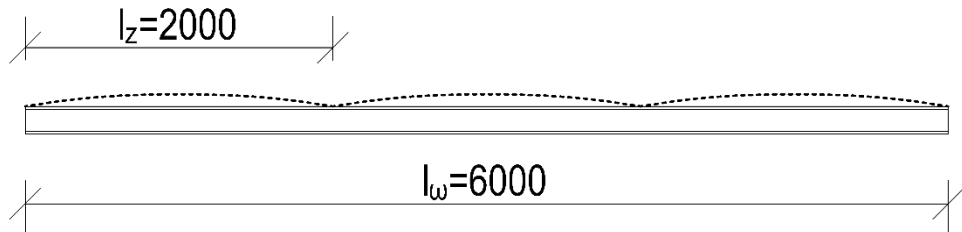
Koeficienty C_1 a C_2 pro parabolický průběh ohybového momentu:

$$C_1 = 1,132 \quad C_2 = 0,459$$

**Posouzení pro kombinaci 1 maximální tlak (stálé + sněh plný)
s uvažovaným klopením**

- V tomto případě neuvažujeme, že střešní krytina zabrání klopení, jsou uvažována dvě táhla ve třetinách prvku (po 2,0m) při jeho horním okraji.

$$L_z = 2,0m \quad L_\omega = 6,0m$$



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

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6}{6,0^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{2,0}{6,0} \right)^2 \cdot \frac{7,43 \cdot 10^9}{1,01 \cdot 10^6} + \frac{2,0^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 4,78 \cdot 10^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6} + (0,459 \cdot -0,09)^2} + 0,459 \cdot -0,09 \right] =$$

$$M_{cr} = 34,54 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^5 \cdot 420 \cdot 10^3}{34,54 \cdot 10^3}} = 1,421$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,421 - 0,2) + 1,421^2 \right] = 1,638$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,638 + \sqrt{1,638^2 - 1,421^2}} = 0,408$$

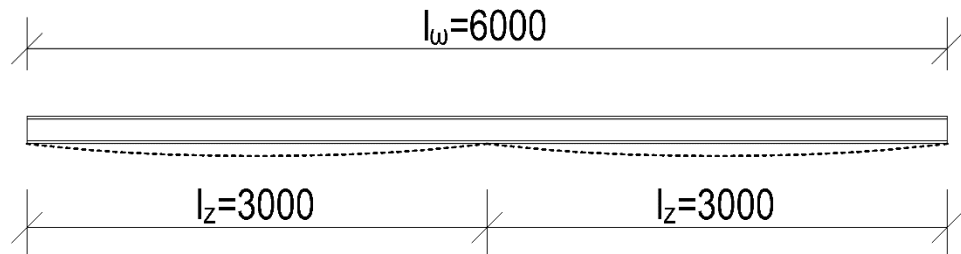
$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,408 \cdot 1,66 \cdot 10^{-7} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 28,44 kNm$$

$$\frac{M_{Ed,2}}{M_{b,Rd}} = \frac{26,46}{28,44} = 0,930 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

**Posouzení pro kombinace 3 - maximální sání (stálé + vítr oblast F)
s uvažovaným klopením**

- Platí pro krajní vaznice ležící pod větrovou oblastí F, v tomto případě uvažujeme navíc k dvěma táhlům při horním okraji nosníku jedno táhlo v polovině rozpětí při dolním okraji k zachycení účinků od sání větru.

$$L_z = 3,0m \quad L_\omega = 6,0m$$



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

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6}{6,0^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{3,0}{6,0} \right)^2 \cdot \frac{7,43 \cdot 10^9}{1,01 \cdot 10^6} + \frac{3,0^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 4,78 \cdot 10^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6} + (0,459 \cdot -0,09)^2} + 0,459 \cdot -0,09 \right] =$$

$$M_{cr} = 26,54 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^5 \cdot 420 \cdot 10^3}{26,54 \cdot 10^3}} = 1,621$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,621 - 0,2) + 1,621^2 \right] = 1,963$$

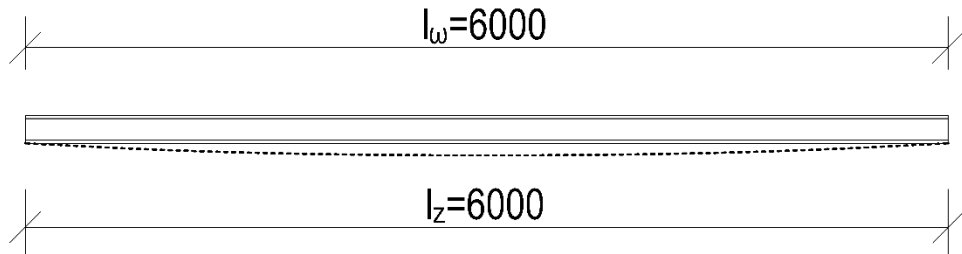
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,963 + \sqrt{1,963^2 - 1,621^2}} = 0,326$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,326 \cdot 1,66 \cdot 10^7 \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 22,71 kNm$$

$$\frac{M_{Ed,2}}{M_{b,Rd}} = \frac{18,14}{22,71} = 0,799 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

**Posouzení pro kombinace 2 - maximální sání (stálé + vítr oblast I)
s uvažovaným klopením**

- Platí pro ostatní vaznice ležící mimo větrovou oblast F, v tomto případě neuvažujeme žádná další táhla při dolním okraji k zachycení účinků od sání větru. $L_z = 6,0m$ $L_\omega = 6,0m$



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

$$M_{cr} = 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6}{6,0^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{6,0}{6,0} \right)^2 \cdot \frac{7,43 \cdot 10^9}{1,01 \cdot 10^6} + \frac{6,0^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 4,78 \cdot 10^4}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,01 \cdot 10^6} + (0,459 \cdot -0,09)^2} + 0,459 \cdot -0,09 \right] =$$

$$M_{cr} = 15,34 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1,66 \cdot 10^5 \cdot 420 \cdot 10^3}{15,34 \cdot 10^3}} = 2,129$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (2,129 - 0,2) + 2,129^2 \right] = 2,968$$

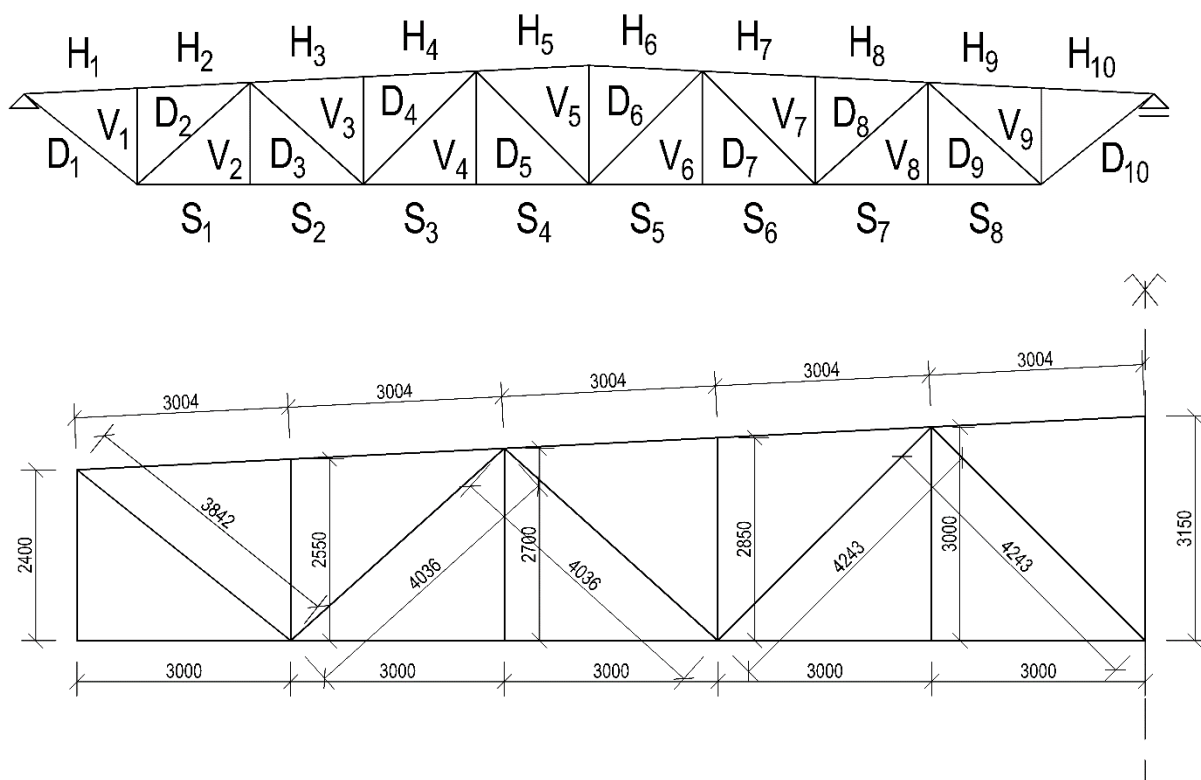
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,968 + \sqrt{2,968^2 - 2,129^2}} = 0,199$$

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,199 \cdot 1,66 \cdot 10^{-7} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 13,84 kNm$$

$$\frac{M_{Ed,2}}{M_{b,Rd}} = \frac{3,02}{13,84} = 0,218 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

5.2. Vazník

5.2.1. Schéma



5.2.2. Zatížení

Stálé

	kN/m^2	Z.š. m	kN/m
konstrukce střechy	0,51	6	3,06
vlastní tíha (odhad)	0,17	6	1,02
vlastní tíha g_k			4,08
	kN		
tíha vaznice Q_{vaz}	1,13		

Síla ve styčnicku:

$$G_{s1,k} = g_k \cdot \frac{l}{2} + G_{vaz,k} = 4,08 \cdot \frac{3,0}{2} + 1,13 = 7,25 kN$$

$$G_{s2,k} = g_k \cdot l + G_{vaz,k} = 4,08 \cdot 3,0 + 1,13 = 13,37 kN$$

Proměnné zatížení**Vítr**

Oblast H, I, J

$$w_{H,k} = w_{e,H} \cdot Z\check{S} = -0.448 \cdot 6,0 = -2,69 \text{ kN} / \text{m}$$

Oblast G

$$w_{G,k} = w_{e,G} \cdot Z\check{S} = -1,27 \cdot 12,0 = -7,62 \text{ kN} / \text{m}$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,w,k} = w_{G,k} \cdot \frac{l}{2} = -7,62 \cdot \frac{3,0}{2} = -11,43 \text{ kN}$$

$$Q_{s2,w,k} = w_{G,k} \cdot 1,796 + w_{H,k} \cdot 1,204 = -7,62 \cdot 1,796 - 2,69 \cdot 1,204 = -16,92 \text{ kN}$$

$$G_{s3,w,k} = w_{H,k} \cdot l = -2,69 \cdot 3,0 = -8,07 \text{ kN}$$

Sníh - plný

$$s_k = s \cdot Z\check{S} = 0,8 \cdot 6,0 = 4,80 \text{ kN} / \text{m}$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,s,k} = s_k \cdot \frac{l}{2} = 4,8 \cdot \frac{3,0}{2} = 7,20 \text{ kN}$$

$$Q_{s2,s,k} = s_k \cdot l = 4,8 \cdot 3,0 = 14,40 \text{ kN}$$

Sníh - nerovnoměrný

$$s_k' = s' \cdot Z\check{S} = 0,4 \cdot 6,0 = 2,40 \text{ kN} / \text{m}$$

Síla ve styčnicku:

$$Q_{s1,s,k} = s_k' \cdot \frac{l}{2} = 2,4 \cdot \frac{3,0}{2} = 3,60 \text{ kN}$$

$$Q_{s2,s,k} = s_k' \cdot l = 2,4 \cdot 3,0 = 7,20 \text{ kN}$$

5.2.3. Kombinace zatížení

Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

$$g_1 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{sk} = 1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{sk}$$

Kombinace 2 – nerovnoměrný tlak (stálé + nerovnoměrný sníh)

$$g_2 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{sk'} = 1,35 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{sk'}$$

Kombinace 3 – maximální tah (stálé + vítr)

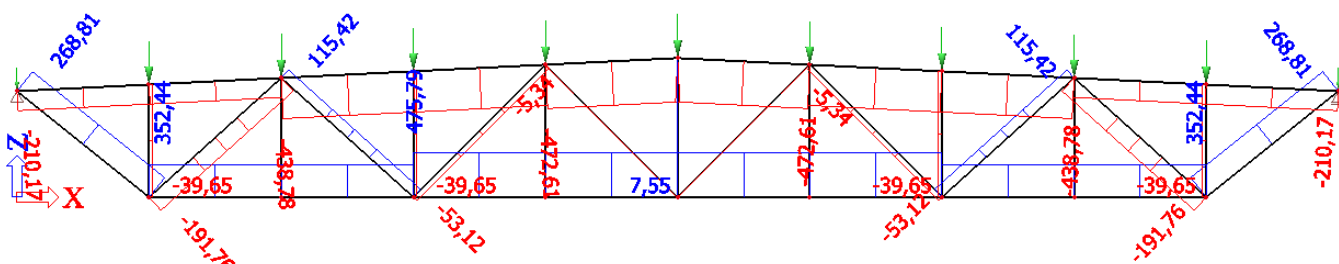
$$g_3 = \gamma_G \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_{wk} = 1,0 \cdot G_k + 1,50 \cdot Q_{wk}$$

5.2.4. Vnitřní síly

Vnitřní síly byly zjištěny pomocí software Scia Engineer 14.0.1043 – studentská verze.

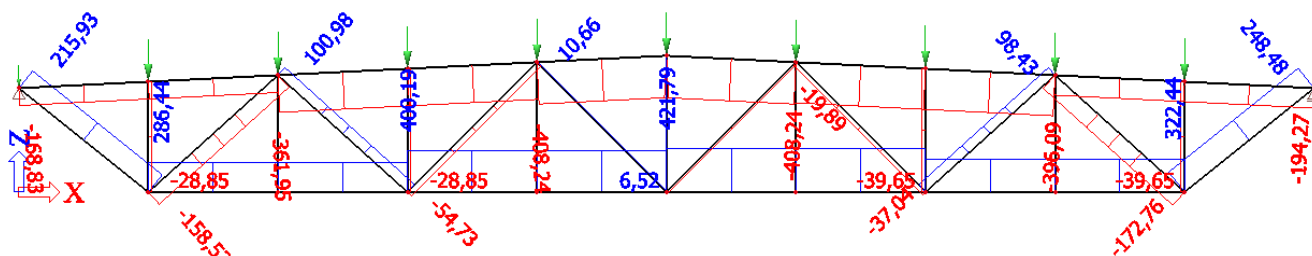
Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sníh plný)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	-210,17	S1	352,44	D1	268,81	V1	-39,65
H2	-210,17	S2	352,44	D2	-191,76	V2	0,00
H3	-438,78	S3	475,79	D3	115,42	V3	-39,65
H4	-438,78	S4	475,79	D4	-53,12	V4	0,00
H5	-472,61	S5	475,79	D5	0,00	V5	0,00
H6	-472,61	S6	475,79	D6	0,00	V6	0,00
H7	-438,78	S7	352,44	D7	-53,12	V7	-39,65
H8	-438,78	S8	352,44	D8	115,42	V8	0,00
H9	-210,17			D9	-191,76	V9	-39,65
H10	-210,17			D10	268,81		



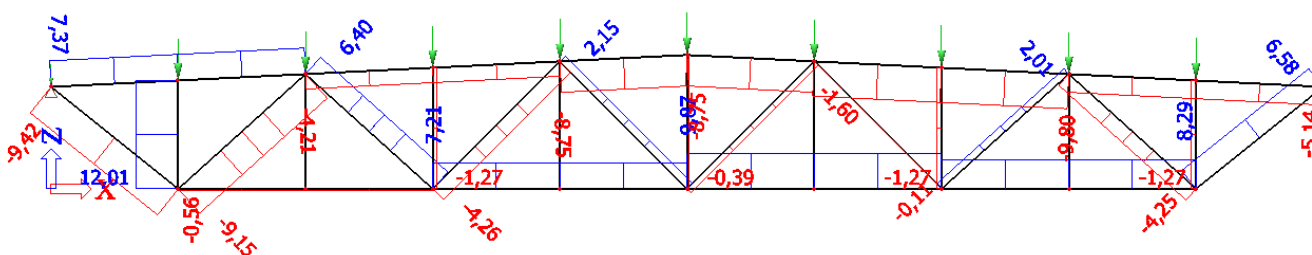
Kombinace 2 – nerovnoměrný tlak (stálé + nerovnoměrný sníh)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	-168,83	S1	286,44	D1	215,93	V1	-28,85
H2	-168,83	S2	286,44	D2	-158,52	V2	0,00
H3	-361,95	S3	400,19	D3	100,98	V3	-28,85
H4	-361,95	S4	400,19	D4	-54,73	V4	0,00
H5	-408,24	S5	421,76	D5	10,66	V5	6,52
H6	-408,24	S6	421,76	D6	-19,89	V6	0,00
H7	-396,09	S7	322,44	D7	-37,04	V7	-39,65
H8	-396,09	S8	322,44	D8	98,43	V8	0,00
H9	-194,27			D9	-172,76	V9	-39,65
H10	-194,27			D10	248,48		



Kombinace 3 – maximální tah (stálé + vítr)

prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]	prut	síla [kN]
H1	7,37	S1	-0,56	D1	-9,42	V1	12,01
H2	7,37	S2	-0,56	D2	-9,15	V2	0,00
H3	-4,21	S3	7,21	D3	6,40	V3	-1,27
H4	-4,21	S4	7,21	D4	-4,26	V4	0,00
H5	-8,75	S5	9,87	D5	2,15	V5	-0,39
H6	-8,75	S6	9,87	D6	-1,60	V6	0,00
H7	-9,80	S7	8,29	D7	-0,11	V7	-1,27
H8	-9,80	S8	8,29	D8	2,10	V8	0,00
H9	-5,14			D9	-4,25	V9	-1,27
H10	-5,14			D10	6,58		

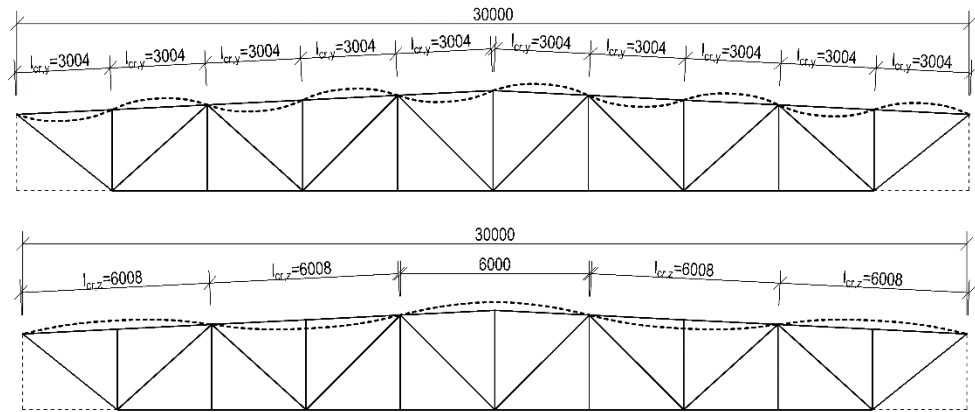


5.2.5. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

Tlačený horní pás (H5, H6)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{H5,6} = -472,61 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 472,61 \text{ kN}$

(viz. 5.2.4. Vnitřní síly)



Návrh: L 160x160x12

$A = 3730 \text{ mm}^2$	$l_{cr,y} = 3,004 \text{ m}$
$I_y = 3,75 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$l_{cr,z} = 6,008 \text{ m}$
$I_z = 1,43 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$	$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3004}{31,7} = 95$
	$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6008}{77,9} = 97$

Posouzení

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,75 \cdot 10^{-6}}{3,004^2} = 861,29 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,43 \cdot 10^{-5}}{6,008^2} = 821,10 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{3730 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{861,29 \cdot 10^3}} = 1,349$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3730 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{821,10 \cdot 10^3}} = 1,381$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,349 - 0,2) + 1,349^2 \right] = 1,605$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,381 - 0,2) + 1,381^2 \right] = 1,655$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \lambda_y^2}} = \frac{1}{1,605 + \sqrt{1,605^2 - 1,349^2}} = 0,404$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \lambda_z^2}} = \frac{1}{1,655 + \sqrt{1,655^2 - 1,381^2}} = 0,390$$

$$\chi = \min \{ \chi_y; \chi_z \} = \min \{ 0,404; 0,390 \} = 0,390$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,390 \cdot 3730 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 610,51 kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{478,61}{610,51} = 0,77 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Tažený horní pás (H3, H4, H5)

Maximální tahová síla pro kombinaci 3: $F_{H3,4,5} = 7,37 kN \rightarrow N_{Ed} = 7,37 kN$

(viz. 5.2.4. Vnitřní síly)

Posouzení

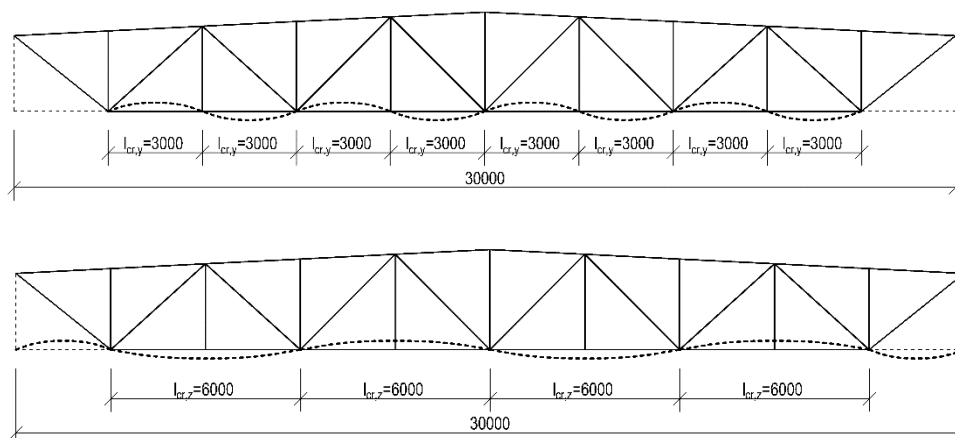
$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{3730 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 1566,60 kN$$

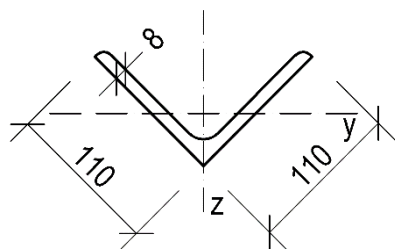
$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{7,37}{1566,60} = 0,005 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Tlačený spodní pás (S4, S5)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 3: $F_{S4,5} = -9,80 kN \rightarrow N_{Ed} = 9,80 kN$

(viz. 5.2.4. Vnitřní síly)



Návrh: L 110x110x8

$A = 1711 \text{ mm}^2$	$l_{cr,y} = 3,0 \text{ m}$
	$l_{cr,z} = 15,0 \text{ m}$
$I_y = 8,01 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	$\lambda_y = \frac{l_{cr,y}}{i_y} = \frac{3000}{21,6} = 139$
$I_z = 3,10 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$	$\lambda_z = \frac{l_{cr,z}}{i_z} = \frac{6000}{47,8} = 141$

Posouzení

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,01 \cdot 10^{-7}}{3,0^2} = 184,46 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,10 \cdot 10^{-6}}{15,0^2} = 178,48 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{184,46 \cdot 10^3}} = 1,974$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{178,48 \cdot 10^3}} = 2,007$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,974 - 0,2) + 1,974^2 \right] = 2,749$$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,007 - 0,2) + 2,007^2 \right] = 2,820$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{2,749 + \sqrt{2,749^2 - 1,974^2}} = 0,214$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{2,820 + \sqrt{2,820^2 - 2,007^2}} = 0,208$$

$$\chi = \min \{ \chi_y; \chi_z \} = \min \{ 0,214; 0,208 \} = 0,208$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,208 \cdot 1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 149,64 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{11,40}{149,64} = 0,07 \leq 1,00$$

VYHOVÍ

Tažený spodní pás (S4, S5, S6, S7)

Maximální tahová síla pro **kombinaci 3**: $F_{S4,5,6,7} = 475,79 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 475,79 \text{ kN}$ (viz. 5.2.4. Vnitřní síly)

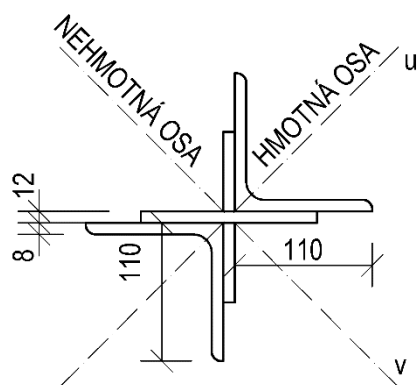
Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 718,62 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{475,79}{718,62} = 0,66 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená diagonála (D2, D9)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{D2,9} = -191,76 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 191,76 \text{ kN}$ (viz. 5.2.4. Vnitřní síly)

**Návrh: 2 x L110x110x8**

$A = 3422 \text{ mm}^2$	$l = 4,036 \text{ m}$
$i_u = 21,60 \text{ mm}$	$l_{cr,u} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 4,036 = 3,632 \text{ m}$
$i_v = 36,60 \text{ mm}$	$l_{cr,v} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 4,036 = 3,632 \text{ m}$

