

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU

Vypracoval: **EVA MATĚJKOVÁ**

Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Akademický rok: 2017/2018



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Matějková	Jméno: Eva	Osobní číslo: 423916
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Ocelová konstrukce autosalonu	
Název bakalářské práce anglicky: Steel structure of a car showroom	
Pokyny pro vypracování: Návrh nosné konstrukce výstavní místnosti, konkrétně vybrané vazby, jejích hlavních prvků a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohled, navržené detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Michal Jandera	
Datum zadání bakalářské práce: 20.2.2018	Termín odevzdání bakalářské práce: 27.5.2018 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------



ČVUT V PRAZE – FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a norem uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Praze dne 20.5.2018

Eva Matějková



PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Michalovi Janderovi, Ph.D. za věnovaný čas, cenné rady a věcné připomínky, ochotu a trpělivost.



ANOTACE

Cílem této práce je návrh a posouzení nosné ocelové konstrukce rámové haly a vytvoření výkresové dokumentace. Posouzení ocelové konstrukce je provedeno v souladu s platnými normami ČSN EN. Práce obsahuje vlastní statický výpočet, kde byla na základě zjištěných vnitřních sil z programu Scia Engineer navržena hlavní rámová vazba, štítová vazba, ztužující prvky a stropní konstrukce mezipatra. Součástí práce je výkres dispozice a dva vybrané detaily.

KLÍČOVÁ SLOVA

autosalon, ocelová konstrukce, rámová hala, štítová vazba

ABSTRACT

The main goal of this bachelor thesis is to design a load bearing steel structure of a frame hall and to create drawing documentation. The design of the steel structure is carried out in accordance with the European standards. The work contains calculation, where the main portal frame, the gable wall, the bracing elements and the mezzanine structure were designed based on resulting internal forces from Scia Engineer software. The thesis includes a layout drawings and two selected details.

KEYWORDS

showroom, steel structure, portal frame, gable wall



HLAVNÍ ČÁSTI

1. Technická zpráva
2. Statický výpočet
3. Výkresy
4. Přílohy

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU
TECHNICKÁ ZPRÁVA

1. Základní charakteristika objektu

1.1 Identifikační údaje

Název projektu:	Ocelová konstrukce autosalonu Škoda
Umístění stavby:	Česká Republika
Město:	České Budějovice
Projektant:	Eva Matějková

1.2 Architektonické řešení

Řešená budova je čtvercového půdorysu o rozměrech 24 x 24 metrů. Základní hmotu tvoří šedý kvádr, na který se upevní loga společnosti. Čelní fasáda je z převážné části prosklená. Vnitřní uspořádání umožňuje využití celých 345 m² plochy showroomu.

1.3 Dispoziční řešení

Hlavní prostor haly tvoří showroom, který je otevřen před dvě podlaží a nabízí velkorysý prostor pro prezentaci produktů. Součástí hlavního prostoru jsou kanceláře a hygienické zázemí s kuchyňkou. Po hlavním schodišti lze vystoupit do druhého podlaží s ochozem, kde se nacházejí zasedací místnosti. V zadní části haly je zázemí pro příjem a výdej vozů, které je přímo propojeno s dílnou, jejíž návrh není předmětem tohoto projektu.

2. Konstrukční řešení

Objekt je založen na základových patkách, základová spára se nachází 0,84 metrů pod terénem. Hala je rámová, nosný systém mezipatra tvoří skelet v kombinaci s průvlaky a stropnicemi.

Hlavní vazby na rozpon 24 metrů jsou od sebe vzdáleny 6 metrů a sloup i příčel jsou navrženy z profilu IPE 550. Štítová vazba je navržena z profilu HEA 160 a štítové sloupky ve vzdálenosti 6 metrů z profilu IPE 240.

Strop mezipatra je navržen z průvlaků IPE 330 a U 240, přičemž profil IPE je použit na dva nejvíce zatížené průvlaky. Na průvlaky jsou kloubově připojeny stropnice z profilu IPE 220 a celé mezipatro podpírají sloupky HEA 140 s celkovou výškou 3,5 metru. Podlahu tvoří nespřažená betonová deska a trapézový plech TR 40/183/1,0.

Každý navržený sloup je jeden montážní celek, patky jsou kloubové a jsou kotvené do betonu pomocí lepených rozpěrných kotev bez čistění od firmy Hilti. Pro přenesení vodorovných sil je navržena smyková zarážka HEA 100.

Střeška je nepochozí, sedlová o sklonu 5 % s atikou po obvodu. Střešní plášť je navržen z panelů Kingspan KS1000 RW 100 a je podepírán vaznicemi Z 270/3,0 SAB. Jako obvodový plášť jsou použity stěnové panely KS1000 AWP, které jsou ke konstrukci připevněny pomocí pažníků C 20/60/120/60/20 po 2 metrech.

Ztužení objektu je zajištěno soustavou ztužidel v podélném a příčném směru a příčnými stropními ztužidly ve střešní rovině.

3. Materiály

Ocel:	S355JR – stropní nosníky, sloupky, ztužidla S350GD – vaznice S320GD – trapézové plechy, C-profil
Šrouby:	8.8
Beton:	C16/20; XC2; Cl 0,20 – základy C25/30; XC2; Cl 0,20 – stropní deska

4. Zatížení

Pro stanovení zatížení byla uvažována sněhová oblast II a větrná oblast II s kategorií terénu III. Užité zatížení působící na ocelobetonový strop bylo stanoveno pro kategorii B – kancelářské prostory 2,5 kN/m².

5. Požární bezpečnost

Návrh požárně bezpečnostního řešení není předmětem této bakalářské práce a je ho třeba určit podrobným výpočtem. Požární odolnost konstrukce je vždy minimálně R 30.

6. Protikorozní opatření

Konstrukce je vystavena působení prostředí kategorie C1 (tj. vytápěné budovy s čistým ovzduším dle EN ISO 12944-2) a nevyžaduje protikorozní ochranu. Tenkostěnné profily (trapézový plech, C-profily, vaznice), šrouby a kotevní prvky jsou pozinkované. Z estetického hlediska navrhuji konstrukci opatřit nátěrem.

7. Výroba a montáž

Třída provedení konstrukce EXC2 byla stanovena na základě zařazení s uvážením třídy následků CC2 (tj. střední následky s ohledem na ztráty na lidských životů nebo značné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí) a kategorie použitelnosti SC1 (tj. konstrukce a dílce navržené pouze na kvazistatické zatížení). Výrobní kategorie konstrukce je PC2.

Montáž ocelových konstrukcí bude provedena za pomoci mobilního jeřábu. Nejprve se smontuje primární nosná konstrukce – hlavní vazba, která se zabezpečí ztužujícími prvky. Poté se pomocí šroubů připevní sekundární nosná konstrukce (střešní vaznice, paždíky) a na ně střešní a obvodový plášť.

Průvlaky i stropnice stropní konstrukce mezipatra jsou během montáže podepřeny.

8. Použité normy:

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí

ČSN EN 1991 Zatížení stavebních konstrukcí

ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí

ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

ČSN EN 10027 Systémy označování ocelí

9. Seznam výkresů

Výkres č. 1 – Dispozice	A1	1:100
Výkres č. 2 – Detail 1 (patka sloupu se ztužidlem)	A4	1:10
Výkres č. 3 – Detail 2 (rámový roh)	A3	1:10

10. Seznam příloh

Příloha č. 1 – Technické listy a tabulky únosnosti

Příloha č. 2 – Scia Engineer (výběr statického schématu)

Příloha č. 3 – Scia Engineer (vnitřní síly)

Příloha č. 4 – Stanovení kritického momentu pomocí programu LTBeamN

Příloha č. 5 – Návrh kotev

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU
STATICKÝ VÝPOČET

OBSAH

1. Popis objektu	04
2. Zatížení	05
2.1 Stálé	05
2.2 Proměnné	05
3. Střešní plášť	07
3.1 Varianta A	07
3.1.1 Návrh střešního panelu	07
3.1.2 Návrh vaznice	09
3.2 Varianta B	11
3.2.1 Návrh sendvičového panelu	11
3.2.2 Návrh skládaného střešního pláště	12
3.3 Výběr střešního pláště	13
4. Obvodový plášť	13
5. Hlavní vazba	14
5.1 Návrh příčné vazby	14
5.1.1 Zatížení	14
5.1.2 Statické schéma	15
5.1.3 Výběr statického schématu	16
5.1.4 Rámové imperfekce	17
5.2 Posouzení prvků příčné vazby	18
5.2.1 Výpočet vnitřních sil	18
5.2.2 Ověření MSP	18
5.2.3 Posouzení sloupu	18
5.2.4 Posouzení příčle	23
6. Štítová vazba	27
6.1 Návrh prvků štítové vazby	27
6.1.1 Zatížení	27
6.1.2 Statické schéma	28
6.1.3 Rámové imperfekce	28
6.2 Posouzení prvků štítové vazby	29
6.2.1 Výpočet vnitřních sil	29
6.2.2 Ověření MSP	29
6.2.3 Posouzení sloupu	29
6.2.4 Posouzení příčle	34
6.2.5 Posouzení štítových sloupků	38
7. Návrh a posouzení prvků mezipatra	42
7.1 Zatížení	42
7.2 Stropní konstrukce	43
7.2.1 Trapézový plech	43
7.2.2 Stropnice	44
7.2.3 Průvlak	45
7.2.4 Průvlak ve štítové stěně	46
7.3 Sloup	47

8. Návrh ztužidel	48
8.1 Ztužidla v příčném směru	48
8.2 Návrh vodorovných profilů ve štítové stěně	49
8.3 Ztužidla v podélném směru	50
8.3.1 Zatížení ztužidel větrem	50
8.3.2 Zatížení ztužidel rámovými imperfekcemi	50
8.3.3 Ztužidlo 1	51
8.3.3.1 Diagonály	51
8.3.3.2 Vodorovné prvky ztužidla	51
8.3.4 Ztužidlo 2	52
8.3.4.1 Diagonály	52
8.3.3.2 Vodorovný prvek ztužidla	52
8.4 Příčné ztužidlo ve střešní rovině	53
8.4.1 Zatížení větrem	53
8.4.2 Diagonála	54
8.4.3 Svislice ztužidla	54
9. Rámový roh	55
9.1 Návrh svarů	55
9.2 Únosnost dílčích komponent	55
9.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu	56
9.3.1 Řada šroubů pod taženou pásnicí	56
9.3.2 Vnitřní řada šroubů	58
9.3.3 Spodní řada šroubů – smyková únosnost	59
9.4 Únosnost základních komponent	59
9.5 Rozdělení sil a momentová únosnost	60
9.6 Řešení	61
9.6.1 Ověření únosnosti základních komponent	61
9.6.2 Rozdělení sil a momentová únosnost	61
10. Patka sloupu ztužidla	62
10.1 Návrh betonového základu	62
10.2 Patka sloupu ztužidla	63
10.2.1 Únosnost v tlaku	63
10.2.2 Kotevní šrouby	63
10.2.3 Únosnost ve smyku	64
10.3 Návrh přípoje diagonály	66
10.3.1 Návrh šroubů M16 8.8	66
10.3.2 Návrh a posouzení svarů	66
11. Další vybrané detaily	68
11.1 Detail napojení ztužidel hlavní vazby v místě rámového rohu	68
11.1.1 Ověření návrhu šroubů M16 8.8	68
11.1.2 Návrh a posouzení svarů	69

2. ZATÍŽENÍ

2.1 Stálé

Střešní plášť

Zatížení střešního pláště stanoveno dle navrženého řešení – viz. dále.

Stěna

Zatížení stěnového pláště stanoveno dle navrženého řešení – viz. dále.

2.2 Proměnné

Zatížení sněhem

Lokalita: České Budějovice

Rozměry budovy: $d = 24\text{ m}$, $b = 24\text{ m}$, $h = 8\text{ m}$

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

Plochá střecha

Tvarový součinitel zatížení sněhem ($\alpha = 5\% \approx 3^\circ$) $\mu_i = 0,8$

Součinitel expozice $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = \boxed{0,8\text{ kN/m}^2}$$

Oblast s návějí

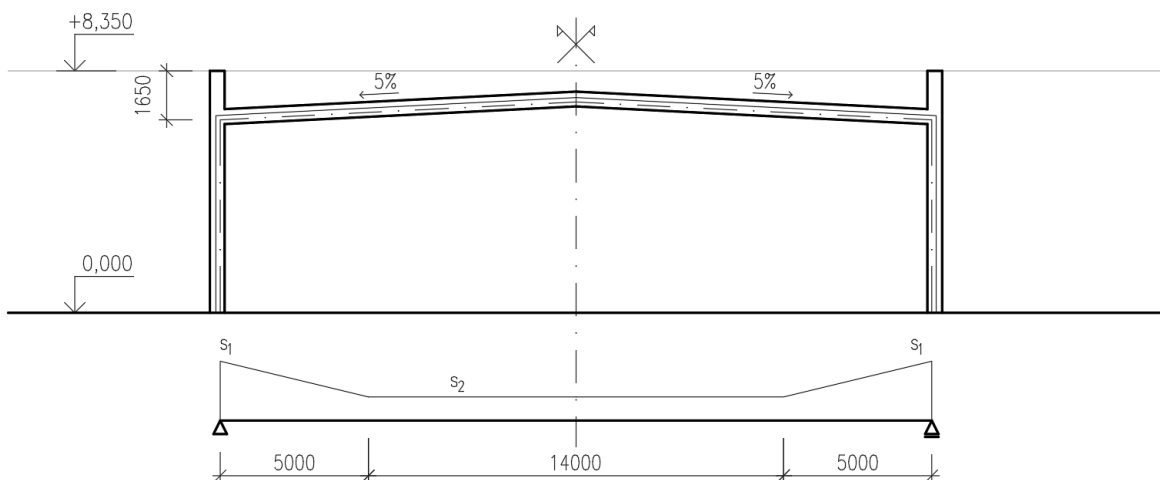
$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = \frac{\gamma * h}{s_k} = \frac{2 * 1,65}{1,0} = 3,3 \rightarrow \mu_2 \in (0,8; 2,0) \rightarrow \mu_2 = 2,0$$

$$l_s = 2 * h = 2 * 1,65 = 3,3\text{ m} \rightarrow l_s \in (5; 15) \rightarrow l_s = 5\text{ m}$$

$$s_1 = \boxed{0,8\text{ kN/m}^2}$$

$$s_2 = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 2,0 * 1,0 * 1,0 * 1,0 = \boxed{2,0\text{ kN/m}^2}$$



Zatížení větrem

Lokalita: České Budějovice
 Rozměry budovy: $d = 24\text{ m}$, $b = 24\text{ m}$, $h = 8\text{ m}$
 Větrná oblast: II $\rightarrow v_{b,0} = 25\text{ m/s}$
 Kategorie terénu III

Základní rychlost větru

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

Základní dynamický tlak větru

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 = \frac{1}{2} * 1,25 * 25^2 = 390,625\text{ Pa} = 0,391\text{ kPa}$$

Maximální dynamický tlak

$$q_p(z) = c_e(z) * q_b$$

Tlak větru na povrchy

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

Příčný/podélný vítr

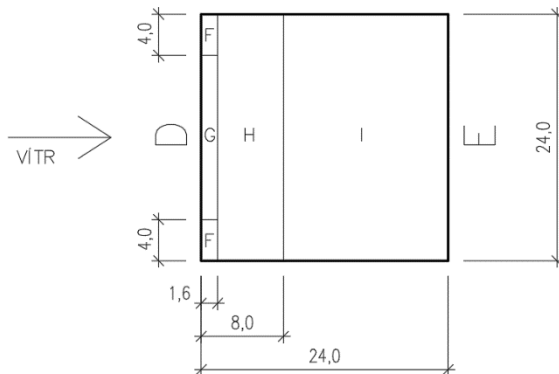
$d = b$, $h < b \rightarrow$ celá výška budovy je v jednom konstantním tlakovém pásmu

$$z = 8\text{ m} \xrightarrow{\text{graf}} c_e = 1,5$$

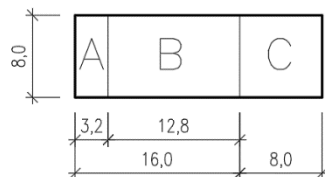
$$q_p(z) = c_e(z) * q_b = 1,5 * 0,391 = 0,587\text{ kPa}$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(24; 16) = 16,0\text{ m}$$

$$h/d = 8/24 = 0,333$$



Oblast	$c_{pe,10}$	$q_p(z)$	w_e [kPa]
A	- 1,2	0,587	- 0,704
B	- 0,8		- 0,470
C	- 0,5		- 0,294
D	+ 0,8		+ 0,470
E	- 0,5		- 0,294
F	- 1,2		- 0,704
G	- 0,8		- 0,470
H	- 0,7		- 0,411
I	$\pm 0,2$		$\pm 0,117$



3. STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Střešní plášť bude navržen a posouzen na dvě varianty řešení – vaznicový systém se sendvičovými střešními panely a bezvaznicový ve variantě se sendvičovým střešním panelem nebo skládaným střešním pláštěm.

