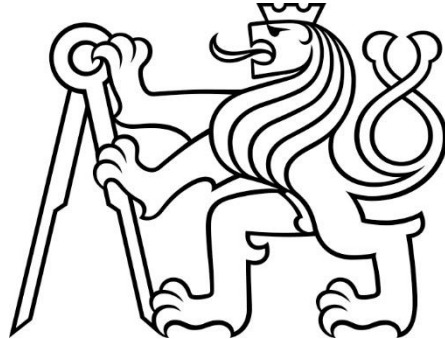


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ocelová konstrukce skladištní haly Steel structure of a storage hall

Autor: Aleš Chovanec

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

květen 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Chovanec</u>	Jméno: <u>Aleš</u>	Osobní číslo: <u>468571</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Ocelová konstrukce skladištní haly</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Steel structure of a storage hall</u>	
Pokyny pro vypracování: Návrh nosné konstrukce skladištní haly, jejích hlavních prvků (běžná vazba a štítová stěna) a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, řez, pohled, navržené detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí EN 1991 a EN 1993. Případně možno využít plášťového chování dle ECCS ER for Application of Metal Sheetting Acting as Diaphragm 1995.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Michal Jandera</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>18.2.2020</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>17.5.2020</u> <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</small>
_____ Podpis vedoucího práce	_____ Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>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“.</i>	
_____ Datum převzetí zadání	_____ Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně s výjimkou poskytnutých konzultací, všechny použité zdroje uvádím na konci technické zprávy.

V Praze dne

.....
Aleš Chovanec

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za odborné vedení a velmi cenné rady, které pomohly k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji Bc. Ondřeji Novotnému za možnost asistovat na zkouškách v laboratoři. A na závěr také své rodině za podporu při studiu.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na návrh nosné konstrukce ocelové skladištní haly v Plzni. Hala je rozdělena na skladovací a administrativní část. Statický výpočet obsahuje výpočet zatížení, návrh střešního a obvodového pláště, výběr vhodné statické varianty rámu, posouzení prvků a vybrané detaily. Dále je přiložena technická zpráva a výkresová dokumentace. Na závěr je vypočten vliv plášťového chování tenkostěnných profilů na ztužení haly s využitím hodnot určených zkouškami.

Klíčová slova

ocelová hala, náběh, rámová konstrukce, štítová stěna, rámový roh, plášťové chování

Abstract

The bachelor's thesis is focused on design of a load-bearing steel structure of a storage hall in Pilsen. The hall is divided into a storage and an administrative section. The structural design consists of load calculation, design of roofing and cladding, choice of appropriate structural variant of a main portal frame, and design of main structural members and details. Technical report and a drawing documentation is also included. Finally, stressed skin behaviour of the cladding and roofing is considered in the analysis, using experimentally derived strength and stiffness of connections.

Key words

steel structure, haunch, portal frame, gable wall, frame connection, stressed skin design

SEZNAM PŘÍLOH

- I. Úvod + technická zpráva**
- II. Statický výpočet**
- III. Výkresová dokumentace**
- IV. Vyhodnocení zkoušek**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ocelová konstrukce skladištní haly

Technická zpráva

Autor: Aleš Chovanec

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

květen 2020

1. Popis konstrukce

Tématem práce je návrh ocelové konstrukce haly, konkrétně se jedná o skladovací halu s administrativní částí v Plzni. Půdorysné rozměry jsou 41,3x12,6 m. Výška v hřebeni je zhruba 7,7 m. Lze využít 319 m² skladovacího prostoru. Mezipatro 11,8x12,6 m zabírá dvě krajní pole haly a slouží jako administrativní část a zázemí s odpovídajícím vybavením pro zaměstnance firmy.

2. Popis nosné konstrukce

Hlavní vazba haly je tvořena plnostěnným vazníkem IPE 360, který je na krajích doplněn o náběhy ze stejného profilu délky 1 700 mm a maximální výšky 300 mm. Sloupy hlavního rámu jsou z profilu HEA 300. Vazník je uložen na krajní sloupy pomocí momentového přípoje-10 řad šroubů M24. Limit vodorovné deformace je uvažován jako H/150. Proti vybočení z roviny brání rámovou příčel kruhové trubky TR 76x4. Štítová stěna je navržena z příčle IPE 220, krajních sloupů HEA 200 a prostředním kloubově uloženém sloupu také z profilu HEA 200.

Zastřešení je provedeno ve variantě bez vaznic jako skládaný střešní plášť, nosný prvek je trapézový plech TR 160/250/1,00 a je pnutý mezi vazbami jako spojitý nosník o dvou polích. Na střeše se také nachází TR 160/250/1,13, který je uvažován jako prostý nosník, schéma uložení plechů viz bod 7 technické zprávy. Sklon střechy je 8 %. Po obvodě probíhá atika.

Je navrženo příhradové střešní ztužení z trubek 102x4 u krajních vazeb haly, které zajišťuje tuhost konstrukce a přenos zatížení od větru přes trubky TR 76x4 v rovině střechy do stěnových ztužidel, které přenesou zatížení do základů. Jedno podélné stěnové ztužidlo se nachází u štítové stěny a další u konstrukce mezipatra, které také zahrnuje vliv rámových imperfekcí a imperfekcí od administrativní části. Jako nosné stěnové prvky opláštění jsou voleny kazety Satjam Cassette P600/110 tl. 1,0 mm v podélném směru a 1,25 mm v případě štítových stěn. V závěru práce je prokázáno, že by ztužení haly mohl zajistit pouze trapézový plech na střeše a kazetové stěny. Tato varianta není blíže rozepsána v této technické zprávě, nicméně v případě realizace této možnosti bez diagonálních ztužidel by bylo nutné dodržet typ a rozteč spojovacích prostředků, správný způsob montáže a přidání ocelových profilů mezi sloupy, u hřebene střechy a podél soklové oblasti haly, které zajistí roznos smykových sil do pláště.

Mezipatro je tvořeno průvlaky IPE 360 a stropnicemi IPE 270, všechny přípoje jsou kloubové. Trapézový plech 85/280/1,0 funguje jako ztracené bednění pro betonovou desku a přenáší zatížení v montážním stavu.

3. Zatížení

Zatížení sněhem:	sněhová oblast I.	$s = 0,56 \text{ kN/m}^2$
Zatížení větrem:	větrná oblast II. kategorie terénu III.	$w_{e,k} = 0,606 * c_{pe,10} \text{ kN/m}^2$
Užitné zatížení:	mezipatro – kategorie B střecha – kategorie H	$q_k = 2,5 \text{ kN/m}^2$ $q_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ na ploše $A = 10 \text{ m}^2$

4. Materiály

Ocel:	S235 JR S355 JR S320 GD+Z	rámová vazba, štítová stěna, ztužení prvky mezipatra (průvlaky, stropnice) trapézový plech, stěnové kazety
Šrouby:	8.8	
Beton:	C20/25	stropní deska mezipatra, základy

5. Použité normy

- [1] ČSN EN 1990, Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí
- [2] ČSN EN 1991-1-1, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb
- [3] ČSN EN 1991-1-3, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
- [4] ČSN EN 1991-1-4, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
- [5] ČSN EN 1991-1-6, Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-6: Obecná zatížení - Zatížení při provádění
- [6] ČSN EN 1993-1-1, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
- [7] ČSN EN 1993-1-3, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-3: Obecná pravidla - Doplnující pravidla pro za studena tvarované prvky a plošné profily
- [8] ČSN EN 1993-1-8, Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčníků

6. Výroba

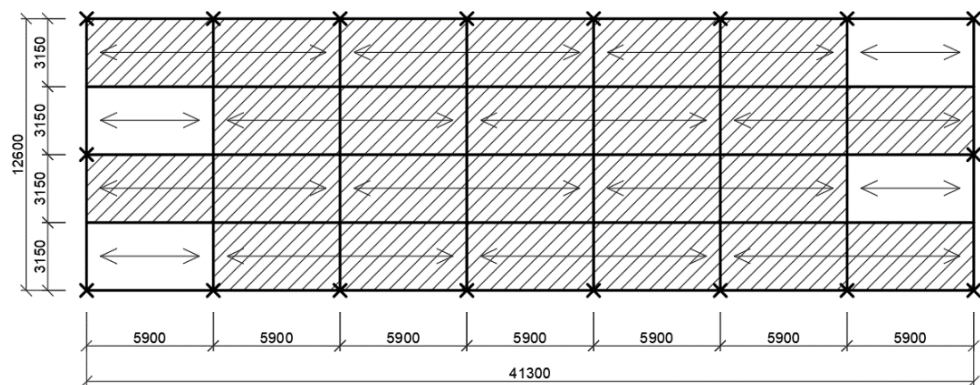
Stanovena třída následků CC2 a kategorie použitelnosti SC1. Třída provedení konstrukce je tedy EXC2.

7. Montáž

Sloupy hlavní rámové vazby jsou přes přivařený patní plech kloubově uloženy na betonové patky. Pro odpovídající spolupůsobení prvků se aplikuje cementová zálivka mezi patní plech a betonový základ. Vzhledem ke geometrii haly a působícímu zatížení nevzniká v patce tah v žádné kombinaci zatěžovacích stavů. Přenos posouvajících sil v patce je zajištěn díky kotevním šroubům.

Ve výrobě se připraví příčle hlavní rámové vazby přivařením náběhu a čelní desky. Montážní styk se nachází v polovině celkové délky příčle. Přípoj ke sloupům je řešen pomocí momentového přípoje pomocí 10 šroubů. Sloupy jsou v oblasti rámového rohu opatřeny výztuhami. Následně se obdobně provede montáž štitové stěny, s kloubově uloženým středním sloupkem. Dále se realizuje střešní i stěnové ztužení. Montážní styky ztužujících prvků jsou řešeny šroubovým přípojem styčnickovými plechy, které jsou přivařeny k příčlím (sloupům) a také k trubkám ztužení vyříznutými otvory.

Následně se začne s montáží střešního a obvodového pláště. Schéma kladečského plánu je uvedeno níže. Dále se realizuje mezipatro: sloupky, kloubově uložené průvlaky, stropnice a trapézový plech, který působí jako ztracené bednění pro betonovou desku. Průvlaky a stropnice budou během montáže podepřeny. V případě řešeného přípoje stropnice na průvlak se použije montážní vložka z plechu P5 mezi desku a stojinu průvlaku.



Nejdelším tyčovým dílcem je ztužidlo štitové stěny o délce 9,8 m, prvek o největší hmotnosti je potom sloup hlavního rámu, který váží ~650 kg.

8. Ochrana proti korozi

Veškeré ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru budovy, kde se nepředpokládá agresivní ani vlhké prostředí.

Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998):

- Stupeň korozní agresivity: C2
- Předpokládaná životnost: M
- Příprava povrchu: Sa 2 1/2 – Otryskávání – odstranění okují, rzi, nátěrů a cizích látek
- Zvolený nátěrový systém: ISO 12944-5/A2.02.
- Požadovaná tloušťka suchého povlaku vrchního nátěru: 120 μm
- Ocelové profily budou natřeny dílensky základním nátěrem a poté vrchním nátěrem v několika vrstvách

9. Ochrana proti požáru

Konstrukci je nutné posoudit na požární odolnost, posudek není tématem bakalářské práce.

10. Ostatní zdroje

- [9] SOKOL, Zdeněk a WALD, František. *Ocelové konstrukce: Tabulky*. 3. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06032-2
- [10] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce: Normy*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-05489-5
- [11] STUDNIČKA, Jiří. *Ocelové konstrukce 2: Zatížení*. 2. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-05815-2
- [12] KOLEKTIV AUTORŮ. *European Recommendations for the Application of Metal Sheeting acting as Diaphragm – Stressed Skin Desing*. ECCS, 1995. ISBN 929-14-7000-9
- [13] JANDERA, Michal, ELIÁŠOVÁ, Martina a VRANÝ, Tomáš. *Ocelové konstrukce 1 – Cvičení*, 3. opravené vydání, Praha: České vysoké učení technické, 2015.
Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/papers/OK01-Cv.pdf>
- [14] KOLEKTIV AUTORŮ. *The Testing of Connections with Mechanical Fasteners in Steel Sheeting and Sections*. 2. vydání. ECCS, 2009. ISBN 92-9147-000-91
- [15] kovprof.cz
- [16] www.satjam.cz

11. Použitý software

SCIA Engineer 19.1

LTBeamN 1.0.3

Hilti PROFIS Engineering 3.0.60

AutoCAD 2019

Microsoft Word 2016

Microsoft Excel 2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ocelová konstrukce skladištní haly

Statický výpočet

Autor: Aleš Chovanec

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

květen 2020

Obsah

1. Zadání.....	4
2. Zatížení.....	5
2.1 Zatížení sněhem.....	5
2.2 Zatížení větrem.....	5
3. Návrh střešního a obvodového pláště.....	9
3.1 Skládání střešní pláště.....	9
3.2 Skládání obvodový plášť-tenkostěnné kazety pnuté mezi sloupy.....	11
4. Rámová vazba.....	13
4.1 Zatížení.....	13
4.2 Limitní hodnoty deformace a napětí.....	14
4.3 Kombinace zatížení.....	15
4.4 Volba statické varianty rámové vazby.....	18
4.5 Rámové imperfekce.....	19
4.6 Posouzení sloupu.....	20
4.7 Posouzení příčle.....	24
5. Štítová stěna.....	29
5.1 Zatížení.....	29
5.2 Limitní hodnoty deformace a napětí.....	30
5.3 Kombinace zatížení.....	30
5.4 Statická varianta.....	31
5.5 Rámové imperfekce.....	31
5.6 Posouzení krajního sloupu.....	31
5.7 Posouzení středního sloupu.....	35
5.8 Posouzení příčle.....	39
6. Ztužení.....	43
6.1 Ztužidla ve střešní rovině.....	43
6.2 Svislá stěnová ztužidla.....	45
6.3 Svislé ztužení štítové stěny.....	50

7. Administrativní část	52
7.1 Návrh dispozice	52
7.2 Zatížení	52
7.3 Návrh trapézového plechu	53
7.4 Návrh stropnice S	54
7.5 Návrh průvlaku P	55
8. Detaily	56
8.1 Rámový roh	56
8.2 Přípoj stropnice na průvlak	64
8.3 Přípoj vodorovné trubky mezi rámy (svislíce z kap. 6.1)	66
9. Patka sloupu bez ztužidla	68
10. Ztužení haly bez střešních a stěnových ztužidel	71
10.1 Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly	71
10.2 Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru	75
10.3 Vliv trapézového plechu na vodorovné ztužení haly ve střešní rovině	78
10.4 Úpravy haly kvůli plášťovému chování	84
10.5 Porovnání výsledků s hodnotami únosností šroubů dle normy	84

1. Zadání

skladištní hala s administrativní částí

rozpon: 12,6 m

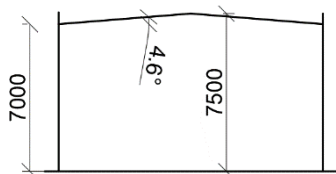
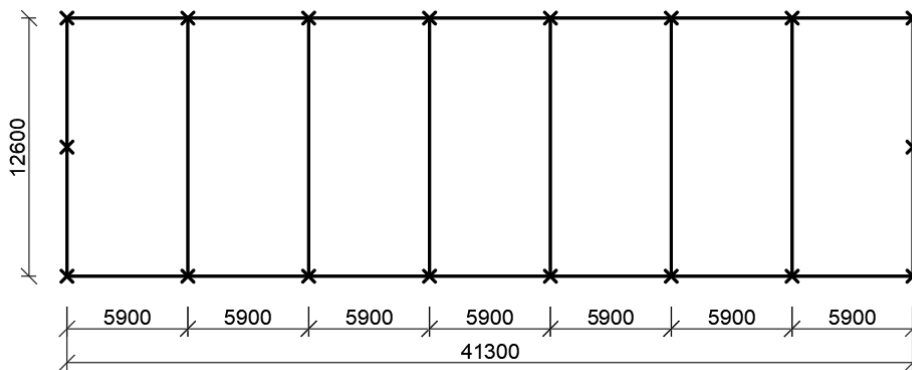
délka: 41,3 m

výška v hřebeni střechy: 7,5 m

sklon střechy: 8 % (~ 4,6°)

rozteč vazeb: 5,9 m

lokality: Plzeň



2. Zatížení

2.1 Zatížení sněhem

Plzeň: I. sněhová oblast $\rightarrow s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

normální krajina: $C_e = 1,0$

sklon střechy $\alpha \doteq 4,6^\circ \in \langle 0^\circ; 30^\circ \rangle \rightarrow \mu_1 = 0,8$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k$$

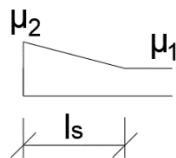
$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7$$

$$s = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Návěj u atiky

$$\mu_1 = 0,8$$

$$s_1 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$



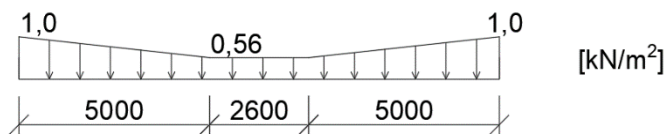
$$\mu_2 = \frac{\gamma * h}{s_k} = \frac{2 * 0,5}{0,7} = 1,43 \in \langle 0,8; 2,0 \rangle; \text{ sníh: } \gamma = 2 \text{ kN/m}^3; h \text{ je výška atiky: } \sim 0,5 \text{ m}$$

$$s_2 = 1,43 * 1,0 * 1,0 * 0,7$$

$$s_2 = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$l_s = 2 * h = 2 * 0,5 = 1,0 \notin \langle 5; 15 \rangle \rightarrow l_s = 5 \text{ m}$$

schéma zatížení sněhem s vlivem návěje u atiky:



2.2 Zatížení větrem

Základní rychlost větru

$$v_b = C_{dir} * C_{season} * v_{b,0} \quad , \text{ Plzeň: II. větrná oblast } \rightarrow v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

$$v_b = 1,0 * 1,0 * 25$$

$$v_b = 25 \text{ m/s}$$

Základní tlak větru

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

$$q_b = \frac{1}{2} * 0,00125 * 25^2$$

$$q_b = 0,391 \text{ kN/m}^2$$

Maximální dynamický tlak větru

$$q_p(z) = C_e(z) * q_b \quad , \text{ Plzeň: III. kategorie terénu} \rightarrow C_e(8) \doteq 1,55 \quad (\text{z obr. 4.2 normy [4]})$$

$$q_p(z) = 1,55 * 0,391$$

$$q_p(z) = 0,606 \text{ kN/m}^2$$

Tlak větru na vnější povrch

$$w_e = q_p(z) * c_{pe,10}$$

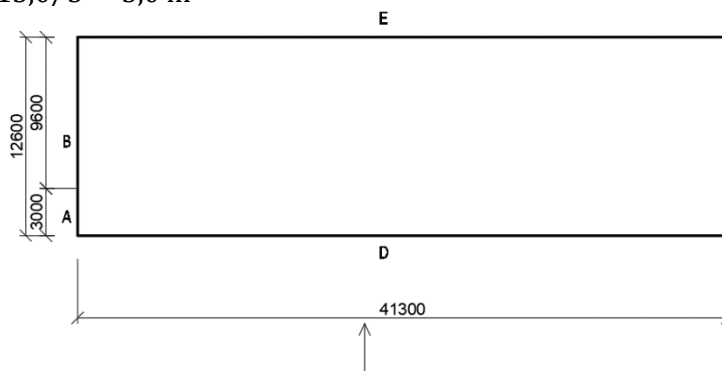
$$w_e = 0,606 * c_{pe,10} \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

a) vítr příčný

$$h/d = 7,5/12,6 = 0,60$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(41,3; 2 * 7,5) = 15,0 \text{ m} \rightarrow e > d$$

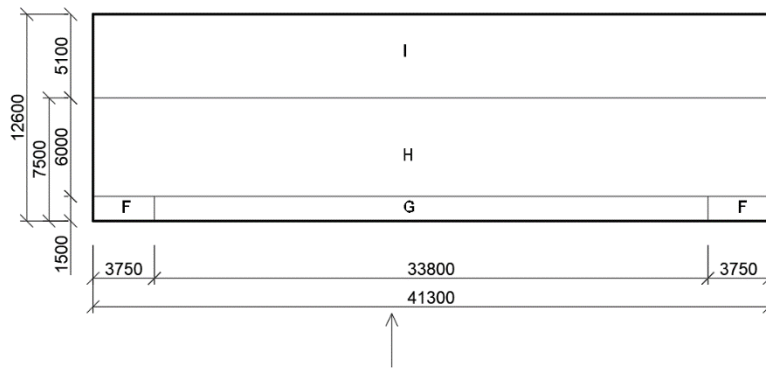
$$e/5 = 15,0/5 = 3,0 \text{ m}$$



$$e/2 = 15,0/2 = 7,5 \text{ m}$$

$$e/10 = 15,0/10 = 1,5 \text{ m}$$

$$e/4 = 15,0/4 = 3,75 \text{ m}$$

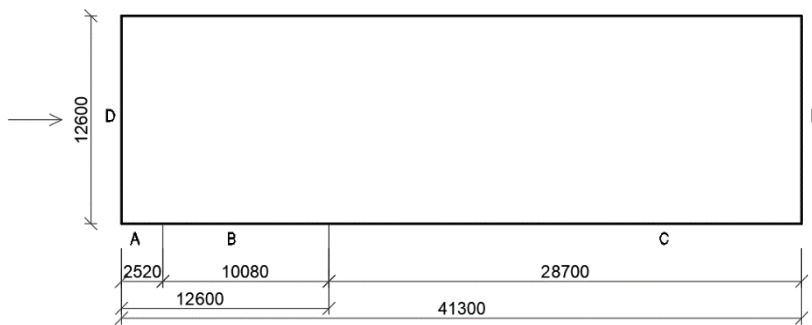


b) vítr podélný

$$h/d = 7,5/41,3 = 0,18$$

$$e = \min(b; 2h) = \min(12,6; 2 * 7,5) = 12,6 \text{ m} \rightarrow d > e$$

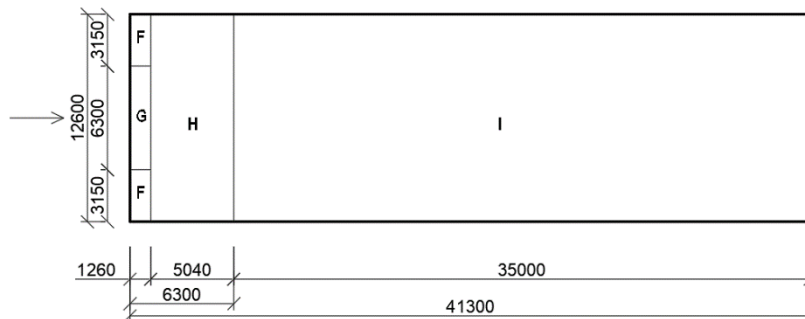
$$e/5 = 12,6/5 = 2,52 \text{ m}$$



$$e/2 = 12,6/2 = 6,3 \text{ m}$$

$$e/10 = 12,6/10 = 1,26 \text{ m}$$

$$e/4 = 12,6/4 = 3,15 \text{ m}$$



Tlak větru na vnější povrch

oblast	vítr příčný		vítr podélný	
	C_{pe}	$w_{e,k}$ [kN/m ²]	C_{pe}	$w_{e,k}$ [kN/m ²]
A	-1,20	-0,73	-1,20	-0,73
B	-1,08	-0,65	-0,80	-0,48
C	-0,50	-0,30	-0,50	-0,30
D	0,75	0,45	0,70	0,42
E	-0,39	-0,24	-0,30	-0,18
F	-1,31	-0,79	-1,31	-0,79
G	-0,86	-0,52	-0,86	-0,52
H	-0,70	-0,42	-0,70	-0,42
I	±0,20	±0,12	±0,20	±0,12

oblasti F-I určeny pro ploché střechy s atikou, $\frac{h_p}{h} \doteq 0,07$

3. Návrh střešního a obvodového pláště

Poznámka: Z důvodu možného vlivu plášťového chování trapézového plechu na ztužení haly není uvažováno více alternativ střešního ani obvodového pláště.

3.1 Skládání střešní pláště

Skladba střechy a zatížení:

		h [mm]	g_k [kN/m ²]	γ	g_d [kN/m ²]
stálé	hydroizolace	1,5	0,018	1,35	0,024
	tepelná izolace	250	0,350	1,35	0,473
	parozábrana	0,4	-	-	-
	nosný TR (navrhují)		0,150	1,35	0,203
	podhled, technologie	-	0,300	1,35	0,405
		Σ	0,82		Σ 1,10
			q_k [kN/m ²]	γ	q_d [kN/m ²]
proměnné	sníh	-	0,960	1,5	1,440
	užitné	-	0,750	1,5	1,125
		Σ	1,71		Σ 2,57

odhad TR: 0,15 kN/m²

sníh: průměrná hodnota na délce 1 m od atiky

střecha: kategorie H $\rightarrow q_k = 0,75$ kN/m² na ploše 10 m²

MSÚ

rozhodující kombinace:

$$\text{stálé} + \text{sníh} + \Psi_0 \cdot \text{vítr, tlak} + \Psi_0 \cdot \text{užitné} = 1,1 + 1,44 + 0,6 * (1,5 * 0,12) + 0,7 * 1,125 = 3,44 \text{ kN/m}^2$$

MSP

rozhodující kombinace:

$$\text{stálé} + \text{sníh} + \Psi_0 \cdot \text{vítr, tlak} + \Psi_0 \cdot \text{užitné} = 0,82 + 0,96 + 0,6 * 0,12 + 0,7 * 0,75 = 2,38 \text{ kN/m}^2$$

NÁVRH: TR 160/250; S320GD+Z

Posouzení provedeno dle tabulek výrobce Kovové profily, s.r.o. (pro $\delta_{lim} = L/200$).

1. TR 160/250/1,13 (prostý nosník) – rozhoduje MSP

t_N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]																					
		4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75	9,00	
0,75	12,00	q_{d1}	7,10	6,29	5,61	5,04	4,54	4,12	3,76	3,44	3,16	2,91	2,69	2,49	2,32	2,16	2,02	1,89	1,78	1,67	1,57	1,48	1,40
		q_{d2}	3,54	3,33	3,15	2,98	2,83	2,70	2,57	2,46	2,36	2,26	2,18	2,10	2,02	1,95	1,89	1,83	1,77	1,67	1,57	1,48	1,40
		q_k	5,34	4,46	3,75	3,19	2,74	2,36	2,06	1,80	1,58	1,40	1,25	1,11	1,00	0,90	0,81	0,73	0,67	0,61	0,56	0,51	0,47
0,88	14,08	q_{d1}	8,60	7,62	6,79	6,10	5,50	4,99	4,55	4,16	3,82	3,52	3,26	3,02	2,81	2,62	2,45	2,29	2,15	2,02	1,90	1,80	1,70
		q_{d2}	5,02	4,73	4,47	4,23	4,02	3,83	3,65	3,50	3,35	3,22	3,09	2,98	2,81	2,62	2,45	2,29	2,15	2,02	1,90	1,80	1,70
		q_k	6,55	5,46	4,60	3,91	3,36	2,90	2,52	2,21	1,94	1,72	1,53	1,36	1,22	1,10	0,99	0,90	0,82	0,75	0,68	0,63	0,58
1,00	16,00	q_{d1}	10,03	8,88	7,92	7,11	6,42	5,82	5,30	4,85	4,46	4,11	3,80	3,52	3,27	3,05	2,85	2,67	2,51	2,36	2,22	2,10	1,98
		q_{d2}	6,61	6,22	5,87	5,56	5,29	5,03	4,81	4,60	4,41	4,11	3,80	3,52	3,27	3,05	2,85	2,67	2,51	2,36	2,22	2,10	1,98
		q_k	7,60	6,34	5,34	4,54	3,89	3,36	2,92	2,56	2,25	1,99	1,77	1,58	1,42	1,28	1,15	1,04	0,95	0,87	0,79	0,73	0,67
1,13	18,08	q_{d1}	11,60	10,28	9,17	8,23	7,43	6,74	6,14	5,62	5,16	4,75	4,39	4,08	3,79	3,53	3,30	3,09	2,90	2,73	2,57	2,43	2,28
		q_{d2}	8,55	8,05	7,60	7,20	6,84	6,51	6,14	5,82	5,16	4,75	4,39	4,08	3,79	3,53	3,30	3,09	2,90	2,73	2,57	2,43	2,28
		q_k	8,63	7,19	6,06	5,15	4,42	3,81	3,32	2,90	2,56	2,26	2,01	1,79	1,61	1,45	1,31	1,19	1,08	0,98	0,90	0,82	0,76
1,25	20,00	q_{d1}	12,99	11,51	10,27	9,21	8,32	7,54	6,87	6,29	5,78	5,32	4,92	4,56	4,24	3,96	3,70	3,46	3,25	3,05	2,88	2,72	2,57
		q_{d2}	10,55	9,93	9,38	8,88	8,32	7,54	6,87	6,29	5,78	5,32	4,92	4,56	4,24	3,96	3,70	3,46	3,25	3,05	2,88	2,72	2,57
		q_k	9,57	7,98	6,72	5,72	4,90	4,23	3,68	3,22	2,84	2,51	2,23	1,99	1,79	1,61	1,45	1,32	1,20	1,09	1,00	0,91	0,84
1,50	24,00	q_{d1}	15,86	14,05	12,53	11,25	10,15	9,21	8,39	7,68	7,05	6,50	6,01	5,57	5,18	4,83	4,51	4,23	3,97	3,73	3,51	3,32	3,13
		q_{d2}	15,34	14,05	12,53	11,25	10,15	9,21	8,39	7,68	7,05	6,50	6,01	5,57	5,18	4,83	4,51	4,23	3,97	3,73	3,51	3,32	3,13
		q_k	11,55	9,63	8,11	6,89	5,91	5,11	4,44	3,89	3,42	3,03	2,69	2,40	2,15	1,94	1,75	1,59	1,44	1,32	1,20	1,10	1,01

$$2,38 \leq 2,56 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

2. TR 160/250/1,00 (spojitý nosník o 2 polích) – rozhoduje MSÚ

t_N [mm]	g [kg/m ²]	Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²]																					
		Rozpětí [m]																					
		4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75	9,00	
0,75	12,00	q_{d1}	4,75	4,30	3,92	3,59	3,29	3,04	2,81	2,61	2,42	2,26	2,11	1,98	1,86	1,75	1,65	1,56	1,47	1,40	1,32	1,26	1,20
		q_{d2}	4,40	4,00	3,65	3,35	3,08	2,85	2,64	2,45	2,28	2,13	2,00	1,88	1,76	1,66	1,57	1,48	1,40	1,33	1,26	1,20	1,14
		q_k	12,87	10,73	9,04	7,69	6,59	5,69	4,95	4,33	3,81	3,37	3,00	2,68	2,40	2,16	1,95	1,77	1,61	1,47	1,34	1,23	1,13
0,88	14,08	q_{d1}	6,32	5,72	5,20	4,76	4,36	4,02	3,71	3,44	3,20	2,98	2,79	2,61	2,45	2,30	2,17	2,05	1,93	1,83	1,74	1,65	1,56
		q_{d2}	5,86	5,32	4,85	4,45	4,09	3,77	3,49	3,24	3,02	2,82	2,64	2,47	2,32	2,19	2,06	1,95	1,85	1,75	1,66	1,58	1,50
		q_k	15,79	13,16	11,09	9,43	8,08	6,98	6,07	5,32	4,68	4,14	3,68	3,29	2,95	2,65	2,40	2,17	1,97	1,80	1,65	1,51	1,39
1,00	16,00	q_{d1}	7,93	7,17	6,52	5,96	5,46	5,03	4,64	4,30	4,00	3,72	3,48	3,25	3,05	2,87	2,70	2,55	2,41	2,28	2,15	2,03	1,92
		q_{d2}	7,36	6,68	6,09	5,57	5,12	4,72	4,37	4,06	3,78	3,52	3,30	3,09	2,90	2,73	2,57	2,43	2,30	2,18	2,07	1,97	1,87
		q_k	18,30	15,26	12,86	10,93	9,37	8,10	7,04	6,16	5,42	4,80	4,27	3,81	3,42	3,07	2,78	2,52	2,29	2,09	1,91	1,75	1,61
1,13	18,08	q_{d1}	9,74	8,81	8,00	7,30	6,69	6,15	5,68	5,26	4,88	4,54	4,24	3,97	3,72	3,50	3,29	3,10	2,91	2,74	2,58	2,44	2,31
		q_{d2}	9,06	8,21	7,47	6,84	6,28	5,79	5,35	4,96	4,62	4,30	4,02	3,77	3,54	3,33	3,14	2,96	2,80	2,65	2,52	2,39	2,27
		q_k	20,78	17,32	14,59	12,41	10,64	9,19	7,99	6,99	6,16	5,45	4,84	4,32	3,88	3,49	3,15	2,86	2,60	2,37	2,17	1,98	1,82
1,25	20,00	q_{d1}	11,32	10,22	9,27	8,45	7,74	7,11	6,55	6,06	5,63	5,23	4,88	4,56	4,28	4,00	3,74	3,50	3,29	3,09	2,91	2,75	2,60
		q_{d2}	10,53	9,53	8,67	7,92	7,27	6,69	6,18	5,73	5,33	4,96	4,64	4,34	4,07	3,83	3,61	3,40	3,22	3,05	2,89	2,74	2,60
		q_k	23,06	19,23	16,20	13,77	11,81	10,20	8,87	7,76	6,83	6,05	5,37	4,80	4,30	3,87	3,50	3,17	2,88	2,63	2,40	2,20	2,02
1,50	24,00	q_{d1}	14,53	13,08	11,84	10,77	9,83	9,02	8,30	7,66	7,04	6,49	6,01	5,57	5,18	4,83	4,52	4,23	3,97	3,74	3,52	3,32	3,14
		q_{d2}	13,54	12,22	11,09	10,11	9,26	8,51	7,85	7,26	6,74	6,27	5,85	5,47	5,13	4,81	4,52	4,23	3,97	3,74	3,52	3,32	3,14
		q_k	27,81	23,19	19,53	16,61	14,24	12,30	10,70	9,36	8,24	7,29	6,48	5,79	5,19	4,67	4,22	3,82	3,48	3,17	2,90	2,66	2,44

$$3,44 \leq 4,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

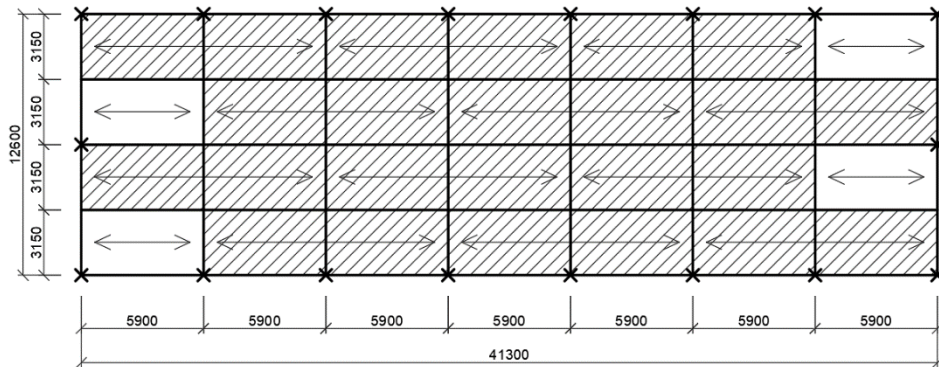
Plechý mají větší hmotnost, než jsem předpokládal → je nutné znovu ověřit posudek:

$$MSÚ = 1,14 + 1,44 + 0,6 * (1,5 * 0,12) + 0,7 * 1,125 = 3,48 \leq 4,00 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

$$MSP = 0,85 + 0,96 + 0,6 * 0,12 + 0,7 * 0,75 = 2,41 \leq 2,56 \text{ [kN/m}^2\text{]}$$

TR 160/250 vyhovuje

Poznámka: Na střeše je použit TR plech pnutý jako prostý nosník a také jako spojitý nosník o dvou polích. Schéma uložení plechů:



3.2 Skládaný obvodový plášť-tenkostěnné kazety pnuté mezi sloupy

Skladba obvodového pláště je následující: nosný prvek tvoří tenkostěnné kazety pnuté přímo mezi sloupy, mezi nimi tepelná izolace, dále vnitřní a vnější povrchová úprava. Celkovou hmotnost pláště odhaduji (bezpečně) na 30 kg/m².

