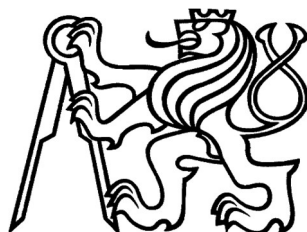


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**TENISOVÁ HALA**

**TENNIS HALL**

Autor:

Kateřina Ježová

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

Studijní obor:

Konstrukce pozemních staveb

2018



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Ježová	Jméno: Kateřina	Osobní číslo: 423278
Zadávací katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Tenisová hala	
Název bakalářské práce anglicky: Tennis hall	
Pokyny pro vypracování: Návrh nosné konstrukce tenisové haly, konkrétně části s tenisovým kurtem (část se zázemím a restaurací není předmětem řešení), 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)
-----------------------	---------------------

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Tenisová hala vypracovala samostatně s použitím uvedených zdrojů a podkladů.

V Praze dne .....

Kateřina Ježová

## **Poděkování**

Mé poděkování patří doc. Ing. Michalovi Janderovi, Ph.D. za pomoc při vedení bakalářské práce, poskytnuté rady a podklady pro její vypracování.



**Anotace**

Bakalářská práce se zabývá návrhem nosné ocelové konstrukce sportovní haly, konkrétně části s tenisovým kurtem. Předmětem řešení je hlavní rámová vazba, štítová stěna a ztužující prvky tenisové haly. Návrh konstrukce je proveden dle Evropských norem a za pomoci dostupného výpočtového softwaru.

**Klíčová slova**

sportovní hala, ocelová rámová konstrukce, nosná konstrukce, ztužení

**Abstract**

The bachelor thesis deals with design of a load bearing steel structure of a sports hall, especially its part with a tennis court. The subject of the design is the main steel portal frame, gable wall and bracing of the tennis hall. The design is done according to European standards and using the available structural software.

**Keywords**

sports hall, steel frame construction, load-bearing structure, bracing

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Zadání, Technická zpráva</b>		
<b>B</b>	<b>Statický výpočet</b>		
<b>C</b>	<b>Výkresová dokumentace</b>		
C.1	Dispozice	A1	1:200
C.2	Detaily	A1	1:10
<b>D</b>	<b>Přílohy</b>		
D.1	Příloha 1 – Dispoziční varianty		
D.2	Příloha 2 – Varianty konstrukčního řešení – SCIA Engineer 17.1		
D.3	Příloha 3 – Rámová konstrukce – SCIA Engineer 17.1		
D.4	Příloha 4 – Štítová stěna – SCIA Engineer 17.11		
D.5	Příloha 5 – Ztužidla – SCIA Engineer 17.1		
D.6	Příloha 6 – Kritické momenty – LTBeamN 1.0.3		
<b>E</b>	<b>Technické listy, Statické tabulky</b>		

# TECHNICKÁ ZPRÁVA

## 1. Základní charakteristika objektu

### 1.1 Identifikační údaje

Název stavby: Sportovní hala  
Umístění stavby: Litomyšl, Česká republika

### 1.2 Architektonické a dispoziční řešení

Sportovní hala v Litomyšli je obdélníkového půdorysu 19 x 63 m, výšce přibližně 10 m ve hřebeni a je rozdělena na dvě části. První částí je jednopodlažní tenisová hala o délce 39,9 m. Druhá třípodlažní část má délku 23,1 m. V přízemí jsou umístěny klubovny a šatny. Ve druhém podlaží je občerstvení a tři squashové kurty přes dvě podlaží. Poslední (třetí) podlaží slouží jako zázemí správce.

Obálka budovy je zateplená, kdy střešní plášť je vaznicový se sendvičovými panely a obvodový plášť je montovaný, sendvičový. Vnější plášť tvoří cementotřískové desky tl. 12 mm a vnitřní plášť dřevoštěpkové desky OSB tl. 12 mm, mezi kterými je tepelná izolace z minerální vlny tl. 140 mm.

## 2. Konstrukční řešení

### 2.1 Základy

Objekt je založen na základových patkách z prostého betonu C16/20. Betonové patky jsou navrženy půdorysných rozměrů 0,75 x 1,1 m o výšce 0,8 m (do nezámrazné hloubky). Na betonových základech jsou kloubově uloženy ocelové patky z nevyztuženého patního plechu o tl. 25 mm, na podlití z malty tl. 30 mm. Lepené kotvy jsou navrženy 4 x M20. Pro přenos vodorovných sil je navržena pro všechny sloupy smyková zarážka délky 50 mm, profil HEB100.

### 2.2 Rámová konstrukce

Konstrukce je ocelová s příčnými rámy IPE 550 v modulu 6,65 m, tzn. celkem 9,5 modulů. Příčle rámu s rozponem 19 m, profilu IPE550 má náběhy z IPE550 (max. výšky 505), délky 5 m. Sloupy jsou také navrženy IPE550, přičemž zaříznutí podélné strany do svahu nemá vliv na návrh rozměrů sloupů, jelikož svah je zajištěn opěrnými stěnami.

Výška sloupů je 10 m, příčle jsou uloženy na sloupy pod sklonem 21,3 %.

### 2.3 Štítová stěna

Návrh byl provedený pro štítovou stěnu tenisové haly. Příčle štítové vazby profilu IPE240 je uložena na krajních sloupech IPE180 a dvou štítových sloupech profilu IPE360. Štítová stěna je opatřena příčnými ztužidly a vodorovnými pomocnými profily vedenými ve výšce 5 m (uprostřed krajních sloupů).

## 2.4 Ztužení

Střešní ztužidla jsou navržena z trubek TR 127/5, TR 102/5 pro diagonály a TR 89/4 pro svislice (konkrétní rozmístění viz. Výkresová dokumentace). Celkem jsou ve střeše objektu umístěna tři střešní ztužidla s mezerou 3 moduly. Prostřední ztužidlo slouží zejména pro stabilizaci příčlí rámu.

Příčná ztužidla z trubek TR 108/4 pro diagonály a TR 89/5 pro vodorovné prvky (konkrétní rozmístění viz. Výkresová dokumentace), jsou v obou štítových stěnách.

Podélné ztužení haly je zajištěno dvěma podélnými ztužidly, přičemž navrženo bylo podélné ztužení v části tenisové haly z trubek TR 57/4 pro diagonály a TR 82.5/4 pro vodorovné prvky. Vodorovné prvky jsou umístěny po celé délce haly a zajišťují oporu proti posunům sloupů v místě přípoje.

## 3. Materiály

Ocel:	S355 JR
	S350 GD pro vaznice a paždíky
	S235 pro lepené kotvy
Šrouby:	8.8
Beton:	C16/20 – XC2 – Cl 0,2
	C25/30 – XC2 – Cl 0,2 (stropní deska)

## 4. Požární bezpečnost

Požární odolnost nebyla předmětem návrhu, přičemž ale musí být minimálně R30. Konstrukce může být chráněna například protipožárním nástřikem.

## 5. Protikorozní ochrana

Konstrukce je vystavena působení prostředí kategorie C1 (vytápěná budova, čistá atmosféra, vnitřní OK - dle EN ISO 12944-2) a nevyžaduje protikorozní ochranu, přesto je vhodné aplikovat antikorozní ochranu, například nátěr, který bude mít dobu životnosti alespoň 15 let. Pozinkováním jsou opatřeny paždíky C140-S, vaznice Z300-S, použité šrouby a lepené kotvy.

## 6. Výroba

Budova je zatříděna do třídy následků CC2 se středními následky s ohledem na ztráty životů. Rizika spojená s používáním konstrukce jsou zařazena do kategorie SC1. Rizika spojená s prováděním konstrukce jsou zařazena do kategorie PC2. Celá konstrukce byl zatříděna dle EN 1090-2 a bude provedena dle třídy provedení EXC2.

## 7. Montáž

Nejprve bude provedena štítová stěna včetně všech ztužujících prvků, za podepření celé konstrukce a následující vazba rámové konstrukce. Dokud se neprovedou podélná a střešní ztužidla v první vazbě, zůstane konstrukce podepřená, potom lze pokračovat v dalších rámových vazbách. Nakonec se namontují paždíky a vaznice a lze aplikovat obvodový a střešní plášť.

Stropní betonová deska bude odlita do trapézových plechů uložených na stropnicích a průvlacích, které nebudou podepřeny za montáže.

## 8. Zatížení

Pro výpočet zatížení větrem byla uvažována větrová oblast II a kategorii terénu III. Pro návrh stropní konstrukce bylo uvažováno proměnné zatížení pro plochy pro shromažďování lidí (kategorie C1) o hodnotě  $3,00 \text{ kN/m}^2$ .

## 9. Použité normy

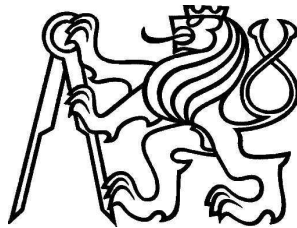
- [1] ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991 Zatížení stavebních konstrukcí
- [3] ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí
- [4] ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

# **B. STATICKÝ VÝPOČET**

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**TENISOVÁ HALA**

**TENNIS HALL**

# Obsah

Podklady pro zpracování .....	5
1. DISPOZICE .....	6
Popis objektu .....	6
Půdorys .....	6
Podélný pohled .....	7
Příčný pohled .....	7
2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ .....	8
2.1 Zatížení větrem .....	8
2.2 Zatížení sněhem .....	10
2.3 Stálé zatížení .....	10
2.3.1 Střešní plášť .....	10
2.3.2 Obvodový plášť .....	12
3. RÁMOVÁ KONSTRUKCE .....	14
3.1 Zatížení .....	14
3.1.1 Zatěžovací stavy .....	14
3.1.2 Kombinace zatěžovacích stavů (MSÚ): .....	15
3.1.3 Kombinace zatěžovacích stavů (MSP): .....	15
3.2. Konstrukční řešení rámové konstrukce .....	16
3.2.1 Varianty konstrukčního řešení .....	16
3.2.2 Posouzení MSP .....	18
3.2.3 Rámové imperfekce .....	18
3.3 Výpočet vnitřních sil .....	18
3.4 Posouzení sloupu (MSÚ) .....	19
3.4.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu: .....	19
3.4.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti: .....	19
3.4.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem .....	21
3.4.4 Posouzení smykové únosnosti .....	22
3.5 Posouzení příčle (MSÚ) .....	23
3.5.1 Zatřídění průřezu příčle namáhané kombinací tlaku a ohybu: .....	23
3.5.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti: .....	23
3.5.3 Posouzení příčle na kombinaci tlaku s ohybem .....	25
3.5.4 Posouzení smykové únosnosti: .....	26
4. ŠTÍTOVÁ STĚNA .....	27
4.1 Zatížení .....	27



4.1.1 Zatěžovací stavy.....	27
4.1.2 Kombinace zatěžovacích stavů (MSÚ).....	28
4.1.3 Kombinace zatěžovacích stavů (MSP).....	28
4.2 Konstrukční řešení.....	29
4.2.1 Předběžný návrh prvků.....	29
4.2.2 Posouzení MSP.....	30
4.2.3 Rámové imperfekce.....	30
4.3 Výpočet vnitřních sil.....	30
4.4 Rámový sloup štítové vazby.....	30
4.4.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu:.....	31
4.4.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:.....	32
4.4.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:.....	33
4.4.4 Posouzení smykové únosnosti:.....	35
4.5 Štítový sloup.....	36
4.5.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu:.....	37
4.5.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:.....	37
4.5.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:.....	38
4.5.4 Posouzení smykové únosnosti:.....	40
4.5.5 Posouzení průhybů.....	40
4.6 Příčel štítové vazby.....	41
4.6.1 Zatřídění průřezu příčle namáhané kombinací tlaku a ohybu:.....	41
4.6.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:.....	42
4.6.3 Posouzení příčle na kombinaci tlaku s ohybem:.....	43
4.6.4 Posouzení smykové únosnosti:.....	44
5. ZTUŽENÍ HALY.....	45
5.1. Příčná ztužidla.....	45
5.1.1 Vodorovné pruty.....	45
5.1.2 Diagonály ztužidla.....	46
5.2 Střešní ztužidla.....	47
5.2.1 Předběžný návrh prvků:.....	48
5.2.2 Svislice ztužidla.....	48
5.2.3 Diagonály ztužidla.....	49
5.3 Podélná ztužidla.....	50
5.3.1 Předběžný návrh prvků:.....	50
5.3.2 Rámové imperfekce.....	50

5.3.3 Vodorovné ztužení.....	51
5.3.4 Diagonály ztužidla.....	51
6. STROP ZÁZEMÍ.....	53
6.1 Dispozice.....	53
6.2 Zatížení.....	54
6.3 Stropnice.....	54
6.4 Průvlak.....	56
7. RÁMOVÝ ROH.....	58
7.1 Návrh svarů.....	58
7.2 Únosnost dílčích komponent.....	58
7.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu.....	59
7.3.1 Výpočet 1. řady šroubů.....	59
7.3.2 Výpočet 2. – 5. řady šroubů.....	61
7.3.3 Výpočet 6. řady šroubů.....	62
7.3.4 Únosnost základních komponent.....	62
7.3.5 Rozdělení sil a momentová únosnost.....	63
8. PATKA SLOUPU.....	64
8.1 Návrh betonové patky sloupu.....	64
8.2 Patka sloupu bez ztužidla.....	65
8.2.1 Tlaková únosnost.....	65
8.2.2 Únosnost ve smyku.....	66
8.3 Patka sloupu ztužidla.....	67
8.3.1 Tlaková únosnost.....	68
8.3.2 Únosnost ve smyku.....	68
9. PŘÍPOJE.....	71
9.1 Přípoj diagonály.....	71
9.1.1 Šroubový přípoj.....	71
9.1.2 Svarový přípoj plechu k diagonále.....	71
9.1.3 Posouzení svarů přípoje diagonály v místě patky.....	72
9.2 Přípoj v místě křížení ztužidel.....	73
9.3 Přípoj podélného ztužidla na sloup.....	73

## Podklady pro zpracování

- [1] Jandera M., Eliášová M., Vraný T.: Ocelové konstrukce 1 – Cvičení. ČVUT Praha, 2015.
- [2] Studnička J.: Ocelové Konstrukce 2 - Zatížení. ČVUT Praha, 2011.
- [3] Studnička J., Macháček J.: Ocelové konstrukce 2. ČVUT Praha, 2005.
- [4] Sokol Z., Wald F.: Ocelové konstrukce – Tabulky. ČVUT Praha, 2016.
- [5] [www.kovprof.cz](http://www.kovprof.cz)
- [6] [www.kingspan.com](http://www.kingspan.com)
- [6] <http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/>

## 1. DISPOZICE

### Popis objektu

Předmětem návrhu je tenisová hala o rozměrech 19 x 39,9 m, která je součástí Sportovní haly o rozpětí 19 m a délce 63 m. Druhá část objektu o rozměrech 19 x 23 je třípodlažní s šatnami, squashovými kurty, restaurací a zázemím. Rámové vazby jsou od sebe vzdáleny 6,65 m – tento rozměr se odvíjí od rozměrů squashových kurtů a tenisové haly (Ostatní varianty viz. Příloha 1).

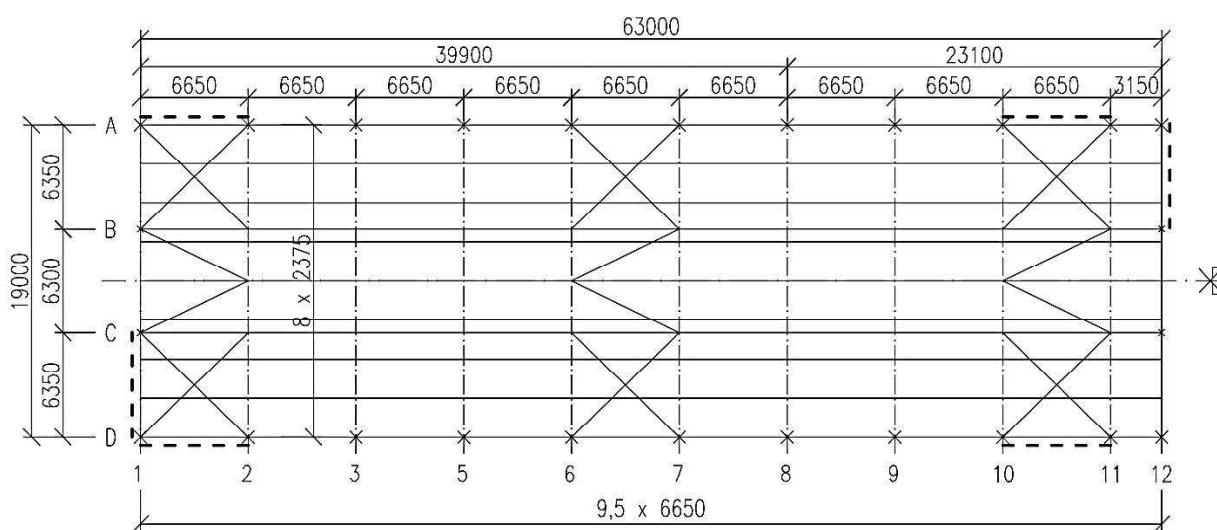
Střeška je sedlová se sklonem 21,3 %. Střešní plášť je navržen (viz. kapitola 2.3.1) z tenkostěnných vaznic a sendvičových panelů, obvodový plášť je navržen (viz. kapitola 2.3.2) jako montovaný, sendvičový.

Sportovní hala leží v České republice ve městě Litomyšl, ve II. větrné oblasti a kategorii terénu III.

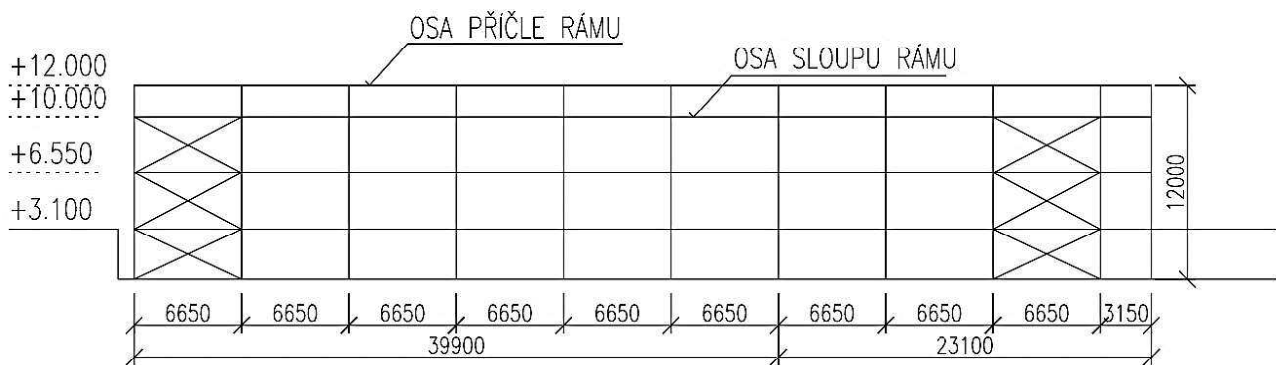
Podélná hrana objektu je zaříznuta do svahu, takže hala je z druhé strany o podlaží nižší. Vnější opěrné stěny jsou z drátokošů vyplněných kamenivem, a proto svah nijak neovlivňuje návrh haly.

Dispoziční výkresy haly jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci.

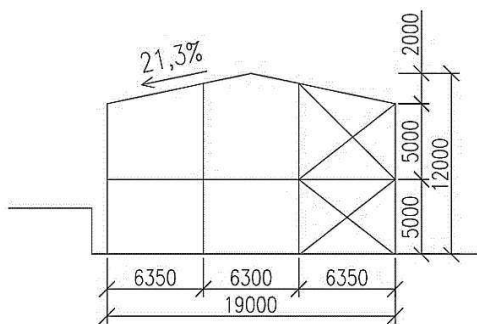
### Půdorys



**Podélný pohled**



**Příčný pohled**



## 2. VÝPOČET ZATÍŽENÍ

### 2.1 Zatížení větrem

Lokalita: Litomyšl  
Větrná oblast: II  $\Rightarrow vb = 25 \text{ m/s}$   
Kategorie terénu: III

Základní tlak větru:

$$q_b = \rho * 0,5 * v_b^2 = 1,25 * 0,5 * 25^2 = 0,39 \text{ kN/m}^2$$

Maximální dynamický tlak:

$$q_p = c_e(z) * q_b(z) = 1,8 * 0,39 = 0,70$$

kde:  $c_e(z) = 1,8$  odečteno z grafu pro  $h = 12 \text{ m}$

Tlak větru na vnější povrch:

$$w_{e,k} = q_p(z_e) * C_{pe10} = 0,70 * C_{pe10} = 0,70 * C_{pe10}$$

Zatížení větrem na jednotlivé části budovy:

Vítr příčný

$$d = 19 \text{ m}; b = 63 \text{ m}; h = 12 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{12}{19} \cong 0,6 \rightarrow \text{hodnoty interpolovány}$$

$$e = \min(b = 63 \text{ m}; 2h = 24 \text{ m}) = 24 \text{ m}$$

$$e = 24 \text{ m} > d = 19 \text{ m} \Rightarrow \text{bez oblasti C}$$

$$h = 12 \text{ m} < b = 63 \text{ m} \Rightarrow \text{konstantní tlakové pásmo}$$

Vítr podélný

$$d = 63 \text{ m}; b = 19 \text{ m}; h = 12 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} = \frac{12}{63} \cong 0,19 < 0,25$$

$$e = \min(b = 19 \text{ m}; 2h = 24 \text{ m}) = 19 \text{ m}$$

$$e = 19 \text{ m} < d = 63$$

$$h = 12 \text{ m} < b = 19 \text{ m} \Rightarrow \text{konstantní tlakové pásmo}$$

Hodnoty  $C_{pe10}$  vyhledány v tabulce pro součinitele vnějšího tlaku pro svislé stěny pozemních staveb s pravouhlým půdorysem:

OBLAST	VÍTR PŘÍČNÝ		VÍTR PODÉLNÝ	
	$C_{pe10}$	$W_{e,k} [\text{kN/m}^2]$	$C_{pe10}$	$W_{e,k} [\text{kN/m}^2]$
A	-1,2	-0,84	-1,2	-0,84
B	-0,8	-0,56	-0,8	-0,56
C	-	-	-0,5	-0,35
D	0,75	0,53	0,7	0,49
E	-0,4	-0,28	-0,3	-0,21

Hodnoty  $C_{pe10}$  vyhledány v tabulce pro součinitele vnějšího tlaku pro sedlové střechy a interpolovány pro sklon střechy  $12^\circ$  (21,3 %):

OBLAST	VÍTR PŘÍČNÝ		VÍTR PODÉLNÝ	
	$C_{pe10}$	$W_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$C_{pe10}$	$W_{e,k}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
F	-1,1	-0,77	-1,4	-0,98
G	-0,9	-0,63	-1,3	-0,91
H	-0,4	-0,28	-0,6	-0,42
I	-0,4	-0,28	-0,5	-0,35
J	-0,8	-0,56	-	-

Součinitelé vnitřních tlaků:

Součinitel vnitřního tlaku  $C_{pi}$  závisí na velikosti a rozdělení otvorů na plášti budovy. Jelikož odhad  $\mu$  není možný, uvažuje se součinitel  $C_{pi}$  jako rozhodující z hodnot +0,2 a -0,3.