Posouzení – nehmotná osa u

$$a = \frac{1}{3} \cdot l_{cr,v} = \frac{1}{3} \cdot 3632 = 1210,7$$

$$a \leq 70 \cdot i_{\min}$$

$$1210,7 \leq 70 \cdot 21,60 = 1512$$

CELISTVÝ PRUT

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_v = \frac{l_{cr,v}}{i_v} = \frac{3632}{36,60} = 99,24 \quad \bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{99,24}{70,238} = 1,413$$

$$\phi_v = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,413 - 0,2) + 1,413^2 \right] = 1,795$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{1,795 + \sqrt{1,795^2 - 1,413^2}} = 0,345$$

$$N_{b,Rd,v} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,345 \cdot 3422 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 495,85 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,v}} = \frac{191,76}{495,85} = 0,39 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení – hmotná osa v

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_u = \frac{l_{cr,u}}{i_u} = \frac{3632}{21,60} = 168,15 \quad \bar{\lambda}_u = \frac{\lambda_u}{\lambda_1} = \frac{168,15}{70,238} = 2,394$$

$$\phi_u = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_u - 0,2) + \bar{\lambda}_u^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,394 - 0,2) + 2,394^2 \right] = 3,903$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi_u + \sqrt{\phi_u^2 - \bar{\lambda}_u^2}} = \frac{1}{3,903 + \sqrt{3,903^2 - 2,394^2}} = 0,143$$

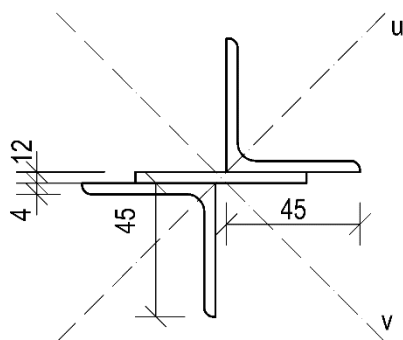
$$N_{b,Rd,u} = \frac{\chi_u \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,143 \cdot 3422 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 205,74 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,u}} = \frac{191,76}{205,74} = 0,93 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tažená diagonála (D1, D10)

Maximální tahová síla pro kombinaci 1: $F_{D1,10} = 268,81 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 268,81 \text{ kN}$

(viz. 5.2.4. Vnitřní síly)

**Návrh: 2xL 45x45x4**

$$A = 698 \text{ mm}^2$$

$$\lambda_v = \frac{l}{i_u} = \frac{3842}{17,9} = 215 \quad \lambda_u = \frac{l}{2 \cdot i_u} = \frac{3840}{2 \cdot 8,71} = 221$$

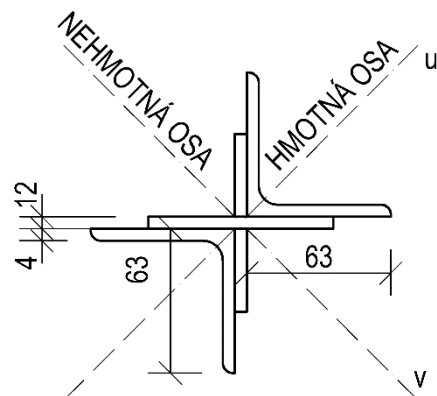
Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{698 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 293,32 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{268,81}{293,32} = 0,92 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená svislice (V4, V8)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{V4,8} = -28,85 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 28,85 \text{ kN}$



Návrh: 2xL 63x63x4

$A = 992 \text{ mm}^2$	$l = 2,85 \text{ m}$
$i_u = 12,60 \text{ mm}$	$l_{cr,u} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,85 = 2,56 \text{ m}$
$i_v = 24,50 \text{ mm}$	$l_{cr,v} = 0,9 \cdot l = 0,9 \cdot 2,85 = 2,56 \text{ m}$

Posouzení – nehmotná osa u

$$a = \frac{1}{3} \cdot l_{cr,v} = \frac{1}{3} \cdot 2560 = 855$$

$$a \leq 70 \cdot i_{\min}$$

$$855 \leq 70 \cdot 10,70 = 882$$

CELISTVÝ PRUT

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_v = \frac{l_{cr,v}}{i_v} = \frac{2560}{12,60} = 104,69 \quad \bar{\lambda}_v = \frac{\lambda_v}{\lambda_1} = \frac{104,69}{70,238} = 1,491$$

$$\phi_v = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,491 - 0,2) + 1,491^2 \right] = 1,927$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{1,927 + \sqrt{1,927^2 - 1,491^2}} = 0,318$$

$$N_{b,Rd,v} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,318 \cdot 1064 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 132,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,v}} = \frac{28,85}{132,49} = 0,22 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Posouzení – hmotná osa v

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{420}} = 70,238$$

$$\lambda_u = \frac{l_{cr,u}}{i_u} = \frac{2560}{24,50} = 203,57 \quad \bar{\lambda}_u = \frac{\lambda_u}{\lambda_1} = \frac{203,57}{70,238} = 2,898$$

$$\phi_u = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_u - 0,2) + \bar{\lambda}_u^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (2,898 - 0,2) + 2,898^2 \right] = 5,361$$

$$\chi_u = \frac{1}{\phi_u + \sqrt{\phi_u^2 - \bar{\lambda}_u^2}} = \frac{1}{5,361 + \sqrt{5,361^2 - 2,898^2}} = 0,101$$

$$N_{b,Rd,u} = \frac{\chi_u \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,101 \cdot 992 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 42,21 kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd,u}} = \frac{28,85}{42,21} = 0,67 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

6. Srovnání hmotností jednotlivých typů zastřešení

6.1. Varianta A

6.1.1. Příhradová vaznice

Hmotnost jedné příhradové vaznice

	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Horní pás	12,000	1789	14,04	168,52
Spodní pás	12,154	870	6,83	83,01
Diagonály	19,110	314	2,46	47,10

celková hmotnost **298,63** kg

6.1.2. Příhradový vazník

Hmotnost jednoho příhradového vazníku

	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Horní pás	30,038	5210	40,90	1228,51
Spodní pás	24,000	3340	26,22	629,26
Tlač. diagonály	16,560	5780	45,37	751,38
Taž. diagonály	24,240	1382	10,85	262,97
Svislice	25,350	1468	11,52	292,13

celková hmotnost **3164,24** kg

6.1.3. Hmotnost prvků v celé konstrukci

	Hmotnost prvku [kg]	Počet počet prvků	Celková hmotnost prvků [kg]
Příhradový vazník	3164,2	6	18985,5
Příhradová vaznice	298,6	55	16424,9

Celková hmotnost: **35410** kg
Poměrná hmotnost: **19,67** kg/m²

6.2. Varianta B

6.2.1. Plnostěnná vaznice

Hmotnost jedné příhradové vaznice

	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
IPE 180	6,000	2390	18,76	112,57

celková hmotnost **112,57** kg

6.2.2. Příhradový vazník

Hmotnost jednoho příhradového vazníku

	teor. délka [m]	plocha průřezu [mm ²]	hmotnost [kg/m]	hmotnost [kg]
Horní pás	30,038	3730	29,28	879,53
Spodní pás	24,000	1711	13,43	322,35
Tlač. diagonály	16,560	3422	26,86	622,78
Taž. diagonály	24,240	698	5,48	132,82
Svislice	25,350	992	7,79	197,41

celková hmotnost **2154,89** kg

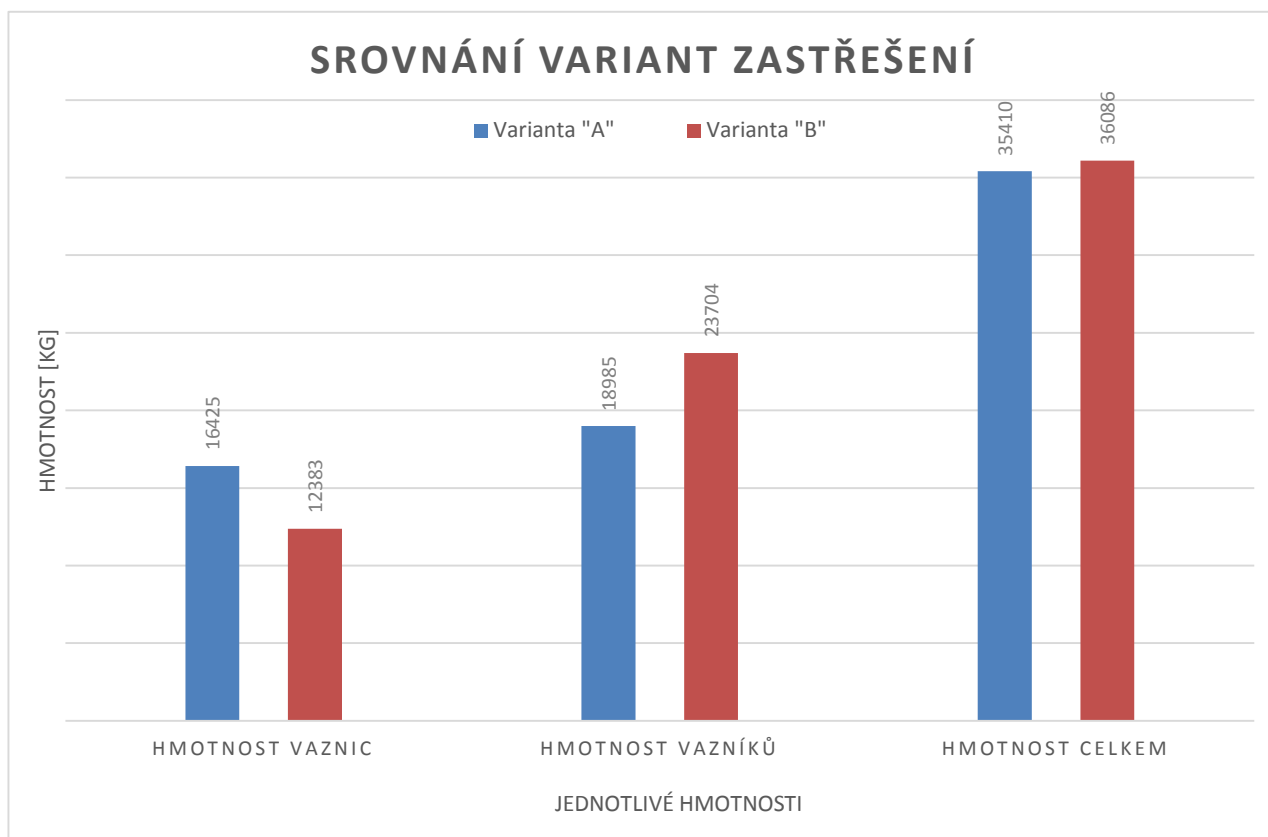
6.2.3. Hmotnost prvků v celé konstrukci

	Hmotnost prvku [kg]	Počet počet prvků	Celková hmotnost prvků [kg]
Příhradová vaznice	2154,9	11	23703,8
Příhradový vazník	112,6	110	12382,6

Celková **36086** kg
Poměrná **20,05** kg/m²

6.3. Porovnání variant

	varianta A	varianta B	
Hmotnost vaznic	16425	12383	kg
Hmotnost vazníků	18985	23704	kg
Hmotnost celkem	35410	36086	kg
	35,41	36,09	t
Plocha zastřešení	1800	1800	m ²
Poměrná hmotnost	19,67	20,05	kg/m ²



7. Jeřábová dráha

- Zatížení a posouzení jeřábové dráhy bylo provedeno podle publikace „Kovové konstrukce: Výpočet jeřábové dráhy pro mostové jeřáby podle ČSN EN 1991-3 a ČSN EN 1993-6 – Milan Pilgr“.

7.1. Základní atributy jeřábu

V hale jsou navrženy dva mostové jeřáby:

- 32/8 tun HC2, S5
- 50/12,5 tun HC2, S5

označení	popis	32/8 t	50/12,5 t	jednotky
L	rozpětí lodi	30	30	m
s	rozpětí jeřábu	28,5	28,5	m
a	vzdálenost jeřábu od osy koleje	270	300	mm
z	minimální světlá výška	2400	2700	mm
e	výška nárazníků	890	1070	mm
b	rozvor kol	4500	5600	mm
c	vodorovný dojezd háku	2050	2250	mm
b _r	šířka hlavy kolejnice	80	100	mm
Q _h	tíha břemene	320	500	kN
Q _t	tíha kočky	84	113	kN
Q _c	tíha jeřábu s kočkou	346	596	kN
v _h	rychlost zdvihu kladkostroje	0,133	0,083	m/s
v _t	rychlost pojezdu kočky	0,667	0,667	m/s
v _c	rychlost pojezdu jeřábu	1,333	1,333	m/s

7.2. Zatížení

7.2.1. Stálé

	kN/m	l
tíha nosníku	4	12
tíha kroleje	0,8	12
vodorovná výtěž nosníku a lávka	1,5	12
vlastní tíha g_k	6,3	

$$g_d = g_k \cdot \gamma_g = 6,3 \cdot 1,35 = 8,51 \text{ kN/m}$$

7.2.2. Zatížení jeřábem

Zatížení jeřábem 32/8 t

$$Q_{CR,32,max} = Q_{CR,32,(min)} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot (s - c)}{s} \right] =$$

$$Q_{CR,32,max} = Q_{CR,32,(min)} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{457 - 84}{2} + \frac{84 \cdot (28,5 - 2,05)}{28,5} \right] = 132,23 kN$$

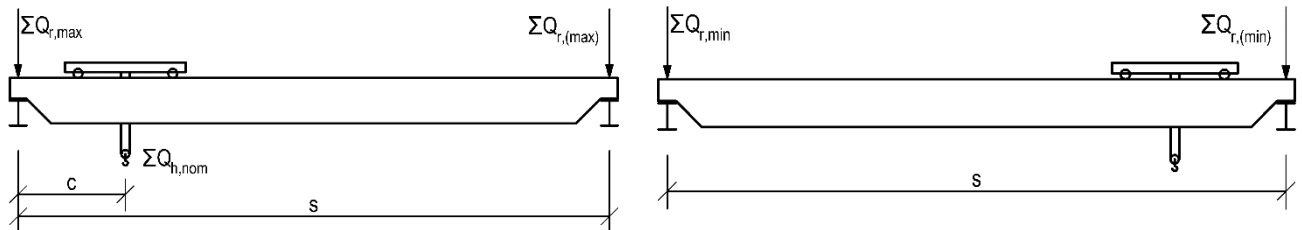
$$Q_{CR,32,(max)} = Q_{CR,32,min} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot c}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{457 - 84}{2} + \frac{84 \cdot 2,05}{28,5} \right] = 96,27 kN$$

Zatížení jeřábem 50/12,5 t

$$Q_{CR,50,max} = Q_{CR,50,(min)} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot (s - c)}{s} \right] =$$

$$Q_{CR,50,max} = Q_{CR,50,(min)} = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{596 - 113}{2} + \frac{113 \cdot (28,5 - 2,25)}{28,5} \right] = 172,79 kN$$

$$Q_{CR,50,(max)} = Q_{CR,50,min} = \frac{1}{n} \cdot \left[\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t \cdot c}{s} \right] = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{596 - 113}{2} + \frac{113 \cdot 2,25}{28,5} \right] = 125,21 kN$$



7.2.3. Zatížení kladkostroje

Kladkostroj jeřábu 32/8 t

$$Q_{HR,32,max} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot (s - c)}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{320 \cdot (28,5 - 2,05)}{28,5} = 148,49 kN$$

$$Q_{HR,32,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot c}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{320 \cdot 2,05}{28,5} = 11,51 kN$$

Kladkostroj jeřábu 50/12,5 t

$$Q_{HR,50,max} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot (s - c)}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{500 \cdot (28,5 - 2,25)}{28,5} = 230,26 kN$$

$$Q_{HR,50,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q_h \cdot c}{s} = \frac{1}{2} \cdot \frac{500 \cdot 2,25}{28,5} = 19,74 kN$$

7.2.4. rychlení mostového jeřábu**Zrychlení mostového jeřábu 32/8 t****Hnací síla**

$$K_{32} = \mu \cdot m_w \cdot Q_{CR,32,\min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 96,27 = 38,51 kN$$

Podélná vodorovná síla

$$H_{L,32,i} = H_{L,32,1} = H_{L,32,2} = \frac{K_{32}}{n_r} = \frac{38,51}{2} = 19,25 kN$$

Příčná vodorovná síla

$$H_{T,32,1} = \xi_1 \cdot \frac{M}{b} = 0,722 \cdot \frac{243,77}{4,5} = 39,11 kN$$

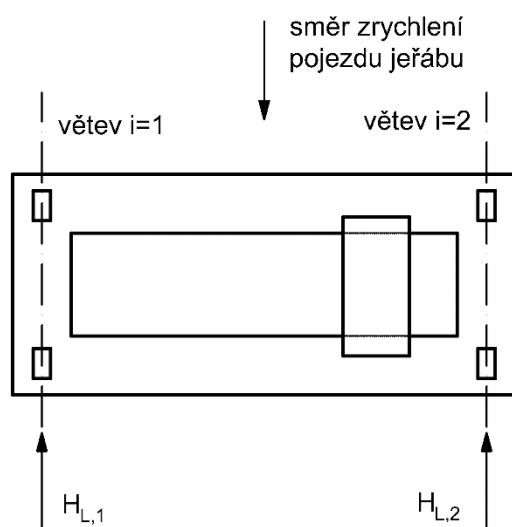
$$H_{T,32,2} = \xi_2 \cdot \frac{M}{b} = 0,278 \cdot \frac{243,77}{4,5} = 15,06 kN$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{n \cdot (Q_{CR,32,\max} + Q_{HR,32,\max})}{Q_C + Q_H} = \frac{2 \cdot (132,23 + 148,49)}{457 + 320} = 0,722$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,722 = 0,278$$

$$M = K_{32} \cdot l_s = 38,51 \cdot 6,33 = 243,77 kNm$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot s = (0,722 - 0,5) \cdot 28,5 = 6,33 m$$



Zrychlení mostového jeřábu 50/12,5 t**Hnací síla**

$$K_{50} = \mu \cdot m_w \cdot Q_{CR,50,\min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 125,21 = 50,08 kN$$

Podélná vodorovná síla

$$H_{L,50,i} = H_{L,50,1} = H_{L,50,2} = \frac{K_{50}}{n_r} = \frac{50,08}{2} = 25,04 kN$$

Příčná vodorovná síla

$$H_{T,50,1} = \xi_1 \cdot \frac{M}{b} = 0,735 \cdot \frac{331,03}{5,6} = 41,24 kN$$

$$H_{T,50,2} = \xi_2 \cdot \frac{M}{b} = 0,265 \cdot \frac{331,03}{5,6} = 14,87 kN$$

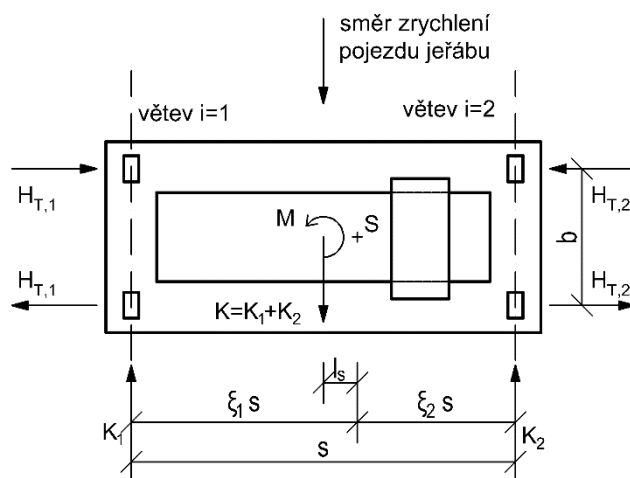
$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,\max}}{\sum Q_r} = \frac{n \cdot (Q_{CR,32,\max} + Q_{HR,32,\max})}{Q_C + Q_H} = \frac{2 \cdot (172,79 + 230,26)}{596 + 500} = 0,735$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,735 = 0,265$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,735 = 0,265$$

$$M = K_{50} \cdot l_s = 50,08 \cdot 6,61 = 331,03 kNm$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot s = (0,735 - 0,5) \cdot 28,5 = 6,61 m$$



7.2.5. Příčení mostu jeřábu

Příčení mostu jeřábu 32/8 t

$$H_{S,32,1,T} = f \cdot \lambda_{S,32,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,139 \cdot (457 + 320) = 32,40 \text{ kN}$$

$$H_{S,32,2,T} = f \cdot \lambda_{S,32,2,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,361 \cdot (457 + 320) = 84,15 \text{ kN}$$

$$\lambda_{S,32,1,T} = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,278}{2} = 0,139$$

$$\lambda_{S,32,2,T} = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,722}{2} = 0,361$$

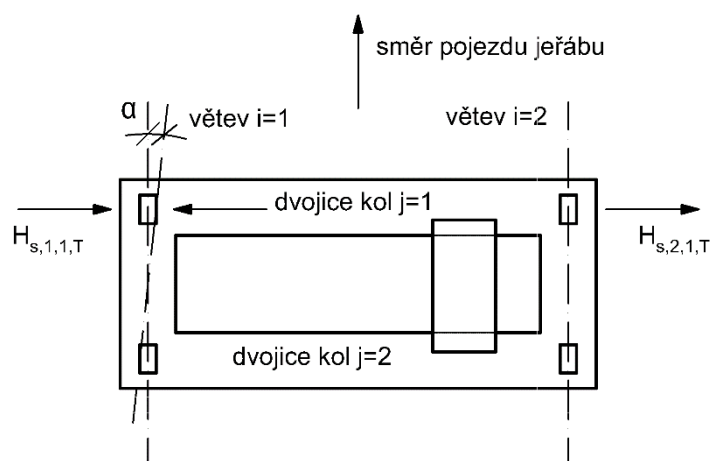
Příčení mostu jeřábu 50/12,5 t

$$H_{S,50,1,T} = f \cdot \lambda_{S,50,1,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,133 \cdot (596 + 500) = 43,73 \text{ kN}$$

$$H_{S,50,2,T} = f \cdot \lambda_{S,50,2,T} \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,368 \cdot (596 + 500) = 121,00 \text{ kN}$$

$$\lambda_{S,50,1,T} = \frac{\xi_2}{n} = \frac{0,265}{2} = 0,133$$

$$\lambda_{S,50,2,T} = \frac{\xi_1}{n} = \frac{0,735}{2} = 0,368$$



7.2.6. Síla od vodícího prostředku jeřábu**Síla od vodícího prostředku jeřábu 32/8 t**

$$S_{32} = f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,5 \cdot (457 + 320) = 116,55 \text{ kN}$$

$$\lambda_s = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

Síla od vodícího prostředku jeřábu 50/12,5 t

$$S_{32} = f \cdot \lambda_s \cdot \sum Q_r = 0,3 \cdot 0,5 \cdot (596 + 500) = 164,40 \text{ kN}$$

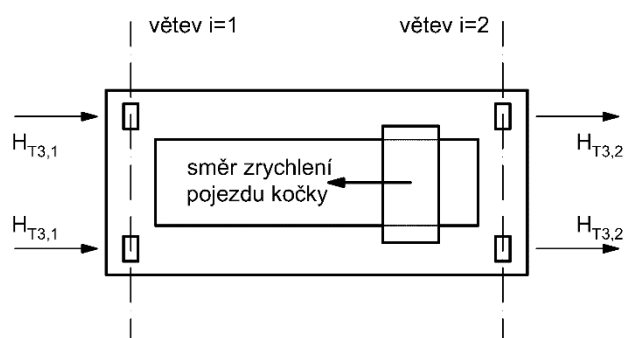
$$\lambda_s = 1 - \frac{1}{n} = 1 - \frac{1}{2} = 0,5$$

7.2.7. Zrychlení kočky**Zrychlení kočky pro jeřáb 32/8 t,**

$$H_{T3,32,i} = H_{T3,32,1} = H_{T3,32,2} = \frac{0,1}{2 \cdot n} \cdot (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{2 \cdot 2} \cdot (320 + 84) = 10,10 \text{ kN}$$

Zrychlení kočky pro jeřáb 50/12,5 t,

$$H_{T3,50,i} = H_{T3,50,1} = H_{T3,50,2} = \frac{0,1}{2 \cdot n} \cdot (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{2 \cdot 2} \cdot (500 + 113) = 15,33 \text{ kN}$$



7.3. Vnitřní síly a reakce

7.3.1. Návrhové hodnoty maximálních svislých tlaků kol jeřábů

$$\gamma_Q = 1,35$$

$$\varphi_1 = 1,1$$

$$\varphi_{2,32} = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_{h,32} = 1,10 + 0,34 \cdot 0,133 = 1,15$$

$$\varphi_{2,50} = \varphi_{2,\min} + \beta_2 \cdot v_{h,50} = 1,10 + 0,34 \cdot 0,083 = 1,13$$

Síly od jeřábů

$$F_{32} = 1,35 \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{CR,32,\max} + \varphi_2 \cdot Q_{HR,32,\max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 132,23 + 1,15 \cdot 148,49) = 427 \text{ kN}$$

$$F_{50} = 1,35 \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{CR,50,\max} + \varphi_2 \cdot Q_{HR,50,\max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 172,79 + 1,13 \cdot 230,26) = 608 \text{ kN}$$

