

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

**OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY
PROHLÁŠENÍ, PODĚKOVÁNÍ, ANOTACE, ZDROJE**

Vypracoval:
Vedoucí práce:

Lukáš Hozman
doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hozman</u>	Jméno: <u>Lukáš</u>	Osobní číslo: <u>484479</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 ocelové konstrukce, jejích hlavních prvků (vnitřní vazba v místě haly, štítová stěna, ztužení) a vybraných detailů. Výkresová dokumentace konstrukce (půdorys, vybrané řezy, pohledy, navržené detaily). Technická zpráva.	
Seznam doporučené literatury: Návrh konstrukce bude proveden dle evropských norem. Tj. zejména využití částí ČSN EN 1991 a ČSN EN 1993.	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Michal Jandera</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>17.2.2022</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>15.5.2022</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a norem uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce, pouze za odborného vedení vedoucího práce doc. Ing. Michala Jandery, Ph.D.

V Praze dne 2. 5. 2022

Lukáš Hozman

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat především svému vedoucímu bakalářské práce panu doc. Ing. Michalovi Janderovi, Ph.D. za vstřícný přístup, cenné rady při tvorbě této práce, poskytnuté materiály, ochotu a trpělivost.

ANOTACE

Cílem bakalářské práce je návrh nosné ocelové konstrukce skladištní haly a vytvoření výkresové dokumentace. Posouzení ocelové konstrukce je provedeno v souladu s platnými normami ČSN EN. Jedná se o halu obdélníkového půdorysu o rozměrech 12 m x 42 m. Obsahem je návrh a posouzení hlavní rámové vazby, štítové vazby, prvků ztužení a vybraných detailů. Navržená konstrukce je znázorněna v příložené výkresové dokumentaci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Skladištní hala, ocelová konstrukce, rámová konstrukce, štítová vazba

ABSTRACT

The aim of the bachelor's thesis is design of a warehouse hall load-bearing steel structure and its drawing documentation. The design of the steel structure is performed in accordance with the valid ČSN EN standards. The hall has a rectangular plan of dimensions 12 m x 42 m. The content of the thesis includes the design and verification of the main frame, gable wall, bracing elements and selected details. The load-bearing construction is shown in the enclosed drawing documentation.

KEYWORDS

Warehouse hall, steel construction, portal frame, gable wall

ZDROJE

ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
ČSN EN 1991 Zatížení stavebních konstrukcí
ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí
ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

Sokol, Z., Wald, F.: Ocelové konstrukce – Tabulky. ČVUT Praha, 2019

<http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/teaching.html>

<https://www.kovprof.cz/sortiment/unosnostvaznice/Z270-S-EN.pdf>

<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stenove-izolacni-panely/stenovy-sendvicovy-panel-ks1150-nf>

<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stresni-izolacni-panely/stresni-sendvicovy-panel-ks1000-rw>

<https://www.kingspan.com/cz/cs-cz/produkty/izolacni-sendvicove-panely/stresni-izolacni-panely/stresni-sendvicovy-panel-ks1000-x-dek>

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY

TECHNICKÁ ZPRÁVA

Vypracoval:
Vedoucí práce:

Lukáš Hozman
doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

1. Identifikační údaje

Název projektu:	Ocelová konstrukce skladištní haly
Město:	Plzeň
Projektant:	Lukáš Hozman

2. Popis konstrukce

Jedná se o skladištní halu o obdélníkových půdorysných rozměrech 12 x 42 metrů. Objekt je monoblokem, jehož přední část tvoří administrativa. Půdorys administrativní části je čtverec o hraně 12 m. Zbytek půdorysu zabírá skladovací hala. Vstupní část je dominantní svými velkými prosklenými otvory a vklíněným kvádrem. Administrativní část má dvě nadzemní podlaží, z nichž v prvním se nachází vstupní hala a prostory určené jen zaměstnancům. V druhém podlaží jsou kanceláře.

3. Konstrukční řešení

Hala je založena na základových patkách, patky jsou kloubové a jsou kotvené do betonu pomocí lepených rozpěrných kotev od firmy Hilti. Objekt je navržen jako rámová konstrukce, přičemž v administrativní části budovy tvoří nosný systém mezipatra skelet v kombinaci s průvlaky a stropnicemi. Hlavní rámovou vazbu tvoří ocelové válcované sloupy IPE 400 a příčle IPE 330 na rozpon 12 m a jednotlivé vazby jsou od sebe vzdáleny 6 m. Štítová vazba je navržena z krajních sloupů profilu HEA 200, prostředního sloupu IPE 300 a příčle HEA 120. Obvodový plášť tvoří stěnové panely Kingspan KS 1000 NF 120. Střeška je sedlová o sklonu 7 % s atikou po obvodu. Nosnou konstrukcí jsou vaznice Z270/2,0 a Z270/2,5 v krajních polích, plášť střešky tvoří střešní panely KS 1000 RW 100.