a) Příčný vítr

$$e = 24 \text{ m}$$

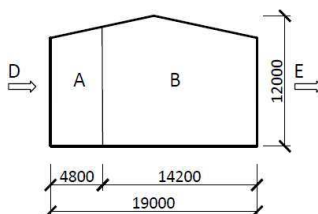
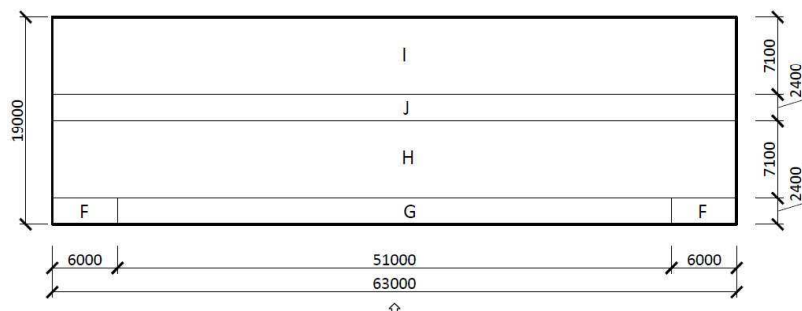
Svislé stěny

$$e/5 = 4,8 \text{ m}$$

Střecha

$$e/4 = 6 \text{ m}$$

$$e/10 = 2,4 \text{ m}$$



b) Podélný vítr

$$e = 19 \text{ m}$$

Svislé stěny

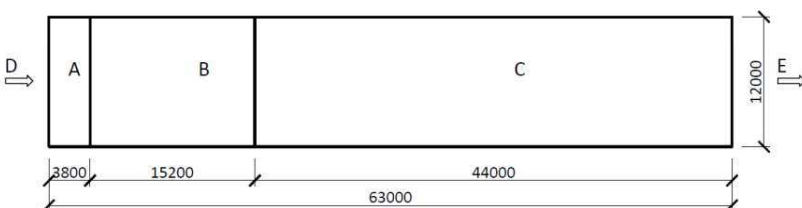
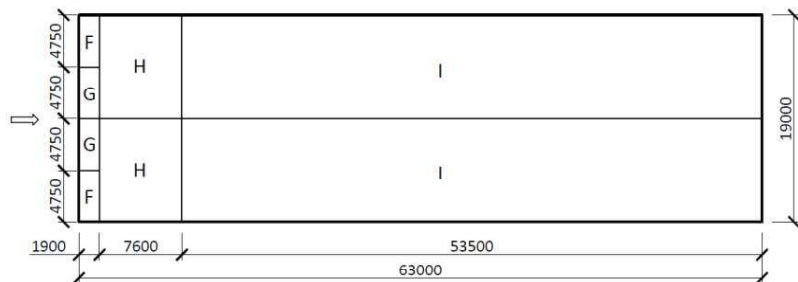
$$e/5 = 3,8 \text{ m}$$

Střecha

$$e/10 = 1,9 \text{ m}$$

$$e/2 - 1,9 = 7,6 \text{ m}$$

$$e/4 = 4,75 \text{ m}$$



## 2.2 Zatížení sněhem

Lokalita: Litomyšl

Hodnota vyhledána na [www.snehovamapa.cz](http://www.snehovamapa.cz):  $s_{k,min} = 1,2 \text{ kN/m}^2$

Úhel sklonu střechy:  $\alpha = 12^\circ \rightarrow \mu_1 = 0,8$

Součinitel expozice:  $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel:  $C_t = 1,0$

Charakteristická hodnota plošného zatížení:

$$s_k = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{k,min} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

## 2.3 Stálé zatížení

### 2.3.1 Střešní plášť

Var. I: Střešní plášť se samonosným interiérovým plechem

Zatížení na interiérový plech:

	fk [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma$ [-]	fd [kN/m <sup>2</sup> ]
TR 35/207/1			
$m = 9,66 \text{ kg/m}^2 = 0,0966 \text{ kN/m}^2$	0,097	1,35	0,131
Tepelná izolace Isover Topsil tl. 160 mm			0,130
$m = 60 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,16 = 0,096 \text{ kN/m}^2$	0,096	1,35	
TR 150/280/1,25			
$m = 17,86 \text{ kg/m}^2 = 0,1786 \text{ kN/m}^2$	0,179	1,35	0,241
Zatížení sněhem	1,00	1,50	1,500
CELKEM	1,37		2,00

Návrh plechu:

TR 150/280/1,25 (Prostý nosník;  $m = 17,86 \text{ kg/m}^2$ )

Posouzení plechu:

$$f_{Ed} = 1,98 \text{ kN/m}^2 < f_{Rd} = 3,96 \text{ kN/m}^2 \text{ (hodnota pro rozpon } 6,75 \text{ m)}$$

$$f_{Ek} = 1,35 \text{ kN/m}^2 < f_{Rd} = 1,66 \text{ kN/m}^2 \text{ (hodnota pro rozpon } 6,75 \text{ m)}$$

Plech vyhoví.

$$\text{Celková hmotnost střešního pláště: } m_{celk,1} = 9,66 + 9,6 + 17,86 = 37,12 \text{ kg/m}^2$$

Var. II: Střešní plášť ze sendvičových panelů – vaznicový systém:

Návrh panelu

Kingspan KS1000 RW 120 (Prostý nosník;  $m = 13,63 \text{ kg/m}^2$ )

Posouzení panelu:

$$\text{pro } s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2 \text{ rozpon } a_{max} = 4,59 \text{ m} < a = 2,375 \text{ m}$$

$$\text{pro } w_{ek} = 0,98 \text{ kN/m}^2 \text{ rozpon } a_{max} = 5,37 \text{ m} < a = 2,375 \text{ m}$$

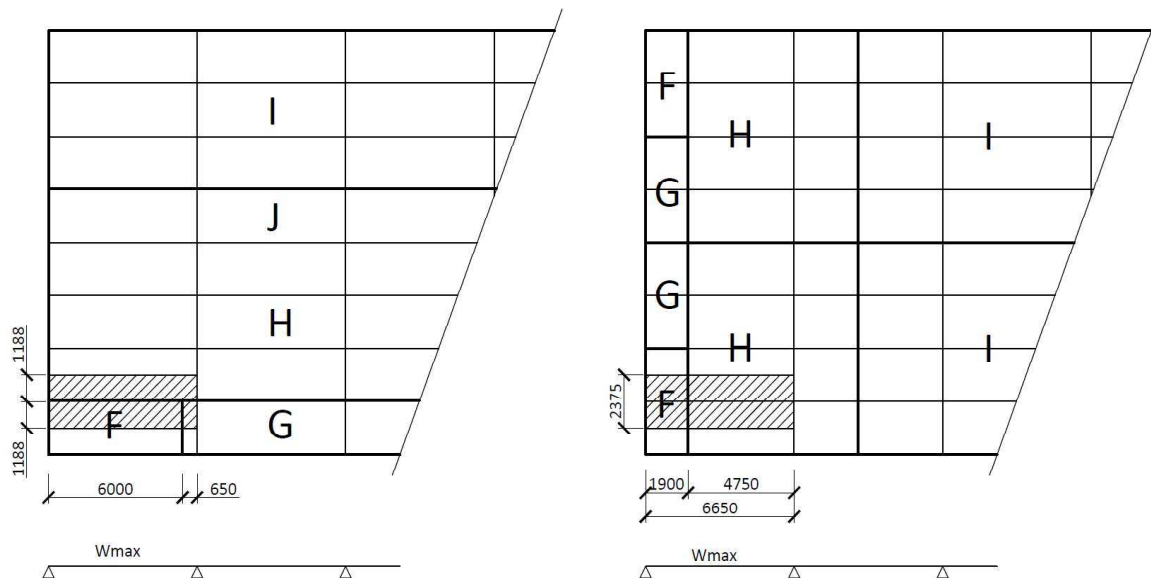
Panel vyhoví.



### Návrh vaznice:

Z 300/2,5-S (Spojitý nosník o 3 polích;  $m = 9,44 \text{ kg/m} = 0,0944 \text{ kN/m}$ )

Největší zatížení působí v krajním poli. Výpočet proveden pro druhou vaznici od kraje:



#### Vítr podélný

$$w = \frac{1}{L} \sum_i (w_{ek} \cdot A)_i = \frac{w_{eF} \cdot (1,9 \cdot 2,375) + w_{eH} \cdot (4,75 \cdot 2,735)}{6,65}$$

$$w_{pod} = \frac{0,98 \cdot (1,9 \cdot 2,375) + 0,42 \cdot (4,75 \cdot 2,735)}{6,65} = -1,49 \text{ kN/m} \dots \text{rozhodující}$$

#### Vítr příčný

$$w = \frac{1}{L} \sum_i (w_{ek} \cdot A)_i = \frac{w_{eF} \cdot (1,188 \cdot 6) + w_{eG} \cdot (1,188 \cdot 0,65) + w_{eH} \cdot (1,188 \cdot 6,65)}{6,65}$$

$$w_{př} = \frac{0,77 \cdot (1,188 \cdot 6) + 0,63 \cdot (1,188 \cdot 0,65) + 0,28 \cdot (1,188 \cdot 6,65)}{6,65} = -1,23 \text{ kN/m}$$

#### Vnitřní tlak

$$w = 0,7 \cdot 0,2 \cdot 2,375 = 0,33 \text{ kN/m}$$

#### Kombinace zatížení

Pozn.: Veškeré zatížení pro druhou vaznici od okraje zvětšeno o 10%.

##### (1) stálé + sníh

$$f_{Ed} = 0,1363 \cdot 2,375 \cdot 1,35 + 0,0944 \cdot 1,35 + 1,0 \cdot 1,5 = 2,06 \cdot 1,1 = 2,26 \text{ kN/m}$$

##### (3) min. stálé + vítr podélný + vnitřní tlak

$$f_{Ed} = 0,1363 \cdot 2,375 \cdot 1,0 + 0,0944 \cdot 1,0 - (1,49 + 0,33) \cdot 1,5 = -2,31 \cdot 1,1 = -2,54 \text{ kN/m}$$

##### (4) stálé + sníh

$$f_{ek} = 0,1363 \cdot 2,375 + 0,0944 + 1,0 = 1,42 \cdot 1,1 = 1,56 \text{ kN/m}$$

**Posouzení vaznice:**

- Přípustné zatížení pro rozpon 7,0 m
  - (1)  $f_{Ed} = 2,26 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 4,58 \text{ kN/m}$
  - (3)  $f_{Ed} = 2,54 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 3,14 \text{ kN/m}$
  - (4)  $f_{ek} = 1,56 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 5,78 \text{ kN/m}$

Vaznice vyhoví.

Celková hmotnost střešního pláště:  $m_{celk,2} = 13,63 + 0,0944/1 = 13,72 \text{ kg/m}^2$

**VOLBA STŘEŠNÍHO PLÁŠTĚ:**

Střešní plášť se samonosným trapézovým plechem má celkovou hmotnost  $37,12 \text{ kg/m}^2$  a střešní plášť ze sendvičových panelů a z vaznic má celkovou hmotnost  $13,72 \text{ kg/m}^2$ . Střešní plášť montovaný z trapézových plechů by byl pravděpodobně levnější, ale po porovnání hmotností navrhují vaznicový systém se sendvičovými panely.

**2.3.2 Obvodový plášť**

Var. I: Plášť skládaný při montáži

	fk [kN/m <sup>2</sup> ]	γ [-]	fd [kN/m <sup>2</sup> ]
Dřevoštěpková deska OSB tl. 12 mm			
$m = 600 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,012 = 0,072 \text{ kN/m}^2$	0,072	1,35	0,097
Paždík C140/1,5			
$m = 3,47 \text{ kg/m} = 0,035 \text{ kN/m}$			
Tepelná izolace Isover Topsil tl. 140 mm			
$m = 60 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,14 = 0,096 \text{ kN/m}^2$	0,096	1,35	0,130
Cementotřísková deska Cetriz BASIC tl. 12 mm			
$m = 1\,350 \text{ kg/m}^3 \cdot 0,012 = 0,162 \text{ kN/m}^2$	0,162	1,35	0,219
CELKEM	0,33		0,45

**Návrh paždíku:**

C140/1,5 (Spojitý nosník o dvou polích;  $m = 3,47 \text{ kg/m} = 0,035 \text{ kN/m}$ )

Svislá vzdálenost paždíků: 0,625 m

**Posouzení paždíku:**

(1) vítr tlak + vnitřní sání

$$f_{Ed} = (0,53 + 0,3 \cdot 0,7) \cdot 0,625 \cdot 1,5 = 0,69 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 3,36 \text{ kN/m}$$

(3) vítr sání + vnitřní tlak

$$f_{Ed} = (-0,84 - 0,2 \cdot 0,7) \cdot 0,625 \cdot 1,5 = 0,88 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 4,02 \text{ kN/m}$$

(5) vítr tlak + vnitřní sání

$$f_{Ek} = (0,53 + 0,3 \cdot 0,7) \cdot 0,625 = 0,46 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 15,6 \text{ kN/m}$$

Celková hmotnost obvodového pláště:  $m_{celk,1} = 33 + 3,5 = 36,5 \text{ kg/m}^2$

## Var. II: Sendvičové panely

### **Návrh panelu:**

Stěnový izolační panel KS1150 TL tl. 120 mm ( $m = 13,29 \text{ kg/m}^2$ )

### **Posouzení panelu:**

(1) vítr tlak + vnitřní sání

$$w_{ek} = (0,53 + 0,3 \cdot 0,7) \cdot 2,0 = 1,48 \text{ kN/m}^2 \text{ rozpon } a_{max} = 5,45 \text{ m} < a = 2,0 \text{ m}$$

(2) vítr sání + vnitřní tlak

$$w_{ek} = (-0,84 - 0,2 \cdot 0,7) \cdot 2,0 = -1,96 \text{ kN/m}^2 \text{ rozpon } a_{max} = 4,62 \text{ m} < a = 2,0 \text{ m}$$

Panel vyhoví.

### **Návrh paždíku:**

C140/1,5 (Spojitý nosník o dvou polích;  $m = 3,47 \text{ kg/m} = 0,035 \text{ kN/m}$ )

Svislá vzdálenost paždíků: 2,0 m

### **Posouzení paždíku:**

(1) vítr tlak + vnitřní sání

$$f_{Ed} = (0,53 + 0,3 \cdot 0,7) \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 2,22 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 3,36 \text{ kN/m}$$

(3) vítr sání + vnitřní tlak

$$f_{Ed} = (-0,84 - 0,2 \cdot 0,7) \cdot 2,0 \cdot 1,5 = 2,94 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 4,02 \text{ kN/m}$$

(5) vítr tlak + vnitřní sání

$$f_{Ek} = (0,53 + 0,3 \cdot 0,7) \cdot 2,0 = 1,48 \text{ kN/m} < f_{Rd} = 15,6 \text{ kN/m}$$

Celková hmotnost obvodového pláště:  $m_{celk,2} = 13,3 + 3,5 = 16,8 \text{ kg/m}^2$

### **VOLBA OBVODOVÉHO PLÁŠTĚ:**

Z estetických důvodů volím pro návrh obvodového pláště variantu I – plášť skládaný při montáži, který je sice těžší, ale více se přibližuje zadání. Vnitřní plášť zde tvoří cementotřískové desky tl. 12 mm a vnitřní plášť je tvořen deskami OSB tl. 12 mm.

### 3. RÁMOVÁ KONSTRUKCE

#### 3.1 Zatížení

##### 3.1.1 Zatěžovací stavy

Pozn.: Hodnoty budou počítány jako charakteristické. Pro druhou rámovou vazbu veškeré zatížení (kromě obvodového pláště) zvětšeno o 10%.

(1) Stálé - vlastní tíha rámu uvažována v softwaru

$$\text{Střešní plášť (viz. 2.3.1): } f_1 = 0,1372 \cdot 6,65 \cdot 1,1 = 1,0 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť (viz. 2.3.2): } F_1 = (0,035 + 0,33 \cdot 0,625) \cdot 6,65 = 1,60 \text{ kN}$$

(2) Minimální stálé - vlastní tíha uvažována v softwaru

Minimální stálé = stálé

(3) Sníh

$$f_3 = 1,0 \cdot 6,65 \cdot 1,1 = 7,32 \text{ kN/m}$$

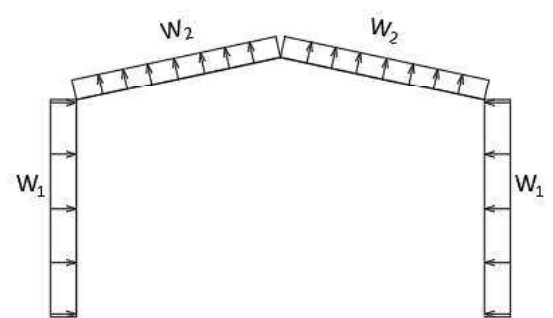
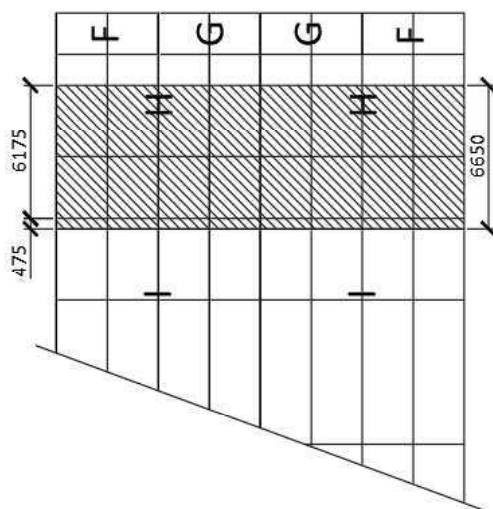
(4) Vítr podélný

$$w_1 = (w_A \cdot 0,475 + w_B \cdot 6,175) \cdot 1,1$$

$$w_1 = (-0,84 \cdot 0,475 - 0,56 \cdot 6,175) \cdot 1,1 = -4,24 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = (w_I \cdot 0,475 + w_H \cdot 6,175) \cdot 1,1$$

$$w_2 = (-0,35 \cdot 0,475 - 0,42 \cdot 6,175) \cdot 1,1 = -3,04 \text{ kN/m}$$



(5) Vítr příčný

$$w_1 = (w_D \cdot 6,65) \cdot 1,1 = (0,53 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = 3,87 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = (w_E \cdot 6,65) \cdot 1,1 = (-0,28 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = -2,05 \text{ kN/m}$$

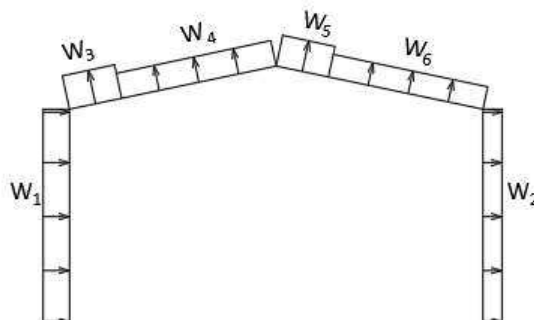
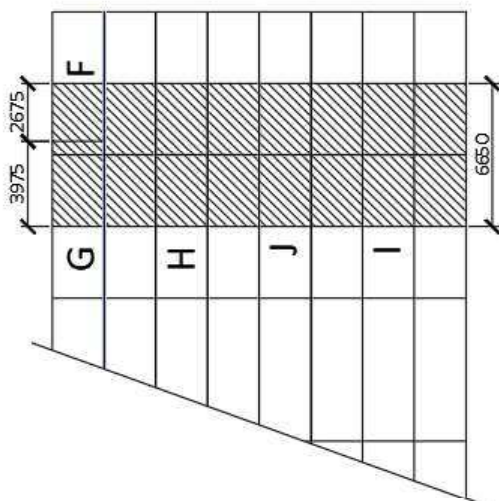
$$w_3 = (w_G \cdot 3,975 + w_F \cdot 2,675) \cdot 1,1$$

$$w_3 = (-0,63 \cdot 3,975 - 0,77 \cdot 2,675) \cdot 1,1 = -5,02 \text{ kN/m}$$

$$w_4 = (w_H \cdot 6,65) \cdot 1,1 = (-0,28 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = -2,05 \text{ kN/m}$$

$$w_5 = (w_J \cdot 6,65) \cdot 1,1 = (-0,56 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = -4,09 \text{ kN/m}$$

$$w_6 = (w_I \cdot 6,65) \cdot 1,1 = (-0,28 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = -2,05 \text{ kN/m}$$



(6) Vnitřní tlak

$$w_t = (0,2 \cdot 0,7 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = 1,02 \text{ kN/m}$$

(7) Vnitřní sání

$$w_s = (-0,3 \cdot 0,7 \cdot 6,65) \cdot 1,1 = -1,54 \text{ kN/m}$$

### 3.1.2 Kombinace zatěžovacích stavů (MSÚ):

- (1)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh}$
- (2)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )
- (3)  $1,35 \cdot \text{stálé} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{sníh} + 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,5$ )
- (4)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní tlak}$
- (5)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,5 \cdot \text{vítr podélný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní tlak}$

### 3.1.3 Kombinace zatěžovacích stavů (MSP):

- (1)  $1,0 \cdot \text{stálé} + 1,0 \cdot \text{sníh}$
- (2)  $1,0 \cdot \text{stálé} + 1,0 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )
- (3)  $1,0 \cdot \text{stálé} + \psi \cdot \text{sníh} + 1,0 \cdot \text{vítr příčný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,5$ )
- (4)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,0 \cdot \text{vítr příčný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní tlak}$
- (5)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,0 \cdot \text{vítr podélný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní tlak}$

### 3.2. Konstrukční řešení rámové konstrukce

#### 3.2.1 Varianty konstrukčního řešení

Předběžný návrh proveden podle následujících kritérií:

MSP

$$\delta_{z,max} \leq \frac{L}{250} = \frac{19\,000}{250} = 76\text{ mm}$$

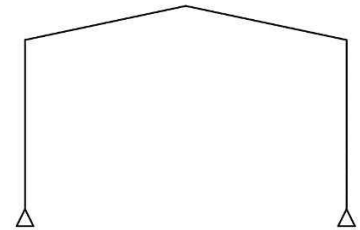
$$\delta_{x,max} \leq \frac{H}{150} = \frac{10\,000}{150} = 66,7\text{ mm}$$

MSÚ

$$\sigma_{x,max} \leq f_{yd} = 355\text{ MPa}$$

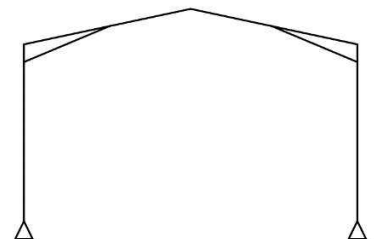
##### Varianta 1

Popis	Rámová konstrukce z IPE profilů a klubovými patkami
Profil příčel	IPE 600
Profil sloup	IPE 600
Max. napětí $\sigma$	145,7 MPa
Max. vodorovný posun $\delta_x$	58,7 mm
Max. svislý posun $\delta_z$	31,2 mm
Množství oceli (rám)	4827 kg
Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>o malý svislý průhyb</li> <li>o jednoduché provedení ocelových patek</li> <li>o malé základové patky</li> </ul>
Nevýhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>o větší vodorovný posun</li> <li>o větší profily oproti variantě s vetknutými patkami</li> </ul>



##### Varianta 2

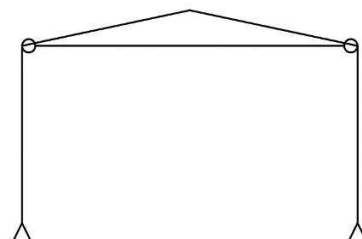
Popis	Rámová konstrukce z IPE profilů, klubovými patkami a náběhy na příčli
Profil příčel	IPE 550 + 505
Profil sloup	IPE 550
Max. napětí $\sigma$	191,0 MPa
Max. vodorovný posun $\delta_x$	61,3 mm
Max. svislý posun $\delta_z$	37,7 mm
Množství oceli (rám)	4652 kg
Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>o malý svislý průhyb</li> <li>o menší profily konstrukce oproti variantě 1</li> </ul>



Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ jednoduché provedení ocelových patek</li> <li>○ malé základové patky</li> </ul>
Nevýhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ větší vodorovný posun</li> <li>○ větší profily oproti variantě 4</li> </ul>

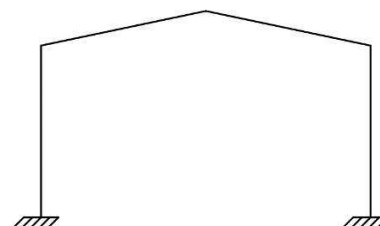
#### Varianta 3

Popis	Rámová konstrukce z IPE profilů, klubovými patkami a táhlem $\varnothing 100$
Profil příčel	IPE 550
Profil sloup	IPE 600
Max. napětí $\sigma$	130 MPa
Max. vodorovný posun $\delta_x$	65,5 mm
Max. svislý posun $\delta_z$	10,6 mm
Množství oceli (rám)	5663 kg
Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ malé svislé průhyby</li> <li>○ jednoduché provedení ocelových patek</li> <li>○ malé základové patky</li> </ul>
Nevýhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ větší vodorovný posun</li> <li>○ velké množství oceli</li> <li>○ táhlo je neefektivní</li> <li>○ velká napětí v táhle</li> </ul>



#### Varianta 4

Popis	Rámová konstrukce z IPE profilů s vetknutými patkami
Profil příčel	IPE 400
Profil sloup	IPE 500
Max. napětí $\sigma$	291,4 MPa
Max. vodorovný posun $\delta_x$	27,6 mm
Max. svislý posun $\delta_z$	71,4 mm
Množství oceli (rám)	3109 kg
Výhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ malé vodorovné posuny</li> <li>○ menší profily konstrukce</li> </ul>
Nevýhody:	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ náročnost provedení ocelových patek</li> <li>○ mohutné základové patky</li> <li>○ větší svislý průhyb</li> </ul>



Pozn.: Max. napětí a deformace pro posuzované varianty jsou uvedeny v Příloze č. 2.

