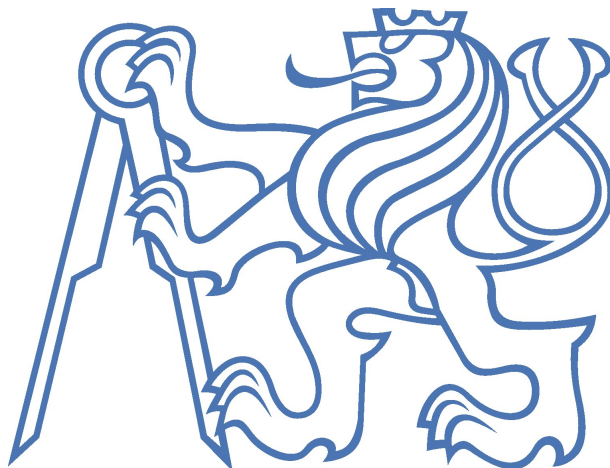


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



DVOULODNÍ SERVISNÍ A SKLADOVACÍ HALA PRO ULTRALEHKÁ LETADLA
TWO-AISLE SERVICE AND STORAGE HALL FOR ULTRALIGHT PLANES

Statický výpočet

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

DAVID SEKAL
Praha, 2017

1 OBSAH

1	Popis objektu.....	- 3 -
2	Dispozice.....	- 3 -
3	Zatížení.....	- 4 -
3.1	Proměnné zatížení	- 4 -
3.1.1	Zatížení sněhem	- 4 -
3.1.2	Zatížení větrem.....	- 4 -
3.2	Stálé zatížení.....	- 10 -
4	Návrh konstrukčních prvků.....	- 11 -
4.1	Návrh střešní krytiny	- 11 -
4.1.1	Izolační střešní panely.....	- 11 -
4.1.2	Vaznice.....	- 12 -
4.2	Návrh Obvodového pláště	- 14 -
4.3	Návrh nosných prvků	- 15 -
4.3.1	Zatěžovací stavy.....	- 15 -
4.3.2	Kombinace zatížení.....	- 19 -
4.3.3	Statické schéma.....	- 20 -
4.3.4	Maximální vnitřní síly na jednotlivých prvcích.....	- 20 -
4.3.5	Mezní stav použitelnosti	- 23 -
4.3.6	Návrh sloupu	- 24 -
4.3.7	Návrh příčle – v poli	- 29 -
4.3.8	Návrh rámového rohu – v místě náběhu	- 32 -
4.3.9	Šroubový přípoj rámového rohu, osa B, levá strana	- 36 -
4.3.10	Šroubový přípoj rámového rohu, osa B, pravá strana.....	- 42 -
4.3.11	Šroubový přípoj rámového rohu, osa A	- 46 -
4.3.12	Návrh patky sloupu	- 47 -
4.3.13	Návrh průvlaku nad velkoformátovými vraty.....	- 54 -
4.4	Ztužení haly	- 63 -
4.4.1	Příčné ztužidlo ve střešní rovině	- 63 -
4.4.2	Svislice ztužidla v rovině svislých ztužidel	- 67 -
4.4.3	Hlavní podélné ztužidlo	- 68 -
4.5	Přípoje prvků	- 72 -
4.5.1	Přípoj diagonály podélného ztužidla ke sloupu	- 72 -
4.5.2	Přípoj táhla příčného střešního ztužidla k příčli.....	- 73 -
4.5.3	Přípoj svislice příčného ztužidla k příčli.....	- 73 -

4.5.4	Kloubový přípoj příčle ke sloupu.....	- 75 -
4.5.5	Montážní přípoj příčle.....	- 76 -
4.5.6	Kloubový přípoj příčle na příhradový průvlak nad vraty.....	- 77 -
	Závěr	- 80 -
	Seznam použité literatury.....	- 81 -
	Normy	- 81 -
	Literatura	- 81 -
	Internetové stránky.....	- 81 -
	Použité programy	- 81 -
	Seznam obrázků	- 82 -
	Seznam tabulek	- 84 -

Ocelová rámová hala

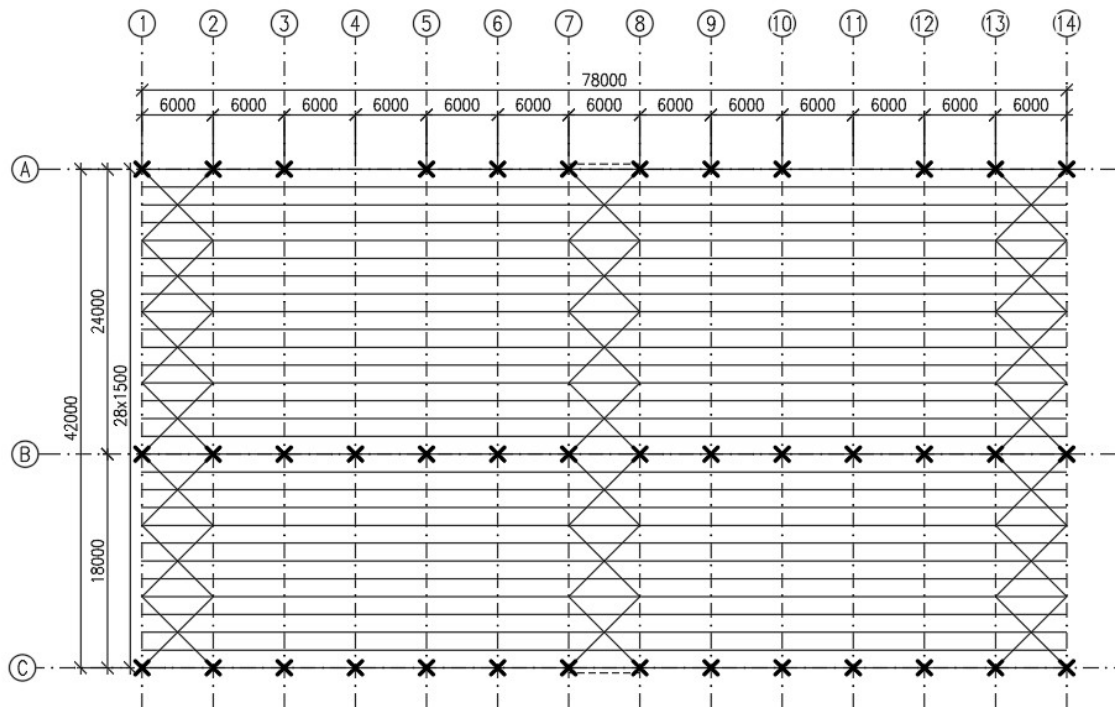
1 POPIS OBJEKTU

Předmětem návrhu je dvoulodní hala o rozpětích 24 a 18 m a délce 78 m. Příčné vazby jsou navrženy jako plnostěnné trojkloubové rámy a jsou od sebe vzdáleny 6 m. Střecha je sedlová se sklonem 12 a 5°. Plášť je navržen s tenkostěnných ocelových profilů a izolačních panelů.

2 DISPOZICE

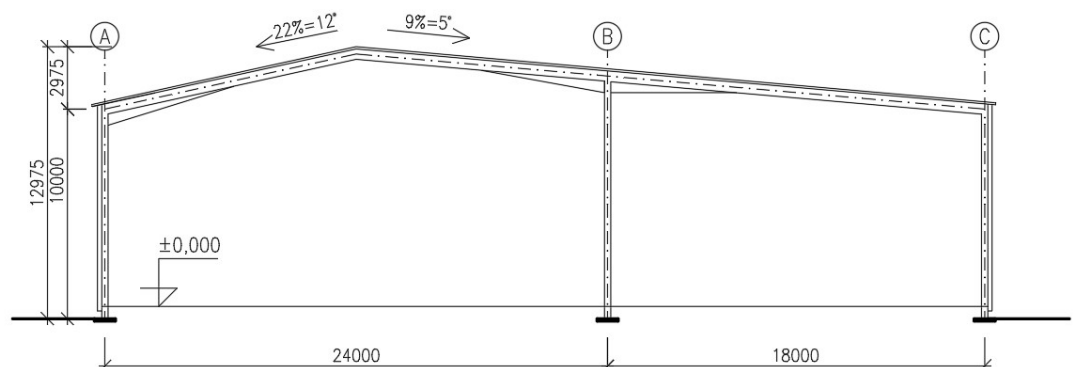
Obr. 1

┌ Půdorys:



Obr. 2

┌ Příčný řez:



3 ZATÍŽENÍ

Výpočet byl proveden v souladu s normou ČSN EN 1991-1. Lokalita, do které je hala zasazena leží v České republice, v obci Nesvačily v blízkosti letiště Benešov, ve II. sněhové oblasti a ve II. větrné oblasti.

3.1 PROMĚNNÉ ZATÍŽENÍ

3.1.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM

1. CHARAKTERISTICKÁ HODNOTA PLOŠNÉHO ZATÍŽENÍ SNĚHEM:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$\mu_i = \text{tvarový součinitel} = 0,8$$

$$C_e = \text{součinitel expozice pro otevřenou krajinu} = 1$$

$$C_t = \text{tepelný součinitel} = 1$$

$$s_k = \text{charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi} = 1 \text{ kN/m}^2$$

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

2. NÁVRHOVÁ HODNOTA ZATÍŽENÍ SNĚHEM:

$$s_d = s \cdot \gamma_Q$$

$$\gamma_Q = \text{dílní součinitel proměnného zatížení} = 1,5$$

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

3.1.2 ZATÍŽENÍ VĚTREM

1. ZÁKLADNÍ RYCHLOST VĚTRU:

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

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

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

$$v_{b,0} = \text{výchozí základní rychlost větru (oblast II.)} = 25 \text{ m/s}$$

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

2. ZÁKLADNÍ TLAK VĚTRU:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

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

$$q_b = (1,25 \cdot 25^2)/2 = \underline{390,63 \text{ Pa}}$$

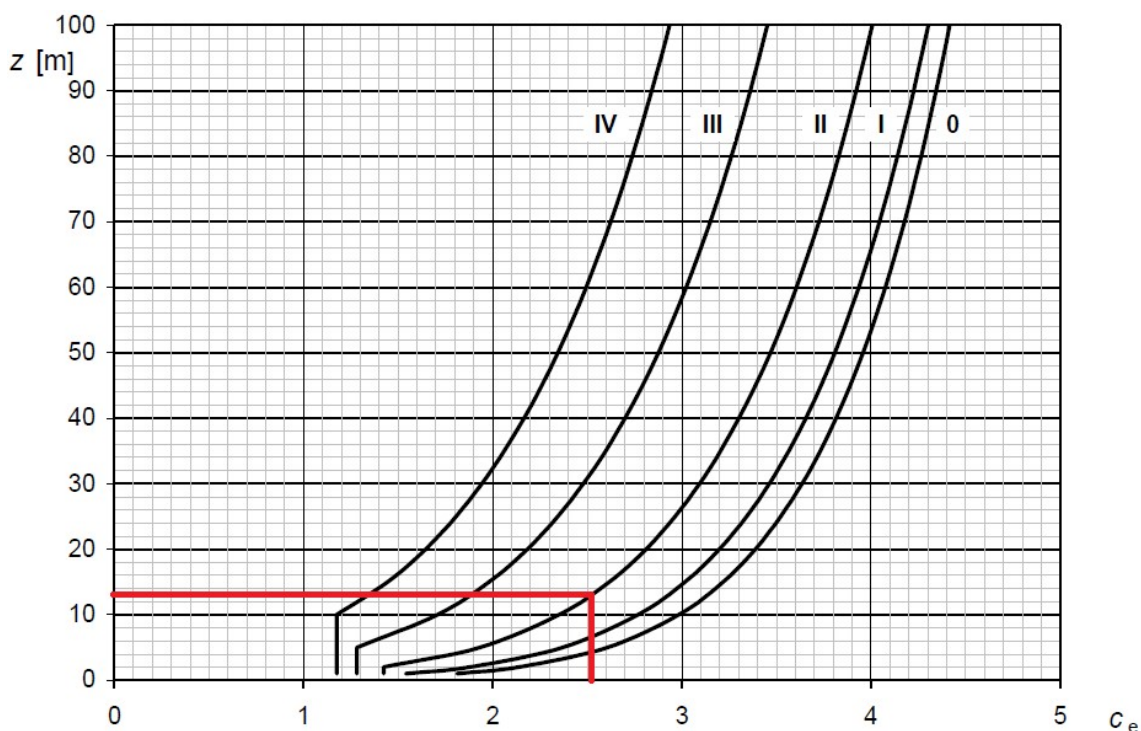
3. MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK

$$q_p = C_{e(z)} \cdot q_b \text{ [Pa]}$$

$$C_{e(z)} = \text{součinitel expozice – kategorie terénu II - viz. obr. 3} = 2,5$$

$Z = 13\text{m}$

Obr. 3 – Určení součinitele expozice



$q_p = 2,5 \cdot 390,63 = \underline{976,6 \text{ Pa} = 0,977 \text{ kN/m}^2}$

4. TLAK VĚTRU NA VNĚJŠÍ POVRCH

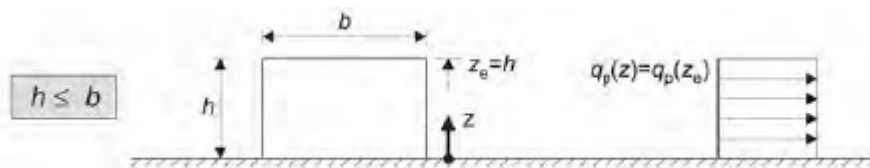
$w_e = q_p \cdot C_{pe,10} \text{ [Pa]}$

Návětrné plochy jsou větší než $10 \text{ m}^2 \rightarrow$ používáme $C_{pe,10}$

5. SVISLÉ STĚNY :

Vítr příčný:

Obr. 4 – Závislost dynamického tlaku na výšce



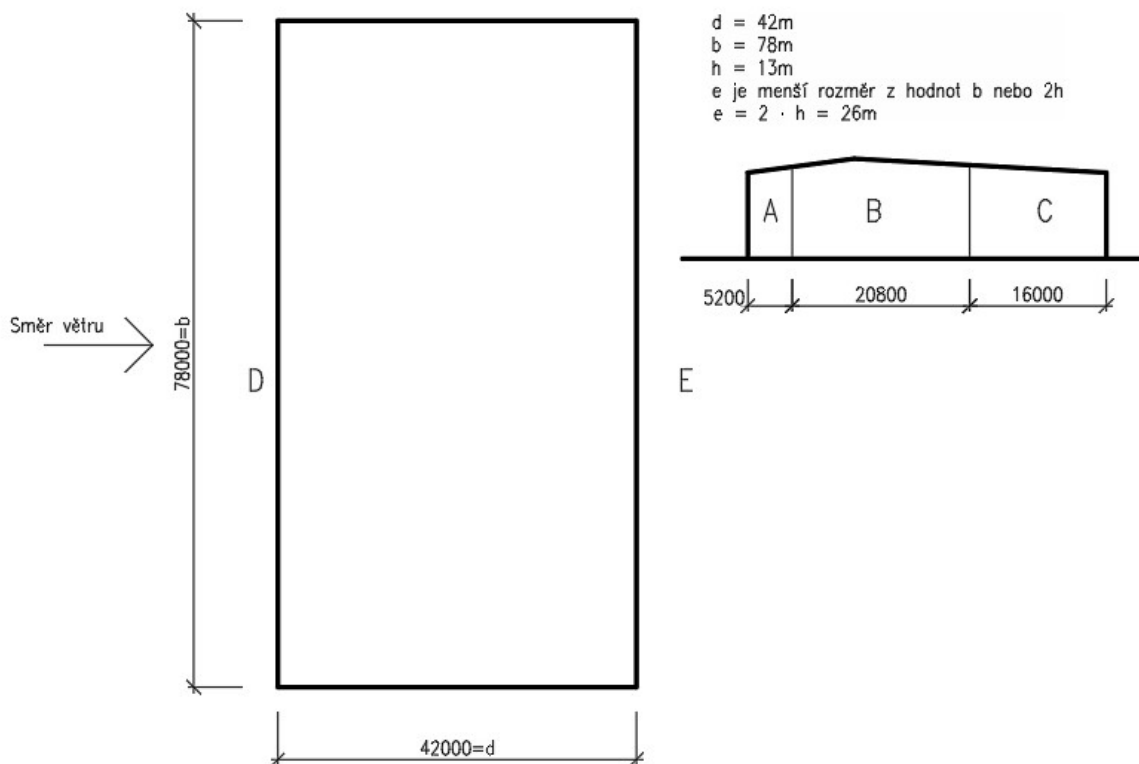
$h/d = 13/42 = 0,31$

Tabulka 7.1 – Doporučené hodnoty součinitelů vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravouhlým půdorysem

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Oblast	$C_{pe,10}$	q_p [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	-1,20	0,977	-1,172
B	-0,80	0,977	-0,782
C	-0,50	0,977	-0,489
D	0,71	0,977	0,694
E	-0,32	0,977	-0,313

Obr. 5 – příčný vítr, svislé stěny, rozložení oblastí



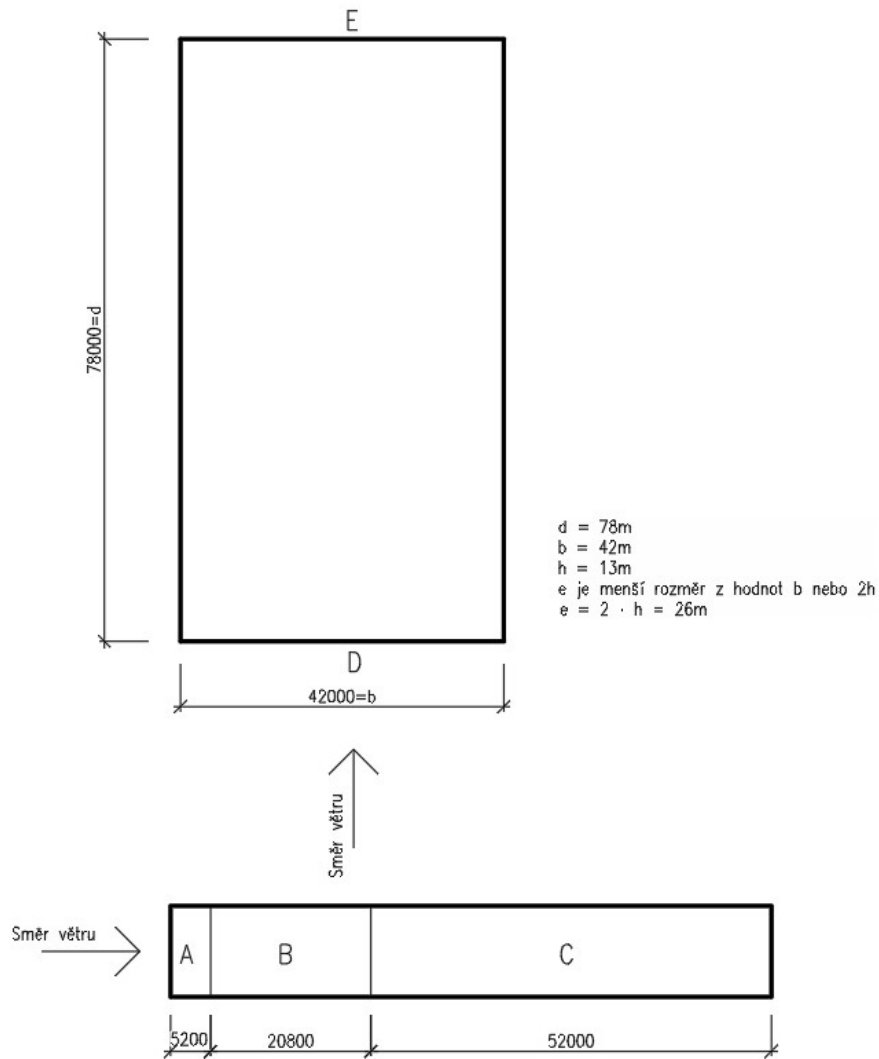
Vítr podélný:

$$h/d = 13/78 = 0,17 < 0,25$$

Oblast	A		B		C		D		E	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,7	
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,5	
$\leq 0,25$	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,7	+1,0	-0,3	

Oblast	$C_{pe,10}$	q_p [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
A	-1,20	0,977	-1,172
B	-0,80	0,977	-0,782
C	-0,50	0,977	-0,489
D	0,70	0,977	0,684
E	-0,30	0,977	-0,293

Obr. 6 – podélný vítr, svislé stěny, rozložení oblastí



6. STŘECHA:

Vítr příčný (směr $\theta = 0^\circ$):

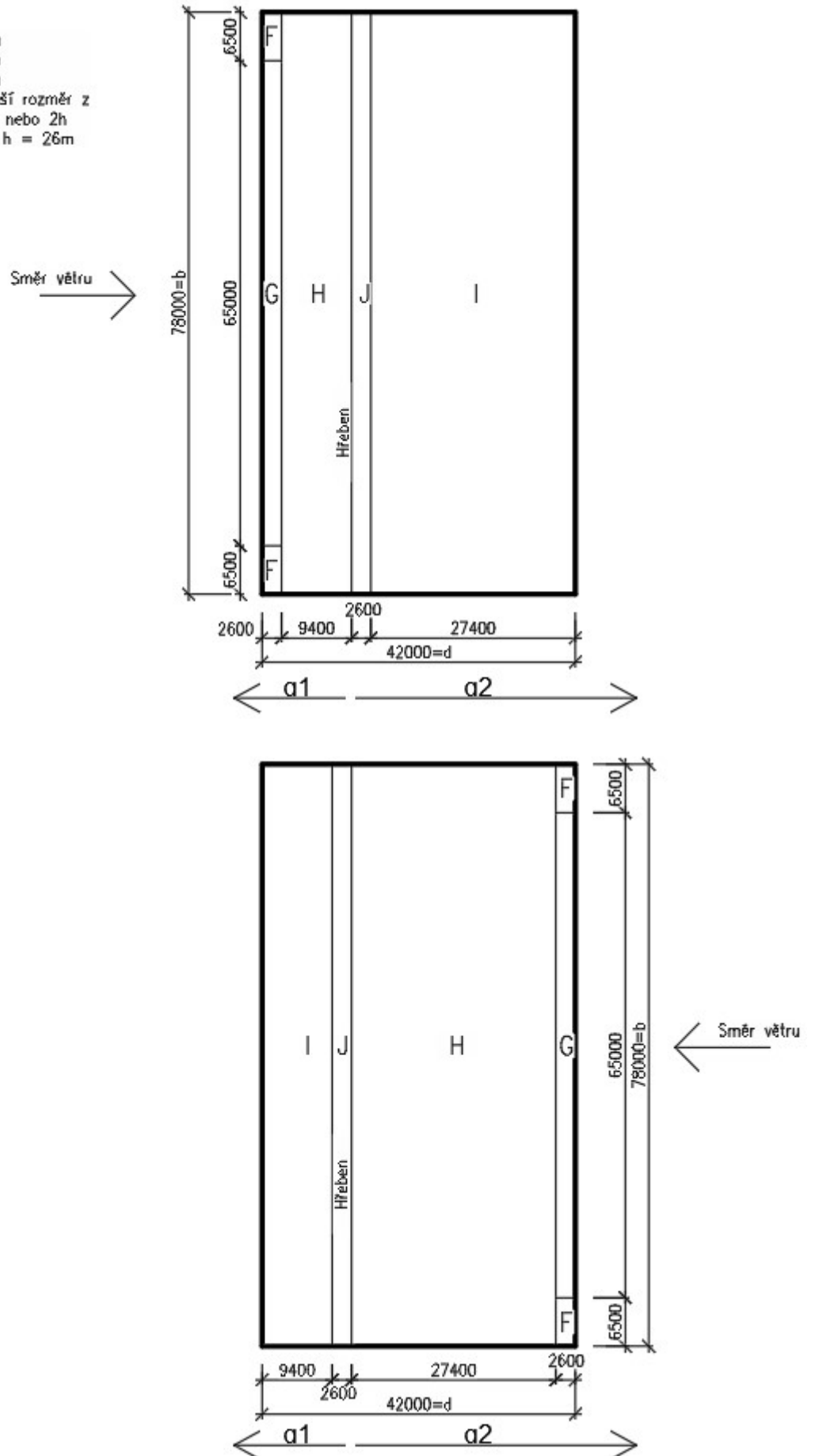
$\alpha_1 = 12^\circ$ (interpolace mezi 5° a 15°)

$\alpha_1 = 5^\circ$

Oblast	$C_{pe,10}$		q_p [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]	
	sání	tlak		sání	tlak
$\alpha = 12^\circ$					
F	-1,14	0,14	0,977	-1,114	0,137
G	-0,92	0,14	0,977	-0,899	0,137
H	-0,39	0,14	0,977	-0,381	0,137
I	-0,46	0,00	0,977	-0,449	0,000
J	-0,64	0,00	0,977	-0,625	0,000
Oblast	$C_{pe,10}$		q_p [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]	
$\alpha = 5^\circ$	sání	tlak		sání	tlak
F	-1,70	0,00	0,977	-1,661	0,000
G	-1,20	0,00	0,977	-1,172	0,000
H	-0,60	0,00	0,977	-0,586	0,000
I	-0,60	0,00	0,977	-0,586	0,000
J	-0,60	0,20	0,977	-0,586	0,195

Obr. 7 – příčný vítr, sedlová střecha, rozložení oblastí

$d = 42\text{m}$
 $b = 78\text{m}$
 $h = 13\text{m}$
 e je menší rozměr z
 hodnot b nebo $2h$
 $e = 2 \cdot h = 26\text{m}$



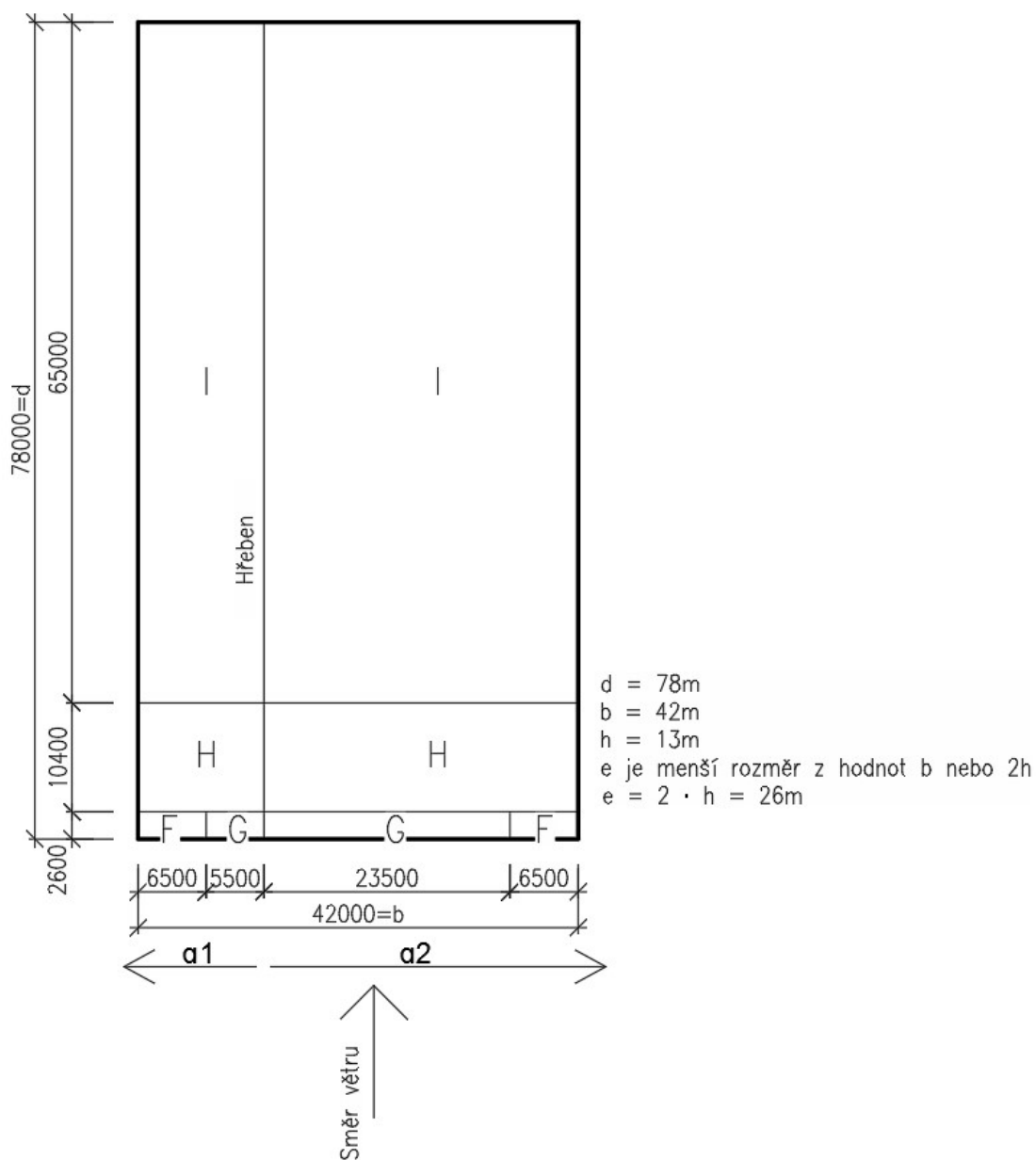
Vítr podélný (směr $\theta = 90^\circ$):