3.1 Varianta A – sendvičové panely + vaznice

3.1.1 Návrh střešního panelu

Schéma

Spojitý nosník o třech polích na rozpon 2 metry.



Příloha 1.1

	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
<p><u>Střešní sendvičový panel KS1000 RW 100</u> d = 100 mm tl. oceli 0,5/0,4 mm D = 135 mm hmotnost 12,03 kg/m² U = 0,180 W/m²K REW 30, REI 20, REI 30</p>	0,120	1,35	0,162
Celkem			0,162

Zatížení

KZS1: Stálé + sníh + vítr (tlak na střechu + vnitřní sání)

$$q_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \psi * (w_{e,I} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$$g_k = 0,120 \text{ kN/m}^2$$

$s = 1,75 \text{ kN/m}^2$ (průměrná hodnota, oblast s návějí ve vzdálenost 1 metr za atikou)

$$w_{e,I} = 0,117 \text{ kPa}; \psi = 0,6; C_{pi} = -0,3; q_p = 0,587$$

$$q_{Ed} = 0,120 * 1,35 + 1,75 * 1,5 + 0,6 * (0,117 + 0,3 * 0,587) * 1,5 = \boxed{3,051 \text{ kN/m}^2}$$

KZS2: Minimální stálé + vítr (sání na střeše + vnitřní tlak)

$$q_{Ed} = g_k * 1,0 + (w_{e,max} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$$w_{e,max} = 0,704 \text{ kPa (nejnepříznivější)}$$

$$\psi = 0,6; C_{pi} = 0,2; q_p = 0,587$$

$$q_{Ed} = 0,120 * 1,0 + (-0,704 - 0,2 * 0,587) * 1,5 = \boxed{-1,112 \text{ kN/m}^2}$$

Únosnost

Tíhové zatížení

(interpolace mezi hodnotami pro zatížení 2,00 a 2,25 kN/m² na rozpon 2 m, dle tab. výrobce)

$$q_{Rk} = 2,0 + (2,25 - 2,0) * \frac{2,06 - 2,0}{2,06 - 1,92} = 2,107 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rd} = 2,107 * 1,5 = 3,161 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sáním

(pro zatížení 1,25 kN/m² na rozpon 2 m, dle tab. výrobce)

$$q_{Rk} = 1,11 \approx 1,25 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 3,42 \text{ m}$$

Posouzení

MSÚ

KZS 1 – rozhodující stav

$$q_{Ed} = 3,051 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 3,161 \text{ kN/m}^2$$

KZS 2

$$l = 2 \text{ m} < l_{max} = 3,42 \text{ m}$$

MSP

Pouze zatížení sněhem.

$$\delta_{2,lim} \leq \frac{L}{200}$$

$$q_{Ek} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

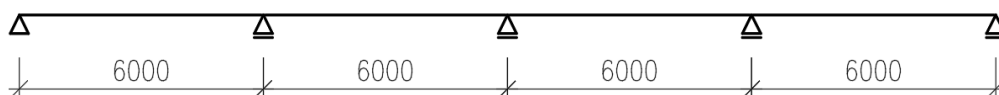
$$l = 2 \text{ m} < l_{max} = 2,23 \text{ m}$$

Střešní panel KS1000 RW vyhoví.

3.1.2 Návrh vaznice

Schéma

Spojitosť zajištěna překrytím sousedních dílců o 600 mm (krajní o 900 mm).



Příloha 1.2

Vaznice Z 270/3,0 SAB

$m = 10,62 \text{ kg/m}$

ocel S350GD

Zatížení

KZS1: Stálé (střešní plášť + vl. tíha vaznice) + sníh + vítr (tlak na střechu + vnitřní sání)

$$q_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \psi * (w_{e,I} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

zatěžovací šířka $l = 1,1 * 2,0 = 2,2 \text{ m}$ (+10% navíc z důvodu uvažování spojitosti nosníku)

$$g_k = 0,120 \text{ kN/m}^2$$

$s = 1,75 \text{ kN/m}^2$ (průměrná hodnota, oblast s návějí ve vzdálenost 1 metr za atikou)

$$w_{e,I} = 0,117 \text{ kPa}; \psi = 0,6; C_{pi} = -0,3; q_p = 0,587$$

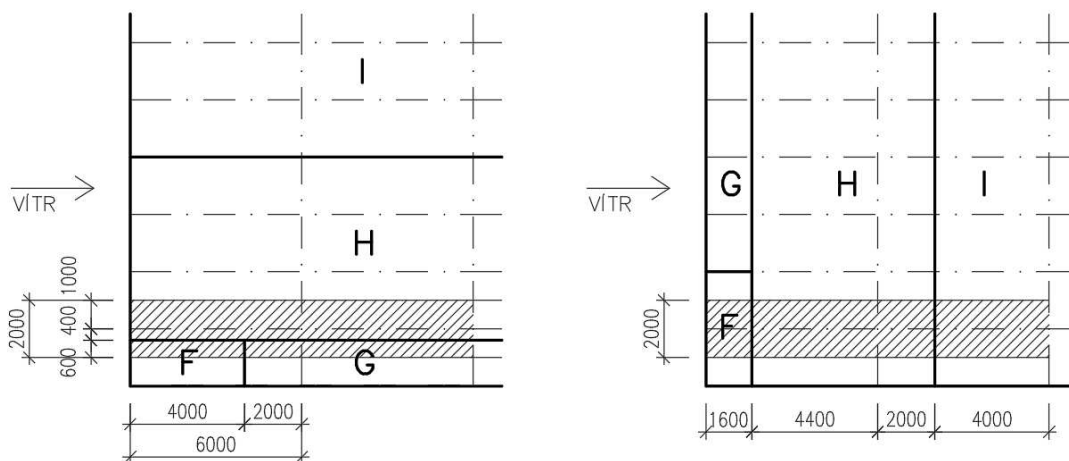
$$q_{Ed} = (0,120 * 2,2 + 0,1) * 1,35 + (1,75 * 2,2) * 1,5 + 0,6 * (0,117 + 0,3 * 0,587) * 2,2 * 1,5$$

$$q_{Ed} = \boxed{6,847 \text{ kN/m}}$$

KZS2: Minimální stálé + vítr (sání + vnitřní tlak)

$$q_{Ed} = g_k * 1,0 + (w_{e,max} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

Vítr



Příčný vítr

- krajní pole

$$w_k = \frac{w_{e,F} * 4,0 * 0,6 + w_{e,G} * 2,0 * 0,6 + w_{e,H} * 6,0 * 1,4}{2,0 * 6,0}$$

$$w_k = \frac{(-0,704 * 2,4) + (-0,470 * 1,2) + (-0,411 * 8,4)}{12} = -0,476 \text{ kN/m}^2$$

- vnitřní pole

$$w_k = \frac{w_{e,G} * 6,0 * 0,6 + w_{e,H} * 6,0 * 1,4}{2,0 * 6,0}$$
$$w_k = \frac{(-0,470 * 3,6) + (-0,411 * 8,4)}{12} = -0,429 \text{ kN/m}^2$$

Podélný vítr

- krajní pole

$$w_k = \frac{w_{e,F} * 2,0 * 1,6 + w_{e,H} * 2,0 * 4,4}{2,0 * 6,0}$$
$$w_k = \frac{(-0,704 * 3,2) + (-0,411 * 8,8)}{12} = -0,489 \text{ kN/m}^2$$

- vnitřní pole

$$w_k = \frac{w_{e,H} * 2,0 * 2,0 + w_{e,I} * 2,0 * 4,0}{2,0 * 6,0}$$
$$w_k = \frac{(-0,411 * 4,0) + (-0,117 * 8,0)}{12} = -0,215 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje podélný vítr v krajním poli $w_{k,max} = -0,489 \text{ kN/m}^2$

$$C_{pi} = 0,2$$

$$q_{Ed} = (0,120 * 2,2 + 0,1) * 1,0 + (-0,489 - 0,2 * 0,587) * 2,2 * 1,5 = \boxed{-1,637 \text{ kN/m}}$$

Únosnost

- tíhové zatížení

$$q_{Rd} = 7,580 \text{ kN/m}^1$$

$$q_{Rk} = 6,720 \text{ kN/m}^5$$

- zatížení sáním

$$q_{Rd} = -5,460 \text{ kN/m}^3$$

Posouzení

MSÚ

KZS 1

$$q_{Ed} = 6,847 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 7,580 \text{ kN/m}$$

KZS 2

$$q_{Ed} = 1,637 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 5,460 \text{ kN/m}$$

MSP

Pouze proměnné zatížení.

$$\delta_{2,lim} \leq \frac{L}{200}$$

$$q_{Ek} = 1,3 * 2,2 + (0,117 + 0,3 * 0,587) * 2,2 = 3,505 \text{ kN/m} < q_{Rk} = 6,720 \text{ kN/m}$$

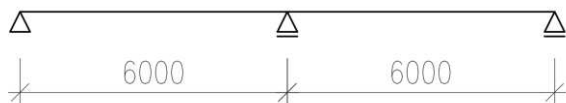
Vaznice Z 270/3,0 S vyhoví.

3.2 Varianta B – bezvaznicový systém

3.2.1 Návrh sendvičového panelu

Schéma

Spojitý nosník o dvou polích na rozpon 6 metrů, podpory tvoří rámová vazba.



Příloha 1.3

	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
Střešní sendvičový panel KS1000 X-DEK XM d = 100 mm tl. oceli 1,1 mm D = 208 mm hmotnost 20,9 kg/m ² U = 0,19 W/m ² K REI 30	0,209	1,35	0,282
Celkem			0,282

Zatížení

KZS1: Stálé + sníh + vítr (tlak na střechu + vnitřní sání)

$$q_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \psi * (w_{e,I} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$s = 1,75 \text{ kN/m}^2$ (průměrná hodnota, oblast s návějí ve vzdálenost 1 metr za atikou)

$$g_k = 0,209 \text{ kN/m}^2, w_{e,I} = 0,117 \text{ kPa}; \psi = 0,6; C_{pi} = -0,3; q_p = 0,587$$

$$q_{Ed} = 0,209 * 1,35 + 1,75 * 1,5 + 0,6 * (0,117 + 0,3 * 0,587) * 1,5 = \boxed{3,171 \text{ kN/m}^2}$$

KZS2: Minimální stálé + vítr (sání na střeše + vnitřní tlak)

$$q_{Ed} = g_k * 1,0 + (w_{e,max} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$w_{e,max} = 0,704 \text{ kPa}$ (nejnepříznivější)

$$\psi = 0,6; C_{pi} = 0,2; q_p = 0,587$$

$$q_{Ed} = 0,209 * 1,0 + (-0,704 - 0,2 * 0,587) * 1,5 = \boxed{-1,023 \text{ kN/m}^2}$$

Únosnost

Tíhové zatížení

$$q_{Rd} = 1,920 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 2,020 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení sáním

$$q_{Rd} = -2,420 \text{ kN/m}^2$$

Posouzení

MSÚ

KZS 1

$$q_{Ed} = 3,171 \text{ kN/m}^2 < 1,920 \text{ kN/m}^2$$

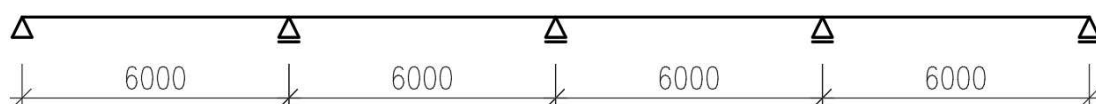
KZS 2

$$q_{Ed} = 1,023 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 2,420 \text{ kN/m}^2$$

Sendvičový panel KS1000 X-DEK nevyhoví.

3.2.2 Návrh skládaného střešního pláště

Schéma



	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
Hydroizolace (fólie na bázi PVC)	0,05		
Tepelná izolace (minerální vlna tl. 200 mm)	0,15		
Vnitřní trapézový plech (odhad)	0,10		
<i>Celkem</i>	0,30	1,35	0,405

Příloha 1.4

TR 150/280/1,25

$$f_y = 320 \text{ MPa}$$

$$m = 0,166 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení

KZS1: Stálé + sníh + vítr (tlak na střechu + vnitřní sání)

$$q_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \psi * (w_{e,I} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$$q_{Ed} = 0,300 * 1,35 + 1,75 * 1,5 + 0,6 * (0,117 + 0,3 * 0,587) * 1,5 = \boxed{3,294 \text{ kN/m}^2}$$

KZS2: Minimální stálé + vítr (sání na střeše + vnitřní tlak)

$$q_{Ed} = g_k * 1,0 + (w_{e,max} + C_{pi} * q_p) * 1,5$$

$$q_{Ed} = 0,300 * 1,0 + (-0,704 - 0,2 * 0,587) * 1,5 = \boxed{-0,932 \text{ kN/m}^2}$$

Únosnost (spojitý nosník o dvou polích)

$$q_{Rd} = 4,090 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 3,990 \text{ kN/m}^2 \text{ pro } \delta_{2,lim} \leq \frac{L}{300}$$

Posouzení

MSÚ

$$q_{Ed} = 3,294 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 4,090 \text{ kN/m}^2$$

MSP

Pouze proměnné zatížení.

$$q_{Ed} = 1,75 + (0,117 + 0,3 * 0,587) = 2,043 \text{ kN/m}^2 < q_{Rk} = 3,990 \text{ kN/m}^2$$

Trapézový plech TR 150/280/1,25 vyhoví.

3.3 Výběr střešního pláště

Střešní panely KS1000 RW + vaznice Z 270/3,0 S

Pro další návrh byla zvolena první varianta střešního pláště. Kombinace sendvičového střešního panelu a vaznic umožňuje rychlejší montáž než v případě skládaného střešního pláště. Výrobce sendvičových panelů poskytuje technické listy a specifikace, již typově vyřešené detaily a doplňující příslušenství, které umožňují variabilní řešení a návrh dle požadovaných kritérií.

4. OBVODOVÝ PLÁŠŤ

Schéma

Stěna výšky 8,35 metru.

Spojité nosník o 3 polích.

Příloha 1.5

	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
<u>Stěnový izolační panel KS1000 AWP</u> d = 100 mm vnější plech tl. 0,60 mm vnitřní plech tl. 0,40 mm hmotnost 12,77 kg/m ² U = 0,18 W/m ² K (jádro Quad Core) EW15 DP3	0,128	1,35	0,173
<i>Celkem</i>			0,173

Zatížení

Tlak na stěnu + vnitřní sání

$$w_{e,D} + C_{pi} * q_p = 0,470 + 0,3 * 0,587 = 0,646 \text{ kN/m}^2$$

Sání + vnitřní tlak

$$w_{e,A} + C_{pi} * q_p = -0,704 - 0,2 * 0,587 = -0,821 \text{ kN/m}^2$$

Únosnost

Tlak

$$q_{Rk} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 5,05 \text{ m}$$

Sání

$$q_{Rk} = 1,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 1,99 \text{ m}$$

Návrh l = 2,0 m

Navrhuji 4 paždíky po 2,0 m.

Návrh profil C 20/60/120/60/20.