### VOLBA KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ

Nejmenší množství oceli by bylo potřeba pro variantu 4 – rám s vetknutými patkami. Pokud ovšem zauvažujeme pracnost a tím také vyšší cenu provedení vetknutých patek a základů, oproti patkám kloubovým, volím variantu 2 – kloubové patky a příčle s náběhy.

#### Navrhují:

Příčle profilu IPE 550 s náběhy délky 5 m (profil IPE 550 + IPE 550) a sloupy profilu IPE 550.

### 3.2.2 Posouzení MSP

Deformace na rámové konstrukci – uvedeny viz. Příloha č.2

Pro svislý průhyb rozhodující kombinace (1):

$$\delta_z = 37,7 \text{ mm} \leq \delta_{z,max} = 76 \text{ mm}$$

Pro vodorovný průhyb rozhodující kombinace (3):

$$\delta_x = 61,3 \text{ mm} \leq \delta_{x,max} = 66,7 \text{ mm}$$

### 3.2.3 Rámové imperfekce

Imperfekce rámu vyjádřená náklonem sloupů od svislé roviny o úhel  $\phi$ .

Počáteční natočení sloupů:  $\phi_0 = 1/200$

$$\phi = \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \phi_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,866 \cdot \frac{1}{200} = 2,887 \cdot 10^{-3}$$

Součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě:  $m = 2$

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

Redukční součinitel pro výšku:  $h = 10$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10}} = 0,632 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{nutné uvažovat } \alpha_h = \frac{2}{3}$$

### 3.3 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil bude proveden pomocí II. řádu, a to zavedením počátečních imperfekcí náklonem sloupů. Pro výpočet II. řádu a jednoduchý náklon je nejnepříznivější kombinace:

(2)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )

Tabulka shrnutí vnitřních sil:

Vnitřní síly	Kombinace 2				
	Levý sloup	Pravý sloup	Levý roh	Pole	Pravý roh
$N_{ed}$ [kN]	-157,63	-192,47	-62,74	-42,25	-69,83
$V_{ed}$ [kN]	-40,76	48,99	98,55	-24,73	133,33
$M_{ed}$ [kNm]	-165,25	-454,73	--150,72	233,84	-438,60

Pozn.: Veškerá zatížení na rám a vnitřní síly z kombinací uvedených v kapitole 3.1 jsou uvedeny v Příloze č.3.



### 3.4 Posouzení sloupu (MSÚ)

Uvažované vnitřní síly pro posouzení sloupu jsou:

$$N_{Ed} = -192,47 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -454,73 \text{ kNm}$$

**Zvolený průřez pro sloup: IPE 550 ocel S355**

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

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

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

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

#### 3.4.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu:

Posun osy blíže k tažené pásnici

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{192\,470}{11,1 \cdot 355} = 48,84 \text{ mm}$$

Součinitel  $\alpha$  vyjadřující velikost tlačené části stěny

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 467,6 + 48,84}{467,6} = 0,60$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,1 < 47,17 \quad \text{podmínka pro stojinu 1. třídy je splněna}$$
$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,60 - 1} = 47,17$$

$$\text{kde: } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Zatřídění tlačené pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{210}{2} - \frac{11,1}{2} - 24}{17,2} = 4,39$$

$$\frac{c}{t_f} = 4,39 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad \text{podmínka pro pásnici 1. třídy je splněna}$$

#### 3.4.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:

Pro vybočení kolmo k ose „y“ se použije vzpěrná délka  $L_{cr,y}$  v délce systémové vzpěrné délky 10,0 m, jelikož sloup rámu je zajištěn v patce proti posunům. Pro vybočení kolmo k ose „z“ se použije  $L_{cr,z}$  v délce 3,45 m, což je svislá vzdálenost pomocných profilů umístěných po délce haly.

### Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10\,000}{223} = 44,84$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,450}{44,5} = 77,53$$

### Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{44,84}{76,4} = 0,59$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{77,53}{76,4} = 1,01$$

$$\text{kde: } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

### Součinitelé vzpěrnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,6 > 1,2 \wedge t_f = 17,2 \leq 40 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y určeno pomocí křivky "a":  $\chi_y = 0,894$

vybočení kolmo k ose z určeno pomocí křivky "b":  $\chi_z = 0,591$

### Kritický moment

- pro výpočet kritického momentu byl použit software LTBeamN (viz. Příloha č. 6)

$$M_{cr} = 1\,786,6 \text{ kNm}$$

### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} * f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2\,441 \cdot 10^3 \cdot 355}{1\,786,6 \cdot 10^6}} = 0,696$$

Pro válcovaný průřez tvaru „I“:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{0,754 + \sqrt{0,754^2 - 0,75 \cdot 0,696^2}} = 0,829$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{0,696^2} = 2,06 \quad \text{podmínka je splněna}$$

kde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^{-2}\right)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (0,696 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,696^2) = 0,754$$

kde:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ a } \beta = 0,75$$

$$\frac{h}{b} = 2,6 \geq 2 \text{ odpovídá křivka klopení "c" } \stackrel{\text{tab.}}{\implies} \alpha_{LT} = 0,49$$

### 3.4.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

- kde pro nulový moment v patce:  $\psi = 0$
- součinitel ekvivalentního konst. momentu při vybočení s posuvem styčniců:

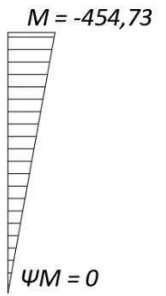
$$c_{my} = 0,9$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 13\,440 \cdot 355 = 4\,771,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 2\,787 \cdot 10^3 \cdot 355 = 989,4 \text{ kNm}$$



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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 \cdot \left( 1 + (0,59 - 0,2) \cdot \frac{192,47 \cdot 10^3}{\frac{0,894 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,9 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{192,47 \cdot 10^3}{\frac{0,894 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min(0,92, 0,93) = 0,92$$

$$k_{zy} = \max = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,01}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{192,47 \cdot 10^3}{\frac{0,591 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{192,47 \cdot 10^3}{\frac{0,591 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max(0,98, 0,98) = 0,98$$

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

Podmínka pro sloup

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1$$
$$\frac{192,47 \cdot 10^3}{0,894 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3} + 0,92 \cdot \frac{454,73 \cdot 10^6}{0,829 \cdot 989,4 \cdot 10^6} = 0,56 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1$$
$$\frac{192,47 \cdot 10^3}{0,591 \cdot 4\,771,2 \cdot 10^3} + 0,98 \cdot \frac{454,73 \cdot 10^6}{0,829 \cdot 989,4 \cdot 10^6} = 0,61 \leq 1$$

Sloup vyhoví.

Podmínka pro průřez

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rk}} + \frac{M_{Ed}}{M_{y,Rk}} < 1$$
$$\frac{192,47 \cdot 10^3}{4\,771,2 \cdot 10^3} + \frac{454,73 \cdot 10^6}{989,4 \cdot 10^6} = 0,50 < 1$$

Průřez vyhoví.

#### 3.4.4 Posouzení smykové únosnosti

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7\,234 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,483 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 48,99 \text{ kN}$$
$$V_{Ed} = 48,99 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 741,5 \text{ kN} \quad \text{Malý smyk}$$

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

Sloup vyhoví.

### 3.5 Posouzení příčle (MSÚ)

Posouzení bude zjednodušeně provedeno v místě největšího napětí  $\sigma_{x,max} = 98,70 \text{ MPa}$  a to ve vzdálenosti  $L \cong 8,0 \text{ m}$ . Uvažované vnitřní síly pro posouzení příčle v tomto průřezu bez náběhu jsou:

$$N_{Ed,max} = -69,83 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 233,84 \text{ kNm}$$

**Zvolený průřez pro příčel: IPE 550 s náběhy délky 5 m (IPE 550 + IPE 550), ocel S355**

Průřezové charakteristiky pro průřez IPE 550:

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

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

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

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

#### 3.5.1 Zatřídění průřezu příčle namáhané kombinací tlaku a ohybu:

Posun osy blíže k tažené pásnici

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{69\,830}{11,1 \cdot 355} = 17,72 \text{ mm}$$

Součinitel  $\alpha$  vyjadřující velikost tlacené části stěny

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 467,6 + 17,72}{467,6} = 0,54$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,1 < 53,58 \quad \text{podmínka pro stojinu 1. třídy je splněna}$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,54 - 1} = 53,28$$

$$\text{kde: } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Zatřídění tlacené pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{210}{2} - \frac{11,1}{2} - 24}{17,2} = 4,39$$

$$\frac{c}{t_f} = 4,39 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad \text{podmínka pro pásnici 1. třídy je splněna}$$

#### 3.5.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:

Pro vybočení kolmo k ose „y“ se použije vzpěrná délka  $L_{cr,y}$  v délce systémové vzpěrné délky 19,4 m. Pro vybočení kolmo k ose „z“ se použije  $L_{cr,z}$  v délce 6,42 m (uvažují připojené ztužující prvky).

Štíhlosti příčle

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{19\,400}{223} = 87,00$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,420}{44,5} = 144,27$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{87,00}{76,4} = 1,14$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{144,27}{76,4} = 1,89$$

$$kde: \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Součinitelé vzpěrnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,6 > 1,2 \wedge t_f = 17,2 \leq 40 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y určeno pomocí křivky "a":  $\chi_y = 0,569$

vybočení kolmo k ose z určeno pomocí křivky "b":  $\chi_z = 0,231$

Kritický moment

○ pro výpočet kritického momentu byl použit software LTBeamN (viz. Příloha č. 6)

○  $\mu_{cr} = 2,164$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \cdot M_{Ed} = 2,164 \cdot 233,84 = 506,03 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{2\,441 \cdot 10^3 \cdot 355}{506,03 \cdot 10^6}} = 1,309$$

Pro válcovaný průřez tvaru „I“:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{1,365 + \sqrt{1,365^2 - 0,75 \cdot 1,309^2}} = 0,471$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,309^2} = 0,58 \quad \text{podmínka je splněna}$$

kde:

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

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,309 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,309^2) = 1,365$$

$$kde: \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

$$\frac{h}{b} = 2,6 \geq 2 \text{ odpovídá křivka klopení "c"} \stackrel{tab.}{\implies} \alpha_{LT} = 0,49$$

### 3.5.3 Posouzení příče na kombinaci tlaku s ohybem

$$\psi = \frac{-150,72}{-438,60} = 0,34$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{210,60}{-438,60} = -0,48$$

pro:  $-1 \leq \alpha_s \leq 0$  a  $0 \leq \psi \leq 1$

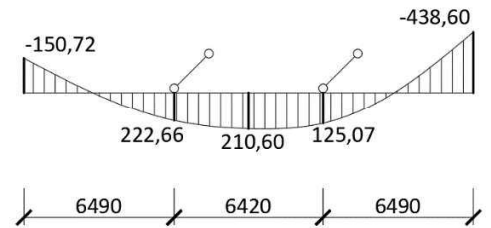
$$c_{my} = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot (-0,48) \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,48 \\ 0,4 \end{array} \right) = 0,48$$

$$\psi = \frac{125,07}{222,66} = 0,56$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{210,60}{222,66} = 0,95$$

pro:  $0 \leq \alpha_s \leq 1$  a  $-1 \leq \psi \leq 1$

$$c_{mLT} = \max \left( \begin{array}{c} 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,2 + 0,8 \cdot 0,95 \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,96 \\ 0,4 \end{array} \right) = 0,96$$



Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 13\,440 \cdot 355 = 4771,2 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 2\,787 \cdot 10^3 \cdot 355 = 989,4 \text{ kNm}$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,48 \cdot \left( 1 + (1,14 - 0,2) \cdot \frac{69,83 \cdot 10^3}{\frac{0,569 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,48 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{69,83 \cdot 10^3}{\frac{0,569 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \left( \begin{array}{c} 0,49 \\ 0,49 \end{array} \right) = 0,49$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 1,89}{(0,96 - 0,25)} \cdot \frac{69,83 \cdot 10^3}{\frac{0,231 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,96 - 0,25)} \cdot \frac{69,83 \cdot 10^3}{\frac{0,231 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left( \begin{array}{l} 0,98 \\ 0,99 \end{array} \right) = 0,99$$

Podmínka pro příčel

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{69,83 \cdot 10^3}{0,569 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}}{1,0} + 0,49 \cdot \frac{\frac{233,84 \cdot 10^6}{0,471 \cdot 989,4 \cdot 10^6}}{1,0} = 0,27 \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{69,83 \cdot 10^3}{0,231 \cdot 4771,2 \cdot 10^3}}{1,0} + 0,99 \cdot \frac{\frac{233,84 \cdot 10^6}{0,471 \cdot 989,4 \cdot 10^6}}{1,0} = 0,56 \leq 1$$

Příčel vyhoví.

Podmínka pro průřez

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

$$\frac{\frac{69,83 \cdot 10^3}{4771,2 \cdot 10^3}}{1,0} + \frac{\frac{224,86 \cdot 10^6}{989,4 \cdot 10^6}}{1,0} = 0,24 < 1$$

Průřez vyhoví.

### 3.5.4 Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{7 \ 234 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1 \ 482,76 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 133,33 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 133,33 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 741,34 \text{ kN} \quad \text{Malý smyk}$$

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

Příčel vyhoví.



## 4. ŠTÍTOVÁ STĚNA

### 4.1 Zatížení

#### 4.1.1 Zatěžovací stavy

Pozn.: Hodnoty budou počítány jako charakteristické.

(1) Stálé - vlastní tíha rámu uvažována v softwaru

$$\text{Střešní plášť (viz. 2.3.1):} \quad f_1 = 0,1372 \cdot 3,325 = 0,46 \text{ kN/m}$$

$$\text{Obvodový plášť (viz. 2.3.2):} \quad F_1 = (0,035 + 0,33 \cdot 0,625) \cdot 3,325 = 0,80 \text{ kN}$$

(2) Minimální stálé - vlastní tíha uvažována v softwaru

Minimální stálé = stálé

(3) Sníh

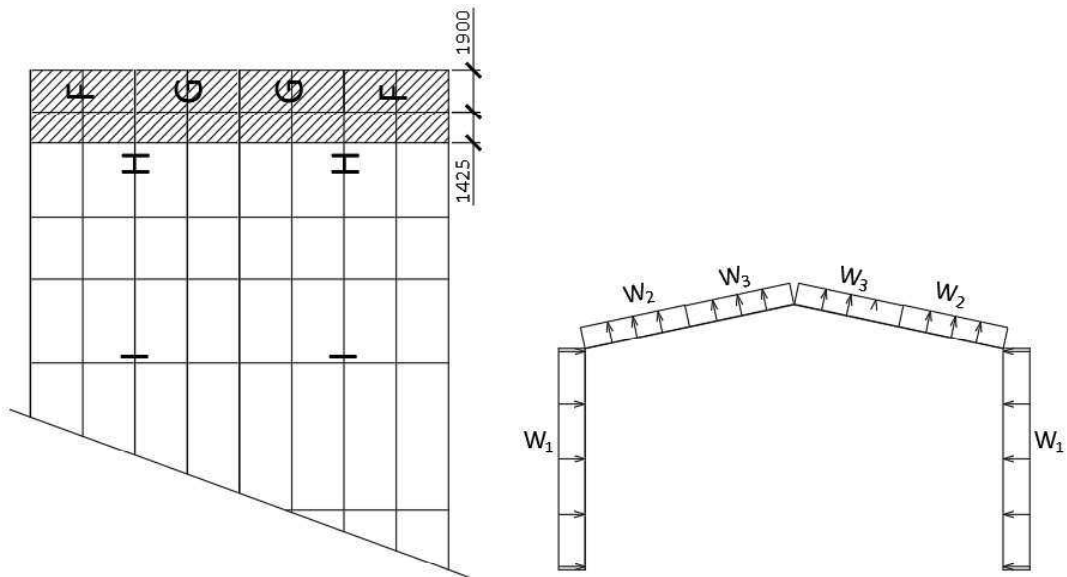
$$f_3 = 1,0 \cdot 3,325 = 3,33 \text{ kN/m}$$

(4) Vítr podélný

$$w_1 = w_A \cdot 3,325 = -0,84 \cdot 3,325 = -2,79 \text{ kN/m}$$

$$w_2 = w_F \cdot 1,9 + w_H \cdot 1,425 = -0,98 \cdot 1,9 - 0,42 \cdot 1,425 = -2,46 \text{ kN/m}$$

$$w_3 = w_G \cdot 1,9 + w_H \cdot 1,425 = -0,91 \cdot 1,9 - 0,42 \cdot 1,425 = -2,33 \text{ kN/m}$$



(5) Vítr příčný

$$w_1 = w_D \cdot 3,325 = 0,53 \cdot 3,325 = 1,76 \text{ kN/m}$$

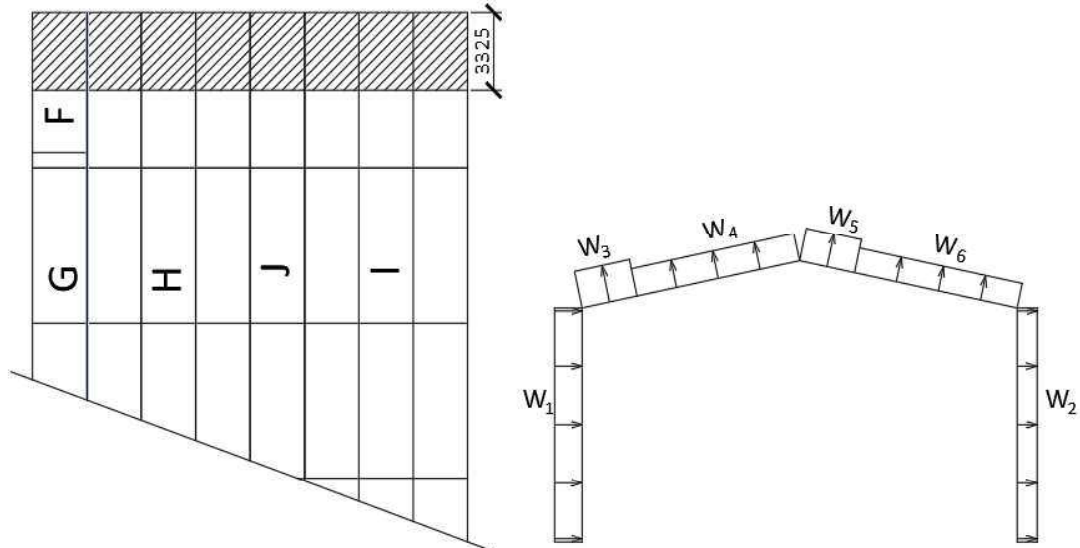
$$w_2 = w_E \cdot 3,325 = -0,28 \cdot 3,325 = -0,93 \text{ kN/m}$$

$$w_3 = w_F \cdot 3,325 = -0,77 \cdot 3,325 = -2,56 \text{ kN/m}$$

$$w_4 = w_H \cdot 3,325 = -0,28 \cdot 3,325 = -0,93 \text{ kN/m}$$

$$w_5 = w_J \cdot 3,325 = -0,56 \cdot 3,325 = -1,86 \text{ kN/m}$$

$$w_6 = w_I \cdot 3,325 = -0,28 \cdot 3,325 = -0,93 \text{ kN/m}$$



(6) Vnitřní tlak

$$w_t = 0,2 \cdot 0,7 \cdot 3,325 = 0,47 \text{ kN/m}$$

(7) Vnitřní sání

$$w_s = -0,3 \cdot 0,7 \cdot 3,325 = -0,70 \text{ kN/m}$$

#### 4.1.2 Kombinace zatěžovacích stavů (MSÚ)

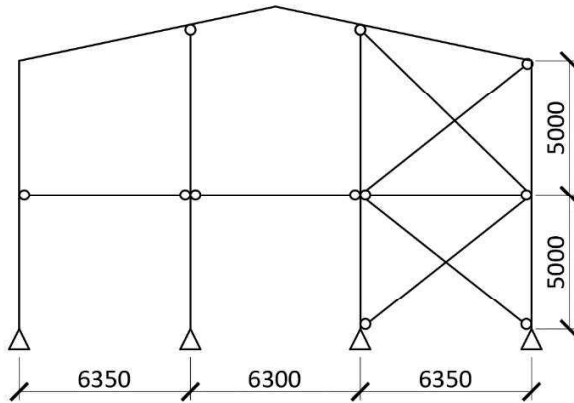
- (1)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh}$
- (2)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )
- (3)  $1,35 \cdot \text{stálé} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{sníh} + 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,5$ )
- (4)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní tlak}$
- (5)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,5 \cdot \text{vítr podélný} + 1,5 \cdot \text{vnitřní tlak}$

#### 4.1.3 Kombinace zatěžovacích stavů (MSP)

- (1)  $1,0 \cdot \text{stálé} + 1,0 \cdot \text{sníh}$
- (2)  $1,0 \cdot \text{stálé} + 1,0 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )
- (3)  $1,0 \cdot \text{stálé} + \psi \cdot \text{sníh} + 1,0 \cdot \text{vítr příčný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,5$ )
- (4)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,0 \cdot \text{vítr příčný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní tlak}$
- (5)  $1,0 \cdot \text{min. stálé} + 1,0 \cdot \text{vítr podélný} + 1,0 \cdot \text{vnitřní tlak}$

## 4.2 Konstrukční řešení

Štítová stěna tenisové haly bude mít dva štítové, kloubově uložené sloupky. Uprostřed sloupů, ve výšce 5 m budou uloženy vodorovně pomocné ztužující profily, které zároveň poslouží k uchycení svislých ztužidel.



### 4.2.1 Předběžný návrh prvků

**Příčel:** **IPE240**

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = 6\,490 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,490}{26,9} \cong 241 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Rámový sloup:** **IPE180**

$$L_{cr,z} = 3\,450 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,450}{20,5} \cong 168 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Štítový sloup:** **IPE360**

$$L_{cr,z} = 6\,340 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr,z} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,340}{37,9} \cong 167,28 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Vodorovné ztužující prvky:** **TR 89/5**

$$L_{cr} = 6\,350 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,350}{29,8} = 213 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Diagonály ztužidla:** **TR 108/4**

$$L_{cr} = 9\,015 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{9\,015}{36,8} = 245 \leq \lambda_{max} = 250$$

#### 4.2.2 Posouzení MSP

Svislý posun

$$\delta_z = 5,3 \text{ mm} \leq \delta_{z,max} = \frac{L}{250} = \frac{6\,490}{250} = 25,96 \text{ mm}$$

Vodorovný posun

$$\delta_x = 5,6 \text{ mm} \leq \delta_{x,max} = \frac{H}{150} = \frac{5000}{150} = 33,3 \text{ mm}$$

#### 4.2.3 Rámové imperfekce

Imperfekce rámu vyjádřená náklonem sloupů od svislé roviny o úhel  $\phi$ .