$\alpha_1 = 12^\circ$ (interpolace mezi 5° a 15°)

$\alpha_1 = 5^\circ$

Oblast	$C_{pe,10}$	q_p [kN/m ²]	w_e [kN/m ²]
$\alpha = 5^\circ$			
F	-1,60	0,977	-1,563
G	-1,30	0,977	-1,270
H	-0,70	0,977	-0,684
I	-0,60	0,977	-0,586
$\alpha = 12^\circ$			
F	-1,39	0,977	-1,358
G	-1,30	0,977	-1,270
H	-0,63	0,977	-0,616
I	-0,46	0,977	-0,449

Obr. 8 – podélný vítr, sedlová střecha, rozložení oblastí



3.2 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$$G_d = G_k \cdot \gamma_f$$

Tab. 1 – Stálé zatížení

Druh zatížení	Původ zatížení	G_k	γ_f [-]	G_d
Stálé	Izolační panely (odhad)	0,115 kN/m ²	1,35	0,155 kN/m ²
Stálé	Z vaznice (odhad)	0,076 kN/m'	1,35	0,103 kN/m'
Stálé	Příčle IPE 550	1,06 kN/m'	1,35	1,431 kN/m'
Stálé	Sloup HEA 500	1,55 kN/m'	1,35	2,092 kN/m'

ZDROJE INFORMACÍ: WWW.KINGSPAN.COM

[HTTP://KOVPROF.CZ/](http://KOVPROF.CZ/)

WWW.FERONA.CZ

4 NÁVRH KONSTRUKČNÍCH PRVKŮ

4.1 NÁVRH STŘEŠNÍ KRYTINY

ZDROJE INFORMACÍ: WWW.KINGSPAN.COM

HTTP://KOVPROF.CZ/

4.1.1 IZOLAČNÍ STŘEŠNÍ PANELE

Charakteristické zatížení sněhem = 0,8 kN/m²

Maximální charakteristické zatížení sáním větru = -1,661kN/m²

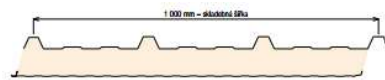
Rozpon = 1,54 m

Spojité nosník o 3 a více polích

Dle tabulek výrobce

Střešní panel KS1000 RW 100

plech vnější/vnitřní 0,5 / 0,4 mm S280GD podle ČSN EN 14509



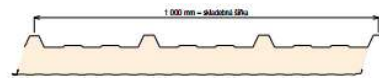
Systém	Skupina barev	charakteristické proměnné zatížení sněhem [kN/m ²]																			
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
Prostý nosník	I, II, III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		6,65	5,66	4,96	4,10	3,45	2,94	2,54	2,21	1,96	1,75	1,58	1,45	1,34	1,26	1,18	1,12	1,06	1,01	0,98	0,94
Spojité nosník o 2 polích	I (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	II (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
Spojité nosník o 3 a více polích	I (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	II (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
III (f)	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	
	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	

barevná skupina (zatížení dle odstínu v RAL)
 (f) – přípustná deformace pro krátkodobé zatížení L/200, pro dlouhodobé L/100, kde L je rozpětí mezi podporami

AA – min. šířka krajní podpory
 X,XX – max. rozpon
 BB – min. šířka střední podpory

Střešní panel KS1000 RW 100

plech vnější/vnitřní 0,5 / 0,4 mm S280GD podle ČSN EN 14509



Systém	Skupina barev	charakteristické proměnné zatížení, SÁNÍ VĚTRU [kN/m ²]																			
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00
Prostý nosník	I, II, III (f)	6,74	5,68	5,10	4,70	4,30	3,99	3,73	3,52	3,34	3,18	3,04	2,90	2,76	2,62	2,47	2,33	2,20	2,08	1,97	1,87
		10,06	6,79	4,74	3,74	3,14	2,73	2,43	2,21	2,03	1,88	1,76	1,66	1,57	1,49	1,42	1,36	1,31	1,26	1,21	1,17
Spojité nosník o 2 polích	II (f)	10,06	6,39	4,45	3,51	2,96	2,58	2,31	2,10	1,94	1,80	1,69	1,60	1,51	1,44	1,38	1,32	1,27	1,22	1,18	1,14
		10,06	5,75	4,00	3,18	2,70	2,37	2,14	1,95	1,81	1,69	1,59	1,51	1,43	1,37	1,31	1,26	1,22	1,17	1,14	1,10
		10,63	7,69	5,51	4,30	3,56	3,07	2,71	2,44	2,23	2,06	1,92	1,80	1,70	1,62	1,54	1,48	1,42	1,36	1,32	1,27
	III (f)	10,63	7,68	5,30	4,13	3,42	2,95	2,61	2,35	2,15	1,99	1,86	1,75	1,65	1,57	1,50	1,44	1,38	1,33	1,28	1,24
		10,63	7,25	4,98	3,86	3,20	2,76	2,45	2,22	2,03	1,89	1,76	1,66	1,58	1,50	1,44	1,38	1,32	1,28	1,24	1,20
		10,63	7,25	4,98	3,86	3,20	2,76	2,45	2,22	2,03	1,89	1,76	1,66	1,58	1,50	1,44	1,38	1,32	1,28	1,24	1,20

Minimální šířka krajní podpory je 40 mm, minimální šířka střední podpory je 60 mm, nevyplyvá-li z tabulek pro zatížení v tlaku šířka větší.

barevná skupina (zatížení dle odstínu v RAL)
 (f) – přípustná deformace pro krátkodobé zatížení L/200, pro dlouhodobé L/100, kde L je rozpětí mezi podporami

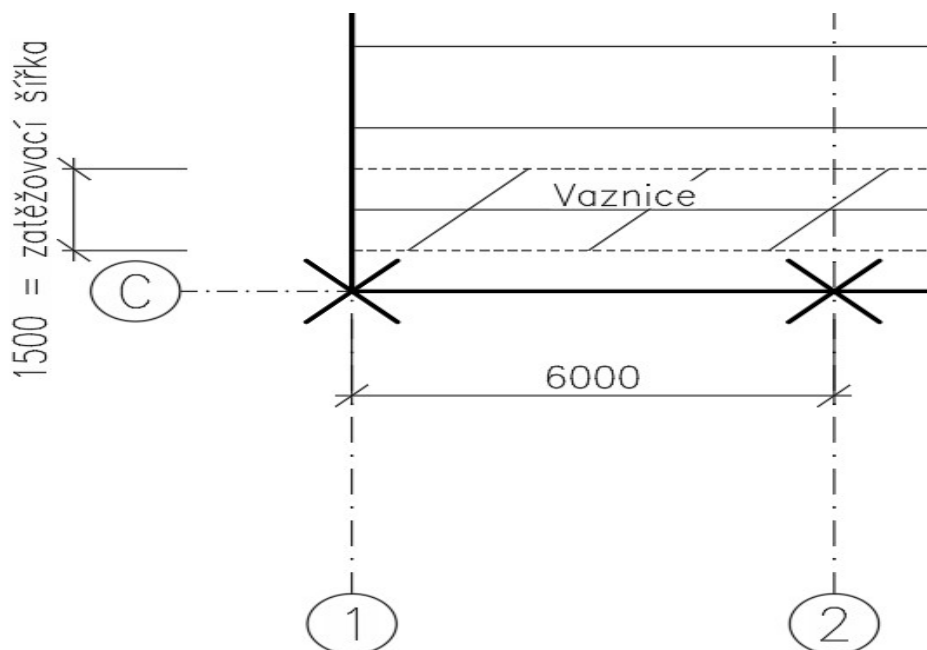
max. rozpon

Střešní izolační panel Kingspan KS1000 RW 100 vyhovuje

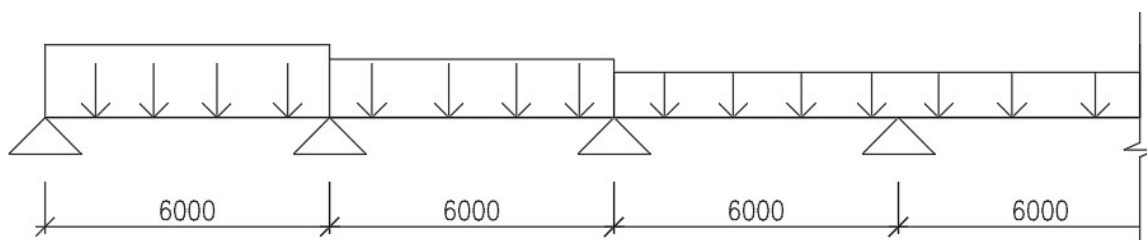
4.1.2 VAZNICE

1. ZATÍŽENÍ VAZNICE

Obr. 9 – zatěžovací šířka Z vaznice



Statické schéma – spojitý nosník o 5-ti a více polích



Tab. 2 – Maximální tlak

Druh zatížení	Původ zatížení	Výpočet [kN/m']	F_k [kN/m']	γ_f [-]	F_d [kN/m']
Stálé	Izolační panely	$0,115 \cdot 1,5$	0,173	1,35	0,234
Stálé	Z vaznice (odhad)	0,076	0,076	1,35	0,103
Proměnné	Sníh	$0,8 \cdot 1,5$	1,2	1,5	1,8
		Σ	1,449		2,136

Tab. 3 – Maximální sání (podélné)

Druh zatížení	Původ zatížení	Výpočet [kN/m']	F_k [kN/m']	γ_f [-]	F_d [kN/m']
Stálé	Izolační panely	$0,115 \cdot 1,5$	0,173	1	0,173
Stálé	Z vaznice (odhad)	0,076	0,076	1	0,076
Proměnné	Vítr podélný (oblast F)	$-1,563 \cdot 1,5$	-2,3445	1,5	-3,51675
		Σ	-2,0955		-3,268

Tab. 4 – Maximální sání (příčné)

Druh zatížení	Původ zatížení	Výpočet [kN/m']	F _k [kN/m']	γ _f [-]	F _d [kN/m']
Stálé	Izolační panely	0,115 · 1,5	0,173	1	0,173
Stálé	Z vaznice (odhad)	0,076	0,076	1	0,076
Proměnné	Vítr příčný (oblast F)	-1,661 · 1,5	-2,4915	1,5	-3,73725
		Σ	-2,2425		-3,488

Tab. 5 – Tabulka výrobce pro návrh Z vaznic „Kovové profily“

SPOJITÝ NOSNÍK O 5 A VÍCE POLÍCH - PŘESAHY 0,6 m + 0,9 m

Profil		Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m] pro pole rozpětí L [m]																
		5,00	5,50	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00
krajní : Z 240/2,5 vnitřní : Z 240/2,0	1	7.20	6.09	5.23	4.81	4.43	4.09	3.79	3.52	3.28	3.06	2.86	2.48	2.16	1.90	1.67	1.49	1.33
	2	6.16	5.29	4.61	4.24	3.91	3.62	3.36	3.12	2.91	2.72	2.55	2.16	1.85	1.59	1.37	1.18	1.01
	3	-6.35	-5.14	-4.24	-3.89	-3.57	-3.30	-3.05	-2.83	-2.63	-2.45	-2.29	-2.00	-1.76	-1.56	-1.39	-1.25	-1.13
	4	-4.69	-3.75	-3.05	-2.78	-2.55	-2.34	-2.16	-1.99	-1.84	-1.71	-1.59	-1.38	-1.21	-1.06	-0.94	-0.84	-0.75
	5	9.91	7.44	5.73	5.07	4.51	4.03	3.61	3.25	2.94	2.66	2.42	2.02	1.70	1.44	1.24	1.07	0.93
krajní : Z 240/3,0 vnitřní : Z 240/2,5	6	6.61	4.96	3.82	3.38	3.01	2.69	2.41	2.17	1.96	1.77	1.61	1.34	1.13	0.96	0.83	0.71	0.62
	1	9.37	7.96	6.88	6.36	5.90	5.50	5.13	4.80	4.50	4.23	3.99	3.45	3.01	2.64	2.32	2.07	1.85
	2	8.48	7.30	6.38	5.89	5.46	5.07	4.73	4.42	4.14	3.88	3.65	3.12	2.68	2.32	2.01	1.74	1.50
	3	-8.06	-6.53	-5.38	-4.93	-4.54	-4.19	-3.87	-3.59	-3.34	-3.11	-2.91	-2.54	-2.24	-1.99	-1.77	-1.59	-1.43
	4	-6.46	-5.18	-4.23	-3.87	-3.55	-3.26	-3.01	-2.78	-2.58	-2.40	-2.23	-1.94	-1.71	-1.50	-1.34	-1.19	-1.07
	5	12.2	9.17	7.07	6.25	5.56	4.96	4.45	4.01	3.62	3.28	2.98	2.49	2.09	1.78	1.53	1.32	1.15
6	8.14	6.12	4.71	4.17	3.71	3.31	2.97	2.67	2.41	2.19	1.99	1.66	1.40	1.19	1.02	0.88	0.76	

Únosnost dle ČSN EN 1993-1-3:

Řádek č. 1 : Únosnost bez vlivu osové síly (návrhová hodnota)

Řádek č. 2 : Únosnost s vlivem osové síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Řádek č. 3 : Únosnost pro sání bez vlivu osové síly (návrhová hodnota)

Řádek č. 4 : Únosnost pro sání s vlivem osové síly 30 kN (návrhová hodnota, osová síla v tlaku nebo tahu)

Řádek č. 5 : Maximální zatížení pro deformaci L/200 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Řádek č. 6 : Maximální zatížení pro deformaci L/300 (charakteristická hodnota, únosnost dle MSÚ není zohledněna)

Návrh: Vaznice Z 240/3 (krajní), Z 240/2,5 (vnitřní)

 Maximální tlak: $F_{Ed} = 2,14 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Rd} = 6,38 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Ed} < F_{Rd} \rightarrow$ Vyhovuje

 Maximální sání: $F_{Ed} = 3,49 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Rd} = 4,23 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Ed} < F_{Rd} \rightarrow$ Vyhovuje

 Deformace L/200: $F_{Ek} = 2,24 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Rk} = 4,71 \text{ kN/m}^2$
 $F_{Ek} < F_{Rk} \rightarrow$ Vyhovuje
Vaznice Z 240/3 (krajní), Z 240/2,5 (vnitřní) vyhovuje

4.2 NÁVRH OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ

ZDROJE INFORMACÍ: WWW.KINGSPAN.COM

Maximální charakteristická hodnota sání na svislé stěny: -1,17 kN/m²

Maximální charakteristická hodnota tlaku na svislé stěny: 0,69 kN/m²

Rozpon = 6m

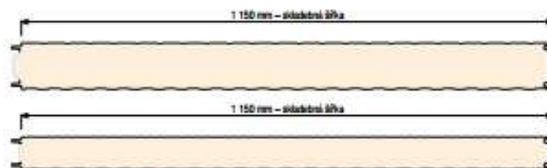
Prostý nosník

Dle tabulek výrobce

Tabulky únosnosti | KS1150 NF/TF

Stěnový panel KS1150 NF/TF 200

plech vnější/vnitřní 0,6/0,4 mm, profilace M/Q, S280GD podle ČSN EN 14509



		TLAK								
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							[kN/m ²]	Význam hodnot v tabulce:
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75		
prostý nosník ▲ — ▲	I., II., III.	40	58	76	92	105	118	129	140	AA min. šířka krajní podpory [mm] X,XX max. rozpon [m] BB min. šířka střední podpory [mm] Příklady zařazení odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Přípustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobé zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
	16,48	12,23	9,99	8,65	7,74	7,06	6,54	6,12		
	I.	40	40	47	62	77	90	102	114	
spojitý nosník o 2 polích ▲ — ▲ — ▲	II.	10,72	8,25	7,16	6,50	6,04	5,69	5,40	5,14	
	60	81	95	125	153	180	204	227		
	II.	40	40	47	62	77	90	102	114	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	III.	10,72	8,25	7,16	6,50	6,04	5,69	5,40	5,14	
	60	81	95	125	153	180	204	227		
	I.	40	43	59	73	86	98	109	119	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	II.	14,02	10,07	8,32	7,29	6,59	6,07	5,68	5,36	
	60	86	118	146	172	196	218	239		
	III.	40	43	59	73	86	98	109	119	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	II.	14,02	10,07	8,32	7,29	6,59	6,07	5,68	5,36	
	60	86	118	146	172	196	218	239		
	III.	40	43	59	73	86	98	109	119	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	II.	14,02	10,07	8,32	7,29	6,59	6,07	5,68	5,36	
	60	86	118	146	172	196	218	239		
	III.	40	43	59	73	86	98	109	119	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	II.	14,02	10,07	8,32	7,29	6,59	6,07	5,68	5,36	
	60	86	118	146	172	196	218	239		
	III.	40	43	59	73	86	98	109	119	

		SÁNÍ								
systém	barevná skupina	charakteristické proměnné zatížení							[kN/m ²]	Význam hodnot v tabulce:
		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75		
prostý nosník ▲ — ▲	I.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	X,XX max. rozpon [m] Příklady zařazení odstínu do skupiny: I. barevná skupina RAL 1015, 7035, 9002, 9010 II. barevná skupina RAL 9006, 9007 III. barevná skupina RAL 8004, 3009, 5010, 6020, 7016, 3000 Přípustná deformace: - pro krátkodobé zatížení L/200 - pro dlouhodobé zatížení L/100 kde L je vzdálenost mezi podporami
	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76		
	II.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
spojitý nosník o 2 polích ▲ — ▲ — ▲	III.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	I.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	II.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
spojitý nosník o 2 polích ▲ — ▲ — ▲	III.	13,20	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	I.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	II.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	III.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	I.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	II.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
spojitý nosník o 3 polích ▲ — ▲ — ▲ — ▲	III.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	I.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	
	II.	13,46	9,52	7,77	6,73	6,02	5,50	5,09	4,76	

Minimální šířka krajní podpory je 40 mm, minimální šířka střední podpory je 60 mm, nevyplyvá-li z tabulek pro zatížení v tlaku šířka větší.

Stěnový izolační panel Kingspan KS1150 NF vyhovuje

4.3 NÁVRH NOSNÝCH PRVKŮ

4.3.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY

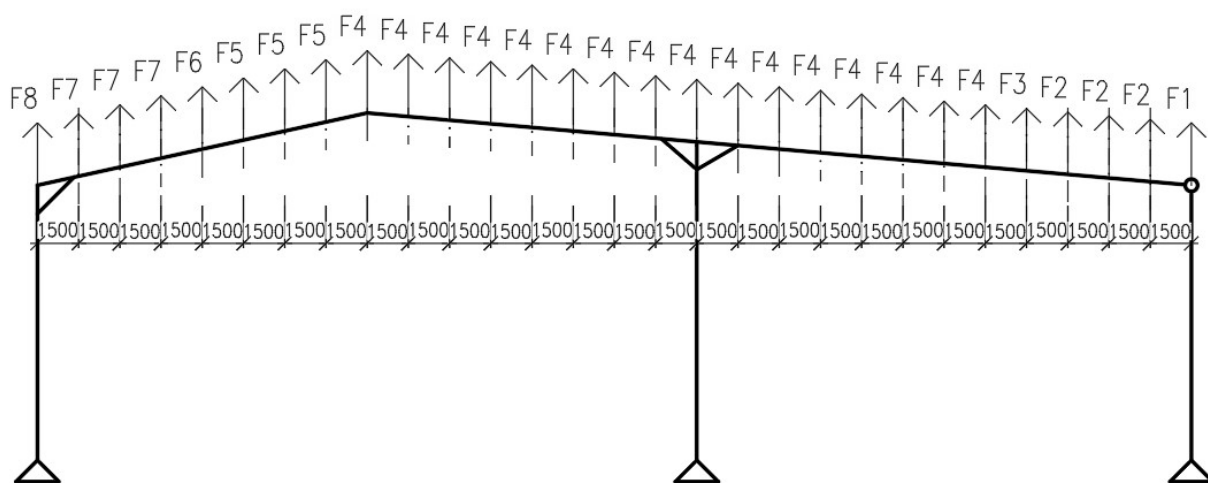
Osová vzdálenost příčných vazeb = 6m

1. ZS 1: VÍTR PODÉLNÝ

Větší zatížení u podélného větru vyšly navzdory poloviční zatěžovací šířce u štítového rámu na ose 1. U ostatních ZS je rozhodující (nejvíce namáhaný) rám na ose 2 – potom plná zatěžovací šířka.

Tab. 6 – Působící síly od podélného větru 1

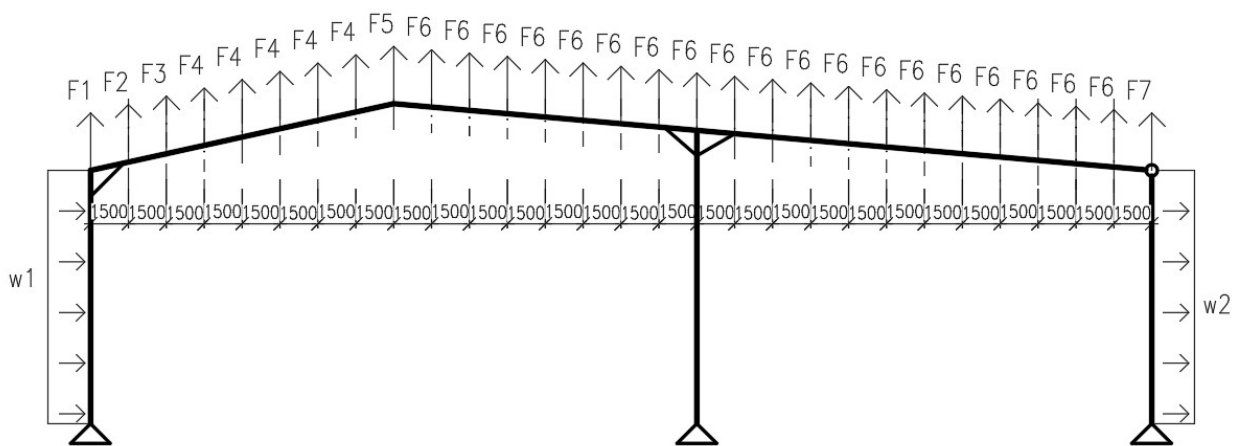
Podélný vítr 1	výpočet: (plocha dílčích oblastí) · (zatížení v oblasti)	Fk [kN]
F1	$1,95 \cdot (-1,563) + 0,3 \cdot (-0,684)$	-3,25305
F2	$3,9 \cdot (-1,563) + 0,6 \cdot (-0,684)$	-6,5061
F3	$0,65 \cdot (-1,270) + 3,25 \cdot (-1,563) + 0,6 \cdot (-0,684)$	-6,31565
F4	$3,9 \cdot (-1,270) + 0,6 \cdot (-0,684)$	-5,3634
F5	$3,9 \cdot (-1,27) + 0,6 \cdot (-0,616)$	-5,3226
F6	$3,25 \cdot (-1,358) + 0,65 \cdot (-1,27) + 0,6 \cdot (-0,616)$	-5,6086
F7	$3,9 \cdot (-1,358) + 0,6 \cdot (-0,616)$	-5,6658
F8	$(3,9 \cdot (-1,358) + 0,6 \cdot (-0,616))/2$	-2,8329



2. ZS 2: VÍTR PŘÍČNÝ 1

Tab. 7 – Působící síly od příčného větru 1

Příčný vítr 1	výpočet: (plocha dílčích oblastí) · (zatížení v oblasti)	Fk [kN]
F1	$2,625 \cdot (-1,114) + 1,875 \cdot (-0,899)$	-4,60988
F2	$5,28 \cdot (-1,114) + 3,75 \cdot (-0,899)$	-9,25317
F3	$1,225 \cdot (-1,114) + 0,875 \cdot (-0,899) + 6,9 \cdot (-0,381)$	-4,78018
F4	$9 \cdot (-0,381)$	-3,429
F5	$4,5 \cdot (-0,381) + 4,5 \cdot (-0,586)$	-4,3515
F6	$9 \cdot (-0,586)$	-5,274
F7	$4,5 \cdot (-0,586)$	-2,637
w1	$0,694 \cdot 6$	4,164 kN/m'
w2	$0,313 \cdot 6$	1,878 kN/m'



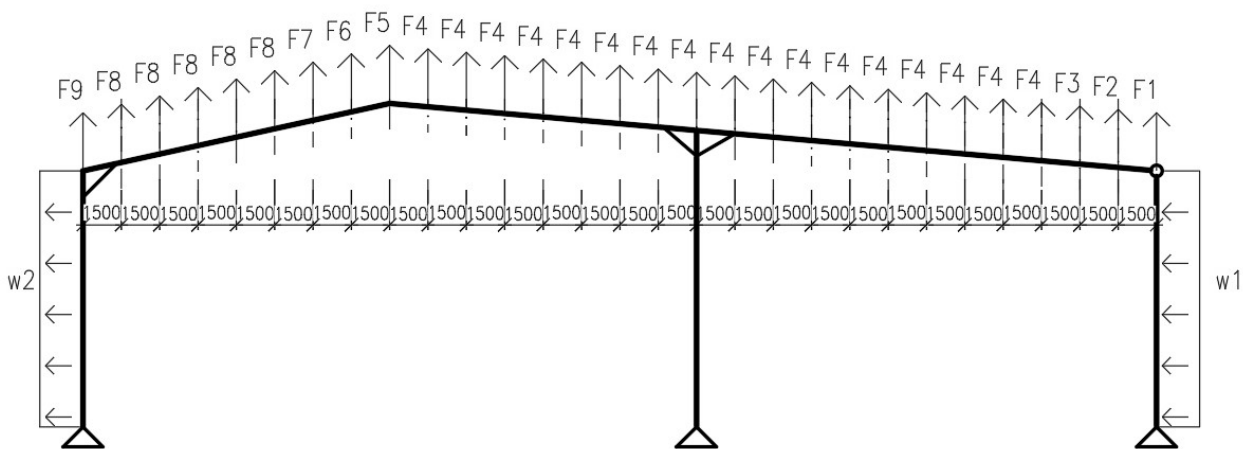
3. ZS 3: VÍTR PŘÍČNÝ 1 – POUZE VODOROVNÁ SLOŽKA