Podélný směr

max vítr, tlak → oblast D: $w_{e,k} = 0,45 \text{ kN/m}^2$; $w_{e,d} = 0,68 \text{ kN/m}^2$

max vítr, sání → oblast A+B: $w_{e,k} = \frac{2,52 \cdot 0,73 + 3,38 \cdot 0,48}{5,9} = 0,59 \text{ kN/m}^2$; $w_{e,d} = 0,88 \text{ kN/m}^2$

NÁVRH: CASSETTE P 600/110/1,00; S320GD+Z

Posouzení provedeno dle tabulek výrobce SATJAM, s.r.o. (pro $\delta_{lim} = L/200$).

rozhoduje MSP
Prostý nosník

S SÁNÍ

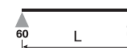


Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²		Připustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²] pro pole rozpětí L [m]																								
			3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75	9,00
0,70	0,083	1 q_d	4,06	3,46	2,98	2,60	2,28	2,02	1,80	1,62	1,46	1,33	1,21	1,11	1,02	0,94	0,87	0,80	0,75	0,70	0,65	0,61	0,57	0,54	0,51	0,48	0,45
		2 //150	4,05	3,22	2,65	2,20	1,83	1,54	1,31	1,12	0,97	0,84	0,73	0,65	0,57	0,51	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18
		3 //200	3,24	2,58	2,09	1,71	1,42	1,20	1,02	0,87	0,75	0,65	0,57	0,50	0,44	0,39	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14
0,75	0,089	1 q_d	4,40	3,75	3,23	2,82	2,48	2,19	1,96	1,76	1,59	1,44	1,31	1,20	1,10	1,02	0,94	0,87	0,81	0,75	0,71	0,66	0,62	0,58	0,55	0,52	0,49
		2 //150	4,40	3,57	2,89	2,44	2,03	1,71	1,45	1,24	1,07	0,93	0,82	0,72	0,64	0,57	0,51	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,20
		3 //200	3,60	2,87	2,32	1,90	1,58	1,33	1,13	0,97	0,83	0,72	0,63	0,56	0,49	0,44	0,39	0,35	0,32	0,28	0,26	0,23	0,21	0,20	0,18	0,16	0,15
0,80	0,095	1 q_d	4,75	4,05	3,49	3,04	2,67	2,37	2,11	1,90	1,71	1,55	1,41	1,29	1,19	1,10	1,01	0,94	0,87	0,81	0,76	0,71	0,67	0,63	0,59	0,56	0,53
		2 //150	4,75	3,94	3,19	2,70	2,24	1,89	1,60	1,37	1,19	1,03	0,90	0,79	0,70	0,62	0,56	0,50	0,45	0,41	0,37	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22
		3 //200	3,98	3,17	2,56	2,10	1,75	1,47	1,25	1,07	0,92	0,80	0,70	0,61	0,54	0,48	0,43	0,39	0,35	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22	0,20	0,18	0,17
0,88	0,104	1 q_d	5,30	4,52	3,90	3,40	2,99	2,65	2,36	2,12	1,92	1,74	1,58	1,45	1,33	1,23	1,13	1,05	0,98	0,91	0,85	0,80	0,75	0,70	0,66	0,63	0,59
		2 //150	5,30	4,52	3,69	3,03	2,59	2,18	1,85	1,59	1,37	1,19	1,04	0,92	0,81	0,72	0,64	0,58	0,52	0,47	0,42	0,39	0,35	0,32	0,30	0,27	0,25
		3 //200	4,59	3,65	2,96	2,43	2,02	1,69	1,44	1,23	1,06	0,92	0,80	0,71	0,63	0,56	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23	0,21	0,19
1,00	0,118	1 q_d	6,16	5,25	4,53	3,94	3,47	3,07	2,74	2,46	2,22	2,01	1,84	1,68	1,54	1,42	1,31	1,22	1,13	1,06	0,99	0,92	0,87	0,82	0,77	0,73	0,69
		2 //150	6,16	5,25	4,47	3,67	3,08	2,64	2,24	1,92	1,66	1,44	1,26	1,11	0,98	0,87	0,78	0,70	0,63	0,57	0,51	0,47	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30
		3 //200	5,46	4,42	3,57	2,93	2,44	2,05	1,73	1,48	1,28	1,11	0,97	0,85	0,75	0,67	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25	0,23
1,15	0,136	1 q_d	7,23	6,17	5,32	4,64	4,08	3,61	3,22	2,89	2,61	2,37	2,16	1,97	1,81	1,67	1,55	1,43	1,33	1,24	1,16	1,09	1,02	0,96	0,90	0,85	0,81
		2 //150	7,23	6,17	5,32	4,52	3,75	3,20	2,75	2,35	2,03	1,76	1,54	1,35	1,20	1,06	0,95	0,85	0,76	0,69	0,62	0,57	0,52	0,47	0,43	0,40	0,36
		3 //200	6,63	5,42	4,38	3,59	2,98	2,50	2,12	1,81	1,56	1,35	1,18	1,04	0,92	0,81	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,28
1,25	0,148	1 q_d	7,95	6,78	5,85	5,10	4,48	3,97	3,54	3,18	2,87	2,60	2,37	2,17	1,99	1,84	1,70	1,58	1,47	1,37	1,28	1,20	1,12	1,06	0,99	0,94	0,89
		2 //150	7,95	6,78	5,85	5,10	4,23	3,56	3,09	2,65	2,28	1,98	1,73	1,52	1,34	1,19	1,06	0,95	0,85	0,77	0,70	0,63	0,57	0,53	0,48	0,44	0,41
		3 //200	7,49	5,99	4,93	4,04	3,35	2,81	2,38	2,03	1,74	1,51	1,32	1,16	1,02	0,91	0,81	0,72	0,65	0,58	0,53	0,48	0,44	0,40	0,37	0,33	0,31

sání větru: $0,59 \leq 0,75 \text{ [kN/m}^2\text{]}$

Prostý nosník

T TLAK



Tloušťka mm	Vlastní tíha kN/m ²		Přípustné rovnoměrné zatížení [kN/m ²] pro pole rozpětí L [m]																											
			3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50	8,75	9,00			
0,70	0,083	1 q_d	1,76	1,63	1,51	1,41	1,32	1,24	1,18	1,11	1,06	1,01	0,96	0,92	0,88	0,81	0,75	0,70	0,65	0,61	0,57	0,53	0,50	0,47	0,44	0,42	0,39			
		2 //150	1,76	1,63	1,51	1,41	1,32	1,24	1,18	1,11	1,06	0,98	0,89	0,79	0,70	0,62	0,56	0,50	0,45	0,41	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,22			
		3 //200	1,76	1,63	1,51	1,41	1,32	1,24	1,17	1,04	0,90	0,79	0,69	0,61	0,54	0,48	0,43	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,18	0,16			
0,75	0,089	1 q_d	2,01	1,86	1,72	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,21	1,15	1,10	1,05	0,98	0,91	0,84	0,78	0,72	0,67	0,63	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,44			
		2 //150	2,01	1,86	1,72	1,61	1,51	1,42	1,34	1,27	1,21	1,09	0,99	0,87	0,77	0,69	0,61	0,55	0,49	0,44	0,40	0,37	0,33	0,30	0,28	0,26	0,24			
		3 //200	2,01	1,86	1,72	1,61	1,51	1,42	1,30	1,15	1,00	0,87	0,76	0,67	0,59	0,52	0,47	0,42	0,38	0,34	0,31	0,28	0,25	0,23	0,21	0,20	0,18			
0,80	0,095	1 q_d	2,27	2,10	1,95	1,82	1,71	1,61	1,52	1,44	1,36	1,30	1,24	1,18	1,09	1,00	0,93	0,86	0,80	0,75	0,70	0,65	0,61	0,58	0,54	0,51	0,48			
		2 //150	2,27	2,10	1,95	1,82	1,71	1,61	1,52	1,44	1,36	1,22	1,08	0,95	0,84	0,75	0,67	0,60	0,54	0,48	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,28	0,26			
		3 //200	2,27	2,10	1,95	1,82	1,71	1,61	1,43	1,26	1,09	0,95	0,83	0,73	0,64	0,57	0,51	0,46	0,41	0,37	0,33	0,30	0,28	0,25	0,23	0,21	0,20			
0,88	0,104	1 q_d	2,73	2,52	2,34	2,18	2,04	1,92	1,82	1,72	1,64	1,56	1,49	1,36	1,25	1,15	1,07	0,99	0,92	0,86	0,80	0,75	0,70	0,66	0,62	0,59	0,56			
		2 //150	2,73	2,52	2,34	2,18	2,04	1,92	1,82	1,72	1,58	1,41	1,23	1,08	0,95	0,85	0,75	0,68	0,61	0,55	0,50	0,45	0,41	0,37	0,34	0,32	0,29			
		3 //200	2,73	2,52	2,34	2,18	2,04	1,92	1,67	1,43	1,24	1,08	0,94	0,83	0,73	0,65	0,58	0,51	0,46	0,42	0,38	0,34	0,31	0,28	0,26	0,24	0,22			
1,00	0,118	1 q_d	3,47	3,21	2,98	2,78	2,61	2,45	2,32	2,19	2,08	1,95	1,77	1,62	1,49	1,37	1,27	1,18	1,10	1,02	0,96	0,89	0,84	0,79	0,74	0,70	0,66			
		2 //150	3,47	3,21	2,98	2,78	2,61	2,45	2,32	2,18	1,92	1,66	1,45	1,27	1,13	1,00	0,89	0,79	0,71	0,64	0,58	0,52	0,48	0,43	0,40	0,36	0,33			
		3 //200	3,47	3,21	2,98	2,78	2,61	2,29	1,98	1,70	1,46	1,26	1,09	0,96	0,84	0,75	0,66	0,59	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,33	0,30	0,27	0,25			
1,15	0,136	1 q_d	4,53	4,18	3,88	3,62	3,40	3,20	3,02	2,86	2,59	2,35	2,14	1,96	1,80	1,66	1,53	1,42	1,32	1,23	1,15	1,08	1,01	0,95	0,90	0,85	0,80			
		2 //150	4,53	4,18	3,88	3,62	3,40	3,20	3,02	2,60	2,26	1,96	1,70	1,49	1,31	1,16	1,03	0,92	0,83	0,74	0,67	0,61	0,55	0,51	0,46	0,42	0,39			
		3 //200	4,53	4,18	3,88	3,62	3,26	2,76	2,33	1,98	1,70	1,47	1,28	1,12	0,98	0,87	0,77	0,69	0,62	0,56	0,50	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32	0,29			
1,25	0,148	1 q_d	5,30	4,89	4,54	4,24	3,98	3,74	3,51	3,15	2,85	2,58	2,35	2,15	1,98	1,82	1,69	1,56	1,45	1,35	1,27	1,19	1,11	1,05	0,99	0,93	0,88			
		2 //150	5,30	4,89	4,54	4,24	3,98	3,74	3,35	2,85	2,48	2,14	1,86	1,63	1,44	1,27	1,13	1,01	0,91	0,81	0,74	0,67	0,61	0,55	0,51	0,46	0,43			
		3 //200	5,30	4,89	4,54	4,24	3,62	3,02	2,55	2,17	1,86	1,61	1,40	1,22	1,08	0,95	0,85	0,76	0,68	0,61	0,55	0,50	0,46	0,42	0,38	0,35	0,32			

tlak větru: $0,45 \leq 0,84$ [kN/m²]

Štítová stěna

max vítr, tlak → oblast D: $w_{e,k} = 0,42$ kN/m²; $w_{e,d} = 0,63$ kN/m²

max vítr, sání → oblast A+B: $w_{e,k} = \frac{3,0 \cdot 0,73 + 3,3 \cdot 0,65}{6,3} = 0,69$ kN/m²; $w_{e,d} = 1,03$ kN/m²

NÁVRH: CASSETTE P 600/110/1,25; S320GD+Z

Posouzení provedeno dle shodných tabulek interpolací mezi hodnotami pro L = 6,3 m.

sání větru: $0,69 \leq 0,89$ [kN/m²]

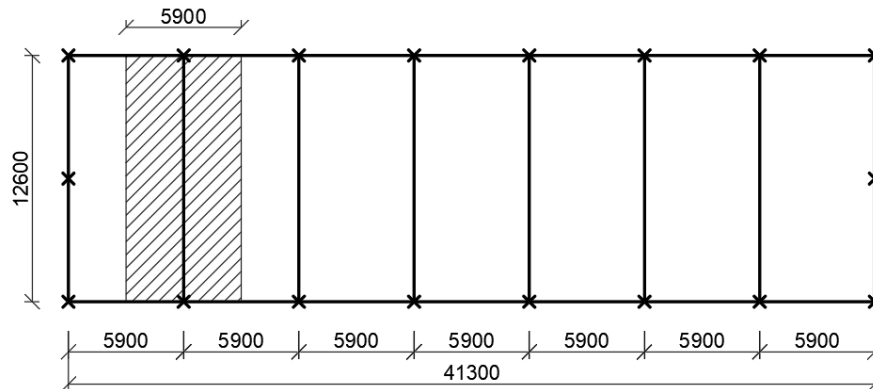
tlak větru: $0,42 \leq 0,93$ [kN/m²]

kazety P 600/110 vyhovují

4. Rámová vazba

4.1 Zatížení

Poznámka: Zatížení určeno pro nejvíce zatížený rám skladovací části. Zatěžovací šířka je 5,9 m. Navíc uvažují u stálého i proměnného zatížení roznos zatížení vzhledem k uložení TR plechů viz část 3.1. To znamená vynásobení odpovídajících zatěžovacích stavů hodnotou $\frac{2 * (1,25 + (0,5 + 0,375))}{4} \doteq 1,063$, která zohlední reakce prostého a spojitého nosníku o dvou polích.



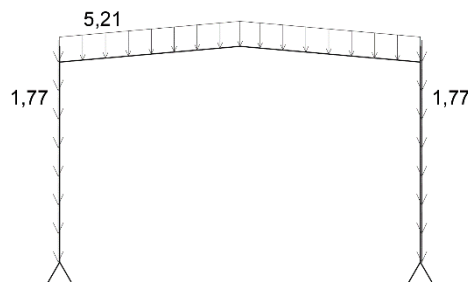
ZS1: vlastní tíha (určena automaticky ve statickém softwaru)

ZS2: ostatní stálé zatížení

$$f_{2,k,st} = 1,063 * g_k * Z\check{S} = 1,063 * 0,83 * 5,9 = 5,21 \text{ kN/m}$$

$$f_{2,k,pl} = 30 \text{ kg/m}^2 * Z\check{S} = 0,3 * 5,9 = 1,77 \text{ kN/m}$$

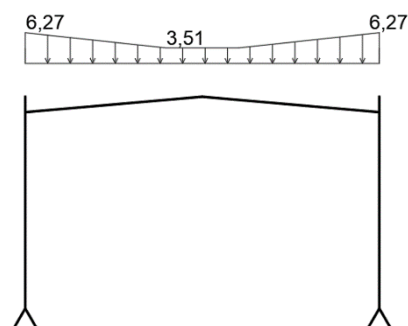
$$f_{2,k,at} = 30 \text{ kg/m}^2 * Z\check{S} = 0,3 * 5,9 = 1,77 \text{ kN/m}$$



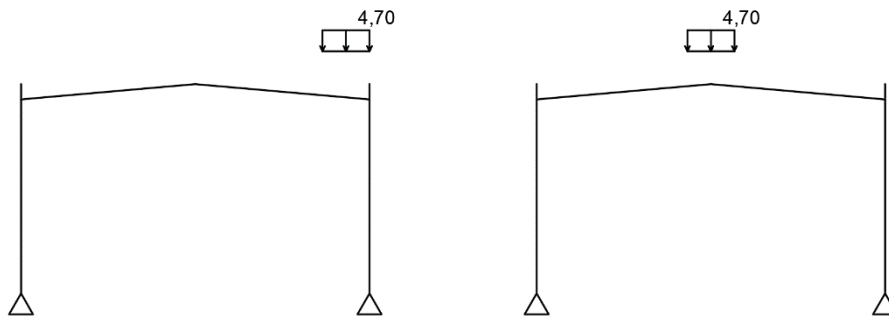
ZS3: sníh

$$f_{3,k,pole} = 1,063 * s_1 * Z\check{S} = 1,063 * 0,56 * 5,9 = 3,51 \text{ kN/m}$$

$$f_{3,k,at} = 1,063 * s_2 * Z\check{S} = 1,063 * 1,00 * 5,9 = 6,27 \text{ kN/m}$$



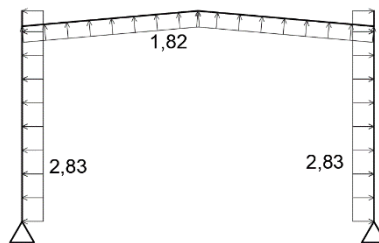
ZS4: užité 0,75 kN/m² na ploše 10 m² (uvažují 2 případy, užité zatížení na kraji a uprostřed pole)
 $f_{4,k} = 1,063 * q_k * Z\check{S} = 1,063 * 0,75 * 5,9 = 4,70 \text{ kN/m}$ na délce $\frac{10}{5,9} \doteq 1,7 \text{ m}$



ZS5: vítr podélný

$$f_{5,k,B} = w_{e,B} * Z\check{S} = -0,48 * 5,9 = -2,83 \text{ kN/m}$$

$$f_{5,k,H+I} = 1,063 \frac{(3,35 * w_{e,H} + 2,55 * w_{e,I})}{5,9} * Z\check{S} = 1,063 \frac{(3,35 * (-0,42) + 2,55 * (-0,12))}{5,9} * 5,9 = -1,82 \text{ kN/m}$$



ZS6: vítr příčný

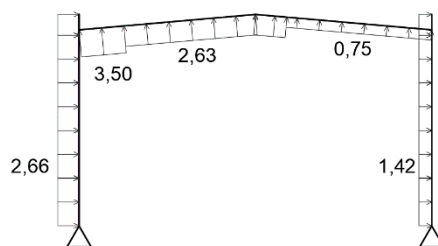
$$f_{6,k,D} = w_{e,D} * Z\check{S} = 0,45 * 5,9 = 2,66 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,E} = w_{e,E} * Z\check{S} = -0,24 * 5,9 = -1,42 \text{ kN/m}$$

$$f_{5,k,F+G} = 1,063 \frac{(0,8 * w_{e,F} + 5,1 * w_{e,G})}{5,9} * Z\check{S} = 1,063 \frac{(0,8 * (-0,79) + 5,1 * (-0,52))}{5,9} * 5,9 = -3,50 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,H} = 1,063 * w_{e,H} * Z\check{S} = 1,063 * (-0,42) * 5,9 = -2,63 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,I} = 1,063 * w_{e,I} * Z\check{S} = 1,063 * (-0,12) * 5,9 = -0,75 \text{ kN/m}$$



4.2 Limitní hodnoty deformace a napětí

Poznámka: Pro zvolení nejvhodnější varianty rámu zkusím ve statickém softwaru různé kombinace průřezu sloupu a příčle s ohledem na maximální deformace a napětí. Uvažují maximální přípustné deformace uvedené níže, v případě napětí redukuji koeficientem 0,7, který přibližně zohlední vliv klopení a vzpěru. Pokud bude rozhodovat MSÚ, tak volím ocel S355.

sloup $\delta_{x,lim} = h/150 = 7\,000/150 = 46,7$ mm
 příčel $\delta_{z,lim} = L/250 = 12\,600/250 = 50,4$ mm

$$\sigma_{lim} = 0,7 * 355 \doteq 250 \text{ MPa}$$

4.3 Kombinace zatížení

Pro volbu optimální varianty rámu uvažovány kombinace dle normy [1], bod 6.10.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Součinitele spolehlivosti γ

stálá zatížení nepříznivá: $\gamma_G = 1,35$
 stálá zatížení příznivá: $\gamma_G = 1,0$
 hlavní proměnné zatížení: $\gamma_{Q,1} = 1,5$
 vedlejší proměnná zatížení: $\gamma_Q = 1,5$
 proměnná zatížení příznivá: $\gamma_Q = 0$

Kombinační součinitele ψ_0

užitné zatížení $\psi_0 = 0,7$
 zatížení sněhem $\psi_0 = 0,5$
 zatížení větrem $\psi_0 = 0,6$

Poznámka: Uvažuji jako dominantní zatížení sníh, vítr i užitné zatížení a podle toho sestavuji různé kombinace s odpovídajícími součiniteli. Po úvaze odebíráám některé kombinace s podélným větrem, které nebudou rozhodující.

Jméno	Popis	Typ	Zatěžovací stav	Souč. [-]
MSÚ 1		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Ostatní stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	1,50
MSÚ 2		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS5 - Vítr podélný	1,50
MSÚ 3		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	1,50
MSÚ 4		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Ostatní stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	1,50
			ZS4 - Užitné 1	1,05
MSÚ 5		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Ostatní stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	0,75
			ZS4 - Užitné 1	1,50
MSÚ 6		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Ostatní stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	1,50
			ZS7 - Užitné 2	1,05
MSÚ 7		Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Ostatní stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	0,75
			ZS7 - Užitné 2	1,50

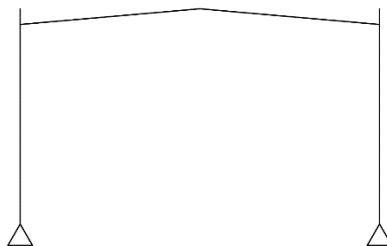
MSÚ 8	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr podélný	1,35 1,35 1,50 0,90
MSÚ 9	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 1,50 0,90
MSÚ 10	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 0,75 1,50
MSÚ 11	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS4 - Užité 1 ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 1,50 0,90
MSÚ 12	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS6 - Vítr příčný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 0,90 1,50
MSÚ 13	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS4 - Užité 1 ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 1,05 1,50
MSÚ 14	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS6 - Vítr příčný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 1,50 1,05
MSÚ 15	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS4 - Užité 1 ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 1,50 1,05 0,90
MSÚ 16	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS4 - Užité 1 ZS5 - Vítr podélný	1,35 1,35 1,50 1,05 0,90
MSÚ 17	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS6 - Vítr příčný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 1,50 0,90 1,05
MSÚ 18	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS5 - Vítr podélný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 1,50 0,90 1,05
MSÚ 19	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS4 - Užité 1 ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 0,75 1,50 0,90
MSÚ 20	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS6 - Vítr příčný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 0,75 0,90 1,50
MSÚ 21	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS4 - Užité 1 ZS6 - Vítr příčný	1,35 1,35 0,75 1,05 1,50
MSÚ 22	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha ZS2 - Ostatní stálé ZS3 - Sníh ZS6 - Vítr příčný ZS7 - Užité 2	1,35 1,35 0,75 1,50 1,05

MSP 1		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
MSP 2		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS5 - Vítr podélný	1,00
MSP 3		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	1,00
MSP 4		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS4 - Užité 1	0,70
MSP 5		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	0,50
			ZS4 - Užité 1	1,00
MSP 6		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS7 - Užité 2	0,70
MSP 7		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	0,50
			ZS7 - Užité 2	1,00
MSP 8		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS5 - Vítr podélný	0,60
MSP 9		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	0,60
MSP 10		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	0,50
			ZS6 - Vítr příčný	1,00
MSP 11		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS4 - Užité 1	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	0,60
MSP 12		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	0,60
			ZS7 - Užité 2	1,00
MSP 13		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS4 - Užité 1	0,70
			ZS6 - Vítr příčný	1,00
MSP 14		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS6 - Vítr příčný	1,00
			ZS7 - Užité 2	0,70
MSP 15		Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Ostatní stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS4 - Užité 1	0,70
			ZS6 - Vítr příčný	0,60

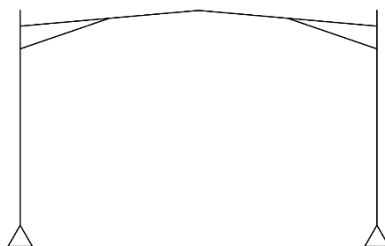
MSP 16	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	1,00
		ZS4 - Užité 1	0,70
		ZS5 - Vítr podélný	0,60
MSP 17	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	1,00
		ZS6 - Vítr příčný	0,60
		ZS7 - Užité 2	0,70
MSP 18	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	1,00
		ZS5 - Vítr podélný	0,60
		ZS7 - Užité 2	0,70
MSP 19	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	0,50
		ZS4 - Užité 1	1,00
		ZS6 - Vítr příčný	0,60
MSP 20	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	0,50
		ZS6 - Vítr příčný	0,60
		ZS7 - Užité 2	1,00
MSP 21	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	0,50
		ZS4 - Užité 1	0,70
		ZS6 - Vítr příčný	1,00
MSP 22	Lineární - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
		ZS2 - Ostatní stálé	1,00
		ZS3 - Sníh	0,50
		ZS6 - Vítr příčný	1,00
		ZS7 - Užité 2	0,70

4.4 Volba statické varianty rámové vazby

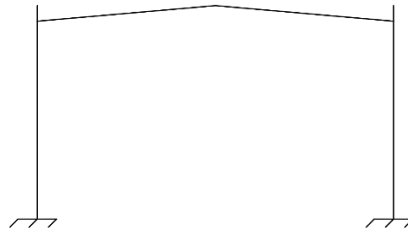
Varianta 1: Kloubové patky



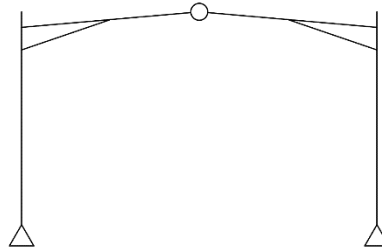
Varianta 2: Kloubové patky, příčel s náběhem



Varianta 3: Vetknuté patky



Varianta 4: Trojkloubový rám s náběhem



Zhodnocení:

	sloup	příčel	$\delta_{x,max}$ [mm]	$\delta_{z,max}$ [mm]	σ_{max} [MPa]	m [kg]
Var 1	HEA 300	IPE 400	45,4	32,3	149	2 083
Var 2	HEA 300	IPE 360+náběh	44,8	36,1	158	2 052
Var 3	HEA 220	IPE 400	26,3	44,9	205	1 550
Var 4	HEA 400	IPE 450+náběh	19,5	40,3	137	2 965

Po zvážení volím variantu 2 z oceli S235, která sestává ze sloupů HEA 300 a příčlí IPE 360 s náběhy IPE 360 výšky 300 mm v rámovém rohu. Délka náběhu je 1 700 mm. Varianta 3 má sice nejnižší hmotnost, nicméně vyžaduje konstrukci vetknutých patek, které jsou početně i konstrukčně náročné, navíc by se u této varianty musela pravděpodobně použít vyšší ocel S355. V úvahu by přicházela také varianta 1, u které by ovšem nemusel vyhovět detail rámového rohu a nakonec by se náběh stejně musel přidat.

4.5 Rámové imperfekce

$$a_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,5}} = 0,730 \in \langle 2/3; 1 \rangle$$

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

$$\theta = \theta_0 * a_h * a_m = \frac{1}{200} * 0,730 * 0,866 = 3,162 * 10^{-3} \text{ m/m}$$

Poznámka: V modelu vybrány z lineárních kombinací ty kombinace, u kterých se vyskytují maximální vnitřní síly a napětí, a u těchto vybraných kombinací jsem uplatnil nelineární výpočet se zadáním celkové imperfekce hodnotou 3,2 mm/m.