Počáteční natočení sloupů:  $\phi_0 = 1/200$

$$\phi = \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \phi_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,791 \cdot \frac{1}{200} = 2,637 \cdot 10^{-3}$$

Součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě:  $m = 4$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{4}\right)} = 0,791$$

Redukční součinitel pro výšku:  $h = 10$

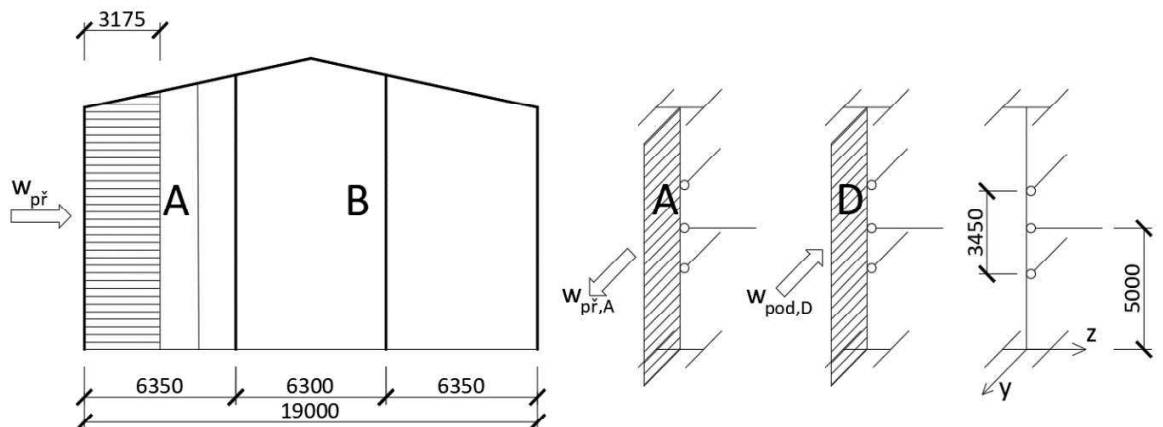
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10}} = 0,632 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{nutné uvažovat } \alpha_h = \frac{2}{3}$$

#### 4.3 Výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil bude proveden pomocí II. řádu, a to zavedením počátečních imperfekcí náklonem sloupů. Pro výpočet II. řádu a jednoduchý náklon je nejnepříznivější kombinace:

(2)  $1,35 \cdot \text{stálé} + 1,5 \cdot \text{sníh} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vítr příčný} + \psi \cdot 1,5 \cdot \text{vnitřní sání}$  ( $\psi = 0,6$ )

#### 4.4 Rámový sloup štítové vazby



$$w_{př} = w_A \cdot 3,175 = -0,84 \cdot 3,175 = -2,67 \text{ kN/m} \dots \text{rozhodující hodnota}$$

$$w_{př} = w_B \cdot 3,175 = -0,56 \cdot 3,175 = -1,78 \text{ kN/m} \dots \text{rozhodující hodnota}$$

$$w_{pod} = w_D \cdot 3,175 = 0,49 \cdot 3,175 = 1,56 \text{ kN/m}$$

Pozn.: Veškeré zatížení, vnitřní síly od kombinace (2) a deformace jsou uvedeny v Příloze č. 4.

Výpočet bude proveden pro pravý sloup, kde je větší normálová síla.

Uvažované vnitřní síly pro posouzení sloupu jsou:

$$N_{Ed} = -48,56 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 6,22 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = -3,29 \text{ kNm}$$

**Zvolený průřez pro sloup: IPE 180, ocel S355**

$$I_y = 1\,317 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_z = 100,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 74,2 \text{ mm} \quad i_z = 20,5 \text{ mm}$$

$$W_{y,el} = 146,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{y,pl} = 166,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,el} = 22,16 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{z,pl} = 34,60 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 2\,395 \text{ mm}^2 \quad A_{vz} = 1\,125 \text{ mm}^2$$

#### 4.4.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu:

Posun osy blíže k tažené pásnici

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{48\,560}{5,3 \cdot 355} = 25,81 \text{ mm}$$

Součinitel  $\alpha$  vyjadřující velikost tlačené části stěny

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 146 + 25,81}{146} = 0,68$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{146}{5,3} = 27,55 < 40,91 \quad \text{podmínka pro stojinu 1. třídy je splněna}$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,68 - 1} = 40,91$$

Zatřídění tlačené pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{91}{2} - \frac{5,3}{2} - 9}{8} = 4,23$$

$$\frac{c}{t_f} = 4,23 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \quad \text{podmínka pro pásnici 1. třídy je splněna}$$

$$\text{kde: } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

#### 4.4.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:

Pro vybočení kolmo k ose „y“ se použije vzpěrná délka  $L_{cr,y}$  v délce 5,0 m, jelikož sloup rámu je zajištěn proti posunům v patce a v místě vodorovných ztužujících profilů. Pro vybočení kolmo k ose „z“ se použije  $L_{cr,z}$  v délce 3,45 m, což je svislá vzdálenost pomocných profilů umístěných po délce haly.

Štíhlosti sloupu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{5\,000}{74,2} = 67,39$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{3\,450}{20,5} = 168,29$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{67,39}{76,4} = 0,88$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{168,29}{76,4} = 2,20$$

$$\text{kde: } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Součinitel vzpěrnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,98 > 1,2 \wedge t_f = 8 \leq 40 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y určeno pomocí křivky "a":  $\chi_y = 0,747$

vybočení kolmo k ose z určeno pomocí křivky "b":  $\chi_z = 0,176$

Kritický moment:

- o pro výpočet kritického momentu byl použit software LTBeamN (viz. Příloha č. 6)

$$M_{cr} = 34,59 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{146,3 \cdot 10^3 \cdot 355}{34,59 \cdot 10^6}} = 1,225$$

Pro válcovaný průřez tvaru „I“:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,203 + \sqrt{1,203^2 - 0,75 \cdot 1,225^2}} = 0,565$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,225^2} = 0,67 \quad \text{podmínka je splněna}$$

kde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2\right)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (1,225 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,225^2) = 1,203$$

kde:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ a } \beta = 0,75$$

$$\frac{h}{b} = \frac{180}{91} = 1,98 \leq 2 \text{ odpovídá křivka klopení "b"} \Rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

#### 4.4.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

$$\psi = 0$$

pro: lineární průběh momentu  $-1 \leq \psi \leq 1$

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot 0 = 0,6$$

$$\psi = \frac{1,05}{6,22} = 0,17$$

pro: lineární průběh momentu  $-1 \leq \psi \leq 1$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot (0,17) = 0,67$$

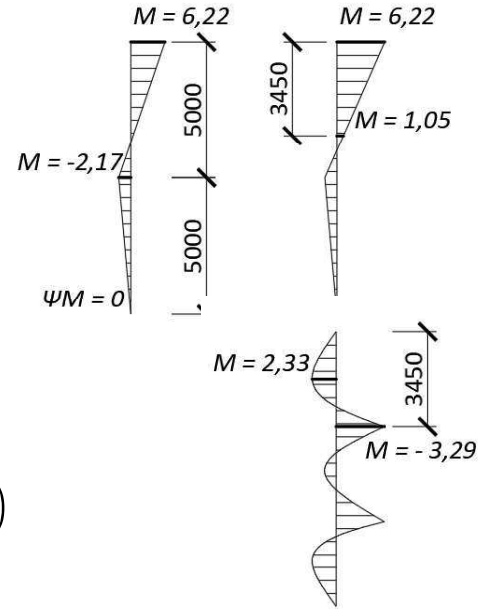
$$\psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{2,33}{-3,29} = -0,71$$

pro:  $-1 \leq \alpha_s \leq 0$  a  $0 \leq \psi \leq 1$

$$c_{mz} = \max \begin{pmatrix} 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 0,1 - 0,8 \cdot (-0,71) \\ 0,4 \end{pmatrix}$$

$$c_{mz} = \max \begin{pmatrix} 0,67 \\ 0,4 \end{pmatrix} = 0,67$$



Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{RK} = A \cdot f_y = 2395 \cdot 355 = 850,23 \text{ kN}$$

$$M_{y,RK} = W_{y,pl} \cdot f_y = 166,4 \cdot 10^3 \cdot 355 = 59,07 \text{ kNm};$$

$$M_{z,RK} = W_{z,pl} \cdot f_y = 34,60 \cdot 10^3 \cdot 355 = 12,28 \text{ kNm}$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,60 \cdot \left( 1 + (0,88 - 0,2) \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,747 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \right) \\ 0,60 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,747 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \begin{pmatrix} 0,63 \\ 0,64 \end{pmatrix} = 0,63$$

$$k_{zy} = \max \begin{cases} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK}} \\ 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK}} \end{cases}$$

$$k_{zy} = \max = \begin{cases} 1 - \frac{0,1 \cdot 2,20}{(0,67 - 0,25)} \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,67 - 0,25)} \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \end{cases}$$

$$k_{zy} = \max \begin{pmatrix} 0,83 \\ 0,92 \end{pmatrix} = 0,92$$

$$k_{zz} = \min \begin{cases} c_{mz} \cdot \left( 1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK}} \right) \\ c_{mz} \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{RK}} \right) \end{cases}$$

$$k_{zz} = \min = \begin{cases} 0,67 \cdot \left( 1 + (2 \cdot 2,20 - 0,6) \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \right) \\ 0,67 \cdot \left( 1 + 1,4 \cdot \frac{48,56 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} \right) \end{cases}$$

$$k_{zz} = \min \begin{pmatrix} 1,50 \\ 0,97 \end{pmatrix} = 0,97$$

$$k_{yz} = 0,6 \cdot k_{zz} = 0,6 \cdot 0,97 = 0,59$$

Podmínka pro sloup:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{RK}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,RK}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,RK}} \leq 1$$

$$\frac{48,56 \cdot 10^3}{0,747 \cdot 850,23 \cdot 10^3} + 0,63 \cdot \frac{6,22 \cdot 10^6}{0,565 \cdot 59,07 \cdot 10^6} + 0,59 \cdot \frac{3,29 \cdot 10^6}{12,28 \cdot 10^6} = 0,35 \leq 1$$



$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{48,56 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} + 0,92 \cdot \frac{6,22 \cdot 10^6}{0,565 \cdot 59,07 \cdot 10^6} + 0,97 \cdot \frac{3,29 \cdot 10^6}{12,28 \cdot 10^6} = 0,76 \leq 1$$

Sloup vyhoví.

Podmínka pro průřez

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

$$\frac{48,56 \cdot 10^3}{850,23 \cdot 10^3} + \frac{6,22 \cdot 10^6}{59,07 \cdot 10^6} + \frac{4,50 \cdot 10^6}{12,28 \cdot 10^6} = 0,49 < 1$$

Průřez vyhoví.

#### 4.4.4 Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,125 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 230,6 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 2,23 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 2,23 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 115,3 \text{ kN} \quad \text{Malý smyk}$$

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

Sloup vyhoví.

**Pozn: zjednodušeným zápisem posouzení pro levý sloup s menší normálovou silou:**

Uvažované vnitřní síly pro posouzení sloupu jsou:

$$N_{Ed} = -35,90 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = -8,54 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = -4,93 \text{ kNm}$$

Kritický moment (spočten pomocí software LT Beam):  $M_{cr} = 36,06 \text{ kNm}$  (viz. Příloha č. 6)

Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem

$$c_{my} = 0,4$$

$$c_{mLT} = 0,6$$

$$c_{mz} = 0,66$$

Interakční součinitelé

$$k_{yy} = 0,42$$

$$k_{yz} = 0,53$$

$$k_{zy} = 0,93$$

$$k_{zz} = 0,88$$

Podmínka pro sloup:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

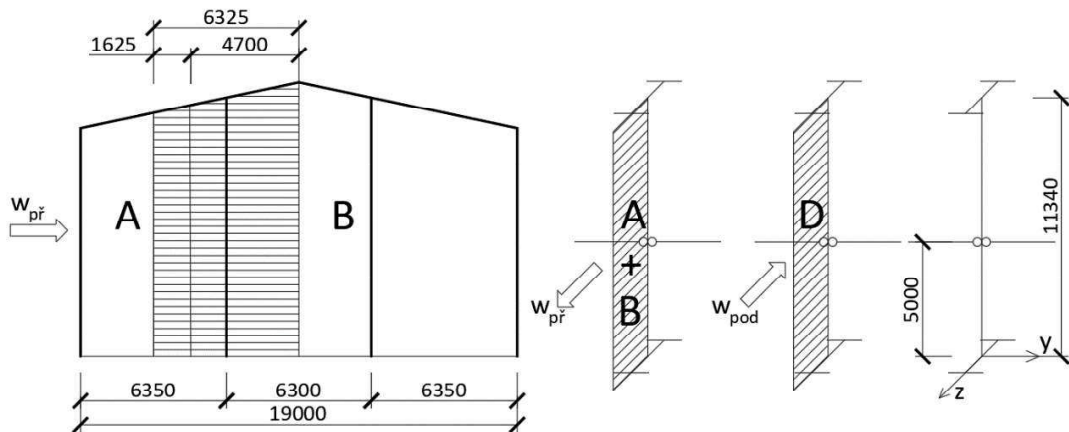
$$\frac{35,90 \cdot 10^3}{0,747 \cdot 850,23 \cdot 10^3} + 0,42 \cdot \frac{8,54 \cdot 10^6}{0,565 \cdot 59,07 \cdot 10^6} + 0,53 \cdot \frac{4,93 \cdot 10^6}{12,28 \cdot 10^6} = 0,37 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{35,90 \cdot 10^3}{0,176 \cdot 850,23 \cdot 10^3} + 0,93 \cdot \frac{8,54 \cdot 10^6}{0,565 \cdot 59,07 \cdot 10^6} + 0,88 \cdot \frac{4,93 \cdot 10^6}{12,28 \cdot 10^6} = 0,83 \leq 1$$

Sloup vyhoví.

#### 4.5 Štítový sloup



Příčný vítr

$$w_{př} = w_A \cdot 1,625 + w_B \cdot 4,7 = 0,84 \cdot 1,625 + 0,56 \cdot 4,7 = -4,00 \text{ kN/m} \dots \text{rozhodující}$$

Podélný vítr

$$w_{pod} = w_D \cdot 6,325 = 0,49 \cdot 6,325 = 3,10 \text{ kN/m}$$

Vnitřní tlak

$$w_{tlak} = 0,2 \cdot 0,7 \cdot 6,325 = 0,89 \text{ kN/m}$$

Zatížení na sloup

$$f_{Ek} = w_{př} + w_{tlak} = -4,00 - 0,89 = -4,89 \text{ kN/m}$$

Uvažované vnitřní síly pro posouzení sloupu jsou:

$$N_{Ed} = -46,26 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = -117,91 \text{ kNm}$$

**Zvolený průřez pro sloup: IPE 360, ocel S355**

$$\begin{aligned} I_y &= 16\,270 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 & I_z &= 1043 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \\ i_y &= 150 \text{ mm} & i_z &= 37,9 \text{ mm} \\ W_{y,el} &= 903,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 & W_{y,pl} &= 1019 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\ W_{z,el} &= 122,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 & W_{z,pl} &= 191,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\ A &= 7\,273 \text{ mm}^2 & A_{vz} &= 3\,514 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### 4.5.1 Zatřídění průřezu sloupu namáhaného kombinací tlaku a ohybu:

Posun osy blíže k tažené pásnici

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{46\,260}{8,0 \cdot 355} = 16,29 \text{ mm}$$

Součinitel  $\alpha$  vyjadřující velikost tlačené části stěny

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 298,6 + 16,29}{298,6} = 0,55$$

Zatřídění stojiny

$$\begin{aligned} \frac{c}{t_w} &= \frac{d}{t_w} = \frac{298,6}{8,0} = 36,13 < 52,16 \text{ podmínka pro stojinu 1. třídy je splněna} \\ \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} &= \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,55 - 1} = 52,16 \end{aligned}$$

Zatřídění tlačené pásnice

$$\begin{aligned} \frac{c}{t_f} &= \frac{\frac{170}{2} - \frac{8}{2} - 18}{12,7} = 4,96 \\ \frac{c}{t_f} &= 4,96 \leq 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \text{ podmínka pro pásnici 1. třídy je splněna} \end{aligned}$$

$$\text{kde: } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

#### 4.5.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:

Pro vybočení kolmo k ose „y“ se použije vzpěrná délka  $L_{cr,z}$  v délce 6,34 m, jelikož sloup rámu je zajištěn proti posunům v místě připojení k rámu a v místě vodorovných ztužujících profilů. Pro vybočení kolmo k ose „z“ se použije  $L_{cr,y}$  v délce 11,34 m, tedy v systémové délce sloupu.

Štíhlosti sloupu

$$\begin{aligned} \lambda_y &= \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{11\,340}{150} = 75,60 \\ \lambda_z &= \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,340}{37,9} = 167,28 \end{aligned}$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{75,60}{76,4} = 0,99$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{167,28}{76,4} = 1,73$$

$$kde: \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Součinitelé vzpěrnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,1 > 1,2 \wedge t_f = 12,7 \leq 100 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y určeno pomocí křivky "a":  $\chi_y = 0,673$

vybočení kolmo k ose z určeno pomocí křivky "b":  $\chi_z = 0,178$

Kritický moment:

○ pro výpočet kritického momentu byl použit software LTBeamN (viz. Příloha č. 6)

$$M_{cr} = 243,15 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{903,6 \cdot 10^3 \cdot 355}{243,15 \cdot 10^6}} = 1,149$$

Pro válcovaný průřez tvaru „I“:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^{-2}}} = \frac{1}{1,179 + \sqrt{1,179^2 - 0,75 \cdot 1,149^2}} = 0,552$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,149^2} = 0,76 \text{ podmínka je splněna}$$

kde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^{-2}\right)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,49 \cdot (1,149 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,149^2) = 1,179$$

kde:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ a } \beta = 0,75$$

$$\frac{h}{b} = \frac{360}{170} = 2,1 > 2 \text{ odpovídá křivka klopení "c"} \stackrel{tab.}{\implies} \alpha_{LT} = 0,49$$

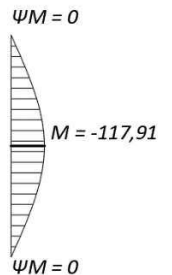
#### 4.5.3 Posouzení sloupu na kombinaci tlaku s ohybem:

$$\psi = 0$$

$$\alpha_s = 0$$

$$pro: 0 \leq \alpha_s \leq 1 \text{ a } -1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{my} = \max \begin{pmatrix} 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 0,2 + 0,8 \cdot 0 \\ 0,4 \end{pmatrix} = \max \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,4 \end{pmatrix} = 0,4$$



$$\psi = 0$$

$$\alpha_s = 0$$

$$\text{pro: } 0 \leq \alpha_s \leq 1 \quad a - 1 \leq \psi \leq 1$$

$$c_{mLT} = \max \left( \begin{array}{c} 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,2 + 0,8 \cdot 0 \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,2 \\ 0,4 \end{array} \right) = 0,4$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 7\,273 \cdot 355 = 2\,581,92 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 1019 \cdot 10^3 \cdot 355 = 361,75 \text{ kNm}$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot \left( 1 + (0,99 - 0,2) \cdot \frac{46,26 \cdot 10^3}{\frac{0,673 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,4 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{46,26 \cdot 10^3}{\frac{0,673 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \left( \begin{array}{c} 0,41 \\ 0,41 \end{array} \right) = 0,41$$

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

$$k_{zy} = \max = \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 2,19}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{46,26 \cdot 10^3}{\frac{0,178 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{46,26 \cdot 10^3}{\frac{0,178 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right.$$

$$k_{zy} = \max \left( \begin{array}{c} 0,85 \\ 0,93 \end{array} \right) = 0,93$$

Podmínka pro sloup:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{46,26 \cdot 10^3}{0,673 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3} + 0,41 \cdot \frac{117,91 \cdot 10^6}{0,552 \cdot 361,75 \cdot 10^6} = 0,27 \leq 1$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}} \leq 1$$

$$\frac{46,26 \cdot 10^3}{0,178 \cdot 2\,581,92 \cdot 10^3} + 0,93 \cdot \frac{117,91 \cdot 10^6}{0,552 \cdot 361,75 \cdot 10^6} = 0,64 \leq 1$$

Sloup vyhoví.

Podmínka pro průřez

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

$$\frac{46,26 \cdot 10^3}{2\,581,92 \cdot 10^3} + \frac{117,91 \cdot 10^6}{361,75 \cdot 10^6} = 0,34 < 1$$

Průřez vyhoví.

#### 4.5.4 Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{3\,514 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 720,28 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 41,59 \text{ kN}$$

$$\text{kde: } V_{Ed} = \frac{(f_{Ek} \cdot 1,5) \cdot L}{2} = \frac{4,89 \cdot 1,5 \cdot 11,34}{2} = 41,59 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 41,59 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 360,14 \text{ kN} \quad \text{Malý smyk}$$

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

Sloup vyhoví.

#### 4.5.5 Posouzení průhybů

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ek} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{4,89 \cdot 11\,340^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 16\,270 \cdot 10^4} = 31 \text{ mm}$$

$$\delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{10\,000}{250} = 40 \text{ mm} > \delta = 31 \text{ mm}$$

#### 4.6 Příčel štítové vazby

Posouzení bude provedeno pro pravé krajní pole s největším zatížením, kde uvažované vnitřní síly pro posouzení příčle jsou:

$$N_{Ed} = -9,46 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = -21,21 \text{ kNm}$$

**Zvolený průřez pro příčel: IPE 240, ocel S355**

$$I_y = 3\,892 \cdot 10^4 \text{ mm}^4 \quad I_z = 283,6 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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

$$W_{z,el} = 47,27 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \quad W_{z,pl} = 73,92 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$A = 3\,912 \text{ mm}^2 \quad A_{vz} = 1\,914 \text{ mm}^2$$

##### 4.6.1 Zatřídění průřezu příčle namáhané kombinací tlaku a ohybu:

Posun osy blíže k tažené pásnici

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{9\,460}{6,2 \cdot 355} = 4,30 \text{ mm}$$

Součinitel  $\alpha$  vyjadřující velikost tlačené části stěny

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 190,4 + 4,30}{190,4} = 0,52$$

Zatřídění stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{190,4}{6,2} = 30,71 < 55,69 \quad \text{podmínka pro stojinu 1. třídy je splněna}$$
$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,52 - 1} = 55,69$$

Zatřídění tlačené pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{\frac{120}{2} - \frac{6,2}{2} - 15}{9,8} = 7,34$$

$$\frac{c}{t_f} = 7,34 \leq 10 \cdot \varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1 \quad \text{podmínka pro pásnici 2. třídy je splněna}$$

$$\text{kde: } \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

#### 4.6.2 Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti:

Pro vybočení kolmo k ose „y“ a pro vybočení kolmo k ose „z“ se použije vzpěrná délka  $L_{cr,z} = L_{cr,y} = 6,49 \text{ m}$ , kde uvažujeme připojené ztužující prvky a štítové sloupky.

Štíhlosti příčle

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,490}{99,7} = 65,10$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,490}{26,9} = 241,26$$

Poměrné štíhlosti

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{65,10}{76,4} = 0,85$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{241,26}{76,4} = 3,16$$

$$\text{kde: } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Součinitelé vzpěrnosti

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2,0 > 1,2 \wedge t_f = 9,8 \leq 40 \text{ mm}$$

vybočení kolmo k ose y určeno pomocí křivky "a":  $\chi_y = 0,766$

vybočení kolmo k ose z určeno pomocí křivky "b":  $\chi_z = 0,090$

Kritický moment:

- pro výpočet kritického momentu byl použit software LTBeamN (viz. Příloha č. 6)

$$M_{cr} = 29,79 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{324,3 \cdot 10^3 \cdot 355}{29,79 \cdot 10^6}} = 1,966$$

Pro válcovaný průřez tvaru „I“:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{2,215 + \sqrt{2,215^2 - 0,75 \cdot 1,966^2}} = 0,275 \not\leq 0,26$$

$$\chi_{LT} \leq 1,0 \wedge \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} = \frac{1}{1,966^2} = 0,259 \Rightarrow \text{uvažováno do výpočtu}$$

kde:

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot \left(1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2\right)$$

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot (1 + 0,34 \cdot (1,965 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,966^2) = 2,215$$

kde:

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \text{ a } \beta = 0,75$$



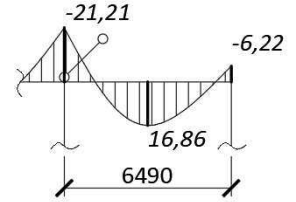
$$\frac{h}{b} = \frac{240}{120} = 2,0 \leq 2 \text{ odpovídá křivka klopení "b"} \stackrel{\text{tab.}}{\Rightarrow} \alpha_{LT} = 0,34$$

#### 4.6.3 Posouzení příče na kombinaci tlaku s ohybem:

$$\psi = \frac{-6,22}{-21,21} = 0,29$$

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{16,86}{-21,21} = -0,78$$

$$\text{pro: } -1 \leq \alpha_s \leq 0 \text{ a } 0 \leq \psi \leq 1$$



$$c_{my} = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot (-0,78) \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,72 \\ 0,4 \end{array} \right) = 0,72$$

$$c_{mLT} = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,1 - 0,8 \cdot (-0,78) \\ 0,4 \end{array} \right) = \max \left( \begin{array}{c} 0,72 \\ 0,4 \end{array} \right) = 0,72$$

Charakteristické hodnoty únosnosti v tlaku a ohybu:

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3\,912 \cdot 355 = 1\,388,76 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_y = 366,6 \cdot 10^3 \cdot 355 = 130,14 \text{ kNm}$$

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,72 \cdot \left( 1 + (0,85 - 0,2) \cdot \frac{9,46 \cdot 10^3}{0,766 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3} \right) \\ 0,72 \cdot \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{9,46 \cdot 10^3}{0,766 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3} \right) \end{array} \right.$$

$$k_{yy} = \min \left( \begin{array}{c} 0,72 \\ 0,72 \end{array} \right) = 0,72$$

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

$$k_{zy} = \max = \begin{cases} 1 - \frac{0,1 \cdot 3,16}{(0,72 - 0,25)} \cdot \frac{9,46 \cdot 10^3}{\frac{0,090 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,72 - 0,25)} \cdot \frac{9,46 \cdot 10^3}{\frac{0,090 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3}{1,0}} \end{cases}$$

$$k_{zy} = \max \begin{pmatrix} 0,95 \\ 0,98 \end{pmatrix} = 0,98$$

Podmínka pro příčel

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \cdot \frac{\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{9,46 \cdot 10^3}{0,766 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3} + 0,73 \cdot \frac{21,21 \cdot 10^6}{0,259 \cdot 130,14 \cdot 10^6} = 0,47 \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \cdot \frac{\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{9,46 \cdot 10^3}{0,090 \cdot 1\,388,76 \cdot 10^3} + 0,98 \cdot \frac{21,21 \cdot 10^6}{0,259 \cdot 130,14 \cdot 10^6} = 0,70 \leq 1$$

Sloup vyhoví.