Výslednice soustavy svislých břemen

$$R = F_{32} + 2 \cdot F_{50} = 427 + 2 \cdot 608 = 1643 \text{ kN}$$

Místo působení od prvního břemene zleva

$$a = \frac{F_{50} \cdot 5,6 + F_{32} \cdot 7,13}{R} = \frac{608 \cdot 5,6 + 427 \cdot 7,13}{1643} = 3,93 \text{ m}$$

Reakce způsobené kolovými tlaky

$$R_{a,F} = \frac{608 \cdot (10,763 + 5,163) + 427 \cdot 3,632}{12,0} = 936 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = \frac{608 \cdot (1,237 + 6,837) + 427 \cdot 8,367}{12,0} = 707 \text{ kN}$$

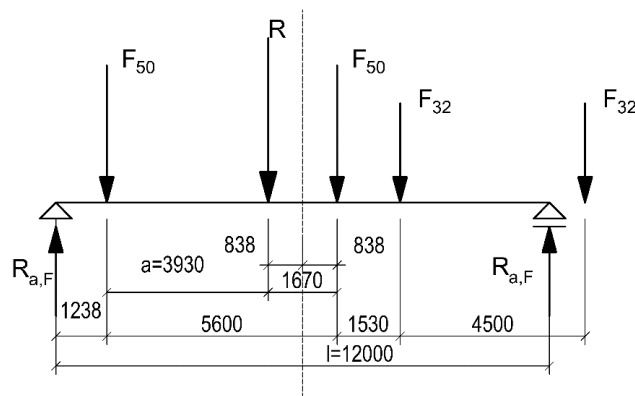
Maximální moment

$$M_{\max,F} = R_{a,F} \cdot 6,837 - F_{50} \cdot 5,6 = 936 \cdot 6,837 - 608 \cdot 5,6 = 2995 \text{ kNm}$$

Odpovídající posouvající síly

$$V_{1,F} = R_{a,F} - F_{50} = 936 - 608 = 328 \text{ kN}$$

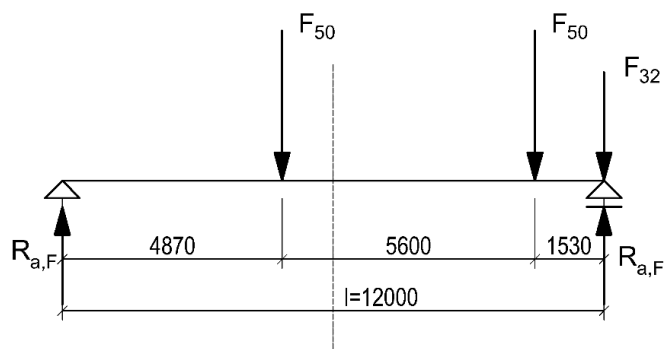
$$V_{2,F} = R_{a,F} - 2 \cdot F_{50} = 936 - 2 \cdot 608 = -280 \text{ kN}$$



Maximální reakce v podpoře

$$R_{a,F} = \frac{F_{50} \cdot (7,13 + 1,53)}{12,0} = \frac{936 \cdot (7,13 + 1,53)}{12,0} = 439 \text{ kN}$$

$$R_{\max,b,F} = 2 \cdot F_{50} + F_{32} - R_{a,F} = 2 \cdot 608 + 427 - 439 = 1204 \text{ kN}$$

**7.3.2. Účinky stálého zatížení**

$$g_d = g_k \cdot \gamma_g = 6,3 \cdot 1,35 = 8,51 \text{ kN/m}$$

$$M_g = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 8,51 \cdot 12^2 = 153 \text{ kNm}$$

$$R_{a,g} = R_{b,g} = \frac{1}{2} \cdot g_d \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 8,51 \cdot 12 = 51 \text{ kNm}$$

7.3.3. Kombinace účinků svislých zatížení

$$M_{Ed} = M_g + M_{\max,F} = 153 + 2995 = 3148 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = V_{1,F} = 328 \text{ kN}$$

$$R_{a,Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51 + 936 = 987 \text{ kN}$$

$$R_{b,Ed} = R_{b,g} + R_{b,F} = 51 + 707 = 758 \text{ kN},$$

$$R_{b,\max,Ed} = R_{\max,b,F} + R_{b,g} = 1204 + 51 = 1255 \text{ kN}$$

7.4. Hlavní nosník jeřábové dráhy – návrh průřezu

7.4.1. Návrh průřezu

Geometrie:

$$h = 1200 \text{ mm}$$

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

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

$$t_{f1} = 40 \text{ mm}$$

$$t_{f2} = 32 \text{ mm}$$

$$e_1 = 562 \text{ mm}$$

$$e_2 = 638 \text{ mm}$$

$$h_w = 1128 \text{ mm}$$

$$h_{w1} = 522 \text{ mm}$$

$$h_{w2} = 606 \text{ mm}$$

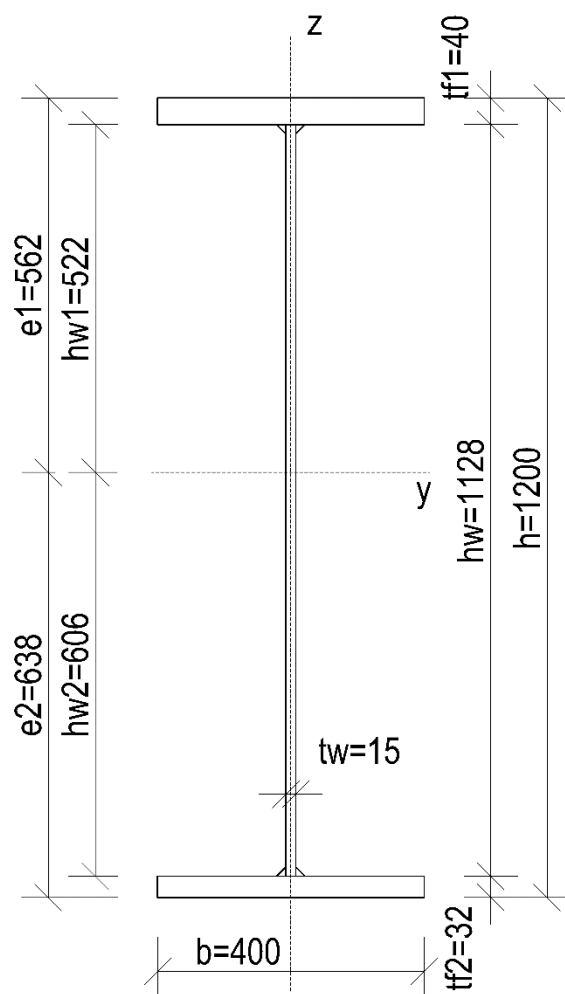
Průřezové charakteristiky:

$$A = 45632 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 11,47 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y,1} = \frac{I_y}{e_1} = \frac{11,47 \cdot 10^9}{562} = 20,4 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y,2} = \frac{I_y}{e_2} = \frac{11,47 \cdot 10^9}{638} = 18,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



7.5. Posouzení rozhodujících průřezů hl. nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol

7.5.1. Posouzení pásnic v krajních vláknech nosníku při normálovém napětí

Zatřívění průřezu:

Pásnice

$$\frac{b - t_w}{2 \cdot t_{f1}} = \frac{400 - 15}{2 \cdot 40} = 4,81 \leq 9 \cdot \varepsilon = 6,73 \quad \text{Průřez tř. I}$$

Stojina

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1128}{15} = 75,2 \leq 62 \cdot \varepsilon \cdot \left(1 + \frac{h_{w2}}{h_{w1}}\right) \cdot \sqrt{\frac{h_{w2}}{h_{w1}}} = 62 \cdot 0,748 \cdot \left(1 + \frac{606}{522}\right) \cdot \sqrt{\frac{606}{522}} = 108$$

Průřez tř. III

Normálová napětí**Horní vlákna**

$$\sigma_{m,1,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{3148 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 154,31 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{420}{1,0} = 420 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

Spodní vlákna

$$\sigma_{m,2,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,2}} = \frac{3148 \cdot 10^3}{18,0 \cdot 10^{-3}} = 174,89 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{420}{1,0} = 420 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

7.5.2. Posouzení stojiny v neutrální ose průřezu při maximálním smykovém napětí

$$\tau_{v,Ed} = \frac{R_{b,max,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{1255 \cdot 10^3 \cdot 10,7 \cdot 10^{-3}}{11,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015} = 78,05 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\tau_{v,Ed} = 78,05 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 242,49 \text{ MPa}$$

$$S_y = \frac{1}{2} \cdot (b \cdot e_1^2 - (b - t_w) \cdot h_{w1}^2) = \frac{1}{2} \cdot (400 \cdot 562^2 - (400 - 15) \cdot 522^2) = 10,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

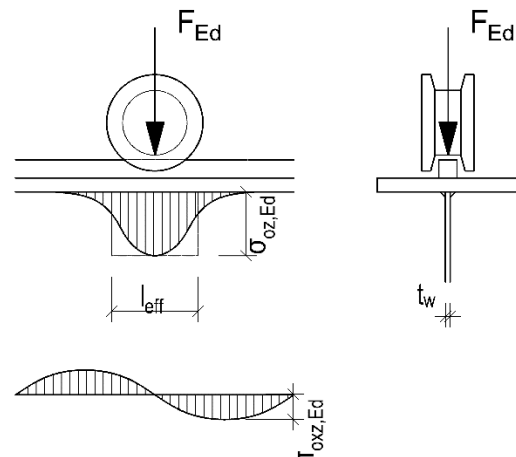
7.5.3. Posouzení stojiny pod kolovým zatížením při interakci napětí**V místě maximálního ohybového napětí****Globální ohybové napětí**

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{3148 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 154,31 \text{ MPa}$$

Globální smykové napětí

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{328 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^{-3}}{11,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015} = 16,53 \text{ MPa}$$

$$S_{f1,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 40 \cdot (2 \cdot 562 - 40) = 8,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



Lokální svislé kolové napětí od kolové síly $F_{50} = 608kN$

$$\sigma_{\sigma z, Ed} = \frac{F_{Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{608 \cdot 10^3}{288 \cdot 15} = 140,74 MPa$$

$$l_{eff} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_R + I_{f1, eff}}{t_w}} = 4,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{3,52 \cdot 10^6 + 1,15 \cdot 10^6}{15}} = 288 mm$$

$$I_R = \frac{1}{12} \cdot b_r \cdot (0,75 \cdot h_r)^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot (0,75 \cdot 100)^3 = 3,52 \cdot 10^6 mm^4$$

$$I_{f1, eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 215 \cdot 40^3 = 1,15 \cdot 10^6 mm^4$$

$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f1} = 100 + 0,75 \cdot 100 + 40 = 215 mm$$

Největší lokální smykové napětí od kolové síly $F_{50} = 608kN$

$$\tau_{\sigma z, Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{\sigma z, Ed} = 0,2 \cdot 140,74 = 28,15 MPa$$

Lokální ohybové napětí od kolové síly $F_{50} = 608kN$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w^3}{I_{f1, t}} \cdot \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi \cdot h_w}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot h_w}{a}\right) - \frac{2\pi \cdot h_w}{a}}}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 1500 \cdot 15^3}{8,00 \cdot 10^6} \cdot \frac{\sinh^2\left(\frac{\pi \cdot 1128}{1500}\right)}{\sinh\left(\frac{2\pi \cdot 1128}{1500}\right) - \frac{2\pi \cdot 1128}{1500}}} = 0,504$$

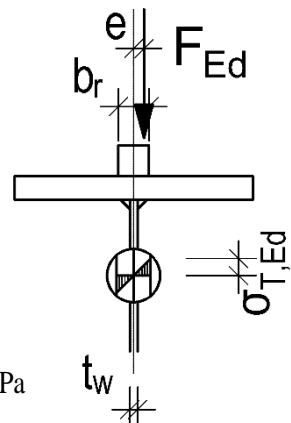
$$I_{f1, t} = \frac{1}{3} \cdot (b - 0,63 \cdot t_{f1}) \cdot t_{f1}^3 = \frac{1}{3} \cdot (400 - 0,63 \cdot 40) \cdot 40^3 = 8,00 \cdot 10^6 mm^4$$

$$T_{Ed} = F_{Ed} \cdot e = 608 \cdot 10^3 \cdot 0,025 = 15,2 kN$$

$$e = 0,25 \cdot b_r = 0,25 \cdot 100 = 25 mm$$

$$e \geq 0,5 \cdot t_w = 0,5 \cdot 15 = 7,5 mm$$

$$\sigma_{T, Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta) = \frac{6 \cdot 15,2}{1,5 \cdot 0,015^2} \cdot 0,504 \cdot \tanh(0,504) = 63,36 MPa$$



Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} = 154,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 140,74 + 63,36 = 204,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 16,53 + 28,15 = 44,68 \text{ MPa}$$

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{1,0}{f_y} \right)^2 =$$

VYHOVÍ

$$(154,31^2 + 204,1^2 - 154,31 \cdot 204,1 + 3 \cdot 44,68^2) \cdot \left(\frac{1,0}{420} \right)^2 = 0,23 \leq 1,0$$

V místě soustavy břemen vyvolujících velkou posouvající sílu současně s osamělým břemenem

Globální smykové napětí

$$\tau_{v,Ed} = \frac{R_{b,max,Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w} = \frac{1255 \cdot 10^3 \cdot 8,67 \cdot 10^{-3}}{11,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,015} = 63,24 \text{ MPa}$$

$$S_{f1,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f1} \cdot (2 \cdot e_1 - t_{f1}) = \frac{1}{2} \cdot 400 \cdot 40 \cdot (2 \cdot 562 - 40) = 8,67 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Lokální napětí vyvozená od kolové síly $F_{50} = 608 \text{ kN}$

$$\sigma_{oz,Ed} = 140,74 \text{ MPa}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 28,15 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{T,Ed} = 63,36 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{x,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 140,74 + 63,36 = 204,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 63,24 + 28,15 = 91,36 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{1,0}{f_y} \right)^2 =$$

VYHOVÍ

$$(0^2 + 204,1^2 - 0 \cdot 204,1 + 3 \cdot 91,36^2) \cdot \left(\frac{1,0}{420} \right)^2 = 0,34 \leq 1,0$$

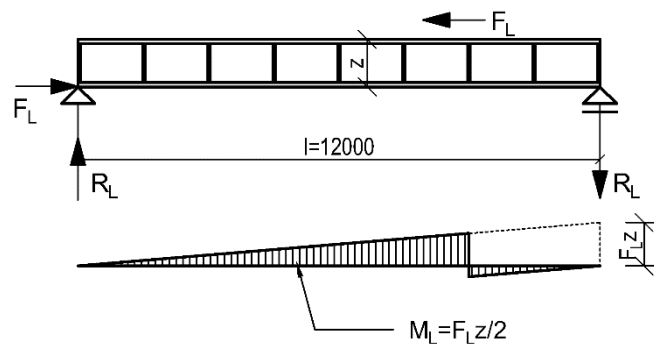
7.5.4. Brzdné síly ve skupině zatížení č. 1 a jejich účinky

Návrhová hodnota brzdné síly podélného pojezdu

Výslednice pro jeřáby 50t a 32t

$$F_L = \gamma_Q \cdot \varphi_3 \cdot \sum H_{L,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot (19,25 + 25,04) = 89,69 \text{ kN}$$

$$z = h + h_r = 1200 + 100 = 1300 \text{ mm}$$



Podporová reakce

$$R_L = \frac{1}{l} \cdot F_L \cdot z = \frac{1}{12,0} \cdot 89,69 \cdot 1,3 = 9,72 \text{ kN}$$

Přibližný moment uprostřed nosníku

$$M_L = \frac{1}{2} \cdot F_L \cdot z = \frac{1}{2} \cdot 89,69 \cdot 1,3 = 58,30 \text{ kN}$$

Globální ohybové napětí od momentu M_L

V horním krajním vlákně

$$\sigma_{ml,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,1}} = \frac{58,30 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 2,86 \text{ MPa}$$

V spodním krajním vlákně

$$\sigma_{ml,Ed} = \frac{M_L}{W_{el,y,2}} = \frac{58,30 \cdot 10^3}{18,0 \cdot 10^{-3}} = 3,24 \text{ MPa}$$

Globální tlakové napětí od osově síly F_L

$$\sigma_{c,Ed} = \frac{F_L}{A} = \frac{89,69 \cdot 10^3}{45632 \cdot 10^{-6}} = 1,97 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota příčné síly vyrovnávající excentricitu podélných brzdných sil

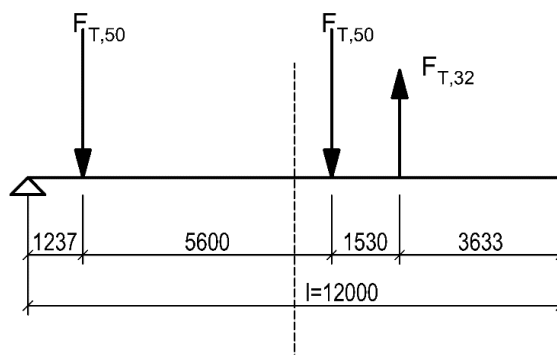
$$F_{T,32} = \gamma_Q \cdot \varphi_3 \cdot H_{T,32,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 15,06 = 30,50 \text{ kN}$$

$$F_{T,50} = \gamma_Q \cdot \varphi_3 \cdot H_{T,50,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 14,87 = 30,11 \text{ kN}$$

Místní ohybový moment M_T a ohybové napětí $\sigma_{mt,Ed}$

$$M_T = 0,8 \cdot \frac{F_{T,32} \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{30,50 \cdot 1,5}{4} = 9,15 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f1,el,z}} = \frac{6 \cdot M_T}{t_{f1} \cdot b^2} = \frac{6 \cdot 9,15 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 0,4^2} = 8,58 \text{ MPa}$$



7.5.5. Posouzení pásnic při jednoosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1

Podmínka spolehlivosti

Účinek zatížení v horní pásnici

$$F = \gamma_Q \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{C,r,max})$$

VYHOVÍ

Účinek zatížení v horní pásnici

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} \leq f_y$$

$$\sigma_{x,Ed} = 174,89 + 3,24 + 1,97 = 180,10 \text{ MPa} \leq 420 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

7.5.6. Posouzení při dvojosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ml,Ed} + \sigma_{c,Ed} = 154,31 + 2,86 + 1,97 = 159,14 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{z,Ed} = \sigma_{oz,Ed} + \sigma_{T,Ed} = 140,74 + 63,36 = 204,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = \tau_{v,Ed} + \tau_{oxz,Ed} = 16,53 + 28,15 = 44,68 \text{ MPa}$$

Podmínka spolehlivosti

$$(\sigma_{x,Ed}^2 + \sigma_{z,Ed}^2 - \sigma_{x,Ed} \cdot \sigma_{z,Ed} + 3 \cdot \tau_{Ed}^2) \cdot \left(\frac{1,0}{f_y} \right)^2 =$$

$$(159,14^2 + 204,1^2 - 159,14 \cdot 204,1 + 3 \cdot 44,68^2) \cdot \left(\frac{1,0}{420} \right)^2 = 0,23 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

7.6. Posouzení rozhodujících průřezů hlavního nosníku jeřábové dráhy pro kombinaci zatížení s maximálními bočními rázy

7.6.1. Účinky svislých tlaků kol obou jeřábů ve skupině zatížení č. 5

Jeřáb 32 t

$$F_{32} = \gamma_Q \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{CR,32,\max} + \varphi_4 \cdot Q_{HR,32,\max}) = 1,35 \cdot (1 \cdot 132,23 + 1 \cdot 148,49) = 378,97 \text{ kN}$$

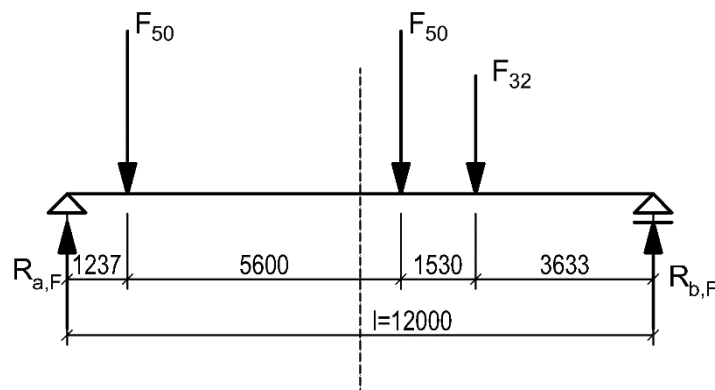
Jeřáb 50 t

$$F_{50} = \gamma_Q \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{CR,50,\max} + \varphi_4 \cdot Q_{HR,50,\max}) = 1,35 \cdot (1 \cdot 172,79 + 1 \cdot 230,26) = 544,12 \text{ kN}$$

Příslušné reakce určené pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jeřábů

$$R_{a,F} = \frac{544 \cdot (10,763 + 5,163) + 379 \cdot 3,632}{12,0} = 837 \text{ kN}$$

$$R_{b,F} = \frac{544 \cdot (1,237 + 6,837) + 379 \cdot 8,367}{12,0} = 481 \text{ kN}$$



Ohybový moment $M_{\max,F}$ pro návrhové zatížení svislými tlaky kol jeřábů

$$M_{\max,F} = R_{a,F} \cdot 6,837 - F_{50} \cdot 5,6 = 837 \cdot 6,837 - 544 \cdot 5,6 = 2676 \text{ kNm}$$

Návrhová hodnota ohybového momentu od kombinace se stálým zatížením

$$M_{Ed} = M_g + M_{\max,F} = 153 + 2676 = 2829 \text{ kNm}$$

Normálové napětí

$$\sigma_{m,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,1}} = \frac{2676 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 131,18 \text{ MPa}$$

7.6.2. Boční rázy ve skupině zatížení č. 5 a jejich účinky

Vodorovná příčná síla od příčení jeřábu

Jeřáb 32 t

$$F_{T,32} = \gamma_Q \cdot H_{S,2,1,T} = 1,35 \cdot 84,15 = 113,60 \text{ kN}$$

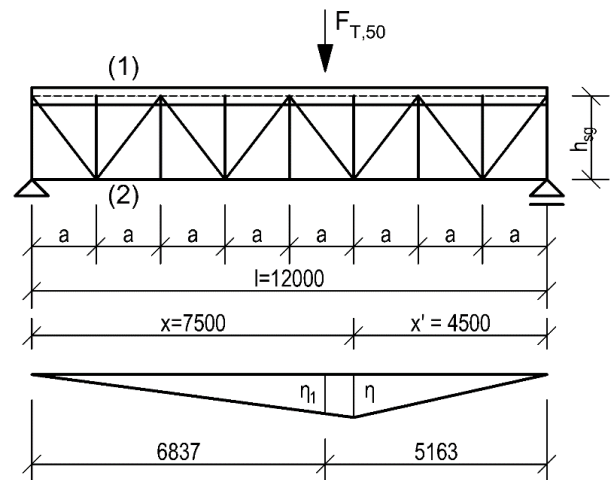
Jeřáb 32 t

$$F_{T,32} = \gamma_Q \cdot H_{S,2,1,T} = 1,35 \cdot 121,00 = 163,35 \text{ kN}$$

Pořadnice příčinkové čáry

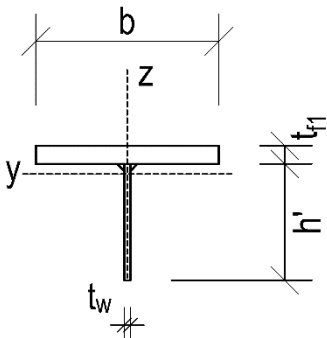
$$\eta = \frac{x \cdot x'}{l} \cdot \frac{1}{h_{sg}} = \frac{7,5 \cdot 4,5}{12,0} \cdot \frac{1}{1,2} = 2,344$$

$$\eta_1 = 2,344 \cdot \frac{6,837}{7,5} = 2,139$$



Osová síla v horním páse hlavního nosníku

$$N_T = F_{T,1} \cdot \eta_1 = 163,35 \cdot 2,139 = 349,41 \text{ kN}$$



Tlakové napětí v průřezu horního pásu

$$A_{ch} = b \cdot t_{f1} + 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w^2 = 400 \cdot 40 + 15 \cdot 0,748 \cdot 15^2 = 1,852 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{ct,Ed} = \frac{N_T}{A_{ch}} = \frac{349,41 \cdot 10^3}{1,852 \cdot 10^4} = 22,09 \text{ MPa}$$

Místní ohybový moment

$$M_T = 0,8 \cdot \frac{F_{T,1} \cdot a}{4} = 0,8 \cdot \frac{163,35 \cdot 1,5}{4} = 44,7 \text{ kN}$$

Ohybové napětí

$$\sigma_{mt,Ed} = \frac{M_T}{W_{f1,el,z}} = \frac{6 \cdot M_T}{t_{f1} \cdot b^2} = \frac{6 \cdot 44,7 \cdot 10^3}{0,04 \cdot 0,4^2} = 41,91 \text{ MPa}$$