4.6 Posouzení sloupu

rozhodující kombinace č. 17

$$M_{y,Ed} = 190,62 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -98,13 \text{ kN}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

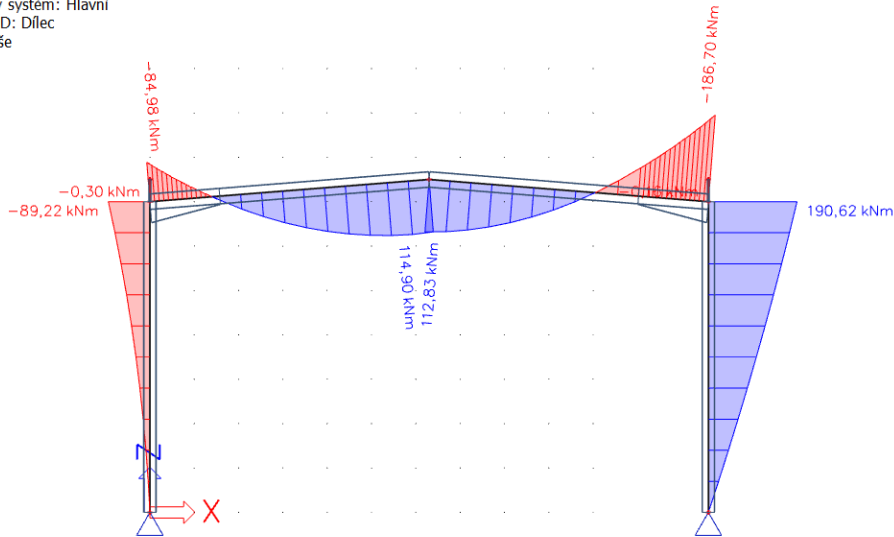
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC17

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



1D vnitřní síly

Hodnoty: N

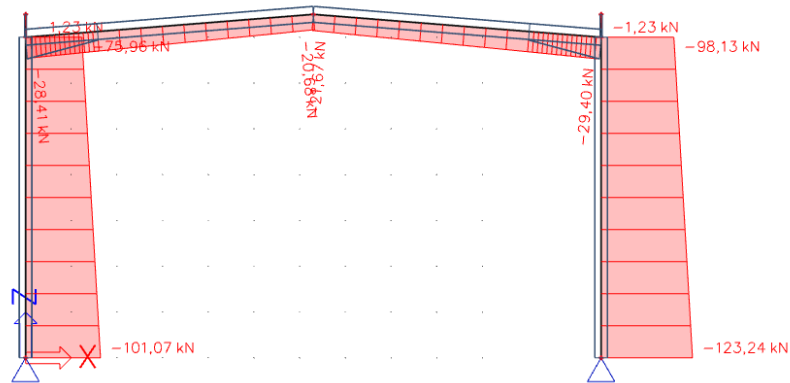
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC17

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



NÁVRH: HEA 300

S235

$$h = 290 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$t_w = 8,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 14 \text{ mm}$$

$$d = 208 \text{ mm}$$

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

$$A = 11\,250 \text{ mm}^2$$

$$W_{ply} = 1\,383 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 127 \text{ mm}$$

$$i_z = 74,9 \text{ mm}$$

$$I_y = 18\,260 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 6\,310 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_t = 85,17 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_\omega = 1\,200\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Zatřídění průřezu

posun neutrální osy

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{98\,130}{8,5 * 235} = 49,13 \text{ mm}$$

velikost tlačené části

$$\alpha = \frac{0,5 * d + x}{d} = \frac{0,5 * 208 + 49,13}{208} = 0,74 > 0,5$$

zatřídění stojiny

$$\frac{d}{t_w} = \frac{208}{8,5} \leq \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396}{13 * 0,74 - 1}; \varepsilon = 1,0$$

$$24,47 \leq 45,94$$

zatřídění pásnice

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 * \varepsilon$$

$$\frac{150 - 4,25 - 27}{14} \leq 9$$

$$8,48 \leq 9$$

→ průřez je třídy 1 v případě namáhání kombinací tlaku a ohybu

MSP

$$\delta_{lim} = h/150 = 7\,000/150 = 46,7 \text{ mm}$$

$$\delta_x = 44,8 < 46,7 \text{ [mm]}$$

1D deformace

Hodnoty: u_x

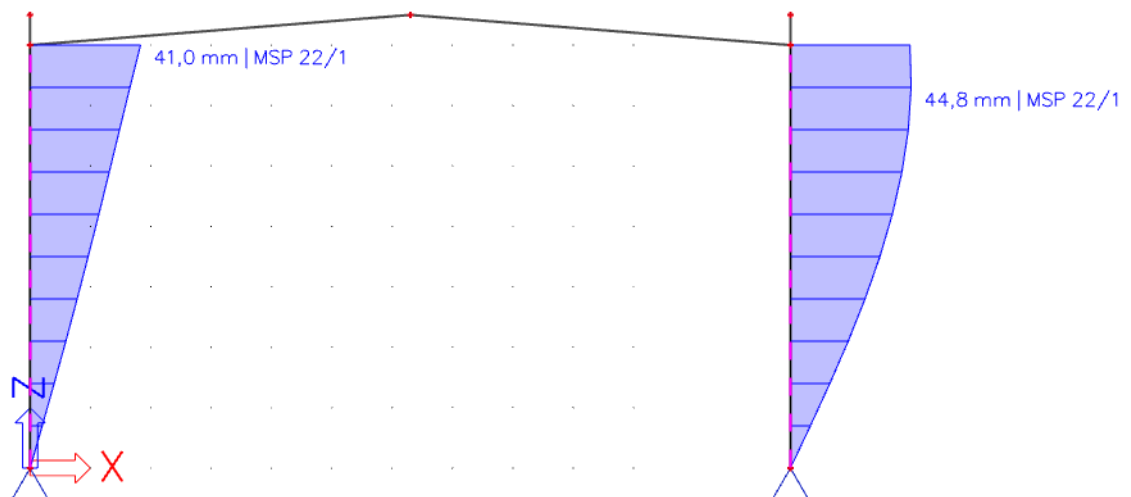
Lineární výpočet

Kombinace: MSP 22

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Dílec

Výběr: B1, B2



MSÚ

Vzpěr

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

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,000}{127} = 55,118$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,000}{74,9} = 93,458$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{55,118}{93,9} = 0,587 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \chi_y = 0,844$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{93,458}{93,9} = 0,995 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi_z = 0,543$$

Klopení

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

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

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

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E * I_\omega}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 7\,000} \sqrt{\frac{210\,000 * 1\,200\,000 * 10^6}{80\,700 * 85,17 * 10^4}} = 0,859$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) * 0,859 = 1,839 < 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,839}{1,0} \sqrt{1 + 0,859^2} = 2,425$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = 2,425 \frac{\pi \sqrt{210\,000 * 6\,310 * 10^4 * 80\,700 * 85,17 * 10^4}}{7\,000} * 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 1\,038,542 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{ply} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,383\,000 * 235}{1\,038,542 * 10^6}} = 0,559$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\varphi_{LT} = 0,5 [1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5 [1 + 0,34 (0,559 - 0,4) + 0,75 * 0,559^2] = 0,644$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,644 + \sqrt{0,644^2 - 0,75 * 0,559^2}} = 0,935 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{0,559^2}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti

$$N_{Rk} = A * f_y = 11\,250 * 235 = 2\,643\,750 \text{ N}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 1\,383 * 10^{-9} * 235 * 10^6 = 325\,005 \text{ Nm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} = 0,9 \text{ (vybočení s posuvem styčniců)}$$

$$C_{mLT} = 0,6 + 0,4 * \frac{0}{190,62} = 0,6 \text{ (lineární průběh momentu)}$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,9 \left(1 + (0,587 - 0,2) \frac{98\,130}{0,844 * 2\,643\,750} \right); 0,9 \left(1 + 0,8 \frac{98\,130}{0,844 * 2\,643\,750} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,915; 0,932\}$$

$$k_{yy} = 0,915$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 0,995}{0,6 - 0,25} * \frac{98\,130}{0,543 * 2\,643\,750}; 1 - \frac{0,1}{0,6 - 0,25} * \frac{98\,130}{0,543 * 2\,643\,750} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,981; 0,980\}$$

$$k_{zy} = 0,981$$

Posouzení

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

$$\frac{98\,130}{0,844 * 2\,643\,750} + 0,915 \frac{190\,620}{0,935 * 325\,005} \leq 1$$

$$0,618 \leq 1$$

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

$$\frac{98\,130}{0,543 * 2\,643\,750} + 0,981 \frac{190\,620}{0,935 * 325\,005} \leq 1$$

$$0,683 \leq 1$$

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

$$\frac{98\,130}{2\,643\,750} + \frac{190\,620}{325\,005} \leq 1$$

$$0,624 \leq 1$$

HEA 200 vyhovuje

4.7 Posouzení přičle

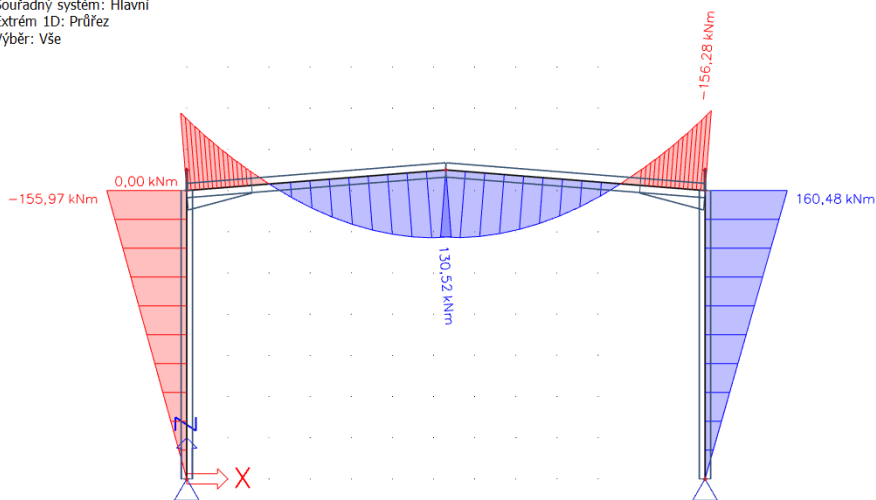
rozhodující kombinace č. 6, posouzení provedeno v místě σ_{max} , které se nachází ve vrcholu rámu

$$M_{y,Ed} = 130,52 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -22,45 \text{ kN}$$

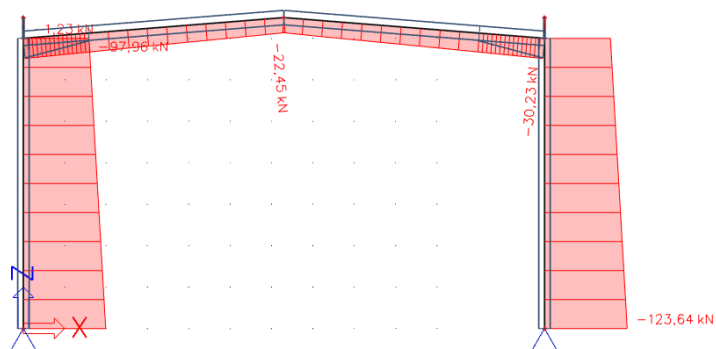
1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y
 Nelineární výpočet
 Nelineární kombinace: NC6
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Průřez
 Výběr: Vše



1D vnitřní síly

Hodnoty: N
 Nelineární výpočet
 Nelineární kombinace: NC6
 Souřadný systém: Hlavní
 Extrém 1D: Průřez
 Výběr: Vše



NÁVRH: IPE 360

S235, třída 1

h	$= 360 \text{ mm}$	b	$= 170 \text{ mm}$
t_w	$= 8 \text{ mm}$	t_f	$= 12,7 \text{ mm}$
d	$= 298,6 \text{ mm}$	r	$= 18 \text{ mm}$
A	$= 7\,273 \text{ mm}^2$	$W_{pl,y}$	$= 1\,019 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
i_y	$= 150 \text{ mm}$	i_z	$= 37,9 \text{ mm}$
I_y	$= 16\,270 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	I_z	$= 1\,043 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
I_t	$= 37,32 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$	I_ω	$= 313\,600 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

MSP

$$\delta_{lim} = h/250 = 12\,600/250 = 50,4 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 36,1 < 50,4 \text{ [mm]}$$

1D deformaceHodnoty: u_z

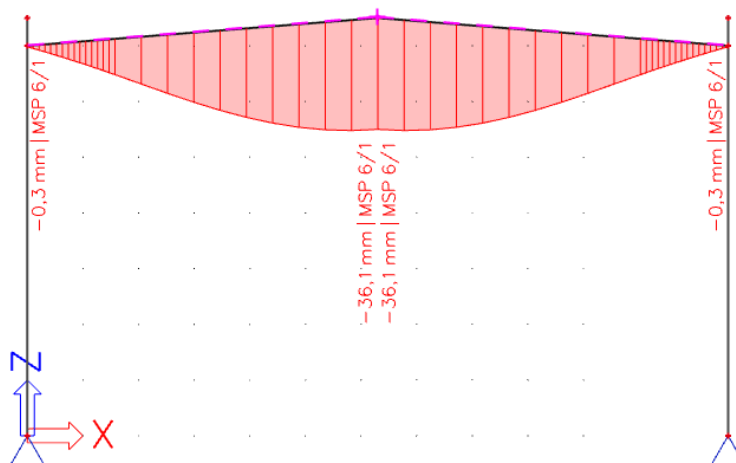
Lineární výpočet

Kombinace: MSP 6

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Dílec

Výběr: B4, B5

**MSÚ****Vzpěr**

$$L_{cr,y} = L_{cr} = 12,64 \text{ m (celá délka příčle)}$$

$$L_{cr,z} = 6,32 \text{ m (vzdálenost svislíc střešních ztužidel)}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12\,640}{150} = 84,267$$

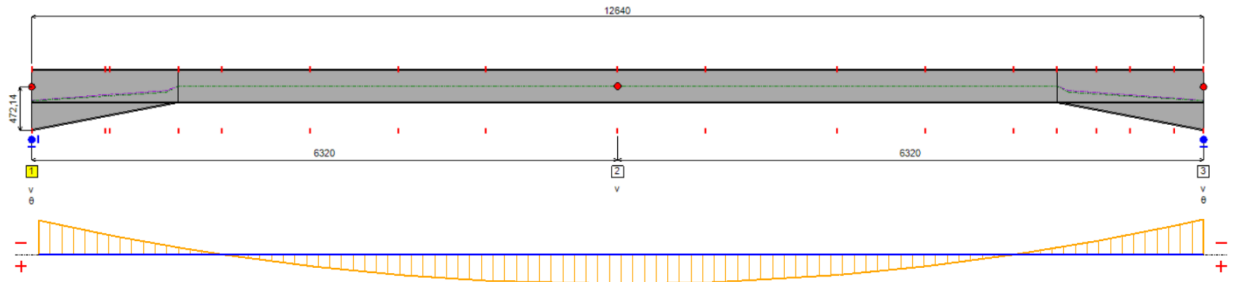
$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,320}{37,9} = 166,755$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,267}{93,9} = 0,897 \rightarrow \text{křivka a} \rightarrow \chi_y = 0,736$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{166,755}{93,9} = 1,776 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \chi_z = 0,258$$

Klopení

Pro výpočet kritického momentu využít program LTBeam, ve kterém jsem zohlednil profil příčle, náběh, svislice střešních ztužidel a průběh momentu rozhodující kombinace.



$$M_{cr} = -389,250 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1\,019\,000 * 235}{389,250 * 10^6}} = 0,784$$

$$h/b > 2 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,49$$

$$\varphi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,49(0,784 - 0,4) + 0,75 * 0,784^2] = 0,825$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,825 + \sqrt{0,825^2 - 0,75 * 0,784^2}} = 0,773 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{0,784^2}$$

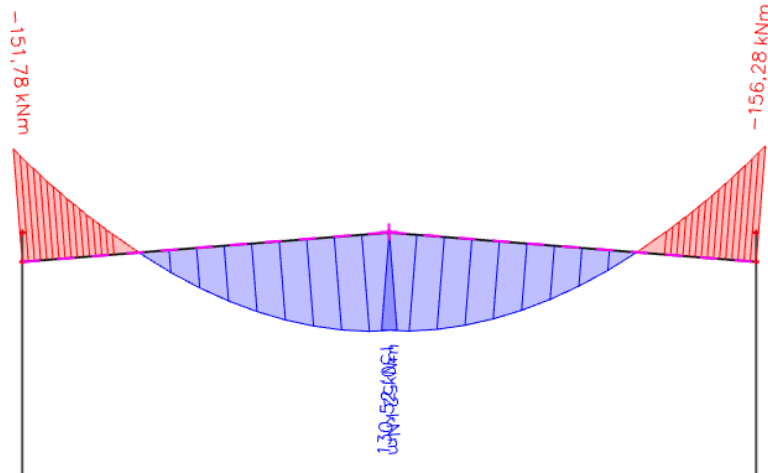
Charakteristické hodnoty únosnosti

$$N_{Rk} = A * f_y = 7\,273 * 235 = 1\,709\,155 \text{ N}$$

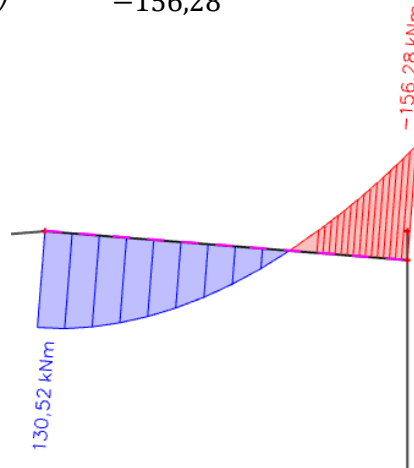
$$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 1\,019 * 10^{-9} * 235 * 10^6 = 239\,465 \text{ Nm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} = 0,1 - 0,8 * \frac{130,52}{-156,28} = 0,77$$



$$C_{mLT} = 0,1 * \left(1 - \frac{130,52}{-156,28}\right) - 0,8 * \frac{130,52}{-156,28} = 0,85 > 0,4$$



Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,77 \left(1 + (0,897 - 0,2) \frac{22\,450}{0,736 * 1\,709\,155} \right); 0,77 \left(1 + 0,8 \frac{22\,450}{0,736 * 1\,709\,155} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{ 0,780; 0,781 \}$$

$$k_{yy} = 0,780$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,776}{0,85 - 0,25} * \frac{22\,450}{0,258 * 1\,709\,155}; 1 - \frac{0,1}{0,85 - 0,25} * \frac{22\,450}{0,258 * 1\,709\,155} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,985; 0,992\}$$

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

Posouzení

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

$$\frac{22\,450}{0,736 * 1\,709\,155} + 0,780 \frac{130\,520}{0,773 * 239\,465} \leq 1$$

$$0,567 \leq 1$$

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

$$\frac{22\,450}{0,258 * 1\,709\,155} + 0,992 \frac{130\,520}{0,773 * 239\,465} \leq 1$$

$$0,750 \leq 1$$

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

$$\frac{22\,450}{1\,709\,155} + \frac{130\,520}{239\,465} \leq 1$$

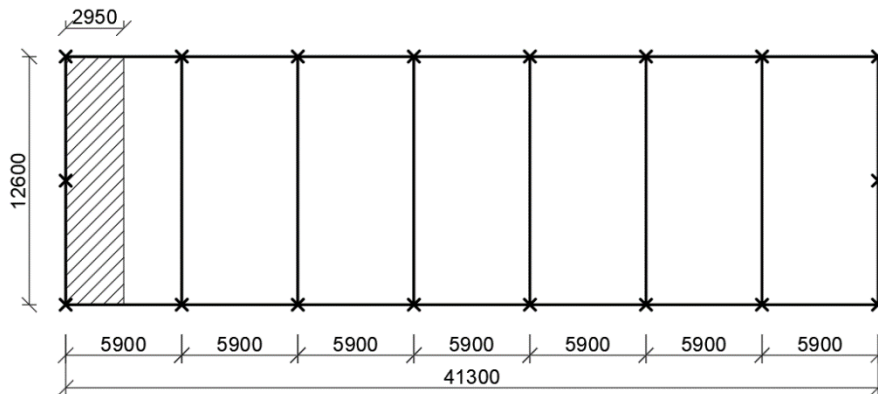
$$0,558 \leq 1$$

IPE 360 vyhovuje

5. Štítová stěna

5.1 Zatížení

Poznámka: Uvažuji u stálého i proměnného zatížení roznos zatížení vzhledem k uložení TR plechů viz část 3.2. To znamená vynásobení odpovídajících zatěžovacích stavů hodnotou $\frac{2 \cdot (0,5 + 0,375)}{4} \doteq 0,438$. Výpočet zatížení je podrobněji popsán v části 4.1, zde je stručnější.



ZS1: vlastní tíha (určena automaticky ve statickém softwaru)

ZS2: ostatní stálé zatížení

$$f_{2,k,st} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot 0,82 = 2,12 \text{ kN/m}$$

$$f_{2,k,pl} = (0,5 \cdot 5,9 + 0,5 \cdot 6,3) \cdot 0,3 = 1,83 \text{ kN/m}$$

$$f_{2,k,at} = (0,5 \cdot 5,9 + 0,5 \cdot 6,3) \cdot 0,3 = 1,83 \text{ kN/m}$$

ZS3: sníh

$$f_{3,k,pole} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot 0,56 = 1,45 \text{ kN/m}$$

$$f_{3,k,at} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot 1,00 = 2,58 \text{ kN/m}$$

ZS4: užité (uvažuji dva případy, užité zatížení na okraji a uprostřed pole)

$$f_{4,k} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot 0,75 = 1,94 \text{ kN/m na délce } \frac{10}{2,95} \doteq 3,4 \text{ m}$$

ZS5: vítr podélný

$$f_{5,k,A+B} = 0,5 \cdot 5,9 \cdot \frac{(2,52 \cdot (-0,73) + 0,43 \cdot (-0,48))}{2,95} = -2,05 \text{ kN/m}$$

$$f_{5,k,F+H} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot \frac{(1,26 \cdot (-0,79) + 1,69 \cdot (-0,42))}{2,95} = -1,49 \text{ kN/m}$$

$$f_{5,k,G+H} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot \frac{(1,26 \cdot (-0,52) + 1,69 \cdot (-0,42))}{2,95} = -1,20 \text{ kN/m}$$

ZS6: vítr příčný

$$f_{6,k,D} = 0,5 \cdot 5,9 \cdot 0,45 = 1,33 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,E} = 0,5 \cdot 5,9 \cdot (-0,24) = -0,71 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,F} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot (-0,79) = -2,04 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,H} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot (-0,42) = -1,09 \text{ kN/m}$$

$$f_{6,k,I} = 0,438 \cdot 5,9 \cdot (-0,12) = -0,31 \text{ kN/m}$$

5.2 Limitní hodnoty deformace a napětí

sloup $\delta_{x,lim} = h/150 = 7\,000/150 = 46,7\text{ mm}$

příčel $\delta_{z,lim} = L/250 = 6\,300/250 = 25,2\text{ mm}$

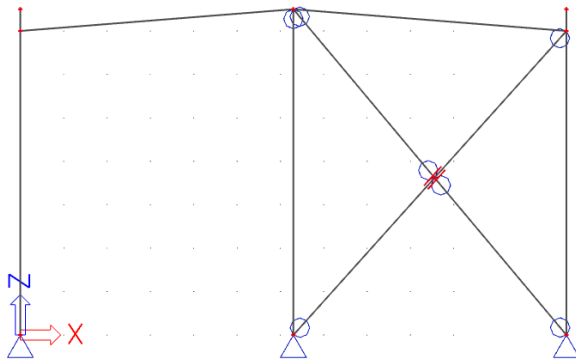
$\sigma_{lim} = 0,7 * 355 = 250\text{ MPa}$

5.3 Kombinace zatížení

Uvažuji stejné kombinace jako v části 4.3, navíc přidávám chybějící kombinace s podélným větrem, které nyní mohou být rozhodující:

MSÚ 23	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS3 - Sníh	0,75
		ZS5 - Vítr podélný	1,50
MSÚ 24	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS4 - Užité 1	1,05
		ZS5 - Vítr podélný	1,50
MSÚ 25	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS4 - Užité 1	1,50
		ZS5 - Vítr podélný	0,90
MSÚ 26	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS5 - Vítr podélný	0,90
		ZS7 - Užité 2	1,50
MSÚ 27	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS5 - Vítr podélný	1,50
		ZS7 - Užité 2	1,05
MSÚ 28	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS3 - Sníh	0,75
		ZS4 - Užité 1	1,50
		ZS5 - Vítr podélný	0,90
MSÚ 29	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS3 - Sníh	0,75
		ZS4 - Užité 1	1,05
		ZS5 - Vítr podélný	1,50
MSÚ 30	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS3 - Sníh	0,75
		ZS5 - Vítr podélný	0,90
		ZS7 - Užité 2	1,50
MSÚ 31	Lineární - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
		ZS2 - Ostatní stálé	1,35
		ZS3 - Sníh	0,75
		ZS5 - Vítr podélný	1,50
		ZS7 - Užité 2	1,05

5.4 Statická varianta



5.5 Rámové imperfekce

$$a_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,5}} = 0,730 \in \langle 2/3; 1 \rangle$$

$$a_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 0,816$$

$$\theta = \theta_0 * a_h * a_m = \frac{1}{200} * 0,730 * 0,816 = 2,98 * 10^{-3} \text{ m/m}$$

Poznámka: V modelu zavedeno pomocí celkové imperfekce hodnotou 3,0 mm/m. Opět vybírám pouze rozhodující kombinace pro nelineární výpočet.

5.6 Posouzení krajního sloupu

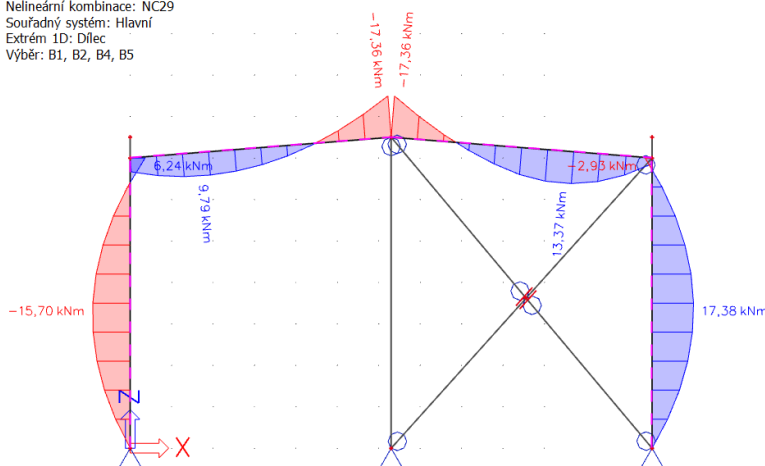
rozhodující kombinace č. 29

$$M_{y,Ed} = 17,38 \text{ kNm (ve výšce } h=3,5 \text{ m)}$$

$$N_{Ed} = -19,80 \text{ kN (ve výšce } h = 3,5 \text{ m)}$$

$$M_{z,Ed} = \frac{1}{8} (w_{e,A+B} * \gamma_Q * Z\check{S}) * L^2 = \frac{1}{8} (0,73 * 1,5 * 3,15) * 7^2 = 21,13 \text{ kNm}$$

1D vnitřní síly
Hodnoty: M_y
Nelineární výpočet
Nelineární kombinace: NC29
Souřadný systém: Hlavní
Extrém 1D: Dílec
Výběr: B1, B2, B4, B5



1D vnitřní sílyHodnoty: **N**

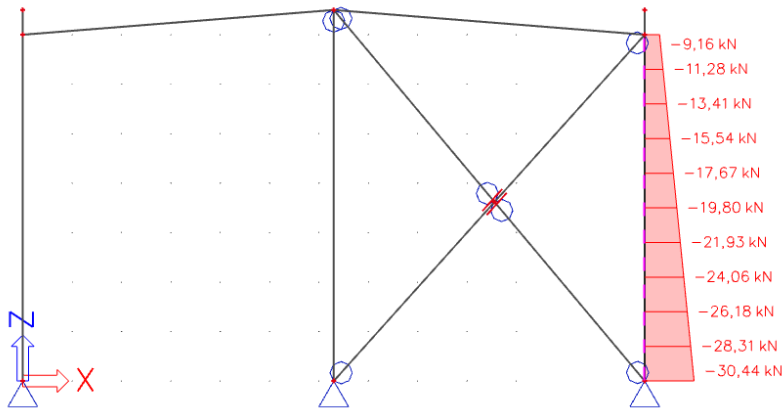
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC29

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Řez

Výběr: B2



NÁVRH: HEA 200

S235, třída 1

h = 190 mm

b = 200 mm

t_w = 6,5 mmt_f = 10 mm

d = 134 mm

r = 18 mm

A = 5 383 mm²W_{pl,y} = 429,5 * 10³ mm³i_y = 82,8 mmi_z = 49,8 mmI_y = 3 692 * 10⁴ mm⁴I_z = 1 336 * 10⁴ mm⁴I_t = 20,98 * 10⁴ mm⁴I_ω = 108 000 * 10⁶ mm⁶**MSP**

$$\delta_{lim} = h/250 = 7\,000/250 = 28 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{w_{e,A+B} * L^4}{EI_z} = \frac{5}{384} \frac{(0,73 * 3,15) * 7\,000^4}{210\,000 * 1\,336 * 10^4} = 25,6 \text{ mm} < 28 \text{ mm}$$

MSÚ**Vzpěr**

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

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,000}{82,8} = 84,541$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,000}{49,8} = 140,562$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,541}{93,9} = 0,900 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \chi_y = 0,661$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{140,562}{93,9} = 1,497 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi_z = 0,316$$

Klopení

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$C_{1,0} = C_{1,1} = 1,13 \rightarrow C_1 = 1,13$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E * I_\omega}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 7\,000} \sqrt{\frac{210\,000 * 108\,000 * 10^6}{80\,700 * 20,98 * 10^4}} = 0,519$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 0,519^2} = 1,273$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = 1,273 \frac{\pi \sqrt{210\,000 * 1\,336 * 10^4 * 80\,700 * 20,98 * 10^4}}{7\,000} * 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 124,553 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429\,500 * 235}{124,553 * 10^6}} = 0,900$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\varphi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,34(0,900 - 0,4) + 0,75 * 0,900^2] = 0,889$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,889 + \sqrt{0,889^2 - 0,75 * 0,900^2}} = 0,760 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{0,900^2}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti

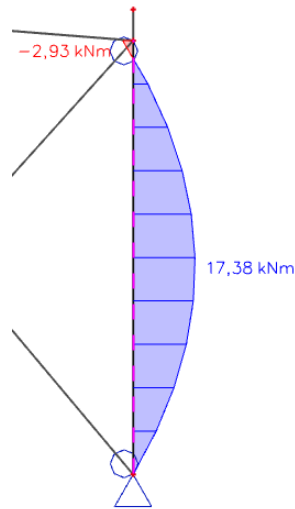
$$N_{Rk} = A * f_y = 5\,383 * 235 = 1\,265\,005 \text{ N}$$

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} * f_y = 429,5 * 10^{-9} * 235 * 10^6 = 100\,933 \text{ Nm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} * f_y = 203,8 * 10^{-9} * 235 * 10^6 = 47\,893 \text{ Nm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \frac{-2,93}{17,38} = 0,942$$



$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 * \frac{0}{21,13} = 0,95 \text{ (parabolický průběh momentu } M_z \text{)}$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,942 \left(1 + (0,900 - 0,2) \frac{19\,800}{0,661 * 1\,265\,005} \right); 0,942 \left(1 + 0,8 \frac{19\,800}{0,661 * 1\,265\,005} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,958; 0,960\}$$

$$k_{yy} = 0,958$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,497}{0,942 - 0,25} * \frac{19\,800}{0,316 * 1\,265\,005}; 1 - \frac{0,1}{0,942 - 0,25} * \frac{19\,800}{0,316 * 1\,265\,005} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,989; 0,993\}$$

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

$$k_{zz} = \min \left\{ C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right); C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = \min \left\{ 0,95 \left(1 + (2 * 1,497 - 0,6) \frac{19\,800}{0,316 * 1\,265\,005} \right); 0,95 \left(1 + 1,4 \frac{19\,800}{0,316 * 1\,265\,005} \right) \right\}$$

$$k_{zz} = \min\{1,063; 1,016\}$$

$$k_{zz} = 1,016$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz}$$

$$k_{yz} = 0,6 * 1,016$$

$$k_{yz} = 0,610$$

Posouzení

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

$$\frac{19\,800}{0,661 * 1\,265\,005} + 0,958 \frac{17\,380}{0,760 * 100\,933} + 0,610 \frac{21\,130}{47\,893} \leq 1$$

$$0,510 \leq 1$$

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

$$\frac{19\,800}{0,316 * 1\,265\,005} + 0,993 \frac{17\,380}{0,760 * 100\,933} + 1,016 \frac{21\,130}{47\,893} \leq 1$$

$$0,723 \leq 1$$

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

$$\frac{19\,800}{1\,265\,005} + \frac{17\,380}{100\,933} + \frac{21\,130}{47\,893} \leq 1$$

$$0,629 \leq 1$$

HEA 200 vyhovuje

5.7 Posouzení středního sloupu

rozhodující kombinace č. 6

$$M_{z,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = -56,01 \text{ kN (ve výšce } h = 3,5 \text{ m)}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} (w_{e,B} * \gamma_Q * Z\check{S}) * L^2 = \frac{1}{8} (0,65 * 1,5 * 6,3) * 7,5^2 = 43,19 \text{ kNm}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

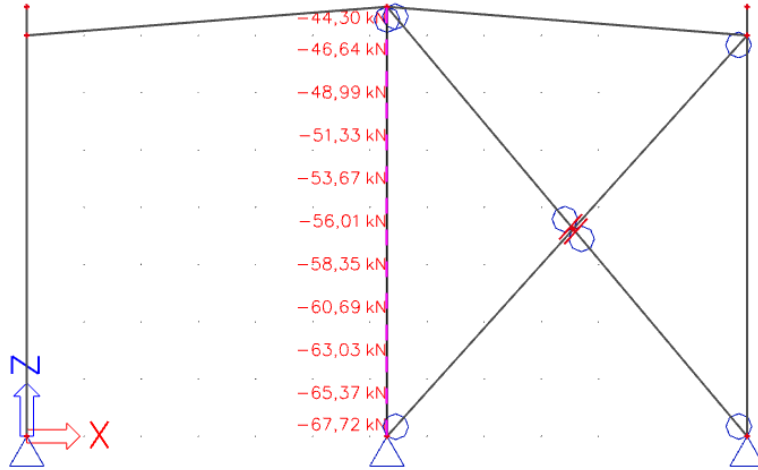
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC6

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Řez

Výběr: B9



NÁVRH: HEA 200

S235, třída 1

$h = 190 \text{ mm}$

$b = 200 \text{ mm}$

$t_w = 6,5 \text{ mm}$

$t_f = 10 \text{ mm}$

$d = 134 \text{ mm}$

$r = 18 \text{ mm}$

$A = 5\,383 \text{ mm}^2$

$W_{pl,y} = 429,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

$i_y = 82,8 \text{ mm}$

$i_z = 49,8 \text{ mm}$

$I_y = 3\,692 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$I_z = 1\,336 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$I_t = 20,98 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$

$I_\omega = 108\,000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

MSP

$$\delta_{lim} = h/250 = 7\,500/250 = 30 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5 w_{e,B} * L^4}{384 E I_y} = \frac{5 (0,65 * 6,3) * 7\,500^4}{384 * 210\,000 * 3\,692 * 10^4} = 21,8 \text{ mm} < 30 \text{ mm}$$

MSÚ

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 7,5 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7\,500}{82,8} = 90,580$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7\,500}{49,8} = 150,602$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{90,580}{93,9} = 0,965 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \chi_y = 0,620$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{150,602}{93,9} = 1,604 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi_z = 0,283$$

Klopení

$$k_w = 1,0$$

$$k_z = 1,0$$

$$C_{1,0} = C_{1,1} = 1,13 \rightarrow C_1 = 1,13$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w L} \sqrt{\frac{E * I_{\omega}}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 7\,500} \sqrt{\frac{210\,000 * 108\,000 * 10^6}{80\,700 * 20,98 * 10^4}} = 0,485$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,13}{1,0} \sqrt{1 + 0,485^2} = 1,256$$

$$M_{cr} = \mu_{cr} \frac{\pi \sqrt{E * I_z * G * I_t}}{L} = 1,256 \frac{\pi \sqrt{210\,000 * 1\,336 * 10^4 * 80\,700 * 20,98 * 10^4}}{7\,500} * 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 114,646 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{429\,500 * 235}{114,646 * 10^6}} = 0,938$$

$$h/b \leq 2 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\varphi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,34(0,938 - 0,4) + 0,75 * 0,938^2] = 0,921$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,921 + \sqrt{0,921^2 - 0,75 * 0,938^2}} = 0,737 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{0,938^2}$$