4. Zatížení konstrukce

4.1 Zatížení sněhem

Zatížení sněhem je uvažováno podle lokality, ve které se stavba nachází a platných norem používaných v České republice, pro sněhovou oblast I s hodnotou $S_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$.

4.2 Zatížení větrem

Zatížení větrem je uvažováno pro větrnou oblast II hodnotou $v_b = 25 \text{ m/s}$ a kategorií terénu III.

4.3 Stálé zatížení

Stálé zatížení je stanoveno pomocí technických tabulek a z údajů o hmotnosti nosných prvků.

5. Konstrukční materiály

Ocel:	S355JR – sloupy, příčle, ztužidla S350GD - vaznice
Šrouby:	pevnostní třída 8.8
Beton:	C20/25
Kotvy:	Hilti HIT-HY 200-A + HIT-Z M20

6. Výroba ocelové konstrukce

Ocelová konstrukce je z hlediska výroby zařazena do třídy provedení EXC 2.

7. Montáž ocelové konstrukce

Montáž bude provedena pomocí mobilního jeřábu. Nejprve bude smontována štítová vazba a vedlejší hlavní rámová vazba, tyto vazby budou následně spojeny ztužujícími prvky. Poté se bude dále pokračovat přidáváním dalších vazeb. Dále se namontují střešní vaznice, na které se bude pokládat střešní plášť.

8. Ochrana proti korozi

- Veškeré ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru budovy, kde se nenachází agresivní ani vlhké prostředí.
- Protikorozní ochrana je navržena v souladu s ČSN EN ISO 12944 (1998)
- Stupeň korozní agresivity: C2 – nízká (prostory s občasnou kondenzací)
- Předpokládaná životnost: Vysoká (H) – nad 15 let
- Příprava povrchu: Sa 21/2 – 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 1-2x základním nátěrem a 1-2x vrchním nátěrem.

9. Použité normy

- ČSN EN 1990 Zásady navrhování konstrukcí
- ČSN EN 1991 Zatížení stavebních konstrukcí
- ČSN EN 1992 Navrhování betonových konstrukcí
- ČSN EN 1993 Navrhování ocelových konstrukcí

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

**OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY
STATICKÝ VÝPOČET**

Vypracoval:
Vedoucí práce:

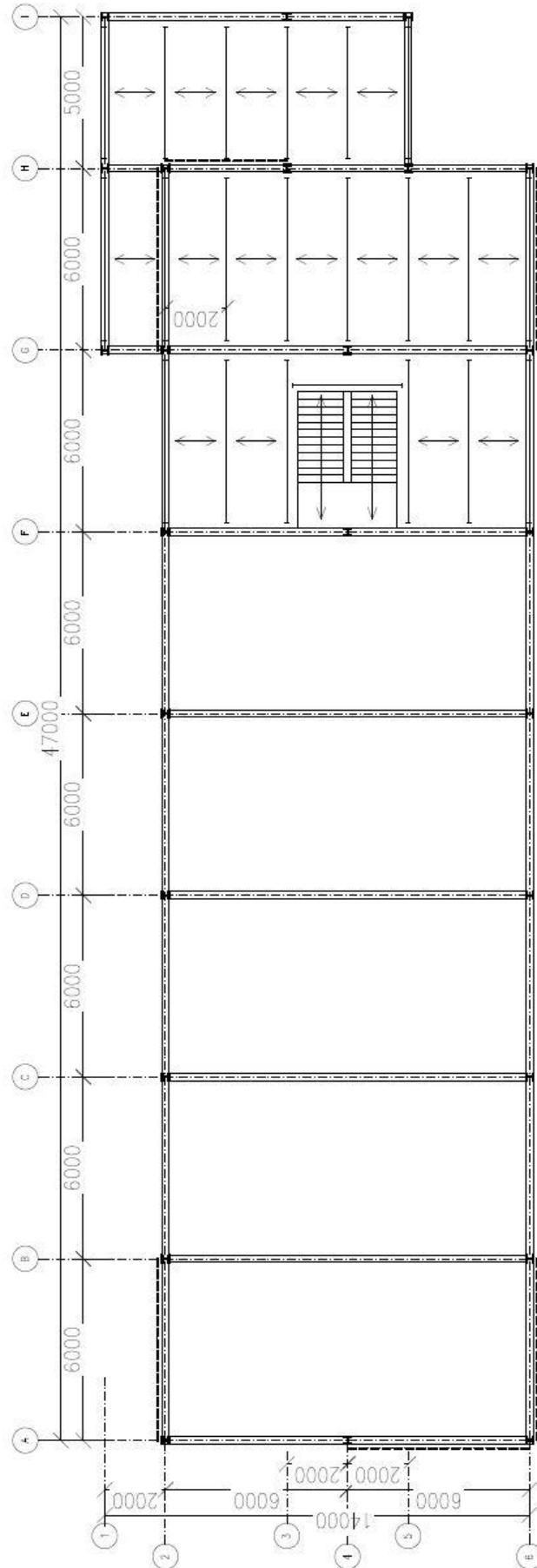
Lukáš Hozman
doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.