7.6.3. Posouzení při dvojosé napjatosti pro kombinaci zatížení se svislými i vodorovnými silami skupiny č. 1

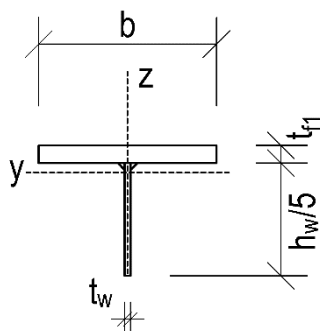
Podmínka spolehlivosti

$$\sigma_{x,Ed} = \sigma_{m,Ed} + \sigma_{ct,Ed} + \sigma_{mt,Ed} \leq f_y$$

$$\sigma_{x,Ed} = 131,18 + 22,09 + 41,91 = 195,18 \text{ MPa} \leq 420 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ

7.7. Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na klopení



Plocha a moment setrvačnosti konvenčního tlačného pásu

$$A_c = b \cdot t_{f1} + \frac{1}{5} \cdot h_w \cdot t_w = 400 \cdot 40 + \frac{1}{5} \cdot 1128 \cdot 15 = 1,938 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_c = \frac{1}{12} \left(t_{f1} \cdot b^3 + \frac{1}{5} \cdot h_w \cdot t_w^3 \right) = \frac{1}{12} \left(40 \cdot 400^3 + \frac{1}{5} \cdot 1128 \cdot 15^3 \right) = 213 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Poměrná štíhlost pásu

$$\bar{\lambda}_f = \frac{L_c}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y \cdot A_c}{E \cdot I_c}} = \frac{1500}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{420 \cdot 10^{-6} \cdot 1,938 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2}{210 \cdot 10^9 \cdot 213 \cdot 10^{-6}}} = 0,20$$

$$\bar{\lambda}_f \leq 0,20 \quad \text{Není nutné uvažovat klopení}$$

7.8. Posouzení hlavního nosníku jeřábové dráhy na boulení

7.8.1. Únosnost průřezu a související parametry

Rozmístění příčných výztuh

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1128}{15} = 75,2 > \frac{72 \cdot \varepsilon}{\eta} = \frac{72 \cdot 0,784}{1,2} = 47,04$$

NÁVRH: Otevřené výztuhy průřezu po obou stranách

- koncové v místech podpor působící jako netuhé
- mezilehlé vzdálenosti $a=1500\text{mm}$ působící jako tuhé

Únosnost ve smyku

$$k_{\tau} = 5,34 \cdot 4 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 5,34 \cdot 4 \cdot \left(\frac{1128}{1500} \right)^2 = 7,60$$

$$\bar{\lambda}_w = \frac{h_w}{37,4 \cdot t_w \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{k_{\tau}}} = \frac{1128}{37,4 \cdot 15 \cdot 0,748 \cdot \sqrt{7,60}} = 0,975$$

$$\chi_w = \frac{0,83}{0,975} = 0,851$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{0,851 \cdot 1128 \cdot 15 \cdot 420}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 3491,55 kN$$

$$c = a \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot b \cdot t_{f2}^2}{t_w \cdot h_w^2} \right) = 1500 \cdot \left(0,25 + \frac{1,6 \cdot 400 \cdot 32^2}{15 \cdot 1128^2} \right) = 427 mm$$

$$V_{bf,Rd} = \frac{b \cdot t_{f2}^2 \cdot f_y}{c \cdot \gamma_{M1}} = \frac{400 \cdot 32^2 \cdot 420}{427 \cdot 1,0} = 402,89$$

Únosnost při místním příčném zatížení

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_{f1} = 288 - 2 \cdot 40 = 208 mm$$

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{400}{15} = 26,67$$

$$m_2 = 0,02 \cdot \left(\frac{h_w}{t_{f1}} \right)^2 = 0,02 \cdot \left(\frac{1128}{40} \right)^2 = 15,90$$

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_{f1} \cdot \left(1 + \sqrt{m_1 + m_2} \right) = 208 + 2 \cdot 40 \cdot \left(1 + \sqrt{26,67 + 15,90} \right) = 810 mm$$

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{1128}{1500} \right)^2 = 7,13$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 7,13 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{15^3}{1128} = 4032 kN$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 7,13 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{15^3}{1128} = 4032 kN$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{0,810 \cdot 0,015 \cdot 420 \cdot 10^6}{4032}} = 1,125$$

$$\chi_F = \frac{0,50}{\bar{\lambda}_f} = \frac{0,50}{1,125} = 0,44$$

$$F_{Rd} = \frac{\chi_F \cdot l_y \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,44 \cdot 0,810 \cdot 0,015 \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 2245,32 \text{ kN}$$

Únosnost při působení normálových napětí

$$W_{f,y} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot t_{f2} \cdot (h + h_w) = \frac{1}{2} \cdot 0,4 \cdot 0,032 \cdot (1,2 + 1,128) = 1,49 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$M_{f,Rd} = \frac{W_{f,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,49 \cdot 10^{-2} \cdot 420 \cdot 10^6}{1} = 6258,0 \text{ kNm}$$

$$x = \frac{1}{2} \cdot \left(h - (t_{f1} - t_{f2}) \cdot \left(\frac{b}{t_w} - 1 \right) \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(1,2 - (0,04 - 0,032) \cdot \left(\frac{0,4}{0,15} - 1 \right) \right) = 0,497 \text{ m}$$

$$W_{pl,y} = t_w \cdot x \cdot (2 \cdot e_1 - x) + t_{f1} \cdot (b - t_w) \cdot (2e_1 - t_{f1}) =$$

$$W_{pl,y} = 0,015 \cdot 0,497 \cdot (2 \cdot 0,562 - 0,497) + 0,040 \cdot (0,4 - 0,015) \cdot (2 \cdot 0,562 - 0,04)$$

$$W_{pl,y} = 2,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$$

$$M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2,14 \cdot 10^{-2} \cdot 420 \cdot 10^3}{1,0} = 8988,0 \text{ kNm}$$

Návrhová osová únosnost průřezu složeného pouze z pásnic

$$\frac{(A_{f1} + A_{f2}) \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(t_{f1} + t_{f2}) \cdot b \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{(40 + 32) \cdot 400 \cdot 420}{1} = 12096,0 \text{ kN}$$

7.8.2. Návrhová osová únosnost průřezu průřezů pro kombinaci zatížení s maximálními svislými tlaky kol

Případ s významným ohybovým momentem

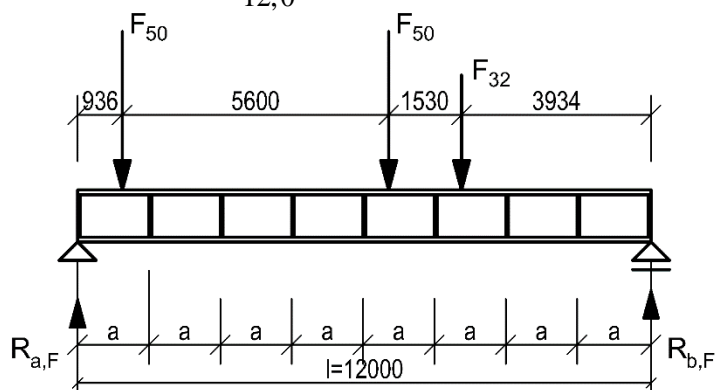
$$R = 2 \cdot F_{50} + F_{32} = 2 \cdot 608 + 428 = 1644 \text{ kN}$$

Vzdálenost x

$$a_m = \min(0,4 \cdot a; 0,5 \cdot h_w) = \min(0,4 \cdot 1500; 0,5 \cdot 1128) = \min(600; 564) = 564$$

$$x = a - a_m = 1500 - 564 = 936 \text{ mm}$$

$$R_{a,F} = \frac{608 \cdot (11,064 + 5,464) + 427 \cdot 3,934}{12,0} = 977,40 \text{ kN}$$

**Účinky na koncové pole**

$$M_{Ed} = R_{a,F} \cdot x = 977,4 \cdot 936 = 914,48 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = F_L = 89,69 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = M_T = 9,15 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 977,4 = 1028,5 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 608 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu při působení normálových napětí

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el,y,l}} + \sigma_{c,Ed} + \sigma_{mt,Ed} \leq f_y$$

$$\sigma_{x,Ed} = \frac{914,48 \cdot 10^6}{2,05 \cdot 10^7} + 1,97 + 8,58 = 55,16 \text{ MPa} \leq 420 \text{ MPa}$$

VYHOVÍ**Únosnost průřezu ve smyku**

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{1028,5}{3491,55 + 402,89} = 0,26 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

Únosnost průřezu při místním příčném zatížení

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{608}{2245,32} = 0,27 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**Únosnost průřezu při interakci ohybu a smyku**

$$M_{Ed} = 914,48 \text{ kNm} \leq M_{f,Rd} = 6258,0 \text{ kNm}$$

VYHOVÍ

$$V_{Ed} = 914,48 \text{ kN} \leq V_{bw,Rd} = 3491,55 \text{ kN}$$

VYHOVÍ**Únosnost průřezu při interakci ohybu, tlaku a smyku**

$$M_{Ed} \leq \left(1 - \frac{N_{Ed}}{12096,0}\right) \cdot M_{f,Rd}$$

$$914,48 \leq 6211,60$$

VYHOVÍ

$$914,48 \leq \left(1 - \frac{89,69}{12096,0}\right) \cdot 6258,0$$

Únosnost průřezu při interakci ohybu, tlaku a osamělé příčné síly

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \cdot \sigma_{x,Ed} \cdot \frac{\gamma_{M0}}{f_y} = \frac{608}{2245,32} + 0,8 \cdot 55,16 \cdot \frac{1,0}{420} = 0,28 \leq 1,4 \quad \text{VYHOVÍ}$$

Případ bez ohybového momentu

$$N_{Ed} = F_L = 89,69 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 1643 = 1694,1 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = F_1 = 608 \text{ kN}$$

Únosnost průřezu ve smyku

$$\frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd} + V_{bf,Rd}} = \frac{1694,1}{3491,55 + 402,89} = 0,43 \leq 1,0$$

VYHOVÍ**Únosnost průřezu při interakci tlaku a smyku**

$$V_{Ed} = 1694,1 \text{ kN} \leq V_{bw,Rd} = 3491,55 \text{ kN}$$

VYHOVÍ

7.8.3. Posouzení koncových výztuh

Návrh koncové výztuhy: 2xPx110x15, svary a=6mm

Spolupůsobící šířka: $s_1 = 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w = 15 \cdot \varepsilon \cdot 15 = 168 \text{ mm}$

$$A_{st} = t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w) + t_w \cdot (s_1 + s_0) = 15 \cdot (2 \cdot 110 + 15) + 15 \cdot (168 + 10) = 6195 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} (t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w)^3 + t_w^3 \cdot (s_1 + s_0)) =$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} (15 \cdot (2 \cdot 110 + 15)^3 + 15^3 \cdot (168 + 10)) = 16,27 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení na vzpěr

$$N_{Ed} = 1694,1 \text{ kN}$$

$$l_{st,cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot 1128 = 846 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{E \cdot I_{st}}} = \frac{0,846}{\pi} \sqrt{\frac{6195 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{210 \cdot 10^9 \cdot 16,27 \cdot 10^{-6}}} = 0,235$$

Křivka vzpěrné pevnosti „c“: $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,235 - 0,2) + 0,235^2] = 0,536$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,536 + \sqrt{0,536^2 - 0,235^2}} = 0,982$$

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,982 \cdot 6195 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 2555,56 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{1694,1}{2555,56} = 0,66 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

7.8.4. Posouzení mezilehlých výztuh

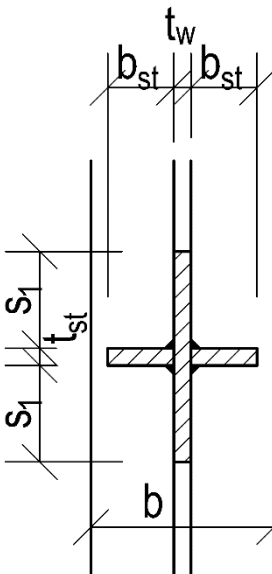
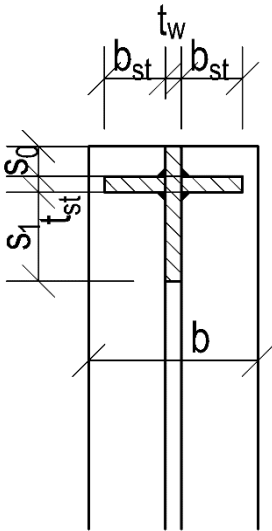
Návrh koncové výztuhy: 2xPx110x10, svary a=4mm

Spolupůsobící šířka: $s_1 = 15 \cdot \varepsilon \cdot t_w = 15 \cdot \varepsilon \cdot 15 = 168 \text{ mm}$

$$A_{st} = t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w) + t_w \cdot 2 \cdot s_1 = 10 \cdot (2 \cdot 110 + 15) + 15 \cdot 2 \cdot 168 = 7390 \text{ mm}^2$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} (t_{st} \cdot (2 \cdot b_{st} + t_w)^3 + t_w^3 \cdot (s_1 + s_0)) =$$

$$I_{st} = \frac{1}{12} (10 \cdot (2 \cdot 110 + 15)^3 + 15^3 \cdot 2 \cdot 168) = 10,91 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



Posouzení na normálová napětí v nosníku

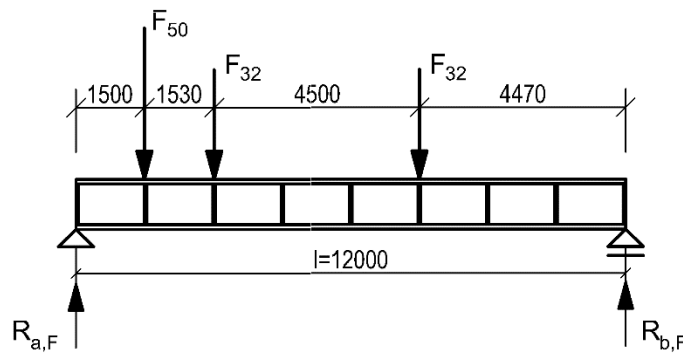
Vzhledem k tomu, že stojina je zatříděna jako průřez kategorie III (viz. 7.5.1) a není náchylná k boulení, nevytvoří se do výztuhy žádné akce.

Posouzení na smyk a osamělou příčnou sílu**Ověření tuhosti**

$$I_{st} = 10,91 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \geq 11,5 \cdot \frac{h_w^3 \cdot t_w^3}{a^2} = 11,5 \cdot \frac{1128^3 \cdot 15^3}{1500^2} = 3,23 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \text{ VYHOVÍ}$$

Ověření pevnosti

$$R_{a,F} = \frac{F_1 \cdot 10,5 + F_2 \cdot (8,97 + 4,47)}{12,0} = \frac{608 \cdot 10,5 + 427 \cdot (8,97 + 4,47)}{12,0} = 1010,24 \text{ kN}$$

**Osová síla**

$$N_{st,ten} = V_{Ed} - \frac{h_w \cdot t_w}{\lambda_w^2} \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = (1010,24 + 51,1) - \frac{1,128 \cdot 0,015}{0,975^2} \cdot \frac{420 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = -4314,92 < 0$$

$$N_{st,ten} = 0$$

Pro stojinu kategorie III můžeme uvažovat:

$$\Delta N_{st} = 0$$

$$N_{st,Ed} = F_{Ed} + N_{st,ten} + \Delta N_{st} = 608 + 0 + 0 = 608 \text{ kN}$$

$$l_{st,cr} = 0,75 \cdot h_w = 0,75 \cdot 1128 = 846 \text{ mm}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_{st,cr}}{\pi} \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{E \cdot I_{st}}} = \frac{0,846}{\pi} \sqrt{\frac{7390 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{210 \cdot 10^9 \cdot 3,23 \cdot 10^{-6}}} = 0,576$$

Křivka vzpěrné pevnosti „c“: $\alpha = 0,49$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (0,576 - 0,2) + 0,576^2 \right] = 0,758$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{0,758 + \sqrt{0,758^2 - 0,576^2}} = 0,799$$

$$N_{st,b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,799 \cdot 7390 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 2481,46 kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{608}{2481,46} = 0,25 < 1,00 \quad \text{VYHOVÍ}$$

7.8.5. Posouzení účinného podepření tlačena pásnice stojinou

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1,128}{0,015} = 75,2 \leq \frac{k \cdot E}{f_y} \cdot \sqrt{\frac{A_w}{A_{fc}}} = \frac{0,3 \cdot 210 \cdot 10^9}{420 \cdot 10^6} \cdot \sqrt{\frac{1,128 \cdot 0,015}{0,4 \cdot 0,04}} = 154,25$$

VYHOVÍ

7.9. Posouzení spoje stojiny a pásnice nosníku (krčních svarů)

Krční svary pod horní pásnicí

Návrh: $a = 12 mm$

$$V_{Ed} = R_{a,g} + R_{a,F} = 51,1 + 1643 = 1694,1 kN$$

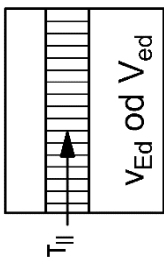
$$F_{Ed} = F_1 = 608 kN$$

$$T_{Ed} = 15,2 kNm$$

Napětí od posouvající síly V_{Ed}

$$\nu_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{1694,1 \cdot 10^3}{1,128} = 1501,86 kN / m$$

$$\tau_{||} = \frac{\nu_{Ed}}{2 \cdot a} = \frac{1501,86 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,012} = 62,58 MPa$$

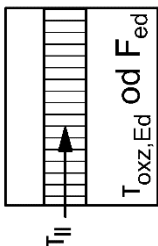


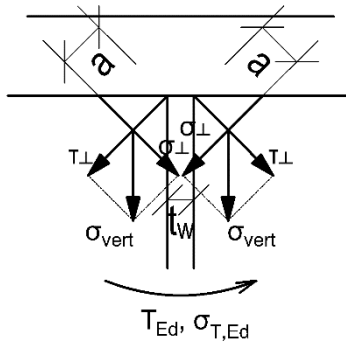
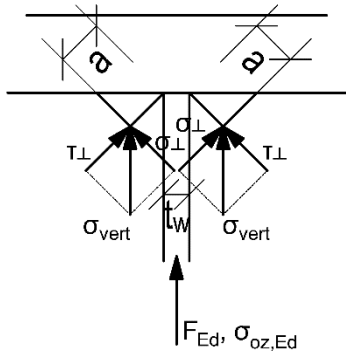
Napětí od kolového zatížení F_{Ed}

$$\sigma_{vert} = \sigma_{oz,Ed} \cdot \frac{t_w}{2 \cdot a + t_w} = 140,74 \cdot \frac{0,015}{2 \cdot 0,012 + 0,015} = 54,13 MPa$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{54,13}{\sqrt{2}} = 38,28 MPa$$

$$\tau_{||} = \tau_{oxz,Ed} \cdot \frac{t_w}{2 \cdot a} = 28,15 \cdot \frac{0,015}{2 \cdot 0,012} = 17,59 MPa$$





Napětí od kroutícího momentu T_{Ed}

$$\sigma_{vert} = \sigma_{T,Ed} \cdot \frac{1,0 \cdot t_w^2}{6 \cdot W} = 63,36 \cdot \frac{1,0 \cdot 15^2}{2 \cdot 233,63} = 10,17 MPa$$

$$W = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)^3 - (\sqrt{2} - 1) \cdot t_w^3}{6 \cdot (t_w + \sqrt{2} \cdot a)} =$$

$$W = 1,0 \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot (15 + \sqrt{2} \cdot 12)^3 - (\sqrt{2} - 1) \cdot 15^3}{6 \cdot (15 + \sqrt{2} \cdot 12)} = 233,63 mm^3$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{vert}}{\sqrt{2}} = \frac{10,17}{\sqrt{2}} = 7,19 MPa$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sum \tau_{\perp} = 38,28 + 7,19 = 45,47 MPa$$

$$\sum \sigma_{\perp} = 38,28 + 7,19 = 45,47 MPa$$

$$\sum \tau_{\parallel} = 62,58 + 17,59 = 80,17 MPa$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{45,47^2 + 3 \cdot (45,47^2 + 80,17^2)} = 165,99 MPa$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416 MPa \geq 165,99 MPa$$

VYHOVÍ

$$\frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{520}{1,25} = 416 MPa \geq \sigma_{\perp} = 45,47 MPa$$

VYHOVÍ

Krční svary nad spodní pásnicí

Návrh: $a = 6 mm$

$$V_{Ed} = R_{b,Ed} = 1255 kN$$

Napětí od posouvající síly V_{Ed}

$$\nu_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{h_w} = \frac{1255 \cdot 10^3}{1,128} = 1112,59 kN / m$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{\nu_{Ed}}{2 \cdot a} = \frac{1112,59 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,006} = 92,72 MPa$$

Podmínka spolehlivosti

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0 + 3 \cdot (0 + 92,72^2)} = 160,60 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{520}{1,0 \cdot 1,25} = 416 \text{ MPa} \geq 160,60 \text{ MPa} \quad \text{VYHOVÍ}$$

7.10. Mezní stav použitelnosti**7.10.1. Svislé průhyby nosníku****Kritéria použitelnosti****Zabránění nadměrnému sklonu od průhybu**

$$\delta_{z,Cd} = \frac{l}{600} = \frac{12000}{600} = 20 \text{ mm}$$

Vyloučení nadměrných vibrací

$$\delta_{z,Cd} = 25 \text{ mm}$$

Zabránění nadměrného naklonění jeřábu – mezní hodnota rozdílu svislých průhybů

$$\Delta h_{c,Cd} = \frac{s}{600} = \frac{28750}{600} = 47,9 \text{ mm}$$

Charakteristické hodnoty statických složek maximálních svislých tlaků kol na jedné větvi jeřábové dráhy**Pro jeřáb 32/8 t**

$$F_{32} = Q_{C,32,r,\max} + Q_{H,32,r,\max} = 132,23 + 148,49 = 280,72 \text{ kN}$$

Pro jeřáb 50/12,5 t

$$F_{50} = Q_{C,50,r,\max} + Q_{H,50,r,\max} = 172,79 + 230,26 = 403,05 \text{ kN}$$

Charakteristické hodnoty statických složek minimálních svislých tlaků kol na druhé větvi jeřábové dráhy**Pro jeřáb 32/8 t**

$$F_{32} = Q_{C,32,r,(\max)} + Q_{H,32,r,(\max)} = 96,27 + 11,51 = 107,78 \text{ kN}$$

Pro jeřáb 50/12,5 t

$$F_{50} = Q_{C,50,r,(\max)} + Q_{H,50,r,(\max)} = 125,21 + 19,74 = 144,95 \text{ kN}$$

Výpočet průhybu pomocí příčinkových čar**Pořadnice příčinkové čáry pro jednotlivá zatížení**

$$x_1 = 2,090m$$

$$x_2 = 4,310m$$

$$x_3 = 2,780m$$

Poměr $\frac{x_i}{l}$ a odpovídající pořadnice příčinkové čáry

$$\frac{x_1}{l} = \frac{2,090}{12,0} = 0,174$$

$$\eta_1 = 49690$$

$$\frac{x_2}{l} = \frac{4,130}{12,0} = 0,359$$

$$\eta_2 = 88480$$

$$\frac{x_3}{l} = \frac{2,780}{12,0} = 0,232$$

$$\eta_3 = 64080$$

Průhyb vyvolaný maximálními svislými tlaky kol na jedné větvi jeřábové dráhy

$$\delta_{F,\max} = \frac{l^3}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot \eta_i = \frac{12,0^3}{11,47 \cdot 10^9} \cdot (403,5 \cdot 49690 + 403,5 \cdot 88480 + 208,72 \cdot 64080) =$$

$$\delta_{F,\max} = 10,41mm$$

Průhyb vyvolaný minimálními svislými tlaky kol na druhé větvi jeřábové dráhy

$$\delta_{F,(\max)} = \frac{l^3}{I_y} \cdot \sum_{i=1}^n F_i \cdot \eta_i = \frac{12,0^3}{11,47 \cdot 10^9} \cdot (144,95 \cdot 49690 + 144,95 \cdot 88480 + 107,78 \cdot 64080) =$$

$$\delta_{F,(\max)} = 4,06mm$$

Průhyb od stálého zatížení

$$\delta_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{g \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,3 \cdot 12000^4}{210 \cdot 10^9 \cdot 11,47 \cdot 10^9} = 0,71mm$$

Výsledné průhyby

$$\delta_z = \delta_{F,\max} + \delta_g = 10,41 + 0,71 = 11,12mm \leq \min \{ \delta_{z,Cd} \} = \min \{ 20; 25 \} = 20mm$$

VYHOVÍ

$$\Delta h_c = \delta_{F,\max} - \delta_{F,(\max)} = 10,41 - 4,06 = 6,35mm \leq \Delta h_{c,Cd} = 47,9mm$$

VYHOVÍ**7.10.2. Štíhlost stojiny**

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1128}{15} = 75,2 \leq 120$$

VYHOVÍ

7.10.3. Štíhlost pásnice

$$L_t = \frac{l}{4} = \frac{12000}{4} = 3000 \text{ mm}$$

$$i_{t,z} = b \cdot 12^{-0,5} = 400 \cdot 12^{-0,5} = 115 \text{ mm}$$

$$\frac{L_t}{i_{t,z}} = \frac{3000}{115} = 26,1 \leq 250$$

VYHOVÍ**7.11. Mezní stav únosnosti - únava**

Posouzení vybraných detailů jeřábové dráhy na únavovou pevnost.