Charakteristické hodnoty únosnosti

$$N_{Rk} = A * f_y = 5\,383 * 235 = 1\,265\,005 \text{ N}$$

$$M_{Rk} = W_{pl,y} * f_y = 429\,500 * 10^{-9} * 235 * 10^6 = 100\,933 \text{ Nm}$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \frac{0}{43,19} = 0,95 \text{ (parabolický průběh momentu } M_y)$$

Interakční součinitele

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

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,95 \left(1 + (0,965 - 0,2) \frac{56\,010}{0,620 * 1\,265\,005} \right); 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{56\,010}{0,620 * 1\,265\,005} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{1,002; 1,004\}$$

$$k_{yy} = 1,002$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT} - 0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 1,604}{0,95 - 0,25} * \frac{56\,010}{0,283 * 1\,265\,005}; 1 - \frac{0,1}{0,95 - 0,25} * \frac{56\,010}{0,283 * 1\,265\,005} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,964; 0,978\}$$

$$k_{zy} = 0,978$$

Posouzení

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

$$\frac{56\,010}{0,620 * 1\,265\,005} + 1,002 \frac{43\,190}{0,737 * 100\,933} \leq 1$$

$$0,653 \leq 1$$

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

$$\frac{56\,010}{0,283 * 1\,265\,005} + 0,978 \frac{43\,190}{0,737 * 100\,933} \leq 1$$

$$0,724 \leq 1$$

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

$$\frac{56\,010}{1\,265\,005} + \frac{43\,190}{100\,933} \leq 1$$

$$0,472 \leq 1$$

HEA 200 vyhovuje

5.8 Posouzení přičle

rozhodující kombinace č.17

$$N_{Ed} = -4,29 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 23,29 \text{ kNm}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: M_y

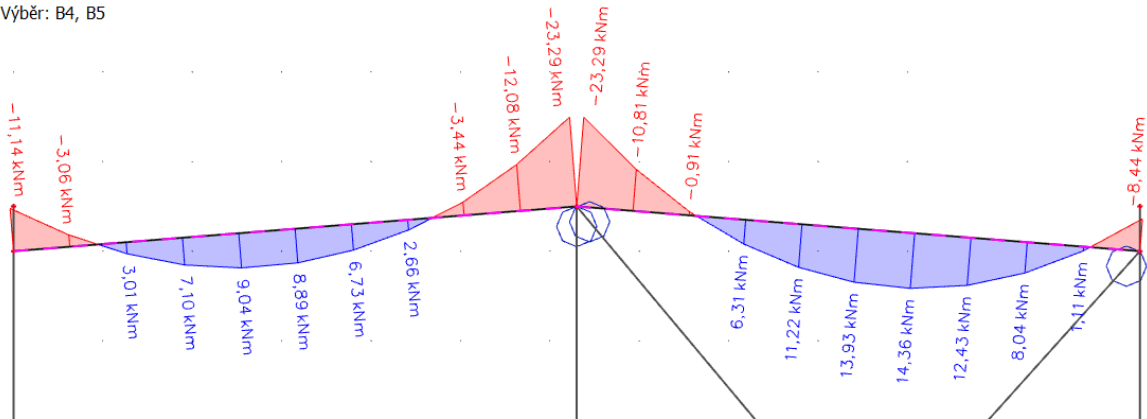
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC17

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Řez

Výběr: B4, B5



1D vnitřní síly

Hodnoty: N

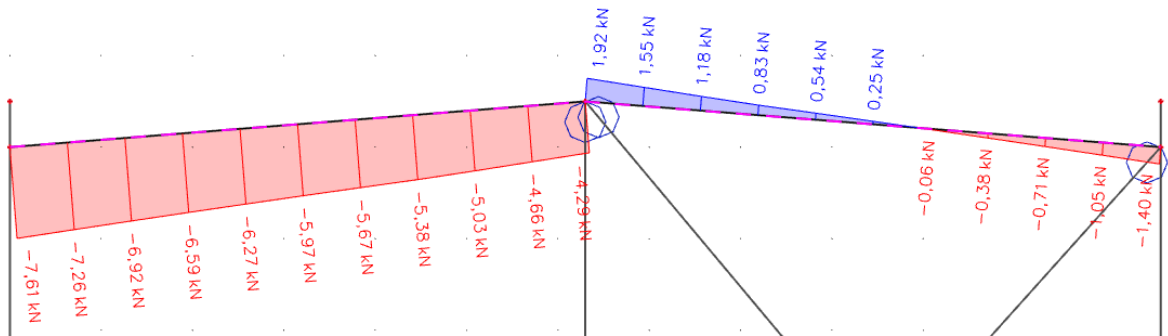
Nelineární výpočet

Nelineární kombinace: NC17

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Řez

Výběr: B4, B5



NÁVRH: IPE 220

S235, třída 1

$$h = 220 \text{ mm}$$

$$t_w = 5,9 \text{ mm}$$

$$d = 177,6 \text{ mm}$$

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

$$i_y = 91,1 \text{ mm}$$

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

$$I_t = 9,066 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$b = 110 \text{ mm}$$

$$t_f = 9,2 \text{ mm}$$

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

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

$$i_z = 24,8 \text{ mm}$$

$$I_z = 204,9 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_\omega = 22670 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

MSP

$$\delta_{lim} = h/250 = 6\,300/250 = 25,2 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 7 < 25,2 \text{ [mm]}$$

1D deformace

Hodnoty: u_z

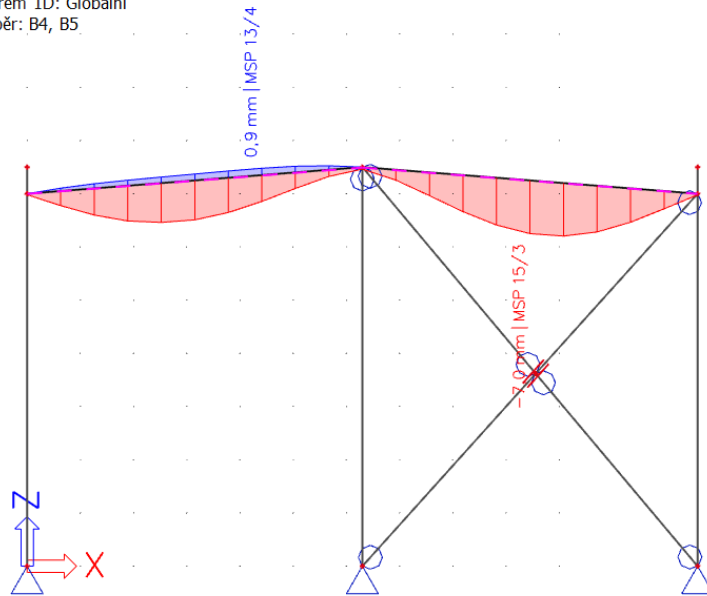
Lineární výpočet

Třída: Všechny MSP

Souřadný systém: Globální

Extrém 1D: Globální

Výběr: B4, B5



MSÚ

Vzpěr

$$L_{cr,y} = L_{cr,z} = L = 6,32 \text{ m}$$

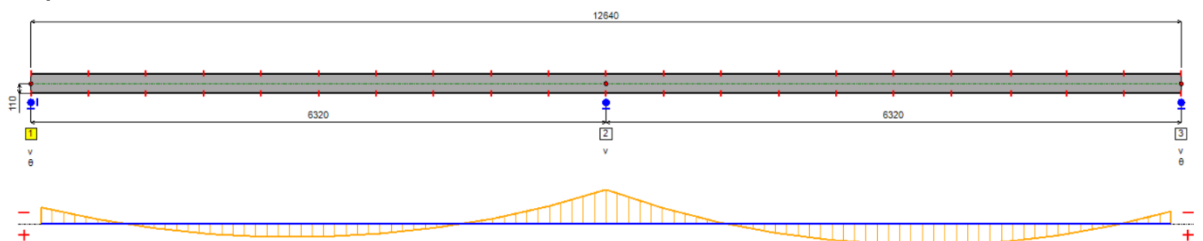
$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6320}{91,1} = 69,374$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6320}{24,8} = 254,839$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{69,374}{93,9} = 0,739 \rightarrow \text{křivka a} \rightarrow \chi_y = 0,829$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{254,839}{93,9} = 2,714 \rightarrow \text{křivka b} \rightarrow \chi_z = 0,120$$

Klopení



$M_{cr} = -30,940 \text{ kNm}$ (vypočteno v programu LTBeam)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{285\,400 \cdot 235}{30,94 \cdot 10^6}} = 1,472$$

$h/b = 2 \rightarrow$ křivka b $\rightarrow \alpha_{LT} = 0,34$

$$\varphi_{LT} = 0,5[1 + \alpha_{LT}(\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2] = 0,5[1 + 0,34(1,472 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,472^2] = 1,495$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\varphi_{LT} + \sqrt{\varphi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{1,506 + \sqrt{1,506^2 - 0,75 \cdot 1,472^2}} = 0,439 \leq 1,0$$

$$\leq \frac{1}{1,472^2}$$

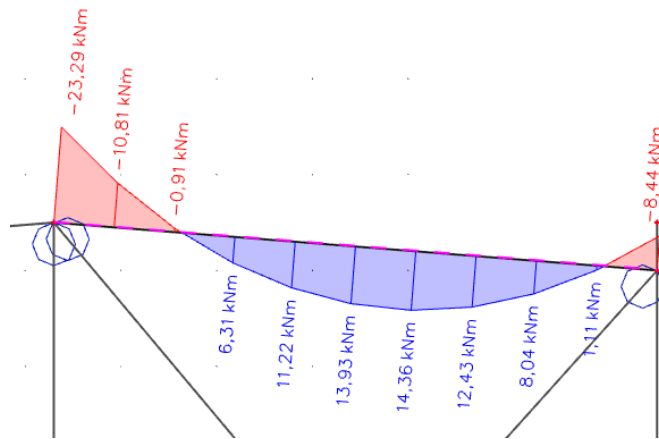
Charakteristické hodnoty únosnosti

$$N_{Rk} = A \cdot f_y = 3\,337 \cdot 235 = 784\,195 \text{ N}$$

$$M_{Rk} = W_{pl,y} \cdot f_y = 285,4 \cdot 10^{-9} \cdot 235 \cdot 10^6 = 67\,069 \text{ Nm}$$

Součinitele ekvivalentního konstantního momentu

$$C_{my} = C_{mLT} = 0,1 - 0,8 \cdot \frac{14,36}{-23,29} = 0,59 > 0,4$$



Interakční součinitele

$$k_{yy} = \min \left\{ C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right); C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ 0,59 \left(1 + (0,739 - 0,2) \frac{4\,290}{0,739 \cdot 784\,195} \right); 0,59 \left(1 + 0,8 \frac{4\,290}{0,739 \cdot 784\,195} \right) \right\}$$

$$k_{yy} = \min\{0,592; 0,593\}$$

$$k_{yy} = 0,592$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{C_{mLT}-0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}}; 1 - \frac{0,1}{C_{mLT}-0,25} * \frac{N_{Ed}}{\chi_z * N_{Rk}} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ 1 - \frac{0,1 * 2,714}{0,59 - 0,25} * \frac{4\,290}{0,120 * 784\,195}; 1 - \frac{0,1}{0,59 - 0,25} * \frac{4\,290}{0,120 * 784\,195} \right\}$$

$$k_{zy} = \max\{0,964; 0,987\}$$

$$k_{zy} = 0,987$$

Posouzení

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

$$\frac{4\,290}{0,739 * 784\,195} + 0,592 \frac{23\,290}{0,439 * 67\,069} \leq 1$$

$$0,475 \leq 1$$

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

$$\frac{4\,290}{0,120 * 784\,195} + 0,987 \frac{23\,290}{0,439 * 67\,069} \leq 1$$

$$0,825 \leq 1$$

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

$$\frac{4\,290}{784\,195} + \frac{23\,290}{67\,069} \leq 1$$

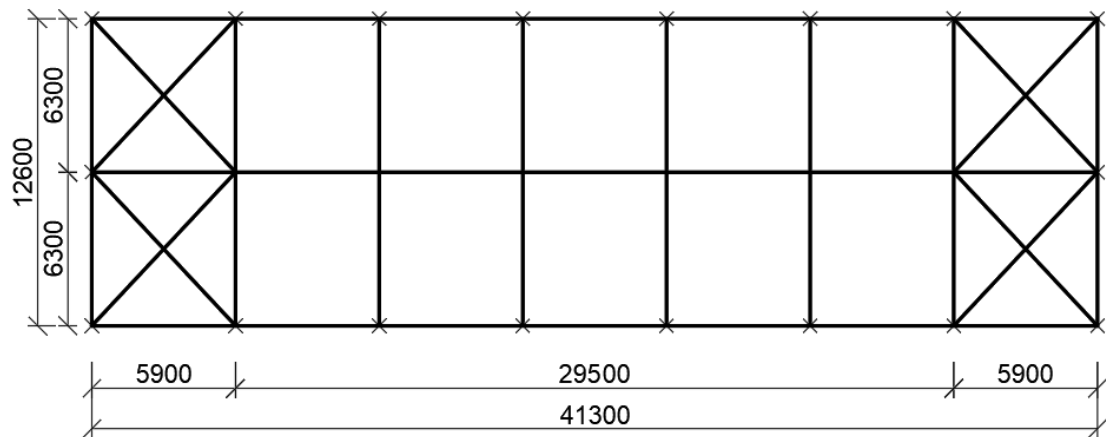
$$0,353 \leq 1$$

IPE 220 vyhovuje

6. Ztužení

6.1 Ztužidla ve střešní rovině

Navrhuji dvě příčná střešní ztužidla u obou štítů haly.



Zatížení podélným větrem (tlak)

$$w_{e,1,D} = w_{e,D} * \gamma_Q * A_1 = 0,42 * 1,5 * 11,46 = 7,22 \text{ kN}$$

$$w_{e,2,D} = w_{e,D} * \gamma_Q * A_2 = 0,42 * 1,5 * 23,08 = 14,54 \text{ kN}$$

$$w_{e,3,D} = w_{e,1,D} = 7,22 \text{ kN}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

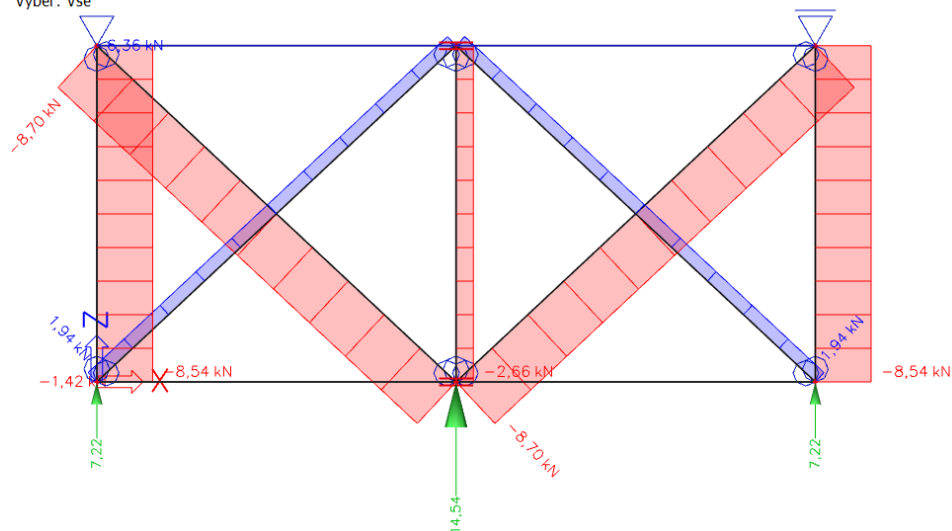
Lineární výpočet

Zatěžovací stav: Vitr podélný Dd

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Zatížení příčným větrem (sání)

$$w_{e,1,A+B} = w_{e,A+B} * \gamma_Q * A_1 = -0,73 * 1,5 * 11,46 = -12,55 \text{ kN}$$

$$w_{e,2,B} = w_{e,B} * \gamma_Q * A_2 = -0,65 * 1,5 * 23,08 = -22,50 \text{ kN}$$

$$w_{e,3,B} = w_{e,B} * \gamma_Q * A_3 = -0,65 * 1,5 * 11,46 = -11,17 \text{ kN}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: N

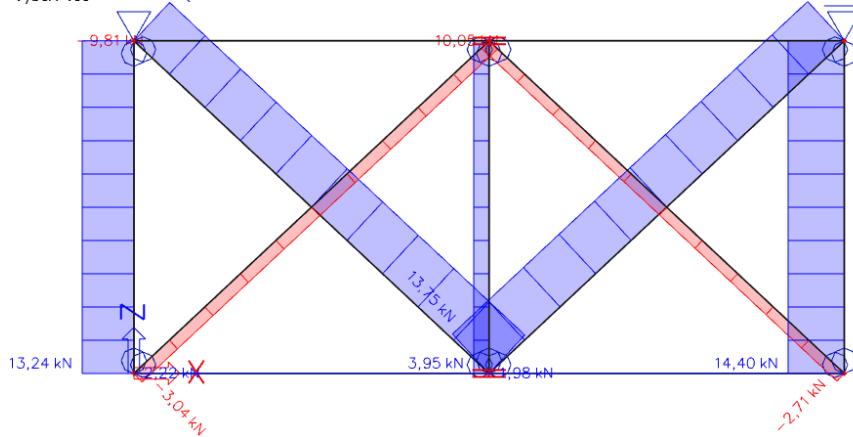
Lineární výpočet

Zatěžovací stav: Vitr příčný A,Bd

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Návrh svislíce

$$N_{Ed} = -8,54 \text{ kN}$$

NÁVRH: TR 76x4

S235, třída 1

$$A = 905 \text{ mm}^2$$

$$i = 25,5 \text{ mm}$$

Vzpěr

$$L_{cr} = L = 5\,900 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5\,900}{25,5} = 231,373$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{231,373}{93,9} = 2,464 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi = 0,136$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,136 * 905 * 0,235 = 28,92 > 8,54 \text{ [kN]}$$

TR 76x4 vyhovuje

Návrh diagonály

$$N_{Ed} = -8,70 \text{ kN}$$

NÁVRH: TR 102x4

$$S235, \text{ třída 1} \quad A = 1\,232 \text{ mm}^2 \quad i = 34,7 \text{ mm}$$

Vzpěr

$$L_{cr} = L = 8\,646 \text{ mm (bezpečně uvažováno jako celá délka diagonály)}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{8\,646}{34,7} = 249,164$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{249,164}{93,9} = 2,654 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi = 0,118$$

Posouzení

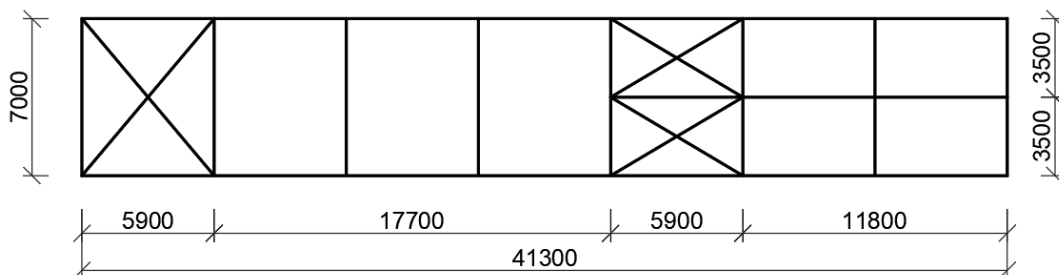
$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,118 * 1\,232 * 0,235 = 34,13 > 8,70 \text{ [kN]}$$

TR 102x4 vyhovuje

Poznámka: V příčlích vznikají díky střešním ztužidlům přídavné normálové síly, které je nutné zohlednit při posouzení. U příčle hlavního rámu je rozhodující kombinace č. 6, u které se vítr nevyskytuje. V případě příčle štítové stěny jsem posuzoval rozhodující kombinaci č. 17, u které působí příčný vítr, nicméně díky ztužidlům vznikne vlivem příčného větru přídavná tahová síla, posudek tedy není třeba upravovat.

6.2 Svislá stěnová ztužidla

Navrhuji stěnové ztužidlo u štítu a dále ztužidlo ve třetím poli haly, které zachytí kromě přenesení zatížení ze střešních ztužidel také imperfekce včetně mezipatra.



Reakce od podélného větru (oblast D): 14,49 kN

Reakce

Hodnoty: R_z

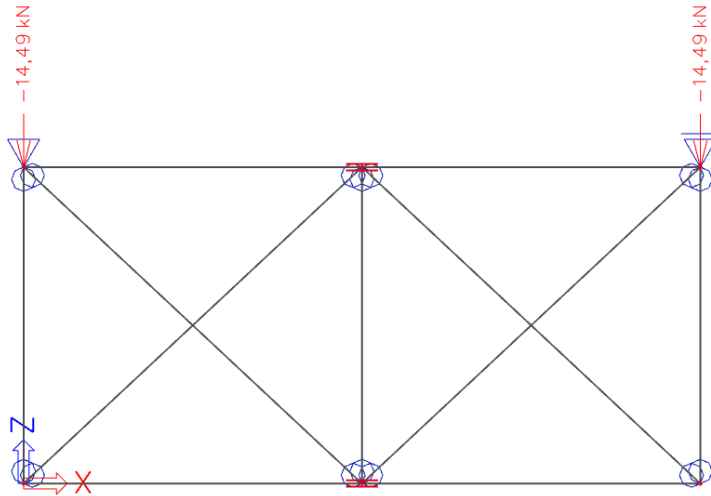
Lineární výpočet

Zatěžovací stav: Větr podélný Dd

Systém: Globální

Extrém: Globální

Výběr: Vše



Reakce od podélného větru (oblast E): 6,21 kN

Reakce

Hodnoty: R_z

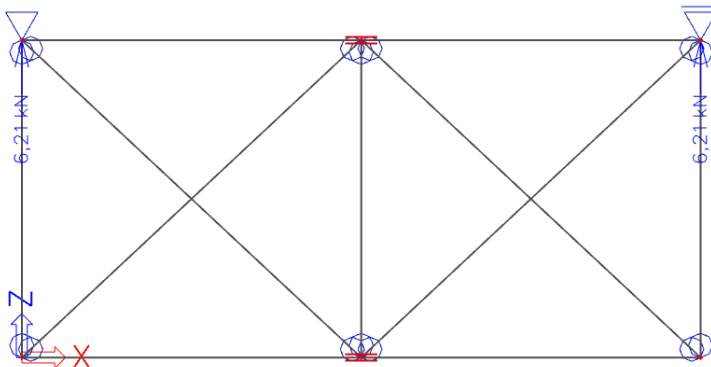
Lineární výpočet

Zatěžovací stav: Větr podélný Ed

Systém: Globální

Extrém: Globální

Výběr: Vše



Rámové imperfekce

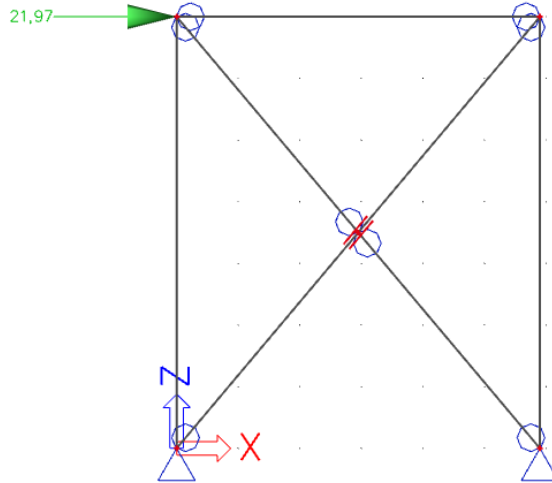
$$a_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,5}} = 0,730 \in \langle 2/3; 1 \rangle$$

$$a_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{8}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{8}\right)} = 0,75$$

$$\theta = \theta_0 * a_h * a_m = \frac{1}{200} * 0,730 * 0,75 = 2,74 * 10^{-3} \text{ m/m}$$

Poznámka: V modelu zavedeno pomocí ekvivalentní vodorovné síly H_{θ} .

$H_{\theta} = \theta * \sum N = 2,74 * 10^{-3} * (6 * 127,27 + 2 * 80,24) = 2,53 \text{ kN}$. $\sum N$ se rovná součtu maximální tlakové síly hlavních rámových vazeb a štítových stěn. Bezpečně budu uvažovat, že si ztužidla nerozdělí působící zatížení větrem, pouze rámové imperfekce. Na jedno ztužidlo tedy působí síla $F_1 = 14,49 + 6,21 + 2,53/2 = 21,97 \text{ kN}$.



1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

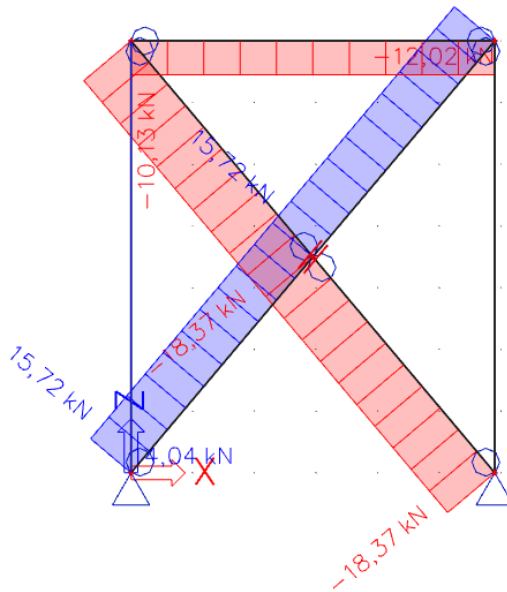
Lineární výpočet

Kombinace: CO2

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Návrh diagonály

$$N_{Ed} = -18,37 \text{ kN}$$

NÁVRH: TR 70x4

S235, třída 1

$$A = 829 \text{ mm}^2$$

$$i = 23,4 \text{ mm}$$

Vzpěr

$$L_{cr} = L \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t * L_t}{N_{tl} * L_{tl}}} = 9\,155 \sqrt{1 - 0,75 \frac{15,72 * 9\,155}{18,37 * 9\,155}} = 5\,479 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{5\,479}{23,4} = 234,145$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{234,145}{93,9} = 2,494 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi = 0,133$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,133 * 829 * 0,235 = 25,91 > 18,37 \text{ [kN]}$$

TR 70x4 vyhovuje

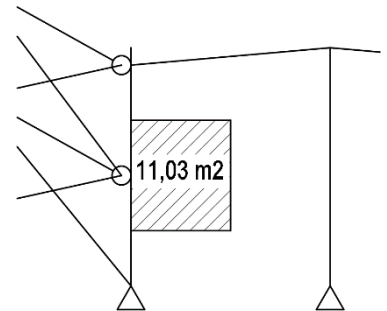
Ztužidlo u mezipatra

V případě svislého ztužidla u mezipatra uvažují již vypočtenou hodnotu síly na jedno ztužidlo $F_1 = 21,97 \text{ kN}$, která působí do vrcholu ztužidla a dále působení větru na střední podporu spolu s imperfekcemi mezipatra v podobě síly $F_2 = 11,97 \text{ kN}$. Tato síla působí v prostředním styčnicku.

Působení podélného větru na střední podporu

$$w_{e,4,D} = w_{e,D} * \gamma_Q * A_4 = 0,42 * 1,5 * 11,03 = 6,95 \text{ kN}$$

$$w_{e,4,E} = w_{e,E} * \gamma_Q * A_4 = 0,18 * 1,5 * 11,03 = 2,98 \text{ kN}$$



Rámové imperfekce

$$a_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,5}} = 0,730 \in \langle 2/3; 1 \rangle$$

$$a_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{8}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{8}\right)} = 0,75$$

$$\theta = \theta_0 * a_h * a_m = \frac{1}{200} * 0,730 * 0,75 = 2,74 * 10^{-3} \text{ m/m}$$

Poznámka: V modelu zavedeno pomocí ekvivalentních vodorovných sil $H_{\theta,i}$.

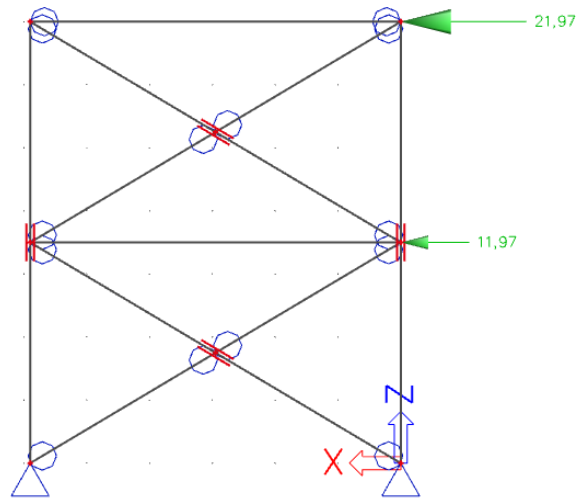
$$H_{\theta,1} = \theta * \sum N = 2,74 * 10^{-3} * (6 * 127,27 + 2 * 80,24) = 2,53 \text{ kN.}$$

$$F_1 = 14,49 + 6,21 + 2,53/2 = 21,97 \text{ kN.}$$

Imperfekce mezipatra:

$$H_{\theta,2} = \theta * \sum N = 2,74 * 10^{-3} * (\sim 10 \text{ kN/m}^2 * 6,3 \text{ m} * 11,8 \text{ m}) = 2,04 \text{ kN.}$$

$$F_2 = 6,95 + 2,98 + 2,04 = 11,97 \text{ kN.}$$



1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

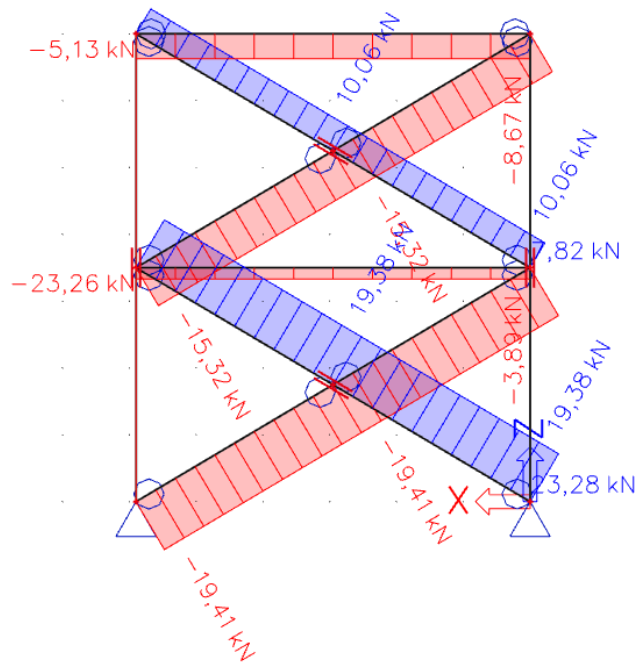
Lineární výpočet

Kombinace: CO2

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: Vše



Návrh diagonály

$N_{Ed} = -19,41 \text{ kN}$

NÁVRH: TR 51x4

S235, třída 1

$A = 591 \text{ mm}^2$

$i = 16,7 \text{ mm}$

Vzpěr

$$L_{cr} = L \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t * L_t}{N_{tl} * L_{tl}}} = 6\,860 \sqrt{1 - 0,75 \frac{19,38}{19,41}} = 3\,438 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{3\,438}{16,7} = 205,868$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{205,868}{93,9} = 2,192 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi = 0,168$$

Posouzení

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,168 * 591 * 0,235 = 23,33 > 19,41 \text{ [kN]}$$

TR 51x4 vyhovuje

6.3 Svislé ztužení štítové stěny

$$N_{Ed} = -13,26 \text{ kN}$$

1D vnitřní síly

Hodnoty: **N**

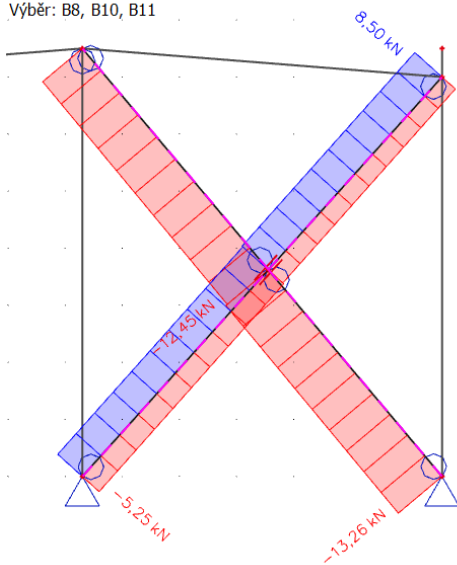
Nelineární výpočet

Třída: Vše MSÚ NEL

Souřadný systém: Hlavní

Extrém 1D: Dílec

Výběr: B8, B10, B11



NÁVRH: TR 89x4

S235, třída 1

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

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

Vzpěr

$$L_{cr} = L \sqrt{1 - 0,75 \frac{N_t * L_t}{N_{tl} * L_{tl}}} = 9\,795 \sqrt{1 - 0,75 \frac{8,50 * 9\,418}{13,26 * 9\,795}} = 7\,183 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7\,183}{30,1} = 238,638$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{238,638}{93,9} = 2,541 \rightarrow \text{křivka c} \rightarrow \chi = 0,129$$

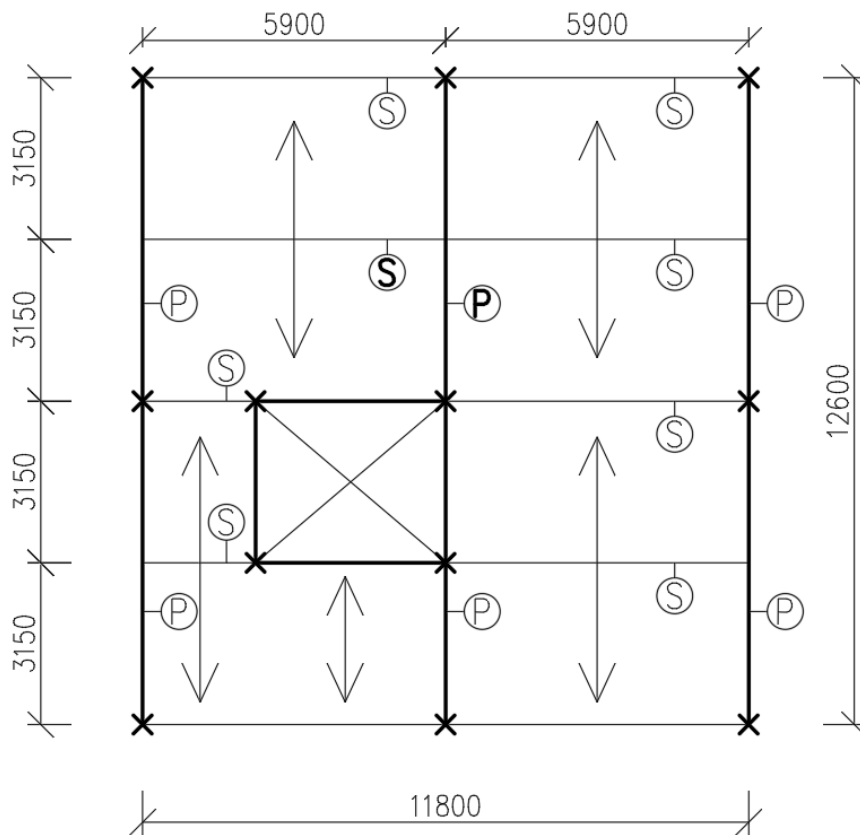
Posouzení

$$N_{b,Rd} = \chi * A * f_{yd} = 0,129 * 1\,068 * 0,235 = 32,38 > 11,89 \text{ [kN]}$$

TR 89x4 vyhovuje

7. Administrativní část

7.1 Návrh dispozice



Průvlaky jsou kolmé na podélný směr haly, stropnice leží v opačném směru a mezi nimi je pnutý trapézový plech. Navrhuji trapézový plech a dále nejvíce zatíženou stropnici a průvlak, ve schématu jsou vyznačeny tučně.