5. HLAVNÍ VAZBA

5.1 Návrh příčné vazby

5.1.1 Zatížení

Zatěžovací stavy

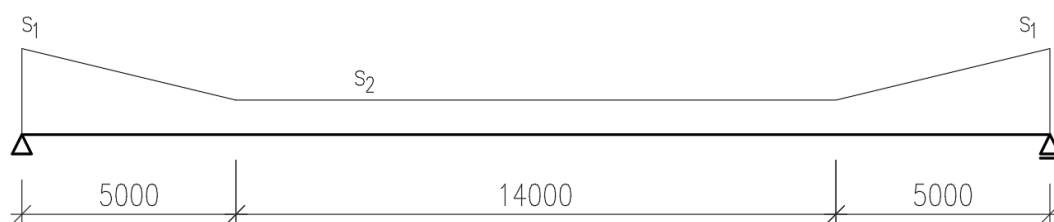
1. Stálé

	g_k [kN/m]
Střešní plášť $0,12 * 6,0 = 0,72$	0,72
Vlastní tíha vaznic $m = 10,62$ kg/m	0,10
Obvodový plášť $0,128 * 6,0 = 0,77$	0,77
Vlastní tíha paždíků + výplň (odhad)	0,15

2. Minimální stálé

	g_k [kN/m]
Střešní plášť $0,12 * 6,0 = 0,72$	0,72
Vlastní tíha vaznice $m = 10,62$ kg/m	0,10
Obvodový plášť $0,128 * 6,0 = 0,77$	0,77
Vlastní tíha paždíků + výplň (odhad)	0,15

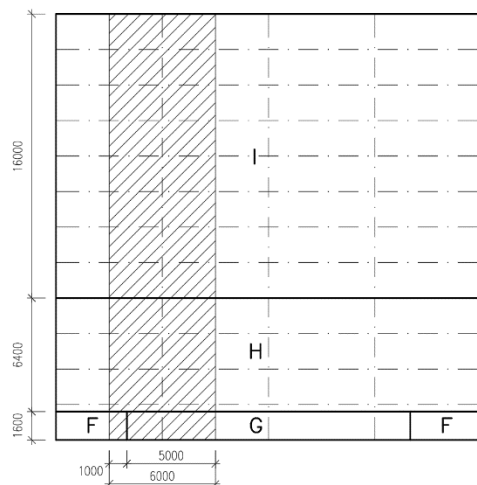
3. Sníh



$$s_1 = 2,0 * 6,0 = 12,0 \text{ kN/m}$$

$$s_2 = 0,8 * 6,0 = 4,8 \text{ kN/m}$$

4. Vitr příčný



$$w_1 = \frac{w_{e,F} * 1,0 + w_{e,G} * 5,0}{6,0} * 6,0$$

$$w_1 = -0,704 * 1,0 + (-0,470 * 5,0)$$

$$w_1 = -3,054 \text{ kN/m}$$

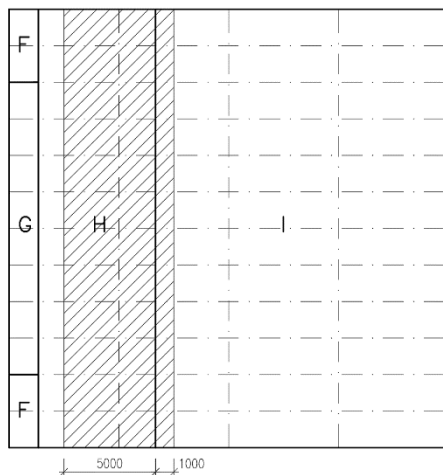
$$w_2 = w_{e,H} * 6,0 = -0,411 * 6,0 = -2,466 \text{ kN/m}$$

$$w_3 = w_{e,I} * 6,0 = -0,117 * 6,0 = -0,702 \text{ kN/m}$$

$$w_{s1} = w_{e,D} * 6,0 = 0,470 * 6 = 2,820 \text{ kN/m}$$

$$w_{s2} = w_{e,E} * 6,0 = -0,294 * 6 = -1,764 \text{ kN/m}$$

5. Vítr podélný



$$w_4 = \frac{w_{e,H} * 5,0 + w_{e,I} * 1,0}{6,0} * 6,0$$

$$w_4 = -0,411 * 5,0 + (-0,117) = -2,172 \text{ kN/m}$$

$$w_{s3} = w_{e,B} * 6,0 = -0,470 * 6 = -2,820 \text{ kN/m}$$

Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1. Stálé + sních

KZS2. Stálé + sních + Ψ_0 vítr příčný

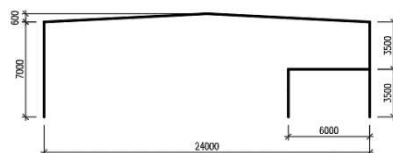
KZS3. Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sních

KZS4. Min. stálé + vítr příčný

KZS5. Min. stálé + vítr podélný

5.1.2 Statické schéma

Pro určení nejprůzračnějšího a ekonomicky nejvýhodnějšího statického schématu bylo posuzováno pět návrhů:



a) + b)



c)



d)



e)



- rám s kloubovými patkami
- rám s kloubovými patkami a s náběhy
- rám s kloubovými patkami a sloupem, podpírajícím rám v $\frac{1}{4}$ rozpětí
- rám s vetknutými patkami a sloupem, podpírajícím rám v $\frac{1}{4}$ rozpětí
- rám s vetknutými patkami

Návrh byl proveden dle obálky zatěžovacích stavů pro MSP při posouzení vodorovného a svislého průhybu na limitní hodnotu a pro MSÚ při ověření maximálního napětí. Porovnání jednotlivých výsledků a výběr vhodného řešení je uveden na další straně.

Pro statické schéma c) a d) byl příčný vítr uvažován působící z jedné i z druhé strany (pro každý ZS zvlášť), pro stanovení nejprůzračnější kombinace.

Kompletní výstup z programu Scia Engineer včetně seznamu použitých kombinací, vykreslení zatěžovacích stavů a mezních hodnot pro jednotlivá statická schémata je uveden v Příloze č. 2.

5.1.3 Výběr statického schématu

Mezní hodnoty průhybu

Svislý průhyb

$$\delta_{max} = \frac{L}{250}$$

$$\delta_{max,1} = \frac{24000}{250} = 96 \text{ mm}, \delta_{max,2} = \frac{18000}{250} = 72 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

Vrchol sloupu bez jeřábové dráhy od zatížení větrem u jednopodlažní budovy.

$$\delta = \frac{h}{300} = \frac{7000}{300} = 23,3 \text{ mm}$$

Srovnání jednotlivých statických schémat

Statické schéma	Použitý profil		Svislý průhyb [mm]	Vodorovný průhyb [mm]	Max napětí [MPa]
		A [mm ²]			
a Kloubové patky	IPE 550	13 440	67,2	17,6	182,6
b Kloubové patky + náběhy	IPE 500	11 550	77,1	18,3	246,9
c Kloubové patky + sloup	IPE 600	15 600	27,9	22,4	83,9
	HEB 200	7808			
d Vetknuté patky + sloup	IPE 450	9 882	41,5	16,7	153,8
	HEB 200	7808			
e Vetknuté patky	IPE 500	11 550	80,5	5,0	227,6

Statické schéma	Výhody a nevýhody jednotlivých řešení
a Kloubové patky	+ menší průhyb a napětí než u vetknuté patky – větší profil příčle než u vetknuté patky
b Kloubové patky + náběhy	+ malý profil – výrobně složitější náběhy + snížení světlé výšky
c Kloubové patky + sloup	+ malé napětí a svislý průhyb – velký profil a přidaný prvek sloupu – omezení dispozice – detail napojení sloupu na příčel
d Vetknuté patky + sloup	+ vyhovuje nejmenší profil z posuzovaných + rezerva u všech posuzovaných hodnot – omezení dispozice – navíc detail napojení sloupu na příčel – konstrukčně složitější a dražší patka + základ
e Vetknuté patky	+ malý profil + malý vodorovný posun – konstrukčně složitější a dražší patka + základ

Rámová hala bude navržena ve variantě a) – kloubové patky na rozpon 24 metrů.

5.1.4 Rámové imperfekce

Součinitel zohledňující počet sloupů v řadě ($m = 2$)

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{2}\right)} = 0,866$$

Součinitel zohledňující výšku rámu ($h = 7,0$ m)

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,0}} = 0,76 \in (2/3; 1)$$

Úhel natočení sloupů:

$$\phi = \phi_0 * \alpha_m * \alpha_h = \frac{1}{200} * 0,866 * 0,76 = 3,291 * 10^{-3}$$

Výpočet ekvivalentních vodorovných sil

$$H_{g,k} = g_k * L * \phi = (0,72 + 0,10) * 24 * 3,291 * 10^{-3} = 0,0648 \text{ kN}$$

$$H_{q,k} = s_k * L * \phi = 6,3 * 24 * 3,291 * 10^{-3} = 0,498 \text{ kN}$$

$$s_k = \frac{2 * 8,4 * 5 + 4,8 * 14}{24} = 6,3 \text{ kN/m ... průměrná hodnota zatížení sněhem na střeše}$$

Stanovení α_{cr} pomocí programu Scia Engineer

Stabilitní kombinace zatěžovacích stavů

S1. Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný + $H_{g,k}$ + $H_{q,k}$

S2. Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh + $H_{g,k}$ + $\Psi_0 H_{q,k}$

Součinitel kritického zatížení

S1. $\alpha_{cr} = 20,590$

S2. $\alpha_{cr} = 38,820$

$$\alpha_{cr} = \frac{N_{cr}}{N_{Ed}} > 10 \text{ ... lze uvažovat výpočet dle teorie I. řádu}$$

5.2 Posouzení prvků příčné vazby

5.2.1 Výpočet vnitřních sil

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů se zavedením ekvivalentních vodorovných sil

2. Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný + $H_{g,k}$ + $H_{q,k}$

3. Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh + $H_{g,k}$ + $\Psi_0 H_{q,k}$

Výpočet proveden v programu Scia Engineer.

Vnitřní síly - PŘÍČEL					
Vnitřní síly			Hodnoty [kN]/[kNm]		
N_{Ed}^L	N_{Ed}^P		-66,62	-66,65	
V_{Ed}^L	V_{Ed}^P		140,28	140,53	
M_{Ed}^L	M_{Ed}^{Vrchol}	M_{Ed}^P	-413,70	293,41	-423,94

Vnitřní síly - SLOUP			
Vnitřní síly		Hodnoty [kN]/[kNm]	
N_{Ed}^L	N_{Ed}^P	-161,86	-164,56
V_{Ed}^L	V_{Ed}^P	-59,10	-66,12
M_{Ed}^L	M_{Ed}^P	-413,70	-423,94

5.2.2 Ověření MSP

Svislý průhyb

$$\delta = 67,2 \text{ mm} < \delta_{max} = \frac{L}{250} = 96 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta = 17,9 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{h}{300} = 23,3 \text{ mm}$$

5.2.3 Posouzení sloupu

Uvažované vnitřní síly

$$N_{Ed} = 164,56 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 423,94 \text{ kNm}$$

IPE 550

ocel S355

$$t_w = 11,1 \text{ mm}, t_f = 17,2 \text{ mm}, d = 467,6 \text{ mm}$$

$$I_y = 67\,120 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_z = 2\,668 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 223 \text{ mm} \quad i_z = 44,5 \text{ mm}$$

$$W_{y,el} = 2\,441 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{y,pl} = 2\,787 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 123,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_w = 1\,884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A = 13\,440 \text{ mm}^2 \quad A_{vz} = 7\,234 \text{ mm}^2$$

Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{164,56 * 10^3}{11,1 * 355} = 41,761 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 * d + x}{d} = \frac{0,5 * 467,6 + 41,761}{467,6} = 0,589 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,126 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,589 - 1} = 48,422$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Podmínka pro stojinu třídy 1 průřezu je splněna.

Zatřídění pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{210}{2} - \frac{11,1}{2} - 24,0}{17,2} = 4,387 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,326$$

Podmínka pro pásnici třídy 1 průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y) se použije systémová vzpěrná délka $L_{cr,y}$, sloup rámu je zajištěn v patce proti posunům.

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,000}{223} = 31,390$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,000}{44,5} = 157,303$$

Přřazení křivek vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,6 > 1,2$$

$$t_f = 17,2 \leq 40 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y – y → křivka a; z – z → křivka b

Poměné štíhlosti

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{31,390}{76,399} = 0,411 \xrightarrow{\text{kř.a}} \chi_y = 0,950$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{157,303}{76,399} = 2,059 \xrightarrow{\text{kř.b}} \chi_z = 0,199$$

Vliv klopení

$$L = L_{cr} = 7,0 \text{ m}$$

součinitele vzpěrné délky (kloubové uložení obou konců): $k_w = 1,0$
 $k_y = k_z = 1,0$

trojúhelníkový průběh momentu: $c_{1,1} = 1,85$
 $c_{1,0} = 1,77$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 7000} * \sqrt{\frac{210\,000 * 1\,884 * 10^9}{81\,000 * 123,2 * 10^4}} = 0,894$$

$$c_1 = c_{1,0} + (c_{1,1} - c_{1,0}) * k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) * 0,894 = 1,842 \leq c_{1,1} = 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{c_1}{k_z} * \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,842}{1,0} * \sqrt{1 + 0,894^2} = 2,471$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} * \frac{\pi * \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L}$$

$$M_{cr} = 2,471 * \frac{\pi * \sqrt{210\,000 * 2\,668 * 10^4 * 81\,000 * 123,2 * 10^4}}{7000} = \underline{\underline{829,230 \text{ kNm}}}$$

Přřazení křivek klopení válcovaných průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,6 > 2 \rightarrow \text{křivka klopení } c$$

součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT} = 0,49$, $\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ a $\beta = 0,75$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2\,441 * 10^3 * 355}{829,230 * 10^6}} = 1,022$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\overline{\lambda}_{LT} - \overline{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \overline{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,022 - 0,4) + 0,75 * 1,022^2) = 1,044$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \overline{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,044 + \sqrt{1,044^2 - 0,75 * 1,022^2}} = 0,626$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\overline{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,022^2} = 0,957 \dots \text{ podmínka je splněna}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$\psi = 0 \quad c_{my} = 0,9 \dots \text{součinitel konst. momentu při vybočení s posuvem styčniců}$$
$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 * \psi = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 13\,440 * 355 = 4\,771,200 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} * f_{yd} = 2\,787 * 10^3 * 355 = 989,385 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \\ c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$
$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,411 - 0,2) * \frac{164,56 * 10^3}{\frac{0,950 * 13\,440 * 355}{1,0}} \right) = 0,907 \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{164,56 * 10^3}{\frac{0,950 * 13\,440 * 355}{1,0}} \right) = 0,926 \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = 0,907$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \end{array} \right\}$$
$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,059}{(0,6 - 0,25)} * \frac{164,56 * 10^3}{\frac{0,199 * 13\,440 * 355}{1,0}} = 0,898 \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} * \frac{164,56 * 10^3}{\frac{0,199 * 13\,440 * 355}{1,0}} = 0,950 \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = 0,950$$

Podmínky spolehlivosti

Sloup

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{164,56 * 10^3}{0,950 * 13\,440 * 355} + 0,907 * \frac{423,94 * 10^6}{0,626 * 2\,787 * 10^3 * 355} = 0,657 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{164,56 * 10^3}{0,199 * 13\,440 * 355} + 0,950 * \frac{423,94 * 10^6}{0,626 * 2\,787 * 10^3 * 355} = 0,824 < 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1$$

$$\frac{164,56 * 10^3}{\frac{13\,440 * 355}{1,0}} + \frac{423,94 * 10^6}{\frac{2\,787 * 10^3 * 355}{1,0}} = 0,463 < 1$$

Posouzení smykové únosnosti

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{7\,234 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 1\,483 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 66,12 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 66,12 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 741,5 \text{ kN}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

Průřez sloupu IPE550 vyhoví.

5.2.4 Posouzení příčle

IPE 550

ocel S355

$$\begin{aligned} I_y &= 67\,120 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 & I_z &= 2\,668 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ i_y &= 223 \text{ mm} & i_z &= 44,5 \text{ mm} \\ W_{y,el} &= 2\,441 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 & W_{y,pl} &= 2\,787 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\ I_t &= 123,2 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 & I_w &= 1\,884 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 \\ A &= 13\,440 \text{ mm}^2 & A_{vz} &= 7\,234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

Zatřídění průřezu IPE550 je detailně popsáno v kapitole 5.2.3.

$$\varepsilon = 0,814, \alpha = 0,589$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 42,126 < \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = 48,422$$

Podmínka pro stojinu třídy 1 průřezu je splněna.

Zatřídění pásnice

$$\frac{c}{t_f} = 4,387 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,814 = 7,326$$

Podmínka pro pásnici třídy 1 průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

Pro vybočení v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y) se použije systémová vzpěrná délka $L_{cr,y}$ v hodnotě celého rozpětí rámu, pro vybočení z roviny uvažují $L_{cr,z} = 6$ metrů.