Podmínka pro průřez

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

$$\frac{9,46 \cdot 10^3}{1\,388,76 \cdot 10^3} + \frac{21,21 \cdot 10^6}{130,14 \cdot 10^6} = 0,17 < 1$$

Průřez vyhoví.

#### 4.6.4 Posouzení smykové únosnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{1\,914 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 392,3 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 20,89 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 20,89 \text{ kN} < 0,5 \cdot V_{pl,Rd} = 196,2 \text{ kN} \quad \text{Malý smyk}$$

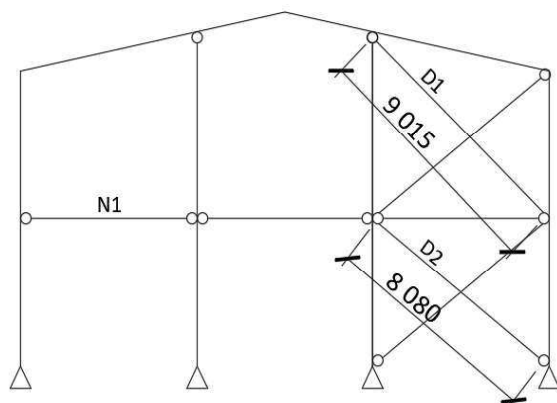
Jelikož se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

Příčel vyhoví.

## 5. ZTUŽENÍ HALY

Pozn.: Vnitřní síly příčných, střešních i podélných ztužidel jsou uvedeny v Příloze č. 5.

### 5.1. Příčná ztužidla



#### 5.1.1 Vodorovné pruty

- Uvažovaná vnitřní síla:  $N_{Ed} = 11,27 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh prutu N1:** TR 89/5, ocel S355  
 $A = 1\,319 \text{ mm}^2$   
 $i_y = 29,8 \text{ mm}$   
Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb

#### Posouzení:

Vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 6\,350 \text{ mm}$

#### Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,350}{29,8} = 213,09$$

#### Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{213,09}{76,4} = 2,79 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,109; \text{ pro křivku "c"}$$

$$\text{kde: } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

#### Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,109 \cdot 1\,319 \cdot 355 = 51,04 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 11,27 \text{ kN}$$

Prut vyhoví.

### 5.1.2 Diagonály ztužidla

- Vnitřní síla diagonály D1:  $N_{Ed} = 6,26 \text{ kN}$  (tlak)
- Vnitřní síla diagonály D2:  $N_{Ed} = 18,20 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh diagonály D1 a D2:** TR 108/4 , ocel S355  
 $A = 1\,307 \text{ mm}^2$   
 $i = 29,8 \text{ mm}$   
Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb

#### Posouzení diagonály D1:

Vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 9\,015 \text{ mm}$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9\,015}{36,8} = 244,97$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{244,97}{76,4} = 3,20 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,084 ; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,084 \cdot 1\,307 \cdot 355 = 38,97 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 6,26 \text{ kN}$$

#### Posouzení diagonály D2:

Vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 8\,080 \text{ mm}$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{8\,080}{36,8} = 219,57$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{219,57}{76,4} = 2,87 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,103 ; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

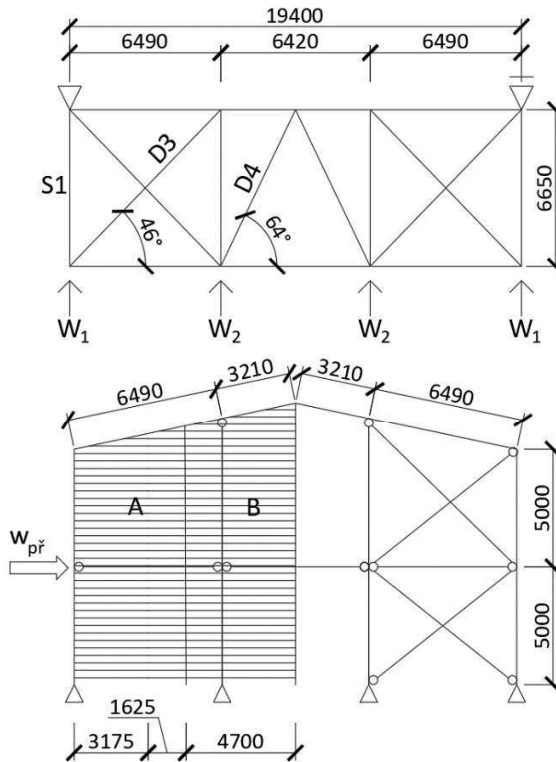
$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,103 \cdot 1\,307 \cdot 355 = 47,79 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 18,20 \text{ kN}$$

Diagonály D1 a D2 vyhoví.

## 5.2 Střešní ztužidla

Ve střeše jsou navržena 3 příčná střešní ztužidla, po jednom u každého štítu a jedno uprostřed délky haly. Zjednodušeně bude přisouzeno zatížení větrem krajnímu ztužidlu. Prostřední ztužidlo je navrženo shodně a slouží zejména pro stabilizaci příčlí rámu a pro přenos sil od tření větru.

Schéma:



Příčný vítr

- Zjednodušeně bude uvažováno zatížení na krajní rámové sloupy stejné

$$w_{př,1} = w_A \cdot 3,175 = 0,84 \cdot 3,175 = -2,67 \text{ kN/m}$$

$$w_{př,2} = w_A \cdot 1,625 + w_B \cdot 4,7 = 0,84 \cdot 1,625 + 0,56 \cdot 4,7 = -4,00 \text{ kN/m}$$

Zatížení reakcemi

- Hodnoty budou vypočteny jako charakteristické

$$W_{1,Ek} = 5,48 \text{ kN (viz. výstup ze software SCIA)}$$

$$W_{2,Ek} = \frac{w_{př,2} \cdot 11,34}{2} = \frac{(-4,00) \cdot 11,34}{2} = 22,68 \text{ kN}$$

### 5.2.1 Předběžný návrh prvků:

**Svislice S1:** TR 89/4

$$L_{cr} = 6\,650 \text{ mm}$$
$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,650}{30,1} \cong 221 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Diagonála D3:** TR 127/5

$$L_{cr} = 9\,290 \text{ mm}$$
$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{9\,290}{43,2} \cong 215 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Diagonála D4:** TR 102/5

$$L_{cr} = 7\,380 \text{ mm}$$
$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7\,380}{34,3} \cong 215 \leq \lambda_{max} = 250$$

### 5.2.2 Svislice tužidla

- Vnitřní síla nejvíce zatížené svislice:  $N_{Ed} = 23,97 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh svislice S1:** TR 89/4, ocel S355

$$A = 1\,068 \text{ mm}^2$$

$$i = 30,1 \text{ mm}$$

Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb

**Posouzení:**

Vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 6\,650 \text{ mm}$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,650}{30,1} = 220,93$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{220,93}{76,4} = 2,89 \xrightarrow{TAB.} \chi = 0,102; \text{ pro křivku "c" }$$

$$\text{kde: } \lambda_1 = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 93,9 \cdot \sqrt{\frac{235}{355}} = 76,4$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,102 \cdot 1\,068 \cdot 355 = 38,67 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 23,97 \text{ kN}$$

Svislice S1 vyhoví.

### 5.2.3 Diagonály ztužidla

- Vnitřní síla diagonály D3:  $N_{Ed} = 58,03 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh diagonály D3:** TR 127/5 , ocel S355

$$A = 1916 \text{ mm}^2$$

$$i = 43,2 \text{ mm}$$

Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb

**Posouzení:**

$$\text{Vzpěrná délka } L_{cr,y} = 9\,290 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{9\,290}{43,2} = 215,05$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{215,05}{76,4} = 2,81 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,102 ; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,102 \cdot 1916 \cdot 355 = 72,78 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 58,03 \text{ kN}$$

Diagonála D3 vyhoví.

- Vnitřní síla diagonály D4:  $N_{Ed} = 17,50 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh diagonály D4:** TR 102/5 , ocel S355

$$A = 1\,524 \text{ mm}^2$$

$$i = 34,3 \text{ mm}$$

Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb

**Posouzení:**

$$\text{Vzpěrná délka } L_{cr,y} = 7\,380 \text{ mm}$$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,380}{34,3} = 215,05$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{215,05}{76,4} = 2,81 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,102 ; \text{ pro křivku "c" }$$

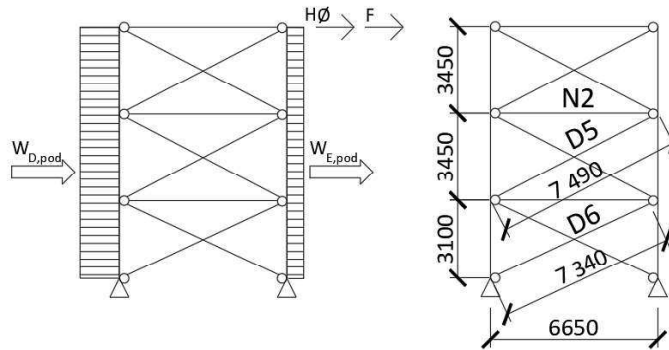
Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,102 \cdot 1\,524 \cdot 355 = 55,18 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 17,50 \text{ kN}$$

Diagonála D4 vyhoví.

### 5.3 Podélná ztužidla

Na delší straně objektu jsou umístěna dvě svislá ztužidla mezi sloupy. Zatížení podélným větrem bude uvažováno jako rovnoměrně rozdělené mezi obě ztužidla, tzn. každé převezme polovinu zatížení od podélného větru.



#### 5.3.1 Předběžný návrh prvků:

**Vodorovný prvek N2: TR 82.5/4**

$$L_{cr} = 6\,650 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6\,650}{30,1} \cong 221 \leq \lambda_{max} = 250$$

**Diagonála D5 a D6: TR 57/4**

$$L_{cr} \cong 0,5 \cdot 7\,490 \cong 3\,745 \text{ mm}$$

$$\lambda_{cr} = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3\,745}{18,8} \cong 200 \leq \lambda_{max} = 250$$

#### Zatížení větrem

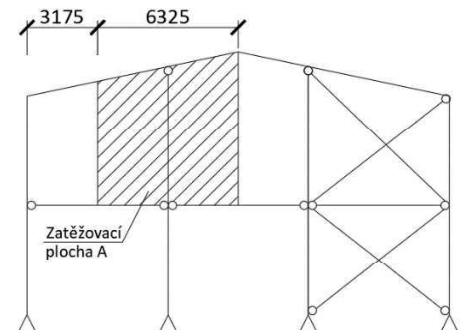
Podélný vítr

$$w_{pod,D} = w_D/2 \cdot 3,175 = 0,49/2 \cdot 3,175 = 0,78 \text{ kN/m}$$

$$w_{pod,E} = w_E/2 \cdot 3,175 = -0,21/2 \cdot 3,175 = -0,33 \text{ kN/m}$$

$$F = \frac{w_D + w_E}{2} \cdot A = \frac{0,49 + 0,21}{2} \cdot 33,74 = 11,81 \text{ kN}$$

kde zatěžovací plocha:  $A = 33,74 \text{ m}^2$



#### 5.3.2 Rámové imperfekce

Imperfekce rámu vyjádřená náklonem sloupů od svislé roviny o úhel  $\phi$ .

Počáteční natočení sloupů:  $\phi_0 = 1/200$

$$\phi = \alpha_h \cdot \alpha_m \cdot \phi_0 = \frac{2}{3} \cdot 0,739 \cdot \frac{1}{200} = 2,463 \cdot 10^{-3}$$

Součinitel zohledňující počet sloupů v jedné řadě:  $m = 2$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{11}\right)} = 0,739$$

Redukční součinitel pro výšku:  $h = 10$

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10}} = 0,632 \quad \frac{2}{3} \leq \alpha_h \leq 1,0 \quad \Rightarrow \text{nutné uvažovat } \alpha_h = \frac{2}{3}$$



Zatížení stálé vč. vlastní tíhy + sníh (bez vlivu větru):

$$N_{Ed} = 185,54 \text{ kN}$$

Ekvivalentní vodorovná síla ze všech sloupů bez vlivu větru (konzervativně):

$$H_{\phi} = \frac{1}{2} \cdot \phi \cdot 11 \cdot N_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 2,463 \cdot 10^{-3} \cdot 185,54 \cdot 11 = 2,51 \text{ kN}$$

Pozn.: Podélná ztužidla v části s vestavbou by byla navržena na jiné zatížení.

### 5.3.3 Vodorovné ztužení

- Uvažovaná vnitřní síla:  $N_{Ed} = 9,06 \text{ kN}$  (tlak)

**Návrh prutu N2:** TR 82.5/4, ocel S355

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

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

*Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb*

**Posouzení:**

Vzpěrná délka  $L_{cr,y} = 6\,650 \text{ mm}$

Štíhlost prutu

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6\,650}{27,8} = 239,21$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{239,21}{76,4} = 3,13 \xrightarrow{TAB.} \chi = 0,109; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,102 \cdot 1\,068 \cdot 355 = 30,83 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 9,06 \text{ kN}$$

Prut N2 vyhoví.

### 5.3.4 Diagonály ztužidla

- Vnitřní síla diagonály D5:  $N_{Ed} = 16,98 \text{ kN}$  (tah)

**Návrh diagonály D5:** TR 57/4, ocel S355

$$A = 666 \text{ mm}^2$$

$$I = 23,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

*Průřez třídy 1 pro tlak i ohyb*

**Posouzení:**

Vzpěrná délka

$$L_{cr,y} = L_{teor} \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t}{N_c}} = 7\,490 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{16,98}{16,78}} \cong 7\,490 \cdot 0,5 = 3\,745 \text{ mm}$$

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 23,5 \cdot 10^4}{3\,745^2} = 34,636 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{666 \cdot 355}{34\,636}} = 2,61 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,123; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,123 \cdot 666 \cdot 355 = 29,08 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 16,98 \text{ kN}$$

Diagonála D5 vyhoví.

- Vnitřní síla diagonály D6:  $N_{Ed} = 19,98 \text{ kN}$  (tah)

**Návrh diagonály D6:** TR 57/4, ocel S355

**Posouzení:**

Vzpěrná délka

$$L_{cr,y} = L_{teor} \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{N_t}{N_c}} = 7\,340 \cdot \sqrt{1 - 0,75 \cdot \frac{19,98}{19,64}} \cong 7\,340 \cdot 0,5 = 3\,670 \text{ mm}$$

Kritická síla

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{cr,y}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 23,5 \cdot 10^4}{3\,670^2} = 36\,162 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr,y}}} = \sqrt{\frac{666 \cdot 355}{36\,162}} = 2,56 \xrightarrow{\text{TAB.}} \chi = 0,127; \text{ pro křivku "c" }$$

Vzpěrná tlaková únosnost

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd} = 0,127 \cdot 666 \cdot 355 = 30,03 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 19,98 \text{ kN}$$

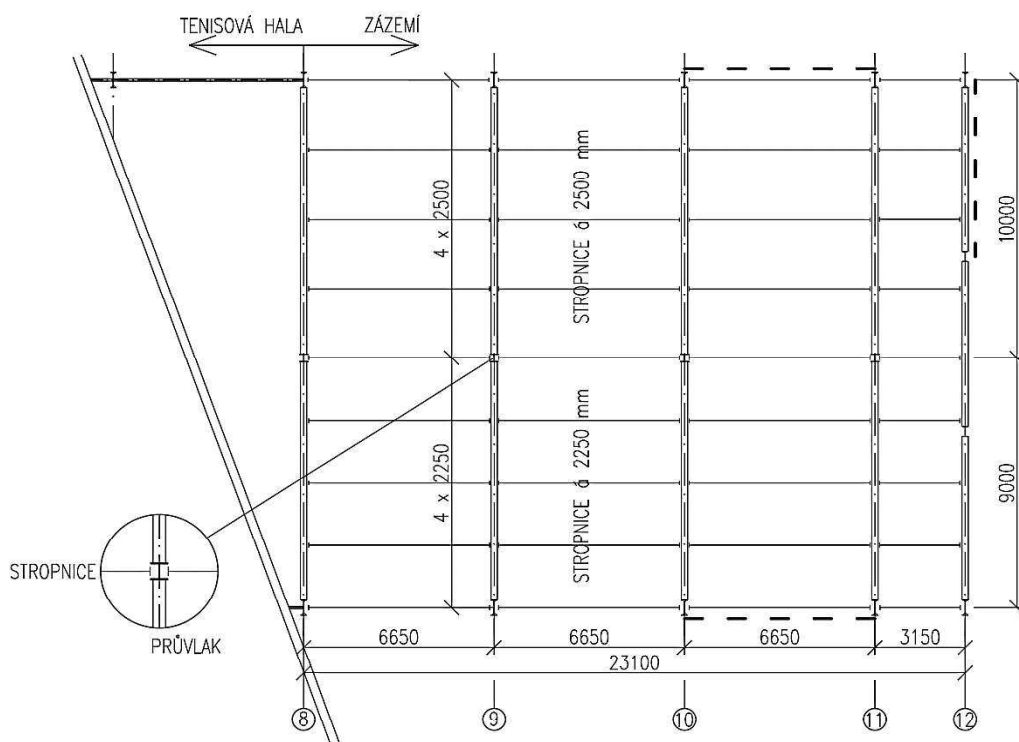
Diagonála D6 vyhoví.

## 6. STROP ZÁZEMÍ

Návrh stropu, tzn. stropnice a průvlaku bude proveden zjednodušeně bez spřažení s betonovou deskou (pro potřeby výkresové dokumentace). Strop je tvořen betonovou monolitickou deskou, betonovanou do ztraceného bednění z trapézového plechu. Deska je podepřena stropnicemi vzdálených 2,5 nebo 2,25 m. Stropnice a průvlaky jsou připojeny kloubově.

### 6.1 Dispozice

#### Půdorysné schéma



## 6.2 Zatížení

### a) Montážní stadium

#### Stálé

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
betonová deska (odhad tl. 90 mm)			
$\rho_{zb} = 2\,600 \text{ kg/m}^3$ beton (v montážním stadiu)	2,34	1,35	3,16
trapézový plech (odhad)	0,10	1,35	0,14
<b>CELKEM:</b>	<b>2,44</b>		<b>3,29</b>

#### Proměnné

	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_Q$	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
rovnoměrné	0,75	1,50	1,13
zvětšené (do nejnepříznivější polohy pro posuzovaný prvek)	1,50	1,50	2,25

### b) Provozní stadium

#### Stálé

	$g_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_G$	$g_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
nášlapná vrstva (odhad tl. 60 mm)	1,00	1,35	1,35
betonová deska (odhad tl. 90 mm)			
$\rho_{zb} = 2\,500 \text{ kg/m}^3$ beton (v provozním stadiu)	2,25	1,35	3,04
trapézový plech (odhad)	0,10	1,35	0,14
podhled (odhad)	0,20	1,35	0,27
	<b>3,55</b>		<b>4,79</b>

#### Proměnné

	$q_k$ [kN/m <sup>2</sup> ]	$\gamma_Q$	$q_d$ [kN/m <sup>2</sup> ]
plochy pro shromažďování lidí (kategorie C1)	3,00	1,50	4,50
přemístitelné příčky s vl. tíhou < 0,1 kN/m (SDK)	0,50	1,50	0,75
<b>CELKEM:</b>	<b>3,50</b>		<b>5,25</b>

## 6.3 Stropnice

Stropnice při betonáži není podepřena a bude tedy uvažován rybníkový efekt.

### Montážní stálé zatížení

Odhad vlastní tíhy nosníku:  $g_o = 0,5 \text{ kN/m}$

$$g_{Ek} = 2,44 \cdot 2,5 + 0,5 = 6,60 \text{ kN/m}$$

$$g_{Ed} = 6,60 \cdot 1,35 = 8,91 \text{ kN/m}$$

### Celkové zatížení

$$f_k = (3,55 + 3,50) \cdot 2,5 + 0,5 = 18,13 \text{ kN/m}$$

$$f_d = (4,79 + 5,25) \cdot 2,5 + 0,5 \cdot 1,35 = 25,78 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} \cdot 25,78 \cdot 6,65^2 = 142,51 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot 25,78 \cdot 6,65 = 85,72 \text{ kN}$$

Potřebný průřezový modul

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{142,51 \cdot 10^6}{355} \cong 401\,437 \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti pro průhyb

○ Vychází se z podmínky:

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot I_y} \leq \frac{L}{250}$$

$$I_y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k \cdot L^4}{E \cdot \frac{L}{250}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(3,50 \cdot 10^{-3} \cdot 2500) \cdot 6650^4}{210 \cdot 10^3 \cdot \frac{6650}{250}} = 3\,989 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

**Návrh stropnice: IPE 270, ocel S355**

$$m = 0,36 \text{ kN/m}$$

$$W_{y,pl} = 484,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 5\,790 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{vz} = 2\,214 \text{ mm}^2$$

třída 1 pro ohyb

○ Vlastní tíha profilu je menší než odhad a proto není nutné zatížení přepočítávat

**Posouzení:**

Průhyb od montážního stálého zatížení

$$\delta_1 = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_{Ek} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{6,60 \cdot 6650^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 5\,790 \cdot 10^4} = 13,8 \text{ mm} > \frac{t_{deska}}{10} = \frac{90}{10} = 90 \text{ mm}$$

→ musí se započítat vliv rybníkového efektu

$$\delta_0 = 0,7 \cdot \delta = 0,7 \cdot 13,8 = 9,66 \text{ mm}$$

Přidané zatížení

$$\Delta f_k = \delta_0 \cdot 2,5 \cdot 26 \text{ kN/m}^3 = 0,00966 \cdot 2,5 \cdot 26 = 0,63 \text{ kN/m}$$

$$\Delta f_d = \Delta f_k \cdot \gamma_G = 0,63 \cdot 1,35 = 0,85 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly po započítání rybníkového efektu

$$M_{Ed} = 142,51 + \frac{1}{8} \cdot 0,85 \cdot 6,65^2 = 147,21 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 85,72 + \frac{1}{2} \cdot 0,85 \cdot 6,65 = 88,55 \text{ kN}$$

Momentová únosnost

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 484,0 \cdot 10^3 \cdot 355 = 171,82 \text{ kNm} < M_{Ed} = 147,21 \text{ kNm}$$

Profil vyhoví.

Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2\,214 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 453,78 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 88,55 \text{ kN}$$

Profil vyhoví.

Průhyb od proměnného zatížení (MSP)

$$\delta_2 = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{Ek} \cdot L^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} \cdot \frac{(3,50 \cdot 10^{-3} \cdot 2500) \cdot 6650^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 5\,790 \cdot 10^4} = 18,3 \text{ mm} < 26,6 \text{ mm}$$
$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{6650}{250} = 26,6 \text{ mm}$$

Profil stropnice vyhoví.