7.11.1. Posouzení pásnic pro rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

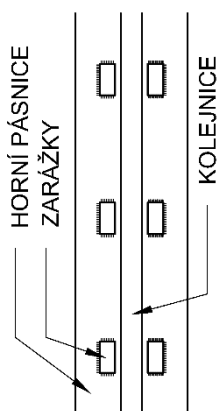
Rozhodující detaily:

Horní pásnice: připojení zarážek pro kolejnici jeřábové dráhy pomocí zarážek

- referenční únavová pevnost: $\Delta\sigma_c = 80 \text{ MPa}$

Dolní pásnice: průběžné krční koutové svary

- referenční únavová pevnost: $\Delta\sigma_c = 112 \text{ MPa}$



Břemena působící rozkmit (jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující nezávisle na sobě)

Součinitel ekvivalentního poškození: $\lambda_\sigma = 0,630$ $\lambda_\tau = 0,758$

Jeřáb 50/12 t

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1+\varphi_1}{2} = \frac{1+1,1}{2} = 1,05 \quad \varphi_{fat,2} = \frac{1+\varphi_2}{2} = \frac{1+1,13}{2} = 1,07$$

$$F_{50} = Q_{e,C} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{CR,50,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{HR,50,max} =$$

$$F_{50} = Q_{e,C} = 1,05 \cdot 0,630 \cdot 172,79 + 1,07 \cdot 0,630 \cdot 230,26 = 269,52 \text{ kN}$$

Jeřáb 32/8 t

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1+\varphi_1}{2} = \frac{1+1,1}{2} = 1,05 \quad \varphi_{fat,2} = \frac{1+\varphi_2}{2} = \frac{1+1,15}{2} = 1,08$$

$$F_{32} = Q_{e,C} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{CR,32,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{HR,32,max} =$$

$$F_{32} = Q_{e,C} = 1,05 \cdot 0,630 \cdot 132,23 + 1,08 \cdot 0,630 \cdot 148,48 = 187,56 \text{ kN}$$

Břemena působící rozkmit (jeřáby 50/12,5 t a 32/8 t pracující jako spřažené)

Součinitel ekvivalentního poškození: $\lambda_{\sigma, \text{dup}} = 0,397$ $\lambda_{\tau, \text{dup}} = 0,871$

Jeřáb 50/12 t

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05 \quad \varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,13}{2} = 1,07$$

$$F_{50} = Q_{e,C} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\sigma, \text{dup}} \cdot Q_{CR,50,\text{max}} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\sigma, \text{dup}} \cdot Q_{HR,50,\text{max}} =$$

$$F_{50} = Q_{e,C} = 1,05 \cdot 0,397 \cdot 172,79 + 1,07 \cdot 0,397 \cdot 230,26 = 169,84 \text{ kN}$$

Jeřáb 32/8 t

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05 \quad \varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,15}{2} = 1,08$$

$$F_{32} = Q_{e,C} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\sigma, \text{dup}} \cdot Q_{CR,32,\text{max}} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\sigma, \text{dup}} \cdot Q_{HR,32,\text{max}} =$$

$$F_{32} = Q_{e,C} = 1,05 \cdot 0,397 \cdot 132,23 + 1,08 \cdot 0,397 \cdot 148,48 = 118,19 \text{ kN}$$

Příčinková čára pro určení rozkmitu**Samostatně působící jeřáb 50/12,5 t**

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,4 \cdot 4,6}{12,0} = 2,837 \text{ m} \quad \eta_2 = 2,895 \cdot \frac{1,8}{7,4} = 0,690 \text{ m}$$

Samostatně působící jeřáb 32/8 t

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{7,125 \cdot 4,875}{12,0} = 2,895 \text{ m} \quad \eta_2 = 2,895 \cdot \frac{2,625}{7,125} = 1,067 \text{ m}$$

Současně působící jeřáby 32/8 t a 50/12,5 t

$$\eta_1 = \frac{x \cdot x'}{l} = \frac{6,845 \cdot 5,155}{12,0} = 2,940 \text{ m} \quad \eta_2 = 2,940 \cdot \frac{1,245}{6,845} = 0,535 \text{ m}$$

$$\eta_3 = 2,940 \cdot \frac{3,625}{5,155} = 2,067 \text{ m}$$

Ekvivalentní rozkmit ohybového momentu**Samostatně působící jeřáb 50/12,5 t**

$$\Delta M_{E2,1} = F_{50} \cdot (\eta_2 + \eta_1) = 269,52 \cdot (2,837 + 0,690) = 950,60 \text{ kNm}$$

Samostatně působící jeřáb 32/8 t

$$\Delta M_{E2,1} = F_{32} \cdot (\eta_2 + \eta_1) = 187,56 \cdot (2,895 + 1,067) = 743,11 \text{ kNm}$$

Současně působící jeřáby 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta M_{E2,\text{dup}} = F_{50} \cdot (\eta_2 + \eta_1) + F_{32} \cdot \eta_3 = 169,84 \cdot (0,535 + 2,940) + 118,19 \cdot 2,067 = 834,49 \text{ kNm}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí v horní pásnici v oblasti připojení zarážek

Samostatně působící jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,1} = \frac{\Delta M_{E2,1}}{W_{el,y,1}} = \frac{950,60 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 46,60 MPa$$

Samostatně působící jeřáb 32/8 t

$$\Delta\sigma_{E2,2} = \frac{\Delta M_{E2,2}}{W_{el,y,1}} = \frac{743,11 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 36,43 MPa$$

Současně působící jeřáby 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,dup} = \frac{\Delta M_{E2,dup}}{W_{el,y,1}} = \frac{834,49 \cdot 10^3}{20,4 \cdot 10^{-3}} = 40,91 MPa$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí ve spodní pásnici v oblasti krčních svarů

Samostatně působící jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,1} = \frac{\Delta M_{E2,1}}{I_y} \cdot h_{w2} = \frac{950,60 \cdot 10^3}{11,47 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,606 = 50,22 MPa$$

Samostatně působící jeřáb 32/8 t

$$\Delta\sigma_{E2,2} = \frac{\Delta M_{E2,2}}{I_y} \cdot h_{w2} = \frac{743,11 \cdot 10^3}{11,47 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,606 = 39,26 MPa$$

Současně působící jeřáby 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,dup} = \frac{\Delta M_{E2,dup}}{I_y} \cdot h_{w2} = \frac{834,49 \cdot 10^3}{11,47 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,606 = 44,09 MPa$$

Výpočet únavového poškození zahrnujícího lineární kumulaci únavových poškození

- referenční únavová pevnost $\Delta\sigma_C = 80 MPa$
- dílčí součinitel únavového zatížení pro jeřáby $\gamma_{Ff} = 1,0$
- dílčí součinitel únavové pevnosti $\gamma_{Mf} = 1,35$
(závažné následky, metoda bezpečné životnosti)

Horní pásnice v oblasti připojení zarážek

$$D_{\sigma} = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{E2,1}^3 + \Delta\sigma_{E2,2}^3 + \Delta\sigma_{E2,dup}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 =$$

NEVYHOVÍ

$$D_{\sigma} = 1,0 \cdot (46,60^3 + 36,43^3 + 40,91^3) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^3 = 1,05$$

Spodní pásnice v oblasti krčních svarů

$$D_{\sigma} = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{E2,1}^3 + \Delta\sigma_{E2,2}^3 + \Delta\sigma_{E2,dup}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 =$$

VYHOVÍ

$$D_{\sigma} = 1,0 \cdot (50,22^3 + 39,26^3 + 44,09^3) \cdot \left(\frac{1,35}{112} \right)^3 = 0,48$$

NÁVRH: zvětšení tloušťky spodní pásnice

$$t_{f1} = 45mm \quad t_{f2} = 35mm$$

Geometrie:

$$h = 1200mm \quad e_1 = 555,8mm$$

$$b = 400mm \quad e_2 = 644,2mm$$

$$t_w = 15mm \quad h_w = 1120mm$$

$$t_{f1} = 45mm \quad h_{w1} = 510,8mm$$

$$t_{f2} = 35mm \quad h_{w2} = 609,2mm$$

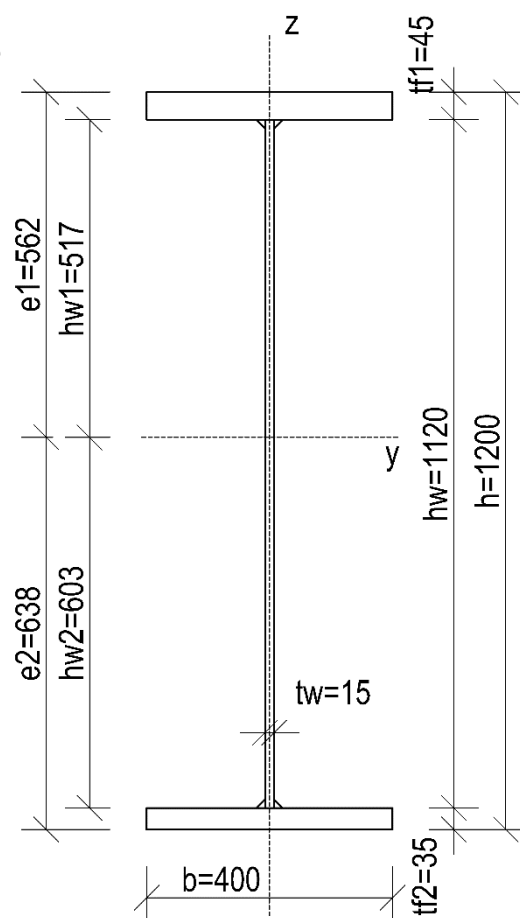
Průřezové charakteristiky:

$$A = 48800mm^2$$

$$I_y = 12,42 \cdot 10^9 mm^4$$

$$W_{el,y,1} = \frac{I_y}{e_1} = \frac{12,42 \cdot 10^9}{510,8} = 24,31 \cdot 10^6 mm^3$$

$$W_{el,y,2} = \frac{I_y}{e_2} = \frac{12,42 \cdot 10^9}{609,2} = 20,39 \cdot 10^6 mm^3$$



Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého normálového napětí v horní pásnici v oblasti připojení zarážek

Samostatně působící jeřáb 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,1} = \frac{\Delta M_{E2,1}}{W_{el,y,1}} = \frac{950,60 \cdot 10^3}{24,31 \cdot 10^{-3}} = 39,10 MPa$$

Samostatně působící jeřáb 32/8 t

$$\Delta\sigma_{E2,2} = \frac{\Delta M_{E2,2}}{W_{el,y,1}} = \frac{743,11 \cdot 10^3}{24,31 \cdot 10^{-3}} = 30,57 MPa$$

Současně působící jeřáby 32/8 t a 50/12,5 t

$$\Delta\sigma_{E2,dup} = \frac{\Delta M_{E2,dup}}{W_{el,y,1}} = \frac{834,49 \cdot 10^3}{24,31 \cdot 10^{-3}} = 34,33 MPa$$

Horní pásnice v oblasti připojení zarážek

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot (\Delta\sigma_{E2,1}^3 + \Delta\sigma_{E2,2}^3 + \Delta\sigma_{E2,dup}^3) \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 =$$

$$D_\sigma = 1,0 \cdot (39,10^3 + 30,57^3 + 34,33^3) \cdot \left(\frac{1,35}{80} \right)^3 = 0,62$$

VÝHODÍ

8. Sloupy a příčná vazba

- sloupy jsou navrženy jako plnostěnné a jejich vzdálenost je 12m

8.1. Zatížení

8.1.1. Stále

Vlastní tíha sloupu

Špička (odhad vlastní tíhy 2kN/m)

$$G_h = \gamma_G \cdot l_h \cdot 2 = 1,35 \cdot 6,5 \cdot 2 = 17,55 \text{ kN}$$

Dřík (odhad vlastní tíhy 3kN/m)

$$G_d = \gamma_G \cdot l_d \cdot 2 = 1,35 \cdot 10,3 \cdot 3 = 41,72 \text{ kN}$$

Střešní konstrukce

Střešní vaznice (tíha jedné vaznice 2,99kN), **střešní vazník** (tíha jednoho vazníku 31,64kN), **střešní plášť** (tíha střešního pláště 0,51kN/m²)

$$G_s = \gamma_G \cdot (5,5 \cdot 2,99 + 0,5 \cdot 31,64 + 0,51 \cdot l \cdot \frac{L}{0,5}) =$$

$$G_s = 1,35 \cdot (5,5 \cdot 2,99 + 0,5 \cdot 31,46 + 0,51 \cdot 12,0 \cdot 15,0) = 167,49 \text{ kN}$$

Jeřábová dráha (vlastní tíha 6,3kN/m)

$$G_j = \gamma_G \cdot 5,5 \cdot l = 1,35 \cdot 5,5 \cdot 12,0 = 89,1 \text{ kN}$$

8.1.2. Proměnné

Sníh

$$S = \gamma_Q \cdot s \cdot l \cdot \frac{L}{2} = 1,50 \cdot 0,8 \cdot 12,0 \cdot 15,0 = 216,0 \text{ kN}$$

$$S' = 0,5 \cdot S = 0,5 \cdot 216,0 = 108,0 \text{ kN}$$

Vítr

$$q_p(z) = 0,747 \text{ kN} / \text{m}^2$$

Oblast	C_{pi}	$q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	$W_i [\text{kN/m}^2]$
W ₁	0,8	0,747	0,60
W ₂	-0,7	0,747	-0,52
W ₃	-0,5	0,747	-0,45
W ₄	-0,5	0,747	-0,37

Svislé účinky

$$P_l = \gamma_Q \cdot (0,375 \cdot w_2 + 0,125 \cdot w_3) \cdot l \cdot L =$$

$$P_l = 1,5 \cdot (0,375 \cdot (-0,52) + 0,125 \cdot (-0,45)) \cdot 12 \cdot 30 = 135,70 \text{ kN}$$

$$P_p = \gamma_Q \cdot (0,125 \cdot w_2 + 0,375 \cdot w_3) \cdot l \cdot L =$$

$$P_p = 1,5 \cdot (0,125 \cdot (-0,52) + 0,375 \cdot (-0,45)) \cdot 12 \cdot 30 = 126,23 \text{ kN}$$

Vodorovné účinky

$$v_l = \gamma_Q \cdot w_1 \cdot \frac{l}{2} = 1,5 \cdot 0,60 \cdot \frac{12}{2} = 5,4 \text{ kN / m}$$

$$v_p = \gamma_Q \cdot w_4 \cdot \frac{l}{2} = 1,5 \cdot (-0,45) \cdot \frac{12}{2} = -4,05 \text{ kN / m}$$

$$V_l = \gamma_Q \cdot w_1 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l_h + l_d}{2} \right) = 1,5 \cdot 0,60 \cdot \frac{12}{2} \cdot \left(\frac{6,5 + 10,3}{2} \right) = 45,36 \text{ kN}$$

$$V_p = \gamma_Q \cdot w_4 \cdot \frac{l}{2} \cdot \left(\frac{l_h + l_d}{2} \right) = 1,5 \cdot (-0,45) \cdot \frac{12}{2} \cdot \left(\frac{6,5 + 10,3}{2} \right) = 34,02 \text{ kN}$$

Jeřábová dráha

$$\text{Příčinkové čáry:} \quad \eta_{32,1} = 0,439 \quad \eta_{32,2} = 0,805 \quad \eta_{50,1} = 0,932 \quad \eta_{50,2} = 0,601$$

$$K_{\max} = \sum F_{Ed,i} \cdot \eta_i = F_{32} \cdot \eta_{32,1} + F_{32} \cdot \eta_{32,2} + F_{50} \cdot \eta_{50,1} + F_{50} \cdot \eta_{50,2} =$$

$$K_{\max} = 427 \cdot 0,439 + 427 \cdot 0,805 + 608 \cdot 0,932 + 608 \cdot 0,601 = 1464,5 \text{ kN}$$

$$F_{32,\min} = 1,35 \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{CR,32,\max} + \varphi_2 \cdot Q_{HR,32,\max}) =$$

$$F_{32,\min} = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 96,27 + 1,15 \cdot 11,50) = 161 \text{ kN}$$

$$F_{50,\min} = 1,35 \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{CR,50,\max} + \varphi_2 \cdot Q_{HR,50,\max}) =$$

$$F_{50,\min} = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 125,21 + 1,15 \cdot 19,74) = 217 \text{ kN}$$

$$K_{\min} = \sum F_{Ed,i} \cdot \eta_i = F_{32} \cdot \eta_{32,1} + F_{32} \cdot \eta_{32,2} + F_{50} \cdot \eta_{50,1} + F_{50} \cdot \eta_{50,2} =$$

$$K_{\min} = 161 \cdot 0,439 + 161 \cdot 0,805 + 217 \cdot 0,932 + 217 \cdot 0,601 = 532,5 \text{ kN}$$

$$H_{32} = \frac{0,1}{4} \cdot (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{4} \cdot (320 + 84) = 10,10 \text{ kN}$$

$$H_{50} = \frac{0,1}{4} \cdot (Q_h + Q_t) = \frac{0,1}{4} \cdot (500 + 113) = 15,33 \text{ kN}$$

$$H_k = \sum H_i \cdot \eta_i = H_{32} \cdot \eta_{32,1} + H_{32} \cdot \eta_{32,2} + H_{50} \cdot \eta_{50,1} + H_{50} \cdot \eta_{50,2} =$$

$$H_k = 10,10 \cdot 0,439 + 10,10 \cdot 0,805 + 15,33 \cdot 0,932 + 15,33 \cdot 0,601 = 36,07 \text{ kN}$$

8.2. Výpočet příčné vazby

Výpočet vychází z kapitoly „Výpočet příčné vazby“ začínající na straně 148 v publikaci „Kovové konstrukce: Konstrukce průmyslových budov – Jindřich Melcher, Bohumil Straka“.

Výpočet je proveden silovou metodou, kdy vycházíme z rovnosti deformací $\Delta l = \Delta p$

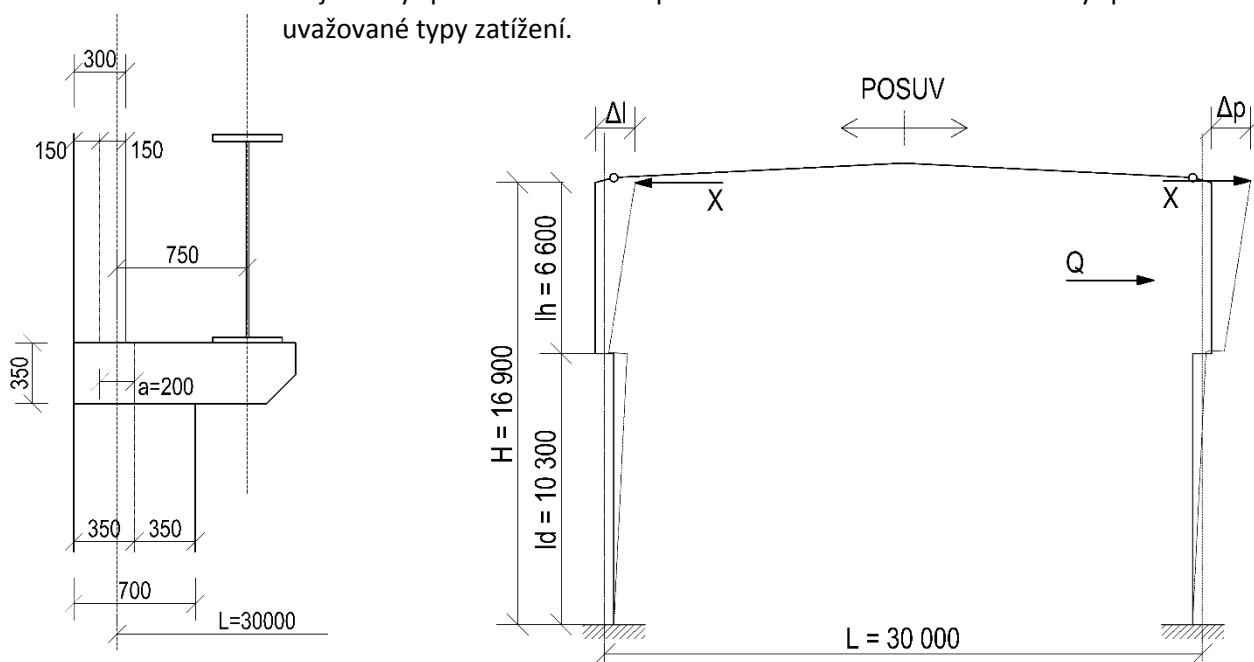
Kde: $\Delta l = \delta_{p,l} - x \cdot \delta_{1,l}$ je posuv vrcholu levého sloupu l ($\delta_{p,l}$ - posuv od vnějšího zatížení, $\delta_{1,l}$ - posuv od jednotkové síly $x = 1$ působící ve vrcholu l a

kde $\Delta p = \delta_{p,p} - x \cdot \delta_{1,p}$ je posuv vrcholu levého sloupu p ($\delta_{p,p}$ - posuv od vnějšího zatížení, $\delta_{1,p}$ - posuv od jednotkové síly $x = 1$ působící ve vrcholu p).

Po dosazení do přetvárné podmínky $\Delta l = \Delta p$ dostáváme obecný výraz pro určení

staticky neurčité veličiny: $x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}}$. Pro výpočet hledaných neznámých veličin

x je tedy potřeba stanovit přetvoření volného konce konzoly pro všechny uvažované typy zatížení.



Předběžně pro potřeby výpočtu uvažujeme:

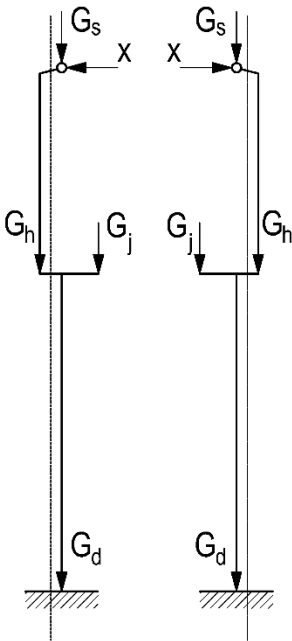
$$k = \frac{I_d}{I_h} - 1 = \frac{2,874 \cdot 10^9}{5,77 \cdot 10^8} - 1 = 12,97 - 1 = 11,97 \text{ a } k' = \frac{I_d}{I_h} = \frac{2,874 \cdot 10^9}{5,77 \cdot 10^8} = 12,97$$

8.2.1. Jednotkové pootočení

$$\delta_{1,p} = \delta_{1,l} = \frac{h^3}{3} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{h_h}{h} \right)^3 \right] = \frac{16,9^3}{3} \cdot \left[1 + 11,97 \cdot \left(\frac{6,6}{16,9} \right)^3 \right] = 2756,05$$

8.2.2. Účinky od jednotlivých zatížení - stálé

Špička



$$\delta_1 = h_d \cdot e_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) = 10,3 \cdot (-0,2) \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 15,73$$

$$\delta_{p,l} = \delta_{p,p} = \delta_1 \cdot G_h = -15,73 \cdot 17,55 = -276,12$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{-276,12 - 276,12}{2756,05 + 2756,05} = -0,10 \text{ kN}$$

Střecha

$$\delta_1 = \delta_{1,l} = k' \cdot \frac{e_h \cdot h_h^2}{2} + e_d \cdot h_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) =$$

$$\delta_1 = 11,97 \cdot \frac{0,1 \cdot 6,6^2}{2} + (-0,025) \cdot 10,3 \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 22,44$$

$$\delta_{p,l} = \delta_{p,p} = \delta_1 \cdot G_h = 22,44 \cdot 167,49 = 3758,46$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{3758,46 + 3758,46}{2756,05 + 2756,05} = 1,36 \text{ kN}$$

Jeřábová dráha

$$\delta_1 = e_d \cdot h_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) = 0,685 \cdot 10,3 \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 82,9$$

$$\delta_{p,l} = \delta_{p,p} = \delta_1 \cdot G_j = 82,9 \cdot 89,1 = 7386,58$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{7386,58 + 7386,58}{2756,05 + 2756,05} = 2,68 \text{ kN}$$

8.2.3. Účinky od jednotlivých zatížení – proměnné

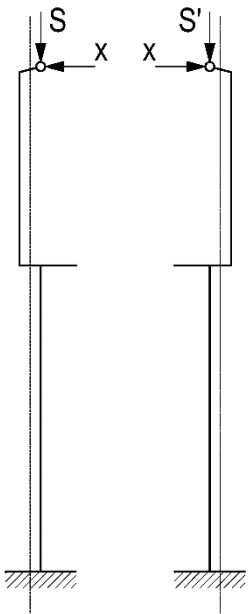
Sníh – nerovnoměrný

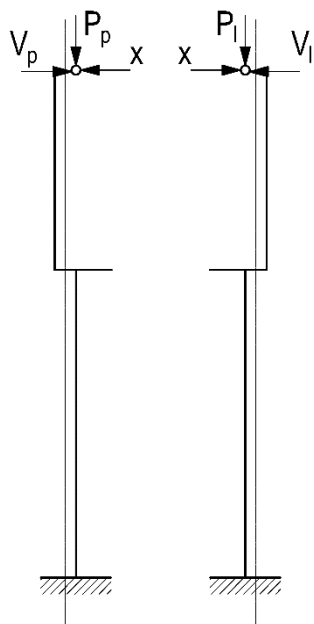
$$\delta_1 = \delta_{1,l} = k' \cdot \frac{e_h \cdot h_h^2}{2} + e_d \cdot h_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) =$$

$$\delta_1 = 11,97 \cdot \frac{0,1 \cdot 6,6^2}{2} + (-0,025) \cdot 10,3 \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 22,44$$

$$\delta_{p,l} = \delta_1 \cdot S = 22,4 \cdot 216,0 = 4838,4 \quad \delta_{p,p} = \delta_1 \cdot S' = 22,4 \cdot 108 = 2419,2$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{4838,4 + 2419,2}{2756,05 + 2756,05} = 1,31 \text{ kN}$$