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{24\,000}{223} = 107,623$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,000}{44,5} = 134,831$$

Poměné štíhlosti

$$\lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{107,623}{76,399} = 1,409 \xrightarrow{\text{kř.a}} \chi_y = 0,413$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{134,831}{76,399} = 1,765 \xrightarrow{\text{kř.b}} \chi_z = 0,259$$

Vliv klopení

Výpočet byl proveden v programu LTBeamN. Protokol o výpočtu je uveden v příloze.

$$M_{cr} = \underline{667,49 \text{ kNm}}$$

Přiřazení křivek klopení válcovaných průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,6 > 2 \rightarrow \text{křivka klopení } c$$

součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT} = 0,49, \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ a $\beta = 0,75$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2\,441 * 10^3 * 355}{667,49 * 10^6}} = 1,139$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,49 * (1,139 - 0,4) + 0,75 * 1,139^2) = 1,168$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,168 + \sqrt{1,168^2 - 0,75 * 1,139^2}} = 0,558$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,139^2} = 0,771 \dots \text{podmínka je splněna}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$\psi = \frac{M_{Ed}^L}{M_{Ed}^P} = \frac{-413,70}{-413,94} = 0,999$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}^V}{M_{Ed}^P} = \frac{293,41}{-423,94} = -0,692$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \cap 0 \leq \psi \leq 1$$

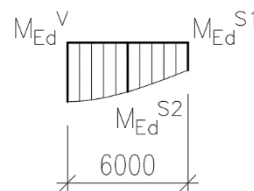
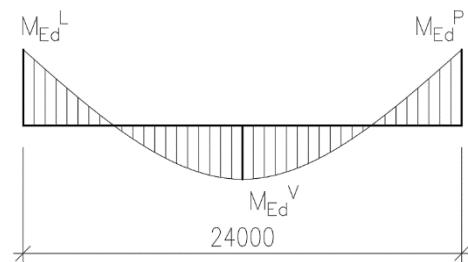
$$c_{my} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * (-0,692) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,654 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,654$$

$$\psi = \frac{M_{Ed}^{S1}}{M_{Ed}^V} = \frac{136,84}{293,41} = 0,466$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}^{S2}}{M_{Ed}^V} = \frac{258,25}{293,41} = 0,880$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1 \cap -1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{mLT} = 0,2 + 0,8 * \alpha_s = 0,2 + 0,8 * 0,880 = 0,904$$



Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 13\,440 * 355 = 4\,771,200 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} * f_{yd} = 2\,787 * 10^3 * 355 = 989,385 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\}$$
$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,654 * \left(1 + (1,409 - 0,2) * \frac{66,65 * 10^3}{\frac{0,413 * 13\,440 * 355}{1,0}} \right) = 0,681 \\ 0,654 * \left(1 + 0,8 * \frac{66,65 * 10^3}{\frac{0,413 * 13\,440 * 355}{1,0}} \right) = 0,672 \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = 0,672$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right\}$$
$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 1,765}{(0,904 - 0,25)} * \frac{66,65 * 10^3}{\frac{0,259 * 13\,440 * 355}{1,0}} = 0,985 \\ 1 - \frac{0,1}{(0,904 - 0,25)} * \frac{66,65 * 10^3}{\frac{0,259 * 13\,440 * 355}{1,0}} = 0,992 \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = 0,992$$

Podmínky spolehlivosti

Příčel

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{66,65 * 10^3}{0,413 * 13\,440 * 355} + 0,672 * \frac{423,94 * 10^6}{0,558 * 2\,787 * 10^3 * 355} = 0,550 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{66,65 * 10^3}{0,259 * 13\,440 * 355} + 0,992 * \frac{423,94 * 10^6}{0,558 * 2\,787 * 10^3 * 355} = 0,816 < 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1$$

$$\frac{164,56 * 10^3}{\frac{13\,440 * 355}{1,0}} + \frac{423,94 * 10^6}{\frac{2\,787 * 10^3 * 355}{1,0}} = 0,463 < 1$$

Posouzení smykové únosnosti

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{7\,234 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 1\,483 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 140,53 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 140,53 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 741,5 \text{ kN}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

Průvlak IPE550 vyhoví.

6. ŠTÍTOVÁ VAZBA

6.1 Návrh prvků štítové vazby

6.1.1 Zatížení

Zatěžovací stavy

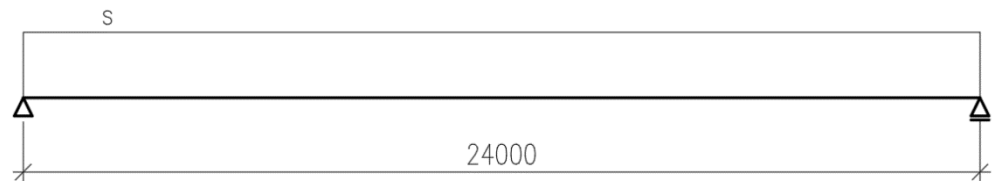
1. Stálé

	g_k [kN/m]
Střešní plášť $0,12 * 3,0 = 0,36$	0,36
Vlastní tíha vaznic $m = 10,62/2 = 0,05$	0,05
Obvodový plášť $0,128 * 3,0 = 0,384$	0,384
Vlastní tíha paždíků + výplň (odhad)	0,075

2. Minimální stálé

	g_k [kN/m]
Střešní plášť + vl. tíha vaznice	0,41
Obvodový plášť + vlastní tíha paždíků + výplň (odhad) $0,384 + 0,075 = 0,459$	0,459

3. Sníh



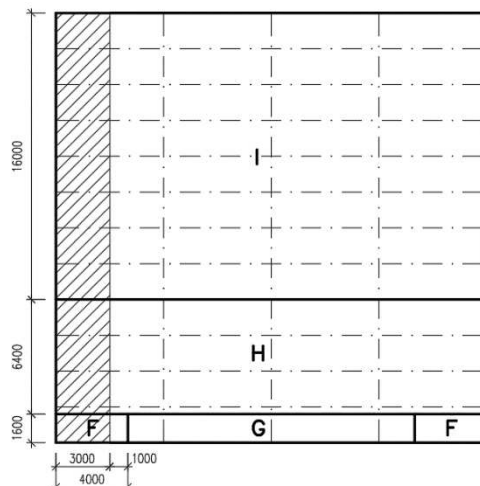
$$s_1 = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{l=3m} = 0,8 + \left(\frac{2}{5} * 1,2\right) = 1,28 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \frac{1,28 + 2,0}{2} * 3,0 = 1,64 * 3,0 = 4,92 \text{ kN/m}$$

s ... průměrná hodnota zatížení sněhem do vzdálenost 3 metry za atiku

4. Větr příčný



$$w_1 = w_{e,F} * 3,0 = -0,704 * 3,0 = -2,112 \text{ kN/m}$$

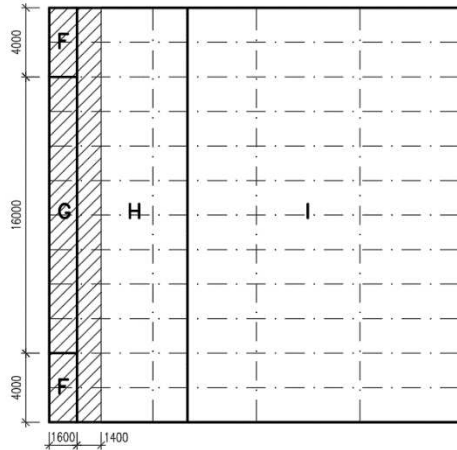
$$w_2 = w_{e,H} * 3,0 = -0,411 * 3,0 = -1,233 \text{ kN/m}$$

$$w_3 = w_{e,I} * 3,0 = -0,117 * 3,0 = -0,351 \text{ kN/m}$$

$$w_{s1} = w_{e,D} * 3,0 = 0,470 * 3,0 = 1,410 \text{ kN/m}$$

$$w_{s2} = w_{e,E} * 3,0 = -0,294 * 3,0 = -0,882 \text{ kN/m}$$

5. Vítr podélný



$$w_4 = \frac{w_{e,F} * 1,6 + w_{e,H} * 1,4}{3,0} * 3,0$$

$$w_4 = -0,704 * 1,6 + (-0,411) * 1,4$$

$$w_4 = -1,702 \text{ kN/m}$$

$$w_5 = \frac{w_{e,G} * 1,6 + w_{e,H} * 1,4}{3,0} * 3,0$$

$$w_5 = -0,470 * 1,6 + (-0,411) * 1,4$$

$$w_5 = -1,327 \text{ kN/m}$$

$$w_{s3} = w_{e,A} * 3,0 = -0,704 * 3,0 = -2,112 \text{ kN/m}$$

Kombinace zatěžovacích stavů

KZS1. Stálé + sníh

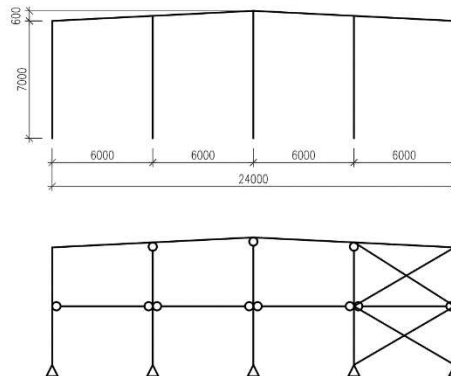
KZS2. Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný

KZS3. Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh

KZS4. Min. stálé + vítr příčný

KZS5. Min. stálé + vítr podélný

6.1.2 Statické schéma



Štítová vazba byla navržena jako rám s kloubovými patkami podepíraný štítovými sloupy po 6-ti metrech.

6.1.3 Rámové imperfekce

Jednotlivé součinitele a jejich výpočet je podrobně popsán v kapitole 1.5.3.

$$\phi = \phi_0 * \alpha_m * \alpha_h = \frac{1}{200} * 0,866 * 0,76 = 3,291 * 10^{-3}$$

Výpočet ekvivalentních vodorovných sil

$$H_{g,k} = g_k * L * \phi = (0,36 + 0,05) * 24 * 3,291 * 10^{-3} = 0,0324 \text{ kN}$$

$$H_{q,k} = s_k * L * \phi = 4,92 * 24 * 3,291 * 10^{-3} = 0,389 \text{ kN}$$

6.2 Posouzení prvků štítové vazby

6.2.1 Výpočet vnitřních sil

Rozhodující kombinace zatěžovacích stavů se zavedením ekvivalentních vodorovných sil

2. Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný + $H_{g,k}$ + $H_{q,k}$

3. Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh + $H_{g,k}$ + $\Psi_0 H_{q,k}$

Výpočet proveden v programu Scia Engineer.

6.2.2 Ověření MSP

Svislý průhyb

$$\delta = 14,6 \text{ mm} < \delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

$$\delta = 2,6 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{h}{300} = \frac{3500}{300} = 11,7 \text{ mm}$$

6.2.3 Posouzení sloupu

Uvažované vnitřní síly z programu Scia Engineer

$N_{Ed} = 35,37 \text{ kN}$ (vnitřní síly pro sloup HEA160 a příčli HEA 160)

$M_{Ed,y} = 15,62 \text{ kNm}$

Stanovení $M_{Ed,z}$

Tlak na stěnu

$$w_{e,D} = 0,470 \text{ kN/m}^2$$

Sání

$$w_{e,A} = -0,704 \text{ kN/m}^2$$

$$f = w_{e,A} * z_{\check{s}} = -0,704 * 3,0 = -2,112 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,z} = \frac{1}{8} * f * h^2 * 1,5 = \frac{1}{8} * (-2,112) * 7^2 * 1,5 = -19,404 \text{ kNm}$$

HEA 160

ocel S355

$$t_w = 6,0 \text{ mm}, t_f = 9,0 \text{ mm}, d = 104 \text{ mm}$$

$$I_y = 1\,673 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 615,6 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 65,7 \text{ mm}$$

$$i_z = 39,8 \text{ mm}$$

$$W_{y,el} = 220,1 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,pl} = 245,1 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,el} = 76,95 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,pl} = 117,6 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 12,19 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 31\,410 * 10^6 \text{ mm}^6$$

$$A = 3\,877 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1\,321 \text{ mm}^2$$

Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{35,37 * 10^3}{6,0 * 355} = 16,61 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 * d + x}{d} = \frac{0,5 * 104 + 16,61}{104} = 0,66 \rightarrow \alpha > 0,5$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{104}{6,0} = 17,33 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,66 - 1} = 42,526$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814$$

Podmínka pro stojinu třídy 1 průřezu je splněna.

Zatřídění pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{160}{2} - \frac{6,0}{2} - 15}{9,0} = 6,89 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,326$$

Podmínka pro pásnici třídy 1 průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

Pro vzpěr v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y) je $L_{cr,y}$ rovna polovině výšky sloupu.

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{3\,500}{65,7} = 53,272$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,000}{39,8} = 175,879$$

Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 9,0 \leq 100 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y – y → křivka b; z – z → křivka c

Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{53,272}{76,399} = 0,697 \xrightarrow{\text{kř.b}} \chi_y = 0,784$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{175,897}{76,399} = 2,302 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi_z = 0,154$$

Vliv klopení

Výpočet byl proveden v programu LTBeamN. Protokol o výpočtu je uveden v příloze.

$$M_{cr} = \underline{198,08 \text{ kNm}}$$

Přiřazení křivek klopení válcovaných průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2 \rightarrow \text{křivka klopení } b$$

součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT} = 0,34$, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ a $\beta = 0,75$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{220,1 * 10^3 * 355}{198,08 * 10^6}} = 0,628$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,34 * (0,628 - 0,4) + 0,75 * 0,628^2) = 0,687$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,687 + \sqrt{0,687^2 - 0,75 * 0,628^2}} = 0,904$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,628^2} = 2,536 \dots \text{ podmínka je splněna}$$

Interakce tlaku s ohybem

Osa ohybu y-y

$$\psi = \frac{M_{Ed}^S}{M_{Ed}^H} = \frac{4,51}{-15,62} = -0,289 \rightarrow -1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{my} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,6 + 0,4 * \psi \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,484 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,484$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}^S}{M_{Ed}^P} = \frac{4,51}{-15,62} = -0,289$$

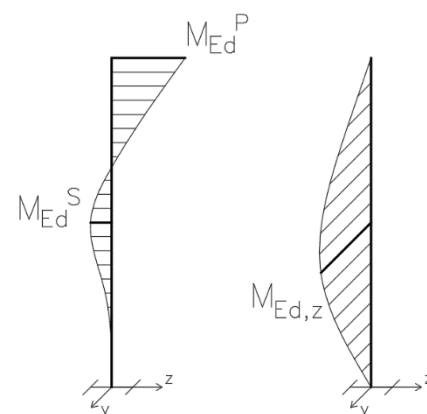
$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \cap 0 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{mLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * (-0,289) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,331 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,4$$

Osa ohybu z-z

$$\left. \begin{array}{l} \psi = 0 \\ \alpha_h = 0 \end{array} \right\} 0 \leq \alpha_h \leq 1 \cap -1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{mz} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95$$



Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,484 * \left(1 + (0,697 - 0,2) * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,784 * 3\,877 * 355}{1,0}} \right) = 0,492 \\ 0,484 * \left(1 + 0,8 * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,784 * 3\,877 * 355}{1,0}} \right) = 0,501 \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = 0,492$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 1,172 = 0,703$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,302}{(0,4 - 0,25)} * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,154 * 3\,877 * 355}{1,0}} = 0,744 \\ 1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,154 * 3\,877 * 355}{1,0}} = 0,889 \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = 0,889$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{mz} * \left(1 + (2 * \bar{\lambda}_z - 0,6) * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ c_{mz} * \left(1 + 1,4 * \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z * N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + (2 * 2,302 - 0,6) * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,154 * 3\,877 * 355}{1,0}} \right) = 1,585 \\ 0,95 * \left(1 + 1,4 * \frac{35,37 * 10^3}{\frac{0,154 * 3\,877 * 355}{1,0}} \right) = 1,172 \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = 1,172$$

Podmínky spolehlivosti

Sloup

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} + k_{yz} * \frac{M_{Ed,z}}{W_{pl,z} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{35,37 * 10^3}{0,784 * 3877 * 355} + 0,492 * \frac{15,62 * 10^6}{0,904 * 245,1 * 10^3 * 355} + 0,703 * \frac{19,404 * 10^6}{117,6 * 10^3 * 355} < 1$$

$$0,457 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed,y}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} + k_{zz} * \frac{M_{Ed,z}}{W_{pl,z} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{35,37 * 10^3}{0,154 * 3877 * 355} + 0,889 * \frac{15,62 * 10^6}{0,904 * 245,1 * 10^3 * 355} + 1,172 * \frac{19,404 * 10^6}{117,6 * 10^3 * 355} < 1$$

$$0,888 < 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} < 1$$
$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M1}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M1}} < 1$$

$$\frac{35,37 * 10^3}{3877 * 355} + \frac{15,62 * 10^6}{245,1 * 10^3 * 355} = 0,205 < 1$$
$$\frac{35,37 * 10^3}{1,0} + \frac{15,62 * 10^6}{1,0} = 0,205 < 1$$

Posouzení smykové únosnosti

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1321 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 270,75 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 6,90 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 6,90 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 135,375 \text{ kN}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

Průřez sloupu HEA 160 vyhoví.