## 6.4 Průvlak

Reakce z připojených stropnic

$$F_{Ek} = (3,55 + 3,50) \cdot 2,5 + 0,36 + 0,63) \cdot 6,65 = 123,79 \text{ kN}$$

$$F_{ED} = ((4,79 + 5,25) \cdot 2,5 + 0,49 + 0,85) \cdot 6,65 = 175,83 \text{ kN}$$

Odhad vlastní tíhy nosníku:  $g_o = 1,3 \text{ kN/m}$

Vnitřní síly:

$$R_{Ed} = V_{Ed} = 175,83 \cdot 1,5 + 1,3 \cdot 1,35 \cdot \frac{10}{2} = 272,52 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 272,52 \cdot 5 - 175,83 \cdot 2,5 - \frac{1}{8} \cdot 1,3 \cdot 1,35 \cdot 5^2 = 917,54 \text{ kNm}$$

Potřebný průřezový modul

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_{yd}} = \frac{917,54 \cdot 10^6}{355} \cong 2\,585 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Potřebný moment setrvačnosti pro průhyb – proměnné zatížení

$$F_k = 3,5 \cdot 2,5 \cdot 6,65 = 58,19 \text{ kN}$$

$$I_y = \frac{19}{384} \cdot \frac{F_k \cdot L^3}{E \cdot \frac{L}{400}} = \frac{19}{384} \cdot \frac{58,19 \cdot 10^3 \cdot 10\,000^3}{210 \cdot 10^3 \cdot \frac{10\,000}{400}} \cong 54\,842 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

**Návrh průvlaku: IPE 600, ocel S355**

$$m = 1,224 \text{ kN/m}$$

$$W_{y,pl} = 3\,512 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 92\,080 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A_{vz} = 8\,378 \text{ mm}^2$$

třída 1 pro ohyb

- Vlastní tíha profilu je menší než odhad a proto není nutné zatížení přepočítávat

**Momentová únosnost**

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 3\,512 \cdot 10^3 \cdot 355 = 1\,246,76 \text{ kNm} < M_{Ed} = 917,54 \text{ kNm}$$

Profil vyhoví.

**Smyková únosnost**

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,z} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{8\,378 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,717,15 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 272,52 \text{ kN (Malý smyk)}$$

Profil vyhoví.

**Průhyb od proměnného zatížení (MSP):**

$$\delta_2 = \frac{19}{384} \cdot \frac{F_k \cdot L^3}{E \cdot I_y} = \frac{19}{384} \cdot \frac{58,19 \cdot 10^3 \cdot 10\,000^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 92\,080 \cdot 10^4} = 14,9 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{400} = \frac{10\,000}{400} = 25 \text{ mm}$$

**Průhyb od celkového zatížení (MSP):**

$$F_k = (3,55 + 3,5) \cdot 2,5 \cdot 6,65 = 117,21 \text{ kN}$$

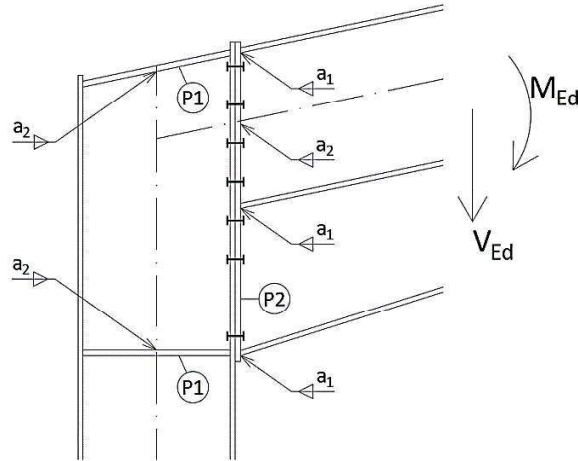
$$\delta_2 = \frac{19}{384} \cdot \frac{F_k \cdot L^3}{E \cdot I_y} = \frac{19}{384} \cdot \frac{117,21 \cdot 10^3 \cdot 10\,000^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 92\,080 \cdot 10^4} = 30 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{10\,000}{250} = 40 \text{ mm}$$

Profil průvlaku vyhoví.

## 7. RÁMOVÝ ROH

Navrhne se přípoj příčle na sloup v rámovém rohu (viz. obrázek). Ocel použitá na výztuhy uvažována S355. Použité šrouby jsou nepředepnuté M27, třídy pevnosti 8.8. Styčník je namáhán maximálním ohybovým momentem  $M_{Ed} = 454,73 \text{ kNm}$  a maximální posouvající silou  $V_{Ed} = 133,33 \text{ kNm}$ . Poslední řada šroubů uvažována jako konstrukční.



### 7.1 Návrh svarů

- návrh svarů proveden konzervativně na plnou únosnost průřezu

Svar Pásnice a čelní desky

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left( \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{17,2}{2} \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{0,9 \cdot 1,25}{\frac{490}{\sqrt{2}}} \right) = 9,91$$

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

Svar stojiny, čelní desky a čelní výztuhy

$$a_2 \geq \frac{t_w}{2} \cdot \left( \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \right) \cdot \left( \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}{\frac{f_u}{\sqrt{2}}} \right) = \frac{11,1}{2} \cdot \left( \frac{355}{1,0} \right) \cdot \left( \frac{0,9 \cdot 1,25}{\frac{490}{\sqrt{2}}} \right) = 6,40$$

$$a_2 = 7 \text{ mm}$$

### 7.2 Únosnost dílčích komponent

- dílčí komponent budou navrženy odhadem na základě tloušťek sloupu a příčle

Výztuha stojiny sloupu P1

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

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

Tloušťka čelní desky P2

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

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



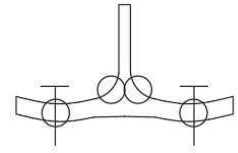
### 7.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu

- 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 – vznik 4 plastických kloubů

Návrhová únosnost:

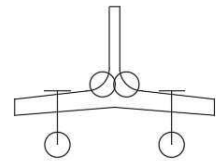
$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m}$$



Způsob 2 – vznik 2 plastických kloubů + porušení šroubů v tahu

Návrhová únosnost:

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$



Způsob 3 – porušení šroubů v tahu

Návrhová únosnost:

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd}$$

kde:

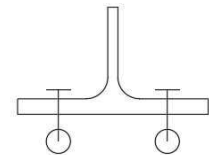
$F_{t,Rd} = 264,4 \text{ kN}$  ... únosost jednoho šroubu v tahu

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

$t_{fc} = 17,2 \text{ mm}$ ;  $l_{eff,1}$  je efektivní šířka T – průřezu pro kruhové porušení

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \dots t_{fc} = 17,2 \text{ mm}$$

$t_{fc} = 17,2 \text{ mm}$ ;  $l_{eff,2}$  je efektivní šířka T – průřezu pro nekruhové porušení



#### 7.3.1 Výpočet 1. řady šroubů

- hodnota  $\alpha$  odečtena z grafu pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky (ČSN 1993-1-8)

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$c_1 = 0,8 \cdot a_1 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 10 \cdot \sqrt{2} = 11,31 \text{ mm}$$

$$m_2 = 48 - c_1 = 48 - 11,31 = 36,69 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_2 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

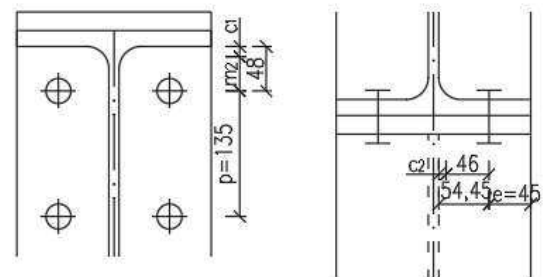
$$m = 54,45 - c_2 = 54,45 - 7,92 = 46,53 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,53}{46,53 + 45} = 0,51$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{36,69}{46,53 + 45} = 0,40$$

$$\alpha = 0,6$$

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



Efektivní šířka pro náhradní T -profil

(1) Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 46,53 = 292,36 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m = 6,0 \cdot 46,53 = 279,18 \text{ mm}$$

(2) Řada šroubů působí jako součást skupiny

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = \pi \cdot m + p = \pi \cdot 46,53 + 135 = 281,18 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

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

$$l_{eff,nc} = 0,5 \cdot 135 + 2 \cdot 46,53 - (2 \cdot 46,53 + 0,625 \cdot 45) = 225,50 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,nc} ; \min l_{eff,cp}) = \min(225,50 ; 281,18) = 225,50 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 225,50 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 225,50 \cdot 17,2^2 \cdot \frac{355}{1} = 5,92 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 225,50 \cdot 17,2^2 \cdot \frac{355}{1} = 5,92 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

Způsob 1

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 5,92 \cdot 10^6}{46,53} = 508,97 \text{ kN}$$

Způsob 2

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 5,92 \cdot 10^6 + 45 \cdot (2 \cdot 264,4)}{46,53 + 45} = 389,35 \text{ kN}$$

Způsob 3

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,4 = 528,80 \text{ kN}$$

Únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí je rovna nejmenší hodnotě dílčích způsobů:

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd} ; F_{t,b,Rd} ; F_{t,c,Rd}) = \min(508,97 ; 389,35 ; 528,80) = \boxed{389,35 \text{ kN}}$$

### 7.3.2 Výpočet 2. – 5. řady šroubů

- hodnota  $\alpha$  odečtena z grafu pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky (ČSN 1993-1-8)

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T-průřezu

$$m_2 = p = 135 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 \cdot a_2 \cdot \sqrt{2} = 0,8 \cdot 7 \cdot \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

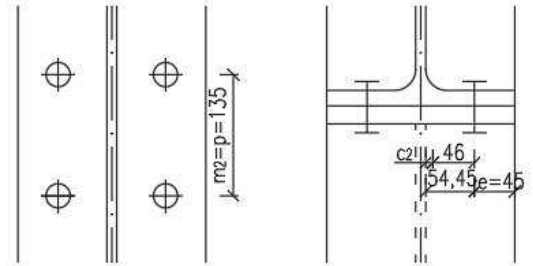
$$m = 54,45 - c_2 = 54,45 - 7,92 = 46,53 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{46,53}{46,53 + 45} = 0,51$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{135}{46,53 + 45} = 1,47$$

$$\alpha = 5,25$$

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



Efektivní šířka pro náhradní T -profil

(1) Řada šroubů působí samostatně

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m = 2 \cdot \pi \cdot 46,53 = 292,36 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = 4 \cdot m + 1,25 \cdot e = 4 \cdot 46,53 + 1,25 \cdot 45 = 242,37 \text{ mm}$$

(2) Řada šroubů působí jako součást skupiny

Kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2 \cdot p = 2 \cdot 135 = 270,0 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = p = 135,0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = \min(270,0; 135,0) = 135,0 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 135,0 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 135,0 \cdot 17,2^2 \cdot \frac{355}{1} = 3,54 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 135,0 \cdot 17,2^2 \cdot \frac{355}{1} = 3,54 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

Způsob 1

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 3,54 \cdot 10^6}{46,53} = 304,71 \text{ kN}$$

Způsob 2

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 3,54 \cdot 10^6 + 45 \cdot (2 \cdot 264,4)}{46,53 + 45} = 337,43 \text{ kN}$$

Způsob 3

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 264,4 = 528,80 \text{ kN}$$

Únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí je rovna nejmenší hodnotě dílčích způsobů:

$$F_{t,2-5,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(304,71; 337,43; 528,80) = \boxed{304,71 \text{ kN}}$$

### 7.3.3 Výpočet 6. řady šroubů

Šrouby 6. řadě se použijí pro přenos smykové síly, která konzervativně nebude uvažována pro výpočet momentové únosnosti.

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

- smyková rovina prochází závitem

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 459 \cdot 800}{1,25} = 176,26 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

- určena pro menší hodnotu z tloušťky pásnice sloupu a čelní desky

$$t_f = 17,2 \text{ mm} < t_d = 20 \text{ mm}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,0 \cdot 470 \cdot 27 \cdot 17,2}{1,25} = 436,54 \text{ kN}$$

kde:

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \min\left(\frac{358}{3 \cdot 30}; \frac{800}{470}; 1,0\right) = \min(3,98; 1,70; 1,0) = 1,0$$

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

Posouzení únosnosti ve smyku

$$V_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(176,26; 436,54) = 2 \cdot 176,26 = 352,52 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 352,52 \text{ kN} > V_{Ed} = 133,33 \text{ kN}$$

Rámový spoj vyhoví na smykovou únosnost.

### 7.3.4 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příčle v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_{yk}}{(h - t_f) \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2 \, 787,0 \cdot 10^3 \cdot 355}{(550 - 17,2) \cdot 1,0} = 1 \, 856,95 \text{ kN}$$

Podmínka:

$$F_{c,fb,Rd} = 1\,856,95 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 389,35 + 4 \cdot 304,71 = 1\,608,19 \text{ kN}$$

### Únosnost stěny sloupu ve smyku

Ověření třídu průřezu stěny sloupu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{467,6}{11,1} = 42,13 \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \cdot 0,81 = 55,89 \dots \text{vyhovuje pro průřez třídy 1}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{0,9 \cdot 355 \cdot 7\,234}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 1\,334,41 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 1\,334,41 \text{ kN} \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 1\,608,19 \text{ kN} \dots \text{podmínka není splněna}$$

Pozn.: Redukuje se poslední řada šroubů (viz. následující tabulka).

### 7.3.5 Rozdělení sil a momentová únosnost

Plastické rozdělení sil lze uvažovat při splnění předešlých podmínek a zároveň:

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

$$F_{t,1,Rd} = 389,35 \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 264,4 = 502,36 \text{ kN}$$

$$F_{t,2-5,Rd} = 304,71 \leq 1,9 \cdot F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 264,4 = 502,36 \text{ kN}$$

Všechny podmínky byly splněny, ale aby nebyla překročena únosnost tlačené pásnice nosníku, redukuje se síla ve spodní řadě sloupů:

Řada	Únosnost řady $F_{t,i,Rd}$	Síly pro $M_{ed}$	Rameno $h_i$	$M_{rd,i}$
1	389,35 kN	389,35 kN	1005 mm	391,30 kNm
2	304,71 kN	304,71 kN	870 mm	265,10 kNm
3	304,71 kN	304,71 kN	735 mm	223,96 kNm
4	304,71 kN	304,71 kN	600 mm	182,83 kNm
5	304,71 kN	30,93 kN	465 mm	14,38 kNm

Celkem                      1 608,19 kN                      1 334,41 kN                      1 077,56 kNm

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

$$M_{Rd} = 1\,077,56 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 454,73 \text{ kNm}$$

Rámový spoj vyhoví na momentovou únosnost.

Styčnick je dále namáhán osovou silou  $N_{Ed} = 69,83 \text{ kN}$ . Osovou silou ve styčnicku lze zanedbat, pokud nepřekročí 10 % únosnosti připojovaného nosníku v tlaku:

$$N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13\,440 \cdot 355}{1,0} = 4\,771,2 \text{ kN} \Rightarrow \text{osovou sílu lze zanedbat}$$

## 8. PATKA SLOUPU

### 8.1 Návrh betonové patky sloupu

- maximální svislé zatížení rámového sloupu v místě podélného ztužidla

$$N_{Ed} = 192,47 + \sin(25^\circ) \cdot 19,64 = 200,77 \text{ kN}$$

- návrhová únosnost zeminy (odhad)  $R_d = 0,30 \text{ MPa}$

- beton C 16/20

$$f_{ctk\ 0,05} = 1,3 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} \cdot \frac{f_{ctk}}{\gamma_m} = 0,8 \cdot \frac{1,3}{1,5} = 0,69 \text{ MPa}$$

Odhad vlastní tíhy patky

$$G_0 = 0,1 \cdot N_{Ed} = 0,1 \cdot 200,77 = 20,08 \text{ kN}$$

$$e = 0$$

Požadovaná efektivní plocha

$$A_{req} \geq \frac{N_{Ed} + G_0}{R_d} = \frac{200,77 + 20,08}{300} = 0,74 \text{ m}^2$$

Návrh rozměrů:  $a_c = 1,1 \text{ m}$   $b_c = 0,75 \text{ m}$   $h = 0,80 \text{ m}$

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

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{A_{eff}} = \frac{200,77 + 20,08}{1,10 \cdot 0,75} = 267,70 \text{ kPa}$$

$$h \geq \frac{a}{0,85} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{\sigma_d}{f_{ctd}}} = \frac{0,180}{0,85} \cdot \sqrt{3 \cdot \frac{267,70 \cdot 10^{-3}}{0,69}} = 0,23 \text{ m}$$

**Posouzení:**

Skutečná vlastní tíha patky

$$G_0 = \gamma_G \cdot a \cdot b \cdot h \cdot 25 = 1,35 \cdot 1,1 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 25 = 22,28 \text{ kN}$$

Posouzení napětí v základové spáře

$$\sigma_d = \frac{N}{A} = \frac{N_{Ed} + G_0}{A} = \frac{200,77 + 22,28}{0,825} = 270,36 \text{ kPa} \leq R_d = 300 \text{ kPa}$$

$$\text{kde: } A = a \cdot b = 1,1 \cdot 0,75 = 0,825 \text{ m}^2$$

Posouzení únosnosti patky na ohyb

$$\sigma_{ct} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sigma_d \cdot a^2}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot 270,36 \cdot 10^{-3} \cdot 0,180^2}{\frac{1}{6} \cdot 0,1 \cdot 0,80^2} = 0,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ct} = 0,41 \text{ MPa} < f_{ctd} = 0,69 \text{ MPa}$$

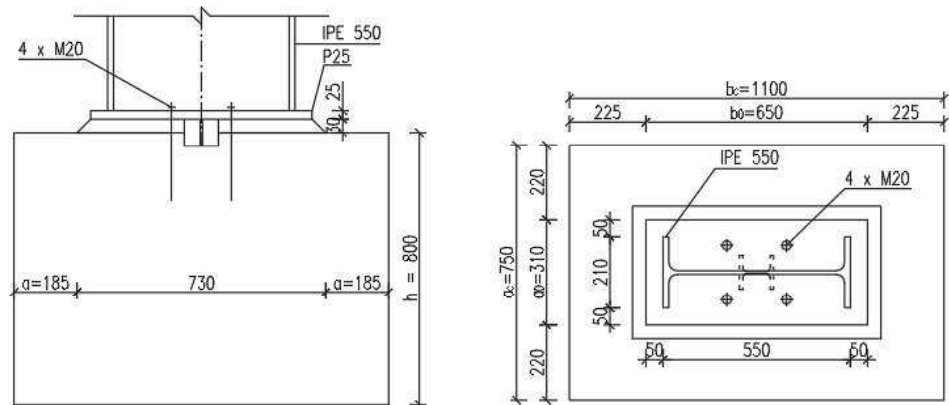
Návrh patky z prostého betonu vyhovuje.

## 8.2 Patka sloupu bez ztužidla

Patky rámu jsou navrženy jako kloubové z nevyztuženého patního plechu a přenášejí vislé a smykové zatížení. Kotevní šrouby jsou navrženy jako konstrukční, lepené 4 x M20.

Návrhová únosnost lepených šroubů ve vrtaných kanálech:

$$F_t = 4 \cdot 53,98 = 215,92 \text{ kN} > \text{max. tlak } F = 22,51 \text{ kN}$$



### 8.2.1 Tlaková únosnost

Rozměr betonové patky:  $a_c = 0,75 \text{ m}$     $b_c = 1,10 \text{ m}$     $h = 0,80 \text{ m}$

Započitatelné rozměry betonové patky

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h; a_c) = \min(3 \cdot 310; 310 + 800; 750) = 750 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3b_0; b_0 + h; b_c) = \min(3 \cdot 650; 650 + 800; 1100) = 1100 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}} = \sqrt{\frac{750 \cdot 1100}{310 \cdot 650}} = 2,02$$

Návrhová pevnost betonu

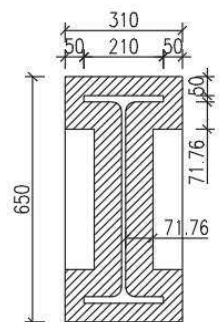
$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2,02 \cdot 16}{1,5} = 14,36 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 14,36}} = 71,76 \text{ mm}$$

- účinná šířka profilu přesahuje rozměr ocelové patky  $\Rightarrow c = 50 \text{ mm}$

Efektivní plocha (stanovena graficky):  $A_{eff} = 130\,246 \text{ mm}^2$



Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 130\,246 \cdot 14,36 \cdot 10^{-3} = 1\,870,33 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 192,47 \text{ kN}$$

Patka vyhoví na tlak.

### 8.2.2 Únosnost ve smyku

Návrh proveden pro rámovou vazbu sloupu pro nejnepříznivější poměr smykové a normálové síly, které jsou v kombinaci (4).

Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 22,51 \text{ kN (tah)}$$

$$V_{Ed} = 50,09 \text{ kN}$$

Síla potřebná pro smykovou zarážku

$$F_{v,Ed} = V_{Ed} = 50,09 \text{ kN}$$

Návrh smykové zarážky:

HEB 100, ocel S355

$$A_{vz} = 904 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 104,20 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

třída 1 pro tlak i ohyb, S355

Posouzení:

$$h > \frac{F_{v,Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}} = \frac{50,09 \cdot 10^3}{100 \cdot \frac{16}{1,5}} = 47 \text{ mm} \rightarrow h = 50 \text{ mm}$$

Smyk

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{904 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 185,28 \text{ kN} > V_{Ed} = 50,09 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd} = 92,64 > V_{Ed} = 50,09 \text{ kN (malý smyk)}$$

Ohyb

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 104,20 \cdot 10^3 \cdot 355 = 36,99 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} = 36,99 \text{ kNm} > M_{Ed} = F_{v,Ed} \cdot e = 50,09 \cdot 10^3 \cdot \left(30 + \frac{50}{2}\right) = 2,75 \text{ kNm}$$

Zarážka HEB 100 vyhoví.

Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu

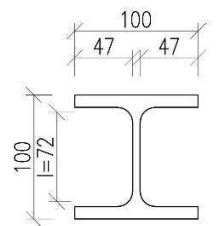
$$a_w = 4 \text{ mm}$$

$$I_w = 2 \cdot \left( \left( \frac{100 \cdot 4^3}{12} + 100 \cdot 4 \cdot 52^2 \right) + \left( \frac{47 \cdot 4^3}{12} + 47 \cdot 4 \cdot 38^2 \right) + \frac{4 \cdot 72^3}{12} \right)$$

$$I_w = 2,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení 1 (stojina):

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{v,Ed}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{50,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 72} = 86,96 \text{ MPa}$$





$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{50,09 \cdot e}{\frac{I_w}{z_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{50,09 \cdot 10^3 \cdot \left(30 + \frac{50}{2}\right)}{\frac{2,96 \cdot 10^6}{\frac{72}{2}}} = 23,69 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{23,69^2 + 3 \cdot (23,69^2 + 86,96^2)} = 158,32 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 158,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 23,69 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhoví.

### Posouzení 2 (pásnice):

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

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{66,84 \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{50,09 \cdot 10^3 \cdot \left(30 + \frac{50}{2}\right)}{\frac{2,96 \cdot 10^6}{\frac{100}{2}}} = 35,54 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{35,54^2 + 3 \cdot (35,54^2 + 0^2)} = 71,08 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 71,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 35,54 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa}$$

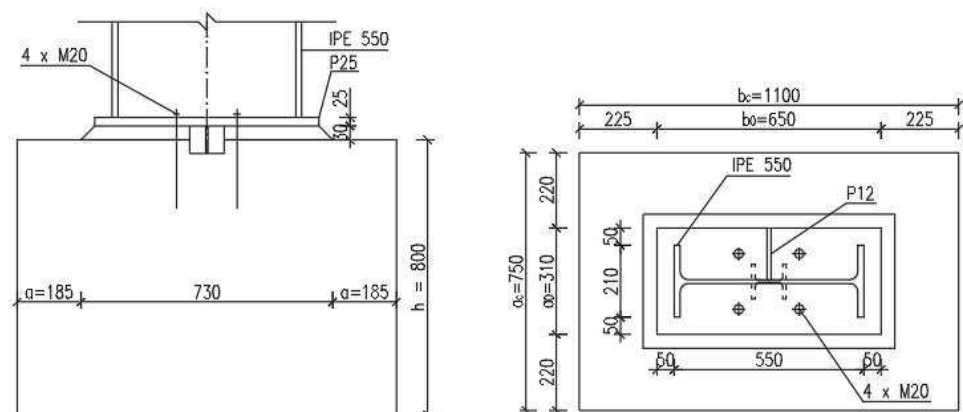
Svar zarážky vyhoví.

### 8.3 Patka sloupu ztužidla

Patky jsou navrženy jako kloubová z nevyztuženého patního plechu a přenáší svislé zatížení a zatížení od připojené diagonály. Kotevní šrouby jsou pouze konstrukční a navrženy jako lepené 4 x M20.