Vítr**Svislé účinky**

$$\delta_1 = \delta_{1,l} = k' \cdot \frac{e_h \cdot h_h^2}{2} + e_d \cdot h_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) =$$

$$\delta_1 = 11,97 \cdot \frac{0,1 \cdot 6,6^2}{2} + (-0,025) \cdot 10,3 \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 22,44$$

$$\delta_{p,l} = \delta_1 \cdot P_l = 22,44 \cdot (-135,70) = -3045,11$$

$$\delta_{p,p} = \delta_1 \cdot P_p = 22,44 \cdot (-126,23) = -2832,60$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{-3045,11 - 2832,60}{2756,05 + 2756,05} = -1,07 \text{ kN}$$

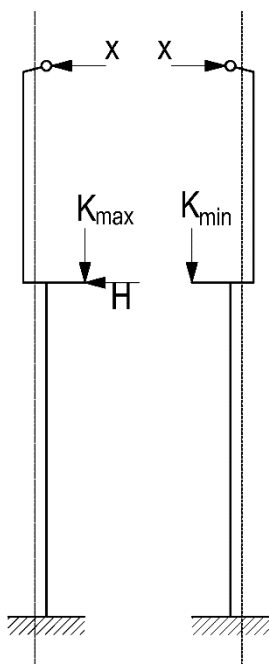
Vodorovné účinky

$$\delta_{1,p} = \delta_{1,l} = \frac{h^3}{3} \cdot \left[1 + k \cdot \left(\frac{h_h}{h} \right)^3 \right] = \frac{16,9^3}{3} \cdot \left[1 + 11,97 \cdot \left(\frac{6,6}{16,9} \right)^3 \right] = 2756,05$$

$$\delta_{p,l} = \delta_1 \cdot V_l = 2756,05 \cdot 45,36 = 125014,43$$

$$\delta_{p,p} = \delta_1 \cdot V_p = 2756,05 \cdot 34,02 = 93760,82$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{125014,43 - 93760,82}{2756,05 + 2756,05} = 5,67 \text{ kN}$$

**Jeřábová dráha****Svislé účinky**

$$\delta_1 = e_d \cdot h_d \cdot \left(h - \frac{h_d}{2} \right) = 0,685 \cdot 10,3 \cdot \left(16,9 - \frac{10,3}{2} \right) = 82,9$$

$$\delta_{p,l} = \delta_1 \cdot K_{\max} = 82,9 \cdot 1464,5 = 121407,05$$

$$\delta_{p,p} = \delta_1 \cdot S' = 82,9 \cdot 532,5 = 44144,25$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{121407,05 + 44144,25}{2756,05 + 2756,05} = 30,03 \text{ kN}$$

Vodorovné účinky

$$\delta_1 = \frac{h^3}{6} \cdot \left\{ \left(\frac{h_d}{h} \right)^2 \cdot \left(3 - \frac{h_d}{h} \right) + k \cdot \left(\frac{c}{h} \right)^2 \cdot \left[3 \cdot \left(1 - \frac{h_d}{h} \right) + 2 \cdot \frac{c}{h} \right] \right\}$$

$$\delta_1 = \frac{16,9^3}{6} \cdot \left\{ \left(\frac{10,3}{16,9} \right)^2 \cdot \left(3 - \frac{10,3}{16,9} \right) + 11,97 \cdot \left(\frac{0}{16,9} \right)^2 \cdot \left[3 \cdot \left(1 - \frac{10,3}{16,9} \right) + 2 \cdot \frac{0}{16,9} \right] \right\}$$

$$\delta_1 = 714,34$$

$$\delta_{p,l} = \delta_1 \cdot H_K = 714,34 \cdot 36,07 = 25766,22$$

$$x = \frac{\delta_{p,l} - \delta_{p,p}}{\delta_{1,l} + \delta_{1,p}} = \frac{25766,22 - 0}{2756,05 + 2756,05} = 4,67 \text{ kN}$$

8.3. Zatěžovací stavy a jejich kombinace**8.3.1. Zatěžovací stavy****ZS 1 – stálá zatížení****Vlastní tíha sloupu**

$$G_h = 17,55 \text{ kN} \quad G_d = 41,72 \text{ kN}$$

Střešní konstrukce

$$G_s = 167,49 \text{ kN}$$

Jeřábová dráha

$$G_j = 89,1 \text{ kN}$$

Statically neurčité vodorovné účinky $x = 3,94 \text{ kN}$

ZS 2 – proměnná zatížení – zatížení od jeřábové dráhy

$$K_{\max} = 1464,5 \text{ kN} \quad K_{\min} = 532,5 \text{ kN} \quad H_k = 36,07 \text{ N}$$

Statically neurčité vodorovné účinky $x = 34,7 \text{ kN}$

ZS 3 – proměnná zatížení – zatížení sněhem

$$S = 216,0 \text{ kN} \quad S' = 108,0 \text{ kN}$$

Statically neurčité vodorovné účinky od nesymetrického sněhu $x = 1,31 \text{ kN}$

ZS 4 – proměnná zatížení – zatížení větrem**Svislé účinky**

$$P_l = 135,70 \text{ kN} \quad P_p = 126,23 \text{ kN}$$

Statically neurčité vodorovné účinky od sání větru $x = -1,07 \text{ kN}$

Vodorovné účinky

$$V_l = 45,36 \text{ kN} \quad V_p = 34,02 \text{ kN}$$

Statically neurčité vodorovné účinky od bočního větru $x = 4,67 \text{ kN}$

8.3.2. Kombinace

Kombinace		Kombinace	
I	1	V	$1+2+3*\psi_0$
II	1+2	VI	$1+2+4*\psi_0$
III	1+3	VII	$1+3*\psi_0+4*\psi_0$
IV	1+4	VIII	$1+2+3*\psi_0+4*\psi_0$

Z toho je rozhodující kombinace: II, IV, VI a VIII

8.4. Vnitřní síly

KOMBINAČNÍ TABULKA SLOUPU

ŘEZ	ÚČINEK	ZATĚŽOVACÍ STAV				KOMBINACE				Max	
		1	2	3	4	II	IV	VI	VIII		
a	N	167,49	0,00	216,00	-135,70	167,49	86,07	275,49	194,07	275,49	kN
	V	3,94	-34,70	-1,31	41,76	-30,76	29,00	-31,42	-6,36	-31,42	kN
	M	16,75	0,00	21,60	-13,57	16,75	8,61	27,55	19,41	27,55	kNm
b	N	185,04	0,00	216,00	-135,70	185,04	103,62	293,04	211,62	293,04	kN
	V	3,94	-34,70	-1,31	41,76	-30,76	29,00	-31,42	-6,36	-31,42	kN
	M	-9,26	-229,02	12,95	262,05	-238,28	147,97	-231,80	-74,57	-238,28	kNm
c	N	274,14	1464,00	216,00	-135,70	1738,14	192,72	1846,14	1764,72	1846,14	kN
	V	3,94	1,37	-1,31	41,76	5,31	29,00	4,66	29,71	29,71	kN
	M	23,13	759,18	-19,45	282,40	782,31	192,57	772,59	942,03	942,03	kNm
d	N	315,86	1464,00	216,00	-135,70	1779,86	234,44	1887,86	1806,44	1887,86	kN
	V	3,94	1,37	-1,31	41,76	5,31	29,00	4,66	29,71	29,71	kN
	M	-17,45	773,29	-32,94	712,53	755,84	410,07	739,37	1166,89	1166,89	kNm

	SÍLY	SÍLA X	VZDÁLENOSTI	
Gs	167,49 kN	X 3,94 kN	Lh	6,6 m
Gj	89,10 kN		Ld	10,3 m
Gh	17,55 kN		a	0,2 m
Gd	41,72 kN		e	0,1 m
Kmax	1464,00 kN	X 34,7 kN		
H	36,07 kN		ψ_0	1 jeřábová dráha
S	216,00 kN	X 1,31 kN	ψ_0	0,5 zatížení sněhem
Pl	-135,70 kN	X -1,07 kN	ψ_0	0,6 zatížení větrem
Pp	-126,33 kN			
VI	45,36 kN	X 4,67 kN		
Vp	34,02 kN			

- Pro výpočet dříku sloupu je uvažována přídatná normálová síla

$$N_{Ed+} = 250 \text{ kN od stěnového ztužidla.}$$

8.5. Návrh a posouzení průřezu špičky: HE300B

$$N_{Ed} = 293,04 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 231,80 \text{ kN} \quad (\text{viz. 8.4 Vnitřní síly, kombinace VI})$$

8.5.1. Průřezové charakteristiky a geometrie:

$$A = 14900 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 2,52 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad h = 300 \text{ mm}$$

$$I_z = 0,86 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad b = 300 \text{ mm}$$

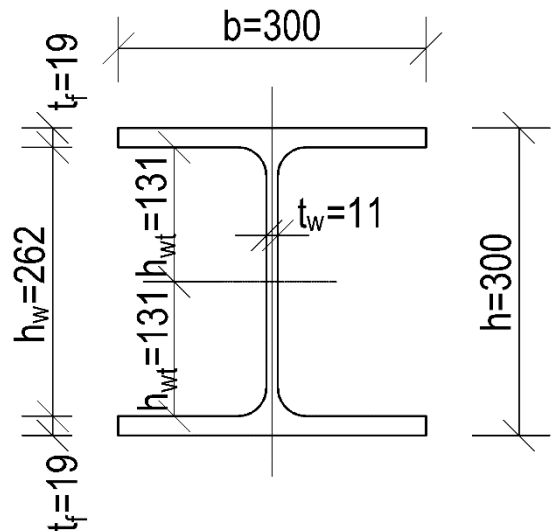
$$t_f = 19 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,88 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \quad t_w = 11 \text{ mm}$$

$$I_\omega = 1,69 \cdot 10^{12} \text{ mm}^6 \quad h_{wt} = 131 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 2,68 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 5,71 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$



8.5.2. Geometrické podmínky

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wt} = -\frac{293,04 \cdot 10^3}{0,0149} - \frac{231,80 \cdot 10^3}{1,68 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,131 = -139,750 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wt} = -\frac{293,04 \cdot 10^3}{0,0149} + \frac{231,80 \cdot 10^3}{1,68 \cdot 10^{-4}} \cdot 0,131 = 100,416 \text{ Pa}$$

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{139,750}{100,416} = -0,719$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,262}{0,011} = 23,82 \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi} = \frac{42 \cdot 0,748}{0,67 + 0,33 \cdot (-0,719)} = 97,02$$

8.5.3. Prostá pevnost

$$N_{Cr,d} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,0149 \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 6258,0 \text{ kN}$$

$$M_{Cr,d} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,68 \cdot 10^{-3} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 705,60 \text{ kNm}$$

Posouzení

$$\frac{N_{Cr,d}}{N_{Ed}} + \frac{M_{Cr,d}}{M_{Ed}} = \frac{6258,0}{293,04} + \frac{705,60}{231,38} = 0,37 \quad \text{VYHOVÍ}$$

8.5.4. Vzpěr

$$N_{Rk} = N_{Cr,d} = 6258,0 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = M_{Cr,d} = 705,60 \text{ kNm}$$

Vzpěr – vybočení kolmo k ose y

$$l_{cr,y} \doteq 3 \cdot l_h = 3 \cdot 6,6 = 19,8 \text{ m}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4}}{19,8^2} = 1332,26 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{14900 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1332,26 \cdot 10^3}} = 2,167$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily kde $\frac{h}{b} = \frac{300}{300} = 1,0 \leq 1,2$ a vzpěr

k ose y je „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,167 - 0,2) + 2,167^2 \right] = 3,183$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{3,183 + \sqrt{3,183^2 - 2,167^2}} = 0,181$$

Vzpěr – vybočení kolmo k ose z

$$l_{cr,z} \doteq l_h = 6,6 \text{ m}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,86 \cdot 10^{-4}}{6,6^2} = 4072,91 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{14900 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{4072,91 \cdot 10^3}} = 1,240$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily kde $\frac{h}{b} = \frac{300}{300} = 1,0 \leq 1,2$ a vzpěr

k ose z je „c“: $\alpha = 0,49$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,240 - 0,2) + 1,240^2 \right] = 1,523$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,523 + \sqrt{1,523^2 - 1,240^2}} = 0,415$$

Klopení

$$C_1 \doteq 1,0 \quad C_2 \doteq 0,5 \quad z_g = -0,15m \quad l_\omega \doteq 0,7 \cdot l_h = 0,7 \cdot 6,6 = 4,62m$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 EI_z}{L_z^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{L_z}{L_\omega} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{L_z^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} + C_2 \cdot z_g \right] =$$

$$M_{cr} = 1,0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,86 \cdot 10^{-4}}{6,6^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{6,6}{4,62} \right)^2 \cdot \frac{1,69 \cdot 10^{-6}}{0,86 \cdot 10^{-4}} + \frac{6,6^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,88 \cdot 10^{-6}}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 0,86 \cdot 10^{-4}} + (0,5 \cdot (-0,15))^2} + 0,5 \cdot (-0,15) \right] =$$

$$M_{cr} = 1017,92 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{705,60 \cdot 10^3}{1017,92 \cdot 10^3}} = 0,833$$

Křivka vzpěrné pevnosti při kroucení je „d“: $\alpha = 0,76$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,76 \cdot (0,833 - 0,2) + 0,833^2 \right] = 1,087$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,087 + \sqrt{1,087^2 - 0,833^2}} = 0,560$$

Posouzení

$$\alpha_H = -0,25; \quad \psi = 1,0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_H = 0,95 + 0,05 \cdot 0,25 = 0,9375; \quad C_{m,LT} = 1,0$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left[1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,9375 \cdot \left[1 + 0,6 \cdot 2,167 \cdot \frac{293,04 \cdot 10^3}{0,181 \cdot \frac{6258,0 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 1,184$$

$$k_{zy} = c_{my} \cdot \left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT}} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,9375 \cdot \left[1 - \frac{0,05 \cdot 1,240}{1,0} \cdot \frac{293,040 \cdot 10^3}{0,415 \cdot \frac{6258,0 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 0,991$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{293,040}{0,181 \cdot 6258,0} + 1,184 \cdot \frac{231,80}{0,560 \cdot 705,6} = 0,95 < 1,00$$

VYHOVÍ

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{293,040}{0,415 \cdot 6258,0} + 0,991 \cdot \frac{231,80}{0,560 \cdot 705,6} = 0,70 < 1,00$$

VYHOVÍ

8.6. Návrh a posouzení průřezu dříku: svař. průřez h=700mm

$$N_{Ed} = 1887,86 + 250 = 2137,86 \text{ kN} \quad M_{Ed} = 1166,89 \text{ kN} \quad (\text{viz. 8.4 Vnitřní síly, komb. VIII})$$

8.6.1. Průřezové charakteristiky a geometrie:

$$A = 43900 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,83 \cdot 10^9 \text{ mm}^4 \quad h = 700 \text{ mm}$$

$$I_z = 5,32 \cdot 10^8 \text{ mm}^4 \quad b = 450 \text{ mm}$$

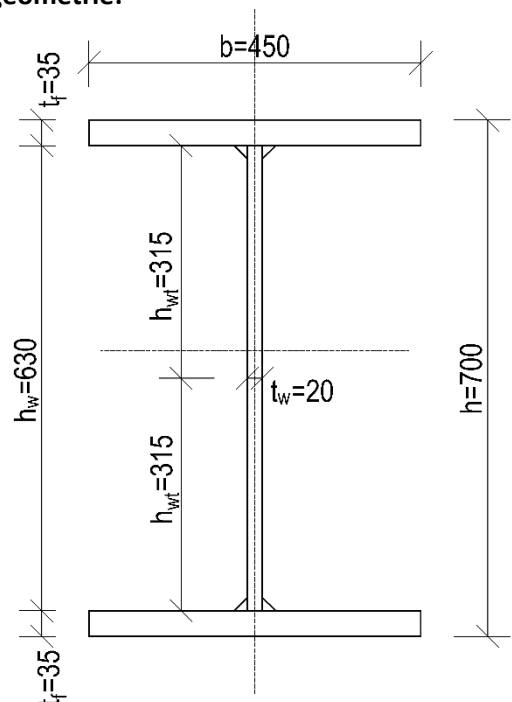
$$t_f = 35 \text{ mm}$$

$$I_t = 1,45 \cdot 10^7 \text{ mm}^4 \quad t_w = 20 \text{ mm}$$

$$I_\omega = 5,79 \cdot 10^{13} \text{ mm}^6 \quad h_{wt} = 0,310 \text{ mm}$$

$$W_{el,y} = 1,09 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,z} = 2,36 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$



8.6.2. Geometrické podmínky

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wt} = -\frac{2137,86 \cdot 10^3}{0,0439} - \frac{1166,89 \cdot 10^3}{3,83 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,310 = -143,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = -\frac{N_{Ed}}{A} - \frac{M_{Ed}}{I_y} \cdot h_{wt} = -\frac{2137,86 \cdot 10^3}{0,0439} + \frac{1166,89 \cdot 10^3}{3,83 \cdot 10^{-3}} \cdot 0,310 = 45,37 \text{ MPa}$$

$$\psi = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{-143,13}{45,37} = -0,320$$

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{0,62}{0,02} = 31,0 \leq \frac{42 \cdot \varepsilon}{0,67 + 0,33 \cdot \psi} = \frac{42 \cdot 0,748}{0,67 + 0,33 \cdot (-0,32)} = 74,39$$

8.6.3. Prostá pevnost

$$N_{Cr,d} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,0439 \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 18438,0 kN$$

$$M_{Cr,d} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,09 \cdot 10^{-2} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 4596,94 kNm$$

Posouzení

$$\frac{N_{Cr,d}}{N_{Ed}} + \frac{M_{Cr,d}}{M_{Ed}} = \frac{18438,0}{2137,86} + \frac{4596,94}{1166,89} = 0,37 \quad \text{VYHOVÍ}$$

8.6.4. Vzpěr

$$N_{Rk} = N_{Cr,d} = 18438,0 kN$$

$$M_{Rk} = M_{Cr,d} = 4596,94 kNm$$

Vzpěr - k ose y

$$l_{cr,y} \doteq 2,5 \cdot l_d = 2,5 \cdot 10,3 = 25,75 m$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{l_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,83 \cdot 10^{-3}}{25,75^2} = 11974,34 kN$$

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{43900 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{11974,34 \cdot 10^3}} = 1,241$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily kde $\frac{h}{b} = \frac{700}{450} = 1,56 \geq 1,2$ a vzpěr

k ose y je „a“: $\alpha = 0,21$

$$\phi_y = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,241 - 0,2) + 1,241^2 \right] = 1,379$$

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = \frac{1}{1,379 + \sqrt{1,379^2 - 1,241^2}} = 0,505$$

Vzpěr – k ose z

$$l_{cr,z} \doteq l_d = 10,3 m$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4}}{25,75^2} = 10392,89 kN$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{43900 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{10392,89 \cdot 10^3}} = 1,332$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcované profily kde $\frac{h}{b} = \frac{700}{350} = 1,56 \geq 1,2$ a vzpěr

k ose z je „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,332 - 0,2) + 1,332^2 \right] = 1,591$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,591 + \sqrt{1,591^2 - 1,332^2}} = 0,406$$

Klopení

$$C_1 \doteq 1,0 \quad C_2 \doteq 0,5 \quad z_g = -0,35m \quad l_\omega \doteq 0,5 \cdot l_d = 0,5 \cdot 10,3 = 5,15m$$

$$M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 EI_z}{L_z^2} \cdot \left[\sqrt{\left(\frac{L_z}{L_\omega} \right)^2 \cdot \frac{I_\omega}{I_z} + \frac{L_z^2 GI_t}{\pi^2 EI_z} + (C_2 \cdot z_g)^2} + C_2 \cdot z_g \right] =$$

$$M_{cr} = 1,0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4}}{10,3^2} \cdot$$

$$\cdot \left[\sqrt{\left(\frac{10,3}{5,15} \right)^2 \cdot \frac{5,79 \cdot 10^{-5}}{5,32 \cdot 10^{-4}} + \frac{10,3^2 \cdot 81 \cdot 10^9 \cdot 1,45 \cdot 10^{-5}}{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 5,32 \cdot 10^{-4}} + (0,5 \cdot (-0,35))^2} + 0,5 \cdot (-0,35) \right] =$$

$$M_{cr} = 6091,56 kNm$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{M_{Rk}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4596,94 \cdot 10^3}{6091,56 \cdot 10^3}} = 0,869$$

Křivka vzpěrné pevnosti při kroucení je „d“: $\alpha = 0,76$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,76 \cdot (0,869 - 0,2) + 0,869^2 \right] = 1,131$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,131 + \sqrt{1,131^2 - 0,869^2}} = 0,539$$

Posouzení

$$\alpha_H = -0,25; \quad \psi = 1,0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_H = 0,95 + 0,05 \cdot (-0,25) = 0,9375; \quad C_{m,LT} = 1,0$$

$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left[1 + 0,6 \cdot \bar{\lambda}_y \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,9375 \cdot \left[1 + 0,6 \cdot 1,241 \cdot \frac{2137,86 \cdot 10^3}{0,505 \cdot \frac{18438,0 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 1,171$$

$$k_{zy} = c_{my} \cdot \left[1 - \frac{0,05 \cdot \bar{\lambda}_z}{c_{m,LT}} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right] = 0,9375 \cdot \left[1 - \frac{0,05 \cdot 1,332}{1,0} \cdot \frac{2137,86 \cdot 10^3}{0,406 \cdot \frac{18438,0 \cdot 10^3}{1,0}} \right] = 0,975$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{2137,86}{0,505 \cdot 18438,0} + 1,171 \cdot \frac{1166,89}{0,539 \cdot 4438,82} = 0,78 < 1,00$$

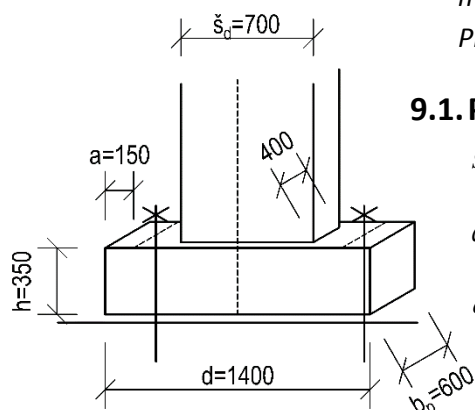
VYHOVÍ

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{2137,86}{0,406 \cdot 18438,0} + 0,975 \cdot \frac{1166,89}{0,539 \cdot 4438,82} = 0,75 < 1,00$$

VYHOVÍ

9. Kotvení sloupu a patka sloupu

- Tato kapitola je zpracována podle studijní opory „Kovové konstrukce I: modul BO04-M04 – sloupy a větrové ztužidlo - Jindřich Melcher, Milan Pilgr“



9.1. Předběžný návrh rozměrů patky

$$\check{s}_d = 700\text{mm}$$

$$d = 2 \cdot \check{s}_d = 2 \cdot 700 = 1400\text{mm}$$

$$a = 150\text{mm}$$

$$h = 0,5 \cdot \check{s}_d = 0,5 \cdot 700 = 350\text{mm}$$

$$b_p = 600\text{mm}$$

9.2. Stanovení účinků zatížení

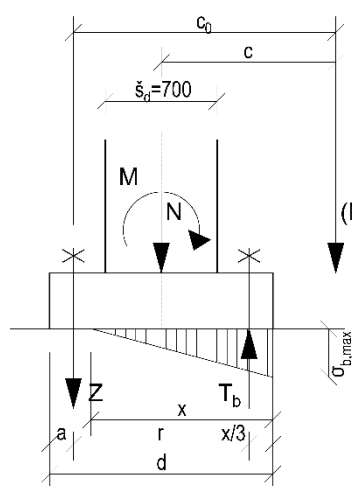
Namáhání kotevních šroubů:

Kombinace IV: $N_{Ed} = 234,44\text{kN}$ $M_{Ed} = 410,07\text{kNm}$

Kombinace VIII: $N_{Ed} = 1887,86\text{kN}$ $M_{Ed} = 1166,89\text{kNm}$

$N_{Ed} = 2137,86\text{kN}$ $M_{Ed} = 1166,89\text{kNm}$

9.2.1. Účinky od kombinace IV



$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{410,07}{234,44} = 1,749\text{m}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{1749}{1400} = 1,249 \quad \text{odečtení hodnoty z grafu: } \xi = 0,33$$

$$(N) \quad x = \xi \cdot d = 0,33 \cdot 1400 = 462\text{mm}$$

$$c_0 = c + \frac{d}{2} - a = 1749 + \frac{1400}{2} - 150 = 2299\text{mm}$$

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 1400 - 150 - \frac{462}{3} = 1096\text{mm}$$

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot c_0}{r} = \frac{234,44 \cdot 2299}{1096} = 491,80\text{kN}$$

$$Z = T_b - N_{Ed} = 491,80 - 234,44 = 257,36\text{kN}$$

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 491,80 \cdot 10^3}{0,462 \cdot 0,600} = 3,55 \text{ MPa}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{Z}{2} \cdot 1,20 = \frac{257,36}{2} \cdot 1,20 = 154,42 \text{ kN}$$

9.2.2. Účinky od kombinace VIII – s uvažáním přídatné síly od ztužidla

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{1166,89}{2137,86} = 0,546 \text{ m}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{546}{1400} = 0,390 \quad \text{odečtení hodnoty z grafu: } \xi = 0,59$$

$$x = \xi \cdot d = 0,59 \cdot 1400 = 826 \text{ mm}$$

$$c_0 = c + \frac{d}{2} = 546 + \frac{1400}{2} = 1096 \text{ mm}$$

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 1400 - 150 - \frac{826}{3} = 975 \text{ mm}$$

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot c_0}{r} = \frac{2137,86 \cdot 1096}{975} = 2403,60 \text{ kN}$$

$$Z = T_b - N_{Ed} = 2403,60 - 2137,86 = 265,74 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 2403,60 \cdot 10^3}{0,826 \cdot 0,600} = 9,70 \text{ MPa}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{Z}{2} \cdot 1,20 = \frac{265,74}{2} \cdot 1,20 = 159,45 \text{ kN}$$

9.2.3. Účinky od kombinace VIII – bez přídatné síly od ztužidla

$$c = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{1166,89}{1887,86} = 0,618 \text{ m}$$

$$\frac{c}{d} = \frac{618}{1400} = 0,442 \quad \text{odečtení hodnoty z grafu: } \xi = 0,50$$

$$x = \xi \cdot d = 0,50 \cdot 1400 = 700 \text{ mm}$$

$$c_0 = c + \frac{d}{2} = 618 + \frac{1400}{2} = 1168 \text{ mm}$$

$$r = d - a - \frac{x}{3} = 1400 - 150 - \frac{700}{3} = 1017 \text{ mm}$$

$$T_b = \frac{N_{Ed} \cdot c_0}{r} = \frac{1887,86 \cdot 1168}{1017} = 2169,06 \text{ kN}$$

$$Z = T_b - N_{Ed} = 2169,06 - 1887,86 = 281,20 \text{ kN}$$

$$\sigma_{b,\max} = \frac{2 \cdot T_b}{x \cdot b_p} = \frac{2 \cdot 2169,06 \cdot 10^3}{0,700 \cdot 0,600} = 10,33 \text{ MPa}$$

$$F_{t,Sd} = \frac{Z}{2} \cdot 1,20 = \frac{281,20}{2} \cdot 1,20 = 168,72 \text{ kN}$$

- Pro posouzení kotevních šroubů i maximálního napětí v betonu je rozhodující kombinace VIII bez uvážení přidané síly od stěnového ztužidla.