6.2.4 Posouzení příčle

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 8,02 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 27,59 \text{ kNm}$$

HEA 160

ocel S355

$$t_w = 6,0 \text{ mm}, t_f = 9,0 \text{ mm}, d = 104 \text{ mm}$$

$$I_y = 1\,673 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_z = 615,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 65,7 \text{ mm} \quad i_z = 39,8 \text{ mm}$$

$$W_{y,el} = 220,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{y,pl} = 245,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,el} = 76,95 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{z,pl} = 117,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 12,19 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_w = 31\,410 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$A = 3\,877 \text{ mm}^2 \quad A_{vz} = 1\,321 \text{ mm}^2$$

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

Pro vybočení v rovině rámu (vybočení kolmo k ose y) se použije vzpěrná délka $L_{cr,y} = 6 \text{ m}$ mezi štítovými sloupy a pro vybočení z roviny uvažují $L_{cr,z} = 6 \text{ metrů}$.

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,000}{65,7} = 91,324$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,000}{39,8} = 150,754$$

Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 9,0 \leq 100 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y – y → křivka b; z – z → křivka c

Poměrné štíhlosti

$$\lambda_1 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{91,324}{76,399} = 1,195 \xrightarrow{\text{kř.b}} \chi_y = 0,478$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{150,754}{76,399} = 1,973 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi_z = 0,201$$

Vliv klopení

Výpočet byl proveden v programu LTBeamN. Protokol o výpočtu je uveden v příloze.

Příloha 4.3

$$M_{cr} = \underline{35,42 \text{ kNm}}$$

Přiřazení křivek klopení válcovaných průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{152}{160} = 0,95 < 2 \rightarrow \text{křivka klopení } b$$

součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT} = 0,34$, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ a $\beta = 0,75$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{220,1 * 10^3 * 355}{35,42 * 10^6}} = 1,485$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,34 * (1,485 - 0,4) + 0,75 * 1,485^2) = 1,511$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,511 + \sqrt{1,511^2 - 0,75 * 1,485^2}} = 0,434$$

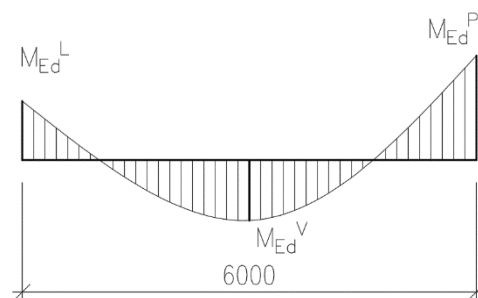
$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,485^2} = 0,453 \dots \text{podmínka je splněna}$$

Interakce tlaku s ohybem

$$\psi = \frac{M_{Ed}^L}{M_{Ed}^P} = \frac{-15,54}{-27,59} = 0,563$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}^S}{M_{Ed}^P} = \frac{16,00}{-27,59} = -0,580$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \cap 0 \leq \psi \leq 1$$



$$c_{my} = c_{mLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * (-0,580) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,564 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,564$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 3877 * 355 = 1376,335 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} * f_{yd} = 245,1 * 10^3 * 355 = 870,105 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,564 * \left(1 + (1,195 - 0,2) * \frac{8,02 * 10^3}{0,478 * 3\,877 * 355} \right) = 0,572 \\ 0,564 * \left(1 + 0,8 * \frac{8,02 * 10^3}{0,478 * 3\,877 * 355} \right) = 0,571 \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = 0,571$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 1,973}{(0,564 - 0,25)} * \frac{8,02 * 10^3}{0,201 * 3\,877 * 355} = 0,982 \\ 1 - \frac{0,1}{(0,564 - 0,25)} * \frac{8,02 * 10^3}{0,201 * 3\,877 * 355} = 0,991 \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = 0,991$$

Podmínky spolehlivosti

Příčel

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{8,02 * 10^3}{0,478 * 3\,877 * 355} + 0,571 * \frac{27,59 * 10^6}{0,434 * 245,1 * 10^3 * 355} = 0,429 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{8,02 * 10^3}{0,201 * 3\,877 * 355} + 0,991 * \frac{27,59 * 10^6}{0,434 * 245,1 * 10^3 * 355} = 0,753 < 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1$$

$$\frac{8,02 * 10^3}{\frac{3\,877 * 355}{1,0}} + \frac{27,59 * 10^6}{\frac{245,1 * 10^3 * 355}{1,0}} = 0,323 < 1$$

Posouzení smykové únosnosti

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} * f_{yd}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{1\,321 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 270,75 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 27,02 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 27,02 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 135,375 \text{ kN}$$

Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

Profil příčle HEA160 vyhoví.

6.2.5 Posouzení štítových sloupků

Vnitřní síly

$$N_{Ed} = 57,61 \text{ kN}$$

Stanovení $M_{Ed,y}$

Tlak na stěnu + vnitřní sání

$$w_{e,D} + C_{pi} * q_p = 0,470 + 0,3 * 0,587 = 0,646 \text{ kN/m}^2 \dots \text{rozhoduje}$$

Sání + vnitřní tlak

$$\left(\frac{w_{e,A} * 0,2 + w_{e,B} * 5,8}{6,0} \right) + C_{pi} * q_p = \left(\frac{-0,704 * 0,2 + (-0,470) * 5,8}{6,0} \right) - 0,2 * 0,587 \\ = -0,595 \text{ kN/m}^2$$

$$f_k = (w_{e,D} + C_{pi} * q_p) * z_{\text{š}} = 0,646 * 6,0 = 3,876 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed,y} = \frac{1}{8} * f_k * h^2 * 1,5 = \frac{1}{8} * 3,876 * 7,3^2 * 1,5 = 38,729 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti pro splnění mezního průhybu od proměnného zatížení

$$I_y = \frac{5}{384} * \frac{f_k * L^4}{E * \frac{L}{300}} = \frac{5}{384} * \frac{3,876 * 7300^4}{210 * 10^3 * \frac{7300}{300}} = 2804,743 * 10^4 \text{ mm}^4$$

IPE 240

ocel S355

$$t_w = 6,2 \text{ mm}, t_f = 9,8 \text{ mm}, d = 190,4 \text{ mm}$$

$$I_y = 3892 * 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_z = 283,6 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 99,7 \text{ mm} \quad i_z = 26,9 \text{ mm}$$

$$W_{y,el} = 324,3 * 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{y,pl} = 366,6 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 123,2 * 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_w = 1884 * 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A = 3912 \text{ mm}^2 \quad A_{vz} = 1914 \text{ mm}^2$$

Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{57,61 * 10^3}{6,2 * 355} = 26,174 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 * d + x}{d} = \frac{0,5 * 190,4 + 26,174}{190,4} = 0,637 \rightarrow \alpha > 0,5$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{190,4}{6,2} = 30,710 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,637 - 1} = 43,272$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{120}{2} - \frac{6,2}{2} - 15}{9,8} = 4,276 < 9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,326$$

Podmínka pro stojinu i pásnici třídy 1 průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,300}{99,7} = 73,220$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,800}{26,9} = 141,264$$

Přiřazení křivek vzpěrné pevnosti

$$\left. \begin{array}{l} \frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2,00 > 1,2 \\ t_f = 9,8 \leq 40 \text{ mm} \end{array} \right\} \text{vybočení kolmo k ose } y - y \rightarrow \text{křivka a; } z - z \rightarrow \text{křivka b}$$

Poměné štíhlosti

$$\lambda_1 = 76,399$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{73,220}{76,399} = 0,958 \xrightarrow{\text{kř.a}} \chi_y = 0,693$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{141,264}{76,399} = 1,849 \xrightarrow{\text{kř.b}} \chi_z = 0,240$$

Vliv klopení

Výpočet byl proveden v programu LTBeamN. Protokol o výpočtu je uveden v příloze.

$$M_{cr} = \underline{112,83 \text{ kNm}}$$

Příloha 4.4

Přiřazení křivek klopení válcovaných průřezů

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2,0 \leq 2 \rightarrow \text{křivka klopení c}$$

součinitel imperfekce při klopení $\alpha_{LT} = 0,34$, $\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ a $\beta = 0,75$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324,3 * 10^3 * 355}{112,83 * 10^6}} = 1,010$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * [1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + 0,34 * (1,010 - 0,4) + 0,75 * 1,010^2) = 0,986$$

Součinitel klopení

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta * \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,986 + \sqrt{0,986^2 - 0,75 * 1,010^2}} = 0,693$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,010^2} = 0,980 \dots \text{podmínka je splněna}$$

Osa ohybu y-y

$$\left. \begin{array}{l} \psi = 0 \\ \alpha_h = 0 \end{array} \right\} 0 \leq \alpha_h \leq 1 \cap -1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{my} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95$$

$$\psi = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_{Ed}^{S1}}{M_{Ed}^S} = \frac{28,66}{38,729} = 0,74$$

M_{Ed}^{S1} ... hodnota momentu ve vzdálenosti $L/4 = 1,825$ m

$$0 \leq \alpha_h \leq 1 \cap 0 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \alpha_h = 0,95 + 0,05 * 0,74 = 0,987$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 3\,912 * 355 = 1\,388,760 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} * f_{yd} = 366,6 * 10^3 * 355 = 130,143 \text{ kNm}$$

Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} c_{my} * \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \\ c_{my} * \left(1 + 0,8 * \frac{N_{Ed}}{\chi_y * N_{Rk}} \right) \end{array} \right\}$$
$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + (0,958 - 0,2) * \frac{57,61 * 10^3}{\frac{0,693 * 3\,912 * 355}{1,0}} \right) = 0,993 \\ 0,95 * \left(1 + 0,8 * \frac{57,61 * 10^3}{\frac{0,693 * 3\,912 * 355}{1,0}} \right) = 0,995 \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = 0,993$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \end{array} \right\}$$
$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 1,849}{(0,987 - 0,25)} * \frac{57,61 * 10^3}{\frac{0,240 * 3\,912 * 355}{1,0}} = 0,957 \\ 1 - \frac{0,1}{(0,987 - 0,25)} * \frac{57,61 * 10^3}{\frac{0,240 * 3\,912 * 355}{1,0}} = 0,977 \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = 0,977$$

Podmínky spolehlivosti

Sloup

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * f_{yd}} + k_{yy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{57,61 * 10^3}{0,693 * 3\,912 * 355} + 0,993 * \frac{38,729 * 10^6}{0,693 * 366,6 * 10^3 * 355} = 0,486 < 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * f_{yd}} + k_{zy} * \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} * W_{pl,y} * f_{yd}} < 1$$

$$\frac{57,61 * 10^3}{0,240 * 3\,912 * 355} + 0,977 * \frac{38,729 * 10^6}{0,693 * 366,6 * 10^3 * 355} = 0,592 < 1$$

Podmínka únosnosti pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} < 1$$

$$\frac{57,61 * 10^3}{\frac{3\,912 * 355}{1,0}} + \frac{38,729 * 10^6}{\frac{366,6 * 10^3 * 355}{1,0}} = 0,339 < 1$$

Průhyb

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{f_k * L^4}{EI_y} = \frac{5}{384} * \frac{3,876 * 7300^4}{210 * 10^3 * 3\,892 * 10^4} = 17,536 \text{ mm}$$

$$\delta < \frac{L}{300} = \frac{7300}{300} = 24,33$$

Průřez sloupu IPE240 vyhoví.

7. NÁVRH A POSOUZENÍ PRVKŮ MEZIPATRA

7.1 Zatížení

a) Montážní stadium

Stálé			
	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
- betonová deska tíha čerstvého betonu 26 kN/m ² srovnaná tloušťka $t_{\text{deska}} = 70 + 39 * ((34+19,5)/183) = 81 \text{ mm}$ $0,081 * 26 = 2,106 \text{ kN/m}^2$	2,11	1,35	2,85
- trapézový plech (odhad)	0,10	1,35	0,14
<i>Celkem</i>	2,21	1,35	2,98

Proměnné			
	q_k [kN/m ²]	γ_Q	q_d [kN/m ²]
- rovnoměrné	0,75	1,5	1,125
- zvětšené (působící na čtverci 3*3 m)	1,50	1,5	2,25

b) Provozní stadium

Stálé			
	g_k [kN/m ²]	γ_G	g_d [kN/m ²]
- nášlapná vrstva tl. 60 mm	1,20	1,35	1,62
- betonová deska $0,081 * 25 = 2,03 \text{ kN/m}^2$	2,03	1,35	2,73
- trapézový plech TR 40/183/1,0	0,11	1,35	0,14
- podhled	0,15	1,35	0,20
<i>Celkem</i>	3,49	1,35	4,71

Proměnné			
	q_k [kN/m ²]	γ_Q	q_d [kN/m ²]
- užité zatížení (kat. B – kancelářské plochy)	2,50	1,5	3,75
- přemístitelné příčky s vlastní tíhou 0,1 – 0,2 kN/m	0,80	1,5	1,20
<i>Celkem</i>	3,30	1,5	4,95

7.2 Stropní konstrukce

7.2.1 Trapézový plech

Trapézový plech je navržen jako spojitý nosník o třech polích pro přenos zatížení v montážním stavu. Je zavedeno bezpečné zjednodušení, při kterém lze uvažovat po celé délce nosníku rovnoměrné zatížení rovné zvětšenému zatížení q .



$$M_{Ed} = \frac{1}{10} * (g_d + q_d) * L^2 = \frac{1}{10} * 5,23 * 2,0^2 = 2,092 \text{ kNm/m}$$

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{2,092 * 10^6}{320} = 6537,5 \text{ mm}^3/\text{m}$$

Příloha 1.6

TR 40/183/1,0 mm

ocel S320GD

$$m = 10,66 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{eff,min} = 11\,200 \text{ mm}^3$$

$$I_{eff,min} = 242\,000 \text{ mm}^4$$

Podmínky spolehlivosti

MSÚ

$$g_d + q_d = 5,23 \text{ kN/m}^2 \leq q_{Rd} = 6,20 \text{ kN/m}^2 \dots \text{ hodnota dle tabulek výrobce}$$

MSP

$$M_{b,k} = -\frac{1}{10} * g_k * L^2 = -\frac{1}{10} * 2,21 * 2^2 = -0,884 \text{ kNm/m}$$

$$\delta = \frac{1}{E * I_{eff}} * \left(\frac{5}{384} * g_k * L^4 - \frac{1}{16} * M_{b,k} * L^2 \right)$$

$$\delta = \frac{1}{210 * 10^3 * 242\,000} * \left(\frac{5}{384} * 2,21 * 2000^4 - \frac{1}{16} * 0,884 * 10^6 * 2000^2 \right)$$

$$\delta = 4,71 \text{ mm} < \frac{t_{deska}}{10} = \frac{81}{10} = 8,1 \text{ mm}$$

Plech vyhoví, není třeba uvažovat rybníkový efekt.

7.2.2 Stropnice

Návrh a posouzení je provedeno pro běžnou vnitřní stropnici s rozpětím 6 metrů. Stropnice není sprážená a je při betonáži podepřena.



odhad vlastní tíhy nosníku 0,3 kN/m

$$g_k + q_k = (3,49 + 3,30) * 2,0 + 0,3 = 13,880 \text{ kN/m}^2$$

$$g_d + q_d = (4,71 + 4,95) * 2,0 + 0,3 * 1,35 = 19,725 \text{ kN/m}^2$$

Vnitřní síly

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} * 19,725 * 6,0 = 59,175 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} * 19,725 * 6,0^2 = 88,763 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti pro splnění mezního průhybu od proměnného zatížení

$$I_y = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{E * \frac{L}{250}} = \frac{5}{384} * \frac{(3,30 * 10^{-3} * 2000) * 6000^4}{210 * 10^3 * \frac{6000}{250}} = 2209,8 * 10^4 \text{ mm}^4$$

IPE 220

$$m = 26,2 \text{ kg/m}$$

$$I_y = 2772 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 285,4 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 3337 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$$

třída 1 pro ohyb k ose y, S355

Podmínky spolehlivosti

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 285,4 * 10^3 * 355 = 101,317 * 10^6 \text{ Nmm} = 101,317 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} > M_{Ed} = 88,763 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3337 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 683,949 * 10^3 \text{ N} = 683,949 \text{ kN} > V_{Ed} = 59,175 \text{ kN}$$

MSP

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{g_k * L^4}{EI_y} = \frac{5}{384} * \frac{(3,30 * 10^{-3} * 2000) * 6000^4}{210 * 10^3 * 2772 * 10^4} = 19,13 \text{ mm}$$

$$\delta < \frac{L}{250} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Stropnice IPE 220 vyhoví.