Návrhová únosnost lepených šroubů ve vrtaných kanálech:

$$F_t = 4 \cdot 53,98 = 215,92 \text{ kN} > \text{max. tlak } F = 83,26 \text{ kN}$$



### 8.3.1 Tlaková únosnost

$$N_{Ed,max} = N_{Ed,sloup} + N_{Ed,diag.} = 192,47 + \sin(25^\circ) \cdot 19,64 = 200,77 \text{ kN}$$

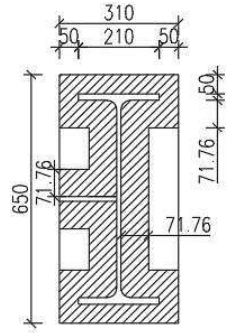
Rozměr betonové patky:  $a_c = 0,75 \text{ m}$     $b_c = 1,10 \text{ m}$     $h = 0,80 \text{ m}$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 14,36}} = 71,76 \text{ mm}$$

- účinná šířka profilu přesahuje rozměr ocelové patky  $\Rightarrow c = 50 \text{ mm}$

Efektivní plocha (stanovena graficky):  $A_{eff} = 140\,535 \text{ mm}^2$



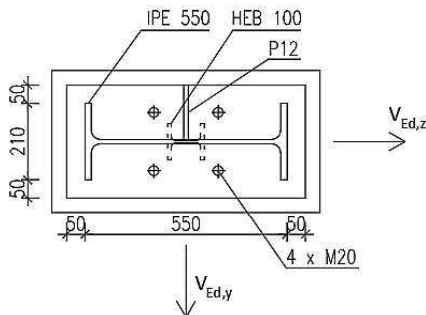
Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} \cdot f_{jd} = 140\,535 \cdot 14,36 \cdot 10^{-3} = 2\,018,08 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 200,77 \text{ kN}$$

Patka vyhoví na tlak.

### 8.3.2 Únosnost ve smyku

Návrh proveden pro rámovou vazbu sloupu v místě napojení podélného ztužidla, pro nejnepriznivější poměr smykové a normálové síly.



Vnitřní síly:

$$N_{Ed} = 22,51 + 60,75 = 83,26 \text{ kN (tah)}$$

$$V_{Ed,z} = 50,09 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y} = 19,44 \text{ kN}$$

Síla potřebná pro smykovou zarážku

$$F_{v,z,Ed} = V_{Ed,z} = 50,09 \text{ kN}$$

$$F_{v,y,Ed} = V_{Ed,y} = 19,44 \text{ kN}$$

Návrh smykové zarážky:

HEB 100, ocel S355

$$A_{vz} = 904 \text{ mm}^2$$

$$W_{pl,y} = 104,20 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{pl,z} = 51,42 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

třída 1 pro tlak i ohyb, S355

**Posouzení:**

$$h > \frac{F_{v,Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_C}} = \frac{50,09 \cdot 10^3}{100 \cdot \frac{16}{1,5}} = 47 \text{ mm} \rightarrow h = 50 \text{ mm}$$

**Smyk**

$$V_{Rd,1} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{904 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 185,28 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 50,09 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd} = 92,64 > V_{Ed,z} = 50,09 \text{ kN (malý smyk)}$$

$$V_{Rd,2} = \frac{2 \cdot b \cdot t_f \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 10 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 409,92 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 19,44 \text{ kN}$$

$$0,5 \cdot V_{Rd} = 204,96 > V_{Ed,y} = 19,44 \text{ kN (malý smyk)}$$

**Ohyb**

$$M_{pl,Rd,y} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 104,20 \cdot 10^3 \cdot 355 = 36,99 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = W_{pl,z} \cdot f_{yd} = 51,42 \cdot 10^3 \cdot 355 = 18,25 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,y} = 36,99 \text{ kNm} > M_{Ed} = V_{Ed,z} \cdot e = 50,09 \cdot 10^3 \cdot \left(30 + \frac{50}{2}\right) = 2,75 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 18,25 \text{ kNm} > M_{Ed} = V_{Ed,y} \cdot e = 19,44 \cdot 10^3 \cdot \left(30 + \frac{50}{2}\right) = 1,07 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} = \frac{2,75}{36,99} + \frac{1,07}{18,25} = 0,13 < 1$$

Zarážka vyhoví.

**Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu**

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

$$I_{w,y} = 2,96 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = 2 \cdot \left( \frac{4 \cdot 100^3}{12} + 2 \cdot \left( \frac{4 \cdot 47^3}{12} + 47 \cdot 4 \cdot 26,5^2 \right) \right) \dots \text{při zanedbání svarů stojiny}$$

$$I_{w,z} = 1,33 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

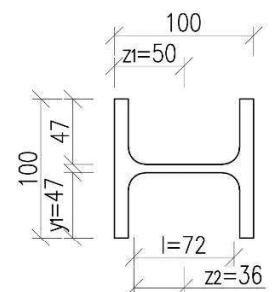
**Posouzení 1 (stojina):**

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z}}{2 \cdot a \cdot l} = \frac{50,09 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 72} = 86,96 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{50,09 \cdot e}{\frac{I_w}{z_2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{50,09 \cdot 10^3 \cdot 55}{\frac{2,96 \cdot 10^6}{36}}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 23,69 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{23,69^2 + 3 \cdot (23,69^2 + 86,96^2)} = 158,32 \text{ MPa}$$



$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 158,32 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 23,69 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhoví.

**Posouzení 2 (pásnice):**

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,y}}{2 \cdot a \left( b + 2 \cdot \left( \frac{b}{2} - r \right) \right)} = \frac{19,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot (100 + 2 \cdot 35)} = 14,29 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left( \frac{M_y}{\frac{I_{w,y}}{z_1}} + \frac{M_z}{\frac{I_{w,z}}{y_1}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \left( \frac{50,09 \cdot 10^3 \cdot 55}{\frac{2,96 \cdot 10^6}{50}} + \frac{19,44 \cdot 10^3 \cdot 55}{\frac{1,33 \cdot 10^6}{50}} \right)$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 61,33 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{61,33^2 + 3 \cdot (61,33^2 + 14,29^2)} = 125,13 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 125,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = 61,33 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,80 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhoví.

## **9. PŘÍPOJE**

### **9.1 Přípoj diagonály**

Následující návrh bude provedený pro spodní diagonálu, přičemž navržený přípoj bude použit pro všechny ostatní pruty ztužidla.

#### **9.1.1 Šroubový přípoj**

Návrh šroubů: M16 8.8

Největší síla v diagonále

$$N_{Ed} = 19,98 \text{ kN (tah)}$$

Únosnost ve stříhu

$$F_{v,Rd} = 60,30 \text{ kN (jednostřížný, závit po celé délce šroubu)}$$

Únosnost v otláčení

$$F_{b,Rd} = 120,90 \text{ kN (běžné roteče, } t = 10 \text{ mm, ocel S355)}$$

Potřebný počet šroubů

$$\text{střih: } \frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{19,98}{60,30} \cong 0,4$$

$$\text{otlačení: } \frac{R_{Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{19,98}{120,90} \cong 0,2$$

kde:

styčnickový plech tl. 12 mm

styčnickový plech diagonály tl. 10 mm ... rozhoduje

**Návrh:** 2x šroub M16 8.8

#### **9.1.2 Svarový přípoj plechu k diagonále**

**Návrh:** 2 x koutový svar  $a = 4 \text{ mm}$ ,  $L_{we} = 50 \text{ mm}$

$$F_{Vd} = 19,98 \text{ kN}$$

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

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{19,98 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 50} = 49,95 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 49,95^2)} = 86,52 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 86,52 \text{ MPa}$$

Svar přípoje vyhoví.

### 9.1.3 Posouzení svarů přípoje diagonály v místě patky

#### Vodorovný svarový přípoj styčnickového plechu

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

$$F_{Hd} = N_{Ed} \cdot \cos(\alpha) = 19,98 \cdot \cos(25^\circ) = 18,11 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Hd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{18,11 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 150} = 15,09 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 15,09^2)} = 26,14 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 26,14 \text{ MPa}$$

Svar přípoje vyhoví.

#### Svislý svarový přípoj styčnickového plechu

**Návrh:** 2 x koutový svar  $a = 4 \text{ mm}$ ,  $L_{we} = 125 \text{ mm}$

$$F_{Vd} = N_{Ed} \cdot \sin(\alpha) = 19,98 \cdot \sin(25^\circ) = 8,44 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{8,44 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 125} = 8,44 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 8,44^2)} = 14,62 \text{ MPa}$$

Posouzení

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 14,62 \text{ MPa}$$

Svar přípoje vyhoví.

## 9.2 Přípoj v místě křížení ztužidel

Pozn.: Svarový přípoj plechu k diagonále byl navržen (viz. kapitola 9.1.2).

## 9.3 Přípoj podélného ztužidla na sloup

Pozn.: Svarový přípoj plechu k diagonále byl navržen (viz. kapitola 9.1.2).

### Svislý svarový přípoj styčnickového plechu ke sloupu

**Návrh:** 2 x koutový svar  $a = 4 \text{ mm}$ ,  $L_{we} = 345 \text{ mm}$

$$F_{Vd} = N_{Ed,hor.diag} \cdot \cos(\alpha) + N_{Ed,dol.diag} \cdot \cos(\alpha)$$

$$F_{Vd} = 16,78 \cdot \cos(27^\circ) + 19,98 \cdot \sin(25^\circ) = 14,95 + 8,44 = 23,39 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 \cdot a \cdot L_{we}} = \frac{23,39 \cdot 10^3}{2 \cdot 4 \cdot 345} = 8,47 \text{ MPa}$$


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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{0^2 + 3 \cdot (0^2 + 8,47^2)} = 14,67 \text{ MPa}$$

Posouzení

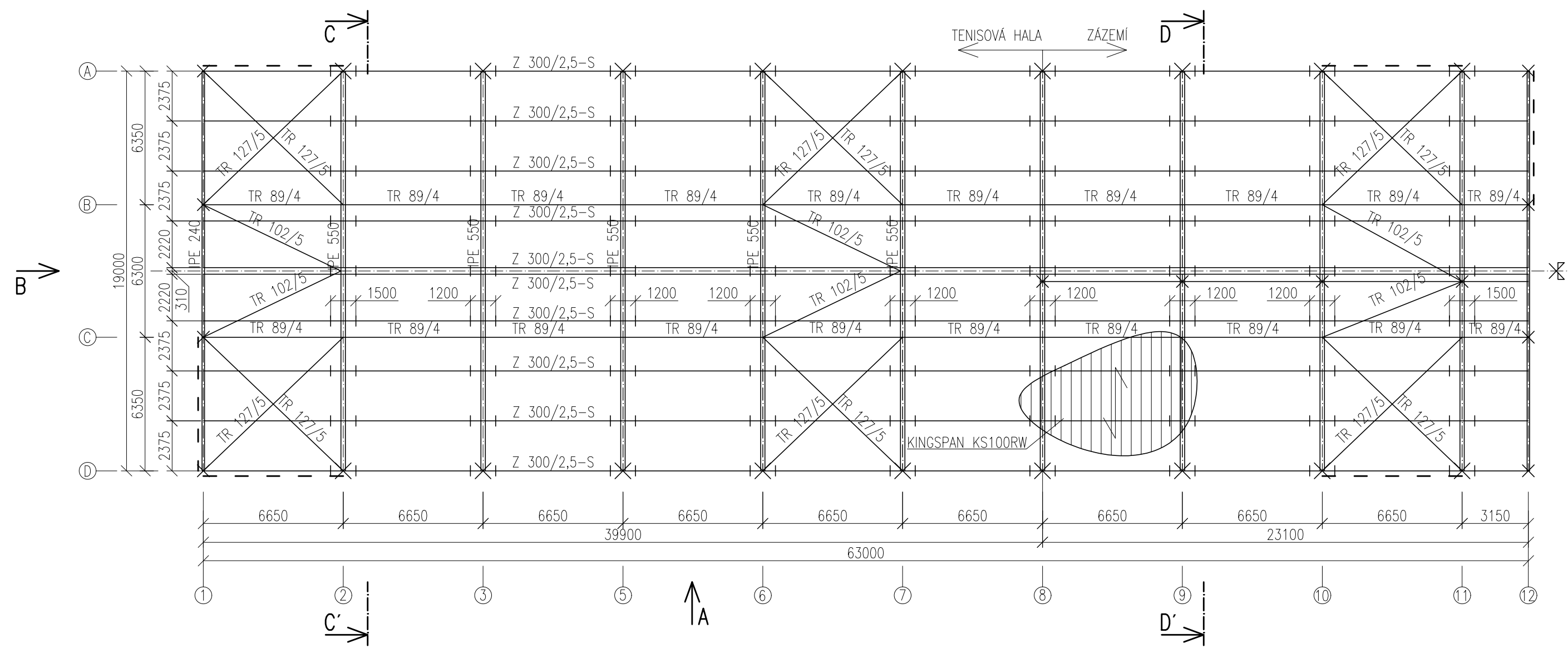
$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,56 \text{ MPa} \geq 14,67 \text{ MPa}$$

Svar přípoje vyhoví.

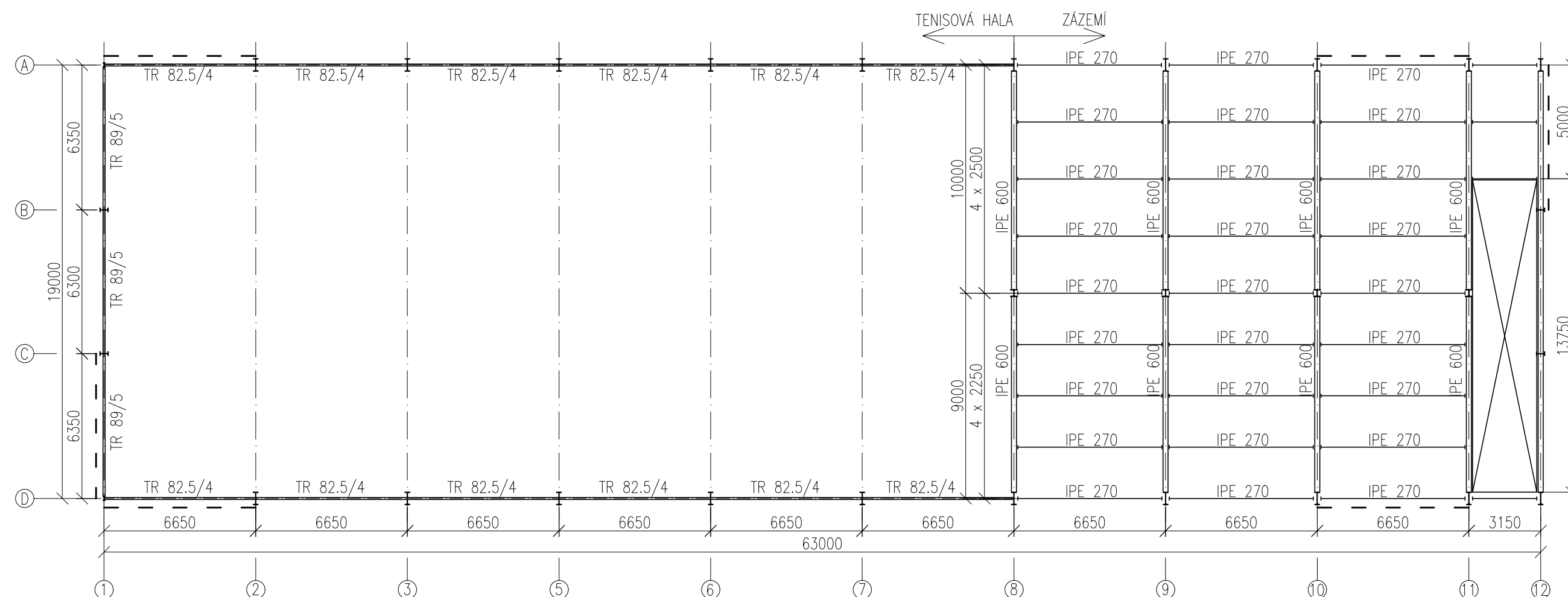
VYPRACOVAL: Kateřina Ježová	VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	 ČVUT – Fakulta stavební	
PŘEDMĚT: 134BAP	PROJEKT: Bakalářská práce – Tenisová hala		
KATEDRA: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		FORMÁT:	A4
		DATUM:	05/2018
VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE		Č.:	C



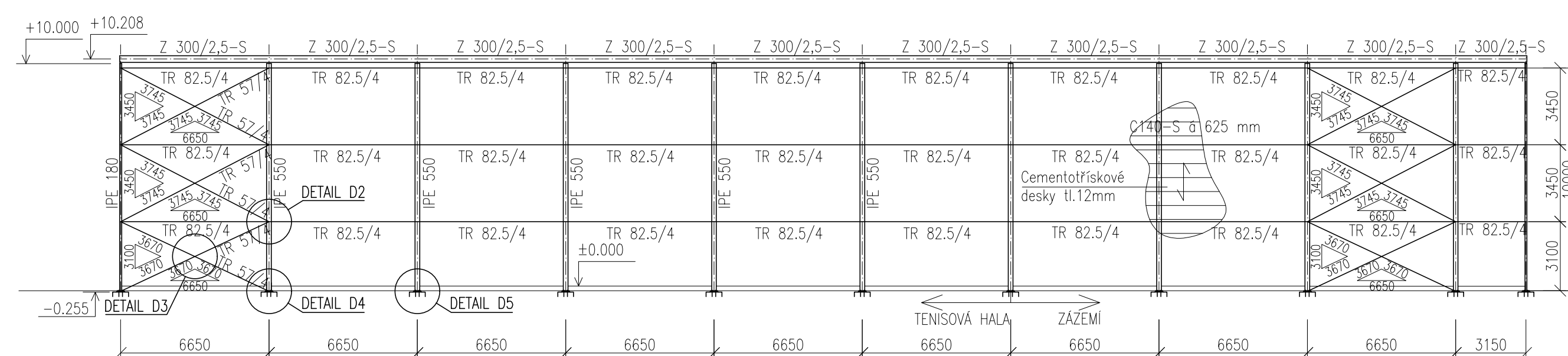
PŮDORYS STŘECHY 1:200



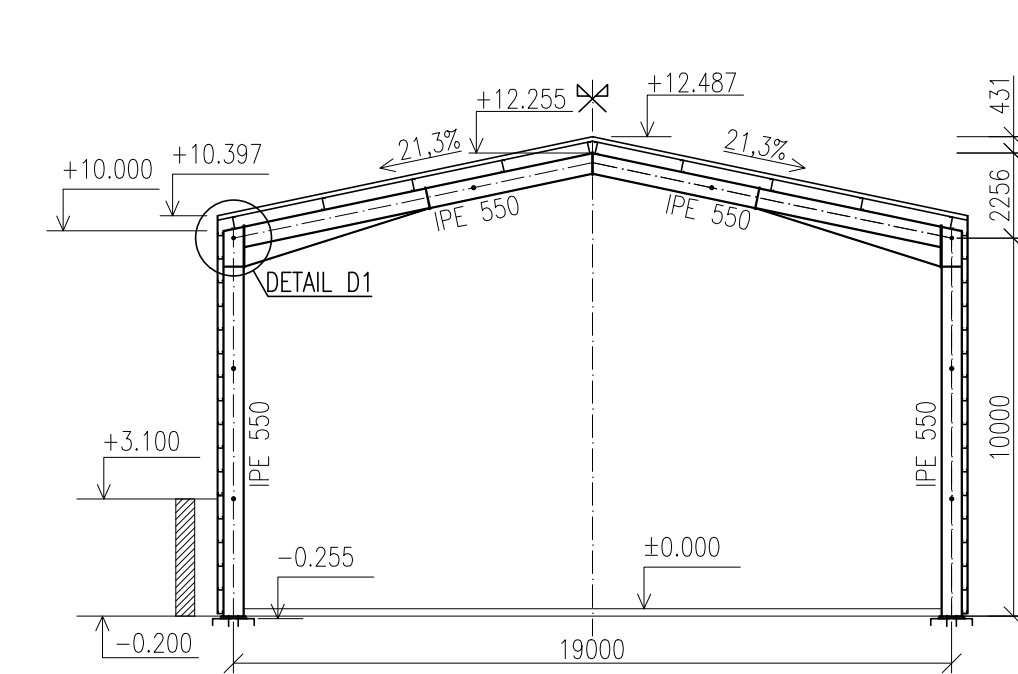
PŮDORYS (+3.350) 1:200



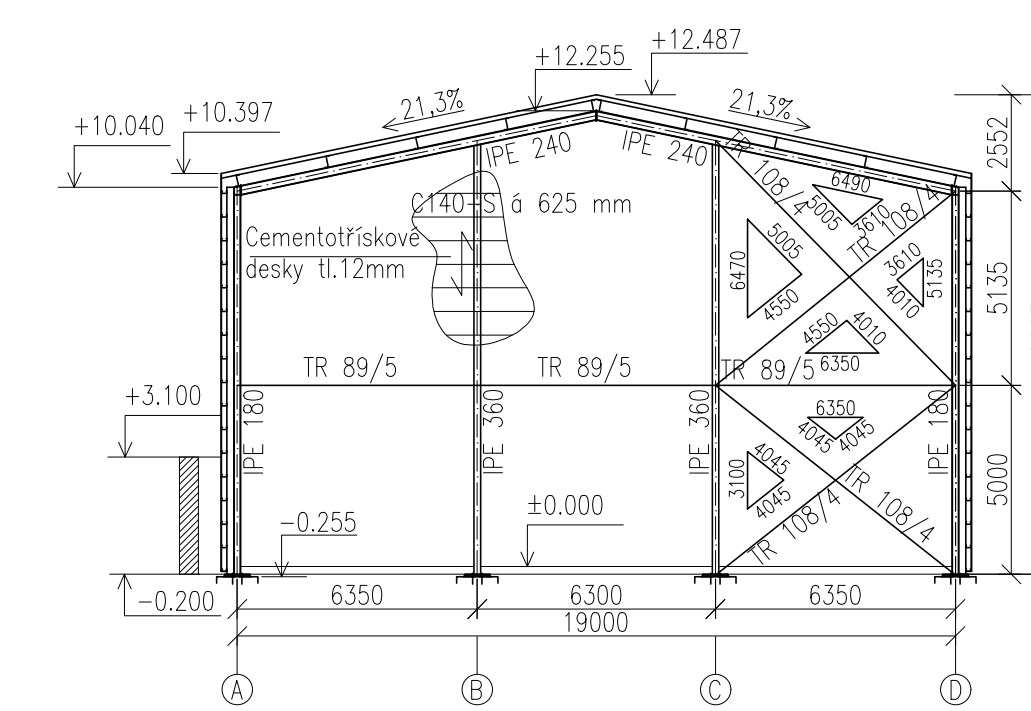
POHLED A 1:200



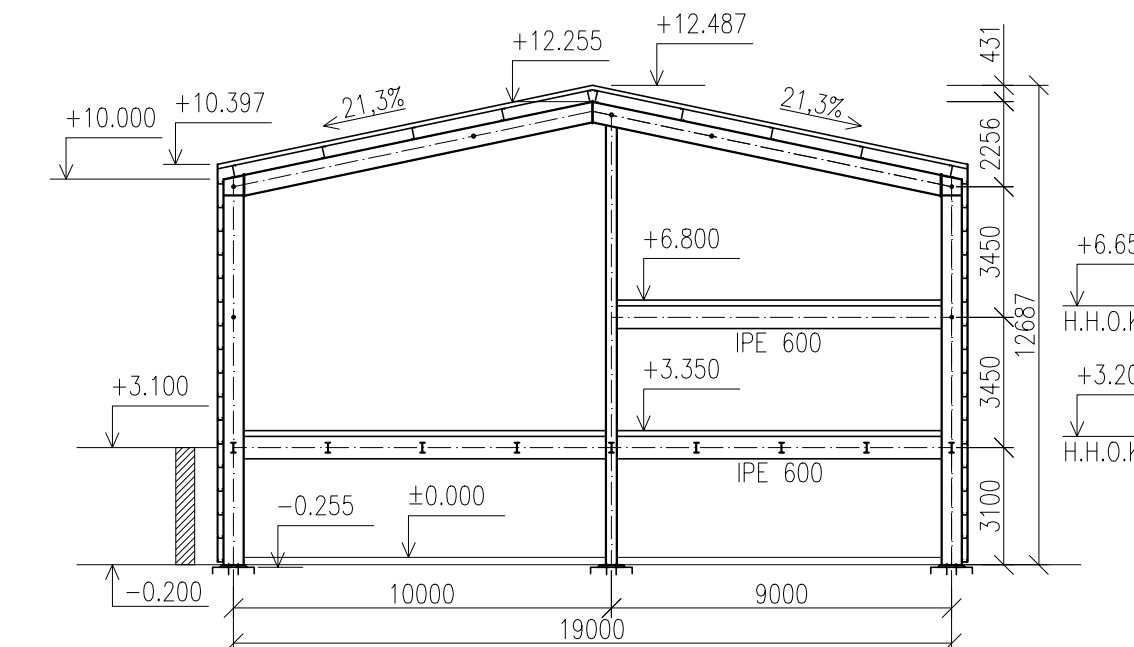
ŘEZ C-C'