7.2 Zatížení

Montážní stádium

		g_k [kN/m']	γ	g_d [kN/m']
stálé	beton	2	1,35	2,700
	TR plech (navrhuji)	0,1071	1,35	0,145
		2,11		2,84
		q_k [kN/m']	γ	q_d [kN/m']
proměnné	užitné při betonáži	0,75	1,5	1,125
	zvětšené na 3x3 m	1,5	1,5	2,25

srovnaná tl. betonové desky $h = 50 + 83 \frac{40+60,5}{280} = 80$ mm; $0,08 \text{ m} * 25 \text{ kN/m}^3 = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Provozní stádium

		g_k [kN/m']	γ	g_d [kN/m']
stálé	nášlapná vrstva	1	1,35	1,350
	beton	2	1,35	2,700
	TR	0,1071	1,35	0,145
	podhled, příčky atd.	0,7	1,35	0,945
		3,81		5,14
		q_k [kN/m']	γ	q_d [kN/m']
proměnné	užitné (kategorie B)	2,5	1,5	3,75
		2,5		3,75

$$(g + q)_k = 3,81 + 2,5 = 6,31 \text{ kN/m'}$$

$$(g + q)_d = 5,14 + 3,75 = 8,89 \text{ kN/m'}$$

7.3 Návrh trapézového plechu

bezpečně uvažuji zvětšené užitné zatížení při betonáži na celé délce

$$(g + q)_k = 2,11 + 1,5 = 3,61 \text{ kN/m'}$$

$$(g + q)_d = 2,84 + 2,25 = 5,09 \text{ kN/m'}$$

NÁVRH: TR 85/280/1,0; S320GD+Z

Posouzení provedeno dle tabulek výrobce Kovové profily, s.r.o., lineární interpolace mezi tabulkovými hodnotami.

t_N [mm]	g [kg/m ²]		Rozpětí [m]																				
			2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00
0,75	8,04	q_{d1}	7,08	5,89	4,98	4,27	3,70	3,24	2,86	2,54	2,28	2,05	1,86	1,69	1,55	1,42	1,31	1,21	1,12	1,04	0,96	0,89	0,83
		q_{d2}	6,05	5,08	4,33	3,74	3,26	2,87	2,55	2,28	2,05	1,86	1,69	1,54	1,41	1,30	1,20	1,11	1,03	0,96	0,90	0,84	0,79
		q_k	20,69	14,53	10,59	7,96	6,13	4,82	3,86	3,14	2,59	2,16	1,82	1,54	1,32	1,14	0,99	0,87	0,77	0,68	0,60	0,54	0,48
0,88	9,43	q_{d1}	9,31	7,71	6,49	5,54	4,79	4,18	3,68	3,27	2,92	2,63	2,38	2,16	1,97	1,81	1,65	1,51	1,39	1,28	1,18	1,10	1,02
		q_{d2}	8,01	6,69	5,68	4,89	4,25	3,74	3,31	2,95	2,65	2,39	2,17	1,98	1,81	1,67	1,54	1,42	1,32	1,23	1,15	1,07	1,00
		q_k	25,53	17,93	13,07	9,82	7,56	5,95	4,76	3,87	3,19	2,66	2,24	1,91	1,63	1,41	1,23	1,07	0,95	0,84	0,74	0,66	0,60
1,00	10,71	q_{d1}	11,50	9,49	7,96	6,78	5,85	5,10	4,48	3,97	3,55	3,19	2,88	2,61	2,36	2,14	1,95	1,78	1,64	1,51	1,40	1,29	1,20
		q_{d2}	9,94	8,28	7,01	6,01	5,22	4,58	4,05	3,60	3,23	2,91	2,64	2,41	2,20	2,02	1,86	1,72	1,60	1,48	1,38	1,29	1,20
		q_k	29,31	20,58	15,00	11,27	8,68	6,83	5,47	4,45	3,66	3,05	2,57	2,19	1,88	1,62	1,41	1,23	1,09	0,96	0,85	0,76	0,68
1,13	12,11	q_{d1}	13,99	11,51	9,64	8,19	7,05	6,13	5,38	4,76	4,25	3,80	3,40	3,05	2,75	2,50	2,28	2,08	1,91	1,76	1,63	1,51	1,41
		q_{d2}	12,14	10,09	8,52	7,29	6,32	5,53	4,88	4,34	3,89	3,50	3,17	2,88	2,63	2,42	2,22	2,06	1,90	1,76	1,63	1,51	1,41
		q_k	33,27	23,37	17,04	12,80	9,86	7,75	6,21	5,05	4,16	3,47	2,92	2,48	2,13	1,84	1,60	1,40	1,23	1,09	0,97	0,87	0,78
1,25	13,39	q_{d1}	16,36	13,42	11,22	9,52	8,18	7,10	6,23	5,50	4,86	4,31	3,84	3,45	3,11	2,83	2,58	2,36	2,16	2,00	1,84	1,71	1,59
		q_{d2}	14,25	11,81	9,95	8,51	7,36	6,43	5,67	5,03	4,50	4,05	3,66	3,33	3,04	2,79	2,56	2,36	2,16	2,00	1,84	1,71	1,59
		q_k	36,93	25,94	18,91	14,21	10,94	8,61	6,89	5,60	4,62	3,85	3,24	2,76	2,36	2,04	1,78	1,55	1,37	1,21	1,08	0,96	0,86
1,50	16,07	q_{d1}	21,14	17,25	14,35	12,12	10,38	8,87	7,66	6,67	5,87	5,20	4,64	4,16	3,76	3,41	3,11	2,84	2,61	2,41	2,23	2,06	1,92
		q_{d2}	18,55	15,28	12,82	10,91	9,40	8,19	7,20	6,38	5,69	5,11	4,61	4,16	3,76	3,41	3,11	2,84	2,61	2,41	2,23	2,06	1,92
		q_k	44,56	31,29	22,81	17,14	13,20	10,38	8,31	6,76	5,57	4,64	3,91	3,33	2,85	2,46	2,14	1,88	1,65	1,46	1,30	1,16	1,04

MSÚ

$$5,09 \leq 5,4 \text{ [kN/m']}$$

MSP

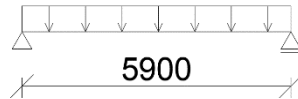
max. zatížení pro průhyb $\delta = \frac{80}{10} = 8 \text{ mm}$; $\frac{L}{394} \doteq 8 \text{ mm}$

$$2,11 \leq 8,1 * \frac{200}{394} = 4,11 \text{ [kN/m]}$$

TR 85/280 vyhovuje, není třeba uvažovat rybníkový efekt

Pozn.: Trapézový plech pnutý jako prostý nosník by byl navržen s větší tloušťkou.

7.4 Návrh stropnice S



$$Z\check{S} = 3,15 \text{ m}$$

$$L = 5,9 \text{ m}$$

$$f_d = 1,25 * (5,14 + 3,75) * 3,15 + 0,361 * 1,35 = 35,49 \text{ kN/m}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{8} f_d L^2 = \frac{1}{8} * 35,49 * 5,9^2 = 154,43 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} f_d L = \frac{1}{2} * 35,49 * 5,9 = 104,70 \text{ kN}$$

NÁVRH: IPE 270; S355

MSÚ

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = W_{pl,y} * f_{yd}$$

$$154,43 \leq 484\,000 * 355 * 10^{-6}$$

$$154,43 \leq 171,82 \text{ [kNm]}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$104,7 \leq \frac{2\,214 * 355}{\sqrt{3}} * 10^{-3}$$

$$104,7 \leq 453,78 \text{ [kN]}$$

MSP

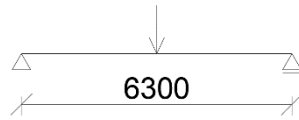
$$\delta_{lim} = L/250 = 5\,900/250 = 23,6 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5 f_Q * L^4}{384 E I_y} = \frac{5 (1,25 * 2,5 * 3,15) * 5\,900^4}{384 * 210\,000 * 5\,790 * 10^4} = 12,8 \text{ mm} < 23,6 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{5 f_k * L^4}{384 E I_y} = \frac{5 (1,25 * 3,81 * 3,15 + 0,361) * 5\,900^4}{384 * 210\,000 * 5\,790 * 10^4} = 19,9 \text{ mm} < 23,6 \text{ mm}$$

IPE 270 vyhovuje

7.5 Návrh průvlaku P



$$L = 6,3 \text{ m}$$

$$F_d = 2 * 104,7 + 6,3 * 0,571 * 1,35 = 214,26 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{4} F_d L = \frac{1}{4} * 214,26 * 6,3 = 337,45 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} F_d = \frac{1}{2} * 214,26 = 107,13 \text{ kN}$$

NÁVRH: IPE 360; S355

MSÚ

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} = W_{pl,y} * f_{yd}$$

$$337,45 \leq 1\,019\,000 * 355 * 10^{-6}$$

$$337,45 \leq 361,75 \text{ [kNm]}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

$$107,18 \leq \frac{3\,514 * 355}{\sqrt{3}} * 10^{-3}$$

$$107,18 \leq 720,227 \text{ [kN]}$$

MSP

$$\delta_{lim} = L/400 = 6\,300/400 = 15,7 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{1}{48} \frac{F_Q * L^3}{EI_y} = \frac{1}{48} \frac{(1,25 * 2,5 * 3,15 * 5,9) * 10^3 * 6\,300^3}{210\,000 * 16\,270 * 10^4} = 8,9 \text{ mm} < 15,7 \text{ mm}$$

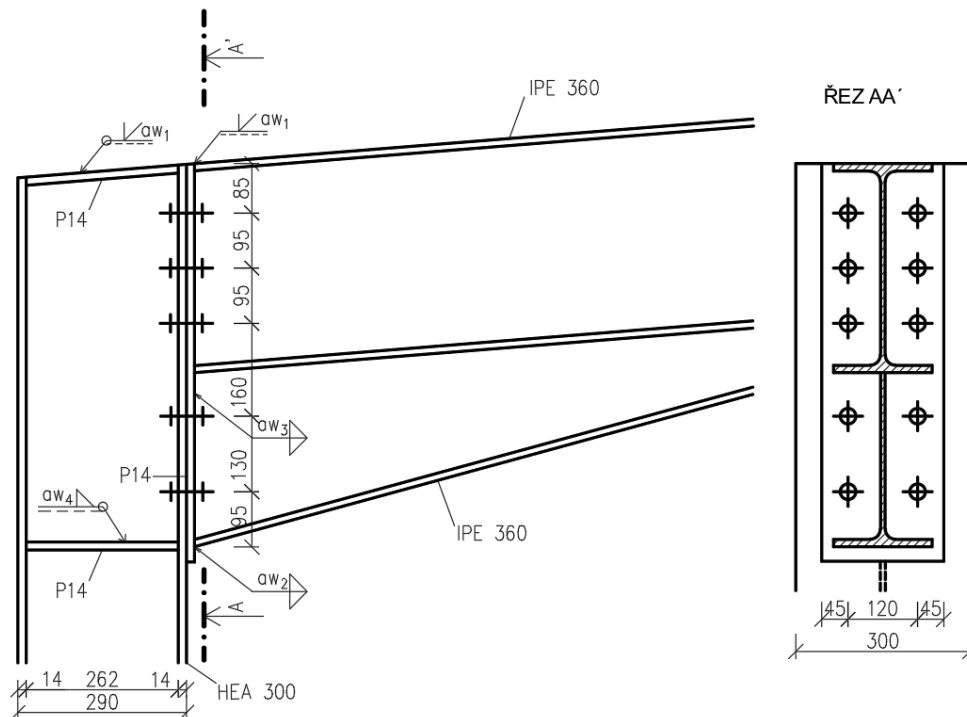
$$\delta_{lim} = L/250 = 6\,300/250 = 25,2 \text{ mm}$$

$$\delta = \frac{1}{48} \frac{F_g * L^3}{EI_y} = \frac{1}{48} \frac{(1,25 * 3,81 * 3,15 * 5,9 + 0,361 * 5,9 + 6,3 * 0,571) * 10^3 * 6\,300^3}{210\,000 * 16\,270 * 10^4} = 14,4 \text{ mm} < 25,2 \text{ mm}$$

IPE 360 vyhovuje

8. Detaily

8.1 Rámový roh



Návrh svaru čelní desky a tažené pásnice příčle; návrh svaru horní výztuhy a stojiny sloupu
 a_{w1} = tupý svar

Návrh svaru čelní desky a tlačené pásnice příčle

$$a_{w2} \geq \frac{t_f}{2} * f_{yd} * \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}}$$

$$a_{w2} \geq \frac{12,7}{2} * 235 * \frac{0,80 * 1,25}{360 / \sqrt{2}}$$

$$a_{w2} \geq 5,86 \text{ mm} \rightarrow a_{w1} = 6 \text{ mm}$$

Návrh svaru čelní desky a stojiny příčle

$$a_{w3} \geq \frac{t_w}{2} * f_{yd} * \frac{\beta_w \gamma_{M2}}{f_u / \sqrt{2}}$$

$$a_{w3} \geq \frac{8}{2} * 235 * \frac{0,80 * 1,25}{360 / \sqrt{2}}$$

$$a_{w3} \geq 3,69 \text{ mm} \rightarrow a_{w3} = 4 \text{ mm}$$

Návrh svaru výztuhy a stojiny sloupu

$$a_{w4} = a_{w3} = 4 \text{ mm}$$

Návrh tloušťky čelní desky a výztuh sloupu

$$t_d \approx t_{f, \text{HEA } 300} = 14 \text{ mm} \rightarrow t_d = 14 \text{ mm}$$

$$t_v \approx t_{f, \text{IPE } 360} = 12,7 \text{ mm} \rightarrow t_v = 14 \text{ mm}$$

Únosnost šroubů

možné tři způsoby porušení:

1. vznik 4 plastických kloubů

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

2. vznik 2 plastických kloubů + porušení v tahu

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

3. porušení v tahu

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

NÁVRH: 10xM24 8.8

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 * 353 * 800}{1,25} * 10^{-3} = 203,33 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 353 * 800}{1,25} * 10^{-3} = 135,55 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,97 * 360 * 24 * 14}{1,25} * 10^{-3} = 234,66 \text{ kN}$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{45}{26} - 1,7; 1,4 \frac{120}{26} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min(4,85; 4,76; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right)$$

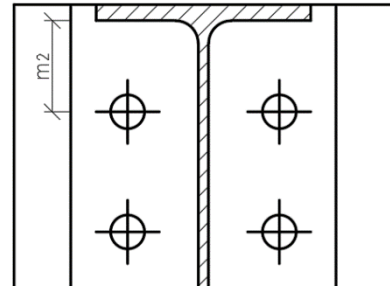
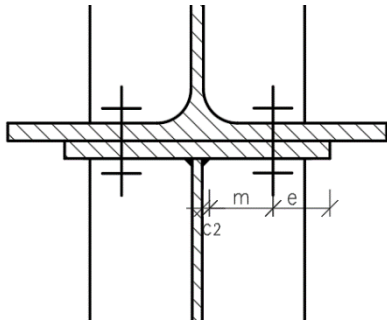
$$\alpha_b = \min \left(\frac{120}{3 * 26}; \frac{95}{3 * 26} - 0,25; \frac{800}{360}; 1,0 \right)$$

$$\alpha_b = \min(1,54; 0,97; 2,22; 1,0) = 0,97$$

$$t = \min (t_{f,HEA 300}; t_d)$$

$$t = 14 \text{ mm}$$

1. řada šroubů



$$m_2 = 85 - t_{f, \text{IPE } 360} = 85 - 12,7 = 72,3 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 * a_{w3} * \sqrt{2} = 0,8 * 4 * \sqrt{2} = 4,53 \text{ mm}$$

$$m = \frac{120}{2} - \frac{8}{2} - c_2 = 56 - 4,53 = 51,47 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{51,47}{51,47 + 45} = 0,53$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{72,3}{51,47 + 45} = 0,75$$

→ $\alpha = 5,3$ (z tab. 6.11 normy [8])

$$n = \min(e; 1,25m) = \min(45; 1,25 * 51,47) = 45 \text{ mm}$$

- l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2\pi m = 2\pi * 51,47 = 323,40 \text{ mm}$$

- l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = \alpha m = 5,3 * 51,47 = 272,79 \text{ mm}$$

- l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = \pi m + p = \pi * 51,47 + 90 = 251,70 \text{ mm}$$

- l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,nc}} = 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = 0,5 * 90 + 5,3 * 51,47 - (2 * 51,47 + 0,625 * 45) \\ = 186,73 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,nc}}) = 186,73 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 186,73 \text{ mm}$$

$$M_{\text{pl},1,\text{Rd}} = \frac{1}{4} * l_{\text{eff},1} * t_{\text{fc}}^2 * f_{\text{yd}} = \frac{1}{4} * 186,73 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 2,15 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{pl},2,\text{Rd}} = \frac{1}{4} * l_{\text{eff},2} * t_{\text{fc}}^2 * f_{\text{yd}} = 2,15 \text{ kNm}$$

$$F_{\text{t},\text{a},\text{Rd}} = \frac{4M_{\text{pl},1,\text{Rd}}}{m} = \frac{4 * 2,15 * 10^3}{51,47} = 167,09 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t},\text{b},\text{Rd}} = \frac{2M_{\text{pl},2,\text{Rd}} + n \sum F_{\text{t},\text{Rd}}}{m + n} = \frac{2 * 2,15 + 0,045(2 * 203,33)}{0,05147 + 0,045} = 234,27 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t},\text{c},\text{Rd}} = \sum F_{\text{t},\text{Rd}} = 2 * 203,33 = 406,66 \text{ kN}$$

$$F_{\text{t},1,\text{Rd}} = \min(F_{\text{t},\text{a},\text{Rd}}; F_{\text{t},\text{b},\text{Rd}}; F_{\text{t},\text{c},\text{Rd}}) = 167,09 \text{ kN}$$

2. řada šroubů

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2\pi m = 2\pi * 51,47 = 323,40 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,op}} = 4m + 1,25e = 4 * 51,47 + 1,25 * 45 = 262,13 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, kruhové porušení

$$l_{\text{eff,cp}} = 2p = 2 * 95 = 190 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, nekruhové porušení

$$l_{\text{eff,op}} = p = 95 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},1} = \min(\min l_{\text{eff,cp}}; \min l_{\text{eff,op}}) = 95 \text{ mm}$$

$$l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,op}} = 95 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 95 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 1,09 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * t_{fc}^2 * f_{yd} = 1,09 \text{ kNm}$$

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1,09 * 10^3}{51,47} = 84,71 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1,09 + 0,045(2 * 203,33)}{0,05547 + 0,045} = 212,29 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,33 = 406,66 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = 84,71 \text{ kN}$$

3. řada šroubů

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi * 51,47 = 323,40 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = 4m + 1,25e = 4 * 51,47 + 1,25 * 45 = 262,13 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2p = 2 * \frac{95 + 160}{2} = 255 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = p = 127,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = 127,5 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 127,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 127,5 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 1,47 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * t_{fc}^2 * f_{yd} = 1,47 \text{ kNm}$$

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1,47 * 10^3}{51,47} = 114,24 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1,47 + 0,045(2 * 203,33)}{0,05147 + 0,045} = 220,17 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,33 = 406,66 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = 114,24 \text{ kN}$$

4. řada šroubů

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2\pi m = 2\pi * 51,47 = 323,40 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí samostatně, nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = 4m + 1,25e = 4 * 51,47 + 1,25 * 45 = 262,13 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, kruhové porušení

$$l_{eff,cp} = 2p = 2 * \frac{160 + 130}{2} = 290 \text{ mm}$$

l_{eff} , řada šroubů působí ve skupině, nekruhové porušení

$$l_{eff,op} = p = 145 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = 145 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 145 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 145 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 1,67 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,2} * t_{fc}^2 * f_{yd} = 1,67 \text{ kNm}$$

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1,67 * 10^3}{51,47} = 129,78 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1,67 + 0,045(2 * 203,33)}{0,05147 + 0,045} = 224,32 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 * 203,33 = 406,66 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = 129,78 \text{ kN}$$

5. řada šroubů (uvažují pouze na smyk)

$$V_{Rd} \geq V_{Ed}$$

$$2 * \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) \geq 98,63$$

$$2 * 135,55 \geq 98,63 \text{ [kN]}$$

Únosnost pásnice příčle v tlaku

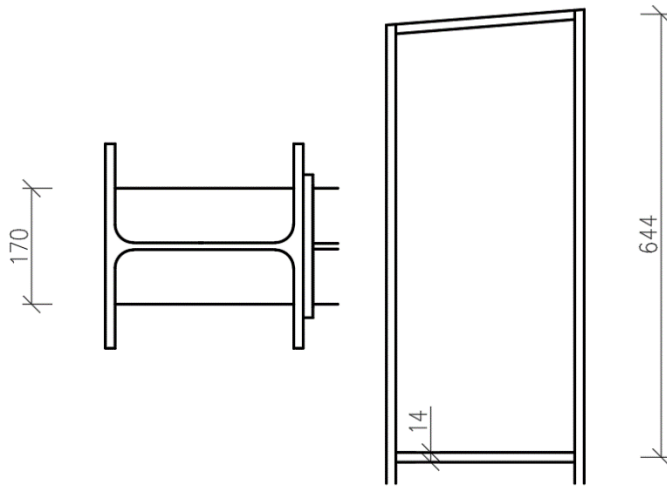
$$F_{c,fb,Rd} = \frac{W_{pl,y} * f_{yd}}{h - t_f} = \frac{1\,019 * 10^3 * 235}{360 - 12,7} * 10^{-3} = 689,50 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} \geq \sum F_{t,i,Rd}$$

$$689,50 \geq 167,09 + 84,71 + 114,24 + 129,78$$

$$689,50 \geq 495,82 \text{ [kN]}$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku



$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_{yd} * A_v}{\sqrt{3}} + V_{wp,add,Rd} \geq \sum F_{t,i,Rd}$$

$$V_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right) = \min(21,43; 16,80) = 16,80 \text{ kN}$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} * b * t_f^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 300 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 3,45 \text{ kNm}$$

$$\frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} = \frac{4 * 3,45}{0,644} = 21,43 \text{ kN}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} * b_{st} * t_{st}^2 * f_{yd} = \frac{1}{4} * 170 * 14^2 * 235 * 10^{-6} = 1,96 \text{ kNm}$$

$$\frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,st,Rd}}{d_s} = \frac{2 * 3,45 + 2 * 1,96}{0,644} = 16,80 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * 235 * 3\,728}{\sqrt{3}} * 10^{-3} + 16,80 \geq 495,82$$

$$472,02 < 495,82 \text{ [kN]}$$

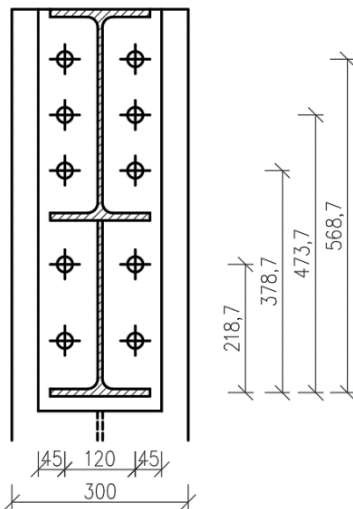
→ podmínka nevyhovuje, proto redukuji 4. řadu šroubů o hodnotu $\Delta = 495,82 - 472,02 = 23,8 \text{ kN}$

Podmínka plastického rozdělení sil

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

$$167,09 \leq 1,9 * 203,33 \text{ [kN]}$$

Momentová únosnost



$$M_{Rd} \geq M_{Ed}$$

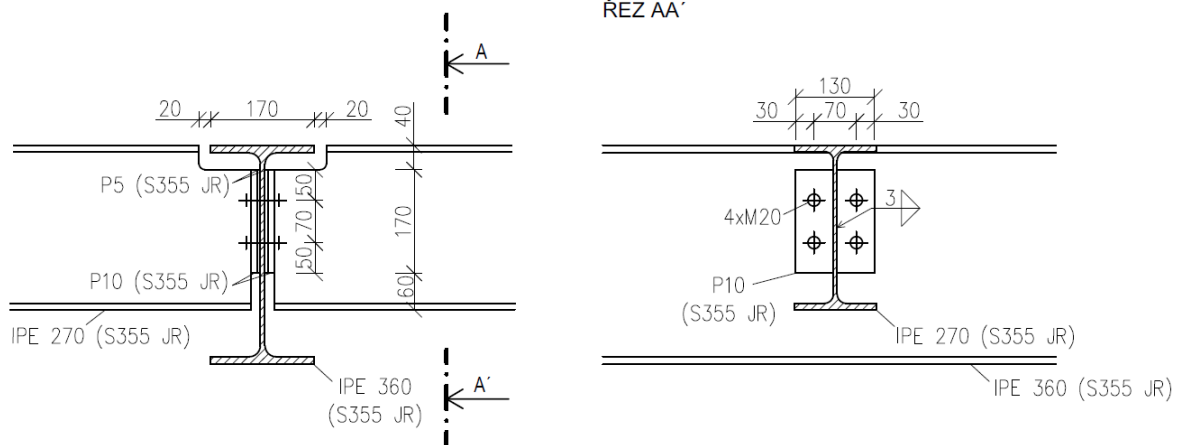
$$\sum F_{t,i,Rd} * h_i \geq M_{Ed}$$

$$(167,09 * 0,5687) + (84,71 * 0,4737) + (114,24 * 0,3787) + (105,98 * 0,2187) \geq 186,7$$

$$201,59 \geq 186,70 \text{ [kNm]}$$

vyhovuje

8.2 Přípoj stropnice na průvlak



$V_{Ed} = 104,70 \text{ kN}$ (reakce, resp. max. posouvající síla jedné připojené stropnice)

NÁVRH: 4xM20 8.8

Návrhové únosnosti šroubu ve stříhu a v otláčení

šroub pevnostní třídy 8.8 $\rightarrow \alpha_v = 0,6$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

velikost M20 $\rightarrow A_s = 245 \text{ mm}^2$

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

$$d_0 = 22 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 * 245 * 800}{1,25} * 10^{-3} = 94,08 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * d * t * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,12 * 0,76 * 20 * 8 * 490}{1,25} * 10^{-3} = 101,05 \text{ kN}$$

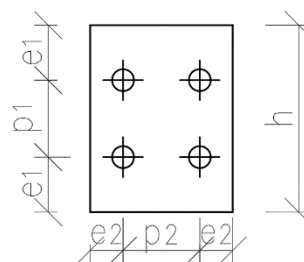
$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min \left(2,8 \frac{30}{22} - 1,7; 1,4 \frac{70}{22} - 1,7; 2,5 \right)$$

$$k_1 = \min(2,12; 2,75; 2,5) = 2,12$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0 \right)$$

$$\alpha_b = \min \left(\frac{50}{3 * 22}; \frac{70}{3 * 22} - 0,25; \frac{800}{490}; 1,0 \right)$$



$$\alpha_b = \min(0,76; 0,81; 1,63; 1,0) = 0,76$$

$$t = \min(t_{w, IPE 360}; t_d)$$
$$t = \min(8; 10) = 8 \text{ mm}$$

Návrh a posouzení počtu šroubů

V případě únosnosti v otažení rozhoduje stojina průvlaku, která je zatížená dvěma stropnicemi.

$$n = \min\left(\frac{V_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{2V_{Ed}}{F_{b,Rd}}\right)$$

$$n = \min\left(\frac{104,70}{94,08}; \frac{2 * 104,70}{101,05}\right) = 2,1 \rightarrow \text{navrhuji 4 šrouby}$$

Posouzení smykové únosnosti čelní desky

$$V_{Rd} = \frac{A_{net} * f_{yd}}{\sqrt{3}} \geq V_{Ed} \quad ; A_{net} = (h - 2d_0)t = (170 - 44) * 10 = 1\,260 \text{ mm}^2$$

$$V_{Rd} = \frac{1\,260 * 355}{\sqrt{3}} * 10^{-3} \geq 104,70$$

$$258,25 \geq 104,70 \text{ [kN]}$$

Posouzení smykové únosnosti stojiny stropnice

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} * f_{yd}}{\sqrt{3}} \geq V_{Ed} \quad ; A_{vz} = h * t_w = 170 * 6,6 = 1\,122 \text{ mm}^2$$

$$\frac{1\,122 * 355}{\sqrt{3}} * 10^{-3} \geq 104,70$$

$$230,0 \geq 104,70 \text{ [MPa]}$$

Návrh a posouzení svaru

NÁVRH: $a_w = 3 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{104,70 * 10^3}{1\,020} = 102,65 \text{ MPa} \quad ; A_w = 2h * a_w = 2 * 170 * 3 = 1\,020 \text{ mm}^2$$

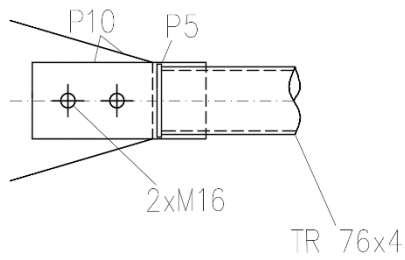
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} \quad ; \text{ocel S355} \rightarrow \beta_w = 0,9$$

$$\sqrt{3(102,65^2)} \leq \frac{490}{0,9 * 1,25}$$

$$177,80 \leq 435,56 \text{ [MPa]}$$

přípoj vyhovuje

8.3 Příklad připojení vodorovné trubky mezi rámy (svislice z kap. 6.1)



$$N_{Ed} = 14,40 \text{ kN}$$

NÁVRH: 2xM16 8.8

Návrhové únosnosti šroubu ve střihu a v otláčení

šroub pevnostní třídy 8.8 $\rightarrow \alpha_v = 0,6$

$$f_{ub} = 800 \text{ MPa}$$

velikost M16 $\rightarrow A_s = 157 \text{ mm}^2$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$d_0 = 18 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot 157 \cdot 800}{1,25} \cdot 10^{-3} = 60,29 \text{ kN}$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot d \cdot t \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,74 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 360}{1,25} \cdot 10^{-3} = 85,24 \text{ kN}$$

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

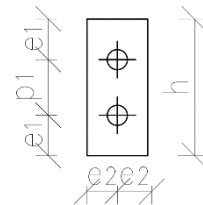
$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{43}{18} - 1,7; 2,5\right)$$

$$k_1 = \min(4,99; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right)$$

$$\alpha_b = \min\left(\frac{40}{3 \cdot 18}; \frac{55}{3 \cdot 18} - 0,25; \frac{800}{235}; 1,0\right)$$

$$\alpha_b = \min(0,74; 0,77; 3,40; 1,0) = 0,74$$



Návrh a posouzení počtu šroubů

$$n = \min \left(\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}}; \frac{N_{Ed}}{F_{b,Rd}} \right)$$

$$n = \min \left(\frac{14,40}{60,29}; \frac{14,40}{85,24} \right) = 0,24 \rightarrow \text{navrhuji 2 šrouby}$$

Plastická únosnost neoslabeného průřezu v tahu

$$N_{pl,Rd} = A * f_{yd} \geq N_{Ed}$$
$$860 * 235 * 10^{-3} \geq 14,40$$

$$; A_{net} = (2 * 43) * 10 = 860 \text{ mm}^2$$

$$202,1 \geq 14,40 \text{ [kN]}$$

Tahová únosnost oslabeného průřezu

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} \geq N_{Ed}$$
$$\frac{0,9 * 680 * 360}{1,25} * 10^{-3} \geq 14,40$$

$$; A_{net} = (2 * 43 - 18) * 10 = 680 \text{ mm}^2$$

$$176,25 \geq 14,40 \text{ [kN]}$$

přípoj vyhovuje

9. Patka sloupu bez ztužidla

$$N_{Ed} = -127,27 \text{ kN}$$

$$R_d = 300 \text{ kPa (volba)}$$

$$A_{eff} \geq \frac{N_{Ed} + G_0}{R_d}$$

$$A_{eff} \geq \frac{127,27 + 0,1 \cdot 127,27}{300}; \text{ odhad vl. tíhy patky jako 10 \% z } N_{Ed}$$

$$A_{eff} \geq 0,467 \text{ m}^2$$

NÁVRH: $b \times L \times h = 0,7 \times 0,7 \times 0,4 \text{ m}$; C16/20

Posouzení

$$G_{0,sk} = (b \cdot L \cdot h \cdot \gamma) \cdot \gamma_G = (0,7 \cdot 0,7 \cdot 0,4 \cdot 24) \cdot 1,35 = 6,35 \text{ kN}$$

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed} + G_{0,sk}}{A_{eff}} \leq R_d$$

$$\frac{127,27 + 6,35}{0,7^2} \leq 300$$

$$272,69 \leq 300 \text{ [kPa]}$$

vyhovuje

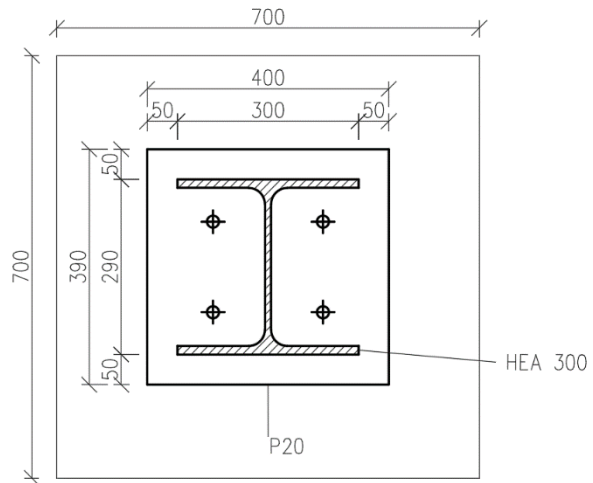
Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(3a_0; a_0 + h; a_c) = \min(3 \cdot 400; 400 + 400; 700) = 700 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3b_0; b_0 + h; b_c) = \min(3 \cdot 390; 390 + 400; 700) = 700 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{b_1 \cdot a_1}{b_0 \cdot a_0}} = \sqrt{\frac{700 \cdot 700}{390 \cdot 400}} = 1,77$$



Pevnost betonu

$$f_{jd} = \beta_j \frac{k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2}{3} * \frac{1,77 * 16}{1,5} = 12,59 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}} = 20 \sqrt{\frac{235}{3 * 12,59}} = 49,9 \text{ mm} \rightarrow 50 \text{ mm}$$

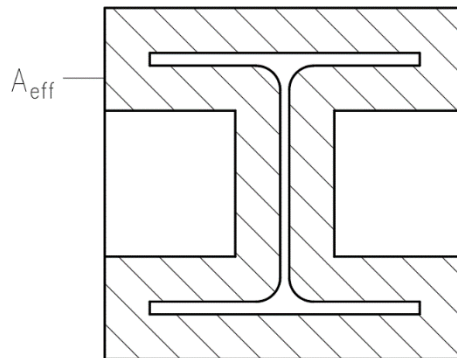
Posouzení

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} \geq N_{Ed}$$

$$97\,374 * 12,59 * 10^{-3} \geq 127,27$$

$$1\,226 \geq 127,27 \text{ [kN]}$$

vyhovuje



Posouzení smyku a návrh kotev

Pro posouzení smykové únosnosti základu byly vybrány 3 rozhodující nelineární kombinace, u kterých nevyhoví rovnice $\mu * N_{c,Ed} > V_{Ed}$, tedy vodorovná síla se nepřenese třením mezi ocelí a betonem, součinitel tření uvažován hodnotou $\mu = 0,2$.