Viz. tabulka 6

4. ZS 4: VÍTR PŘÍČNÝ 2

Tab. 8 – Působící síly od příčného větru 2

Příčný vítr 2	výpočet: (plocha dílčích oblastí) · (zatížení v oblasti)	Fk [kN]
F1	$2,625 \cdot (-1,661) + 1,875 \cdot (-1,172)$	-6,55763
F2	$5,25 \cdot (-1,661) + 3,75 \cdot (-1,172)$	-13,1153
F3	$1,225 \cdot (-1,661) + 6,9 \cdot (-0,586) + 0,875 \cdot (-1,172)$	-7,10363
F4	$9 \cdot (-0,586)$	-5,274
F5	$4,5 \cdot (-0,586) + 4,5 \cdot (-0,625)$	-5,4495
F6	$9 \cdot (-0,625)$	-5,625
F7	$2,1 \cdot (-0,625) + 6,9 \cdot (-0,449)$	-4,4106
F8	$9 \cdot (-0,449)$	-4,041
F9	$4,5 \cdot (-0,449)$	-2,0205
w1	$0,694 \cdot 6$	4,164 kN/m'
w2	$0,313 \cdot 6$	1,878 kN/m'



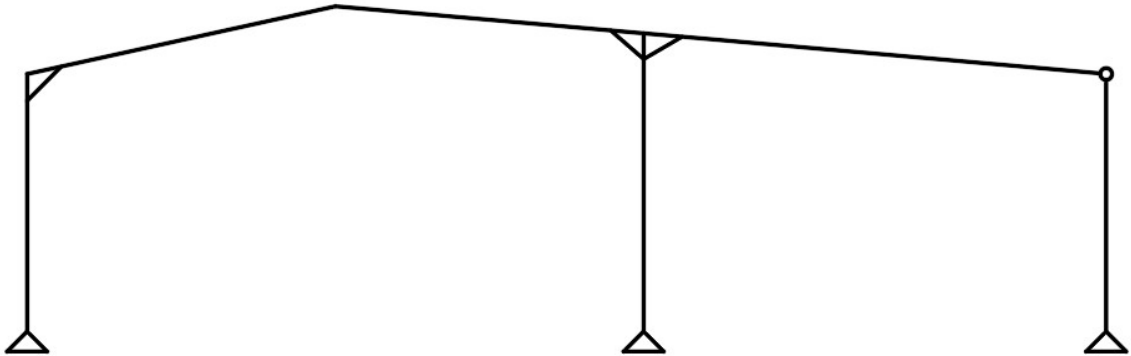
5. ZS 5: VÍTR PŘÍČNÝ 2 – POUZE VODOROVNÁ SLOŽKA

Viz. tabulka 8

6. ZS 6: SNÍH

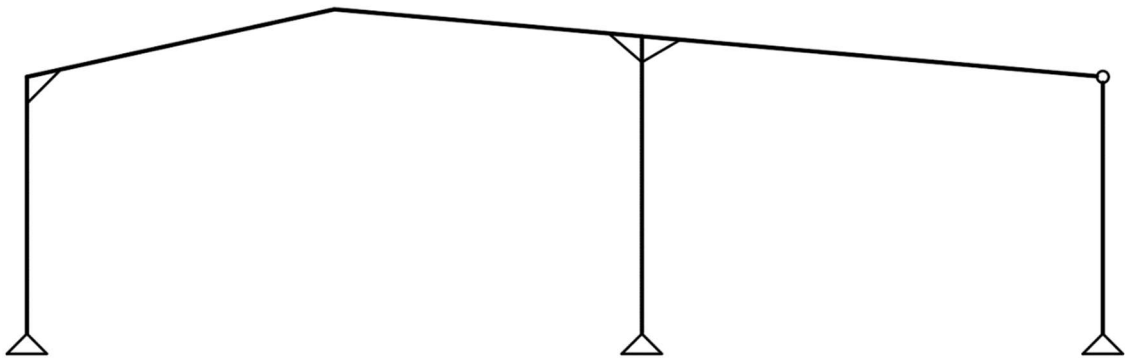
$$Q_s = z.š. \cdot s = 6 \cdot 0,8 = \underline{4,8 \text{ kN/m}^2}$$

Q_s



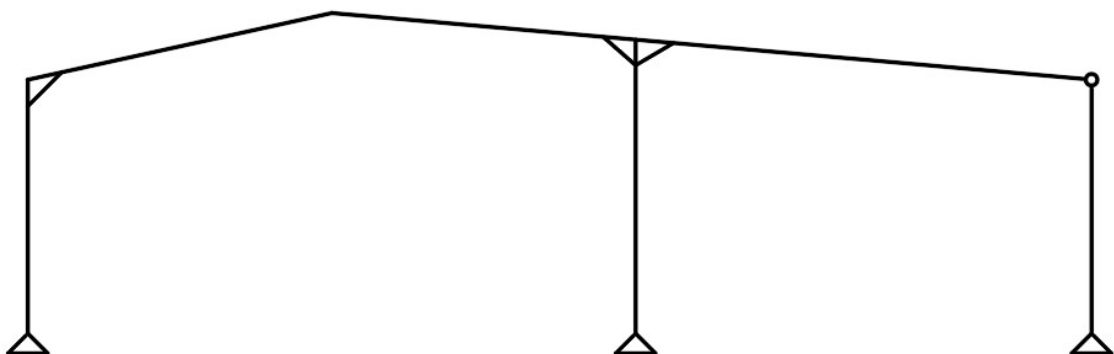
7. ZS 7: SNÍH VLEVO

Q_s



8. ZS 8: SNÍH VPRAVO

Q_s



9. ZS 9: VLASTNÍ TÍHA

Tab. 9 – Působící síly od vlastní tíhy

Vlastní tíha	výpočet: zš · plošné zatížení	Fk [kN/m']
Střešní izolační panely	$6 \cdot 0,115$	0,69
Z vaznice	přepočítáno na spojité zatížení = $(0,093 \cdot 6)/1,5$	0,372
Stěnové izolační panely	$6 \cdot 0,211$	1,266
Vazník IPE (odhad)	IPE 600	1,224
Sloupy (odhad)	HEA 400	1,245
		Σ 4,797

10. ZS 10: HORIZONTÁLNÍ SÍLA OD RÁMOVÝCH IMPERFEKČÍ:

$$H_{\Phi} = \Phi \cdot \Sigma N$$

$$\Phi = \text{počáteční natočení sloupů} = 1/200$$

$$\Sigma N = \text{součet svislých zatížení (ZS 7 + ZS 10)} = 190 \text{ kN}$$

$$H_{\Phi} = (1/200) \cdot 190 = \underline{0,95 \text{ kN}}$$

4.3.2 KOMBINACE ZATÍŽENÍ

$$\text{KZS 1: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 6}$$

$$\text{KZS 2: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 7}$$

$$\text{KZS 3: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 8}$$

$$\text{KZS 4: } 1 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 1}$$

$$\text{KZS 5: } 1 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 2}$$

$$\text{KZS 6: } 1 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 4}$$

$$\text{KZS 7: } 1 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 3} + 1,5 \cdot \text{ZS 10}$$

$$\text{KZS 8: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 1} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 6}$$

$$\text{KZS 9: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 1} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 7}$$

$$\text{KZS 10: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 1} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 8}$$

$$\text{KZS 11: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 2} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 6}$$

$$\text{KZS 12: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 2} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 7}$$

$$\text{KZS 13: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 2} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 8}$$

$$\text{KZS 14: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 4} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 6}$$

$$\text{KZS 15: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 4} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 7}$$

$$\text{KZS 16: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 4} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 8}$$

$$\text{KZS 17: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 6} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 1}$$

$$\text{KZS 18: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 6} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 2}$$

$$\text{KZS 19: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 6} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 4}$$

$$\text{KZS 20: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 7} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 1}$$

$$\text{KZS 21: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 7} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 2}$$

$$\text{KZS 22: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 7} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 4}$$

$$\text{KZS 23: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 8} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 1}$$

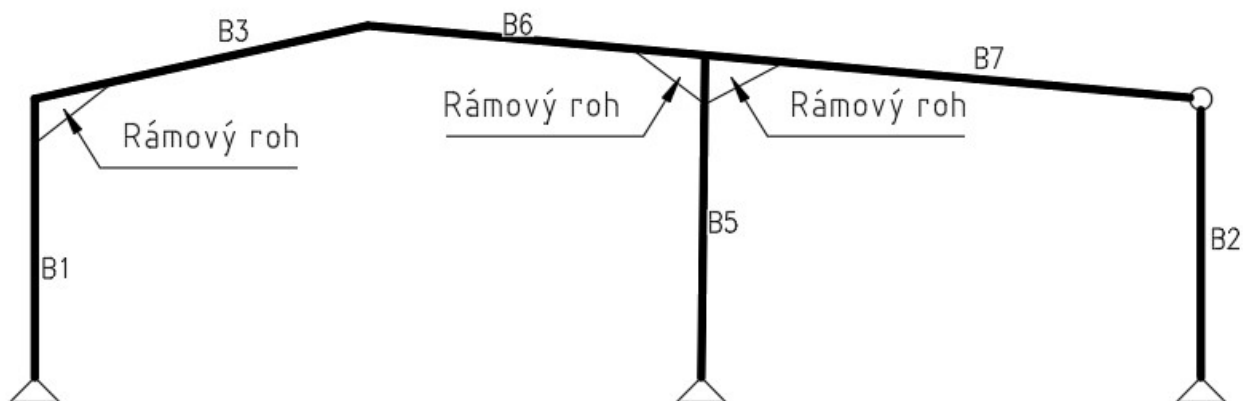
$$\text{KZS 24: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 8} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 2}$$

$$\text{KZS 25: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 8} + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \text{ZS 4}$$

$$\text{KZS 26: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 3} + 1,5 \cdot \text{ZS 10} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 6}$$

$$\text{KZS 27: } 1,35 \cdot \text{ZS 9} + 1,5 \cdot \text{ZS 3} + 1,5 \cdot \text{ZS 10} + 1,5 \cdot 0,5 \cdot \text{ZS 8}$$

4.3.3 STATICKÉ SCHÉMA



4.3.4 MAXIMÁLNÍ VNITŘNÍ SÍLY NA JEDNOTLIVÝCH PRVCÍCH

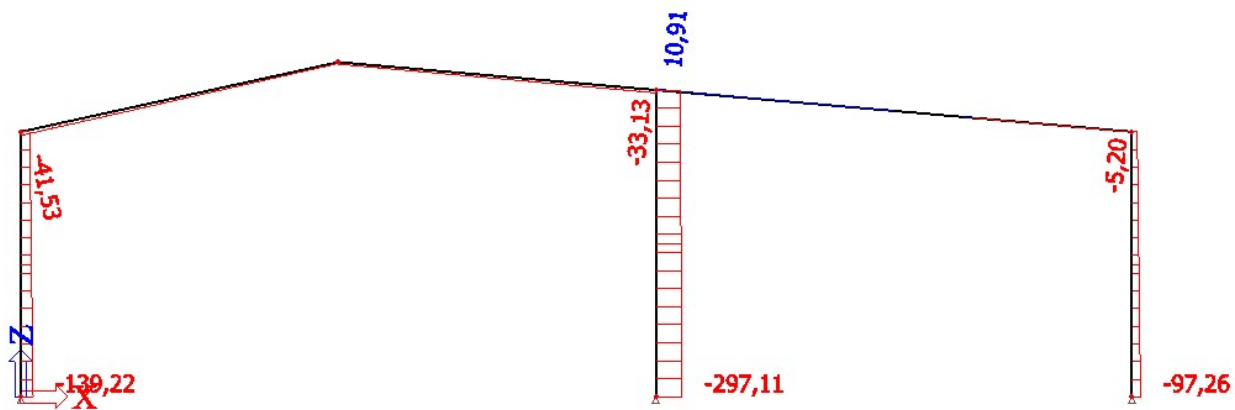
Výpočet byl proveden pomocí programu *SCIA Engineer 16.0*

Tab. 10 – Maximální vnitřní síly na jednotlivých prvcích

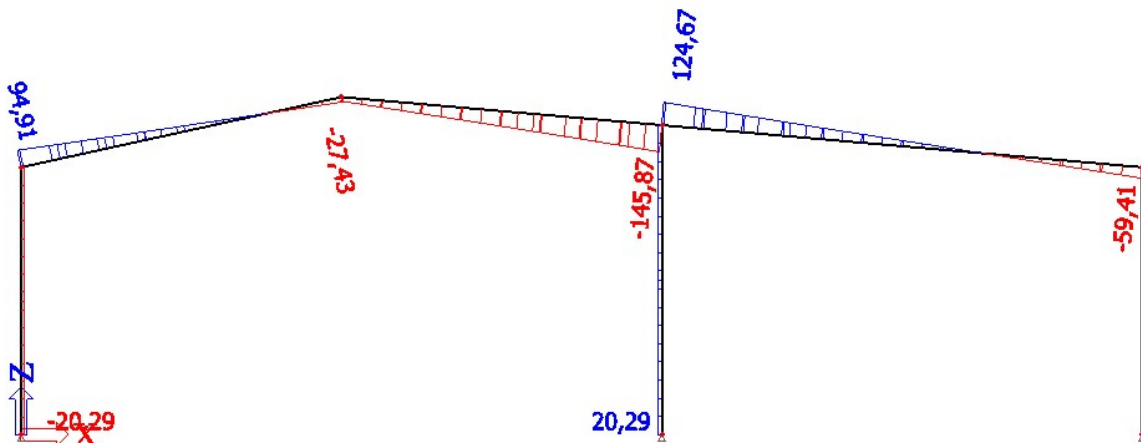
Prvek	Vz [kN]	Kombinace	My [kNm]		Kombinace	N [kN]			
			V náběhu	Na příčli/sloupu		Tah [kN]	Kombinace	Tlak [kN]	Kombinace
B1	59,98	KZS 13		357,93	KSZ 22	40,64	KSZ 13	-150,26	KSZ 2
B2	31,23	KSZ 6		78,08	KSZ 6	39,68	KSZ 6	-101,05	KSZ 3
B3	103,81	KSZ 2	269,01	238,06	KSZ 13/1	22,89	KSZ 10	-52,52	KSZ 2
B5	37,69	KSZ 26		436,3	KSZ 26	91,17	KSZ 6	-297,11	KSZ 1
B6	145,87	KSZ 1	789,71	215,66	KSZ 1/2	22,66	KSZ 10	-40,97	KSZ 2
B7	124,67	KSZ 1	565,02	223,21	KSZ 1/3	23,5	KSZ 11	-30,30	KSZ 16

Poznámka: Hodnoty vnitřních sil v této tabulce se mohou mírně lišit od hodnot použitých v následujících výpočtech. Vnitřní síly v tabulce jsou vypočítány pro odhad dimenze nosných prvků, zatímco v při výpočtu konkrétních prvků jsou už použity správné hodnoty pro konkrétní dimenzi daného prvku.

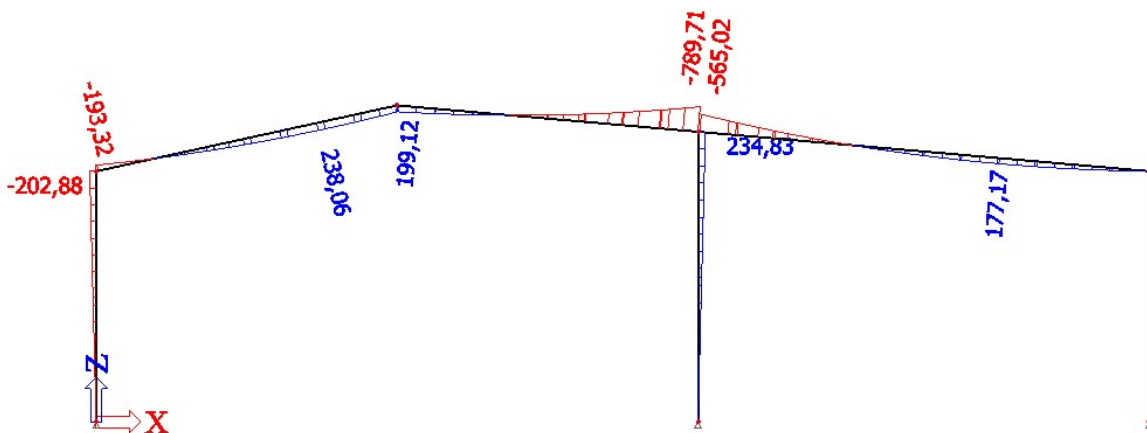
Obr. 10 – Normálová síla „N“ na prvcích od kombinace KZS 1 [kN]



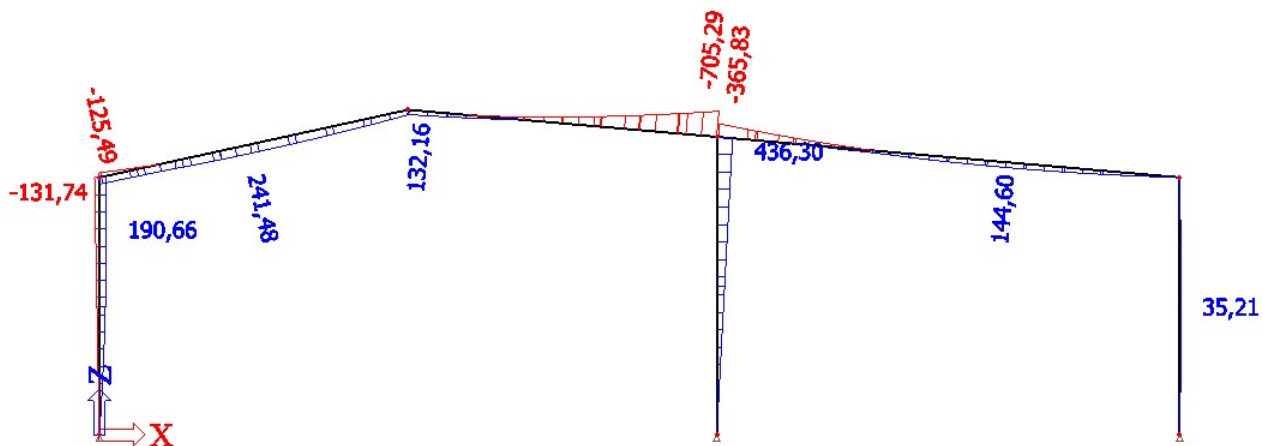
Obr. 11 – Posouvající síla „V_z“ na prvcích od kombinace KZS 1 [kN]



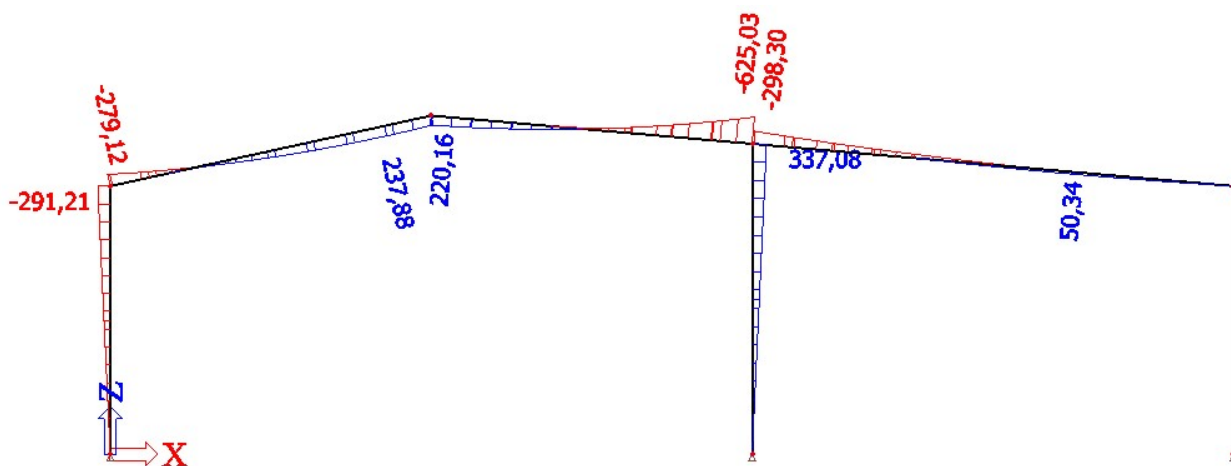
Obr. 12 – Ohybový moment „M_y“ na prvcích od kombinace KZS 1 [kNm]



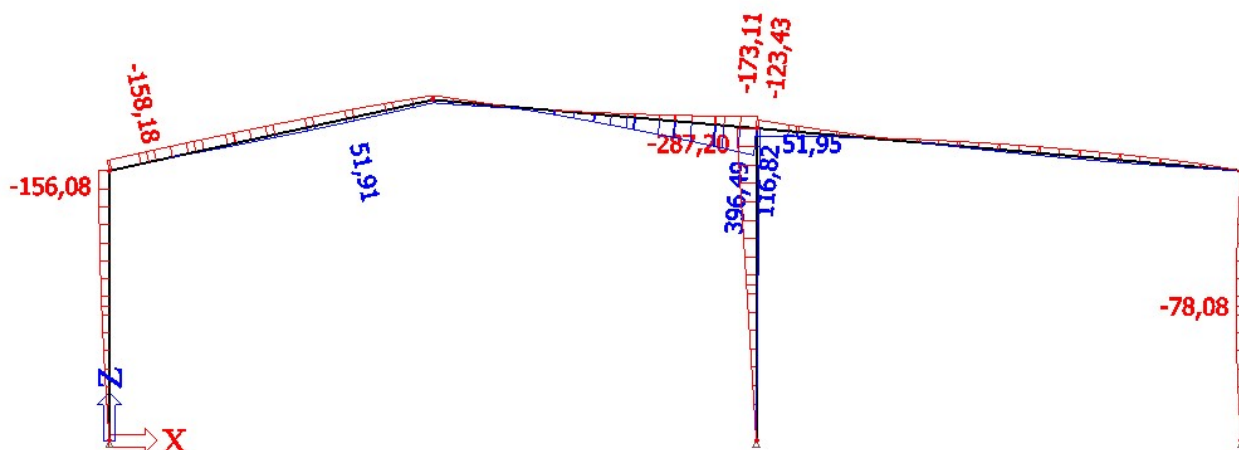
Obr. 13 – Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 26 [kNm]



Obr. 14 – Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 2 [kNm]



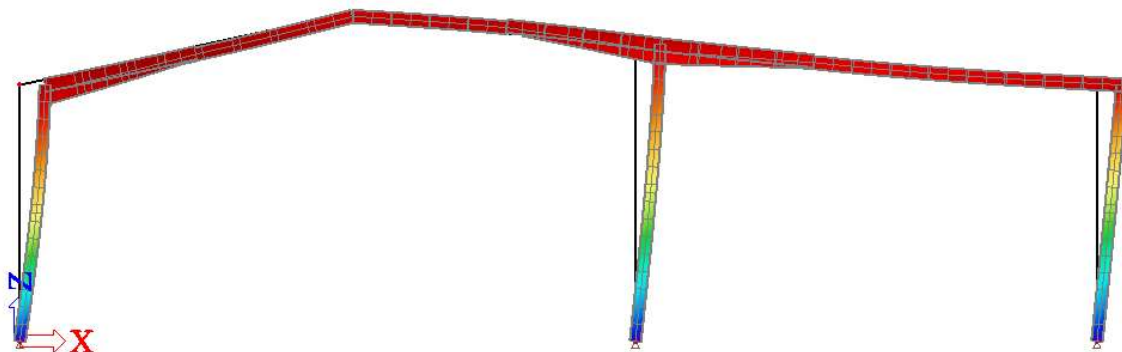
Obr. 15 – Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 6 [kNm]



4.3.5 MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

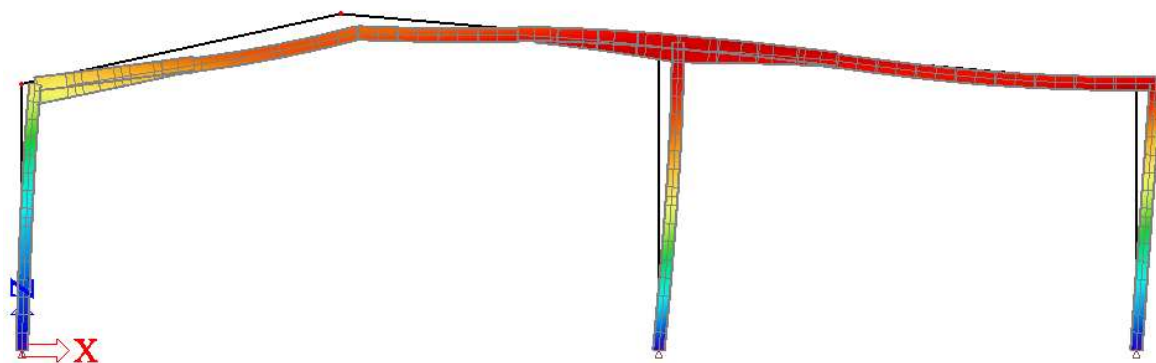
Deformace budou určeny pro charakteristické hodnoty zatížení $\gamma_f = 1$. Výpočet byl proveden pomocí výpočetního programu SCIA Engineer.

Obr. 16 – Vodorovný posun „ δ_x “ na prvcích od kombinace KZS 5 [mm]



$$\delta_x = 64,9 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{h}{150} = \frac{10000}{150} = 66,7 \text{ mm}$$

Obr. 17 – Svislý průhyb „ δ_z “ na prvcích od kombinace KZS 1 [mm]



$$\delta_z = -42,0 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{24000}{200} = 120 \text{ mm}$$

Podmínky MSP jsou splněny

4.3.6 NÁVRH SLOUPU

1. VNITŘNÍ SÍLY

Nejnámáhanější sloup - prostřední sloup (B5 – viz odstavec 4.2.3).