9.3. Posouzení maximálního napětí v betonu

Návrh betonu základu: C16/20 $f_{c,k} = 16 \text{ MPa}$ $f_{c,d} = \frac{f_{c,k}}{\gamma_c} = \frac{16,0}{1,5} = 10,67 \text{ MPa}$

Posouzení:

$$\frac{\sigma_{b,\max}}{f_{c,d}} = \frac{10,33}{10,67} = 0,97 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.4. Návrh a posouzení kotevních šroubů

Návrh šroubu: M42x3 z oceli S235

Únosnost je určena podle tabulky „5.2 Zabetonované šrouby s kotevní hlavou“ na straně 37 ve studijní opoře: „Kovové konstrukce I: modul BO04-M04 – sloupy a větrové ztužidlo - Jindřich Melcher, Milan Pilgr“

$$F_{t,Rd} = 187,76 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{F_{t,Sd}}{F_{t,Rd}} = \frac{168,72}{187,76} = 0,90 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.5. Přenos posouvající síly

Uvažujeme s minimální výslednicí tlakového napětí v betonu $T_{b,\min} = 491,80 \text{ kN}$ z kombinace IV.

$$V_{Rd} = \frac{\mu \cdot T_{b,\min}}{\gamma} = \frac{0,4 \cdot 491,80}{1,5} = 131,15 \text{ kN}$$

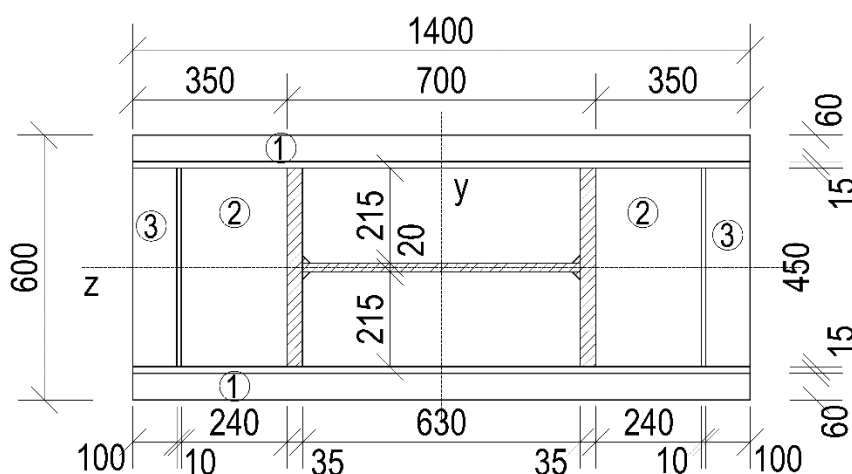
Posouzení:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = \frac{29,0}{131,15} = 0,22 \leq 1,0 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

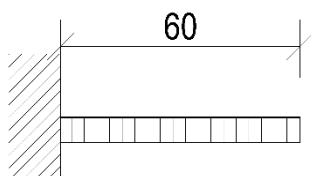
9.6. Návrh a pouzení patního plechu

Tři základní typy namáhání:

- 1 – volný přečnívající okraj
- 2 – deska podepřená po celém obvodě
- 3 – deska podepřená po třech stranách obvodu



9.6.1. 1 - Volný přečnívající okraj

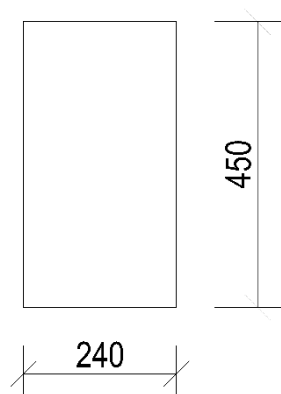


$$m_{sd} = \frac{1}{2} \cdot p_{sd} \cdot e^2 = \frac{1}{2} \cdot 10330 \cdot 0,06^2 = 18,59 \text{ kNm}$$

$$t_p \geq e \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot p_{sd}}{f_y}} = 0,06 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10,33}{420}} = 0,0163 \text{ m}$$

$$t_{p,1} = 18 \text{ mm}$$

9.6.2. 2 - Deska podepřená po celém obvodu



Ve směru kratšího většího rozpětí $b \geq a$

Součinitele α_1 a α_2 jsou stanoveny lineární interpolací z tabulky „6.1 Součinitele pro výpočet desek“ na straně 40 ve studijní opoře: „Kovové konstrukce I: modul BO04-M04 – sloupy a větrové ztužidlo - Jindřich Melcher, Milan Pilgr“

$$n = \frac{b}{a} = \frac{450}{240} = 1,875 \quad \alpha_1 = 0,09625 \quad \alpha_2 = 0,04675$$

Ve směru kratšího rozpětí

$$m_{a,Sd} = \alpha_1 \cdot p_{sd} \cdot e^2 = 0,09625 \cdot 10330 \cdot 0,240^2 = 57,27 \text{ kNm}$$

Ve směru většího rozpětí $b \geq a$

$$m_{a,Sd} = \alpha_2 \cdot p_{sd} \cdot e^2 = 0,04675 \cdot 10330 \cdot 0,240^2 = 27,81 \text{ kNm}$$

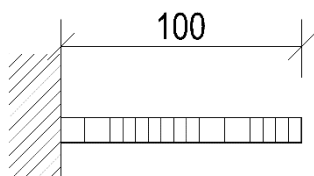
Únosnost plechu $t_{p,2} = 30 \text{ mm}$

$$m_{Rd} = \frac{t_p^2 \cdot f_y}{6 \cdot \gamma_{M0}} = \frac{30^2 \cdot 420}{6 \cdot 1,0} = 63,00 \text{ kNm}$$

9.6.3. Deska podepřená po třech stranách

Součinitel β je stanoven lineární interpolací z tabulky „6.1 Součinitele pro výpočet desek“ na straně 40 ve studijní opoře: „Kovové konstrukce I: modul BO04-M04 – sloupy a větrové ztužidlo - Jindřich Melcher, Milan Pilgr“

$m = \frac{d}{c} = \frac{100}{450} = 0,222$ - Nacházíme se mimo uvažovaný rozsah, deskový účinek je velmi malý. Při výpočtu uvažujeme jednotkový pruh jako nosníkovou desku působící jen ve směru kratšího rozpětí.



$$t_p \geq e \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \gamma_{M0} \cdot p_{sd}}{f_y}} = 0,1 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10,33}{420}} = 0,0272 \text{ m}$$

$$t_{p,3} = 30 \text{ mm}$$

9.6.4. Návrh plechu

$$t_p = \max \{t_{p,1}; t_{p,2}; t_{p,3}\} = \max \{18; 30; 30\} = 30 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} = \frac{184,54}{390,89} = 0,47 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

$$\frac{V_{Sd}}{V_{Rd}} = \frac{949,07}{3402,0} = 0,28 \leq 1,0 \quad \text{VYHOVÍ}$$

9.8. Návrh a posouzení kotevního příčníku

$$R_A = \frac{0,5 \cdot Z \cdot (0,465 + 0,2175) + 0,5 \cdot Z \cdot 0,2175}{0,8} =$$

$$R_A = \frac{0,5 \cdot 281,2 \cdot (0,465 + 0,2175) + 0,5 \cdot 281,2 \cdot 0,2175}{0,8} = 158,18 \text{ kN}$$

$$R_B = -R_A + 2 \cdot 0,5 \cdot Z = -158,18 + 2 \cdot 0,5 \cdot 281,2 = 123,02 \text{ kN}$$

$$M_A = R_A \cdot 0,1175 = 158,18 \cdot 0,1175 = 18,59 \text{ kNm}$$

$$V_A = R_A = 158,18 \text{ kN}$$

$$M_B = R_B \cdot 0,2175 = 123,02 \cdot 0,2175 = 26,76 \text{ kNm}$$

$$V_B = R_B = 123,02 \text{ kN}$$

Návrh průřezu: 2xUE120

$$A = 1090 \text{ mm}^2$$

$$A_v = 308 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1,74 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{el,y} = 3,48 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$M_{Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 5,06 \cdot 10^{-5} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 42,50 \text{ kNm}$$

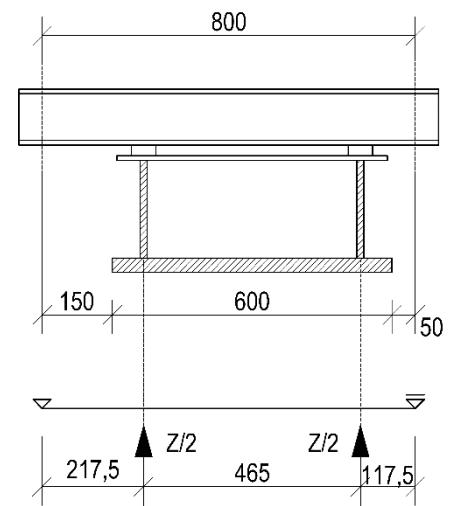
$$V_{Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 415,7 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 201,60 \text{ kN}$$

Posouzení:

$$\frac{M_B}{M_{Rd}} = \frac{26,76}{42,50} = 0,63 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

$$\frac{V_A}{V_{Rd}} = \frac{158,18}{201,60} = 0,78 \leq 1,0$$

VYHOVÍ

10. Ztužidla

10.1. Příčné střešní větrové ztužidlo

- Do ztužidla se přenáší účinky větru působící na štítové stěny budov. Vzhledem k tomu, že není navržen vodorovný nosník ve výšce jeřábové dráhy, uvažujeme jako zatěžovací výšku pro vítr přibližně polovinu výšky budovy: $h' = \frac{h}{2} = \frac{17,0}{2} = 8,5m$.
- Ztužidla jsou navržena křížem na šířku 6 m a délku pole taktéž 6 m. Ve statickém schématu jsou uvažovány jen tažené diagonály, v případě opačného působení větru přenesou vzniklé síly druhá diagonála – opět jako tažená. Tlačená diagonála pružně vybočí a nepřenáší žádné zatížení. V křížení diagonál bude zhotoven konstrukční spoj. Pouze v prostředním poli ztužidla jsou uvažovány obě diagonály z důvodu dodržení statické určitosti.

10.1.1. Zatížení větrem

Oblasti:

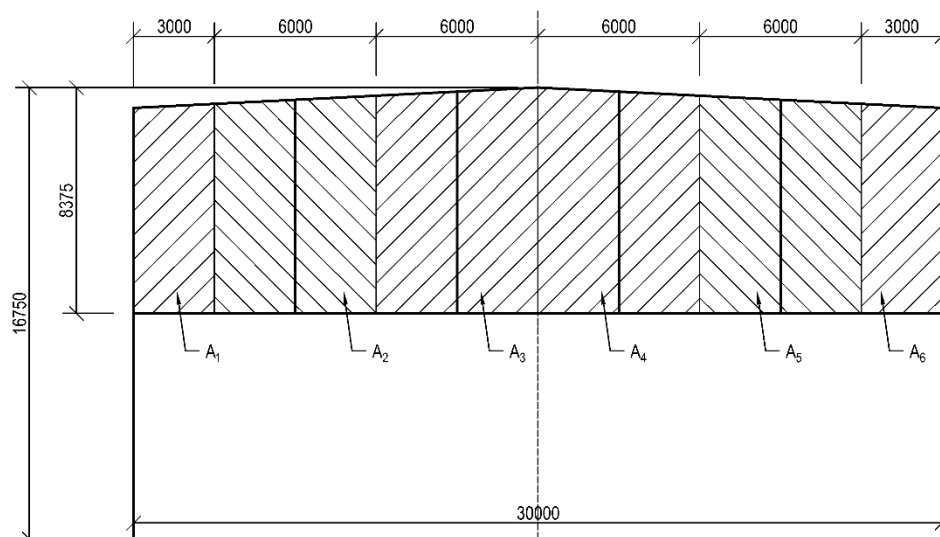
Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z)$ [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
D	0,74	0,747	0,553
E	-0,38	0,747	-0,284

Síla na jedno ztužidlo

$$F_{i,t,k} = A \cdot w_{e,D} \cdot 0,5 \qquad F_{i,t,d} = \gamma_Q \cdot F_{i,t,k} = 1,5 \cdot F_{i,t,k}$$

$$F_{i,s,k} = A \cdot w_{e,E} \cdot 0,5 \qquad F_{i,s,d} = \gamma_Q \cdot F_{i,s,k} = 1,5 \cdot F_{i,s,k}$$

- Ve střešní rovině jsou navržena dvě příčná větrová ztužidla při čelních stěnách. Aby nedocházelo k přenosu sil vaznicemi přes celou délku haly, uvažujeme, že každé ztužidlo vždy přenesou účinky na přilehlou čelní stěnu. Vzhledem k tomu, že účinky tlaku větru jsou větší než účinky sání, dimenzujeme ztužidlo na tlak větru.



Větrová oblast				Celková síla od větru		Návrhová síla		
Část	Plocha [m ²]	D [kN/m ²]	E [kN/m ²]	Tlak [kN]	Sání [kN]	γ_Q	$F_{i,t,d}$ [kN]	$F_{i,s,d}$ [kN]
1	23,100	0,553	-0,284	12,77	-6,56	1,5	19,16	-9,84
2	47,550	0,553	-0,284	26,30	-13,50	1,5	39,44	-20,26
3	49,350	0,553	-0,284	27,29	-14,02	1,5	40,94	-21,02
4	49,350	0,553	-0,284	27,29	-14,02	1,5	40,94	-21,02
5	47,550	0,553	-0,284	26,30	-13,50	1,5	39,44	-20,26
6	23,100	0,553	-0,284	12,77	-6,56	1,5	19,16	-9,84

10.1.2. Zatížení od stabilizace horního pásu vazníku proti vybočení

Síly v horním pásu vazníku:

- Uvažujeme kombinaci „Kombinace 1 - maximální tlak (stálé + sních plný)“ kdy jsou vyvozeny největší síly v horním pásu vazníku.

H1	-412,11	H6	-926,71
H2	-412,11	H7	-860,38
H3	-860,38	H8	-860,38
H4	-860,38	H9	-412,11
H5	-926,71	H10	-412,11

Účinky na jedno ztužidlo

- Ve střešní rovině jsou navržena dvě příčná větrová ztužidla. Na každé ztužidlo tedy připadají stabilizační síly od třech vazníků. Krajní vazník je přibližně polovičně zatížen, ve výpočtu ale uvažujeme se třemi plně zatíženými nosníky. Toto zjednodušení je na bezpečnou stranu.

$$P_{1,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot 412,11 = 12,36 \text{ kN}$$

$$P_{2,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot (412,11 + 860,38) = 38,17 \text{ kN}$$

$$P_{3,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot (860,38 + 926,71) = 53,61 \text{ kN}$$

$$P_{4,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot (860,38 + 926,71) = 53,61 \text{ kN}$$

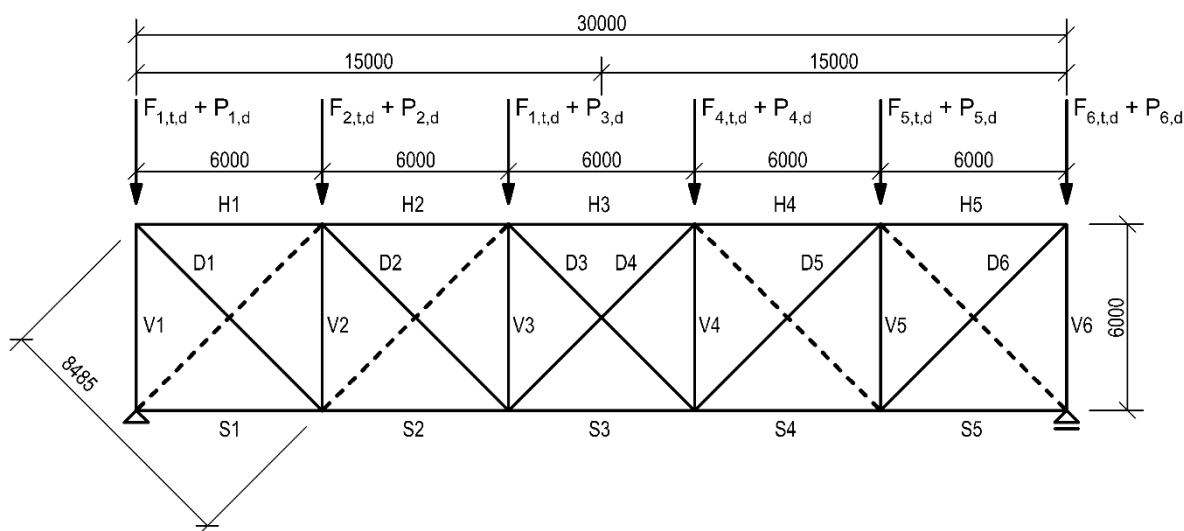
$$P_{5,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot (412,11 + 860,38) = 38,17 \text{ kN}$$

$$P_{6,d} = 3 \cdot 0,01 \cdot 412,11 = 12,36 \text{ kN}$$

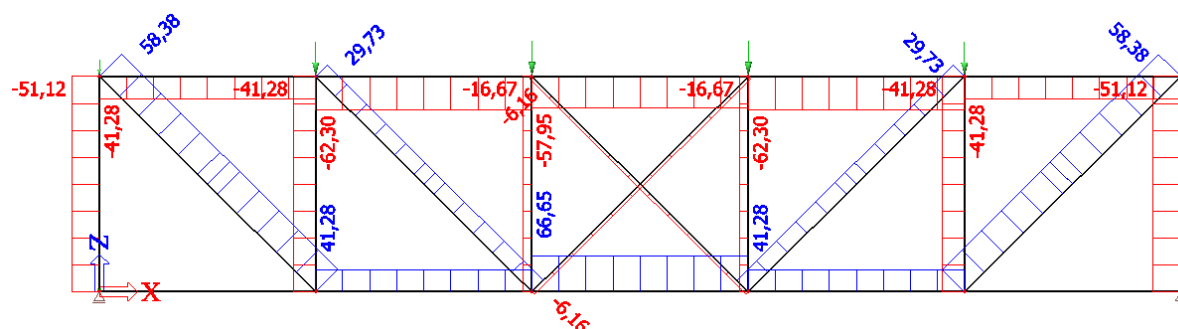
10.1.3. Vnitřní síly

Vnitřní síly byly zjištěny pomocí software Scia Engineer 14.0.1043 – studentská verze.

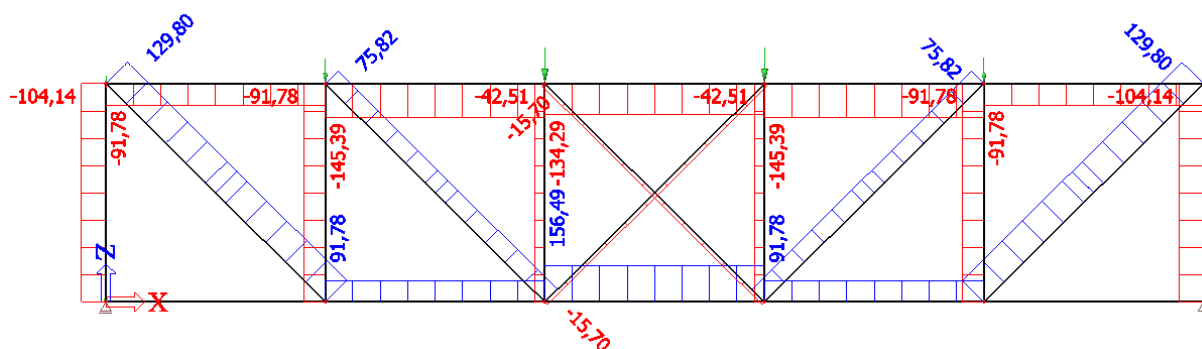
Statické schéma:



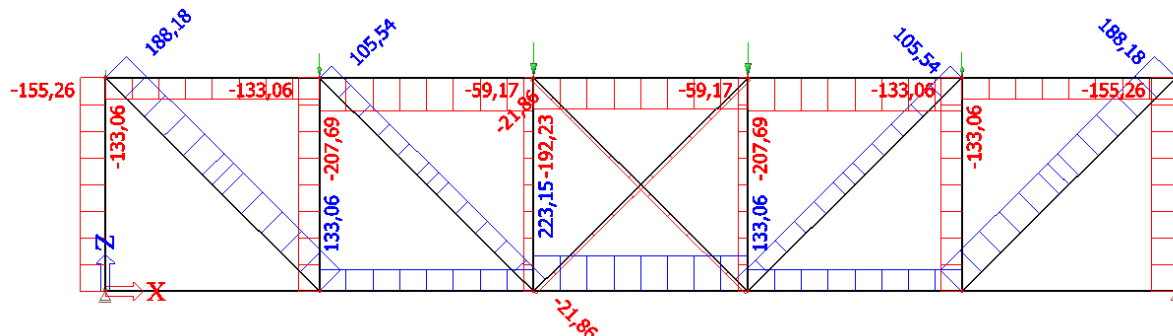
Vítr:



Stabilizační síly:



Kombinace



Tabulka vnitřních sil

prut	síla [kN]
H1	-133,06
H2	-207,69
H3	-192,23
H4	-207,69
H5	-133,06

prut	síla [kN]
S1	0
S2	133,06
S3	223,15
S4	133,06
S5	0

prut	síla [kN]
D1	188,18
D2	105,54
D3	-21,86
D4	-21,86
D5	105,54
D6	188,18

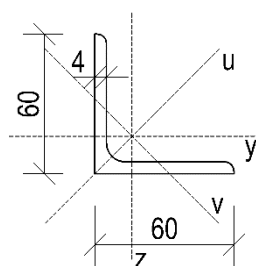
prut	síla [kN]
V1	-155,26
V2	-133,06
V3	-59,17
V4	-59,17
V5	-133,06
V6	-155,26

Reakce: $R = R_A = R_B = 155,26 \text{ kN}$

10.1.4. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

Tažená diagonála (D1, D6)

Maximální tahová síla: $F_{H1,6} = 188,18 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 188,18 \text{ kN}$ (viz. 10.1.3 Tabulka vnitřních sil)



Návrh: L 60x60x4

$$A = 471 \text{ mm}^2$$

$$l_{cr} = 4,242 \text{ m}$$

$$i_{\min} = i_v = 11,8 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_{\min}} = \frac{4242}{11,8} = 360 \leq 400$$

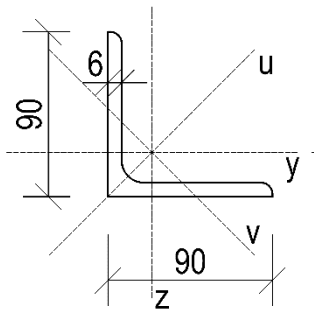
Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{785 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 329,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{188,81}{329,70} = 0,57 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená diagonála (D3, D4)