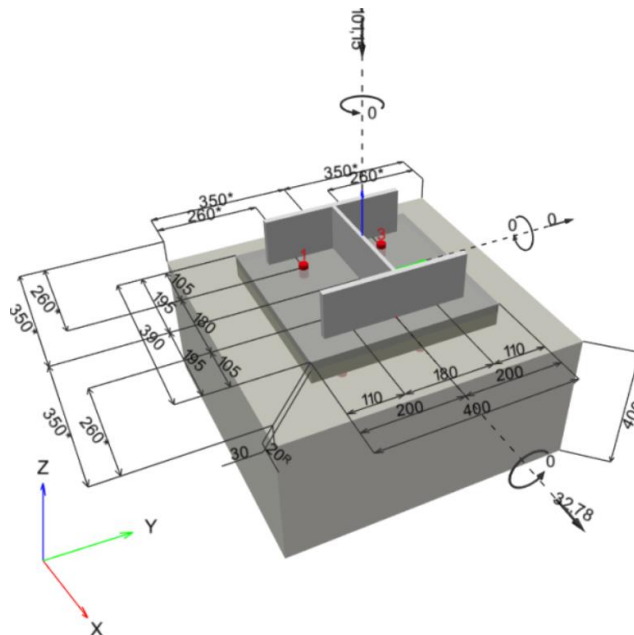
rozhodující kombinace	N_{Ed} [kN]	$V_{y,Ed}$ [kN]	
MSÚ NEL č.3	-19,26	21,36	nejmenší tlaková síla
MSÚ NEL č.15	-126,87	30,56	největší tlaková síla
MSÚ NEL č.22	-101,15	32,78	největší posouvající síla

V žádné kombinaci nevzniká tah. Uvažuji přenesení smykového namáhání pomocí kotev Hilti Hit-Hy 200-A + Hit-Z M20, posouzení provedeno v programu Hilti Profis Engineering. V softwaru se uvažuje beton od pevnosti C20/25, což je beton větší pevnosti, než jsem navrhoval u geometrie betonové patky, posudek by tedy vyšel s větší rezervou.

1 Vstupní data

Typ a velikost kotvy:	HIT-HY 200-A + HIT-Z M20	
Předpokládaná životnost (životnost v letech):	50	
Číslo artiklu:	2018420 HIT-Z M20x215 (vložit) / 2022696 HIT-HY 200-A (chemická hmota)	SAFESET
Efektivní kotvení hloubka:	$h_{ef,opti} = 100,0 \text{ mm}$ ($h_{ef,limit} = 220,0 \text{ mm}$)	
Materiál:	DIN EN ISO 4042	
Certifikát č.:	ETA 12/0006	
Vydání / Platný:	11. 4. 2019 -	
Posouzení:	Návrhová metoda ETAG 001, Příloha C (2010)	
Distanční montáž:	bez upnutí (kotva); stupeň zadržení (kotevní deska): 2,00; $e_b = 30,0 \text{ mm}$; $t = 20,0 \text{ mm}$	
Kotevní deska ^R :	Hilti malta: CB-G EG, epoxidová, $f_{c,GROUT} = 120,00 \text{ N/mm}^2$ $l_x \times l_y \times t = 390,0 \text{ mm} \times 400,0 \text{ mm} \times 20,0 \text{ mm}$; (Doporučená tloušťka kotevní desky: nepočítána)	
Profil:	IPBi/HEA profil, IPBI 300 / HE 300 A; ($V \times \check{S} \times T \times T$) = $290,0 \text{ mm} \times 300,0 \text{ mm} \times 8,5 \text{ mm} \times 14,0 \text{ mm}$	
Základní materiál:	s trhlinami beton, C20/25, $f_{c,cube} = 25,00 \text{ N/mm}^2$; $h = 400,0 \text{ mm}$, teplota krátkodobá/dlouhodobá: 40/24 °C	
Montáž:	kotevní otvor vrtaný připlepem, montážní podmínky: suché	
Výztuž:	Žádná výztuž nebo osová vzdálenost výztuže $\geq 150 \text{ mm}$ (jakýkoliv \emptyset) nebo $\geq 100 \text{ mm}$ ($\emptyset \leq 10 \text{ mm}$) s podélnou výztuží okraje $d \geq 12,0 \text{ [mm]}$	

^R - Výpočet kotvy je proveden na základě předpokladu tuhé kotevní desky.



1.1 Kombinace zatížení

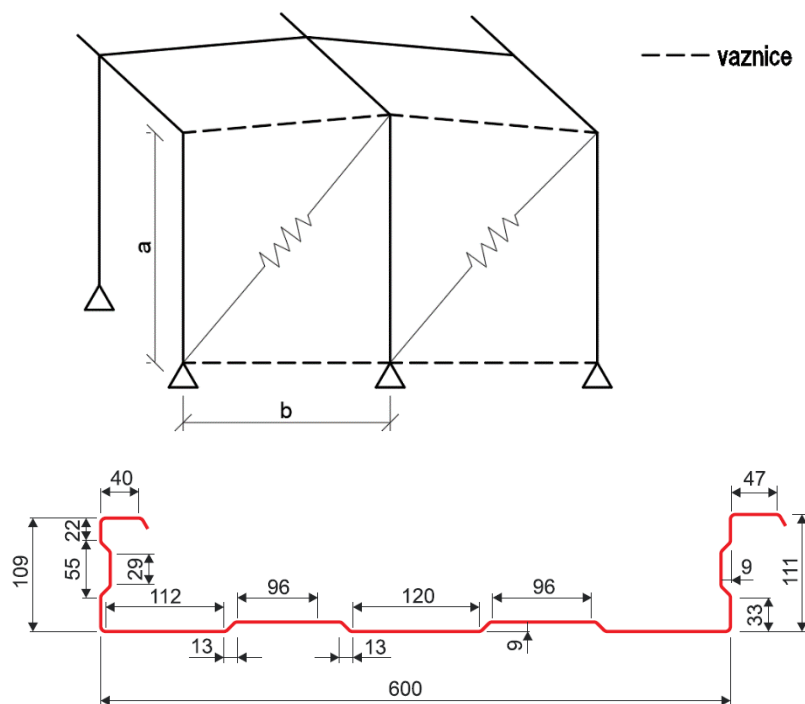
Stav	Popis	Síly [kN] / Momenty [kNm]	Seismický	Požár	Max. využití kotvy [%]
1	Kombinace 1	$N = -19,260$; $V_x = 21,360$; $V_y = 0,000$; $M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$;	Ne	ne	59
2	Kombinace 2	$N = -126,870$; $V_x = 30,560$; $V_y = 0,000$; $M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$;	Ne	ne	84
<u>3</u>	<u>Kombinace 3</u>	<u>$N = -101,150$; $V_x = 32,780$; $V_y = 0,000$;</u> <u>$M_x = 0,000$; $M_y = 0,000$; $M_z = 0,000$;</u>	<u>Ne</u>	<u>ne</u>	<u>90</u>

10. Ztužení haly bez střešních a stěnových ztužidel

Ztužení haly je zajištěno pomocí střešních a stěnových diagonálních ztužidel. Alternativní možnost, jak zajistit prostorovou tuhost a přenést zatížení větrem do základů je tyto ztužidla vynechat a místo nich zohlednit plášťové chování trapézového plechu a tenkostěnných kazet. Posouzení bude provedeno dle publikace [12]. Ve výpočtech budu uvažovat hodnoty únosnosti šroubů v otlacení a poddajnosti určené pomocí vyhodnocení zkoušek z přílohy [IV]. V kap. 10.4 porovnám výsledky s hodnotami určenými dle normy [7] a doporučenými hodnotami z publikace [12].

10.1 Vliv kazet na svislé ztužení štítové stěny haly

Na štítové stěně jsou použity kazety SATJAM CASSETTE P600/110, tl. 1,25 mm. Vlny kazet jsou kolmé s podélným směrem haly. Štítová stěna je rozdělena na dvě diafragmata, viz obrázek pod textem. Vaznice zajistí podmínku diafragmového působení, nicméně se nejedná o vaznici v pravém slova smyslu, v tomto kontextu ji uvažuji jako např. čtvercovou trubku nebo úhelník přivařený k příčli a připojený k betonovému soklu, na který se připojí kazety spojovacími prostředky.



tloušťka plechu	$t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{zinc}} = 1,25 - 0,04 = 1,21 \text{ mm}$
šířka kazety	$B_u = 600 \text{ mm}$
moment setrvačnosti široké pásnice	$I_1 = 12\,959 \text{ mm}^4 = 21,60 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}} > 10 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}}$
délka kazety	$b = 6\,300 \text{ mm}$
počet kazet	$n_{\text{sh}} = 7\,500/600 = 12,5 \text{ kazet}$

Připoje

- přípoj na sloup

samovrtný šroub	5,5x40	
únosnost v otláčení	$F_p = 4,94 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_p = 0,142 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$p = 200 \text{ mm}$	
počet šroubů na výšku kazety	$n_f = B_u/p = 600/200 = 3 \text{ šrouby}$	

- přípoj mezi kazetami

samovrtný šroub	4,8x16	
únosnost v otláčení	$F_s = 3,56 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_s = 0,259 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$l_s = 300 \text{ mm}$	
počet šroubů na délku kazety	$n_s = b/l_s = 6\ 300/300 = 21 \text{ šroubů}$	

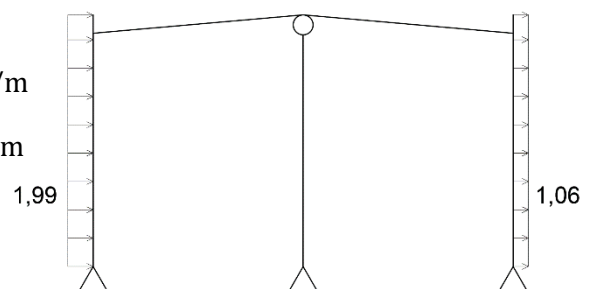
- přípoj na krajní vaznici (shodný šroub jako u připoje na sloup)

samovrtný šroub	5,5x40	
únosnost v otláčení	$F_{sc} = 4,94 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_{sc} = 0,142 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
počet šroubů na délku kazety	$n_{sc} = 6\ 300/300 = 21 \text{ šroubů}$	

Zatížení příčným větrem

$$w_{e,1,D} = w_{e,D} * \gamma_Q * Z\check{S} = 0,45 * 1,5 * 2,95 = 1,99 \text{ kN/m}$$

$$w_{e,2,E} = w_{e,E} * \gamma_Q * Z\check{S} = 0,24 * 1,5 * 2,95 = 1,06 \text{ kN/m}$$



Charakteristické hodnoty zatížení

$$T_{v,k} = (0,45 + 0,24) * 2,95 = 2,04 \text{ N/mm}$$

$$V_k = T_{v,k} * h = 2,04 * 7,5 = 15,27 \text{ kN}$$

Návrhové hodnoty zatížení

$$T_{v,d} = 1,99 + 1,06 = 3,05 \text{ N/mm}$$

$$V_d = T_{v,d} * h = 3,05 * 7,5 = 22,88 \text{ kN}$$

Posouzení maximálního smykového toku

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43E}{B_u^2} \sqrt{I_1 t^9}$$

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43 * 210\,000}{600^2} \sqrt{21,60 * 1,21^9}$$

$$T_{v,Rd} = 16,28 > 3,05 \text{ [N/mm]}$$

Posouzení přípoje na sloup

$$V_{ult} = 2 * (n_f * n_{sh}) * F_p$$

$$V_{ult} = 2 * (3 * 12,5) * 4,94$$

$$V_{ult} = 370,5 > 22,88 \text{ [kN]}$$

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \quad ; n_p \text{ je počet podpor kazety}$$

$$V_{ult} = 21 * 3,56 + \frac{0,3}{0,667} * 2 * 4,94 \quad ; \beta_1 \text{ z tab. 5.2; } \beta_3 \text{ z kapitoly 5.1.1.1}$$

$$V_{ult} = 79,20 > 22,88 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximálního smykového toku pro MSP

$$\frac{2\,000 * b * B_u}{375 * I_s * (B - B_u)} \geq T_{v,k} \quad ; B = \sum B_u = 600 * 12,5 = 7\,500 \text{ mm}$$

$$\frac{2\,000 * 6\,300 * 600}{375 * 300 * (7\,500 - 600)} \geq 2,04$$

$$9,74 \geq 2,04 \text{ [N/mm]}$$

Výpočet poddajnosti

Proveden podle tabulky 5.5 s úpravou indexů tak, aby bylo dodrženo shodné názvosloví v rámci celé kapitoly.

- Distorze profilu

$$c_{1.2} = \frac{2 \cdot B(1+\nu) \cdot [1 + (2h/d)]}{E \cdot t \cdot b}$$

; h je výška profilace pásnice, d je vzdálenost výztuh

$$c_{1.2} = \frac{2 \cdot 7\,500 \cdot (1+0,3) \cdot [1 + (2 \cdot 9/238)]}{210\,000 \cdot 1,21 \cdot 6\,300} \cdot 10^3 = 0,0131 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na sloup

$$c_{2.1} = \frac{2 \cdot B \cdot s_p \cdot p}{b^2}$$

$$c_{2.1} = \frac{2 \cdot 7\,500 \cdot 0,142 \cdot 200}{6\,300^2} = 0,0107 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj mezi kazetami

$$c_{2.2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_{sp} + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s}$$

$$c_{2.2} = \frac{2 \cdot 0,259 \cdot 0,142 \cdot (12,5 - 1)}{2 \cdot 21 \cdot 0,142 + 0,3 \cdot 2 \cdot 0,259} = 0,135 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$c_{2.3} = \frac{2 \cdot s_{sc}}{n_{sc}}$$

$$c_{2.3} = \frac{2 \cdot 0,142}{21} = 0,0135 \text{ mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,0131 + 0,0107 + 0,135 + 0,0135 = 0,172 \text{ mm/kN}$$

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_k \cdot c'$$

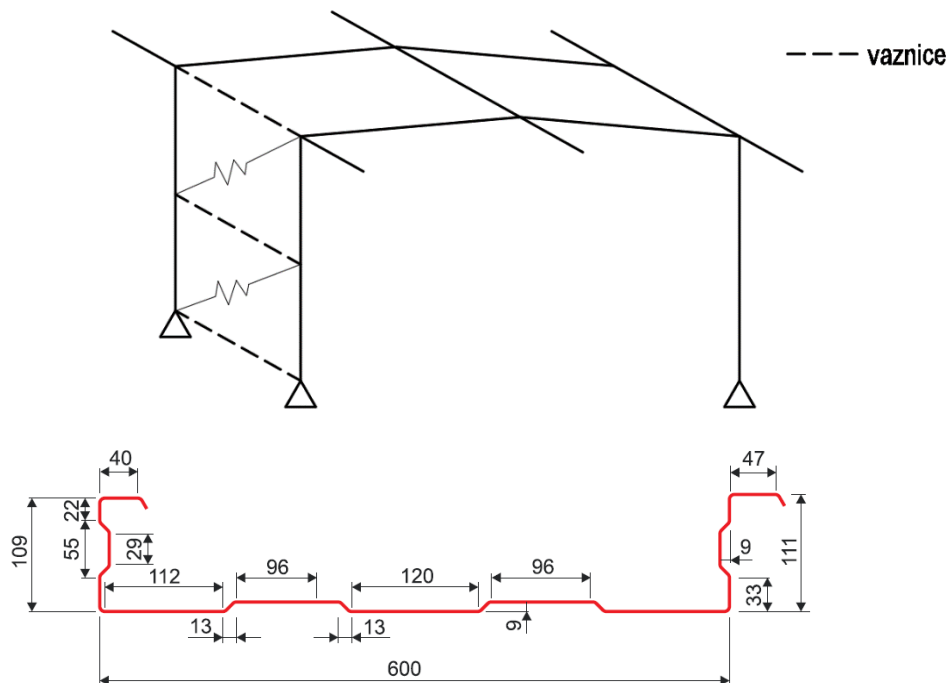
$$\Delta = 15,27 \cdot 0,172$$

$$\Delta = 2,63 \text{ mm} \approx h/2852$$

Závěr: Na štitové stěně není nutné použít stěnová ztužidla navrhnutá v kap. 6.2, ztužující funkci zajistí kazetové stěny.

10.2 Vliv kazet na svislé ztužení haly v podélném směru

V podélném směru jsou použity kazety SATJAM CASSETTE P600/110, tl. 1,00 mm. Posuzuji absenci ztužidla u mezipatra, což je nejvíce nepříznivá možnost v případě podélného ztužení haly. Třetí pole haly (za mezipatrem) je rozděleno na dvě diafragmata, viz obrázek pod textem.



tloušťka plechu	$t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{zinc}} = 1,00 - 0,04 = 0,96 \text{ mm}$
šířka kazety	$B_u = 600 \text{ mm}$
moment setrvačnosti široké pásnice	$I_1 = 10\,254 \text{ mm}^4 = 17,09 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}} > 10 \frac{\text{mm}^4}{\text{mm}}$
délka kazety	$b = 5\,900 \text{ mm}$
počet kazet	$n_{\text{sh}} = 3\,500/600 = 6 \text{ kazet}$

Přípoje

○ přípoj na sloup	
samovrtný šroub	5,5x40
únosnost v otláčení	$F_p = 5,59 \text{ kN}$ (hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_p = 0,202 \text{ mm/kN}$ (hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$p = 200 \text{ mm}$
počet šroubů na výšku kazety	$n_f = B_u/p = 600/200 = 3 \text{ šrouby}$

- přípoj mezi kazetami

samovrtný šroub	4,8x16	
únosnost v otláčení	$F_s = 2,59 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_s = 0,188 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$l_s = 300 \text{ mm}$	
počet šroubů na délku kazety	$n_s = b/l_s = 5\,900/300 = 20$	šroubů

- přípoj na krajní vaznici (shodný šroub jako u přípoje na sloup)

samovrtný šroub	5,5x40	
únosnost v otláčení	$F_{sc} = 5,59 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_{sc} = 0,202 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
počet šroubů na délku kazety	$n_{sc} = 5\,900/300 = 20$	šroubů

Zatížení

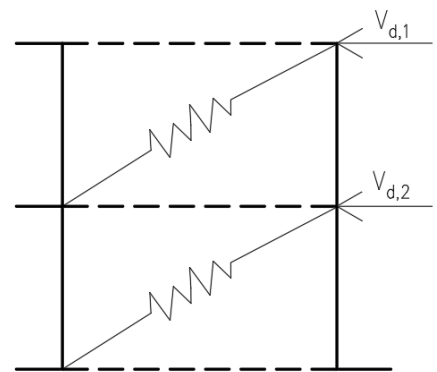
viz kap. 6.2

$$V_{d,1} = 21,97 \text{ kN} \rightarrow T_{v,d,1} = 21,97/3,5 = 6,28 \text{ N/mm}$$

$$V_{d,2} = 11,97 \text{ kN} \rightarrow T_{v,d,2} = 11,97/3,5 = 3,42 \text{ N/mm}$$

$$T_{v,d} = 6,28 + 3,42 = 9,70 \text{ N/mm}$$

$$V_d = 21,97 + 11,97 = 33,94 \text{ kN}$$



Posouzení maximálního smykového toku

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43E}{B_u^2} \sqrt{I_1 t^9}$$

$$T_{v,Rd} = \frac{8,43 * 210\,000}{600^2} \sqrt{17,09 * 0,96^9}$$

$$T_{v,Rd} = 9,12 < 9,70 \text{ [N/mm]}$$

→ podmínka nevyhovuje o 6 %, jako nejjednodušší možnost navrhuji zvýšit tl. plechu na 1,25 mm; další alternativa by byla zohlednit spolupůsobení kazet i v ostatních polích

$$T_{v,Rd} = 16,28 > 9,70 \text{ [N/mm]}$$

pozn.: další výpočet uvažován pro tl. plechu 1,00 mm

Posouzení přípoje na sloup

$$V_{ult} = 2 * (n_f * n_{sh}) * F_p$$

$$V_{ult} = 2 * (3 * 6) * 5,59$$

$$V_{ult} = 201,24 > 33,94 \text{ [kN]}$$

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p \quad ; n_p \text{ je počet podpor kazety}$$

$$V_{ult} = 20 * 2,59 + \frac{0,3}{0,667} * 2 * 5,59 \quad ; \beta_1 \text{ z tab. 5.2; } \beta_3 \text{ z kapitoly 5.1.1.1}$$

$$V_{ult} = 56,83 > 33,94 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximálního smykového toku pro MSP

$$\frac{2000 * b * B_u}{375 * I_s * (B - B_u)} \geq T_{v,k} \quad ; B = \sum B_u = 600 * 6 = 3600 \text{ mm}$$

$$\frac{2000 * 5900 * 600}{375 * 300 * (3600 - 600)} \geq 9,70 / 1,5$$

$$20,98 \geq 6,47 \text{ [N/mm]}$$

Výpočet poddajnosti

- Distorze profilu

$$C_{1.2} = \frac{2 * B * (1 + \nu) * [1 + (2h/d)]}{E * t * b} \quad ; h \text{ je výška profilace pásnice, } d \text{ je vzdálenost výztuh}$$

$$C_{1.2} = \frac{2 * 3600 * (1 + 0,3) * [1 + (2 * 9 / 238)]}{210000 * 0,96 * 5900} * 10^3 = 0,00846 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na sloup

$$C_{2.1} = \frac{2 * B * s_p * p}{b^2}$$

$$C_{2.1} = \frac{2 * 3600 * 0,202 * 200}{5900^2} = 0,00836 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj mezi kazetami

$$C_{2.2} = \frac{2 * s_s * s_p * (n_{sh} - 1)}{2 * n_s s_p + \beta_1 n_p s_s}$$

$$C_{2.2} = \frac{2 * 0,188 * 0,202 * (6 - 1)}{2 * 20 * 0,202 + 0,3 * 2 * 0,188} = 0,046 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$c_{2.3} = \frac{2 \cdot s_{sc}}{n_{sc}}$$

$$c_{2.3} = \frac{2 \cdot 0,202}{20} = 0,0202 \text{ mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,00846 + 0,00836 + 0,046 + 0,0202 = 0,083 \text{ mm/kN}$$

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_k \cdot c'$$

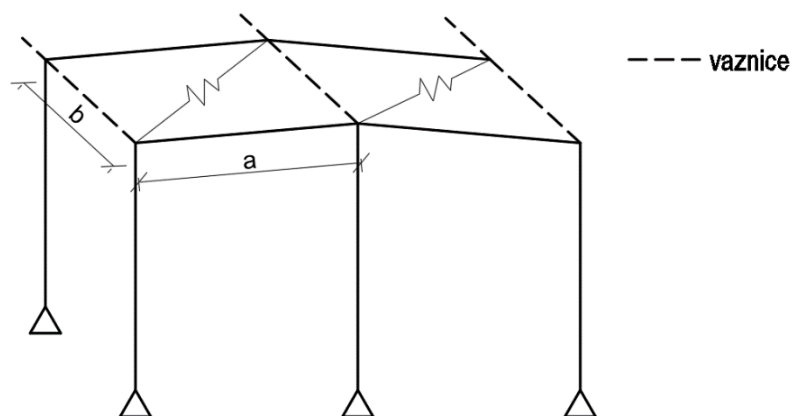
$$\Delta = \frac{21,97}{1,5} \cdot 0,083 + \frac{11,97}{1,5} \cdot 0,083$$

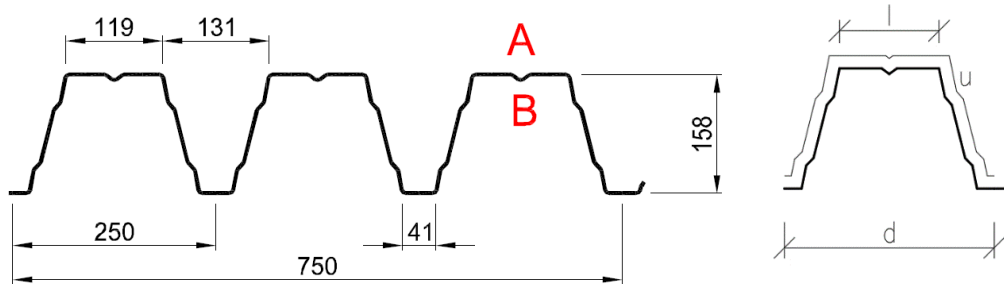
$$\Delta = 1,88 \text{ mm} \approx h/3723$$

Závěr: V posouzení vyhověly všechny posudky kromě posouzení maximálního smykového toku, vodorovný posun není rozhodující.

10.3 Vliv trapézového plechu na vodorovné ztužení haly ve střešní rovině

Na střeše je jako nosný prvek navržen převážně trapézový plech 160/250, tl. 1,00 mm, který budu posuzovat. (Trapézový plech pnutý jako prostý nosník podle kap. 3.1. je větší tloušťky a tedy méně příznivá možnost pro tento posudek). Vlny trapézového plechu jsou rovnoběžné s podélným směrem haly. Uvažuji, že zatížení větrem na štítovou stěnu přenesou pouze první pole trapézového plechu s rozdělením na dvě diafragmata, viz obrázek pod textem. Pokud posudek nevyhoví, zohledním také spolupůsobení plechů v ostatních polích.





tloušťka plechu	$t_{\text{cor}} = t_{\text{nom}} - t_{\text{zinc}} = 1,00 - 0,04 = 0,96 \text{ mm}$
šířka diafragmatu	$a = 6\,320 \text{ mm}$
délka diafragmatu	$b = 5\,900 \text{ mm}$
vzdálenost vln plechu	$d = 250 \text{ mm}$
výška plechu	$h = 158 \text{ mm}$ ($h/d = 0,632$; $l/d = 119/250 = 0,476$)
moment setrvačnosti jedné vlny	$I_1 = 5,943 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \rightarrow \frac{5\,943\,000}{1000} \cdot 250 = 1\,485\,750 \text{ mm}^4$
obvod jedné vlny	$u = 490 \text{ mm}$
součinitel K_1	$K_1 = 0,535$ (interpolace z tab. 5.6)
vaznice (čtvercová TR 80x4)	$A = 1\,200 \text{ mm}^2$
počet vaznic diafragmatu	$n_p = 2$
počet plechů ref. vzd. 750 mm	$n_{\text{sh}} = 6,32 \cdot 1000/750 = 9 \text{ ks}$
součinitele $\alpha_1; \alpha_2; \alpha_3$	1,0; 1,0; 1,0 (tab. 5.4 pro $n_p = 2$)
součinitele $\beta_1; \beta_2; \beta_3$	1,04; 1,11; 1,0 (tab. 5.2 pro $n_f = 4$; kap. 5.1.1.1)

Přípoje

○ přípoj na příčel	
samovrtný šroub	5,5x40
únosnost v otláčení	$F_p = 5,59 \text{ kN}$ (hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_p = 0,202 \text{ mm/kN}$ (hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$p = 250 \text{ mm}$
počet šroubů na délce 750 mm	$n_f = 4 \text{ šrouby}$ (šroub v každé vlně)

- přípoj mezi plechy

samovrtný šroub	4,8x16	
únosnost v otláčení	$F_s = 2,59 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_s = 0,188 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
vzdálenost šroubů	$l_s = 350 \text{ mm}$	
počet šroubů na délku 5 900 mm	$n_s = b/l_s = 5\,900/350 = 17$	šroubů

- přípoj na krajní vaznici (shodný šroub jako u přípoje na příčel)

samovrtný šroub	5,5x40	
únosnost v otláčení	$F_{sc} = F_p = 5,59 \text{ kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
poddajnost	$s_{sc} = s_p = 0,202 \text{ mm/kN}$	(hodnota z přílohy [IV])
počet šroubů na délku kazety	$n_{sc} = 5\,900/250 = 23$	šroubů

Zatížení podélným větrem na štítovou stěnu

viz kap. 6.2

$$V_{Ed} = 14,49 \text{ kN}$$

$$V_{Ek} = 9,65 \text{ kN}$$

Přípoj na příčel/vaznici

$$V_{ult,1} = n_{sc} * F_p$$

$$V_{ult,1} = 23 * 5,59$$

$$V_{ult,1} = 128,57 \text{ kN}$$

Přípoj mezi plechy

$$V_{ult,2} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p$$

$$V_{ult,2} = 17 * 2,59 + \frac{1,04}{1,0} * 2 * 5,59$$

$$V_{ult,2} = 55,66 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti přípojů

$$V^* = \min(V_{ult,1}; V_{ult,2}) > V_{Ed}$$

$$55,66 > 14,49 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximální únosnosti přípojů

$$\frac{0,6 * b * F_p}{p * \alpha_3} \geq V^*$$

$$\frac{0,6 * 5\,900 * 5,59}{250} \geq 55,66$$

$$79,15 > 55,66 \text{ [kN]}$$

Posouzení kolapsu profilu

$$0,9 * t^{1,5} * b * f_{yd}/d^{0,5} \geq V^*$$

$$0,9 * 0,96^{1,5} * 5\,900 * 0,320/250^{0,5} \geq 55,66$$

$$101,08 \geq 55,66 \text{ [kN]}$$

Interakce lokálního a globálního boulení

není třeba zohledňovat, pokud vyhoví podmínka:

$$l/t \leq 2,9(E/f_{yd})^{0,5}$$

$$119/0,96 \leq 2,9(210\,000/320)^{0,5}$$

$$123,96 > 74,29$$

→ podmínka nevyhovuje, interakce se zohlední redukcí globálního boulení, resp. použitím vzorce

$$V_{red} = \frac{V_g V_l}{(V_g + V_l)} \geq V^*$$

Globální boulení od smykového namáhání

$$V_g = \frac{14,4}{b} * D_x^{1/4} * D_y^{3/4} * (n_p - 1)^2$$

$$D_x = \frac{E * t^3 * d}{12 * (1 - \nu^2) * u} = \frac{210\,000 * 0,96^3 * 250}{12 * (1 - 0,3^2) * 490} = 8\,698 \text{ Nmm}$$

$$D_y = \frac{E * I_1}{d} = \frac{210\,000 * 1\,485\,750}{250} = 1\,248\,030\,000 \text{ Nmm}$$

$$V_g = \frac{14,4}{5\,900} * 8\,698^{1/4} * 1\,248\,030\,000^{3/4} * (2 - 1)^2 = 156\,507 \text{ N}$$

Lokální boulení od smykového namáhání

$$V_l = 4,83 * E * \left(\frac{t}{l}\right)^2 * b * t$$

$$V_l = 4,83 * 210\,000 * \left(\frac{0,96}{119}\right)^2 * 5\,900 * 0,96 = 373\,885 \text{ N}$$

Interakce lokálního a globálního boulení

$$V_{\text{red}} = \frac{V_g V_l}{(V_g + V_l)} \geq V^*$$

$$V_{\text{red}} = \frac{156,51 * 373,89}{(156,51 + 373,89)} \geq V^*$$

$$110,33 \geq 55,66 \text{ [kN]}$$

Výpočet poddajnosti

Proveden podle tabulky 5.5.