KZS 1

$$M_{Ed} = 231,9 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -297,11 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20,29 \text{ kN (neovlivní dimenzi průřezu)}$$

KZS 26

$$M_{Ed} = 436,3 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -215,99 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 37,69 \text{ kN (neovlivní dimenzi průřezu)}$$

Návrh: HE 500 A

2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$A = 19750 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 7472 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 86970 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 3949 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y} = 3550 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 210 \text{ mm}$$

$$I_z = 10370 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 72,4 \text{ mm}$$

$$I_t = 309,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 5643000 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

3. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

Průřez namáhaný tlakem a ohybem

$$\alpha > 0,5 : \frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\alpha = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot t_w \cdot d} \right)$$

$$f_y = 355 \text{ Mpa}$$

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

$$d = 390$$

$$\alpha = 0,59 \text{ (KZS 1)}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

$$32,5 < 48,1 \rightarrow \text{průřez třídy 1}$$

4. VZPĚRNÉ DÉLKY

Systémová délka = $L = 11575 \text{ mm}$

Vybočení kolmo k ose $z - L_{cr,z} = 11575 \text{ mm}$ (kloub – kloub - $L_{cr,z} = L$)

$$\text{Vybočení kolmo k ose } y - L_{cr,y} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{F_{cr}}}$$

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

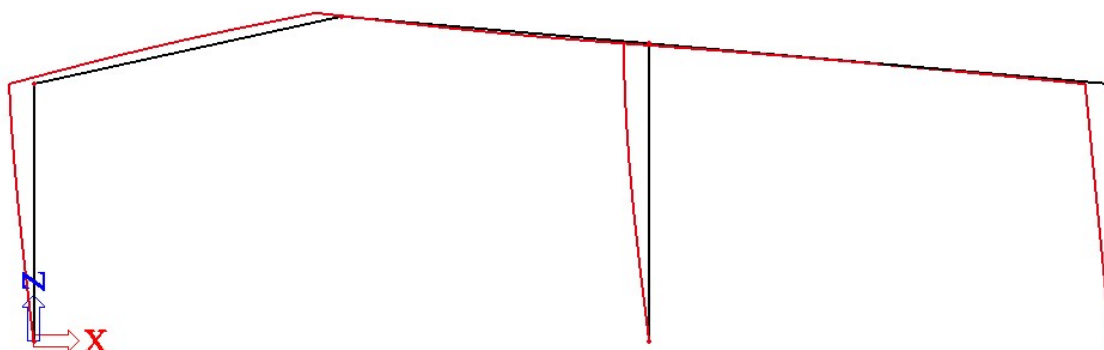
$$F_{cr} = \alpha_{cr} \cdot N_{ED}$$

$$\alpha_{cr} = 10,89 \text{ (spočteno pomocí programu SCIA Engineer)}$$

$$F_{cr} = 3235,53 \text{ kN}$$

$$L_{cr,y} = 23603 \text{ mm}$$

Obr. 18 - Posun styčnicků od KZS 1



5. POSOUZENÍ SLOUPU NA TLAK S VLIVEM VYBOČENÍ

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{23603}{210} = 112,4$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{11575}{72,4} = 159,9$$

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = 76,4$$

$$\lambda_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = 1,47$$

$$\lambda_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = 2,09$$

χ_y = součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru osy y = 0,385

χ_z = součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru osy z = 0,194

$$N_{b,Rd} = 19750 \cdot 355 \cdot 0,194 = 1360,18 \text{ kN} > 297,11 \text{ kN}$$

→ **HE 500A Vyhovuje na tlak s vlivem vybočení**

6. POSOUZENÍ SLOUPU NA MOMENT S VLIVEM KLOPENÍ

$$M_{b,Rd} = W_{pl} \cdot f_{yd} \cdot \chi_{LT} \geq M_{Ed}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_{yd}}{M_{CR}}}$$

$$M_{CR} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\mu_{CR} = \frac{C_1}{k} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$k_w = 1$ (na straně bezpečí)

$L = 11575 \text{ mm}$

$G = 81000 \text{ MPa}$

$k_{wt} = 0,59$

$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})$

$C_{1,0} = 1,77$

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$C_1 = 1,85$$

$$k = 1 \text{ (na straně bezpečí)}$$

$$\mu_{CR} = 2,148$$

$$M_{CR} = 1361,91 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,015$$

$$\chi_{LT} = 0,659$$

$$M_{b,Rd} = 3949 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 0,659 = 923,85 \text{ kNm} > 433,54 \text{ kNm}$$

→ **HE 500A Vyhovuje na ohyb s vlivem klopení**

7. POSOUZENÍ SLOUPU NA INTERAKCI MOMENTU A NORMÁLOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot (1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}) \\ c_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}) \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(c_{m,LT} - 0,25) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{A \cdot f_{yd}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT} - 0,25) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \end{array} \right.$$

$$c_{my} = 0,9$$

$$c_{m,LT} = 0,6$$

Kombinace 1

$$k_{yy} = 0,980$$

$$k_{zy} = 0,937$$

Interakce M+N = 0,357 < 1 → Vyhovuje

Interakce M+N = 0,456 < 1 → Vyhovuje

Kombinace 26

$$k_{yy} = 0,947$$

$$k_{zy} = 0,975$$

Interakce M+N = 0,531 < 1 → Vyhovuje

Interakce M+N = 0,619 < 1 → Vyhovuje

→ **HE 500A vyhovuje**

Ačkoliv je průřez v MSÚ využit pouze z 62% je navržen z důvodu MSP – vodorovného posunu, kde by menší průřez sloupu nevyhověl (testoval jsem různé průřezy v programu Scia engineer). Alternativním řešením by bylo použít profil IPE, který má větší tuhost kolmo k ose y a tuhost kolmo k ose z by byla zajištěna přidanými paždíky (snížily by $L_{cr,z}$). Mnou zvolený návrh je podle mě ekonomičtější a praktičtější a zároveň by paždíky omezovaly požadavek na otevřenou dispozici haly.

4.3.7 NÁVRH PŘÍČLE – V POLI**1. VNITŘNÍ SÍLY**

$$M_{Ed} = 238,06 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 41,53 \text{ kN}$$

Posouvající síla je zanedbatelná

Návrh: IPE 550**2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY**

$$A = 13440 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 6712 \cdot 10^5 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 2668 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$W_{pl,y} = 2787000 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 223 \text{ mm}$$

$$i_z = 45 \text{ mm}$$

$$I_t = 1232000 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 1884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

3. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

Průřez namáhaný tlakem a ohybem

$$\alpha = 0,5 \cdot \left(1 + \frac{N_{Ed}}{f_y \cdot t_w \cdot d} \right)$$

$$\alpha > 0,5 : \frac{d}{t_w} \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1}$$

$$\varepsilon = 0,81$$

$$t_w = 11,1 \text{ mm}$$

$$d = 467,6 \text{ mm}$$

$$\alpha = 0,51$$

42,1 < 57,0 → průřez třídy 1

4. POSOUZENÍ PŘÍČLE NA OHYB S VLIVEM KLOPENÍ

$$M_{b,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \cdot \chi_{LT} \geq M_{Ed, \max}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_{yd}}{M_{CR}}}$$

$$M_{CR} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\mu_{CR} = \frac{C_1}{k} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$k_w = 1 \text{ (na straně bezpečí)}$$

$$L = 12280 \text{ mm}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$k_{wt} = 0,728$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})$$

$$C_{1,0} = 2,56$$

$$C_{1,1} = 2,73$$

$$C_1 = 2,73$$

$$k = 1 \text{ (na straně bezpečí)}$$

$$\mu_{CR} = 3,376$$

$$M_{CR} = 645,87 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,238$$

$$\chi_{LT} = 0,505$$

$$M_{b,Rd} = 2787 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 0,505 = 492,60 \text{ kNm} > 238,06 \text{ kNm}$$

→ **IPE 550 vyhovuje na ohyb s vlivem klopení**

5. POSOUZENÍ PŘÍČLE NA INTERAKCI MOMENTU A NORMÁLOVÉ SÍLY

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

N_{Ed} = normálová síla na příčli = 41,82 kNm

M_{Ed} = ohybový moment na příčli = 238,06 kNm

χ_y = součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru osy y = 0,838

χ_z = součinitel vzpěrnosti pro vybočení ve směru osy z = 0,910

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot (1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \\ c_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(c_{m,LT-0,25}) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{A \cdot f_{yd}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT-0,25}) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \end{array} \right.$$

$$c_{my} = 0,9$$

$$c_{m,LT} = 0,6$$

$$k_{yy} = 0,905$$

$$k_{zy} = 0,999$$

Interakce M+N = 0,4416 < 1 → Vyhovuje

Interakce M+N = 0,4857 < 1 → Vyhovuje

IPE 550 vyhovuje

Důvodem pro použití profilu IPE 550 je MSP, respektive vodorovný posun. S menším profilem IPE konstrukce nevyhoví na vodorovný posun.

4.3.8 NÁVRH RÁMOVÉHO ROHU – V MÍSTĚ NÁBĚHU

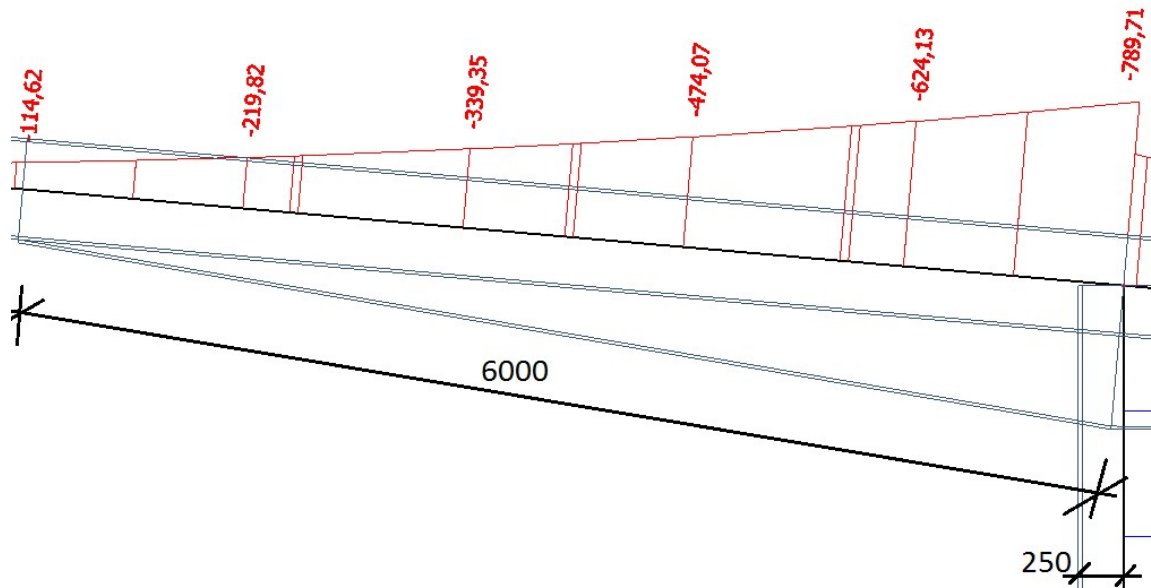
1. VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{Ed} = 789,71 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -33,13 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 145,87 \text{ kN (posouvající síla neovlivní dimenze)}$$

Obr. 19 – Průběh momentu v náběhu



Návrh: Příčle IPE 550 + náběh IPE 550 – diagonálně odpálen a přivařen v délce 6000 mm k pásnici příčle IPE 550

2. PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY

$$A = 22762 \text{ mm}^2$$

$$A_{v,z} = 12112 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 307830 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 6941,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{el,y} = 5798,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

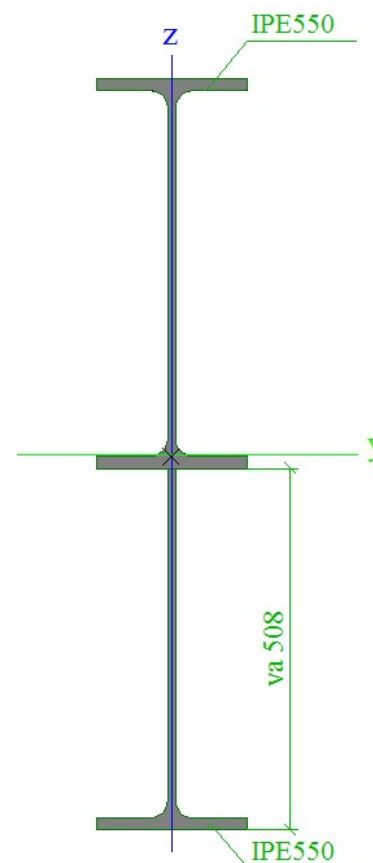
$$i_y = 368 \text{ mm}$$

$$I_z = 4004,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 42 \text{ mm}$$

$$I_t = 154,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 7191000 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$



3. ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU

Výpočet polohy neutrální osy – předpokládám, že poloha těžiště vyjde do spodní pásnice IPE 550.

$z_{pl} = (A_{IPE550} - \frac{A}{2})/b = 9,8 < 17,2 = \text{předpoklad je splněn} \rightarrow$ neutrální osa se nachází ve spodní pásnici IPE 550.

Stojina je tedy celá tlačená, vliv normálové síly na zatřídění lze zanedbat.

Štíhlost stojiny: $\frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{17,2} = 27,19 < 38\varepsilon = 30,78 \rightarrow$ stojina je třídy 2

Štíhlost přečnívající části pásnice: $\frac{c}{t_f} = \frac{100}{17,2} = 5,81 < 9\varepsilon = 7,29 \rightarrow$ pásnice je třídy 1

Průřez je tedy třídy 2 \rightarrow Výpočet je možné provést plasticky

4. POSOUZENÍ RÁMOVÉHO ROHU NA OHYB S VLIVEM KLOPENÍ

$$M_{b, Rd} = W_{pl, y} \cdot f_{yd} \cdot \chi_{LT} \geq M_{Ed, max}$$

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl, y} \cdot f_{yd}}{M_{CR}}}$$

$$M_{CR} = \mu_{CR} \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{E \cdot I_z \cdot G \cdot I_t}}{L}$$

$$\mu_{CR} = \frac{C_1}{k} \cdot \sqrt{1 + k_{wt}^2}$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_w}{G \cdot I_t}}$$

$$L = 1,1 \cdot L_0$$

$L_0 = 7000 \text{ mm} =$ délka úseku se záporným momentem

$$L = 1,1 \cdot 7000 = 7700 \text{ mm}$$

$$G = 81000 \text{ MPa}$$

$$k_w = 1$$

$$k_{wt} = 1,418$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})$$

$$C_{1,0} = 1,77$$

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$C_1 = 1,85$$

$$k = 1$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$\mu_{CR} = 3,21$$

$$M_{CR} = 1981,56 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,12$$

$$\chi_{LT} = 0,404 \text{ (křivka b, svařované průřezy)}$$

$$M_{b,Rd} = 6941,5 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 0,404 = 995,5 \text{ kNm} > 789,71 \text{ kNm}$$

→ **Průřez vyhovuje na ohyb s vlivem klopení**

5. POSOUZENÉ PRŮŘEZU NA SMYK

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2482,5 \text{ kN} > 145,87 \text{ kN}$$

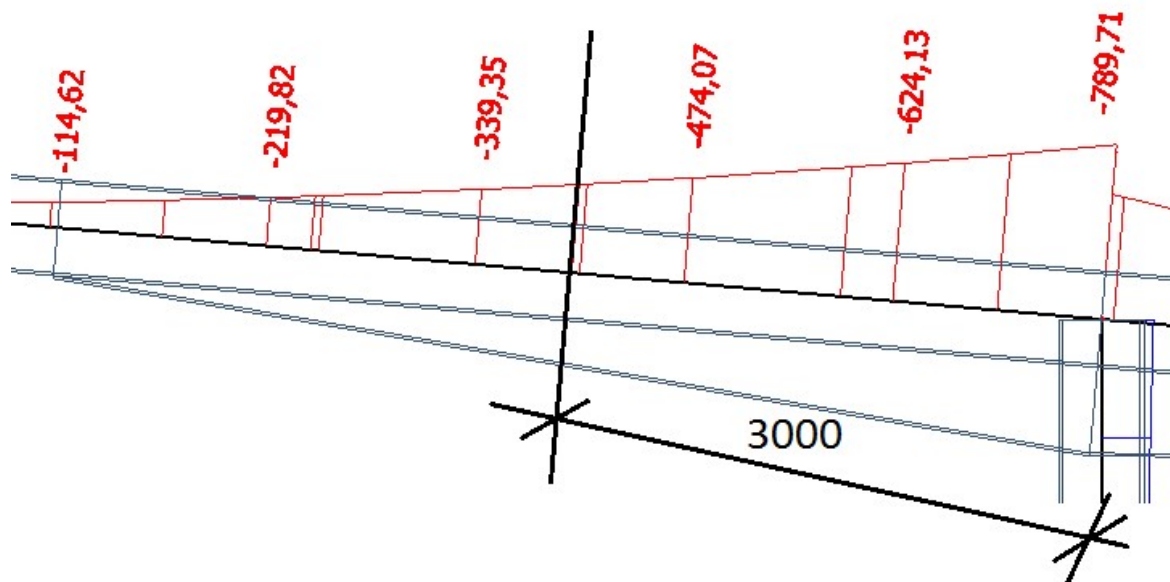
$$0,5 \cdot V_{pl,Rd} < V_{Ed} \rightarrow \text{malý smyk}$$

→ **Průřez vyhovuje na smyk**

6. POSOUZENÍ NÁBĚHU NA OHYB S VLIVEM KLOPENÍ – UPROSTŘED NÁBĚHU

$$M_{Ed} = 404,03 \text{ kNm}$$

Obr. 20 – Posuzovaný průřez uprostřed náběhu



$$A = 20024,8 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 170558 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 6605230 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 103 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 4952,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 368 \text{ mm}$$

$$I_z = 4004,4 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 42 \text{ mm}$$

$$M_{b,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \cdot \chi_{LT} \geq M_{Ed, \max}$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0})$$

$$C_{1,0} = 1,77$$

$$C_{1,1} = 1,85$$

$$C_1 = 1,85$$

$$k = 1$$

$$k_w = 1$$

$$L = 7700 \text{ mm}$$

$$k_{wt} = 1,663$$

$$\mu_{CR} = 3,59$$

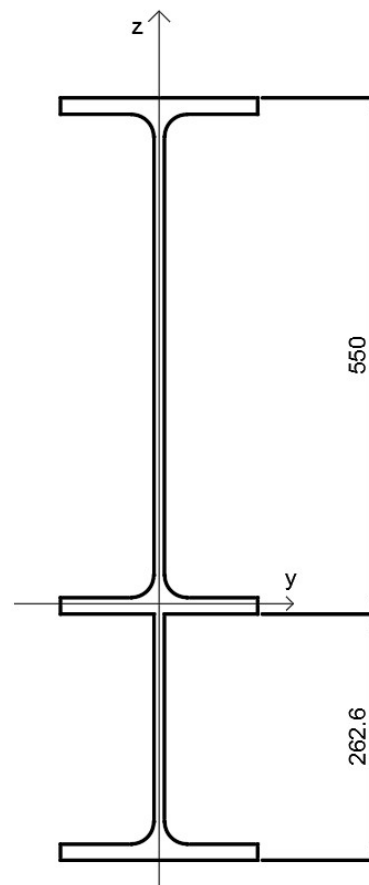
$$M_{CR} = 1226,74 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,20$$

$$\chi_{LT} = 0,478$$

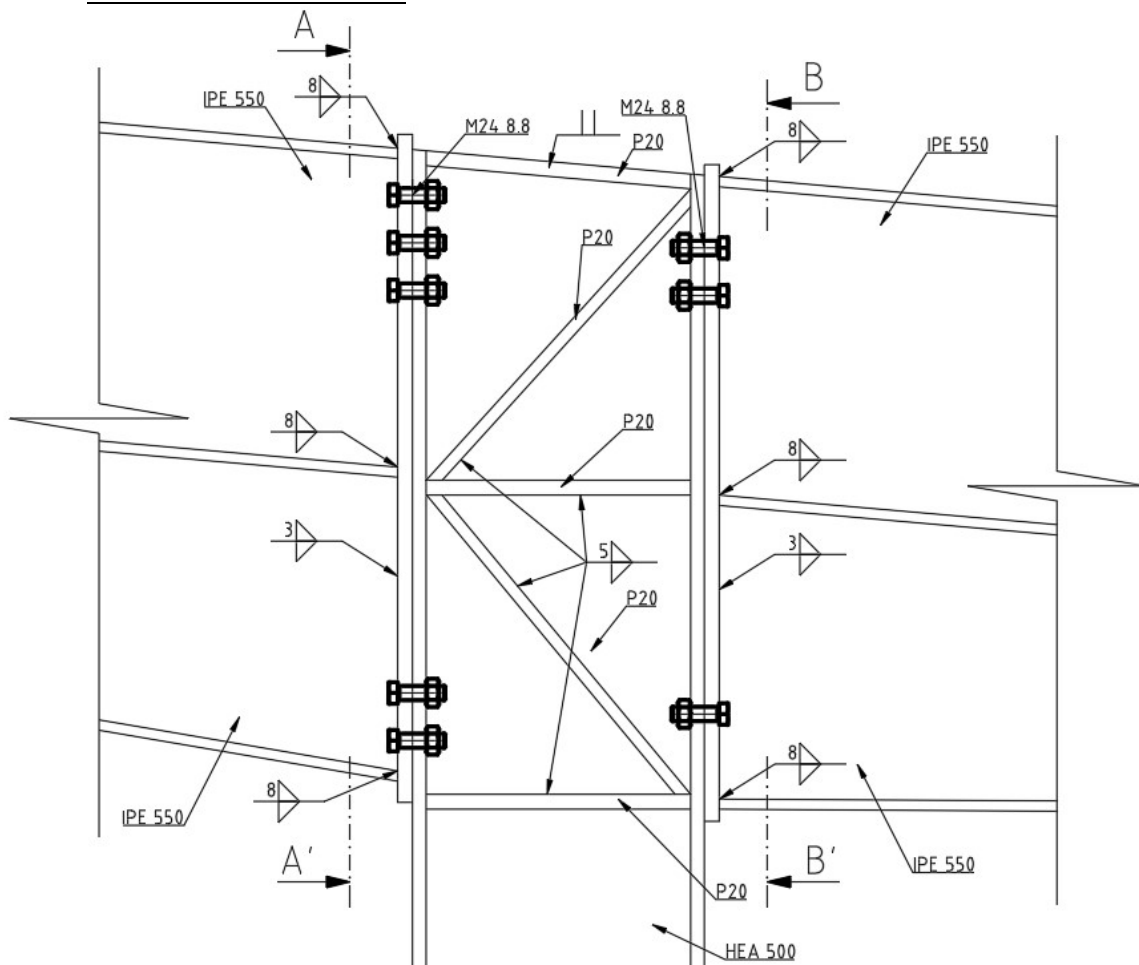
$$M_{b,Rd} = 4952,7 \cdot 10^3 \cdot 355 \cdot 0,478 = 840,4 \text{ kNm} > 404,03 \text{ kNm}$$

→ **Průřez 3 metry od osy sloupu vyhovuje na ohyb s vlivem klopení**



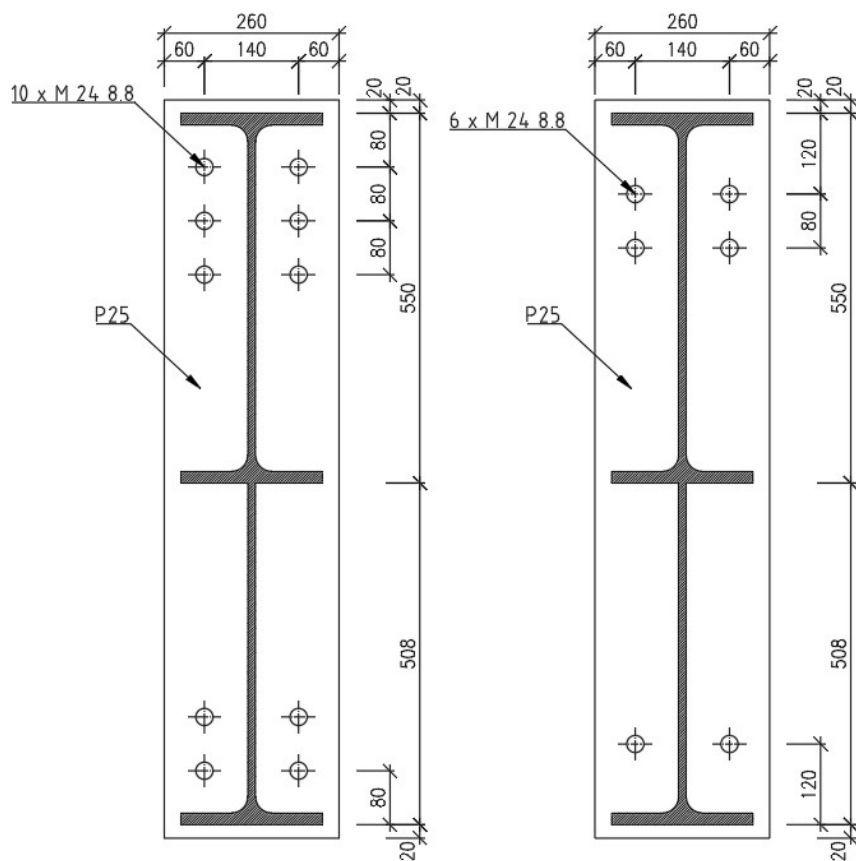
4.3.9 ŠROUBOVÝ PŘÍPOJ RÁMOVÉHO ROHU, OSA B, LEVÁ STRANA

1. NÁVRH GEOMETRIE:



Řez A-A'

Řez B-B'



$$\text{rozměr } m = \frac{140-11,1}{2} - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \cong 60\text{mm} \text{ (pro svar okolo stojiny } a = 4\text{mm)}$$

$$e = \frac{260 - 140}{2} = 60\text{mm}$$

$$m_2 = 80 - 17,2 - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \cong 58\text{mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(60; 75) = 60\text{mm}$$

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

Ramena sil od osy pásnice náběhu ke šroubům:

$$r_1 = 1058 - 80 - \frac{17,2}{2} = 969\text{mm}$$

$$r_2 = 969 - 80 = 889\text{mm}$$

$$r_3 = 889 - 80 = 809\text{mm}$$

Návrh: Běžné šrouby (kategorie A), M 24, jakost 8.8

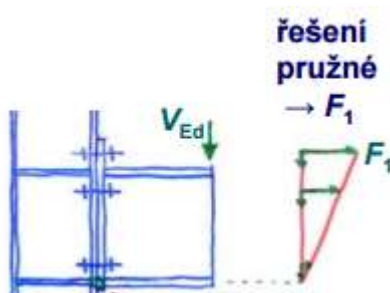
2. VNITŘNÍ SÍLY

KZS 1

$$M_{Ed} = -788,86 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -39,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = -144,15 \text{ kN}$$



$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 = M_{Ed}$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$F_3 = F_1 \cdot \frac{r_3}{r_1}$$

$$F_1 \cdot 0,969 + F_1 \cdot \frac{0,889 \cdot 0,889}{0,969} + F_1 \cdot \frac{0,809 \cdot 0,809}{0,969} = 788,86$$

$$F_1 = 320,7 \text{ kN}$$

$$F_2 = 294,2 \text{ kN}$$

$$F_3 = 267,7 \text{ kN}$$

PRVNÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

$$F_{Ed} = 320,7 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho šroubu v tahu: $F_{t, Rd} = 203,3 \text{ kN}$ (tabulky)

Pomocné veličiny:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{60}{60 + 60} = 0,5$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{58}{60 + 60} = 0,48$$

$\alpha = 5,8$ z grafu (tabulky ocelové konstrukce 10,2001)

Účinná šířka náhradního T průřezu L_{eff} je nejmenší z hodnot:

$$\min(2\pi m; \alpha m; \pi m + p; \alpha m - 2 \cdot m + 0,5p - 0,625e) = \min(377; 348; 268; 230) \\ = 230 \text{ mm}$$

Plastická momentová únosnost T průřezu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_f^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{230 \cdot 23^2}{4} \cdot 355 = 10,8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost náhradního T průřezu pro dvojici šroubů je dána nejmenší hodnotou z následujících tří vztahů:

1. Porušení desky T-profilu – úplná plastifikace pásnice

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 10,8 \cdot 10^6}{60} = 720 \cdot 10^3 \text{ N}$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů – porušení šroubů a pásnice

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 10,8 \cdot 10^6 + 2 \cdot 60 \cdot 203300}{60+60} = 383,3 \cdot 10^3 \text{ N} - \text{rozhoduje}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 \cdot 10^3 = 406,6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{Rd} = 383,3 \text{ kN} > F_{Ed} = 320,7 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

DRUHÁ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

Účinná šířka náhradního T průřezu L_{eff} je nejmenší z hodnot:

$$\min(2\pi m; 4m + 1,25e; \pi m + p; 2m + 0,5p + 0,625e) = \min(377; 315; 268; 197) \\ = 197 \text{ mm}$$

Momentová únosnost T průřezu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_f^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{197 \cdot 23^2}{4} \cdot 355 = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost náhradního T průřezu pro dvojici šroubů je dána nejmenší hodnotou z následujících tří vztahů:

1. Porušení desky T-profilu

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,2 \cdot 10^6}{60} = 613,3 \cdot 10^3 N$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů – porušení šroubů a pásnice