7.2.3 Průvlak

Návrh je proveden pro nejzatíženější průvlak na rozpětí 6 metrů.

Reakce z připojených stropnic

$$F_{Ek} = ((3,49 + 2,5 + 0,8) * 2,0 + 0,262) * 6,0 = 83,052 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = ((4,71 + 3,75 + 1,2) * 2,0 + 0,262 * 1,35) * 6,0 = 118,042 \text{ kN}$$

$$\text{Vlastní tíha průvlaku (odhad)} \quad g_k = 0,5 \text{ kN/m}$$

$$g_d = 0,5 * 1,35 = 0,675 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$R_{Ed} = V_{Ed} = 118,042 + 0,675 * 6,0 = 122,092 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 118,042 * 2,0 + \frac{1}{8} * 0,675 * 6,0^2 = 239,122 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti pro splnění mezního průhybu od proměnného zatížení

$$I_y = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * \frac{L}{400}} = \frac{23}{648} * \frac{39,6 * 10^3 * 6000^3}{210 * 10^3 * \frac{6000}{400}} = 9638,1 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$F_k = (2,5 + 0,8) * 2,0 * 6,0 = 39,6 \text{ kN}$$

IPE 330

$$m = 49,1 \text{ kg/m}$$

$$I_y = 11\,770 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 804,3 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 6\,261 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 3\,081 \text{ mm}^2$$

třída 1 pro ohyb k ose y, S355

Podmínky spolehlivosti

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 804,3 * 10^3 * 355 = 285,527 * 10^6 \text{ Nmm} = 285,527 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} > M_{Ed} = 239,122 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 3\,081 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 631,480 * 10^3 \text{ N} = 631,480 \text{ kN} > V_{Ed} = 122,092 \text{ kN}$$

MSP

$$\delta = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * I_y} = \frac{23}{648} * \frac{39,6 * 10^3 * 6000^3}{210 * 10^3 * 11\,770 * 10^4} = 12,28 \text{ mm}$$

$$\delta < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

Průvlak IPE 330 vyhoví.

7.2.4 Průvlak ve štítové stěně

Pro účely dalšího výpočtu je navržen průvlak podpírající stropní konstrukci mezipatra ve štítové stěně.

Reakce z připojených stropnic

$$F_{Ek} = ((3,49 + 2,5 + 0,8) * 2,0 + 0,262) * 3,0 = 41,526 \text{ kN}$$

$$F_{Ed} = ((4,71 + 3,75 + 1,2) * 2,0 + 0,262 * 1,35) * 3,0 = 59,021 \text{ kN}$$

$$\text{Vlastní tíha průvlaku (odhad)} \quad g_k = 0,4 \text{ kN/m}$$

$$g_d = 0,4 * 1,35 = 0,540 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$R_{Ed} = V_{Ed} = 59,021 + 0,540 * 3,0 = 60,641 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 59,021 * 2,0 + \frac{1}{8} * 0,540 * 3,0^2 = 118,650 \text{ kNm}$$

Potřebný moment setrvačnosti pro splnění mezního průhybu od proměnného zatížení

$$I_y = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * \frac{L}{400}} = \frac{23}{648} * \frac{19,8 * 10^3 * 6000^3}{210 * 10^3 * \frac{6000}{400}} = 4819,05 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$F_k = (2,5 + 0,8) * 2,0 * 3,0 = 19,8 \text{ kN}$$

U 260

$$m = 39,7 \text{ kg/m}$$

$$I_y = 4820 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{pl,y} = 442,0 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 4\,830 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 2\,712 \text{ mm}^2$$

třída 1 pro ohyb k ose y, S355

Podmínky spolehlivosti

MSÚ

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} * f_{yd} = 442,0 * 10^3 * 355 = 156,910 * 10^6 \text{ Nmm} = 156,910 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} > M_{Ed} = 118,650 \text{ kNm}$$

$$V_{pl,Rd} = A_{vz} * \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = 2\,712 * \frac{355}{\sqrt{3}} = 555,850 * 10^3 \text{ N} = 555,850 \text{ kN} > V_{Ed} = 60,641 \text{ kN}$$

MSP

$$\delta = \frac{23}{648} * \frac{F_k * L^3}{E * I_y} = \frac{23}{648} * \frac{19,8 * 10^3 * 6000^3}{210 * 10^3 * 4820 * 10^4} = 14,997 \text{ mm}$$

$$\delta < \frac{L}{400} = \frac{6000}{400} = 15 \text{ mm}$$

Průvlak U 260 vyhoví.

7.3 Sloup

Je navržen nejzatíženější sloup podepírající mezipatro. Sloup má téměř nulovou excentricitu, je tedy zjednodušeně uvažováno posouzení pouze na prostý tlak.

Zatížení

Stálé			
	F_{Ek} [kN]	γ_G	F_{Ed} [kN]
- základní tíha stropu $3,49 \text{ kN/m}^2 * (3*3)*3$	94,23	1,35	127,21
- stropnice $0,262 \text{ kN/m} * ((6,0*2) + 3,0)$	3,93	1,35	5,31
- průvlaky $0,491 \text{ kN/m} * 6,0 \text{ m}$	2,95	1,35	3,98
<i>Celkem</i>	101,11	1,35	136,50

Proměnné			
	F_{Ek} [kN]	γ_Q	F_{Ed} [kN]
- užité zatížení $2,5 \text{ kN/m}^2 * (3*3)*3$	67,5	1,5	101,25
- přemístitelné přičky $0,8 \text{ kN/m}^2 * (3*3)*3$	21,6	1,5	32,40

$$N_{Ed} = 136,50 + 101,25 + 32,40 = 270,15 \text{ kN}$$

HEA 140

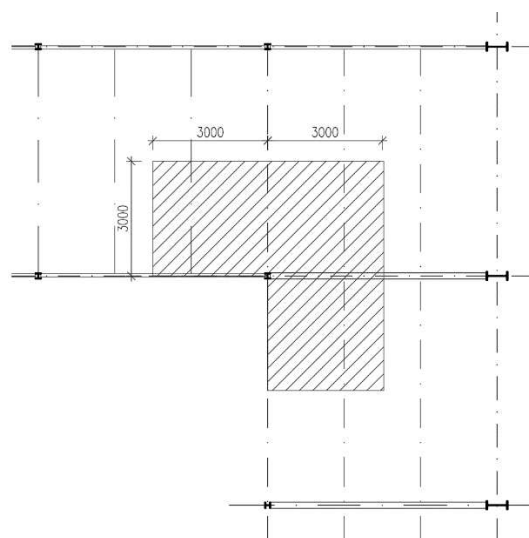
$$m = 24,7 \text{ kg/m}$$

$$A = 3142 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 1\,033 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 389,3 * 10^4 \text{ mm}^4$$

třída 2 pro tlak i ohyb, S355



Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 3,5 \text{ m}$$

Pružná kritická síla

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 * E * I_z}{L_{cr,z}^2} = \frac{\pi^2 * 210 * 10^3 * 389,3 * 10^4}{3500^2} = 658,669 * 10^3 \text{ N} = 658,669 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr,z}}} = \sqrt{\frac{3142 * 355}{658,669 * 10^3}} = 1,30 \xrightarrow{\text{kř.c.}} \chi_z = 0,389$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,389 * 3142 * 355 = 433,895 * 10^3 \text{ N} = 433,895 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} > N_{Ed} = 270,15 \text{ kN}$$

Průřez sloupu HEA 140 vyhoví.

8. NÁVRH ZTUŽIDEL

8.1 Ztužidla v příčném směru

Vnitřní síly

$$N_{Ed,t} = 10,60 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,c} = 12,42 \text{ kN}$$

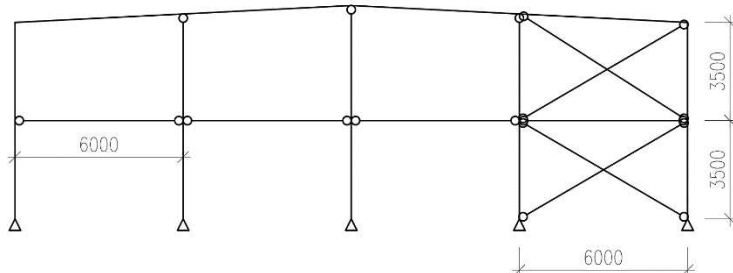
TR 54/4,0

$$A = 628 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 19,8 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 17,7 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez a síla v tlačené diagonále (v absolutní hodnotě) je větší než síla v tažené. L_{cz} stanovíme ze vzorce, kde $L_t = L_c$.

$$L = \sqrt{6000^2 + 3500^2} = 6946 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L_z * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,t} * L_t}{N_{Ed,c} * L_c}} = 6946 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{10,60}{12,42}} = 6946 * 0,6 = 4167 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{4167}{17,7} = 235,424$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{235,424}{76,399} = 3,08 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,091$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,091 * 628 * 355 = 20,288 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 12,42 \text{ kN}$$

Návrh TR 54/4,0 vyhoví.

8.2 Návrh vodorovných profilů ve štítové stěně

Vnitřní síly

$$N_{Ed,c} = 9,56 \text{ kN}$$

TR 76,1/4,0

$$A = 906 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 59,1 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 26 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355

Vzpěrná délka

$$L = 6\,000 \text{ mm}$$

$$L_{cr} = 1,0 * L = 6\,000 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{26} = 230,769$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{230,769}{76,399} = 3,02 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,094$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,094 * 906 * 355 = 30,233 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 9,56 \text{ kN}$$

Návrh TR 76,1/4,0 vyhoví.

8.3 Ztužidla v podélném směru

8.3.1 Zatížení ztužidel větrem

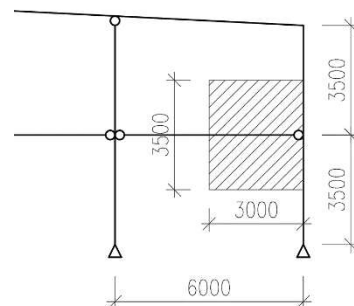
$$w_{e,D} + |w_{e,E}| = 0,470 + 0,294 = 0,764 \text{ kN/m}^2$$

zatěžovací šířka 24 m

zatěžovací výška 3,5 m

$$F_{w,k,1} = 0,764 * 24 * 3,5 = 64,176 \text{ kN}$$

$$F_{w,k,2} = 0,764 * 3,0 * 3,5 = 8,022 \text{ kN}$$



8.3.2 Zatížení ztužidel rámovými imperfekcemi

Počáteční natočení sloupů:

$$\phi = \alpha_h * \alpha_m * \phi_0 = 0,756 * 0,775 * \frac{1}{200} = 2,930 * 10^{-3}$$

$$\phi_0 = 1/200$$

Redukční součinitel pro počet sloupů m v řadě:

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{5}\right)} = 0,775$$

Redukční součinitel pro výšku h :

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,0}} = 0,756 \quad \alpha_h \in \left(\frac{2}{3}; 1,0\right)$$

Vliv natočení zaveden pomocí ekvivalentních vodorovných sil

$$H_\phi = \phi * \sum N$$

F1: Stálé na střeše + sníh + vítr

$$F_{\phi 1} = \phi * (g_k * 1,35 + s * 1,5) + F_{w,k,1} * 1,5$$

$$F_{\phi 1} = 2,93 * 10^{-3} * \left(\frac{0,82}{6} * 24^2 * 1,35 + 1,05 * 24^2 * 1,5\right) + 64,176 * 1,5 = 99,233 \text{ kN}$$

F2: Stálé + užité + vítr

$$F_{\phi 2} = \phi * (g_{k,s} * 1,35 + q_k * 1,5) + F_{w,k,2} * 1,5$$

$$F_{\phi 2} = 2,93 * 10^{-3} * \left(\frac{133,31}{36} * 24^2 * 1,35 + 3,3 * 24^2 * 1,5\right) + 8,022 * 1,5 = 28,824 \text{ kN}$$

Síla na jedno ztužidlo

$$F_1 = \frac{F_{\phi 1}}{4} = \frac{99,233}{4} = 24,808 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{F_{\phi 2}}{2} = \frac{28,824}{2} = 14,412 \text{ kN}$$

8.3.3 Ztužidlo 1

8.3.3.1 Diagonály

Vnitřní síly

$$N_{Ed,t} = 21,95 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,c} = 23,34 \text{ kN}$$

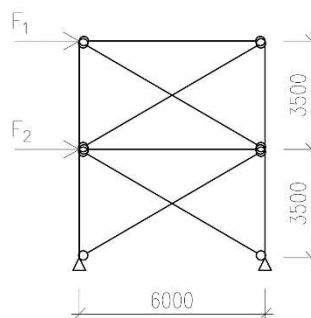
TR 60,3/4,0

$$A = 708 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 28,2 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 20,0 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez a síla v tlačené diagonále (v absolutní hodnotě) je větší než síla v tažené. L_{cz} stanovíme ze vzorce, kde $L_t=L_c$.

$$L = \sqrt{6000^2 + 3500^2} = 6946 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L_z * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,t} * L_t}{N_{Ed,c} * L_c}} = 6946 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{21,95}{23,34}} = 6946 * 0,54 = 3771 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{3771}{20} = 188,525$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{188,525}{76,399} = 2,47 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,135$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,135 * 708 * 355 = 33,931 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 23,34 \text{ kN}$$

Návrh TR 60,3/4,0 vyhoví.

8.3.3.2 Vodorovné prvky ztužidla

Vodorovné profily budou stejně jako v případě štítové stěny navrženy z trubek TR 76,1/4,0 pro $L_{cr} = 6000 \text{ mm}$.

$$N_{Ed,c} = 8,73 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{26} = \frac{230,769}{76,399} = 3,02 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,094$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,094 * 906 * 355 = 30,233 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 8,73 \text{ kN}$$

Návrh TR 76,1/4,0 vyhoví.

8.3.4 Ztužidlo 2

8.3.4.1 Diagonály

Vnitřní síly

$$N_{Ed,t} = 17,31 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,c} = 20,81 \text{ kN}$$

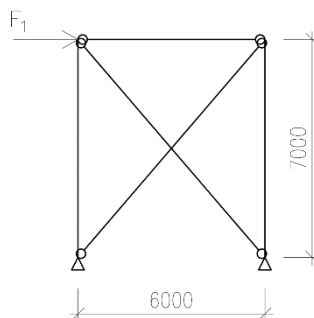
TR 76,1/4,0

$$A = 906 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 59,1 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 26 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez a síla v tlačené diagonále (v absolutní hodnotě) je větší než síla v tažené. L_{cz} stanovíme ze vzorce, kde $L_t=L_c$.

$$L = \sqrt{6000^2 + 7000^2} = 9\,220 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L_z * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,t} * L_t}{N_{Ed,c} * L_c}} = 9220 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{17,31}{20,81}} = 9220 * 0,61 = 5\,655 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{5\,655}{26} = 217,487$$

$$\lambda_1 = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,399$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{217,487}{76,399} = 2,85 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,104$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,104 * 906 * 355 = 33,450 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 20,81 \text{ kN}$$

Návrh TR 76,1/4,0 vyhoví.

8.3.3.2 Vodorovný prvek ztužidla

Vodorovný profil bude stejně jako v případě štítové stěny navržen z trubky TR 76,1/4,0 pro $L_{cr} = 6\,000 \text{ mm}$.

$$N_{Ed,c} = 11,26 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\frac{L_{cr}}{i}}{\lambda_1} = \frac{\frac{6000}{26}}{76,399} = \frac{230,769}{76,399} = 3,02 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,094$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,094 * 906 * 355 = 30,233 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 11,26 \text{ kN}$$

Návrh TR 76,1/4,0 vyhoví.

8.4 Příčné tužidlo ve střešní rovině

Ve střeše jsou navržena dvě příčná střešní tužidla, po jednom u každého štítu.