Maximální tlaková síla: $F_{D3,4} = -21,86 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 21,86 \text{ kN}$ (viz. 10.1.3 Tabulka vnitřních sil)

**Návrh: L 90x90x6**

$A = 1055 \text{ mm}^2$	$l_{cr} = 4,242 \text{ m}$
$I_{\min} = I_v = 3,32 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$	
$i_{\min} = i_v = 17,7 \text{ mm}$	$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_{\min}} = \frac{4242}{17,7} = 238 \leq 400$

Posouzení

$$N_{cr,v} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 3,32 \cdot 10^{-7}}{4,242^2} = 382,40 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_v = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,v}}} = \sqrt{\frac{1055 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{382,40 \cdot 10^3}} = 3,404$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_v = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (3,404 - 0,2) + 3,404^2 \right] = 6,838$$

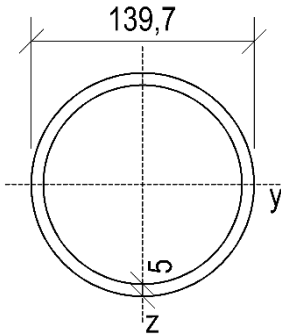
$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{6,838 + \sqrt{6,838^2 - 3,404^2}} = 0,078$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,078 \cdot 1055 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 34,70 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{34,70}{21,86} = 0,63 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Pás ztužidla (H2, H4)

Maximální tlaková síla: $F_{H2,4} = -207,69 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 207,69 \text{ kN}$ (viz. 10.1.3 Tabulka vnitřních sil)

**Návrh: trubka CSH 139,7x5**

$$\begin{aligned} A &= 2120 \text{ mm}^2 & l_{cr} &= 6000 \text{ mm} \\ I &= 4,81 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 & i &= 47,7 \text{ mm} \\ \lambda &= \frac{l_{cr}}{i} = \frac{6000}{47,7} = 126 \end{aligned}$$

Posouzení

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 4,81 \cdot 10^{-6}}{6000^2} = 276,92 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2120 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{276,92 \cdot 10^3}} = 1,793$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro dutý kruhový průřez válcovaný za tepla „a“: $\alpha = 0,21$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,21 \cdot (1,793 - 0,2) + 1,793^2 \right] = 2,275$$

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} = \frac{1}{2,275 + \sqrt{2,275^2 - 1,793^2}} = 0,272$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,272 \cdot 2120 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 242,29 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{207,69}{242,29} = 0,86 < 1,00$$

VYHOVÍ**Posouzení horního pásu vazníku**

Maximální tlaková síla: $F_{H2,4} = -207,69 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed+} = 207,69 \text{ kN}$

Přidaná tlaková síla do horního pásu příhradového vazníku (viz. 4.2.5):

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,536 \cdot 5440 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 1225,49 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed+}}{N_{b,Rd}} = \frac{926,71 + 207,69}{1225,4} = \frac{1134,40}{1225,4} = 0,93 < 1,00$$

VYHOVÍ

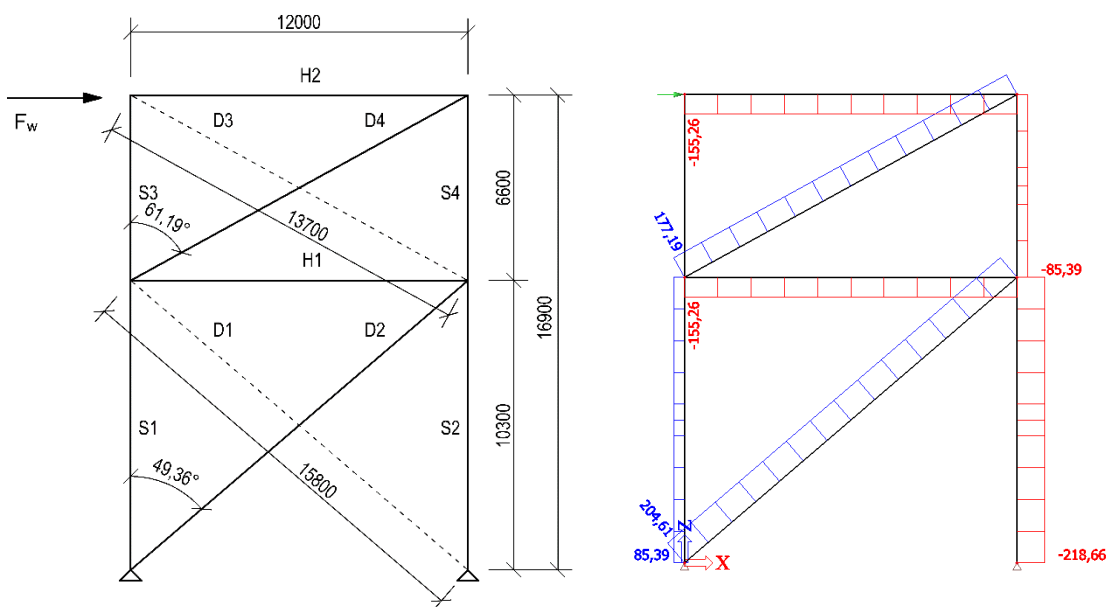
10.2. Příčné stěnové větrové ztužidlo

10.2.1. Ztížení větrem

- Stěnové ztužidlo je zatížené reakcí střešního příčného ztužidla, zatížení od brzdících a rozjezdových sil jeřábové dráhy bude přeneseno samostatným brzdícím portálem v rovině jeřábové dráhy. Diagonály jsou navrženy pouze jako tažené. V místě křížení budou spojeny styčnickovým plechem.

Reakce od střešního příčného ztužidla: $F_w = R = 155,26 \text{ kN}$

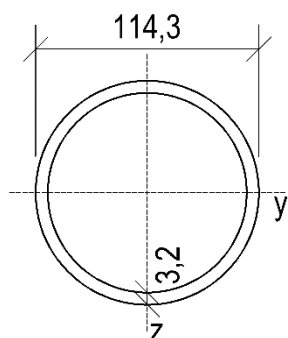
10.2.2. Vnitřní síly



10.2.3. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

Tažená diagonála (D1, D2)

Maximální tahová síla: $F_{D1,2} = 204,61 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 204,61 \text{ kN}$ (viz. 10.2.2 Vnitřní síly)



Návrh: trubka CSH 114,3x3,2

$$A = 1120 \text{ mm}^2$$

$$l_{cr} = 7,90 \text{ m}$$

$$i = 39,3 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{15800}{39,3} = 402 \approx 400$$

Posouzení

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{1120 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 470,40 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{204,61}{407,4} = 0,50 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tažená diagonála (D3, D4)

Maximální tahová síla: $F_{D1,2} = 177,19kN \rightarrow N_{Ed} = 177,19kN$ (viz. 10.2.2 Vnitřní síly)

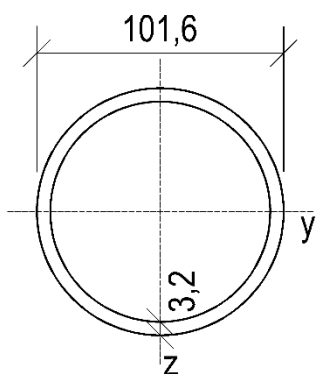
Návrh: trubka CSH 101,6x3,2

$$A = 989mm^2$$

$$l_{cr} = 13700m$$

$$i_{\min} = i_y = 34,8mm$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i} = \frac{13700}{34,8} = 394 \leq 400$$

**Posouzení**

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{989 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 415,38kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} = \frac{176,57}{415,38} = 0,43 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

10.3. Podélné svislé střešní ztužidlo

- Je navrženo jako vrcholová vaznice doplněná o vzpěrky k dolnímu pásu vazníku. Slouží především při montáži střešních vazníků k zabezpečení jejich stability a během provozu stabilizují spodní pás vazníku proti vybočení.

10.3.1. Zatížení od stabilizace horního pásu vazníku proti vybočení**Síly v dolním pásu vazníku:**

- Uvažujeme kombinaci „4.2.4 Kombinace 3 – maximální tah (stálé + vítr)“ kdy jsou vyvozeny největší tlakové síly v dolním pásu vazníku.

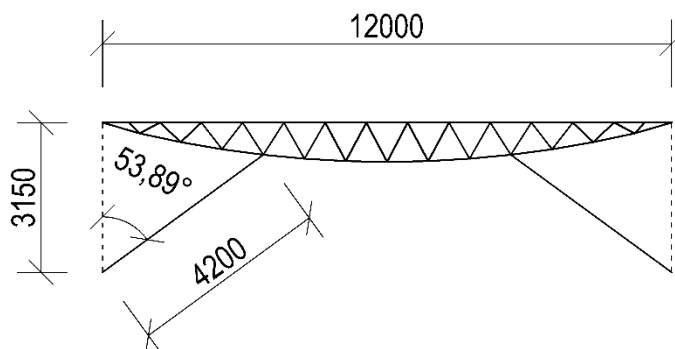
S1	0,00	S6	5,91
S2	-11,40	S7	5,91
S3	-11,40	S8	6,36
S4	0,58	S9	6,36
S5	0,58	S10	0,00

Účinky na jedno ztužidlo

- Uvažujeme, že každé z podélných ztužidel přenese stabilizační síly od jednoho vazníku. Jako účinky které je nutné ztužidlem bereme pouze tlakové síly ve spodním pásu vazníku.

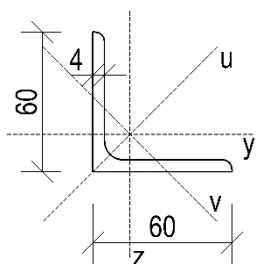
$$P = 0,01 \cdot (11,40 + 11,40) = 0,23kN$$

- Síly stabilizující spodní pás vazníku proti vybočení při sání větru jsou minimální. Podélné střešní ztužidlo tedy navrhujeme konstrukčně tak, aby stabilizovalo vazníky při jejich montáži.



Vzpěrka

Návrh: L 60x60x4



10.4. Podélné střešní ztužidlo v rovině střechy (okapové)

- Jako opláštění budovy jsou navrženy stěnové panely „KINGSPAN - Stěnový panel KS1000 AWP 80“. Bylo uvažováno největší zatížení na stěny objektu a to oblast A s hodnotou sání $w_{e,A} = -0,896 \text{ kN/m}^2$. Také byl uvažován tlak větru působící na stěnu s intenzitou $w_{e,D} = 0,553 \text{ kN/m}^2$. Podle těchto hodnot bylo určeno maximální rozpětí stěnového panelu 3,43m. Pole mezi příčnými vazbami o délce 12,0m bude sloupky stěnového pláště rozděleno na 4 části dlouhé 3,0m. Z toho vyplývá geometrie podélného střešního ztužidla umístěného v rovině střechy.

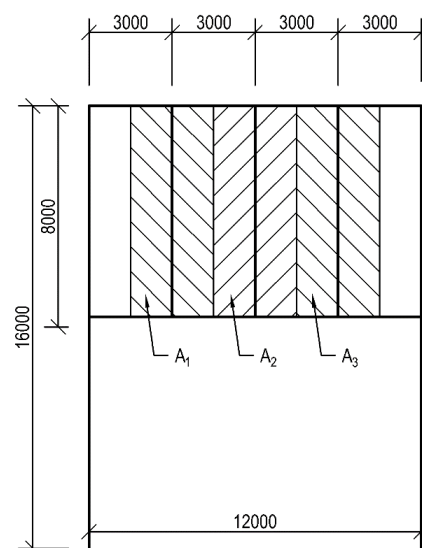
10.4.1. Zatížení větrem

Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z) [\text{kN/m}^2]$	$w_e [\text{kN/m}^2]$
A	-1,2	0,747	-0,896
D	0,74	0,747	0,553

Síla na jedno ztužidlo

$$F_{i,t,k} = A \cdot w_{e,D} \cdot 0,5 \quad F_{i,t,d} = \gamma_Q \cdot F_{i,t,k} = 1,5 \cdot F_{i,t,k}$$

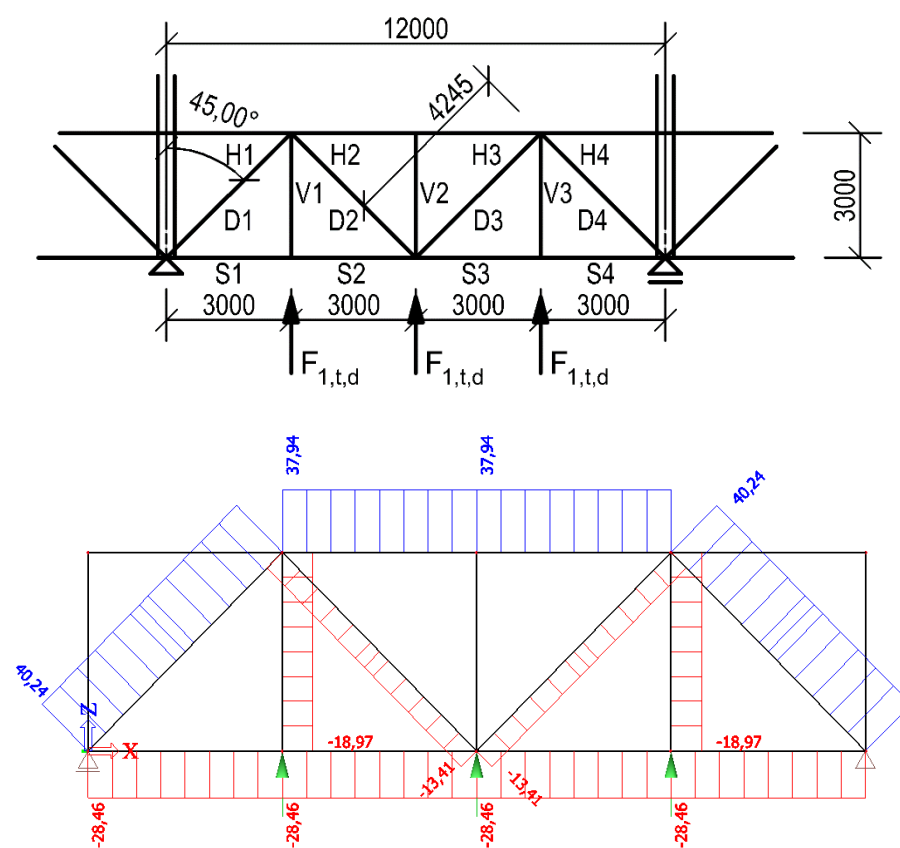
$$F_{i,s,k} = A \cdot w_{e,E} \cdot 0,5 \quad F_{i,s,d} = \gamma_Q \cdot F_{i,s,k} = 1,5 \cdot F_{i,s,k}$$



Větrová oblast				Celková síla od větru		Návrhová síla		
Část	Plocha [m ²]	D [kN/m ²]	A [kN/m ²]	Tlak [kN]	Sání [kN]	γ_Q	$F_{i,t,d}$ [kN]	$F_{i,s,d}$ [kN]
1	22,875	0,553	-0,896	12,65	-20,50	1,5	18,97	-30,74
2	22,875	0,553	-0,896	12,65	-20,50	1,5	18,97	-30,74
3	22,875	0,553	-0,896	12,65	-20,50	1,5	18,97	-30,74

10.4.2. Vnitřní síly

Statické schéma – tlak větru



Tabulka vnitřních sil

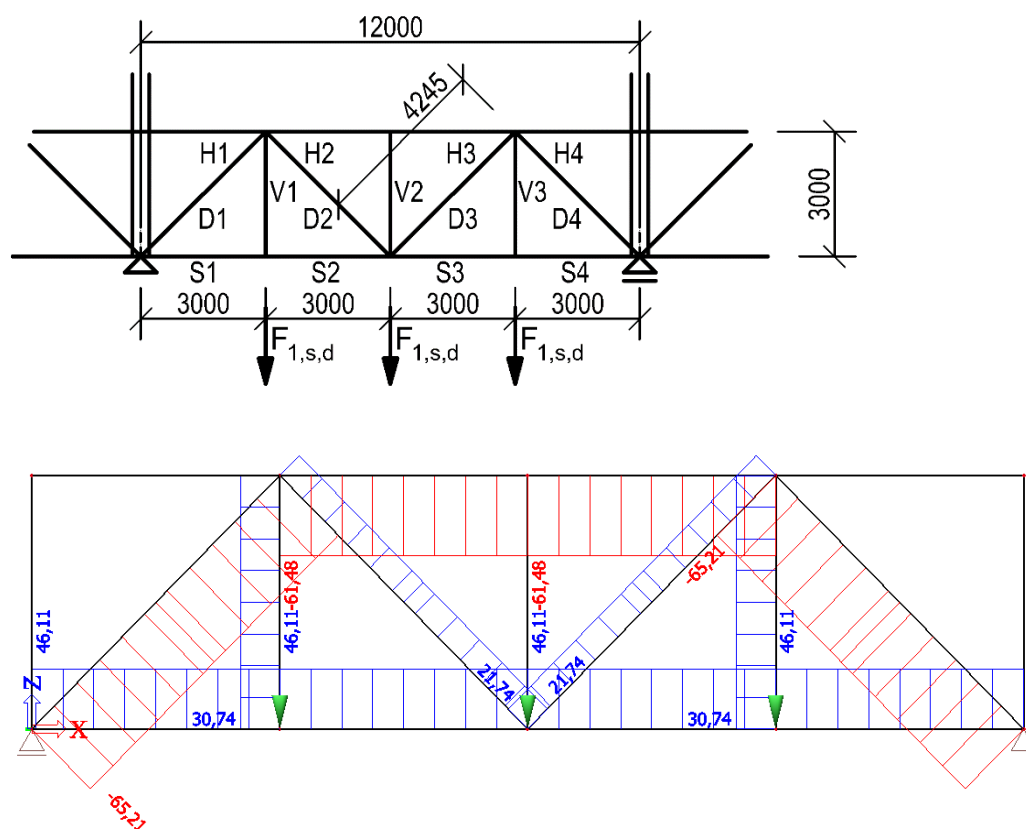
prut	síla [kN]
H1	0
H2	37,94
H3	37,94
H4	0

prut	síla [kN]
S1	-28,46
S2	-28,46
S3	-28,46
S4	-28,46

prut	síla [kN]
D1	40,24
D2	-13,41
D3	-13,41
D4	40,24

prut	síla [kN]
V1	-18,97
V2	0
V3	-18,97

Statické schéma – sání větru



Tabulka vnitřních sil

prut	síla [kN]
H1	0
H2	-61,48
H3	-61,48
H4	0

prut	síla [kN]
S1	46,11
S2	46,11
S3	46,11
S4	46,11

prut	síla [kN]
D1	-65,21
D2	21,74
D3	21,74
D4	-65,21

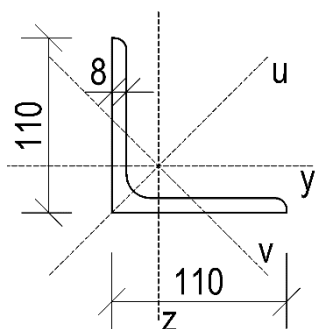
prut	síla [kN]
V1	30,74
V2	0
V3	30,74

10.4.3. Návrh a posouzení jednotlivých prutů

Tlačená diagonála (D1, D4)

Maximální tlaková síla pro kombinaci 1: $F_{D1,4} = -65,21 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 65,21 \text{ kN}$

(viz. 10.4.2 Vnitřní síly)



Návrh: L 110x110x8

$$A = 1711 \text{ mm}^2$$

$$l_{cr} = 4,245 \text{ m}$$

$$I_{\min} = I_v = 8,01 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$i_{\min} = i_v = 19,5 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_{cr}}{i_{\min}} = \frac{4245}{19,5} = 218 \leq 400$$

Posouzení

$$N_{cr,v} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 8,01 \cdot 10^{-7}}{4,25^2} = 92,13 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_v = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,v}}} = \sqrt{\frac{1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{92,13 \cdot 10^3}} = 2,793$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (2,793 - 0,2) + 2,793^2 \right] = 4,841$$

$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \bar{\lambda}_v^2}} = \frac{1}{4,841 + \sqrt{4,841^2 - 2,793^2}} = 0,114$$

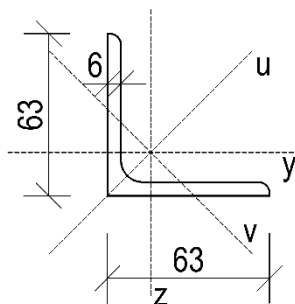
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,114 \cdot 1711 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 81,71 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{65,21}{81,71} = 0,80 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačená svislice (V1, V3)

Maximální tlaková síla pro **kombinaci 1**: $F_{V1,3} = -18,97 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed} = 18,97 \text{ kN}$

(viz. 10.4.2 Vnitřní síly)

**Návrh: L 63x63x6**

$$\begin{aligned} A &= 728 \text{ mm}^2 & l_{cr} &= 3,0 \text{ m} \\ I_{\min} &= I_y = 1,13 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \\ i_{\min} &= i_y = 12,5 \text{ mm} & \lambda &= \frac{l_{cr}}{i_{\min}} = \frac{3000}{12,5} = 240 \leq 400 \end{aligned}$$

Posouzení

$$N_{cr,v} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_{\min}}{l_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,13 \cdot 10^{-7}}{3,0^2} = 26,02 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_v = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,v}}} = \sqrt{\frac{728 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{26,02 \cdot 10^3}} = 3,428$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro válcovaný L profil „b“: $\alpha = 0,34$

$$\phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_v - 0,2) + \bar{\lambda}_v^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (3,428 - 0,2) + 3,428^2 \right] = 6,924$$

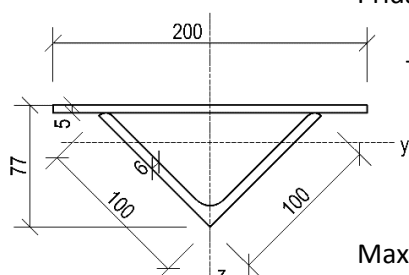
$$\chi_v = \frac{1}{\phi_v + \sqrt{\phi_v^2 - \lambda_v^2}} = \frac{1}{6,924 + \sqrt{6,924^2 - 3,428^2}} = 0,077$$

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_v \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = \frac{0,077 \cdot 728 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{1,0} = 23,631 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{18,97}{23,631} = 0,80 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

Tlačený pás ztužidla (H2, H3)

Přidaná tlaková síla do horního pásu příhradové vaznice (viz. 4.1.5):



- Horní tlačný pás bude v celé konstrukci ve čtvrtinách zajištěn svislicemi okapového ztužidla proti vybočení kolmo k ose z.

Maximální tlaková síla: $F_{H2,3} = -61,48 \text{ kN} \rightarrow N_{Ed+} = 61,48 \text{ kN}$

Posouzení kolmo k ose y

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed+}}{\chi \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} = \frac{132,330 + 61,48}{0,876 \cdot 751,38} + 1,030 \cdot \frac{0,460}{5,956} = 0,37 < 1,00$$

VYHOVÍ

$$\frac{N_{Ed} + N_{Ed+}}{N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{M_{Rk}} = \frac{132,33 + 61,48}{751,38} + 0,824 \cdot \frac{0,460}{5,956} = 0,32 < 1,00$$

VYHOVÍ

Posouzení kolmo k ose z

Průřez kategorie I: W_{pl}

- vzpěrná délka je v tomto případě $l_{cr,z} = 3,0 \text{ m}$ - vzhledem ke svislícím ztužidla po 3,0 m.

$$M_{Rk} = W_{y,el} \cdot f_y = 119700 \cdot 10^{-9} \cdot 420 \cdot 10^6 = 50,27 \text{ kNm}$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6 = 751,38 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{l_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 2,94 \cdot 10^{-6}}{3,0^2} = 677,06 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{1789 \cdot 10^{-6} \cdot 420 \cdot 10^6}{677,06 \cdot 10^3}} = 1,053$$

Křivka vzpěrné pevnosti pro svařované profily „c“: $\alpha = 0,34$

$$\phi_z = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2 \right] = 0,5 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,053 - 0,2) + 1,053^2 \right] = 1,200$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = \frac{1}{1,200 + \sqrt{1,200^2 - 1,053^2}} = 0,564$$

$$\alpha_H = -0,25; \quad \psi = 1,0$$

$$C_{my} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_H = 0,95 + 0,05 \cdot (-0,25) = 0,9375; \quad C_{mz} = 1,0$$

$$k_{zy} = c_{mz} \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda}_z - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} \right] =$$

$$k_{zy} = 1,0 \cdot \left[1 + 0,34 \cdot (1,053 - 0,2) \cdot \frac{193,38 \cdot 10^3}{0,564 \cdot 751,38 \cdot 10^3} \right] = 1,304$$

$$k_{zz} = 0,8 \cdot k_{zy} = 0,8 \cdot 1,304 = 1,043$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{193,83}{0,564 \cdot 751,38} + 1,304 \cdot \frac{0,460}{50,27} = 0,47 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{M_{Rk}}}{\gamma_{M1}} = \frac{193,33}{751,38} + 1,043 \cdot \frac{0,460}{50,27} = 0,27 < 1,00 \quad \textbf{VYHOVÍ}$$