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 9,2 \cdot 10^6 + 2 \cdot 60 \cdot 203300}{60+60} = 356,6 \cdot 10^3 N - \underline{\text{rozhoduje}}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 \cdot 10^3 = 406,6 \cdot 10^3 N$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 294,2 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

TŘETÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ:

Účinná šířka náhradního T průřezu L_{eff} je nejmenší z hodnot:

$$\min(2\pi m; 4m + 1,25e; \pi m + p; 2m + 0,5p + 0,625e) = \min(377; 315; 268; 197) \\ = 197 \text{ mm}$$

Momentová únosnost T průřezu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_f^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{197 \cdot 23^2}{4} \cdot 355 = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost náhradního T průřezu pro dvojici šroubů je dána nejmenší hodnotou z následujících tří vztahů:

1. Porušení desky T-profilu – úplná plastifikace pásnice

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,2 \cdot 10^6}{60} = 613,3 \cdot 10^3 N$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů – porušení šroubů a pásnice

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 9,2 \cdot 10^6 + 2 \cdot 60 \cdot 203300}{60+60} = 356,6 \cdot 10^3 N - \underline{\text{rozhoduje}}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 \cdot 10^3 = 406,6 \cdot 10^3 N$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 267,7 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

3. SMYKOVÁ ÚNOSNOST PŘÍPOJE

Návrhová únosnost jednotlivého šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 146,8 \cdot (23/10) = 337,64 \text{ kN (tabulky)}$$

Rozhoduje $F_{v,Rd}$

$$F_{v,10,Rd} = 10 \cdot 135,6 = 1356 \text{ kN} > 144,15 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

4. KOMBINACE SMYKU A TAHU

Pro nejvíce namáhaný šroub – horní 1. řada šroubů pod pásnicí

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{v,Ed} = 144,15/10 = 14,4 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{788,9 \cdot 0,969}{0,969^2 + 0,889^2 + 0,809^2} = 320,7 \text{ kN}$$

→ pro jeden šroub 160,34 kN

$$F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN (tabulky)}$$

$$\frac{14,4}{135,6} + \frac{160,34}{1,4 \cdot 203,3} = 0,67 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje na kombinaci smyku a tahu}$$

5. SVARY ČELNÍCH DESEK

Zjednodušený návrh – veškerý moment přisoudím svarům okolo pásnic

Návrh: koutový svar $a_w = 8 \text{ mm}$ na pásnicích a $a_w = 3 \text{ mm}$ na stojně

Svar okolo pásnice:

$$M_{Ed} = 788,9 \text{ kNm}$$

$$N_f = \frac{M_{Ed}}{r} = \frac{788,9}{(1058 - 17,2) \cdot 10^{-3}} = 758 \text{ kN}$$

Délka svaru okolo pásnice:

$$l_{we} = 2 \cdot b - 2 \cdot R - t_w = 2 \cdot 210 - 2 \cdot 24 - 11,1 = 360,9 \text{ mm}$$

Napětí:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_f}{a_w \cdot l_{we}} = 185,6 \text{ MPa}$$

Podmínka pro posouzení svaru:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 371,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 417,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 185,6 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{470}{1,25} = 376 \text{ MPa}$$

→ **svar $a_w = 8 \text{ mm}$ okolo pásnic vyhovuje**

Svar stojiny k čelní desce:

$$V_{Ed} = 144,2 \text{ kN}$$

Návrh: $a_w = 3 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \tau_{II} &= \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l} = \frac{144,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 3 \cdot (1058 - 3 \cdot 17,2)} = 23,88 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \\ &= \frac{470}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 241,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

→ **svar $a_w = 3 \text{ mm}$ okolo stojiny vyhovuje**

6. POSOUZENÍ STĚNY SLOUPU NA SMYK

$$V_{wp, Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{0,9 \cdot 7472 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 1378,3 \text{ kN}$$

Moment je z obou stran sloupu – sečtu tedy působící momenty

$$V_{wp, Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{788,9 \cdot 10^6 + 556,9 \cdot 10^6}{490} = 2746,5 \text{ kN}$$

$$1378,3 \text{ kN} < 2746,5 \text{ kN}$$

→ **stěna sloupu nevyhoví na smyk, je třeba šikmá výztuha**

Návrh: Oboustranná šikmá výztuha P20, šířka 140 mm

Výztuha musí přenést tlakovou sílu $V_{wp, Ed} - V_{wp, Rd} = 2746,5 - 1378,3 = 1368,2 \text{ kN}$

$$N_{b, Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A = 2 \cdot 20 \cdot 140 = 5600 \text{ mm}$$

$\chi = 0,9$ (odhad – výztuhy jsou přivařené z jedné strany ke stojině sloupu)

$$N_{b, Rd} = 0,9 \cdot 5600 \cdot 355 = 1789,2 \text{ kN}$$

$$1789,2 > 1368,2 \text{ kN}$$

→ **2x šikmá výztuha P20x140 vyhovuje**

7. VODOROVNÉ VÝZTUHY SLOUPU

Návrh: Oboustranná výztuha $2 \cdot 140 = 280$ mm, u všech tří pásnic náběhu

Trojice vodorovných výztuh by měla být schopna přenést alespoň takový moment, jako pásnice sloupu

$$M_{pl,Rd} = 280 \cdot t_s \cdot f_{yd} \cdot d_s = 280 \cdot t_s \cdot 355 \cdot 1058 = 105,2 \cdot 10^6 t_s \text{ Nmm}$$

Potřebná tloušťka výztuhy:

$$t_s \geq \frac{A_f \cdot f_{yd} \cdot z_{min}}{105,2 \cdot 10^6} = \frac{300 \cdot 23 \cdot 355 \cdot 490}{105,2 \cdot 10^6} = 11,4 \text{ mm}$$

Návrh: $t_s = 20$ mm

Koutové svary připojující výztuhy ke stojině:

Návrh: koutový svar $a_w = 5$ mm

$$V_{Ed} = M_{Ed} / d_s = 1345,8 / 1,058 = 1272 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \tau_{II} &= \frac{V_{Ed}}{4 \cdot 5 \cdot (490 - 2 \cdot 23)} = \frac{1272 \cdot 10^3}{4 \cdot 5 \cdot (490 - 2 \cdot 23)} = 143,2 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{Mw}} \\ &= \frac{470}{\sqrt{3} \cdot 0,9 \cdot 1,25} = 241,2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

→ **vyhovuje – 3x výztuha v úrovni pásnic náběhů**

4.3.10 ŠROUBOVÝ PŘÍPOJ RÁMOVÉHO ROHU, OSA B, PRAVÁ STRANA

1. NÁVRH GEOMETRIE:

Viz předchozí kapitola – návrh geometrie.

$$\text{rozměr } m = \frac{140-1}{2} \cdot 1 - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \cong 60 \text{ mm (pro svar okolo stojiny } a = 4 \text{ mm)}$$

$$e = \frac{260 - 140}{2} = 60 \text{ mm}$$

$$m_2 = 120 - 17,2 - 0,8 \cdot a \cdot \sqrt{2} \cong 98 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25 \cdot m) = \min(60; 75) = 60 \text{ mm}$$

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

Ramena sil od osy pásnice náběhu ke šroubům:

$$r_1 = 1058 - 120 - \frac{17,2}{2} = 929 \text{ mm}$$

$$r_2 = 929 - 80 = 849 \text{ mm}$$

Návrh: Běžné šrouby (kategorie A), M 24, jakost 8.8

2. VNITŘNÍ SÍLY

KZS 1

$$M_{Ed} = -565,64 \text{ kNm}$$

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

$$V_{Ed} = -125,18 \text{ Kn}$$

$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 = M_{Ed}$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$F_1 \cdot 0,929 + F_1 \cdot \frac{0,849 \cdot 0,849}{0,929} = 565,64$$

$$F_1 = 331,8 \text{ kN}$$

$$F_2 = 303,2 \text{ kN}$$

PRVNÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

Únosnost jednoho šroubu v tahu: $F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN}$ (tabulky)

Pomocné veličiny:

$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{60}{60+60} = 0,5$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{98}{60+60} = 0,82$$

$\alpha = 5,4$ z grafu (tabulky)

Účinná šířka náhradního T průřezu L_{eff} je nejmenší z hodnot:

$$\min(2\pi m; \alpha m; \pi m + p; \alpha m - 2 \cdot m + 0,5p - 0,625e) = \min(377; 324; 268; 206) \\ = 206 \text{ mm}$$

Plastická momentová únosnost T průřezu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_f^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{206 \cdot 23^2}{4} \cdot 355 = 9,67 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost náhradního T průřezu pro dvojici šroubů je dána nejmenší hodnotou z následujících tří vztahů:

1. Porušení desky T-profilu – úplná plastifikace pásnice

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,67 \cdot 10^6}{60} = 645 \cdot 10^3 \text{ N}$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů – porušení šroubů a pásnice

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 9,67 \cdot 10^6 + 2 \cdot 60 \cdot 203300}{60+6} = 364,5 \cdot 10^3 \text{ N} - \text{rozhoduje}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 \cdot 10^3 = 406,6 \cdot 10^3 N$$

$$F_{Rd} = 364,5 \text{ kN} > F_{Ed} = 331,8 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

DRUHÁ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ:

Účinná šířka náhradního T průřezu L_{eff} je nejmenší z hodnot:

$$\min(2\pi m; 4m + 1,25e; \pi m + p; 2m + 0,5p + 0,625e) = \min(377; 315; 268; 197) \\ = 197 \text{ mm}$$

Plastická momentová únosnost T průřezu:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{L_{eff} \cdot t_f^2}{4} \cdot f_{yd} = \frac{197 \cdot 23^2}{4} \cdot 355 = 9,2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Únosnost náhradního T průřezu pro dvojici šroubů je dána nejmenší hodnotou z následujících tří vztahů:

1. Porušení desky T-profilu

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,2 \cdot 10^6}{60} = 613,3 \cdot 10^3 N$$

2. Porušení desky T-profilu a šroubů – porušení šroubů a pásnice

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,1,Rd} + 2 \cdot n \cdot F_{t,Rd}}{m+n} = \frac{2 \cdot 9,2 \cdot 10^6 + 2 \cdot 60 \cdot 203300}{60+60} = 356,6 \cdot 10^3 N - \text{rozhoduje}$$

3. Porušení šroubů

$$F_{T,3,Rd} = 2 \cdot F_{t,Rd} = 2 \cdot 203,3 \cdot 10^3 = 406,6 \cdot 10^3 N$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 303,2 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

3. SMYKOVÁ ÚNOSNOST PŘÍPOJE

Návrhová únosnost jednostřížného šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 146,8 \cdot (23/10) = 337,64 \text{ kN (tabulky)}$$

Rozhoduje $F_{v,Rd}$

$$F_{v,6,Rd} = 6 \cdot 135,6 = 813,6 \text{ kN} > 125,18 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

4. KOMBINACE SMYKU A TAHU

Pro nejvíce namáhaný šroub – 1. řada

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{v,Ed} = 125,18/6 = 20,86 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{565,64 \cdot 0,929}{0,929^2 + 0,849^2} = 331,8 \text{ kN} \rightarrow \text{pro jeden šroub } 165,9 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN (tabulky)}$$

$$\frac{20,86}{135,6} + \frac{165,9}{1,4 \cdot 203,3} = 0,74 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje na kombinaci smyku a tahu}$$

5. SVARY ČELNÍCH DESEK

Svary budou provedeny stejně jako na levé straně přípoje – na pravé straně přípoje jsou menší vnitřní síly, takže svary bezpečně vyhoví.

→ *svar $a_w = 8 \text{ mm}$ okolo pásnic*

→ *svar $a_w = 3 \text{ mm}$ okolo stojiny*

6. POSOUZENÍ STĚNY SLOUPU NA SMYK

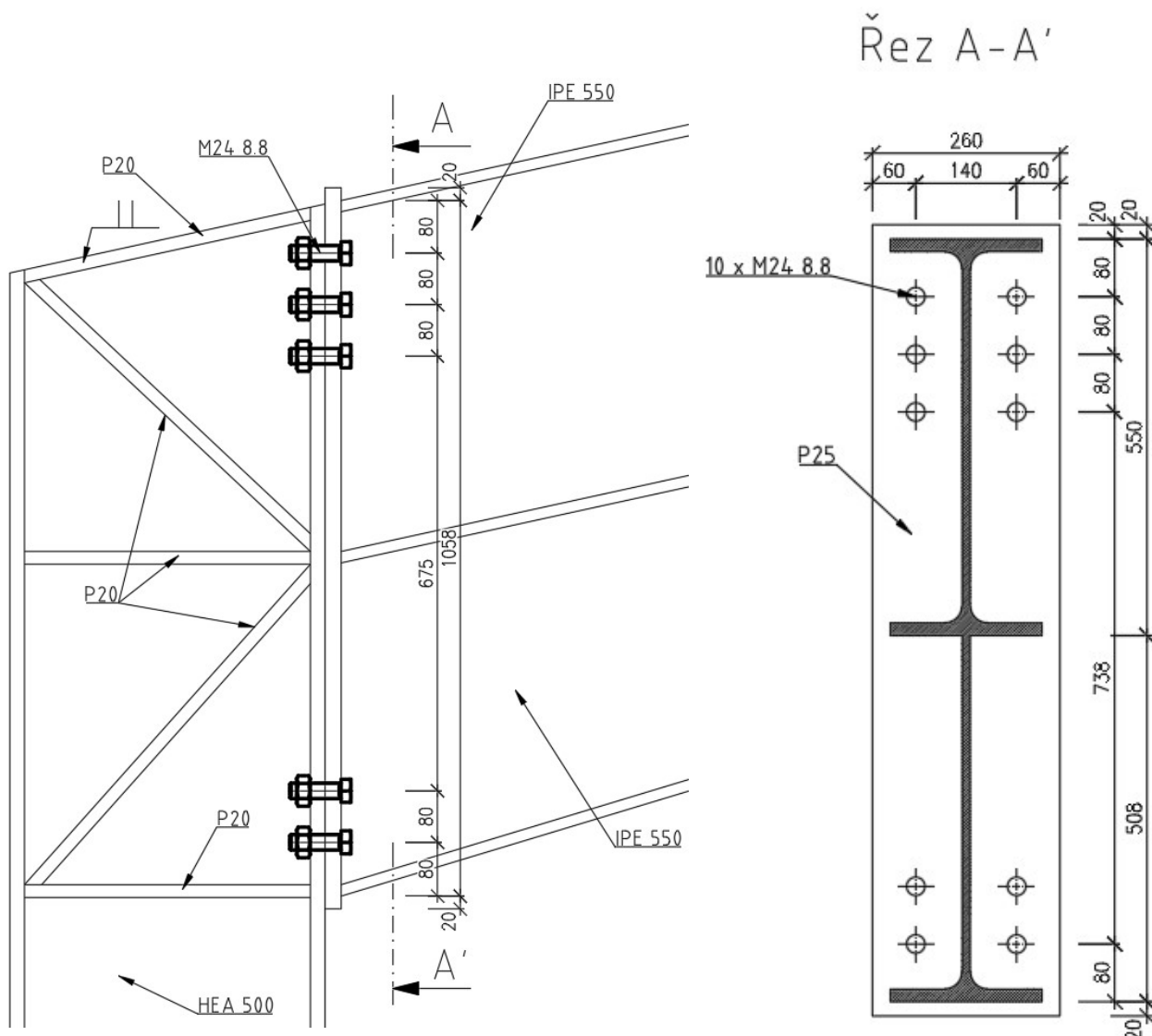
Viz předchozí kapitola, kde byly navrženy šikmé výztuhy.

7. VODOROVNÉ VÝZTUHY SLOUPU

Viz předchozí kapitola, kde byly navrženy vodorovné výztuhy.

4.3.11 ŠROUBOVÝ PŘÍPOJ RÁMOVÉHO ROHU, OSA A

1. NÁVRH GEOMETRIE:



2. VNITŘNÍ SÍLY

KZS 13

$$M_{Ed} = 269,01 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -13,96 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 36,54 \text{ kN}$$

KZS 1

$$M_{Ed} = -191,72 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -45,37 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 92,67 \text{ kN}$$

Poznámka: Vzhledem k výrazně menším vnitřním silám v přípoji víme, že si můžeme dovolit navrhnout stejný přípoj jako se nachází na ose B, levá strana.

4.3.12 **NÁVRH PATKY SLOUPU**

Patka sloupu je navržena jako kloubová, centricky tlačena/tažena.

1. VNITŘNÍ SÍLY**MAXIMÁLNÍ TLAK (KZS 1)**

$N_{Ed, max} = \text{reakce v sloupu} + \text{reakce od podélného ztužidla} = 297,11 \text{ kN} + 357,57 \text{ kN} = 654,68 \text{ kN}$

MAXIMÁLNÍ TAH (KZS 4)

$N_{Ed, max} = 68,47 \text{ kN} + 357,57 \text{ kN} = 426,04 \text{ kN}$

POSOUVAJÍCÍ SÍLA (KZS 13)

$V_{Ed, max} = 59,24 \text{ kN}$

2. POSOUZENÍ PATKY NA TLAK

Materiál patky: Beton C 20/25 – lepší beton je navržen z důvodu kotvení viz. kapitola „Kotvení běžných sloupů“

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

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$$

$\gamma_c = 1,5$

$f_{cd} = 13,3 \text{ MPa}$

Výška podlití: 40 mm

Rozměry betonové patky:

$a_c = 1000 \text{ mm}$

$b_c = 1000 \text{ mm}$

$h = 1000 \text{ mm}$

Rozměry patního plechu:

$a = 600 \text{ mm}$

$b = 400 \text{ mm}$

$t = 20 \text{ mm}$

Započitatelné rozměry betonové patky:

$a_1 = \min(a_c, 3 \cdot a, a + h) = 1000 \text{ mm}$

$b_1 = \min(b_c, 3 \cdot b, b + h) = 1000 \text{ mm}$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}} = 2,04$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{jd} = \frac{2}{3} \cdot k_j \cdot f_{cd} = 18,09 \text{ MPa}$$

Přesah desky:

$$c = t \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 51 \text{ mm}$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

Efektivní plocha patního plechu:

$$A_{eff} = 140 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Návrhová únosnost patky:

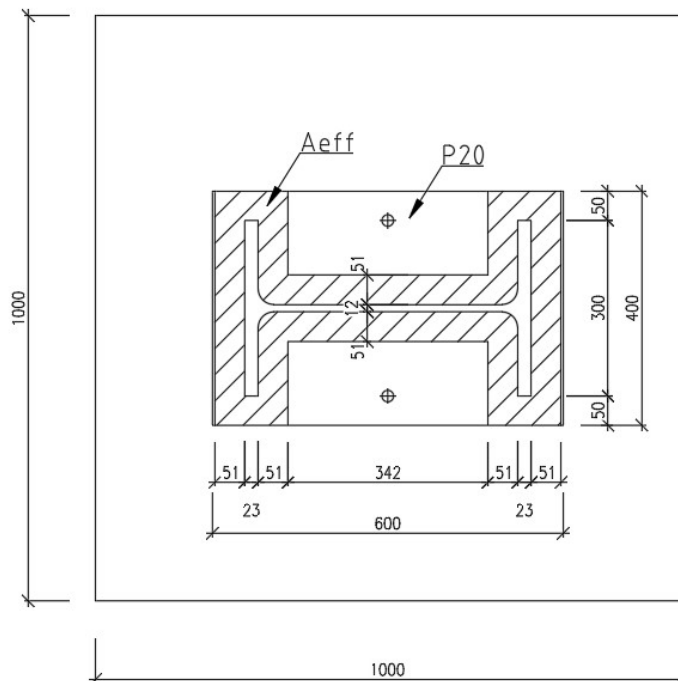
$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 140 \cdot 10^3 \cdot 18,09 = 2532,6 \text{ kN}$$

$$2532,6 \text{ kN} > 654,68 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} > N_{Ed, \max}$$

→ **Navržená patka vyhovuje na tlak**

Obr. 21 – Schéma patky sloupu



3. SMYKOVÁ ZARÁŽKA

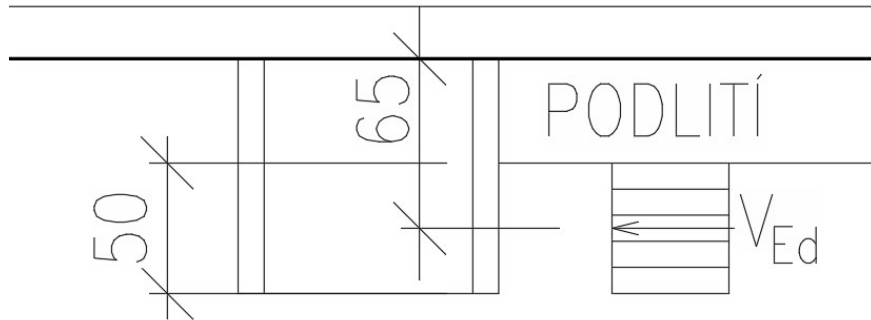
Jelikož je vodorovná síla v KZS 4 doprovázena tahovou silou ve sloupu, nelze se spoléhat na přenos vodorovné síly pomocí tření mezi patním plechem a patkou. Vodorovná síla bude přenášena smykovou zarážkou.

Návrh: Úpalek HE 100 A

Potřebná výška zarážky (bez podlití):

$$h_{min} = \frac{V_{Ed}}{l \cdot f_{cd}} = 49,4 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 50 \text{ mm}$$

Obr. 22 – Schéma smykové zarážky



POSOUZENÍ SMYKOVÉ ZARÁŽKY NA SMYK

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \geq V_{Ed}$$

$$A_{vz} = 756 \text{ mm}^2$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$V_{pl,Rd} = 154,9 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 59,24 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} > 2 \cdot V_{Ed} \rightarrow \text{malý smyk}$$

→ **Zarážka HE 100 A vyhovuje na smyk**

POSOUZENÍ SMYKOVÉ ZARÁŽKY NA OHYB

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} \geq M_{Ed}$$

$$M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 59,24 \cdot 0,065 = 3,85 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,y} = 83,01 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

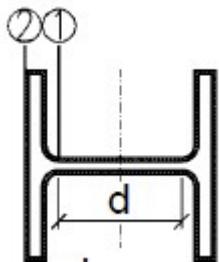
$$M_{pl,Rd} = 29,5 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} > M_{Ed}$$

→ **Zarážka HE 100 A vyhovuje na ohyb**

SVAROVÝ PŘÍPOJ SMYKOVÉ ZARÁŽKY K PATNÍMU PLECHU

Koutový svar bude proveden okolo celého průřezu zarážky a je namáhán kombinací smyku a ohybu. V bodě 1 se vyskytuje největší smykové napětí + normálové napětí a v bodě 2, je největší normálové napětí od ohybu.



Návrh: Koutový svar, $a_w = 4 \text{ mm}$

Posouzení v bodě 1:

Smykové rovnoběžné napětí od posouvající síly:

$$\tau_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_w \cdot l_w}$$

$$l_w = d = 56 \text{ mm}$$

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

$$\tau_{II} = 132,23 \text{ MPa}$$

Smykové kolmé a normálové napětí od ohybu:

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_1}}$$

$$z_1 = d / 2 = 28 \text{ mm}$$

$$I_w = \text{moment setrvačnosti svarového obrazce} = 374 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\tau_{\perp} = 20,38 \text{ MPa}$$

Musí být splněny 2 podmínky:

$$1) \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$2) \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u \text{ pro ocel S 355} = 490 \text{ MPa}$$

$$\beta_w \text{ pro ocel S 355} = 0,9$$

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

$$1) 232,63 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$2) 20,38 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

Posouzení v bodě 2:

$$\tau_{II} = 0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{V_{Ed} \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}}$$

$$z_2 = h / 2 = 50 \text{ mm}$$

$$\tau_{\perp} = 36,4 \text{ MPa}$$

Musí být splněny 2 podmínky:

$$1) \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$2) \sigma_{\perp} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$f_u \text{ pro ocel S 355} = 490 \text{ MPa}$$

$$\beta_w \text{ pro ocel S 355} = 0,9$$

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

$$1) 72,8 \text{ MPa} < 435,56 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

$$2) 36,4 \text{ MPa} < 352,8 \text{ MPa} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

→ **Koutový svar, $a_w = 4 \text{ mm}$ vyhovuje**

4. KOTVENÍ BĚŽNÝCH SLOUPŮ (MIMO SLOUPŮ V POLI S PODÉLNÝM ZTUŽIDLEM)

Maximální tahová síla v běžných sloupech = 68,47 kN

Smyková síla přenášena pomocí smykové zarážky

Poznámka: Ve skutečnosti bude tahová síla menší – tato hodnota je pouze u krajních rámců a reálně se na přenosu tahové síly budou podílet i ostatní rámcové vazby díky spolupůsobení střešního pláště (Z vaznice). Návrh je na straně bezpečí.