POHLED B




ŘEZ D-D'



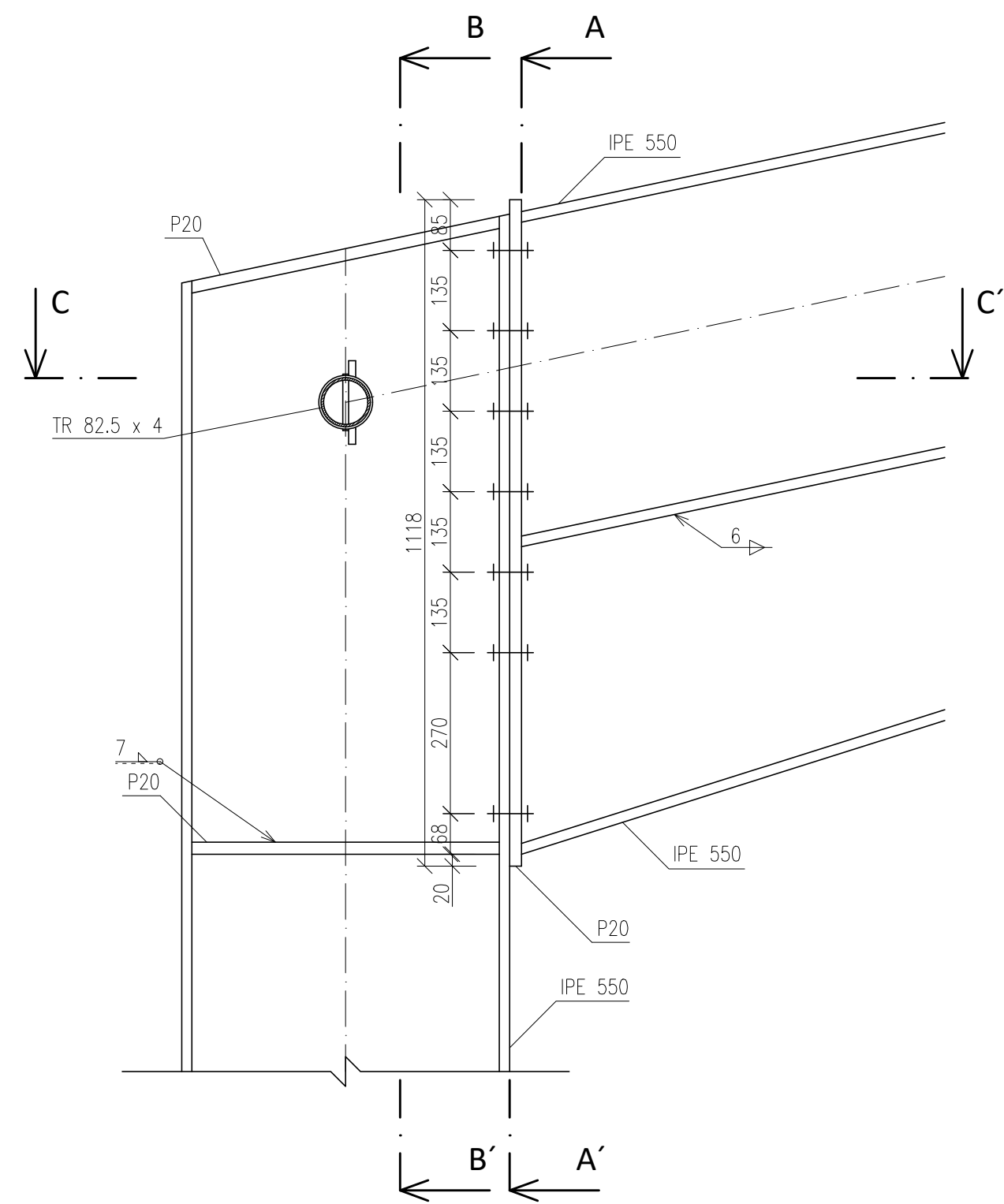
OCEL: S355JR  
S350GD...VAZNICE, PAŽDÍKY

BETON: C16/20 (ZÁKLADOVÉ PATKY)  
C25/30 (STROPNÍ DESKA)

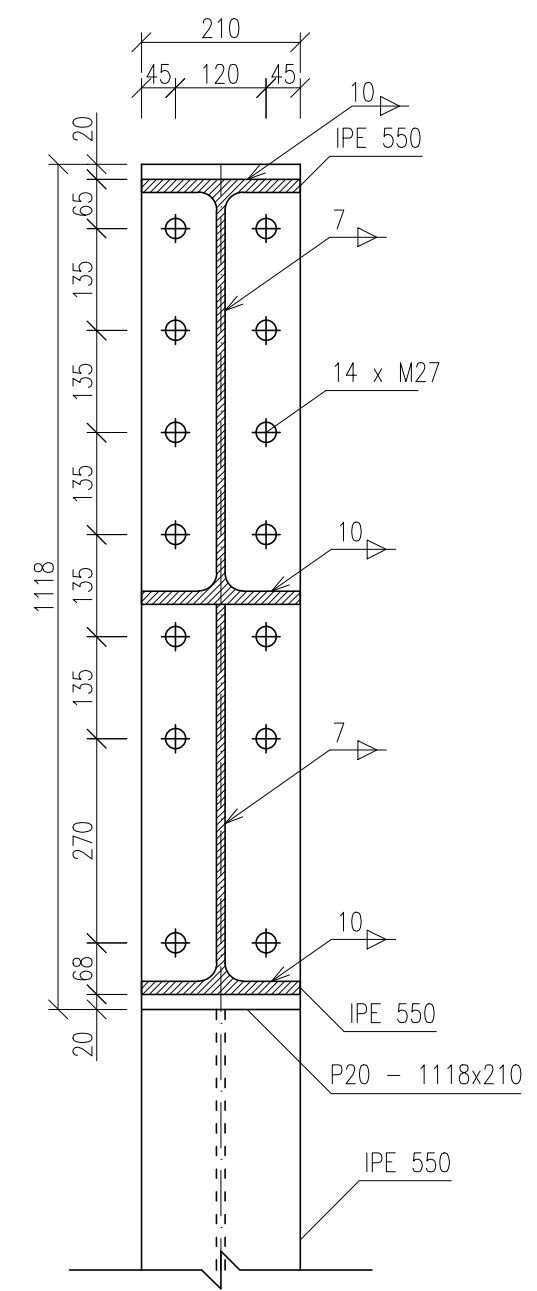
TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2  
Pozn.: H.H.O.K – Horní hrana ocelové konstrukce

VYPRACOVAL: Kateřina Ježová	VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	 ČVUT – Fakulta stavební
PŘEDMĚT: 134BAP	PROJEKT: Bakalářská práce – Tenisová hala	
KATEDRA: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí	DATUM: 05/2018	FORMÁT: A1
NÁZEV VÝKRESU: Dispozice	MĚŘÍTKO: 1:200	Č. VÝKRESU: C.1

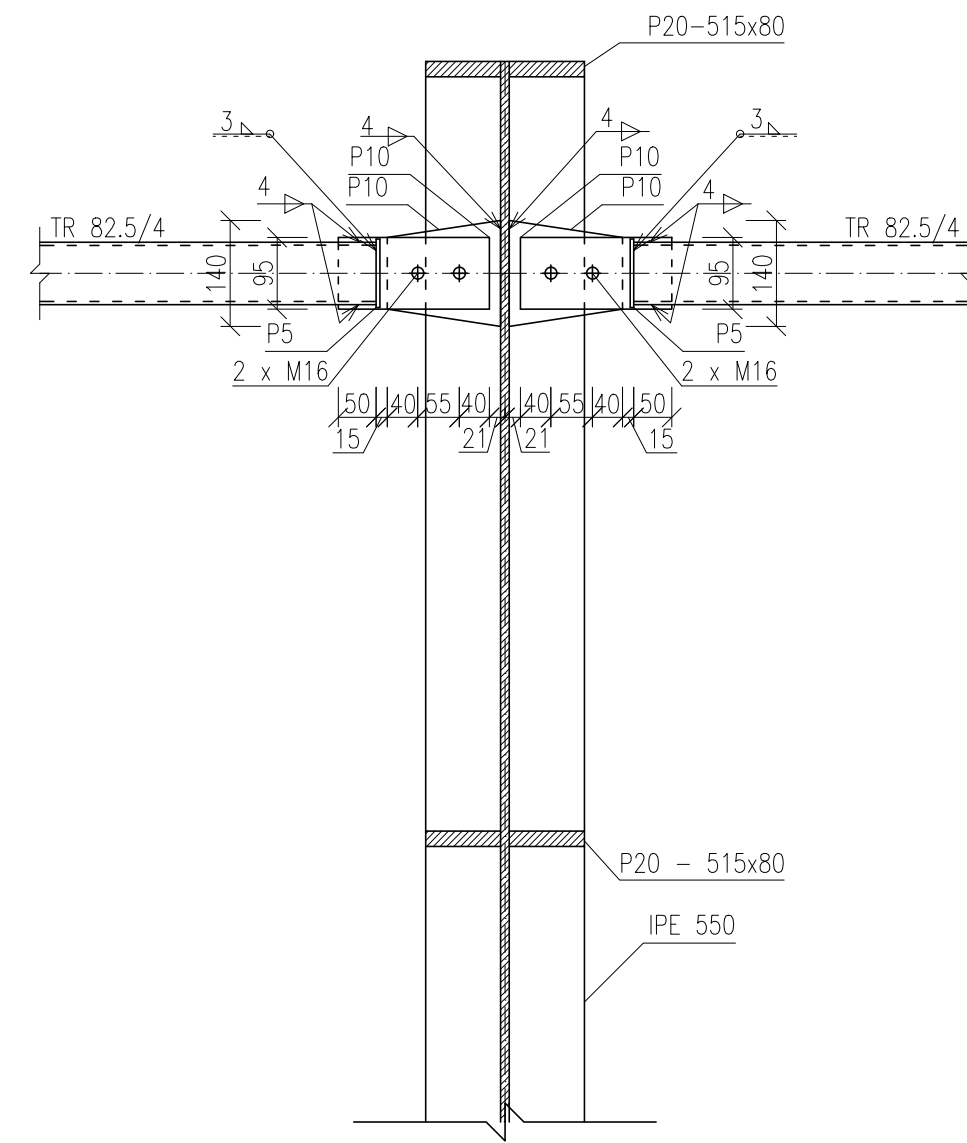
DETAIL D1 – RÁMOVÝ ROH



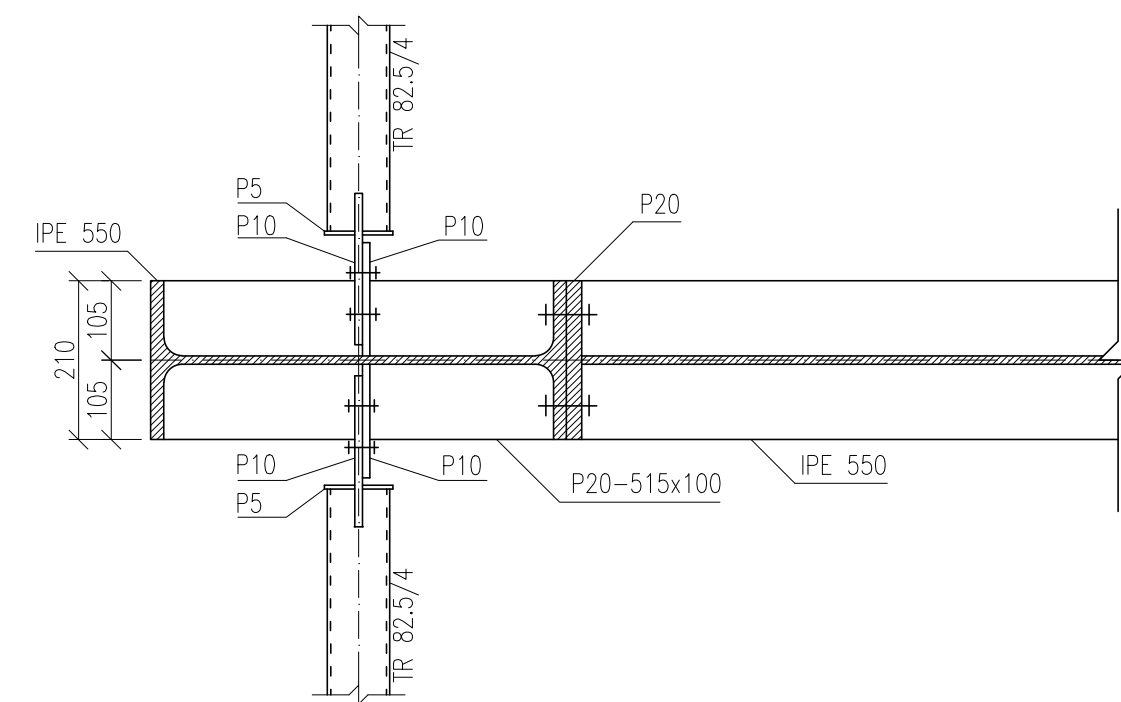
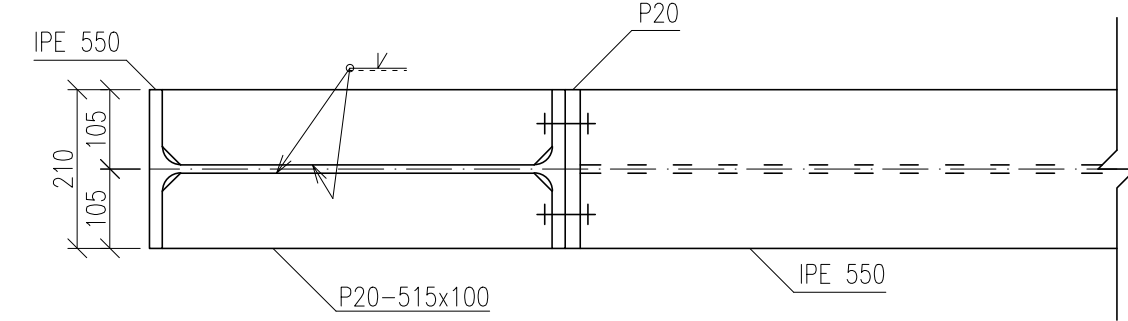
ŘEZ A – A'



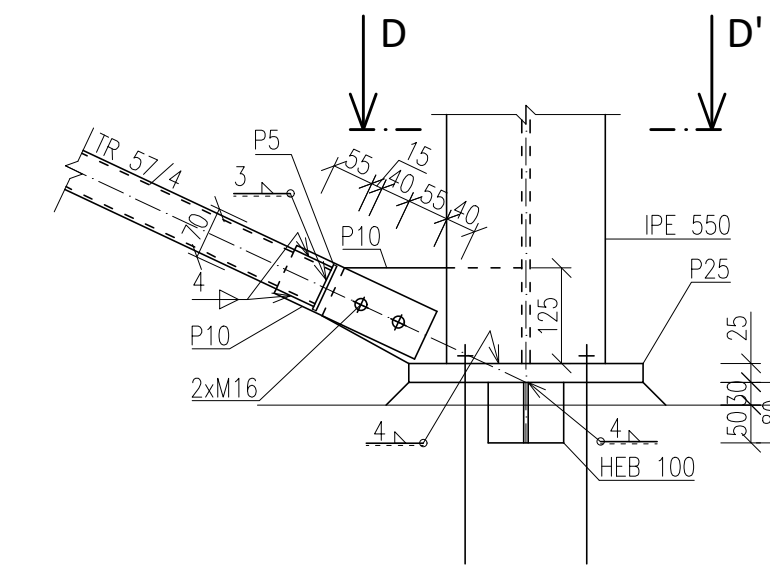
ŘEZ B – B'



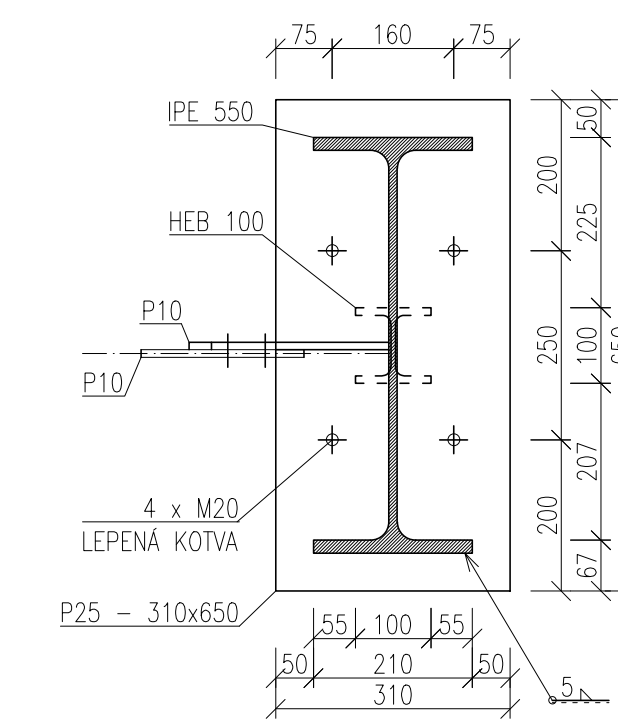
ŘEZ C – C'



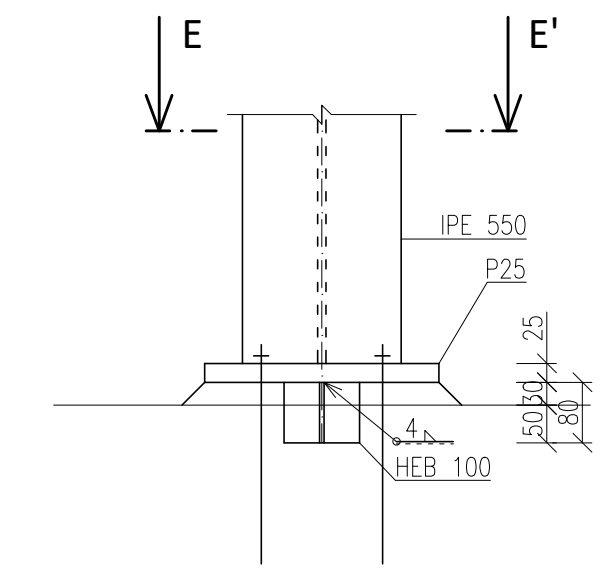
DETAIL D4 – PATKA SLOUPU ZTUŽIDLA



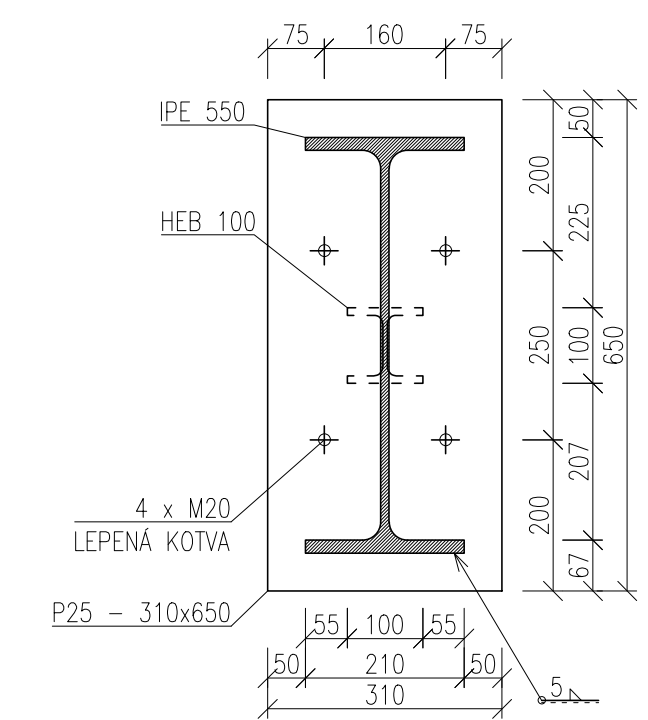
ŘEZ D – D'



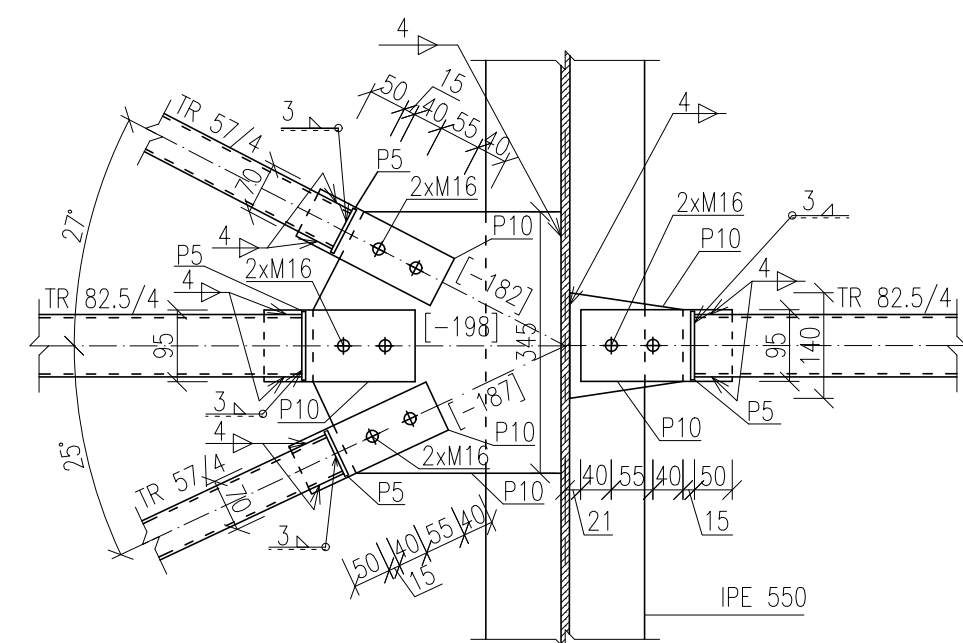
DETAIL D5 – PATKA BĚŽNÉHO SLOUPU



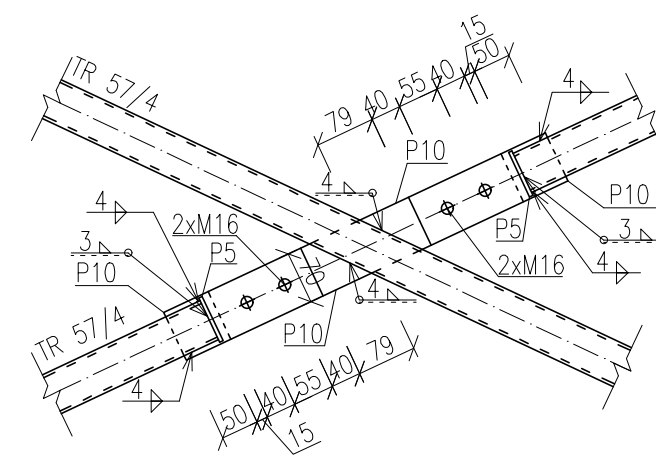
ŘEZ E – E'




DETAIL D2 – PŘÍPOJ ZTUŽIDLA NA SLOUP



DETAIL D3 – KŘÍŽENÍ ZTUŽIDEL



OCEL: S355JR  
 ŠROUBY 8.8  
 LEPENÉ KOTVY, S235  
 BETON: C16/20 (ZÁKLADOVÉ PATKY)  
 TŘÍDA PROVEDENÍ EXC2

VYPRACOVAL: Kateřina Ježová	VEDOUcí PRÁCE: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	 ČVUT – Fakulta stavební
PŘEDMĚT: 134BAP	PROJEKT: Bakalářská práce – Tenisová hala	
KATEDRA: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		FORMÁT: A1
NÁZEV VÝKRESU: Detaily		DATUM: 05/2018
		MĚŘÍTKO: 1:10
		Č. VÝKRESU: C.2