8.4.1 Zatížení větrem

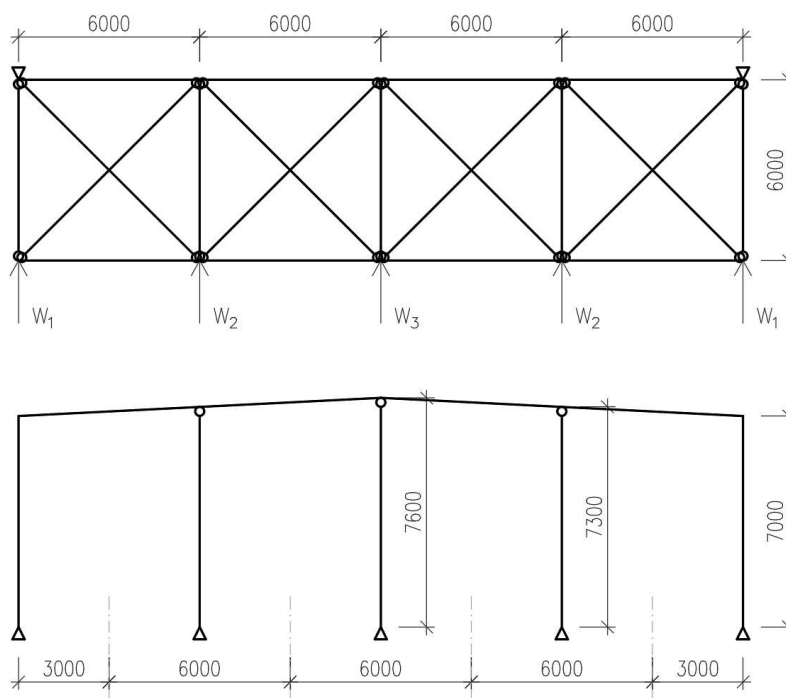
Tlak

$w_{e,D} = 0,470 \text{ kN/m}^2$... rozhoduje pro další výpočet

Sání (průměrná hodnota)

$$w_e = \frac{w_{e,A} * 3,0 + w_{e,B} * 12,8 + w_{e,C} * 8,0}{24}$$

$$w_e = \frac{-0,704 * 3,2 + (-0,470 * 12,8) + (-0,294 * 8,0)}{24} = -0,443 \text{ kN/m}^2$$



$$W_{1,Ed} = w_{e,D} * zš * h * \gamma_F = 0,470 * 3,0 * \frac{7,0}{2} * 1,5 = 7,403 \text{ kN}$$

$$W_{2,Ed} = w_{e,D} * zš * h * \gamma_F = 0,470 * 6,0 * \frac{7,3}{2} * 1,5 = 15,440 \text{ kN}$$

$$W_{3,Ed} = w_{e,D} * zš * h * \gamma_F = 0,470 * 6,0 * \frac{7,6}{2} * 1,5 = 16,074 \text{ kN}$$

8.4.2 Diagonála

Vnitřní síly

$$N_{Ed,t} = 11,49 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,c} = 21,68 \text{ kN}$$

TR 82,5/4,0

$$A = 987 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 76,2 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i = 27,8 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355

Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez a síla v tlačené diagonále (v absolutní hodnotě) je větší než síla v tažené. L_{cz} stanovíme ze vzorce, kde $L_t=L_c$.

$$L = \sqrt{6000^2 + 6000^2} = 8485 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L_z * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,t} * L_t}{N_{Ed,c} * L_c}} = 8485 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{11,49}{21,68}} = 8485 * 0,78 = 6586 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{6586}{27,8} = 236,907$$

$$\lambda_1 = 76,399$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{236,907}{76,399} = 3,10 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,090$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,090 * 987 * 355 = 31,535 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 21,68 \text{ kN}$$

Návrh TR 82,5/4,0 vyhoví.

8.4.3 Svislice ztužidla

$$N_{Ed,c} = 15,54 \text{ kN}$$

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

TR 76,1/4,0

$$A = 906 \text{ mm}^2$$

$$i = 26 \text{ mm}$$

třída 1 pro tlak, S355

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{26} = 230,769$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{230,769}{76,399} = 3,02 \xrightarrow{\text{kř.c}} \chi = 0,094$$

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,094 * 906 * 355 = 30,233 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 15,54 \text{ kN}$$

Návrh svislice TR 76,1/4,0 vyhoví.

9. RÁMOVÝ ROH

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = 423,94 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 140,53 \text{ kN}$$

Šrouby M27 třídy pevnosti 8.8, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Profil IPE 550, ocel S355, $f_u = 490 \text{ MPa}$

$$t_w = 11,1 \text{ mm}, t_f = 17,2 \text{ mm}, d = 467,6 \text{ mm}$$

9.1 Návrh svarů

Návrh svarů proveden konzervativně na plnou únosnost průřezu.

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} * \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) * \left(\frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{17,2}{2} * \left(\frac{355}{1,0} \right) * \left(\frac{0,9 * 1,25}{\frac{490}{\sqrt{2}}} \right) = 9,913$$

$$a_1 = 10 \text{ mm}$$

Svar čelní desy a tlačené pásnice příčle

Svar je uvažován stejné tloušťky jako u horní pásnice.

$$a_2 = 10 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_3 \geq \frac{t_w}{2} * \left(\frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) * \left(\frac{\beta_w * \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{11,1}{2} * \left(\frac{355}{1,0} \right) * \left(\frac{0,9 * 1,25}{\frac{490}{\sqrt{2}}} \right) = 6,397$$

$$a_3 = 7 \text{ mm}$$

Svar výztuhy a stojiny sloupu

Výška svaru je uvažována stejně jako u stojiny a čelní desky.

$$a_3 = 7 \text{ mm}$$

9.2 Únosnost dílčích komponent

Dílčí komponenty přípoje budou navrženy odhadem na základě tloušťek sloupu a příčle.

Výztuha stojiny sloupu

$$t_v \cong t_f = 17,2 \text{ mm} \text{ (tloušťka pásnice příčle)}$$

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

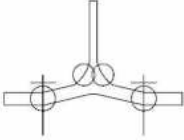
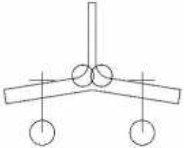
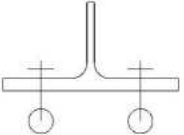
Tloušťka čelní desky

$$t_d \cong t_f = 17,2 \text{ mm} \text{ (tloušťka pásnice sloupu)}$$

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

9.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu

Pro výpočet únosnosti ohýbané pásnice a čelní desky bude použit model náhradního T-průřezu, jehož únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení:

Způsob 1	Plastický mechanismus (4 plastické klouby)		$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m}$
Způsob 2	Plastický mechanismus – páčení		$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n}$
Způsob 3	Porušení šroubů v tahu		$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 459 * 800}{1,25} = 264,384 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{fc} = 17,2 \text{ mm}$$

$l_{eff,1}$ je efektivní šířka T – průřezu pro kruhové porušení

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{fc} = 17,2 \text{ mm}$$

$l_{eff,2}$ je efektivní šířka T – průřezu pro nekruhové porušení

9.3.1 Řada šroubů pod taženou pásnicí

Součinitel α odečten z grafu pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky dle ČSN 1993-1-8.

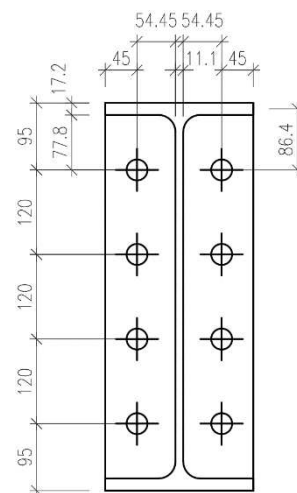
Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$c_1 = 0,8 * a_1 * \sqrt{2} = 0,8 * 10 * \sqrt{2} = 11,314 \text{ mm}$$

$$m_2 = 77,80 - c_1 = 77,80 - 11,314 = 66,486 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 * a_2 * \sqrt{2} = 0,8 * 7 * \sqrt{2} = 7,920 \text{ mm}$$

$$m = 54,45 - c_2 = 54,45 - 7,920 = 46,530 \text{ mm}$$



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,530}{46,530 + 45} = 0,508$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{66,486}{46,530 + 45} = 0,726$$

$$\alpha = 5,35$$

$$n = \min\left(\frac{e}{1,25 * m}\right) = \min\left(\frac{45}{1,25 * 46,530}\right) = 45 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky náhradního T-průřezu

a) Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 46,530 = 292,360 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \alpha * m = 5,35 * 46,53 = 248,936 \text{ mm}$$

b) Řada šroubů působí jako součást skupiny

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \pi * m + p = \pi * 46,530 + 120 = 266,178 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = 0,5 * p + \alpha * m - (2 * m + 0,625 * e)$$

$$l_{eff,nc} = 0,5 * 120 + 5,35 * 46,530 - (2 * 46,530 + 0,625 * 45) = 187,751 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = \min(266,178; 187,751) = 187,751 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 187,751 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 187,751 * 17,2^2 * \frac{355}{1,0} = 4,930 \text{ kNm}$$

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 4,930 * 10^6}{46,530} = 423,813 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 4,93 * 10^6 + 45 * 2 * 264,384 * 10^3}{46,530 + 45} = 367,689 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 264,384 = 528,768 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(423,813; 367,689; 528,768) = \boxed{367,689 \text{ kN}}$$

9.3.2 Vnitřní řada šroubů

Součinitel α odečten z grafu pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky dle ČSN 1993-1-8.

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

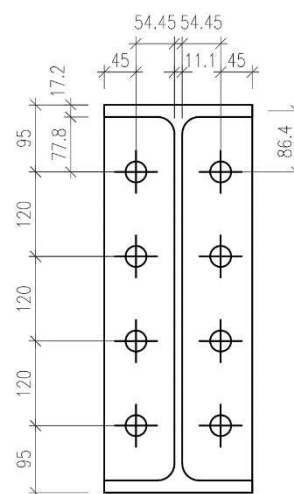
$$m_2 = p = 120 \text{ mm}, c_2 = 7,920 \text{ mm}, m = 46,530 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,530}{46,530 + 45} = 0,508$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{120}{46,530 + 45} = 1,311$$

$$\alpha = 5,25$$

$$n = \min\left(\frac{e}{1,25 * m}\right) = \min\left(\frac{45}{1,25 * 46,53}\right) = 45 \text{ mm}$$



Výpočet efektivní šířky náhradního T-průřezu

a) Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 46,530 = 292,360 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = 4 * m + 1,25 * e = 4 * 46,530 + 1,25 * 45 = 242,370 \text{ mm}$$

b) Řada šroubů působí jako součást skupiny

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 * p = 2 * 120 = 240 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = p = 120 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = \min(240; 120) = 120 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 120 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} * 120 * 17,2^2 * \frac{355}{1,0} = 3,151 \text{ kNm}$$

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 3,151 * 10^6}{46,530} = 270,879 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 3,15 * 10^6 + 45 * 2 * 264,384 * 10^3}{46,530 + 45} = 328,816 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 264,384 = 528,768 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(270,879; 328,816; 528,768) = \boxed{270,879 \text{ kN}}$$

9.3.3 Spodní řada šroubů – smyková únosnost

Šrouby ve 4. řadě se použijí pro přenos smykové síly, která konzervativně nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti. Jsou navrženy šrouby M27 třídy 8.8 → $\alpha_v = 0,6$.

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 459 * 800}{1,25} = 176,256 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

Únosnost v otláčení se určí pro menší hodnotu z tloušťky pásnice sloupu a čelní desky

$$t_f = 17,2 \text{ mm} \rightarrow \text{rozhoduje}$$

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

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 1,0 * 470 * 27 * 17,2}{1,25} = 436,536 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{437,8}{3 * 30}; \frac{800}{470}; 1,0\right) = \min(4,86; 1,70; 1,0) = 1,0$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 * \frac{45}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(2,5; 2,5) = 2,5$$

Posouzení únosnosti ve smyku

$$V_{Rd} = 2 * \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 * \min(176,256; 436,536) = 2 * 176,256 = 352,512 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 352,512 \text{ kN} > V_{Ed} = 140,530 \text{ kN}$$

Rámový spoj vyhoví na smykovou únosnost.

9.4 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_{yk}}{(h - t_f) * \gamma_{M0}} = \frac{2 787,0 * 10^3 * 355}{(550 - 17,2) * 1,0} = 1 856,954 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 1 856,954 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 367,689 + 2 * 270,879 = 909,447 \text{ kN}$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku

Ověření třídy průřezu stěny sloupu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,126 \leq 69 * \varepsilon = 69 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 56,140$$

Stěna neboulí ve smyku.

Únosnost

$$V_{wD,Rd} = \frac{0,9 * f_y * A_{v,z}}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{0,9 * 355 * 7\,234}{\sqrt{3} * 1,0} = 1\,334,408 \text{ kN}$$

$$V_{wD,Rd} = 1\,334,41 \text{ kN} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 367,689 + 2 * 270,879 = 909,447 \text{ kN}$$

Obě podmínky vyhoví, není nutné přidávat výztuhy.

9.5 Rozdělení sil a momentová únosnost

Z důvodu splnění předchozích podmínek a pokud bude splněna následující podmínka lze uvažovat plastické rozdělení.

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,1,Rd} = 365,198 \text{ kN} \leq 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 264,384 = 502,330 \text{ kN}$$

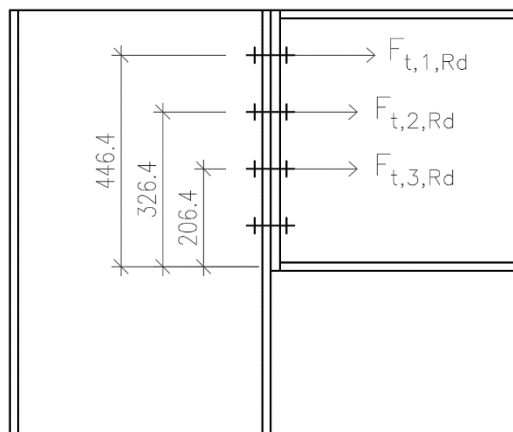
$$F_{t,2-3,Rd} = 270,879 \text{ kN} \leq 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 264,384 = 502,330 \text{ kN}$$

Byly splněny všechny podmínky:

Řada	Únosnost řady $F_{t,i,Rd}$	Rameno h_i	$M_{Rd,i}$
1	367,689 kN	446,4 mm	164,136
2	270,879 kN	326,4 mm	88,415
3	270,879 kN	206,4 mm	55,909
		Σ	308,460

$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} * h_i$$

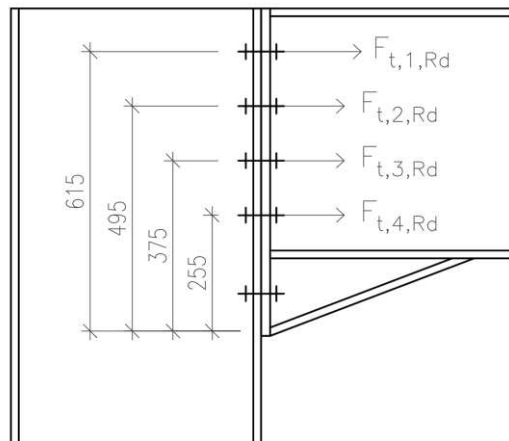
$$M_{Rd} = 308,460 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 423,94 \text{ kNm}$$



Rámový spoj nevyhoví na momentovou únosnost.

9.6 Řešení

Bude navržena pátá řada šroubů pod pásnicí. Náběh je ze stejného profilu IPE550.



9.6.1 Ověření únosnosti základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = 1\,856,954 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 367,689 + 3 * 270,879 = 1180,326 \text{ kN}$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku

$$V_{wp,Rd} = 1\,334,41 \text{ kN} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 367,689 + 3 * 270,879 = 1180,326 \text{ kN}$$

Obě podmínky vyhoví, není nutné přidávat výtuhy.

9.6.2 Rozdělení sil a momentová únosnost

Řada	Únosnost řady $F_{t,i,Rd}$	Rameno h_i	$M_{Rd,i}$
1	367,689 kN	615 mm	226,129
2	270,879 kN	495 mm	134,085
3	270,879 kN	375 mm	101,580
4	270,879 kN	255 mm	69,074
		Σ	530,868

$$M_{Rd} = \sum F_{t,i,Rd} * h_i$$

$$M_{Rd} = 530,868 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 423,94 \text{ kNm}$$

Rámový spoj vyhoví na momentovou únosnost.

10.2 Patka sloupu ztužidla

10.2.1 Únosnost v tlaku

Stanovena pro patku sloupu Ztužidla 2.

$$N_{Ed,max} = N_{Ed,sloup} + N_{Ed,diag.} = 164,56 + \cos(40,6^\circ) * 20,81 = 180,360 \text{ kN}$$

Betonová patka:

$$a_c = 0,66 \text{ m}$$
$$b_c = 1,00 \text{ m}$$
$$h = 0,5 \text{ m}$$

Započitatelné rozměry betonové patky

$$a_1 = \min(3a_0, a_0 + h, a_c) = \min(3 * 310, 310 + 500, 660) = 930 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3b_0, b_0 + h, b_c) = \min(3 * 650, 650 + 500, 1000) = 1950 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{930 * 1950}{310 * 650}} = 3,0$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{3,0 * 16}{1,5} = 21,333 \text{ MPa}$$

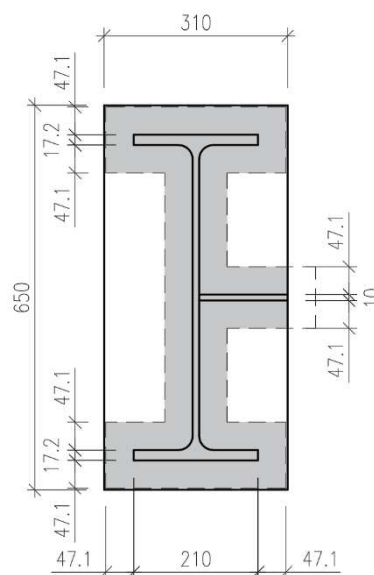
Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{355}{3 * 21,333}} = 47,104 \cong 47,1 \text{ mm}$$

Efektivní plocha (stanovena graficky)

$$A_{eff} = 122\,814 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 122\,814 * 21,106 * 10^{-3} = 2\,592,112 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 180,360 \text{ kN}$$



Patka na tlak vyhoví.