Návrh: 2 x kotevní šroub HIT-Z M20x250 lepený do betonu lepící hmotou HIT-HY 200 s

Únosnost jednoho šroubu v tahu (tabulky výrobce Hilti) $N_{Rd} = 58 \text{ kN}$

$$2 \cdot 58 \text{ kN} = 116 \text{ kN} > 68,47 \text{ kN}$$

Tab. 11 – Únosnost kotevních šroubů Hilti

HIT-Z šroub		M8	M10	M12	M16	M20
Průměr vrtání	d_0 [mm]	10	12	14	18	22
Průměr otvoru v kotevní desce	$d_1 \leq$ [mm]	9*/11**	12*/14**	14*/16**	18*/20**	22*/24**
Efektivní kotevní hloubka	h_{ef} [mm]	70	90	110	145	180
Vzdálenost od okraje	$c_{cr,sp}$ [mm]	175	260	345	410	560
Osová vzdálenost	$s_{cr,sp}$ [mm]	350	520	690	820	1120
Minimální vzdálenost od okraje	c_{min} [mm]	40	50	60	80	100
Minimální osová vzdálenost	s_{min} [mm]	40	50	60	80	100
Minimální tloušťka betonu	h_{min} [mm]	130	150	170	245	280
Utahovací moment	T_{inst} [Nm]	10	25	40	80	150
Orientační spotřeba kotvicí hmoty	[ml]	4	7	10	19	32
Beton bez trhlin						
Dovolené namáhání v tahu	N_{rec} [kN]	11,4	18,1	25,9	42,0	58,1
Dovolené namáhání ve smyku	V_{rec} [kN]	6,9	10,9	15,4	27,4	41,7
Návrhová únosnost v tahu	N_{Rd} [kN]	16,0	25,3	36,2	58,8	81,3
Návrhová únosnost ve smyku	V_{Rd} [kN]	9,6	15,2	21,6	38,4	58,4
Beton s trhlinami						
Dovolené namáhání v tahu	N_{rec} [kN]	10,0	14,6	19,8	29,9	41,4
Dovolené namáhání ve smyku	V_{rec} [kN]	6,9	10,9	15,4	27,4	41,7
Návrhová únosnost v tahu	N_{Rd} [kN]	14,1	20,5	27,7	41,9	58,0
Návrhová únosnost ve smyku	V_{Rd} [kN]	9,6	15,2	21,6	38,4	58,4

→ **2 x kotevní šroub HIT-Z M20x250 lepený do betonu lepicí hmotou HIT-HY 200 s vyhovuje**

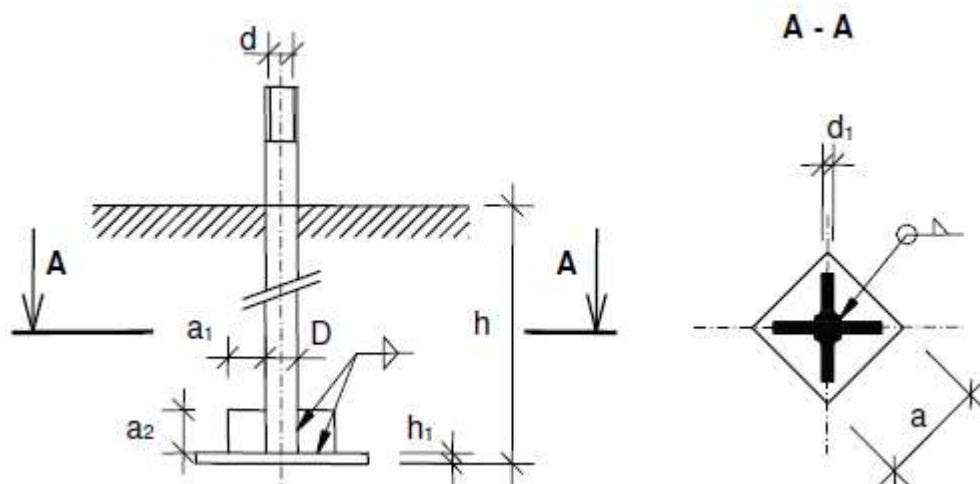
5. KOTVENÍ PATKY V POLÍCH S PODÉLNÝM ZTUŽIDLEM

$$N_{Ed,tah,max} = 426,04 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,max} = 59,24 \text{ kN (přenášena smykovou zarážkou)}$$

Návrh: Kotevní šrouby s kotevní hlavou 2 x M 42x3

Obr. 23 – Kotevní šrouby se zabetonovanou kotevní hlavou



Tab. 12 – Únosnost kotevních šroubů se zabetonovanou kotevní hlavou

Šroub	Průměr dříku	Návrhová únosnost	Min. hloubka	Kotevní hlava				
	D [mm]	F _{Rd} [kN]	h [mm]	a [mm]	h ₁ [mm]	a ₁ [mm]	a ₂ [mm]	d ₁ [mm]
M 30	32	123.60	340	95	10	40	50	6
M 36x3	40	190.58	420	115	12	40	50	8
M 42x3	45	250.95	490	135	15	40	50	
M 48x3	50	333.77	590	155	15	50	60	
M 56x4	60	446.13	650	180	20	60	70	
M 64x4	70	593.24	740	200	20	70	80	
M 72x4	80	761.16	840	230	25	90	110	
M 80x4	90	950.10	930	255	30	90	110	10
M 90x4	100	1215.61	1070	290	30	110	130	
M 100x4	110	1514.00	1210	320	35	120	140	12

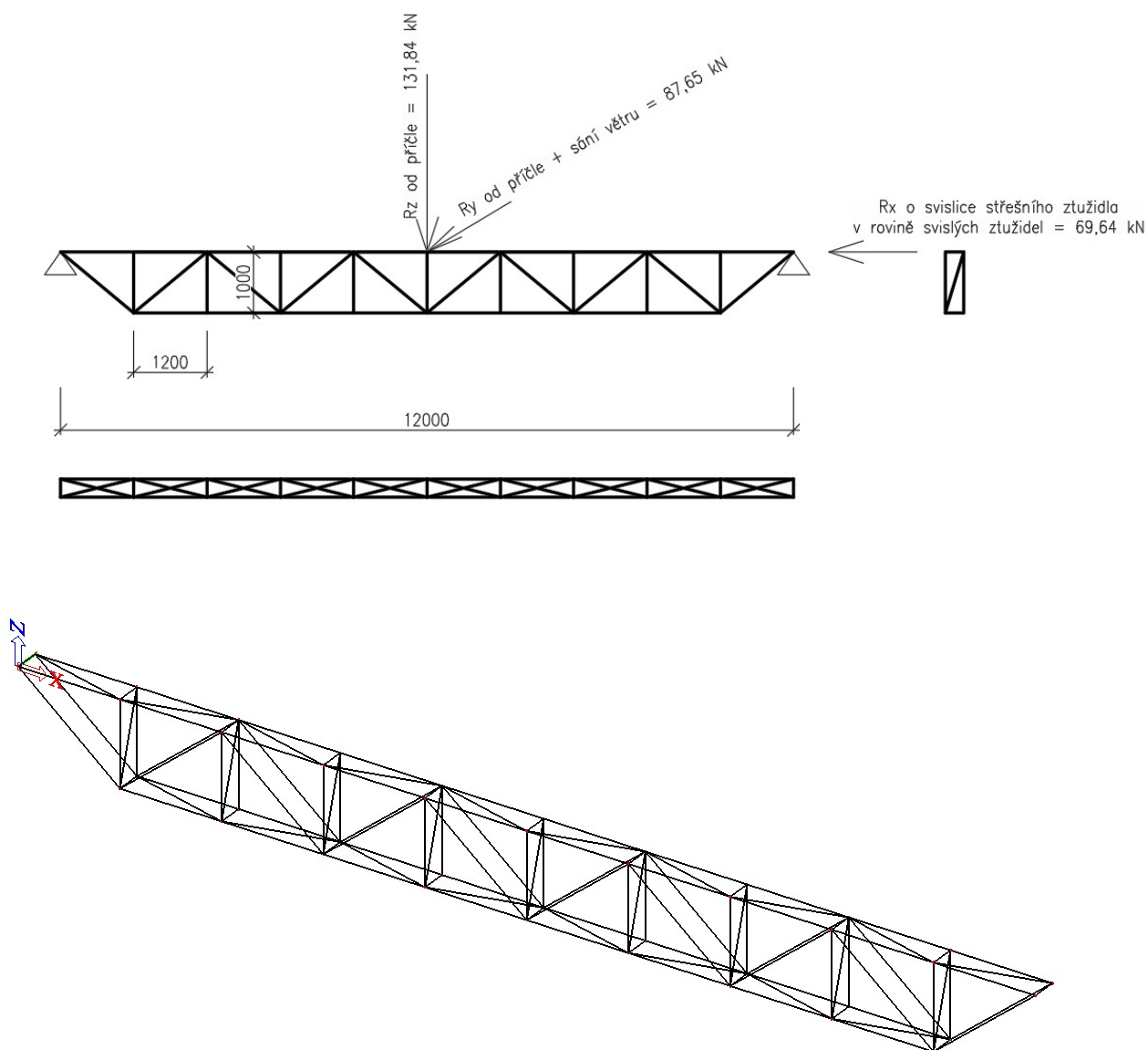
$N_{Ed,tah,max} = 426,04 \text{ kN} < 2 \cdot 250,95 = 501,9 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$

→ **Kotevní šrouby 2 x M42x3 s kotevní hlavou vyhovují**

4.3.13 NÁVRH PRŮVLAKU NAD VELKOFORMÁTOVÝMI VRATY

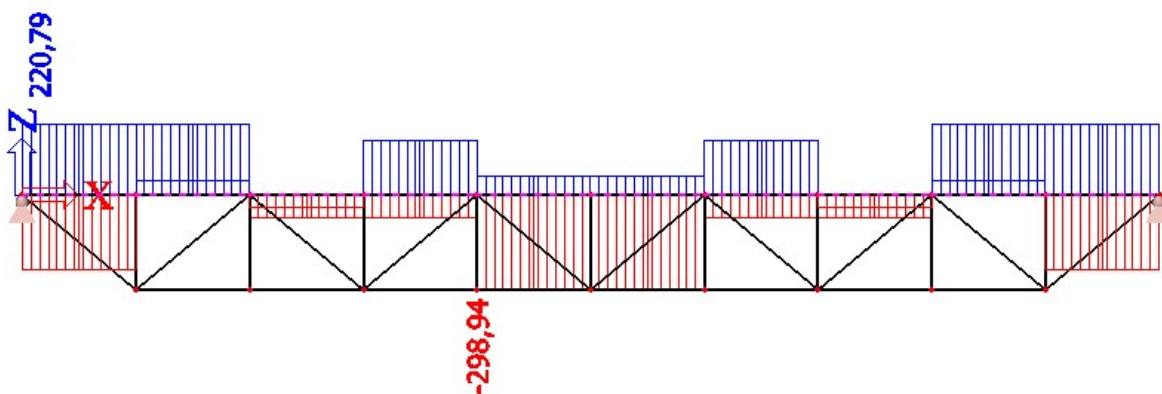
Na objektové ose A jsou z důvodu osazení velkoformátových vrat pro letadla vynechané sloupy na ose 4 a 11 (viz. obr.1). Místo nich bude navrhovaný průvlak, na který bude kloubově uložena příčle. Průvlak bude navržen jako trubkový prostorový příhradový nosník. Nosník bude přenášet jak svislou a vodorovnou reakci od příčle, zatížení od sání větru na vrata, tak nahrazovat svislici střešního ztužidla v rovině střešních ztužidel. Zatížení vychází z KZS 10.

Obr. 24 – Průvlak nad vrata – statické schéma, zatížení, axonometrie

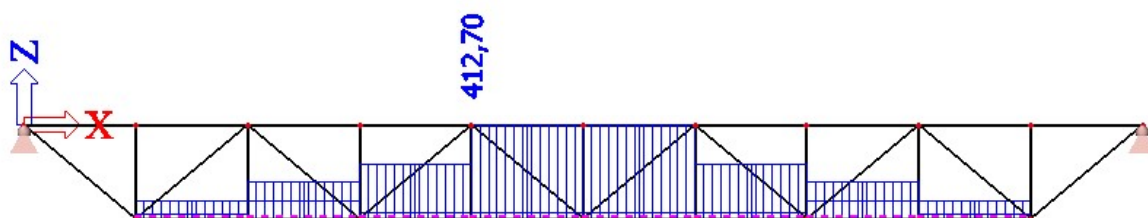


1. VNITŘNÍ SÍLY NA JEDNOTLIVÝCH PRVCÍCH

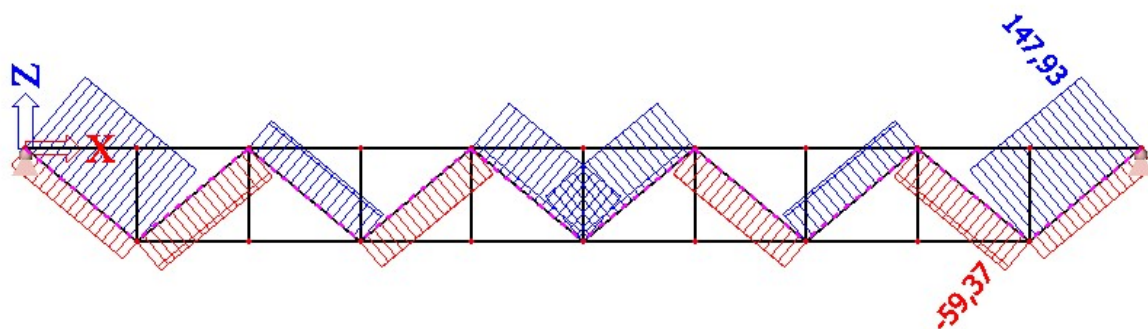
Obr. 25 – Normálová síla – horní pás (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



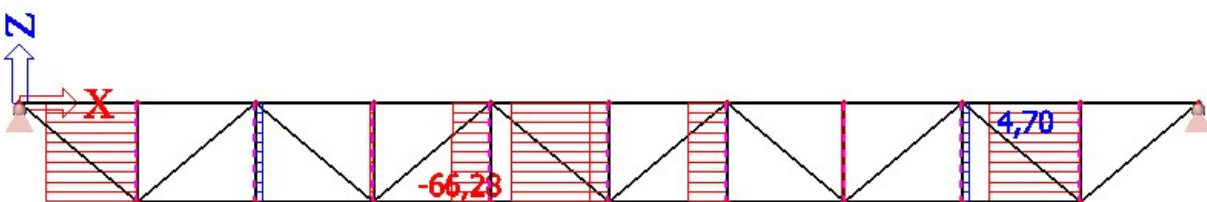
Obr. 26 – Normálová síla – spodní pás (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



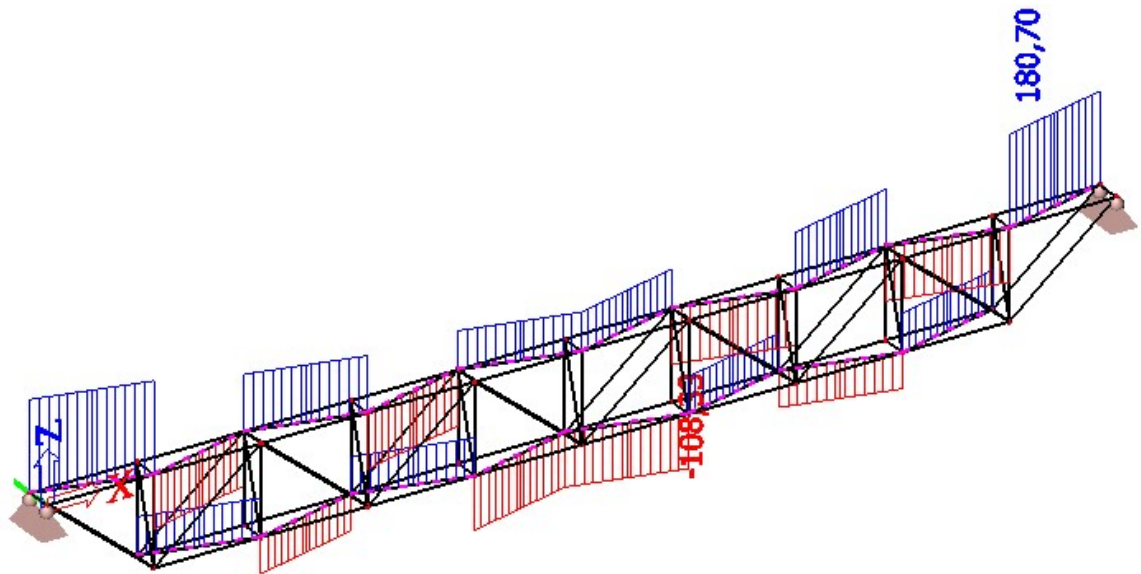
Obr. 27 – Normálová síla – diagonály (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



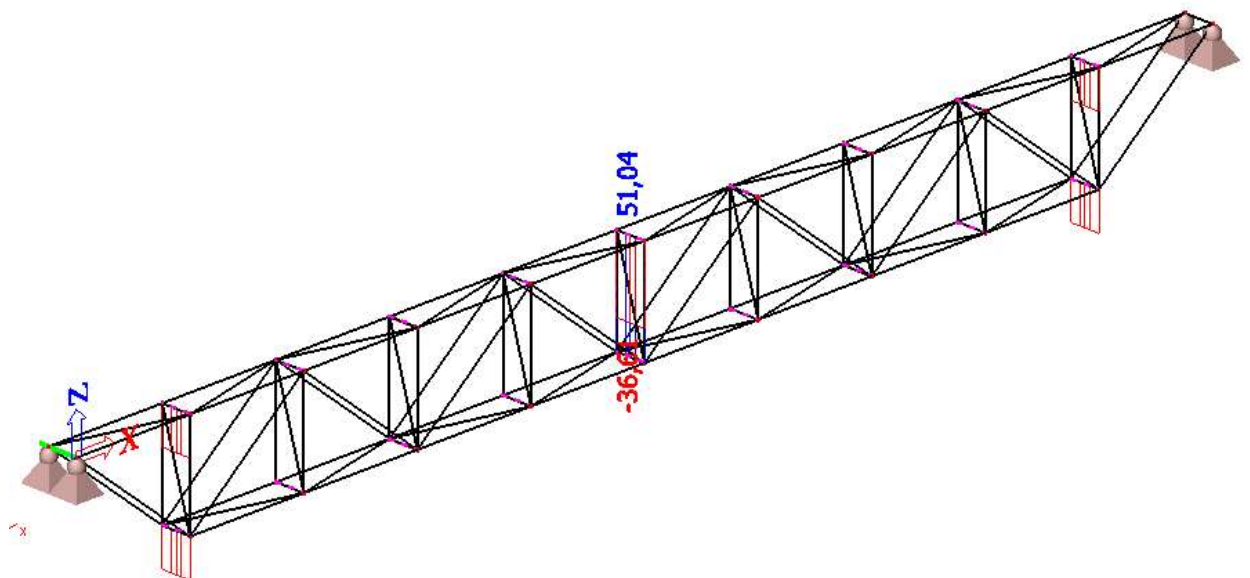
Obr. 28 – Normálová síla – svislice (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



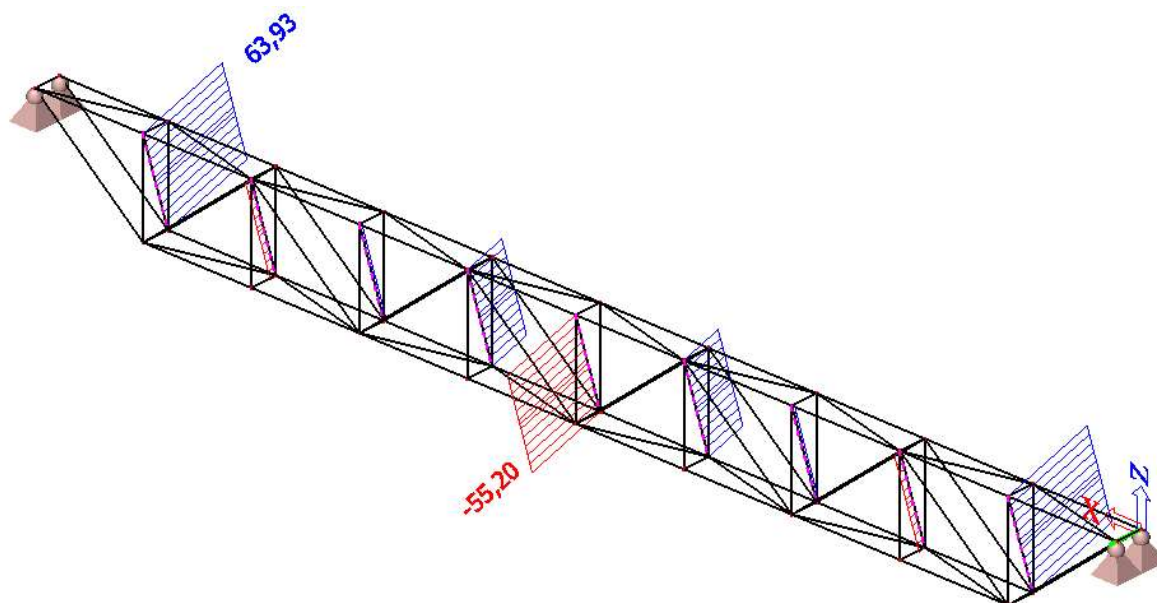
Obr. 29 – Normálová síla – horní/spodní diagonály (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



Obr. 30 – Normálová síla – horní/spodní svislice (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



Obr. 31 – Normálová síla – vnitřní diagonály (záporné hodnoty = tlak, kladné hodnoty = tah) [kN]



2. POSOUZENÍ JEDNOTLIVÝCH PRVKŮ PŘÍHRADOVÉHO NOSNÍKU

POUŽITÉ VZTAHY:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i}$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\lambda_1}$$

χ = viz. tabulky, křivka a

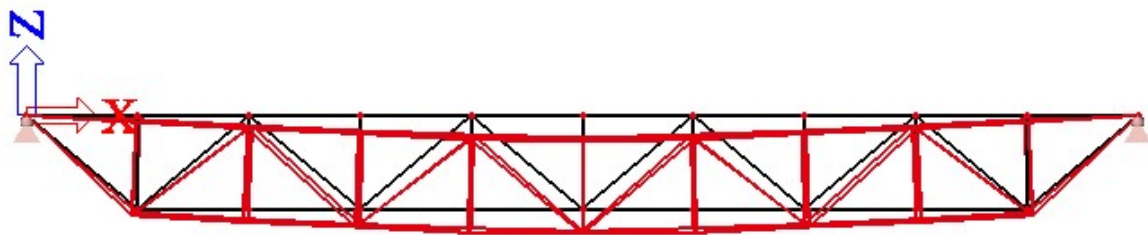
Tab. 13 – Posouzení jednotlivých prvků příhradového nosníku

Prvek	Průřez	N_{Ed} [kN]	L_{cr} [mm]	A [mm ²]	f_{yd} [Mpa]	χ	N_{Rd} [N]	Posouzení	Využití průřezu [%]
horní pás	TR 89/3,6	-298,84	1200	966	355	0,918	314810	Vyhovuje	95
spodní pás	TR 89/5	412,7	1200	1319	355	-	468245	Vyhovuje	88
diagonála	TR 48,3/3,2	147,93	1562	453	355	-	160815	Vyhovuje	92
svislice	TR 40/2,6	-66,28	1000	306	355	0,68	73868	Vyhovuje	90
horní/spodní diagonála	TR 48,3/3,6	-108,33	1237	506	355	0,652	117119	Vyhovuje	92
horní/spodní svislice	TR 20/2,9	51,04	300	156	355	-	55380	Vyhovuje	92
vnitřní diagonála	TR 40/2,6	-55,2	1044	306	355	0,645	70066	Vyhovuje	79

3. MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

Vypočteno pomocí SCIA engineer 16.0

Obr. 32 – svislý posun „ δ_z “ na prvcích

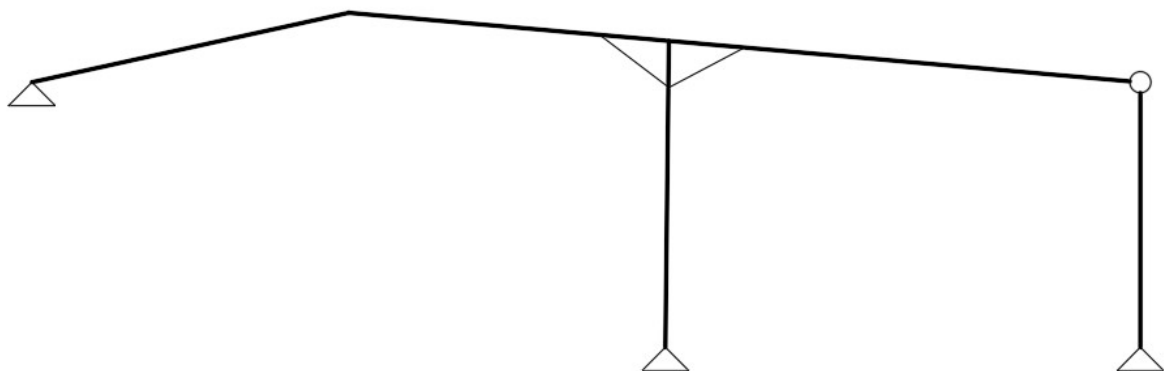


$$\delta_z = 52,8 \text{ mm} < \delta_{\text{lim}} = \frac{L}{200} = \frac{12000}{200} = 60 \text{ mm} \rightarrow \text{vyhovuje}$$

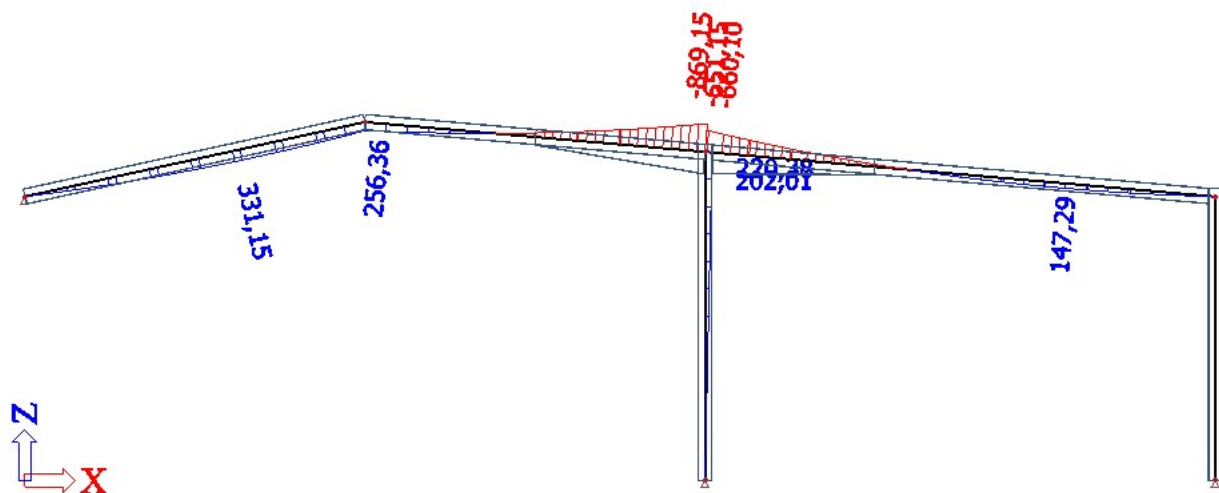
4. OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI RÁMOVÉ VAZBY

Jelikož je rámová příčle s průvlakem spojena kloubově – chybí rámový roh na ose A – je potřeba ověřit únosnost rámového rohu na ose B, kde vzrostl ohybový moment.