- Distorze profilu

$$C_{1.1} = \frac{a * d^{2,5} * \alpha_1 * \alpha_4 * K}{E * t^{2,5} * b^2} \quad ; \alpha_4 \text{ z tab. 5.8, } \alpha_4 = 1,0$$

$$C_{1.1} = \frac{6\,320 * 250^{2,5} * 1,0 * 1,0 * 0,535}{210\,000 * 0,96^{2,5} * 5\,900^2} * 10^3 = 0,506 \text{ mm/kN}$$

- Smykové namáhání profilu

$$C_{1.2} = \frac{2 * a * \alpha_2 * (1 + \nu) * [1 + (2h/d)]}{E * t * b}$$

$$C_{1.2} = \frac{2 * 6\,320 * 1,0 * (1 + 0,3) * [1 + (2 * 0,632)]}{210\,000 * 0,96 * 5\,900} * 10^3 = 0,0313 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na příčel

$$C_{2.1} = \frac{2 * a * s_p * p * \alpha_3}{b^2}$$

$$C_{2.1} = \frac{2 * 6\,320 * 0,202 * 250 * 1,0}{5\,900^2} = 0,0183 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj mezi plechy

$$C_{2.2} = \frac{2 \cdot s_s \cdot s_p \cdot (n_{sh} - 1)}{2 \cdot n_s \cdot s_p + \beta_1 \cdot n_p \cdot s_s}$$

$$C_{2.2} = \frac{2 \cdot 0,188 \cdot 0,202 \cdot (9 - 1)}{2 \cdot 17 \cdot 0,202 + 1,04 \cdot 2 \cdot 0,188} = 0,084 \text{ mm/kN}$$

- Přípoj na krajní vaznici

$$C_{2.3} = \frac{4(n+1) \cdot s_{sc}}{n^2 \cdot n_{sc}} \quad ; n = 2$$

$$C_{2.3} = \frac{4(2+1) \cdot 0,202}{2^2 \cdot 23} = 0,0263 \text{ mm/kN}$$

- Axiální síla v příčli

$$C_3 = \frac{n^2 \cdot a^3 \cdot \alpha_3}{4,8 \cdot E \cdot A \cdot b^2}$$

$$C_3 = \frac{2^2 \cdot 6 \cdot 320^3 \cdot 1,0}{4,8 \cdot 210 \cdot 1200 \cdot 5900^2} = 0,0238 \text{ mm/kN}$$

- Celková poddajnost

$$c' = \sum c_i = 0,506 + 0,0313 + 0,0183 + 0,084 + 0,0263 + 0,0238 = 0,69 \text{ mm/kN}$$

Celkový vodorovný posun

$$\Delta = V_{Ek} \cdot c'$$

$$\Delta = 9,65 \cdot 0,69$$

$$\Delta = 6,7 \text{ mm} \approx L/1887 < L/250$$

Závěr: Ve střešní rovině není nutné použít diagonální ztužidla navrhnutá v kap. 6.1, ztužující funkci zajistí plášťové působení trapézového plechu v krajním poli haly.

10.4 Úpravy haly kvůli plášťovému chování

Pokud se využije plášťové působení trapézového plechu a stěnových kazet na ztužení haly a lze tedy vynechat diagonální střešní a stěnové ztužení, bude nutné upravit některé detaily s ohledem na správnou funkci diafragmového chování, jak již bylo naznačeno v kapitole 10.1. V případě rámového rohu, resp. podélného směru haly se jedná o doplnění vaznice (čtvercové trubky 80x4), příčel štítové stěny se doplní přivařeným úhelníkem L 80x60x5.

10.5 Porovnání výsledků s hodnotami únosností šroubů dle normy

V kapitolách 10.1 až 10.3 byl zpracován výpočet s využitím hodnot únosností šroubů v otláčení a poddajnosti určených pomocí vyhodnocení zkoušek z přílohy [IV]. Nyní porovnám výsledky s hodnotami spočtenými podle normy [7], vyberu pouze rozhodující (nejvíce nepříznivé) posudky z jednotlivých kapitol 10.1-10.3, které se týkají přípojí.

○ Štít

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p$$

$$V_{ult} = 21 * 2,91 + \frac{0,3}{0,667} * 2 * 4,36$$

$$V_{ult} = 65,03 > 22,88 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V_{ult} = 79,20 > 22,88 \text{ [kN]}$$

○ Podélný směr

Posouzení přípoje mezi kazetami

$$V_{ult} = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p$$

$$V_{ult} = 20 * 2,06 + \frac{0,3}{0,667} * 2 * 2,20$$

$$V_{ult} = 43,18 > 33,94 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V_{ult} = 56,83 > 33,94 \text{ [kN]}$$

○ Střecha

Posouzení přípoje mezi plechy

$$V_{ult,2} = V^* = n_s F_s + \frac{\beta_1}{\beta_3} n_p F_p$$

$$V_{ult,2} = V^* = 17 * 2,06 + \frac{1,04}{1,0} * 2 * 2,20$$

$$V_{ult,2} = V^* = 39,60 > 17,23 \text{ [kN]}$$

$$\text{původní posudek: } V^* = 55,66 > 17,23 \text{ [kN]}$$

Posouzení maximální únosnosti přípoju

$$\frac{0,6 * b * F_p}{p * \alpha_3} \geq V^*$$

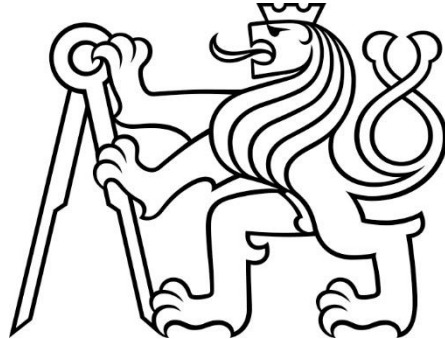
$$\frac{0,6 * 5\,900 * 2,20}{250} \geq 39,60$$

31,15 < 39,60 [kN] nevyhovuje

původní posudek: 79,15 > 55,66 [kN]

Závěr: V případě kazetových stěn vychází posudky s menší, ale přesto dostatečnou rezervou, naopak střešní trapézový plech s normovými hodnotami únosnosti nevyhoví.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ocelová konstrukce skladištní haly

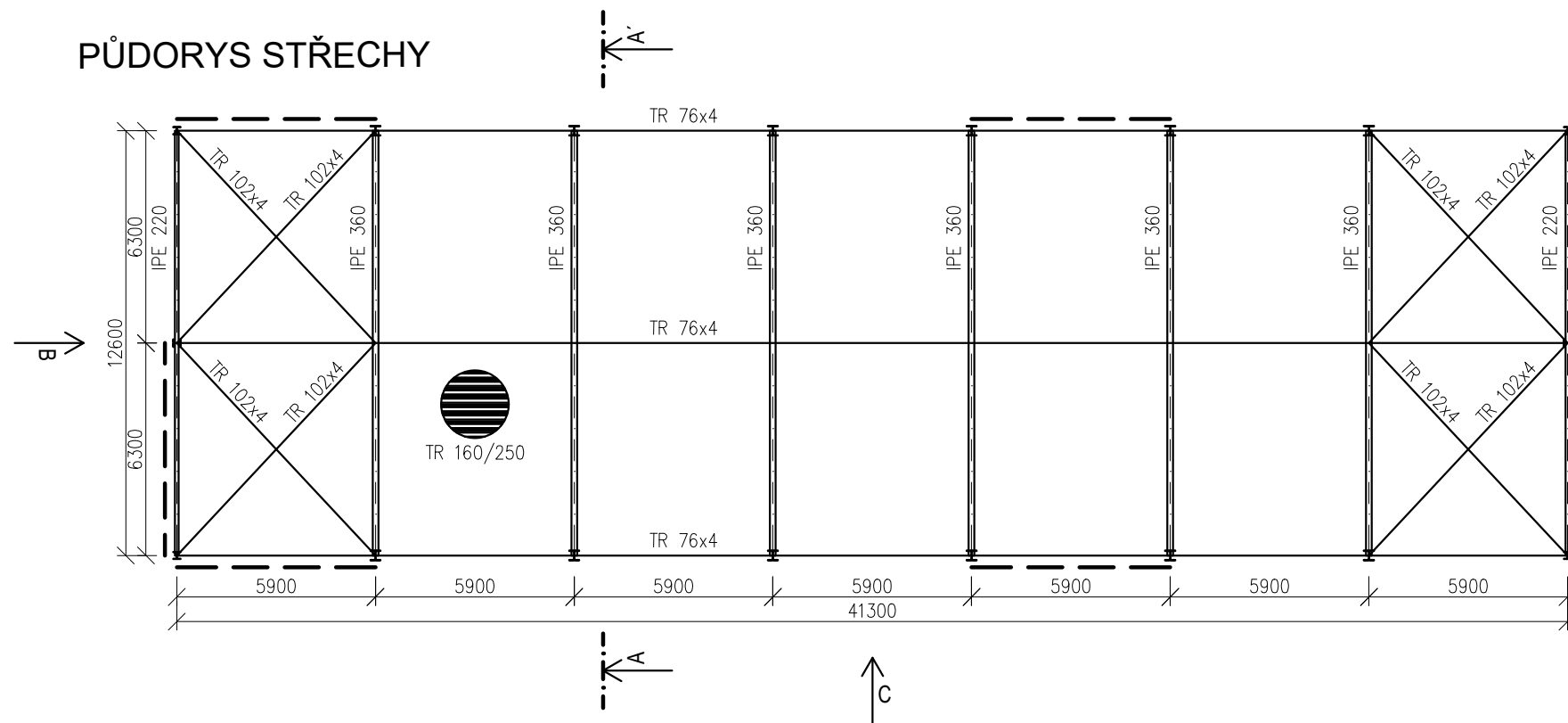
Výkresová dokumentace

Autor: Aleš Chovanec

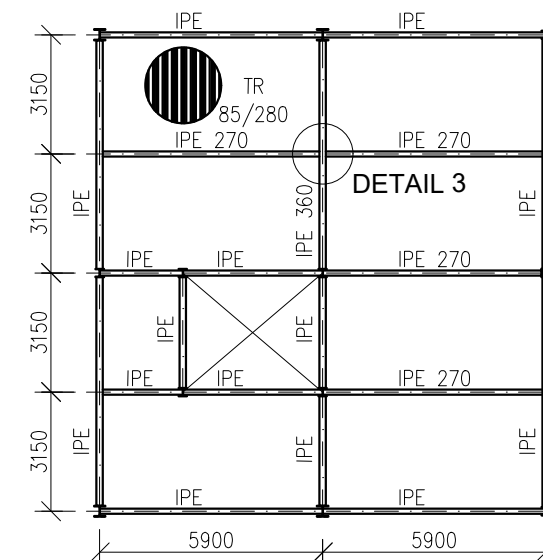
Vedoucí práce: doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

květen 2020

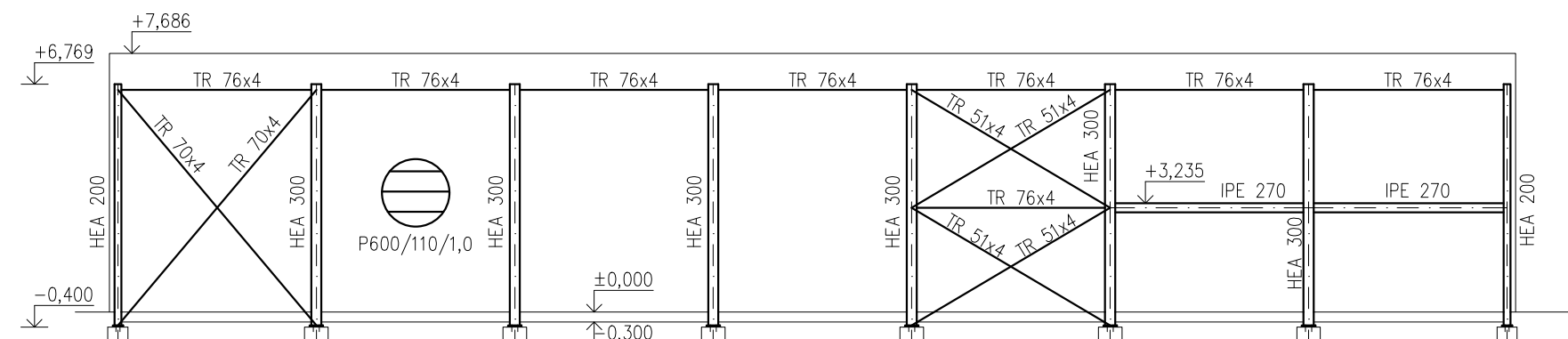
PŮDORYS STŘECHY



MEZIPATRO (+3,235)

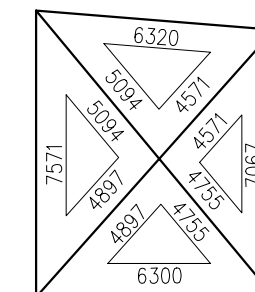


POHLED C

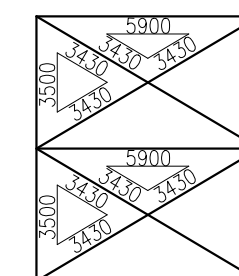


GEOMETRIE ZTUŽIDEL

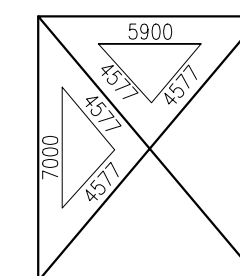
POHLED B



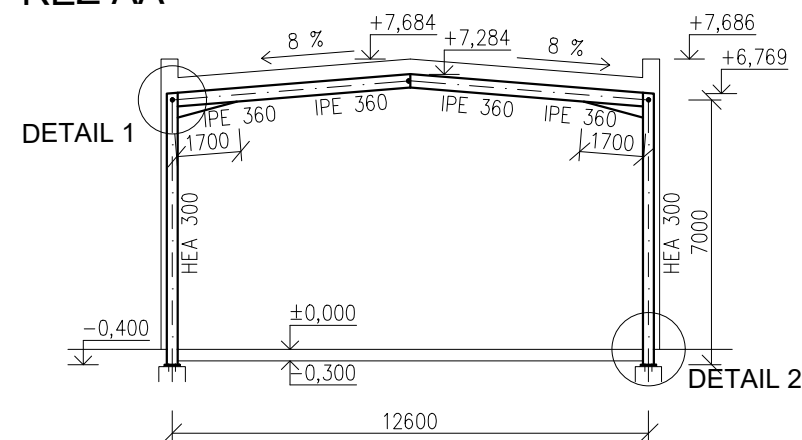
POHLED C



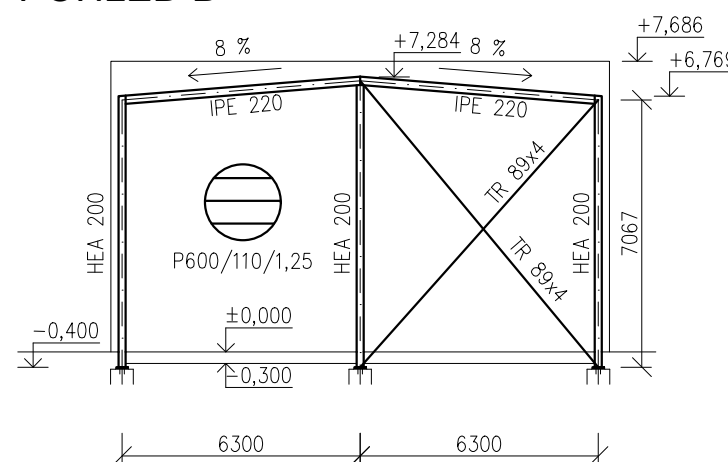
POHLED C



ŘEZ AA'



POHLED B

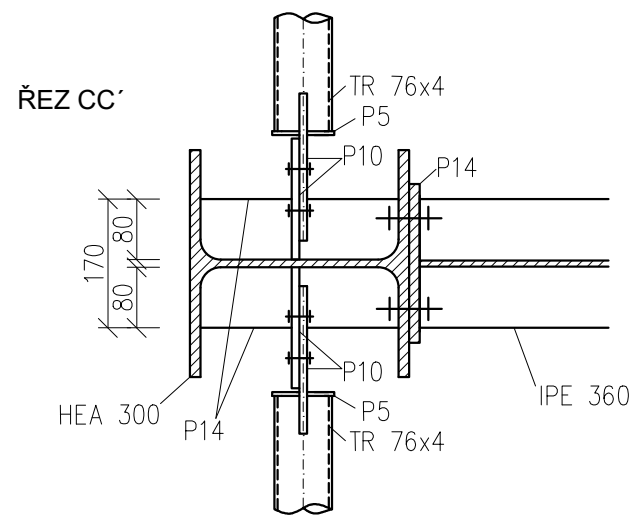
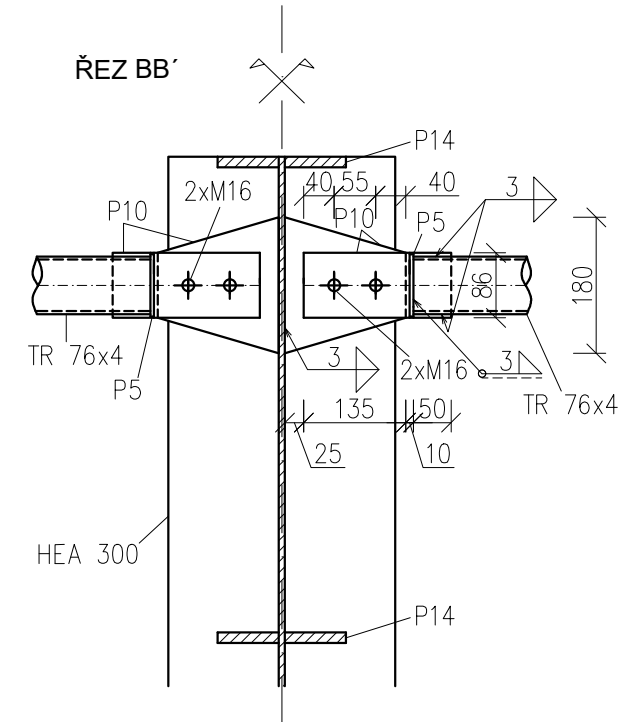
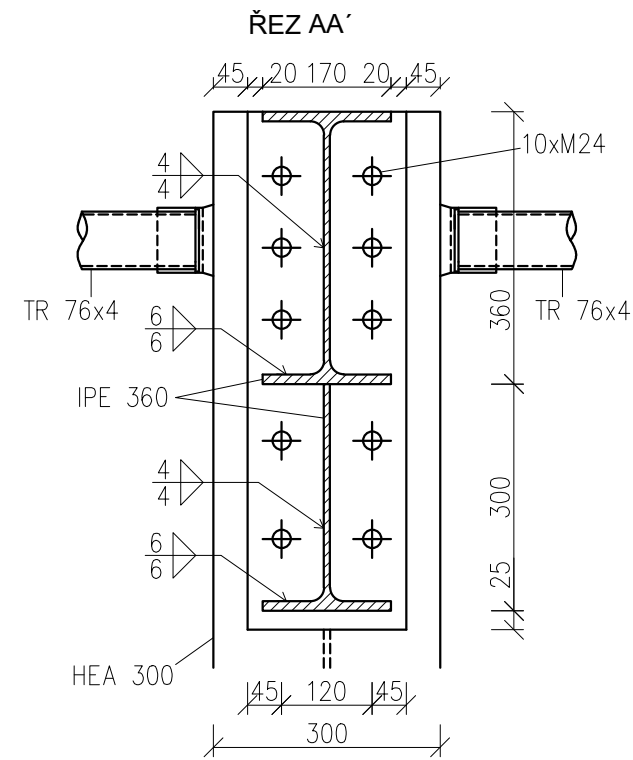
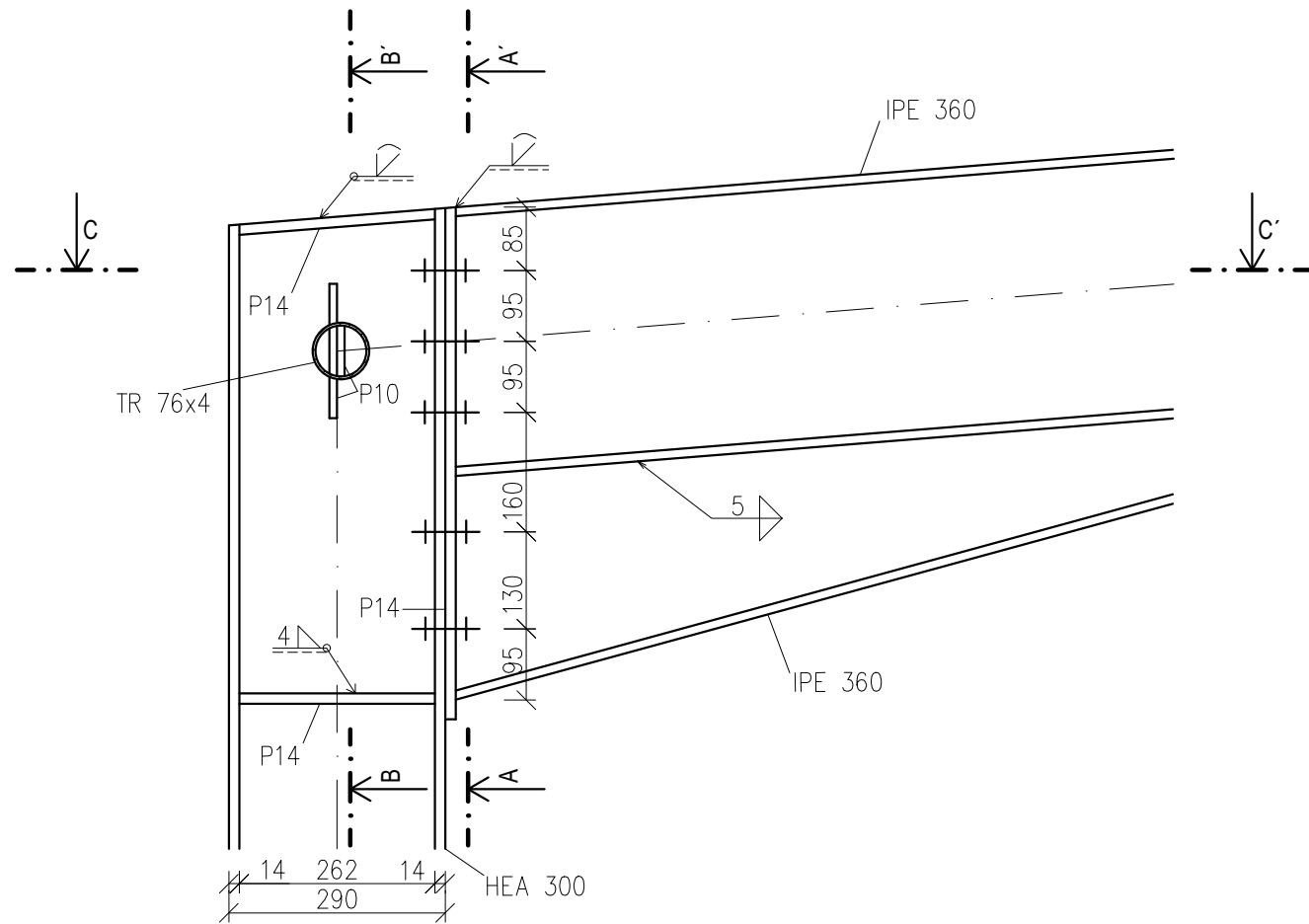


OCEL: S235 JR (NENÍ-LI VYZNAČENO JINAK)
TRAPÉZOVÝ PLECH, KAZETY: OCEL S320 GD+Z
BETON: C20/25

EXC2

Zpracoval Aleš Chovanec	Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok 2019 - 2020	Fakulta stavební ČVUT
Předmět BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
Katedra Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí	Datum květen 2020	Měřítko 1:200	Číslo výkresu 1
Název výkresu Dispozice			

DETAIL 1



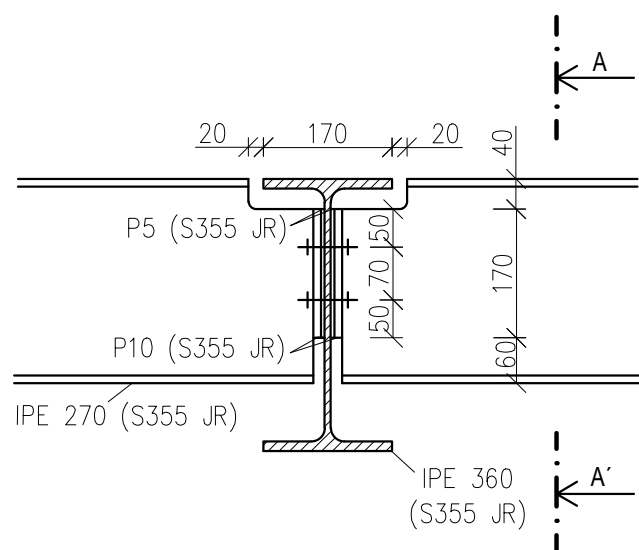
VYTVORENO VE STUDENTSKÉ VERZI PRODUKTU AUTODESK

OCEL S235 JR
ŠROUBY 8.8

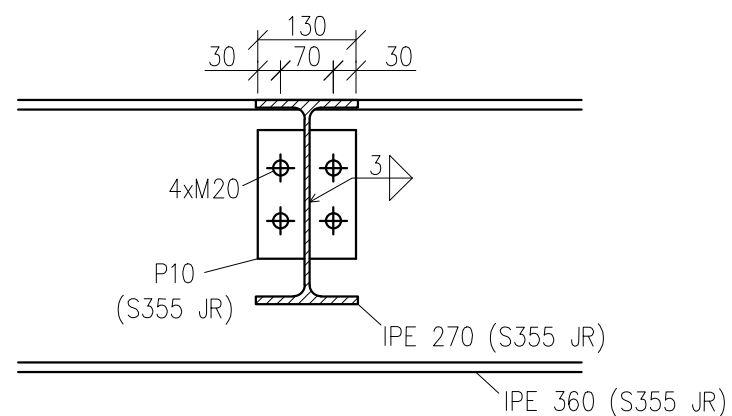
EXC 2

Zpracoval Aleš Chovanec	Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok 2019 - 2020	Fakulta stavební ČVUT
Předmět BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
Katedra Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Datum květen 2020
Název výkresu Detail 1			Měřítko 1:10
			Číslo výkresu 2

DETAIL 2

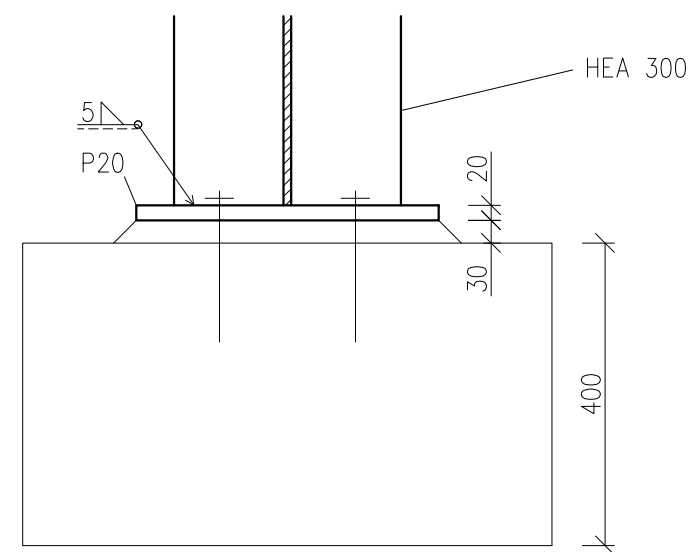


ŘEZ AA'

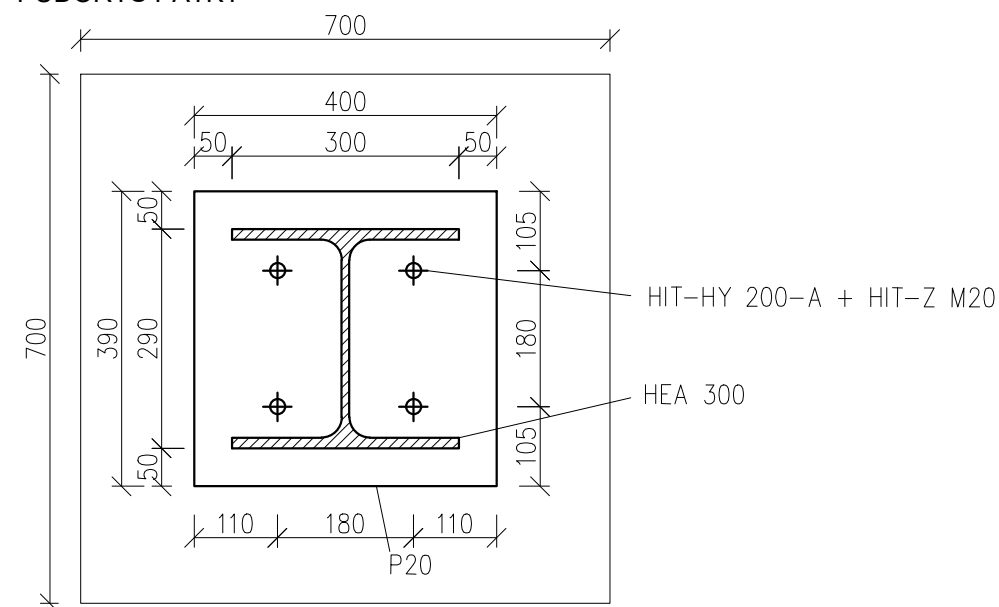


DETAIL 3

ŘEZ PATKOU



PŮDORYS PATKY



OCEL: S235 JR (NENÍ-LI VYZNAČENO JINAK)

ŠROUBY: 8.8

BETON: C20/25

EXC 2

Zpracoval	Vedoucí bakalářské práce	Školní rok	Fakulta stavební ČVUT	
Aleš Chovanec	doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	2019 - 2020		
Předmět	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			
Katedra	Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí			Datum
Název výkresu	Detaily 2 a 3			květen 2020
				Měřítko
				1:10
				Číslo výkresu
				3

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ocelová konstrukce skladištní haly

Vyhodnocení zkoušek

Autor: Aleš Chovanec

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

květen 2020

Obsah

1. Úvod	3
2. Zkoušky únosnosti v otláčení	4
2.1 Provedení zkoušky v laboratoři	4
2.2 Úprava pracovního diagramu a stanovení hodnot $R_{obs,i}$	5
3. Tahové zkoušky	8
3.1 Provedení zkoušky v laboratoři	8
3.2 Vyhodnocení tahové zkoušky plechu 1,00 mm	9
3.3 Souhrn výsledků tahových zkoušek	10
4. Výpočet návrhové hodnoty únosnosti v otláčení a poddajnosti	11
4.1 Výpočet únosnosti v otláčení	11
4.2 Výpočet poddajnosti	13
5. Souhrn všech výsledků	14
6. Porovnání výsledků s normovým výpočtem	16
7. Závěr	18

1. Úvod

V rámci studentské výzkumné činnosti na katedře ocelových a dřevěných konstrukcí jsem se zúčastnil experimentů, které se týkaly diplomové práce Bc. Ondřeje Novotného. Byl jsem přítomen a pomáhal jsem u zkoušek únosnosti plechů spojených samořeznými šrouby. Zkoušku vedl Ondřej Novotný, já jsem asistoval. V průběhu práce na svém projektu jsme došli s vedoucím bakalářské práce k závěru, že by bylo vhodné tuto příležitost využít a výsledky z těchto zkoušek zařadit ve formě dílčí části také do mé práce. Byla mi tedy poskytnuta nezpracovaná data z experimentu ve formě excelových tabulek a já jsem již výsledky samostatně vyhodnotil a poté jsem provedl tahové zkoušky oceli, nutné pro celkové vyhodnocení. Své výsledky, tedy konkrétní hodnoty únosnosti šroubů v otláčení a zjištěnou poddajnost přípoje jsem poté použil do bakalářské práce v případě plášťového působení střešního a stěnového pláště. Na závěr je uvedeno porovnání hodnot s normovým výpočtem.

2. Zkoušky únosnosti v otláčení

2.1 Provedení zkoušky v laboratoři

Zkoušky byly provedeny v únoru 2020 v laboratoři K134 FSv ČVUT v Praze. Byl použit zkušební stroj MTS Quest 100 (s kapacitou 100 kN). Při zkoušce byla snímána síla a prokluz v přípoji pomocí laserového extenzometru (rozsah měření 10 cm).