Příloha 5

10.2.2 Kotevní šrouby

Kotevní šrouby jsou navrženy dle softwaru PROFIS Anchor od společnosti Hilti a přenášejí pouze tah.

Lepená rozpěrná kotva bez čistění HIT-HY 200-A + HIT-Z M20

Zatížení

Největší tahová síla v patě sloupu (KZS5) + největší tahová reakce podélného ztužidla

$$N_{Ed} = 3,42 + 37,35 = 40,770 \text{ kN}$$

Únosnost

$$N_{Rd} = 80,438 \text{ kN}$$

Využití

$$\beta_N / \beta_V = 51\%$$

Návrh kotev vyhovuje.

10.2.3 Únosnost ve smyku

Pro přenesení vodorovných posouvajících sil do betonové patky bude navržena smyková zarážka délky 80 mm. Smyková zarážka bude u všech patek stejná.

Vnitřní síly

Posouvající síly (vždy uvažována největší vodorovná reakce působící v patě sloupu ztužidla)

$$V_{Ed,y} = 20,250 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 66,120 \text{ kN}$$

Momenty

$$e = 30 + \frac{50}{2} = 55 \text{ mm}$$

$$M_{Ed,y} = V_{Ed,y} * e = 20,250 * 10^3 * 55 = 1,114 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = V_{Ed,z} * e = 66,120 * 10^3 * 55 = 3,637 \text{ kNm}$$

HEA 100

ocel S355, třída průřezu 1

$$b = 100 \text{ mm}, t_w = 5,0 \text{ mm}, t_f = 8,0 \text{ mm}, d = 56 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 83,01 * 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{pl,z} = 41,14 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 2\,124 \text{ mm}^2$$

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

Posouzení

Posouzení na smyk

$$V_{Rd,y} = \frac{(2 * t_f * b) * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{(2 * 8,0 * 100) * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 327,935 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 20,250 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{756 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 154,949 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 66,120 \text{ kN}$$

Posouzení na ohyb

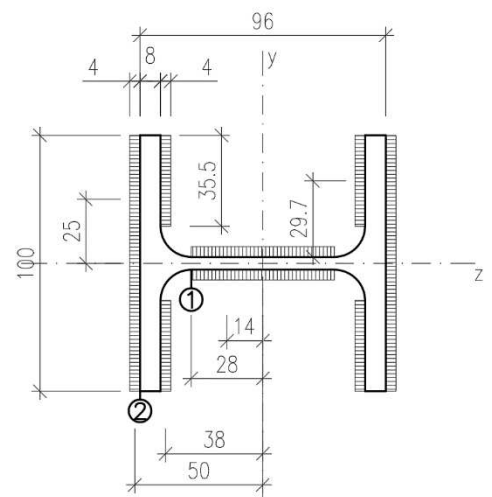
$$\frac{M_{Ed,y}}{W_y * f_y} + \frac{M_{Ed,z}}{W_z * f_y} = \frac{1,114 * 10^6}{83,01 * 10^3 * 355} + \frac{3,637 * 10^6}{41,14 * 10^3 * 355} = 0,287 \leq 1,0$$

Zarážka vyhoví.

Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu a = 4 mm

$$I_{w,y} = 2 * \left[\begin{array}{l} \left(\frac{1}{12} * 4^3 * 100 + 100 * 4 * 50^2 \right) + \\ 2 * \left(\frac{1}{12} * 4^3 * 35,5 + 35,5 * 4 * 38^2 \right) + \\ 2 * \left(\frac{1}{12} * 28^3 * 4 + 28 * 4 * 14^2 \right) \end{array} \right]$$

$$I_{w,y} = 2,939 * 10^6 \text{ mm}^4$$



$$I_{w,z} = 2 * \left[\left(\frac{1}{12} * 100^3 * 4 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * 35,5^3 * 4 + 35,5 * 4 * 29,7^2 \right) \right]$$

$$I_{w,z} = 1,227 * 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení v bodě 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z}}{2 * a * l} = \frac{66,120 * 10^3}{2 * 4 * (2 * 28)} = 147,589 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{V_{Ed,z} * e}{\frac{I_{w,y}}{z_1}} + \frac{V_{Ed,y} * e}{\frac{I_{w,z}}{y_1}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{66,120 * 10^3 * 55}{\frac{2,939 * 10^6}{28}} + \frac{20,250 * 10^3 * 55}{\frac{1,227 * 10^6}{2,5}} \right)$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 26,103 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{26,103^2 + 3 * (26,103^2 + 147,589^2)} = 260,908 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \geq 260,908 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 26,103 \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490}{1,25} = 325,8 \text{ MPa}$$

Posouzení v bodě 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,y}}{2 * a * l} = \frac{20,250 * 10^3}{2 * 4 * 100 + 4 * 4 * 35,5} = 14,803 \text{ MPa}$$

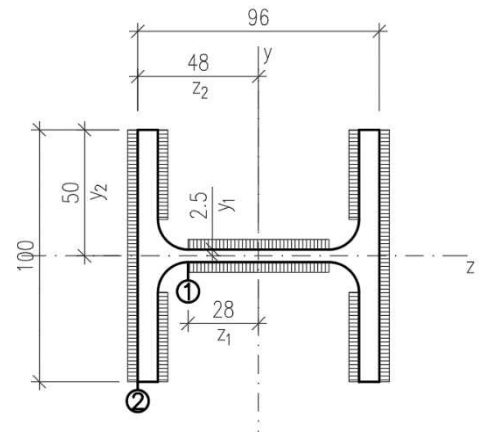
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{V_{Ed,z} * e}{\frac{I_{w,y}}{z_2}} + \frac{V_{Ed,y} * e}{\frac{I_{w,z}}{y_2}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{66,120 * 10^3 * 55}{\frac{2,939 * 10^6}{48}} + \frac{20,250 * 10^3 * 55}{\frac{1,227 * 10^6}{50}} \right)$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 74,089$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{74,089^2 + 3 * (74,089^2 + 14,803^2)} = 150,380 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \geq 150,380 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 74,089 \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490}{1,25} = 325,8 \text{ MPa}$$



Svar zarážky vyhoví.

10.3 Návrh přípoje diagonály

10.3.1 Návrh šroubů M16 8.8

Největší síla v diagonále $N_{Ed} = 20,81 \text{ kN}$

Únosnost ve stříhu

Jedna střížná plocha, závit po celé délce šroubu

$$F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

Běžné rozteče, $t = 10 \text{ mm}$, ocel S355

$$F_{b,Rd} = 120,9 \text{ kN}$$

Potřebný počet šroubů

Rozhoduje únosnost ve stříhu. Styčnickový plech diagonály je tl. 10 mm.

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{20,81}{60,3} = 0,35$$

$$2 * 60,3 = 120,6 \text{ kN} > N_{Ed} = 20,81 \text{ kN}$$

Návrh 2x šroub M16 8.8

10.3.2 Návrh a posouzení svarů

Vodorovný svarový přípoj styčnickového plechu

k patnímu plechu P20

2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$
 $L_{we} = 150 \text{ mm}$

$$F_{Hd} = N_{Ed} * \cos\alpha = 20,81 * \cos(49,4) = 13,543 \text{ kN}$$

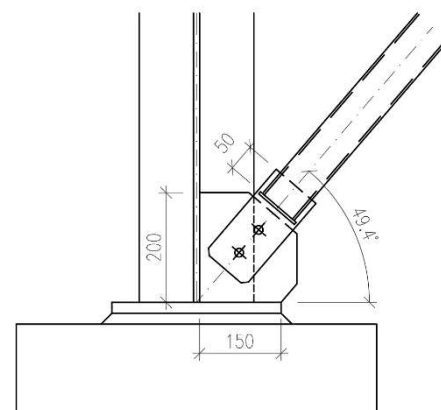
$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 * a * L_{we}} = \frac{13,543 * 10^3}{2 * 4 * 150} = 11,286 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 * 11,286^2} = 19,548 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_W * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa} \geq 19,548 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490}{1,25} = 353 \text{ MPa}$$



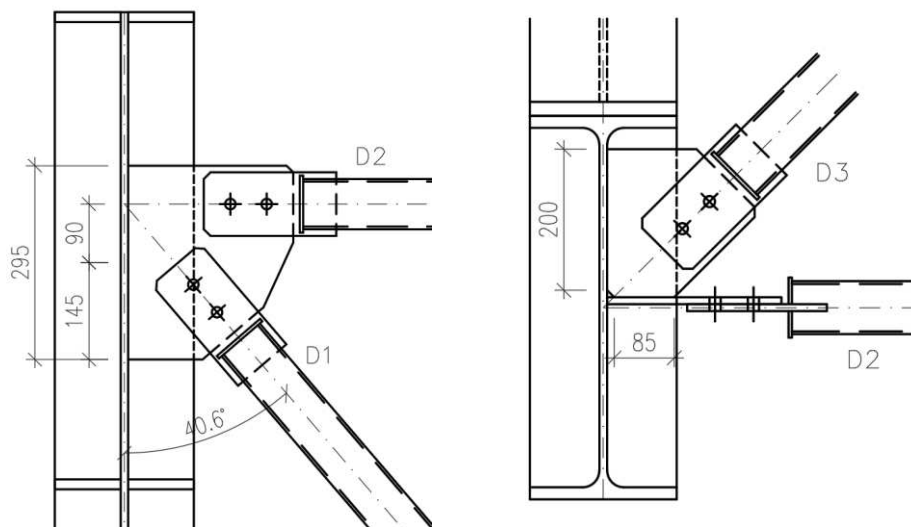
Svar $a = 4 \text{ mm}$ vyhoví.

11. DALŠÍ VYBRANÉ DETAILS

11.1 Detail napojení ztužidel hlavní vazby v místě rámového rohu

POHLED BOČNÍ

POHLED SHORA



11.1.1 Ověření návrhu šroubů M16 8.8

Síly v diagonálách: $N_{Ed,1} = 20,81 \text{ kN}$
 $N_{Ed,2} = 15,54 \text{ kN}$
 $N_{Ed,3,t} = -11,49 \text{ kN}$

nebo

$N_{Ed,3,c} = 21,68 \text{ kN}$... maximální síla v diagonále střešního ztužidla

Únosnost ve stříhu

Jedna střížná plocha, závit po celé délce šroubu

$$F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

Běžné rozteče, $t = 10 \text{ mm}$, ocel S355

$$F_{b,Rd} = 120,9 \text{ kN}$$

Potřebný počet šroubů

Rozhoduje únosnost ve stříhu. Styčnickový plech je tl. 10 mm.

$$\frac{N_{Ed,max}}{F_{v,Rd}} = \frac{21,68}{60,3} = 0,36$$

$$2 * 60,3 = 120,6 \text{ kN} > N_{Ed,3} = 21,68 \text{ kN}$$

Návrh 2x šroub M16 8.8

Vodorovný svarový přípoj styčnickového plechu diagonály D3 ke stojině sloupu IPE550

2x koutový svar a = 4 mm

 L_{we} = 200 mm

$$F_{Hd,2} = N_{Ed,3,c} * \sin\alpha = 21,68 * \sin(45) = 15,330 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 * a * L_{we}} = \frac{15,330 * 10^3}{2 * 4 * 200} = 9,581 \text{ MPa}$$

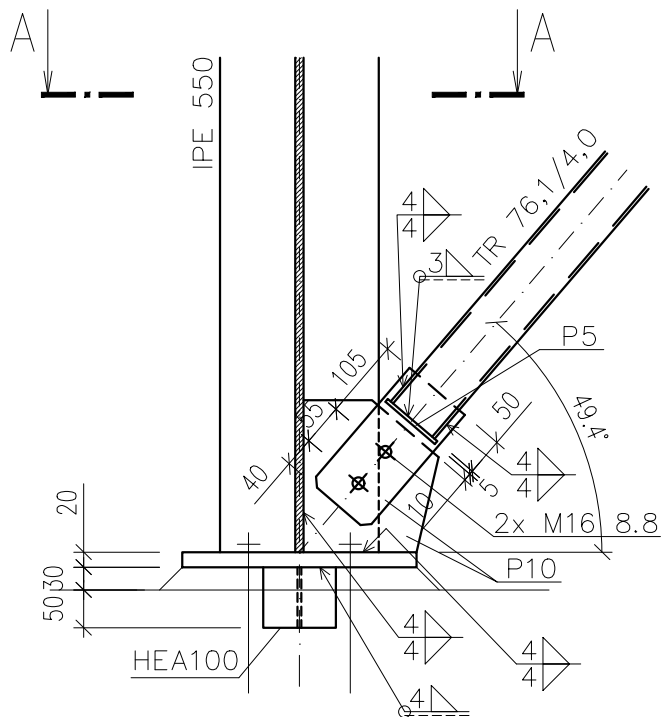
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 * 9,581^2} = 16,595 \text{ MPa}$$

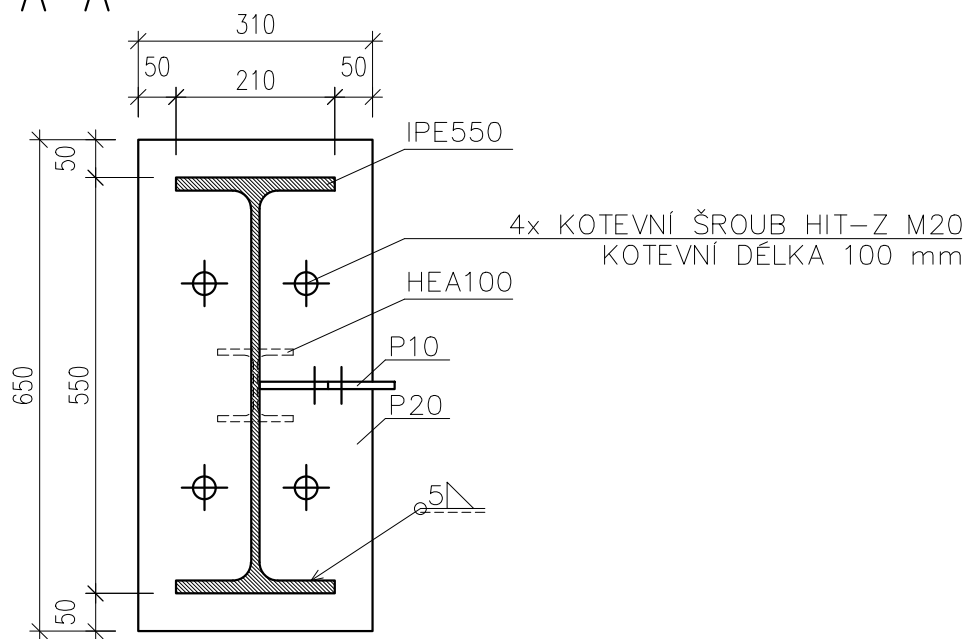
$$\frac{f_u}{\beta_W * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 436 \text{ MPa} \geq 16,595 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 490}{1,25} = 353 \text{ MPa}$$

Svar a = 4 mm vyhoví.



ŘEZ A-A



OCEL: S355JR
 BETON: C16/20
 ŠROUBY: 8.8

TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

POZN. SVARY JSOU VŽDY PŘEDEPISOVÁNY NA JMENOVITOU TLOUŠŤKU SVARU, SYMBOL α JE VYNECHÁN

OBOR	KATEDRA	JMÉNO STUDENTA		
SI-C	k134	EVA MATĚJKOVÁ		
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ			
4.	doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.			
AKCE :			FORMÁT	A4
OCELOVÁ KONSTRUKCE AUTOSALONU			MĚŘÍTKO	1:10
			DATUM	květen 2018
OBSAH :			Č. VÝKR.	2
DETAIL 1 – PATKA SLOUPU ZTUŽIDLA				