Statické schéma:



Vnitřní síly:



OSA B – RÁMOVÝ ROH SMĚREM K OSE A

Vycházeli jsme z výpočtů viz strana 37 a dál.

$$r_1 = 1058 - 80 - \frac{17,2}{2} = 969\text{mm}$$

$$r_2 = 969 - 80 = 889\text{mm}$$

$$r_3 = 889 - 80 = 809\text{mm}$$

KZS 1

$$M_{Ed} = -869,15 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -155,6 \text{ kN}$$

$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 = M_{Ed}$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$F_3 = F_1 \cdot \frac{r_3}{r_1}$$

$$F_1 \cdot 0,969 + F_1 \cdot \frac{0,889 \cdot 0,889}{0,969} + F_1 \cdot \frac{0,809 \cdot 0,809}{0,969} = 869,15$$

$$F_1 = 350,7 \text{ kN}$$

$$F_2 = 321,75 \text{ kN}$$

$$F_3 = 292,8 \text{ kN}$$

PRVNÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

$$F_{Ed} = 350,7 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 383,3 \text{ kN} > F_{Ed} = 350,7 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

DRUHÁ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

$$F_{Ed} = 321,8 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 321,8 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

TŘETÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ:

$$F_{Ed} = 292,8 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 292,8 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

SMYKOVÁ ÚNOSNOST PŘÍPOJE

Návrhová únosnost jednotlivého šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 146,8 \cdot (23/10) = 337,64 \text{ kN (tabulky)}$$

Rozhoduje $F_{v,Rd}$

$$F_{v,10,Rd} = 10 \cdot 135,6 = 1356 \text{ kN} > 155,6 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

KOMBINACE SMYKU A TAHU

Pro nejvíce namáhaný šroub – horní 1. řada šroubů pod pásnicí

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{v,Ed} = 155,6/10 = 15,6 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{869,15 \cdot 0,969}{0,969^2 + 0,889^2 + 0,809^2} = 353,3 \text{ kN}$$

→ pro jeden šroub 176,7 kN

$$F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN (tabulky)}$$

$$\frac{15,6}{13,6} + \frac{176,7}{1,4 \cdot 203,3} = 0,74 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje na kombinaci smyku a tahu}$$

V únosnosti rámovém rohu směrem k ose A je dostatečná rezerva -

Vyhovuje

OSA B – RÁMOVÝ ROH SMĚREM K OSE C

Dva šrouby v horní části nevyhoví – je potřeba přidat třetí řada.

$$r_1 = 1058 - 120 - \frac{17,2}{2} = 929\text{mm}$$

$$r_2 = 929 - 80 = 849\text{mm}$$

$$r_3 = 849 - 80 = 769\text{mm}$$

VNITŘNÍ SÍLY

KZS 1

$$M_{Ed} = -660,1 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 130,4 \text{ kN}$$

$$F_1 \cdot r_1 + F_2 \cdot r_2 + F_3 \cdot r_3 = M_{Ed}$$

$$F_2 = F_1 \cdot \frac{r_2}{r_1}$$

$$F_3 = F_1 \cdot \frac{r_3}{r_1}$$

$$F_1 \cdot 0,929 + F_1 \cdot \frac{0,849 \cdot 0,849}{0,929} + F_1 \cdot \frac{0,769 \cdot 0,769}{0,929} = 660,1$$

$$F_1 = 281,92 \text{ kN}$$

$$F_2 = 257,64 \text{ kN}$$

$$F_3 = 233,37 \text{ kN}$$

PRVNÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ

$$F_{Ed} = 281,92 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 364,5 \text{ kN} > F_{Ed} = 281,92 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

DRUHÁ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ:

$$F_{Ed} = 257,64 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 257,64 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

TŘETÍ ŘADA ŠROUBŮ POD PÁSNICÍ:

$$F_{Ed} = 233,37 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 356,6 \text{ kN} > F_{Ed} = 233,37 \text{ kN} \rightarrow \underline{\text{Vyhovuje}}$$

SMYKOVÁ ÚNOSNOST PŘÍPOJE

Návrhová únosnost jednotlivého šroubu ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

Návrhová únosnost jednoho šroubu v otláčení:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$F_{b,Rd} = 146,8 \cdot (23/10) = 337,64 \text{ kN (tabulky)}$$

Rozhoduje $F_{v,Rd}$

$$F_{v,6,Rd} = 6 \cdot 135,6 = 813,6 \text{ kN} > 130,4 \text{ kN} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

5. KOMBINACE SMYKU A TAHU

Pro nejvíce namáhaný šroub – 1. řada

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} \leq 1$$

$$F_{v,Ed} = 130,4/6 = 21,73 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = 135,6 \text{ kN (tabulky)}$$

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed} \cdot r_1}{\sum r_i^2} = \frac{660,1 \cdot 0,929}{0,929^2 + 0,849^2 + 0,769^2} = 281,92 \text{ kN}$$

\rightarrow pro jeden šroub 140,96 kN

$$F_{t,Rd} = 203,3 \text{ kN (tabulky)}$$

$$\frac{21,73}{135,6} + \frac{140,96}{1,4 \cdot 203,3} = 0,66 < 1 \rightarrow \text{vyhovuje na kombinaci smyku a tahu}$$

V rámovém rohu směrem k ose C je potřeba přidat třetí řada šroubů, pak vyhovuje

MOMENTOVÁ ÚNOSNOST V MÍSTĚ NÁBĚHU

$$F_{Rd} = 995,5 \text{ kNm (viz strana 34)} > F_{Ed} = 869,15 \text{ kNm} \rightarrow \text{Vyhovuje}$$

ÚNOSNOST SLOUPU

Z důvodu vynechání sloupů se zvýší zatížení sloupů, na kterých je uložen průvlak. Sloupky jsou však navrženy na zatížení působící na prostřední sloup na ose B, kde je zatížení výrazně větší, proto sloupky na ose A i po přidání zatížení bezpečně vyhoví.

4.4 ZTUŽENÍ HALY

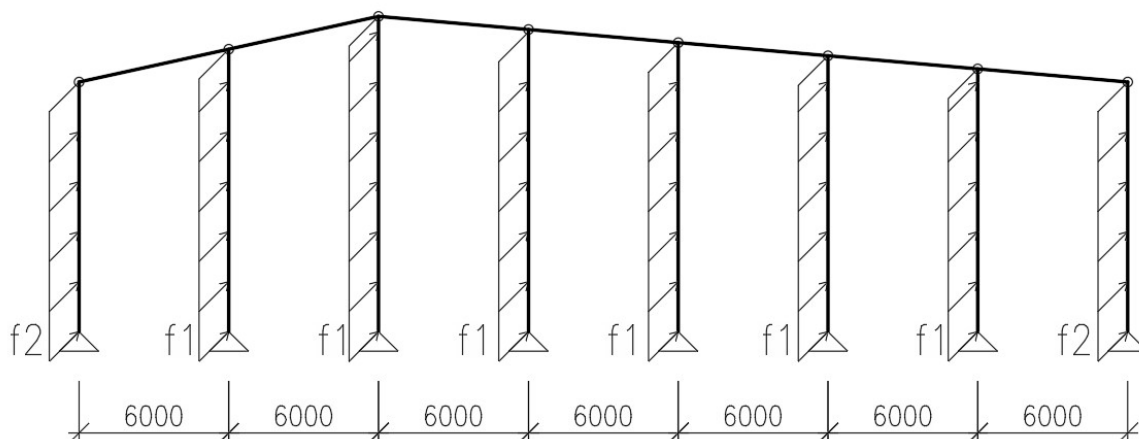
4.4.1 PŘÍČNÉ ZTUŽIDLO VE STŘEŠNÍ ROVINĚ

1. ZATÍŽENÍ

Tab. 14 - Zatížení štítových stěn

Oblast	$C_{pe,10}$	q_p [kN/m ²]	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	γ_f [-]	$w_{e,d}$ [kN/m ²]
D	0,70	0,977	0,684	1,5	1,03
E	-0,30	0,977	-0,293	1,5	-0,36

Obr. 33 – Schéma zatížení štítových sloupků



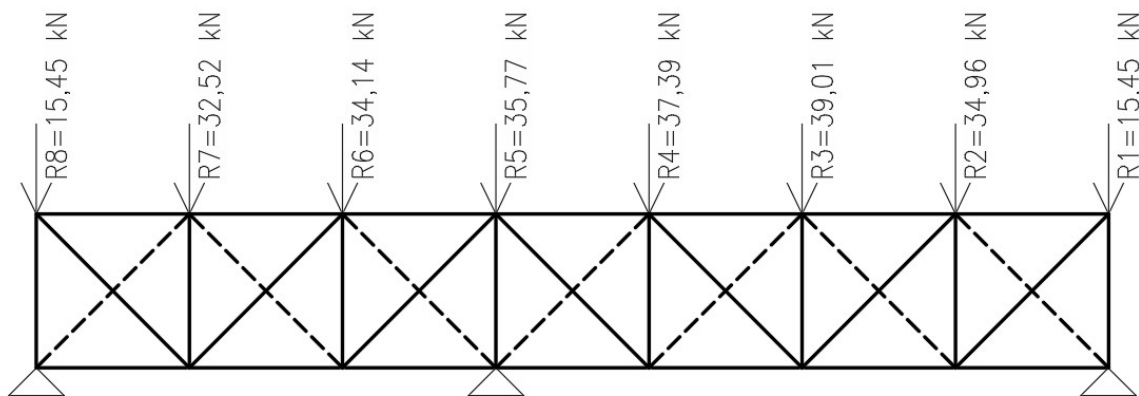
Tab. 15 - Liniové zatížení na sloupky

Liniové zatížení	Oblast	$w_{e,d}$ [kN/m ²]	zatěžovací šířka [m]	liniové zatížení [kN/m]
f1	D	1,03	6	6,18
	E	-0,36	6	-2,16
f2	D	1,03	3	3,09
	E	-0,36	3	-1,08

Tab. 16 – Reakce jdoucí do příčného střešního ztužidla

Reakce	Délka sloupu/2	Liniové zatížení (tlak) [kN/m]	Liniové zatížení (sání) [kN/m]	Reakce (tlak) [kN]	Reakce (sání) [kN]
R1	5,00	3,09	-1,08	15,45	-5,40
R2	5,66	6,18	-2,16	34,96	-12,22
R3	6,31	6,18	-2,16	39,01	-13,64
R4	6,05	6,18	-2,16	37,39	-13,07
R5	5,79	6,18	-2,16	35,77	-12,50
R6	5,53	6,18	-2,16	34,14	-11,93
R7	5,26	6,18	-2,16	32,52	-11,37
R8	5,00	3,09	-1,08	15,45	-5,40

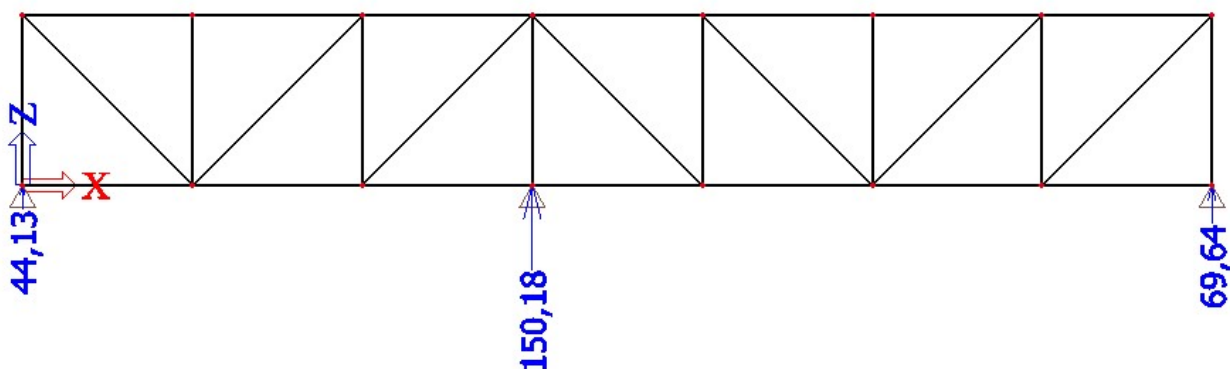
Obr. 34 – Statické schéma příčného střešního ztužidla



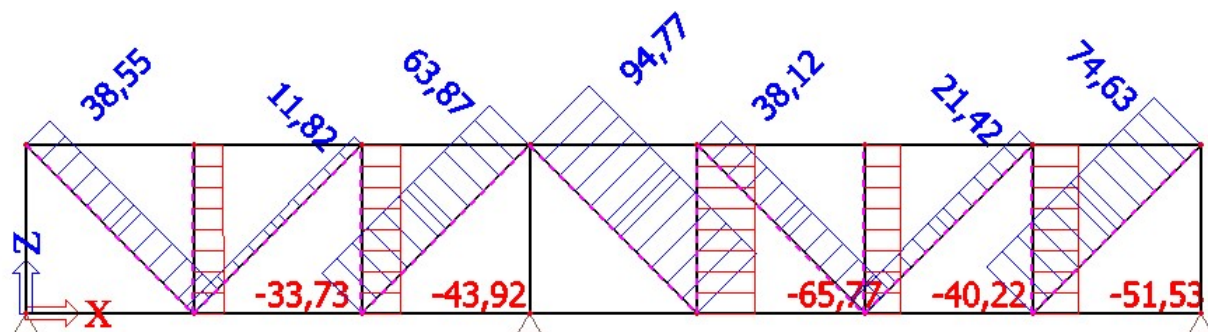
Počítám pouze s taženými diagonálami, tlačené (ve schématu značené čárkovaně) považuji za vybočené.

2. VNITŘNÍ SÍLY

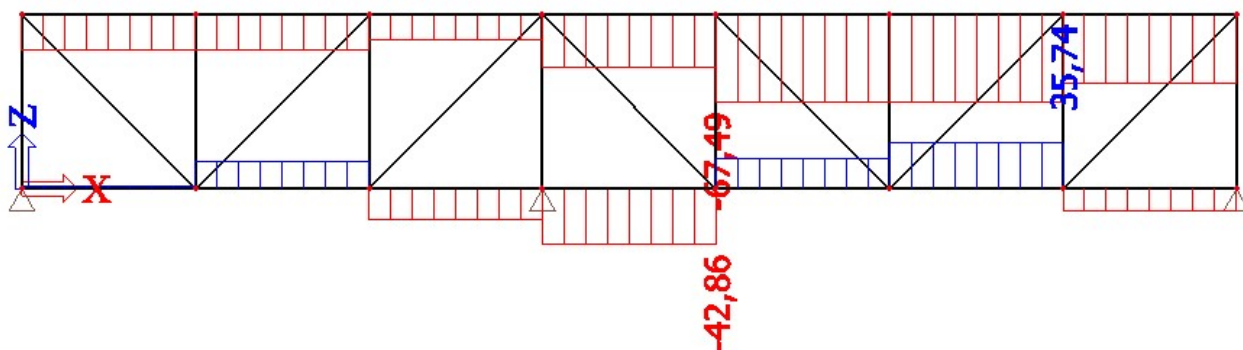
Obr. 35 – Reakce příčného střešního ztužidla



Obr. 36 – Vnitřní síly ve ztužidle



Obr. 37 – Vnitřní síly ve spodním a horním pásu (rámová příčle)



Pro pozdější ověření únosnosti příčlí.

3. NÁVRH PRVKŮ ZTUŽIDLA

Ztužidlo bude tvořeno kruhovými válcovanými tyčemi z oceli S355.

DIAGONÁLA – TAH

$N_{Ed, max} = 94,77 \text{ kN}$ (viz. obr. 24)

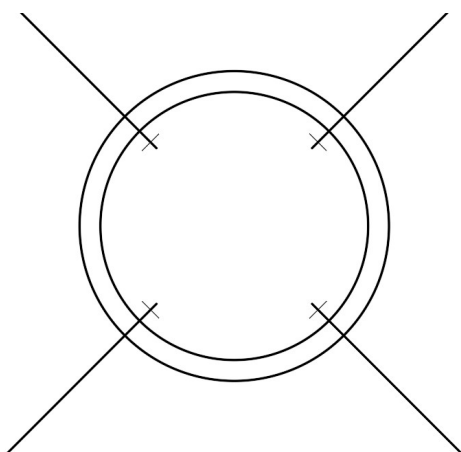
$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$

Návrh tyč D 24

$$N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A_s = 353 \text{ mm}^2$$

Poznámka: Křížení táhel bude provedeno pomocí ocelové obruče která umožní rektifikaci a dopnutí táhel při montáži. Tyče prochází obručí a na jejich koncích jsou osazeny matky. Z tohoto důvodu je počítáno s plochou závitu M24, ne s plochou tyče.



$$N_{t, Rd} = 353 \cdot 355 = 125,32 \text{ kN} > 94,77 \text{ kN}$$

→ Diagonála tyč D24 vyhovuje

SVISLICE – TLAK S VLIVEM VYBOČENÍ (VYJMA SVISLIC V ROVINĚ SVISLÝCH ZTUŽIDEL)

$$N_{Ed, \max} = 65,8 \text{ kN (viz. obr. 24)}$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$L_{cr} = 6000 \text{ mm}$$

Návrh TR 89/5.6

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A = 1467 \text{ mm}^2$$

$$i = 29,6 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = 202,7$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{202,7}{76,4} = 2,65$$

$$\chi = 0,131 \text{ (křivka a)}$$

$$N_{b, Rd} = 0,131 \cdot 1467 \cdot 355 = 68,2 \text{ kN} > 65,8 \text{ kN}$$

→ **Svislice TR 89/5.6 vyhovuje na tlak s vlivem vybočení**

4. OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI PŘÍČLE

Přidaná tlaková síla od příčného ztužidla (viz. obr. 25) = $N_{Ed, 2} = 67,49 \text{ kN}$

Původní tlaková síla (viz. 4.2.7/1) = $N_{Ed, 1} = 41,53 \text{ kN}$

Tlaková síla celkem = $N_{Ed, 1} + N_{Ed, 2} = 41,53 + 67,49 = 109,02 \text{ kN}$

POSOUZENÍ PŘÍČLE NA INTERAKCI MOMENTU A NORMÁLOVÉ SÍLY

Průřezové charakteristiky a součinitele viz kapitola 4.2.7.

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

N_{Ed} = normálová síla na příčli = 109,02 kN

M_{Ed} = ohybový moment na příčli = 238,06 kNm

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot (1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}) \\ c_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}) \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(c_{m,LT-0,25}) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{A \cdot f_{yd}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT-0,25}) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = 0,913$$

$$k_{zy} = 0,998$$

Interakce M+N = 0,4622 < 1 → Vyhovuje

Interakce M+N = 0,5008 < 1 → Vyhovuje

V průřezu příčle je dostatečná rezerva pro přenos normálové síly z příčného ztužidla.

4.4.2 SVISLICE ZTUŽIDLA V ROVINĚ SVISLÝCH ZTUŽIDEL

Ztužidlo přenáší podélné síly od příčných ztužidel k hlavnímu podélnému ztužidlu. Bude připojeno ke sloupům na osách A, B, C v úrovni příčle po celé délce haly.

$$N_{Ed, \max} = 150,18 \text{ kN (viz. obr. č. 23)}$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$L_{cr} = 6000 \text{ mm}$$

Návrh TR 108/8

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A = 2513 \text{ mm}^2$$

$$i = 35,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = 169$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{169}{76,4} = 2,21$$

$$\chi = 0,185 \text{ (křivka a)}$$

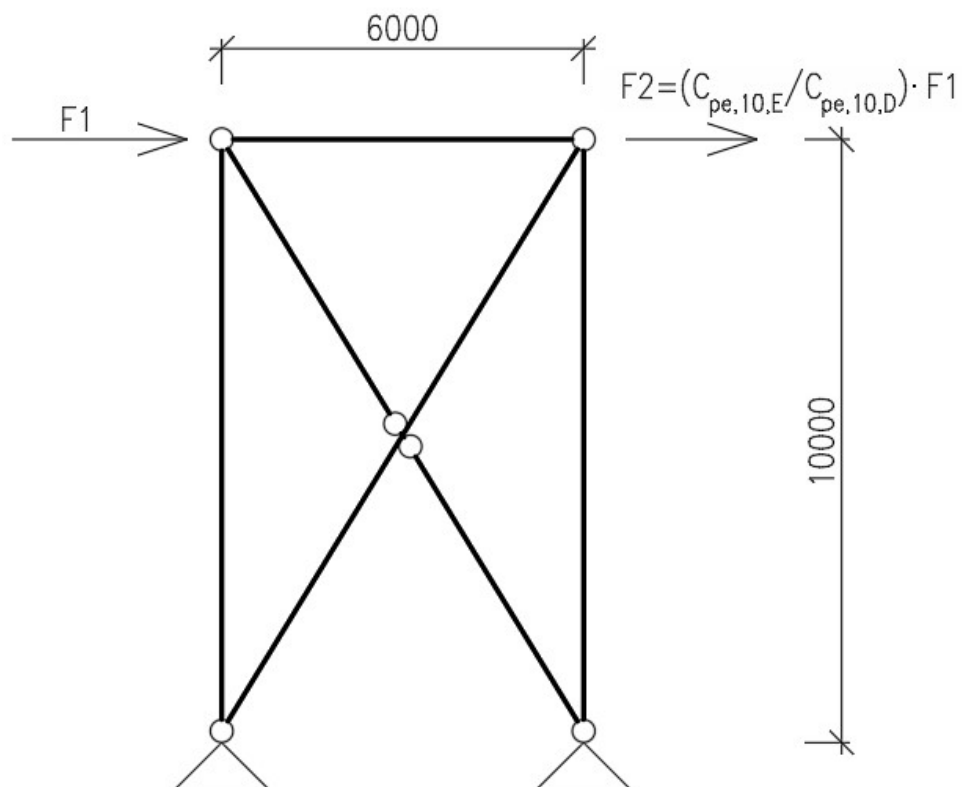
$$N_{b, Rd} = 0,185 \cdot 2513 \cdot 355 = 165,04 \text{ kN} > 150,18 \text{ kN}$$

→ **TR 108/8 vyhovuje na tlak s vlivem vybočení**

4.4.3 Hlavní podélné ztužidlo

Hlavní podélné ztužidlo přenáší reakci od svislic střešního ztužidla, respektive od zatížení větru na štítové stěny. Umístěno bude v poli mezi sloupy na objektových osách 7 a 8 (uprostřed haly).

Obr. 38 – Statické schéma hlavního podélného ztužidla

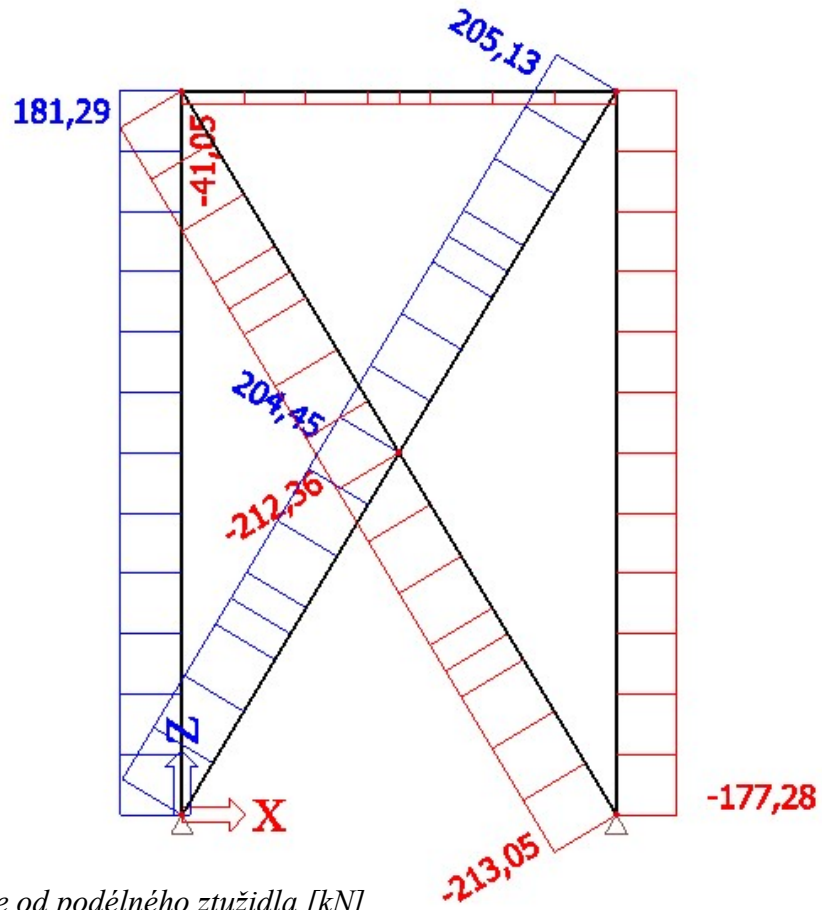


1. PŮSOBÍCÍ SÍLY

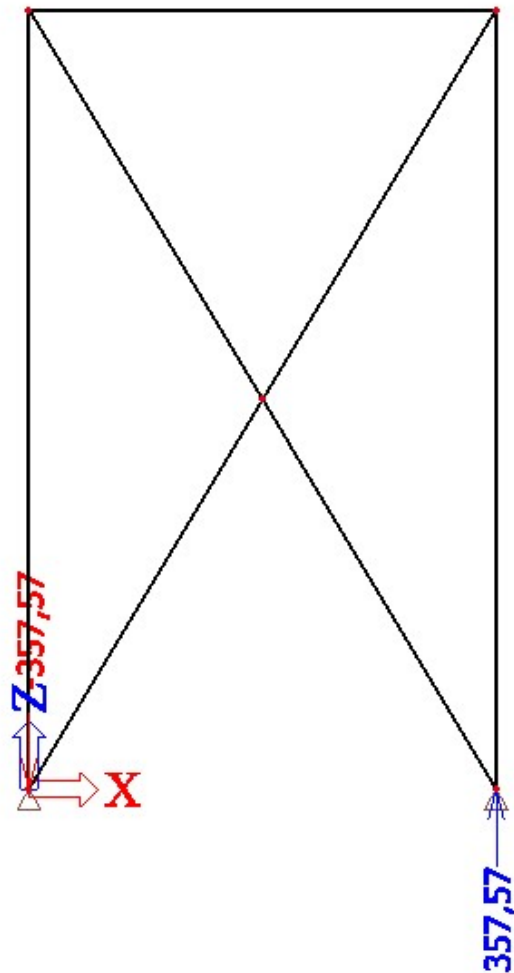
$F_1 = 150,18 \text{ kN}$ (viz. obr. 23)

$$F_2 = \frac{C_{pe,10,E}}{C_{pe,10,D}} \cdot F_1 = \frac{0,3}{0,7} \cdot 150,18 = 64,36 \text{ kN}$$

Obr. 39 – Normálová síla v podélném ztužidle [kN]



Obr. 40– Reakce od podélného ztužidla [kN]



2. DIAGONÁLA

$$N_{Ed, \max} = 213,05 \text{ kN (viz. obr. 27)}$$

$$f_{yd} = 355 \text{ MPa}$$

$$L_{cr} = \text{vzpěrná délka diagonály je poloviční, jelikož jí z vybočení drží tažená diagonála} = \\ = \sqrt{3000^2 + 5000^2} = 5831 \text{ mm}$$

Návrh TR 108/11

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} \geq N_{Ed}$$

$$A = 3352 \text{ mm}^2$$

$$i = 34,5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr}}{i} = 169$$

$$\lambda_1 = 76,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{168}{76,4} = 2,21$$

$$\chi = 0,185 \text{ (křivka a)}$$

$$N_{b,Rd} = 0,185 \cdot 3352 \cdot 355 = 220,14 \text{ kN} > 213,05 \text{ kN}$$

→ **Diagonála TR 108/11 vyhovuje na tlak s vlivem vybočení**

3. OVĚŘENÍ ÚNOSNOSTI SLOUPU

$$\text{Přidaná tlaková síla od příčného ztužidla (viz. obr. 27)} = N_{Ed, 2} = 177,28 \text{ kN}$$

$$\text{Původní tlaková síla (viz. 4.2.6/1)} = N_{Ed, 1} = 215,99 \text{ kN}$$

$$\text{Tlaková síla celkem} = N_{Ed, 1} + N_{Ed, 2} = 215,99 + 177,28 = 393,27 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ SLOUPU NA INTERAKCI MOMENTU A NORMÁLOVÉ SÍLY

Průřezové charakteristiky a součinitele viz kapitola 4.2.6

$$\frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{N_{ED}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{ED}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$N_{Ed} = \text{normálová síla na sloupu} = 393,27 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \text{ohybový moment na sloupu} = 433,54 \text{ kNm}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} \cdot (1 + (\lambda_y - 0,2) \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \\ c_{my} \cdot (1 + 0,8 \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}) \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \lambda_z}{(c_{m,LT}-0,25) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{A \cdot f_{yd}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{m,LT}-0,25) \cdot \chi_z} \cdot \frac{N_{ED}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = 1$$

$$k_{zy} = 0,956$$

Interakce M+N = 0,62 < 1 → Vyhovuje

Interakce M+N = 0,74 < 1 → Vyhovuje

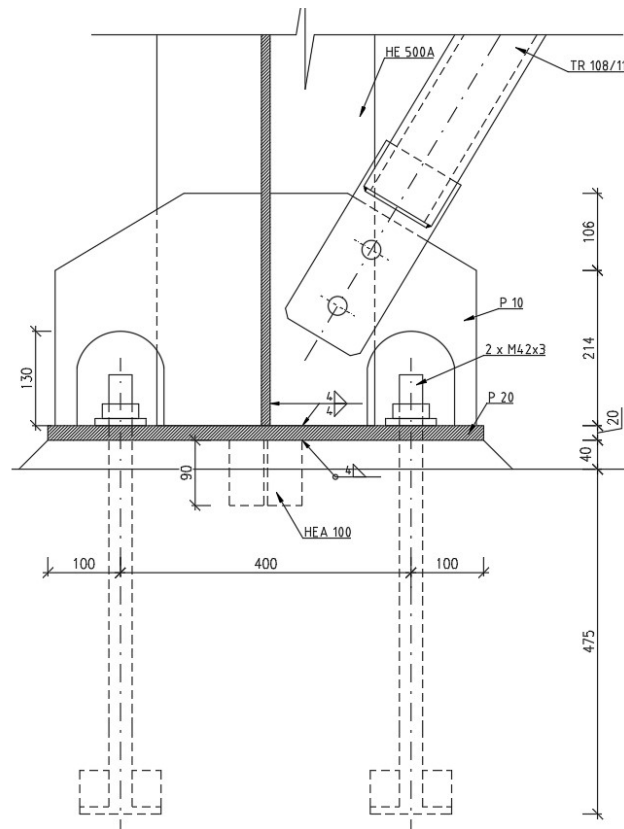
V průřezu sloupu je dostatečná rezerva pro přenos normálové síly z podélného ztužidla.