Zkouška byla řízena posunem s rychlostí 0,8 mm/min (po dosažení prokluzu 7,5 mm byla rychlost zvýšena na 3 mm/min).

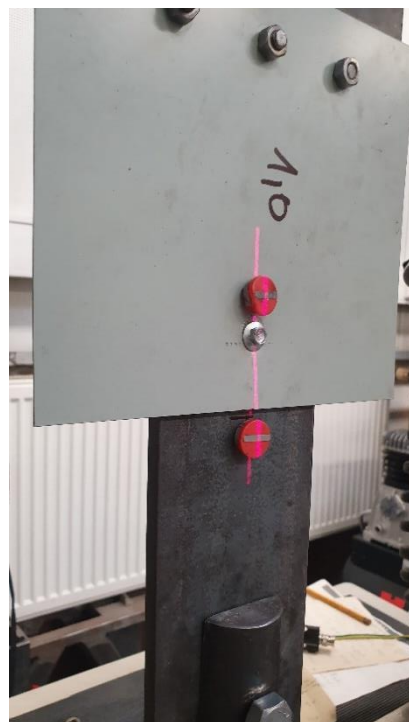
Zkoušky byly provedeny pro dva typy přípojů:

- přípoje dvou tenkých plechů ($t = 0,75; 1,0$ a $1,25$ mm z oceli S320GD+Z275), šroub HILTI S-MD 03 Z 4,8x16
- přípoje tenkého plechu ($t = 0,75; 1,0$ a $1,25$ mm z oceli S320GD+Z275) a plechu tl. 8 mm S235, šroub S-MD 25 GZ 5,5x40

V případě každého typu přípoje bylo zkoušeno 5 vzorků s výjimkou přípoje dvou tenkých plechů 0,75 mm šroubem 4,8x16, kde se podařilo otestovat 6 vzorků. Krajiní rozteč byla ve všech případech 30 mm.



Obr.1: Zkouška přípoje se šroubem 4,8x16



Obr.2: Zkouška přípoje se šroubem 5,5x40

2.2 Úprava pracovního diagramu a stanovení hodnot $R_{obs,i}$

Relevantní hodnoty pro další zpracování jsou naměřené síly $R_{obs,i}$ [kN] a jim odpovídající posuny s_i [mm]. Dle publikace [14], kapitoly 2.6 se stanoví hodnota $R_{obs,i}$ jako síla, která odpovídá posunu 3 mm, resp. jde o maximální hodnotu z intervalu (0; 3 mm).

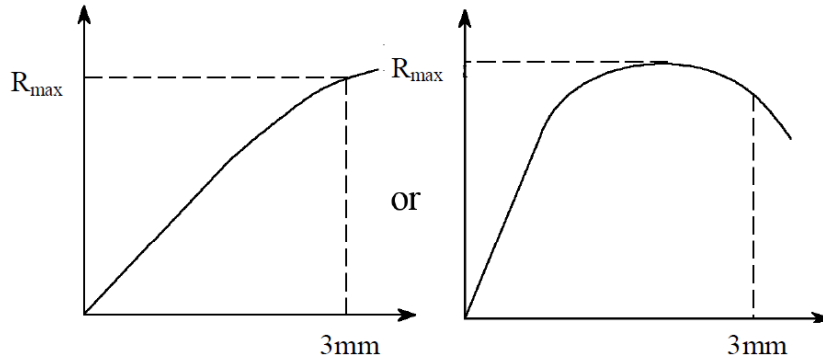
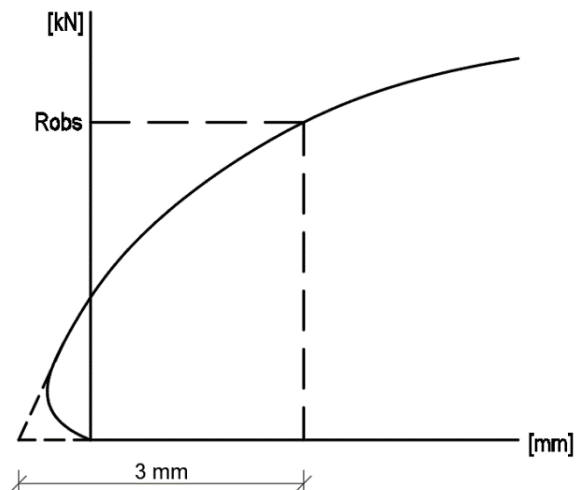


Fig. 2.10: Failure limits for tests

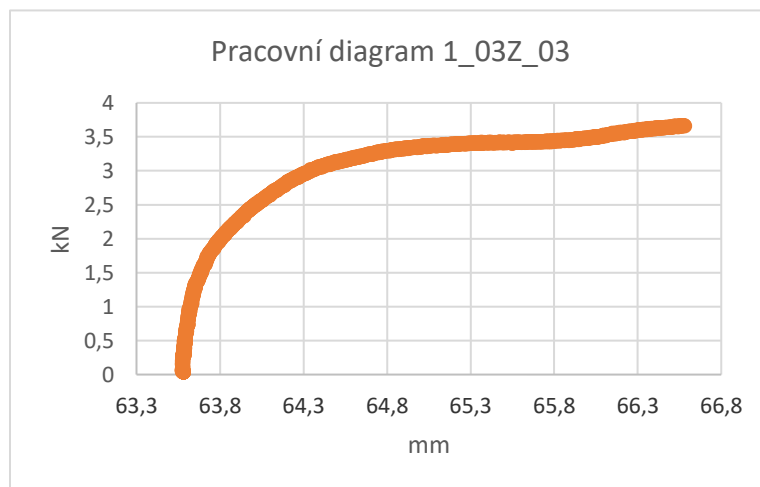
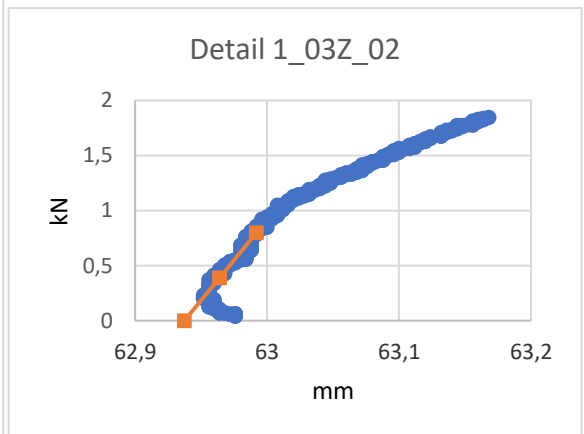
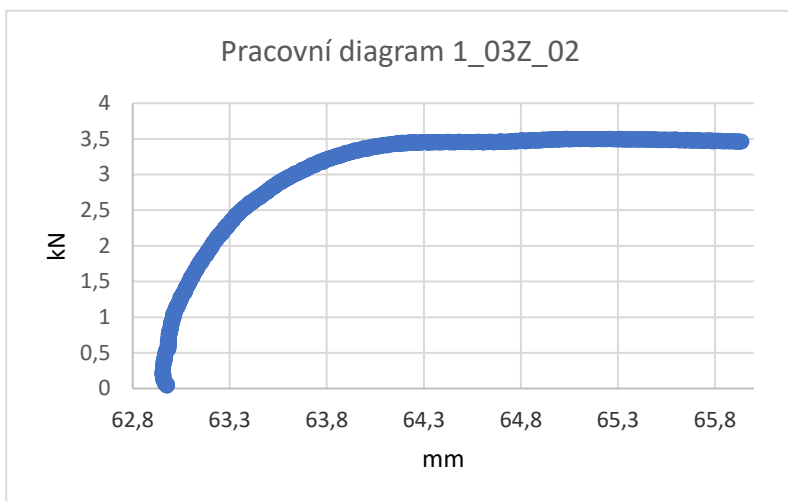
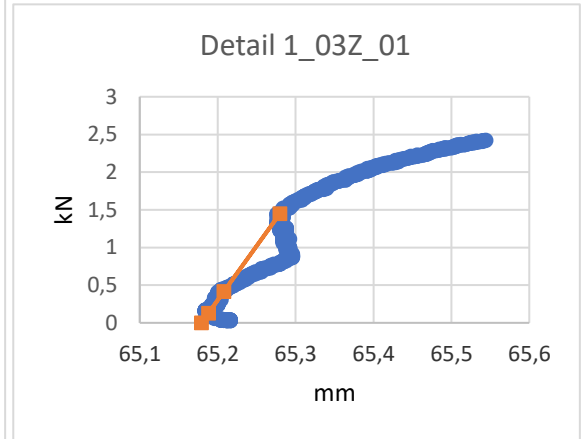
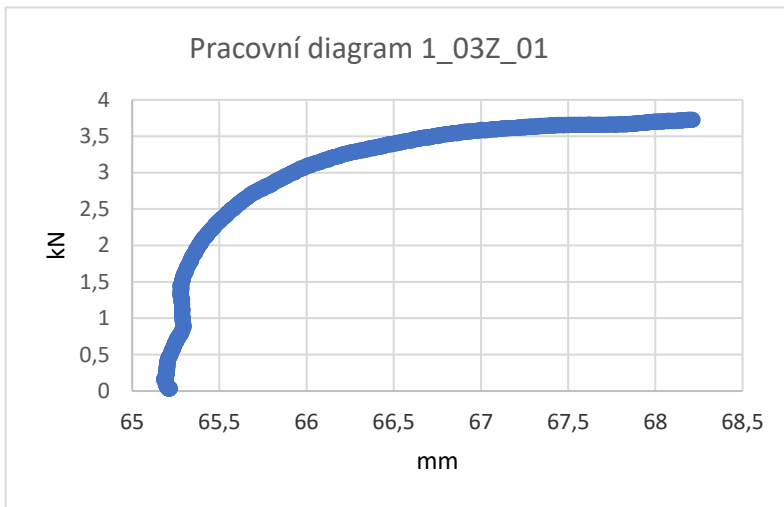
Obr.3: Stanovení hodnoty $R_{obs,i}$ [14]

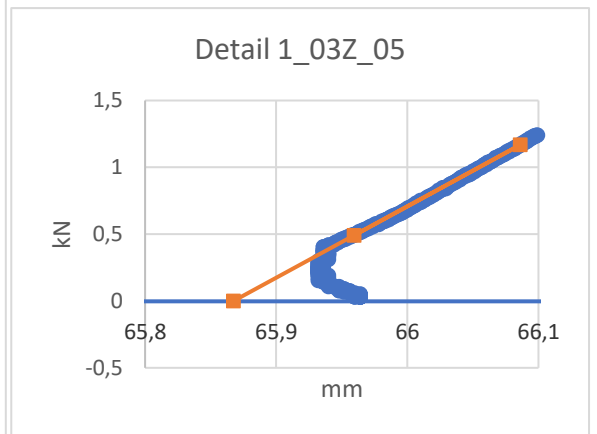
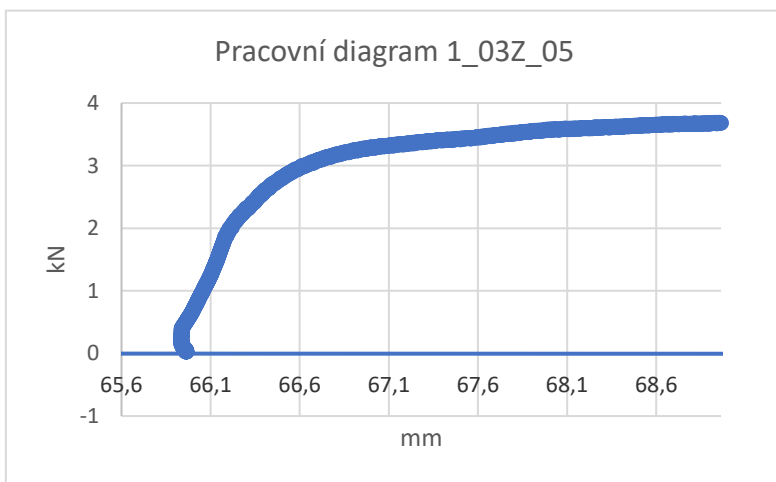
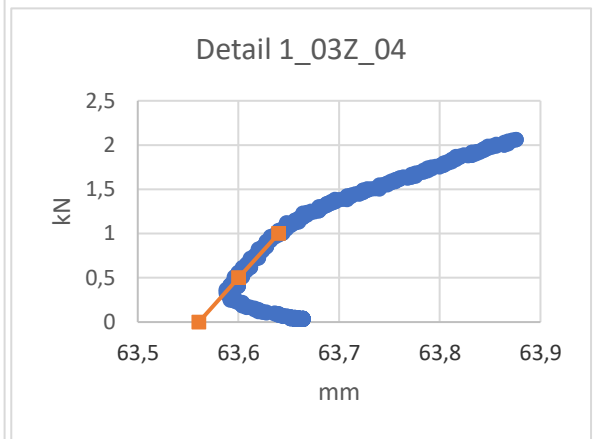
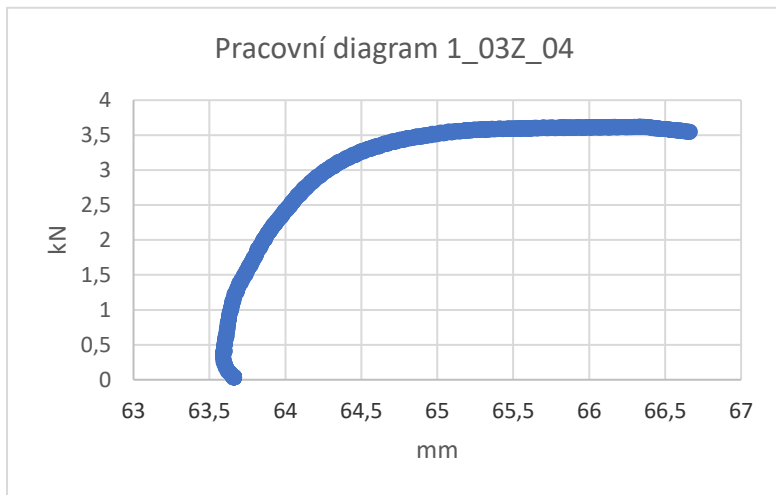
Je však ještě třeba přihlídnout k počátečnímu přiblížení zkoušených šroubů, resp. posunu křivky pracovního diagramu do záporných hodnot, což sice nebude mít velký vliv na výslednou hodnotu únosnosti a poddajnosti, nicméně je vhodné tuto skutečnost uvážit ve vyhodnocování pomocí extrapolace a posunu křivky pracovního diagramu. Toto přiblížení může být způsobeno rovnáním vzorku na začátku zatěžování.



Obr.4: Vliv počátečního přiblížení spoje

Zde jsou ukázány pracovní diagramy 1_03Z (typ přípoje dvou plechů 1 mm šroubem 4,8x16). Výsledky ostatních typů přípojí jsou uvedeny v tabulkové formě v kapitole 5. V jednotlivých detailech je potom objasněn posun křivky (pokud to je v konkrétním případě opodstatněné).





Výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce:

plech 1,00 mm; šroub 4,8x16	
vzorek	$R_{obs,i}$ [kN]
1	3,724
2	3,508
3	3,668
4	3,628
5	3,680

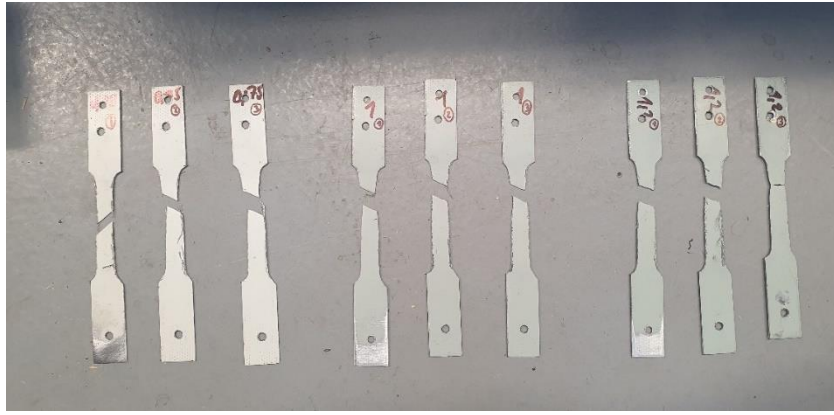
3. Tahové zkoušky

3.1 Provedení zkoušky v laboratoři

Pro úplné vyhodnocení experimentu je nutné stanovit mez pevnosti f_u jednotlivých plechů, což se určí pomocí tahových zkoušek oceli. Bylo připraveno celkem 9 vzorků, od každé zkoušené tloušťky plechu (0,75; 1,00 a 1,25 mm) tři kusy. Nejprve se pomocí smirkového papíru odstranila povrchová vrstva zinkové úpravy a následně se opakovaným měřením určila průměrná tloušťka plechu pomocí mikrometru a dále průměrná šířka zúžené části vzorku pomocí setinného digitálního posuvného měřidla. Výsledná průměrná hodnota průřezové plochy se poté uvažovala pro výpočet napětí v programu. Po upnutí vzorku do čelistí přístroje se nastavila rychlost zatěžování 0,25 mm/min, která se zrychlila po dosažení meze kluzu f_y na hodnotu 0,9 mm/min. Ke vzorku byl upnut extenzometr, který měřil protažení samotného zkušebního tělesa v jeho zúžené části. Zkouška jednoho vzorku trvala přibližně 12-18 minut. Ze sestrojeného pracovního diagramu byla určena mez pevnosti f_u [MPa] a následně byly hodnoty pro jednotlivé tloušťky zprůměrovány. Průměrná hodnota meze pevnosti jednotlivých tlouštěk plechu se použije do finálního vyhodnocení hodnoty únosnosti v otláčení a výpočtu poddajnosti.



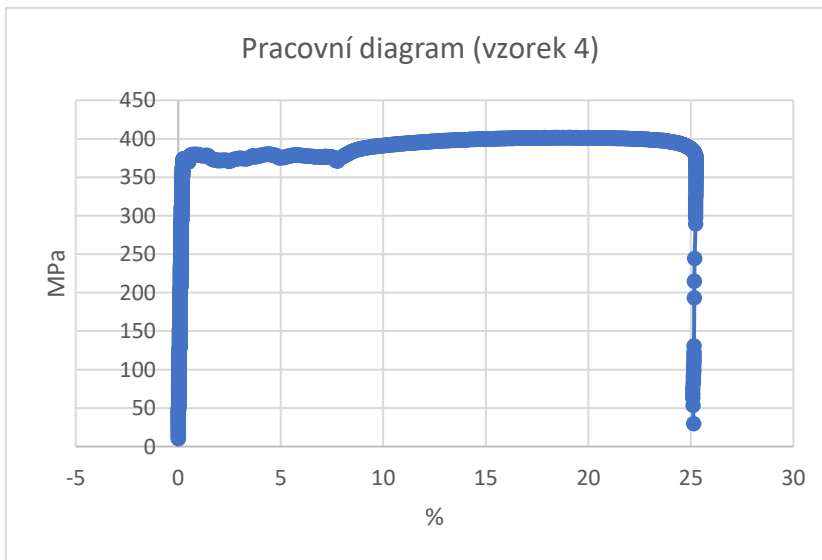
Obr.5: Tahová zkouška v laboratoři



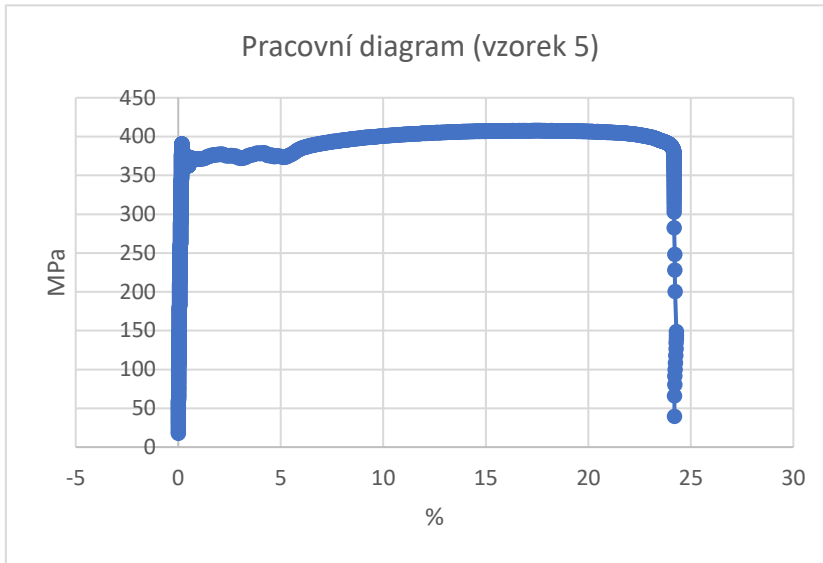
Obr.6: Testované vzorky

3.2 Vyhodnocení tahové zkoušky plechu 1,00 mm

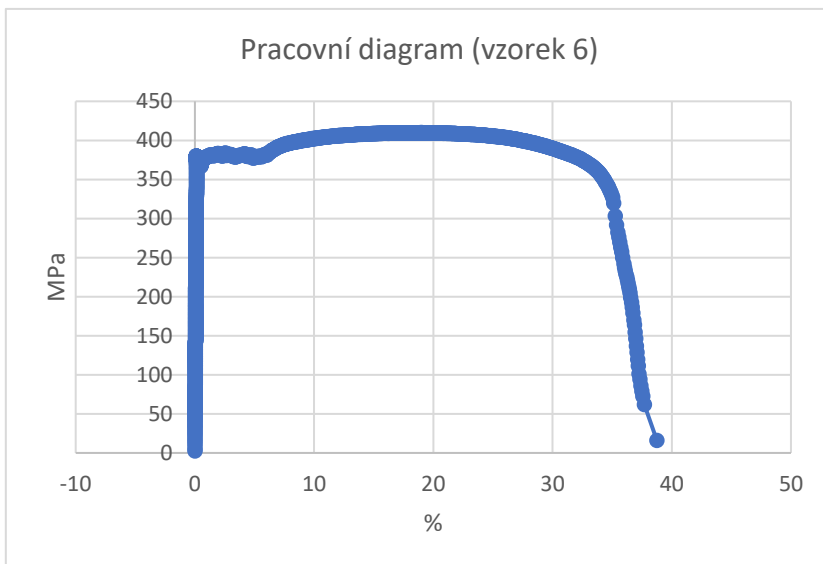
Zde jsou sestavené pracovní diagramy pro plech 1 mm (vzorky 4, 5 a 6) a určení meze pevnosti f_u . Hodnoty pro ostatní vzorky jsou v tabulce v části 3.3.



$$f_{u,4} = 401,492 \text{ MPa}$$



$$f_{u,5} = 407,962 \text{ MPa}$$



$$f_{u,6} = 409,889 \text{ MPa}$$

3.3 Souhrn výsledků tahových zkoušek

PLECH 0,75 mm		
vzorek	$t_{obs,cor}$ (mm)	f_u (MPa)
1	0,69	420,65
2	0,69	415,589
3	0,69	419,623
průměr:		418,621

PLECH 1,00 mm		
vzorek	$t_{obs,cor}$ (mm)	f_u (MPa)
4	0,98	401,492
5	0,98	407,962
6	0,98	409,889
průměr:		406,448

PLECH 1,25 mm		
vzorek	$t_{obs,cor}$ (mm)	f_u (MPa)
7	1,19	402,366
8	1,19	406,892
9	1,19	402,698
průměr:		403,985

$t_{obs,cor}$ je již zprůměrovaná hodnota tloušťky plechu s odstraněnou povrchovou úpravou

4. Výpočet návrhové hodnoty únosnosti v otláčení a poddajnosti

Provedeno podle publikace [14], kapitoly 2.2. Opět bude podrobně rozepsán postup v případě vyhodnocení připojení plechů 1,00 mm šroubem 4,8x16, další výsledky uvádím pouze v tabulkové formě v kapitole 5.

4.1 Výpočet únosnosti v otláčení

Vstupní hodnoty pro výpočet jsou velikosti sil $R_{obs,i}$, které odpovídají hodnotám sil upraveného pracovního diagramu v případě posunu 3 mm z kap. 2.2:

plech 1,00 mm; šroub 4,8x16		
vzorek		$R_{obs,i}$ [kN]
	1	3,724
	2	3,508
	3	3,668
	4	3,628
	5	3,680

Nejprve se zohlední naměřená tloušťka plechu a mez pevnosti v poměru s nominálními hodnotami podle součinitele μ_R :

$$\mu_R = \left(\frac{f_{u,obs}}{f_u} \right)^\alpha * \left(\frac{t_{obs,cor}}{t_{cor}} \right)$$

$f_{u,obs}$ naměřená průměrná hodnota meze pevnosti oceli [MPa]

f_u nominální hodnota meze pevnosti oceli [MPa]

$t_{obs,cor}$ naměřená hodnota tloušťky plechu [mm]

t_{cor} nominální hodnota tloušťky plechu [mm]

$\alpha = 1$, pokud $f_{u,obs} > f_u$, jinak uvažovat 0

$$t_{cor} = t_{nom} - t_{zinc} = 1,00 - 0,04 = 0,96 \text{ mm}$$

$$f_u = 390 \text{ MPa}$$

$$\mu_R = \left(\frac{406,448}{390} \right)^1 * \left(\frac{0,98}{0,96} \right) = 1,064$$

Adjustované hodnoty $R_{adj,i}$ se určí následovně:

$$R_{adj,i} = R_{obs,i} / \mu_R$$

plech 1,00 mm; šroub 4,8x16	
vzorek	$R_{adj,i}$ [kN]
1	3,500
2	3,297
3	3,448
4	3,410
5	3,459

Další postup je určit průměrnou hodnotu R_m jako aritmetický průměr hodnot $R_{adj,i}$:

$$R_m = \frac{\sum R_{adj,i}}{n} = 3,423 \text{ kN}$$

Charakteristická hodnota únosnosti, koeficient k a směrodatná odchylka s dle normy [7], přílohy A6

$$R_k = R_m - k * s$$

k koeficient zohledňující počet vzorků, pro 5 vzorků se jedná o hodnotu 2,33
 s směrodatná odchylka

$$R_k = 3,423 - 2,33 * 0,077218$$
$$R_k = 3,243 \text{ kN}$$

Návrhová hodnota únosnosti se stanoví pomocí vydělení součinitelem spolehlivosti $\gamma_{M2} = 1,25$

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_{M2}} = \frac{3,243}{1,25} = 2,594 \text{ kN}$$

4.2 Výpočet poddajnosti

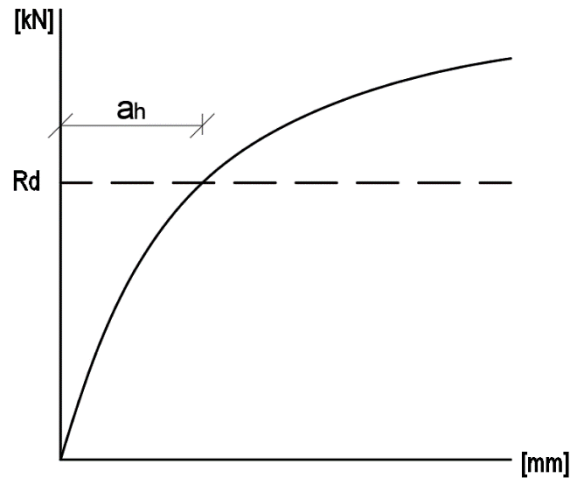
Poddajnost se stanoví podle následujícího vzorce z [14], kapitoly 2.9.

$$c_h = \frac{1}{R_d/\gamma_1} * \frac{\sum a_{h,i}}{n} \text{ [mm/kN]}$$

a_h vodorovná vzdálenost (upraveného) počátku pracovního diagramu se silou R_d

$\gamma_1 = 1$

n počet vzorků



Obr.7: Hodnota a_h

plech 1,00 mm; šroub 4,8x16	
vzorek	$a_{h,i}$ [mm]
1	0,445
2	0,463
3	0,484
4	0,507
5	0,537

$$c_h = \frac{1}{2,594/1,0} * \frac{2,436}{5} = 0,188 \text{ mm/kN}$$

Tuhost se případně určí jako převrácená hodnota poddajnosti:

$$k = \frac{1}{c_h} = \frac{1}{0,188} = 5,319 \text{ kN/mm}$$

5. Souhrn všech výsledků

03Z.....šroub 4,8x16

SMD.....šroub 5,5x40

075_03Z						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	2,018	1,935	1,445	0,338	0,128	7,81
2	1,992	1,910		0,104		
3	1,96	1,879		0,140		
4	2,064	1,979		0,328		
5	1,928	1,848		0,112		
6	1,968	1,887		0,088		

075_SMD						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	5,848	5,606	3,825	0,852	0,198	5,06
2	5,418	5,194		0,728		
3	5,484	5,257		0,624		
4	5,316	5,096		0,635		
5	5,356	5,134		0,940		

1_03Z						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	3,724	3,500	2,594	0,445	0,188	5,33
2	3,508	3,297		0,463		
3	3,668	3,448		0,484		
4	3,628	3,410		0,507		
5	3,68	3,459		0,537		

1_SMD						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	7,92	7,444	5,590	0,955	0,202	4,96
2	7,78	7,313		1,178		
3	7,78	7,313		1,168		
4	7,536	7,083		1,459		
5	7,764	7,298		0,874		

125_03Z						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	4,704	4,617		0,708		
2	4,784	4,696		0,987		
3	4,608	4,523	3,555	0,952	0,259	3,86
4	4,748	4,661		1,044		
5	4,852	4,763		0,920		

125_SMD						
vzorek	R _{obs,i} [kN]	R _{adj,i} [kN]	R _d [kN]	a _{h,i} [mm]	c _h [mm/kN]	k [kN/mm]
1	8,632	8,473		0,564		
2	8,404	8,249		0,636		
3	6,764	6,640	4,939	0,704	0,142	7,06
4	8,152	8,002		0,736		
5	8,664	8,505		0,856		

6. Porovnání výsledků s normovým výpočtem

Výpočet únosnosti v otláčení podle normy [7]

- Šroub 4,8x16; plech 0,75

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = \min\left(3,2\sqrt{t/d}; 2,1\right) = \min\left(3,2\sqrt{0,71/4,8}; 2,1\right) = 1,23$$

$$F_{b,Rd} = 1,23 * 390 * 4,8 * 0,71 / 1,25 = 1,31 \text{ kN}$$

- Šroub 4,8x16; plech 1,00

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = \min\left(3,2\sqrt{t/d}; 2,1\right) = \min\left(3,2\sqrt{0,96/4,8}; 2,1\right) = 1,43$$

$$F_{b,Rd} = 1,43 * 390 * 4,8 * 0,96 / 1,25 = 2,06 \text{ kN}$$

- Šroub 4,8x16; plech 1,25

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = \min\left(3,2\sqrt{t/d}; 2,1\right) = \min\left(3,2\sqrt{1,21/4,8}; 2,1\right) = 1,61$$

$$F_{b,Rd} = 1,61 * 390 * 4,8 * 1,21 / 1,25 = 2,91 \text{ kN}$$

- Šroub 5,5x40; plech 0,75

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = \min\left(3,2\sqrt{t/d}; 2,1\right) = \min\left(3,2\sqrt{0,71/5,5}; 2,1\right) = 1,15$$

$$F_{b,Rd} = 1,15 * 390 * 5,5 * 0,71 / 1,25 = 1,40 \text{ kN}$$

- Šroub 5,5x40; plech 1,00

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = \min\left(3,2\sqrt{t/d}; 2,1\right) = \min\left(3,2\sqrt{0,96/5,5}; 2,1\right) = 1,3$$

$$F_{b,Rd} = 1,3 * 390 * 5,5 * 0,96 / 1,25 = 2,20 \text{ kN}$$

- Šroub 5,5x40; plech 1,25

$$F_{b,Rd} = \alpha f_u dt / \gamma_{M2}$$

$$\alpha = 2,1$$

$$F_{b,Rd} = 2,1 * 390 * 5,5 * 1,21 / 1,25 = 4,36 \text{ kN}$$

Porovnání únosnosti v otláčení

03Z.....ŠROUB 4,8x16		
plech [mm]	$F_{b,Rd}$ [kN]	R_d [kN]
0,75	1,31	1,45
1,00	2,06	2,59
1,25	2,91	3,56

SMD.....ŠROUB 5,5x40		
plech [mm]	$F_{b,Rd}$ [kN]	R_d [kN]
0,75	1,40	3,83
1,00	2,20	5,59
1,25	4,36	4,94

$F_{b,Rd}$ únosnost v otláčení dle normy [7]
 R_d únosnost v otláčení dle zkoušek

Porovnání poddajnosti

03Z.....ŠROUB 4,8x16		
plech [mm]	s [mm/kN]	c_h [mm/kN]
0,75	0,250	0,128
1,00	0,250	0,188
1,25	0,250	0,259

SMD.....ŠROUB 5,5x40		
plech [mm]	s [mm/kN]	c_h [mm/kN]
0,75	0,150	0,198
1,00	0,150	0,202
1,25	0,150	0,142

s poddajnost dle doporučených hodnot z publikace [12]
 c_h poddajnost dle zkoušek

7. Závěr

Z provedených zkoušek jsem určil návrhovou hodnotu únosnosti v otláčení a poddajnost přípoje. Poté jsem výsledky porovnal s hodnotami únosnosti určenými podle normy ČSN EN 1993-1-3, poddajnost podle publikace [12]. Ve statickém výpočtu jsem uvedené hodnoty použil ve výpočtu plášťového chování střešního trapézového plechu a stěnových tenkostěnných kazet.