4.5 PŘÍPOJE PRVKŮ

Detailní výkresy viz. přílohy bakalářské práce 3, 4, 5 a 6.

4.5.1 PŘÍPOJ DIAGONÁLY PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA KE SLOUPU

NÁVRH GEOMETRIE



VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{Ed, \max, \text{tlak}} = -213,05 \text{ kN}$$

$$F_{Ed, \max, \text{tah}} = 205,13 \text{ kN}$$

Návrh: 2 x M24, 8,8

Tloušťka styčnickového plechu $t = 10\text{mm}$

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA STŘIH

únosnost šroubu ve střihu, smyková rovina prochází závitem: $F_{v, Rd, 1} = 135,6 \text{ kN}$ (tabulky)

$$F_{v, Rd, 2} = 135,6 \cdot 2 = 271,2 \text{ kN}$$

$$271,2 \text{ kN} > 213,05 \text{ kN}$$

→ **2 x M24, 8,8 vyhovuje na střih**

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA OTLAČENÍ

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče: $F_{b, Rd, 1} = 146,8 \text{ kN}$ (tabulky)

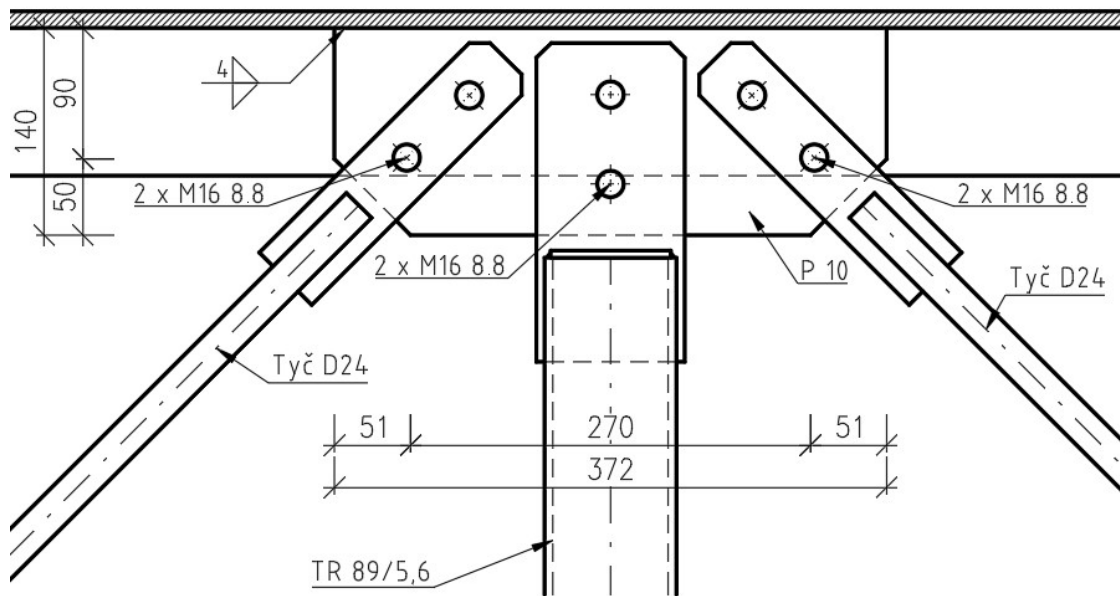
$$F_{b, Rd, 2} = 146,8 \cdot 2 = 293,6 \text{ kN}$$

$$293,6 \text{ kN} > 213,05 \text{ kN}$$

→ **2 x M24, 8,8 vyhovuje na otláčení**

4.5.2 PŘÍPOJ TÁHLA PŘÍČNÉHO STŘEŠNÍHO ZTUŽIDLA K PŘÍČLI

NÁVRH GEOMETRIE



VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{Ed} = 94,77 \text{ kN}$$

Návrh: 2 x M16, 8,8

Tloušťka styčnickového plechu t = 10mm

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA STŘIH

únosnost šroubu ve stříhu, smyková rovina prochází závitem: $F_{v, Rd, 1} = 60,3 \text{ kN}$ (tabulky)

$$F_{v, Rd, 2} = 60,3 \cdot 2 = 120,6 \text{ kN}$$

$$120,6 \text{ kN} > 94,77 \text{ kN}$$

→ **2 x M16, 8,8 vyhovuje na stříh**

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA OTLAČENÍ

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů t = 10mm:

$$F_{b, Rd, 1} = 92,6 \text{ kN} \text{ (tabulky)}$$

$$F_{b, Rd, 2} = 92,6 \cdot 2 = 185,2 \text{ kN}$$

$$185,2 \text{ kN} > 94,77 \text{ kN}$$

→ **2 x M16, 8,8 vyhovuje na otláčení**

4.5.3 PŘÍPOJ SVISLICE PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA K PŘÍČLI

NÁVRH GEOMETRIE

Viz. předchozí kapitola.

VNITŘNÍ SÍLY

$$F_{Ed} = 65,8 \text{ kN}$$

Návrh: 2 x M16, 8,8**Tloušťka styčnickového plechu $t = 10\text{mm}$** **POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA STŘIH**

únosnost šroubu ve střihu, smyková rovina prochází závitem: $F_{v, Rd, 1} = 60,3 \text{ kN}$ (tabulky)

$$F_{v, Rd, 2} = 60,3 \cdot 2 = 120,6 \text{ kN}$$

$$120,6 \text{ kN} > 65,8 \text{ kN}$$

→ **2 x M16, 8,8 vyhovuje na střih**

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA OTLAČENÍ

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů $t = 10\text{mm}$:

$$F_{b, Rd, 1} = 92,6 \text{ kN (tabulky)}$$

$$F_{b, Rd, 2} = 92,6 \cdot 2 = 185,2 \text{ kN}$$

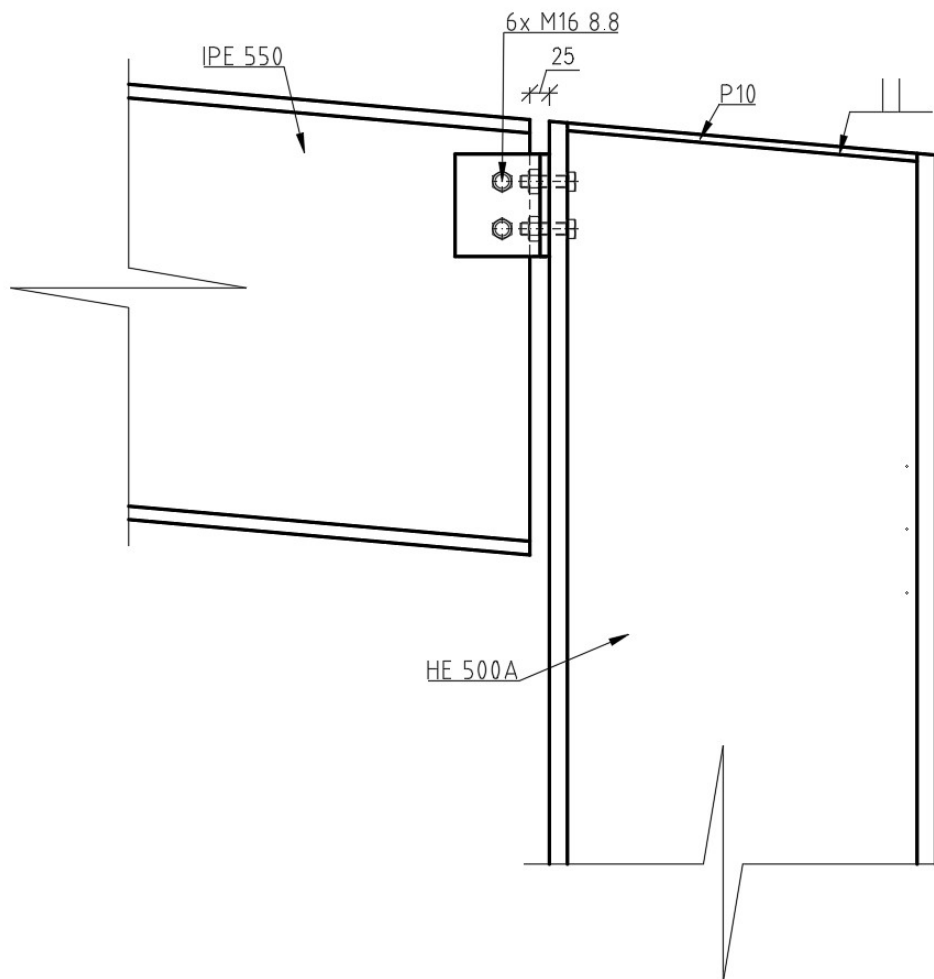
$$185,2 \text{ kN} > 65,8 \text{ kN}$$

→ **2 x M16, 8,8 vyhovuje na otláčení**

4.5.4 KLOUBOVÝ PŘÍPOJ PŘÍČLE KE SLOUPU

Přípoj bude proveden pomocí příložek z úhelníků L 450x120x12mm

NÁVRH GEOMETRIE



VNITŘNÍ SÍLY

$$V_z = 66,67 \text{ kN (KZS 3)}$$

$$N_{\text{tah}} = 23,5 \text{ kN (KZS 11)}$$

$$N_{\text{Ed}} = 23,5 + 66,67 \cdot 0,06 = 27,5 \text{ kN}$$

Návrh: 2 x M16, 8,8

Tloušťka jedné příložky t=12mm

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA STŘIH

únosnost šroubu ve stříhu, smyková rovina prochází závitem: $F_{v, Rd, 1} = 60,3 \text{ kN (tabulky)}$

$$\rightarrow \text{dvojstřížný šroub} \rightarrow F_{v, Rd, 1} = 60,3 \cdot 2 = 120,6 \text{ kN}$$

$$F_{v, Rd, 2} = 120,6 \cdot 2 = 241,2 \text{ kN}$$

$$241,2 \text{ kN} > 66,67 \text{ kN}$$

→ 2 x M16, 8,8 vyhovuje na stříh

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA OTLAČENÍ

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů $t = 10 \text{ mm}$:

$$F_{b, Rd, 1} = 92,6 \text{ kN (tabulky)}$$

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů $t = 11,1 \text{ mm}$:

$$F_{b, Rd, 1} = 92,6 \text{ kN} \cdot (11,1/10) = 102,8 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd, 2} = 102,8 \cdot 2 = 205,6 \text{ kN}$$

$$205,6 \text{ kN} > 66,67 \text{ kN}$$

→ **2 x M16, 8,8 vyhovuje na otláčení**

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA TAH

únosnost šroubu v tahu: $F_{t, Rd, 1} = 90,4 \text{ kN (tabulky)}$

$$F_{t, Rd, 4} = 90,4 \cdot 4 = 361,7 \text{ kN}$$

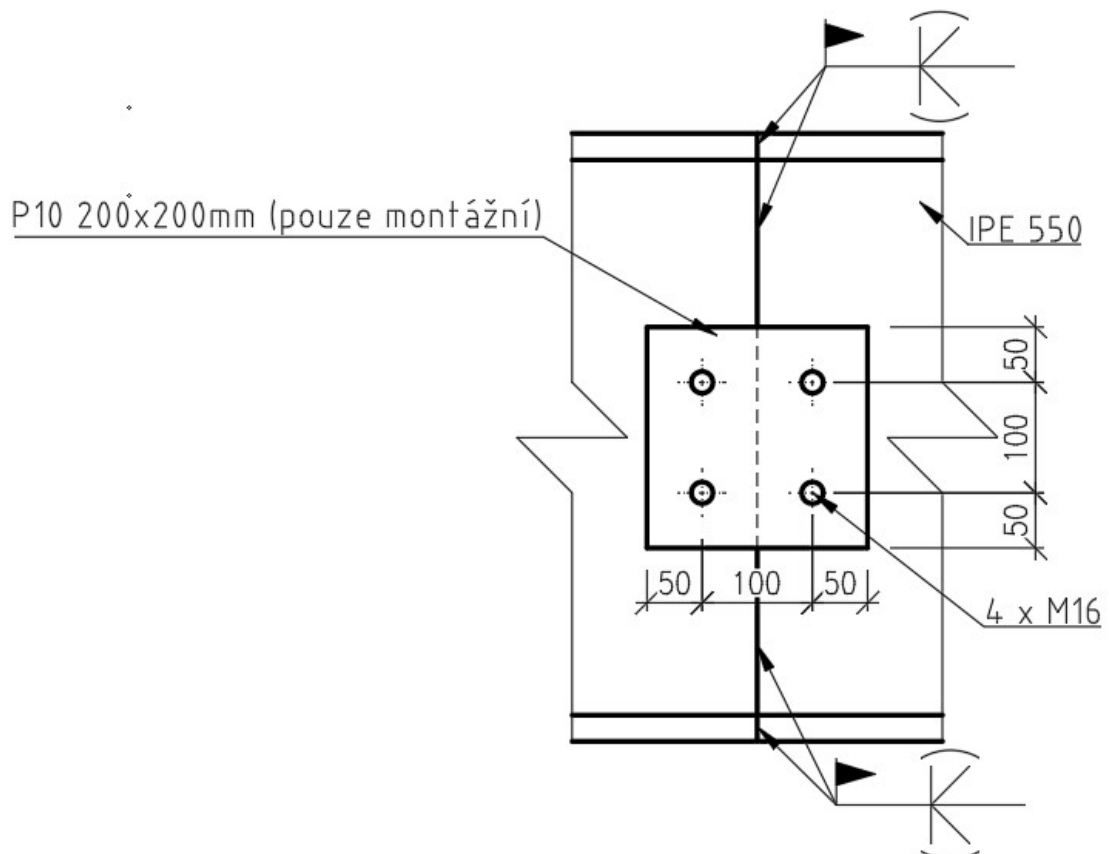
$$361,7 \text{ kN} > 27,5 \text{ kN}$$

→ **4 x M16, 8,8 vyhovuje na tah**

4.5.5 MONTÁŽNÍ PŘÍPOJ PŘÍČLE

Jeden montážní přípoj příčle bude umístěn mezi osami A a B v místě hřebene, druhý bude umístěn mezi osami B a C, v 1/3 rozpětí. Přípoj bude proveden jako tupý svar s provařeným kořenem – má stejnou únosnost jako samotný průřez, takže není třeba zvlášť posuzovat. Příločky jsou pouze montážní a po provedení svaru budou odstraněny.

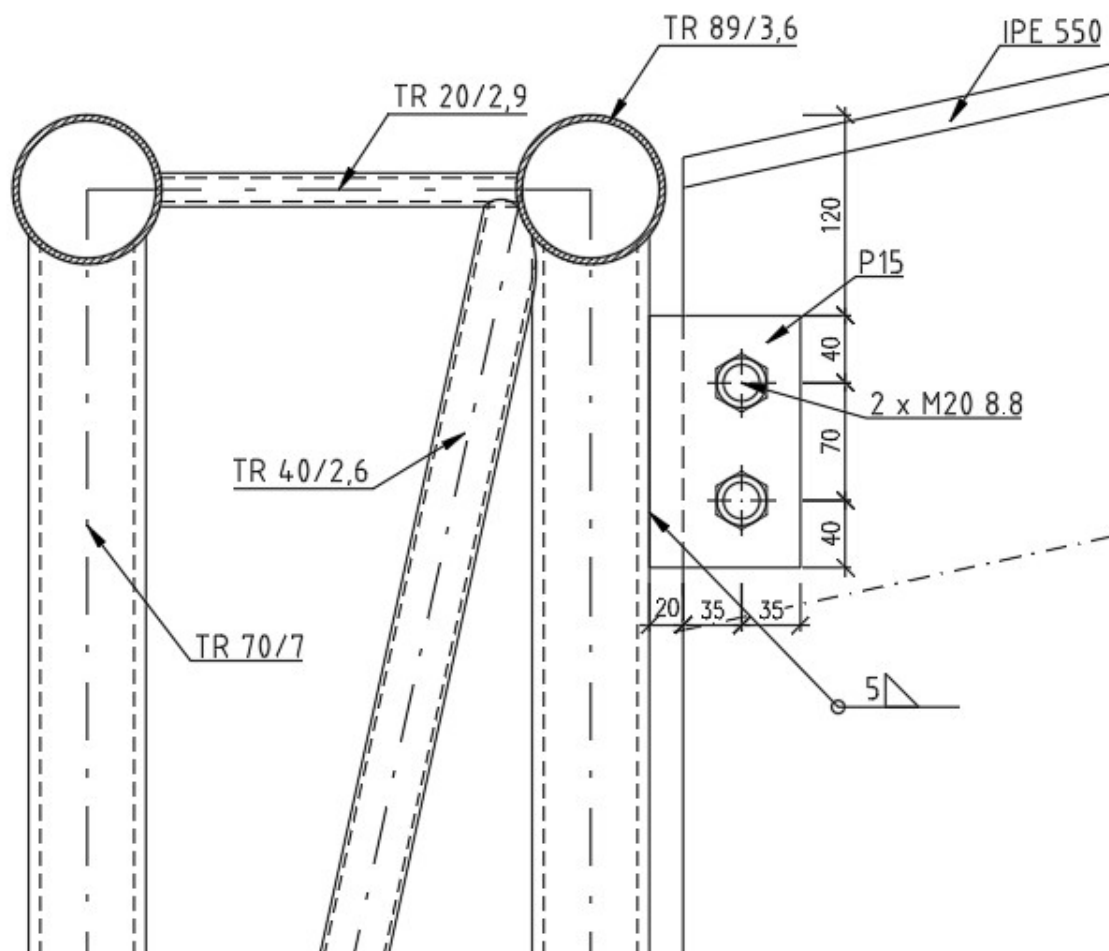
NÁVRH GEOMETRIE



4.5.6 KLOUBOVÝ PŘÍPOJ PŘÍČLE NA PŘÍHRADOVÝ PRŮVLAK NAD VRATY

Přípoj bude navržen šroubový s jednotřížnými šrouby pomocí přivařené konzolky na svislici příhradového průvlaku.

NÁVRH GEOMETRIE



VNITŘNÍ SÍLY

$$V_z = 131,84 \text{ kN}$$

$$N_x = 87,65 \text{ kN}$$

Návrh: 2 x M20, 8,8

Tloušťka plechu konzolky t=15mm

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA STŘIH

únosnost jednotřížného šroubu ve stříhu, smyková rovina prochází závitem: $F_{v, Rd, 1} = 94,1$ kN (tabulky)

$$F_{v, Rd, 2} = 94,1 \cdot 2 = 188,2 \text{ kN}$$

$$188,2 \text{ kN} > 131,84 \text{ kN}$$

→ **2 x M20, 8,8 vyhovuje na stříh**

POSOUZENÍ PŘÍPOJE NA OTLAČENÍ

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů (stojina IPE 550)
 $t = 11,1 \text{ mm}$:

$$F_{b, Rd, 1} = 104,8 \text{ kN (tabulky)}$$

únosnost šroubu v otláčení, běžné rozteče, tloušťka spojovaných materiálů $t = 11,1 \text{ mm}$:

$$F_{b, Rd, 1} = 104,8 \text{ kN} \cdot (11,1/10) = 116,3 \text{ kN}$$

$$F_{b, Rd, 2} = 116,3 \cdot 2 = 232,6 \text{ kN}$$

$$232,6 \text{ kN} > 131,84 \text{ kN}$$

→ **2 x M20, 8,8 vyhovuje na otláčení**

POSOUZENÍ PLECHU NA SMYK

$$V_z = 131,84 \text{ kN}$$

$$A_{vz} = 15 \cdot (150 - 2 \cdot 22) = 1650 \text{ mm}^2$$

$$\frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \mu_{M0}} = \frac{1650 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1} = 338,18 \text{ kN} > 131,84 \text{ kN}$$

→ **Plech vyhovuje na smyk**

POSOUZENÍ PLECHU NA OHYB

$$M_{Ed} = 131,84 \cdot 0,055 = 7,25 \text{ kNm}$$

$$M_{el, Rd} = W_{el} \cdot f_{yd} = \frac{1}{6} \cdot 15 \cdot 150^2 \cdot 355 = 19,97 \text{ kNm} > 7,25 \text{ kNm}$$

→ **Plech vyhovuje na ohyb**

NÁVRH SVARU

Návrh: Koutový Svar $a_w = 5 \text{ mm}$, $l_w = 150 \text{ mm}$

Zatížení rovnoběžné s osou svaru

$$F_1 = 131,84 \text{ kN}$$

$$\tau_{II} = \frac{F}{a_w \cdot l_w} = \frac{131840}{2 \cdot 5 \cdot 150} = 87,9 \text{ MPa}$$

Zatížení kolmé k ose svaru

Od normálové síly:

$$F_1 = 87,65 \text{ kN}$$

$$\tau_{\perp 1} = \sigma_{\perp 1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F}{a_w \cdot l_w} = \frac{87650}{\sqrt{2} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 150} = 41,3 \text{ MPa}$$

Od momentu:

$$M_{Ed} = 7,25 \text{ kNm}$$

$$\sigma_w = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{7,25 \cdot 10^6}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 5 \cdot 150^2} = 193,33 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp 2} = \sigma_{\perp 2} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{193,33}{\sqrt{2}} = 136,7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 41,3 + 136,7 = 178 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{II}^2)} = 387,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{470}{0,9 \cdot 1,25} = 417,8 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 178 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{470}{1,25} = 376 \text{ MPa}$$

→ **Oboustranný koutový Svar $a_w=5 \text{ mm}$, $l_w = 150 \text{ mm}$, vyhovuje**

ZÁVĚR

Vnitřní síly a deformace potřebné pro posouzení byly vypočteny v programu SCIA engineer 16.0. Modelem byl 2D rám pro hlavní rámovou vazbu, 2D příhradové konstrukce pro příčná a podélná ztužidla a 3D příhradová konstrukce pro průvlak nad vraty. Jednotlivé prvky byly posouzeny z hlediska MSÚ a MSP dle platných norem. Výkresová dokumentace je součástí přílohy bakalářské práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

NORMY

- [1] ČSN EN 1991-1-1 - Eurokód 1 Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [2] ČSN EN 1991-1-1- Eurokód 1 Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem
- [3] ČSN EN 1991-1-1 - Eurokód 1 Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem
- [4] ČSN EN 1993-1-1 - Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [5] ČSN EN 1993-1-8 - Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků

LITERATURA

- [6] Vraný T.: Ocelové konstrukce 20, Projekt, haly, vydalo České vysoké učení technické v Praze, 2003
- [7] Sokol Z., Wald F.: Ocelové konstrukce, Tabulky, vydalo České vysoké učení technické v Praze, 2013
- [8] Studnička J.: Ocelové konstrukce, Normy, vydalo České učení technické v Praze, 2014
- [9] Hilti: Katalog pro projektanty 2016/2017
- [10] Jandera M., Eliášová M., Vraný T.: Ocelové konstrukce 01 – cvičení, vydalo České učení technické v Praze, 2015

INTERNETOVÉ STRÁNKY

- [11] www.kingspan.com – stránky výrobce sendvičových izolačních panelů
- [12] www.kovprof.cz – stránky výrobce tenkostěnných profilů
- [13] www.ferona.cz – stránky velkoobchodu s hutním materiálem
- [14] www.snehovamapa.cz - mapa zatížení sněhem na zemi
- [15] Macháček J.: <http://people.fsv.cvut.cz/~machacek/>, Přednášky NNK, OK01

POUŽITÉ PROGRAMY

- SCIA Engineer 16.0 – studentské verze
- AutoCAD Mechanical 2017 – studentské verze
- Sada Microsoft Office 2016

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Půdorys.....	3
Obrázek 2: Příčný řez.....	3
Obrázek 3: Určení součinitele expozice.....	5
Obrázek 4: Závislost dynamického tlaku na výšce.....	5
Obrázek 5: Příčný vítr, svislé stěny, rozložení oblastí.....	6
Obrázek 6: Podélný vítr, svislé stěny, rozložení oblastí.....	7
Obrázek 7: Příčný vítr, sedlová střecha, rozložení oblastí.....	8
Obrázek 8: Podélný vítr, sedlová střecha, rozložení oblastí.....	9
Obrázek 9: Zatěžovací šířka Z vaznice.....	12
Obrázek 10: Normálová síla „ N “ na prvcích od kombinace KZS 1.....	21
Obrázek 11: Posouvající síla „ V_z “ na prvcích od kombinace KZS 1.....	21
Obrázek 12: Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 1.....	21
Obrázek 13: Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 26.....	22
Obrázek 14: Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 2.....	22
Obrázek 15: Ohybový moment „ M_y “ na prvcích od kombinace KZS 6.....	22
Obrázek 16: Vodorovný posun „ δ_x “ na prvcích od kombinace KZS 5.....	23
Obrázek 17: Svislý průhyb „ δ_z “ na prvcích od kombinace KZS 1.....	23
Obrázek 18: Posun styčníků od KZS 1.....	25
Obrázek 19: Průběh momentu v náběhu.....	32
Obrázek 20: Posuzovaný průřez uprostřed náběhu.....	34
Obrázek 21: Schéma patky sloupu.....	48
Obrázek 22: Schéma smykové zarážky.....	49
Obrázek 23: Kotevní šrouby se zabetonovanou kotevní hlavou.....	52
Obrázek 24: Průvlak nad vraty – statické schéma, zatížení, axonometrie.....	54
Obrázek 25: Normálová síla – horní pás.....	55
Obrázek 26: Normálová síla – spodní pás	55
Obrázek 27: Normálová síla – diagonály.....	55
Obrázek 28: Normálová síla – svislice.....	55
Obrázek 29: Normálová síla – horní/spodní diagonály	56

Obrázek 30: Normálová síla – horní/spodní svislice	56
Obrázek 31: Normálová síla – vnitřní diagonály.....	57
Obrázek 32: svislý posun „ δ_z “ na prvcích	58
Obrázek 33: Schéma zatížení štítových sloupků	63
Obrázek 34: Statické schéma příčného střešního ztužidla	64
Obrázek 35: Reakce příčného střešního ztužidla	64
Obrázek 36: Vnitřní síly ve ztužidle	64
Obrázek 37: Vnitřní síly ve spodním a horním pásu (rámová příčle).....	65
Obrázek 38: Statické schéma hlavního podélného ztužidla	68
Obrázek 39: Normálová síla v podélném ztužidle	69
Obrázek 40: Reakce od podélného ztužidla	69

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Stálé zatížení.....	10
Tabulka 2: Maximální tlak	12
Tabulka 3: Maximální sání (podélné).....	10
Tabulka 4: Maximální sání (příčné).....	13
Tabulka 5: Tabulka výrobce pro návrh Z vaznic „Kovové profily“.....	13
Tabulka 6: Působící síly od podélného větru 1.....	15
Tabulka 7: Působící síly od příčného větru 1.....	15
Tabulka 8: Působící síly od příčného větru 2.....	16
Tabulka 9: Působící síly od vlastní tíhy	18
Tabulka 10: Maximální vnitřní síly na jednotlivých prvcích	20
Tabulka 11: Únosnost kotevních šroubů Hilti.....	52
Tabulka 12: Únosnost kotevních šroubů se zabetonovanou kotevní hlavou	53
Tabulka 13: Posouzení jednotlivých prvků příhradového nosníku	57
Tabulka 14: Zatížení štítových stěn	63
Tabulka 15: Liniové zatížení na sloupky	63
Tabulka 16: Reakce do příčného střešního ztužidla.....	63