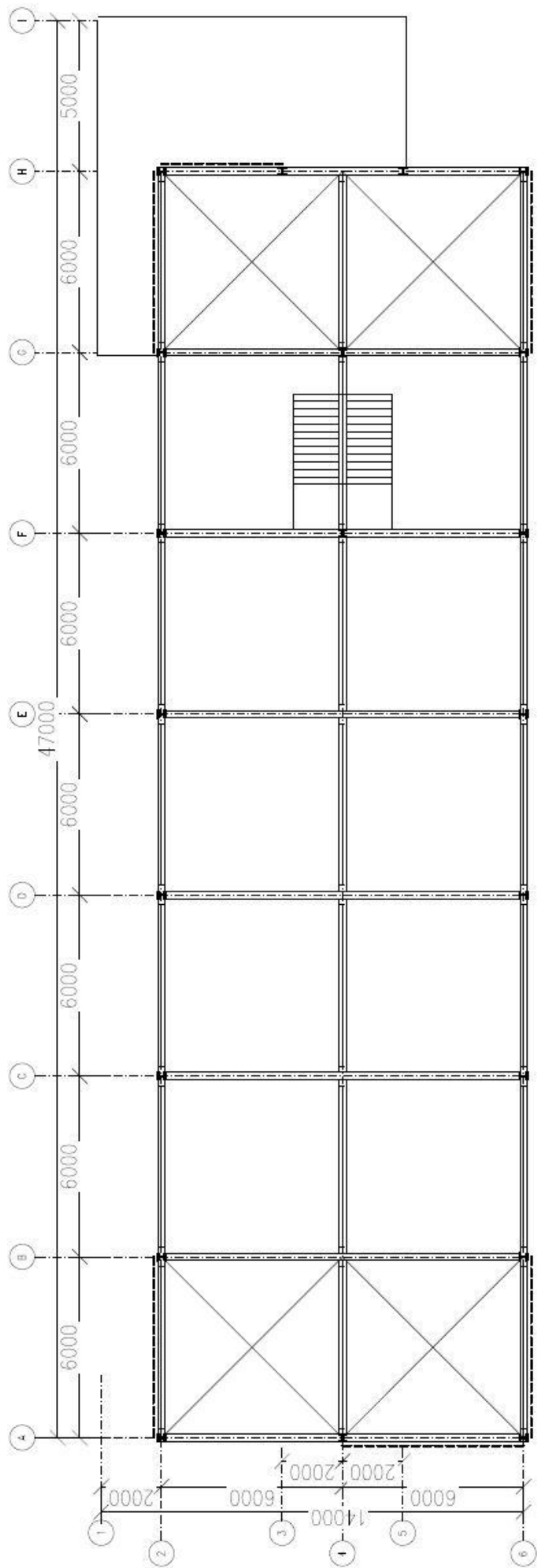
OBSAH

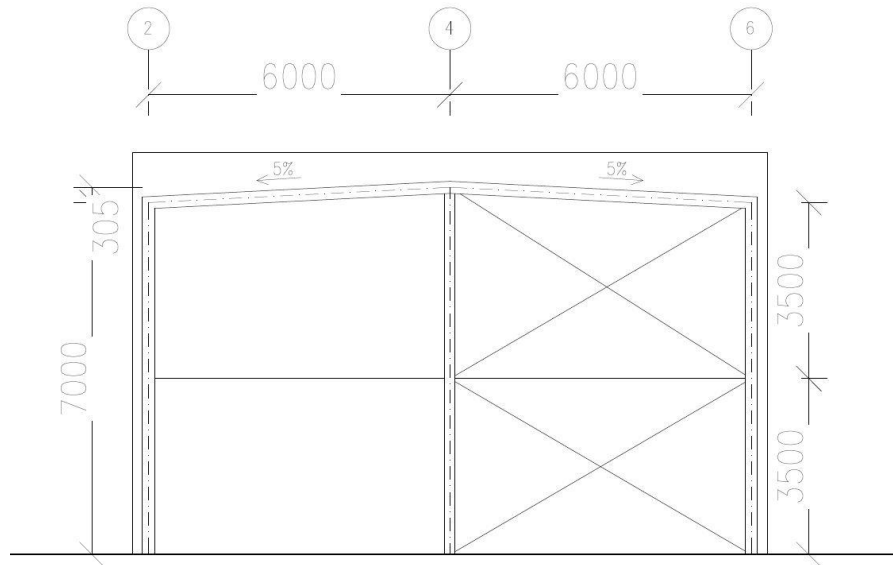
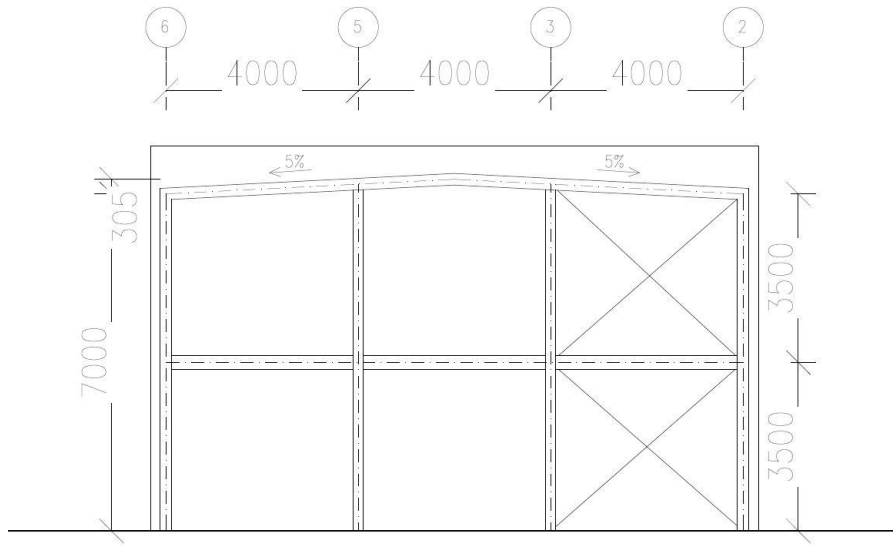
DISPOZICE.....	3
1. ZATÍŽENÍ.....	7
1.1 Stálé.....	7
1.2 Proměnné.....	7
2. STŘEŠNÍ PLÁŠŤ.....	10
2.1 Varianta – vaznice a sendvičové panely.....	10
2.1.1 Návrh střešního panelu.....	10
2.1.2 Návrh vaznic.....	12
2.2 Varianta – bezvaznicový systém.....	14
2.2.1 Návrh střešního panelu.....	14
3. OBVODOVÝ PLÁŠŤ.....	15
4. HLAVNÍ RÁMOVÁ VAZBA.....	16
4.1 Návrh příčné vazby.....	16
4.1.1 Posouzení sloupu.....	31
4.1.2 Posouzení příčle.....	36
5. ŠTÍTOVÁ VAZBA.....	40
5.1 Návrh prvků štítové vazby.....	40
5.1.1 Posouzení krajního sloupu štítové vazby.....	48
5.1.2 Posouzení středového sloupu štítové vazby.....	54
5.1.3 Posouzení příčle štítové vazby.....	60
6. NÁVRH ZTUŽIDEL.....	64
6.1 Příčné ztužení.....	64
6.2 Podélné ztužení.....	65
6.3 Příčné ztužidlo ve střešní rovině.....	67
6.3.1 Diagonály.....	67
6.3.2 Svislice.....	68
7. RÁMOVÝ ROH.....	70
7.1 Návrh svarů.....	70
7.2 Únosnost dílčích komponent.....	70
7.3 Výpočet únosností řad šroubů v tahu.....	71
7.3.1 Výpočet 1. řady šroubů.....	72
7.3.2 Výpočet 2. řady šroubů.....	73
7.3.3 Výpočet 3. řady šroubů.....	74
7.3.4 Výpočet 4. řady šroubů.....	75
7.3.5 Únosnost základních komponent.....	76
8. PATKA SLOUPU.....	78
8.1 Patka hlavní rámové vazby.....	78
8.1.1 Návrh betonového základu.....	78

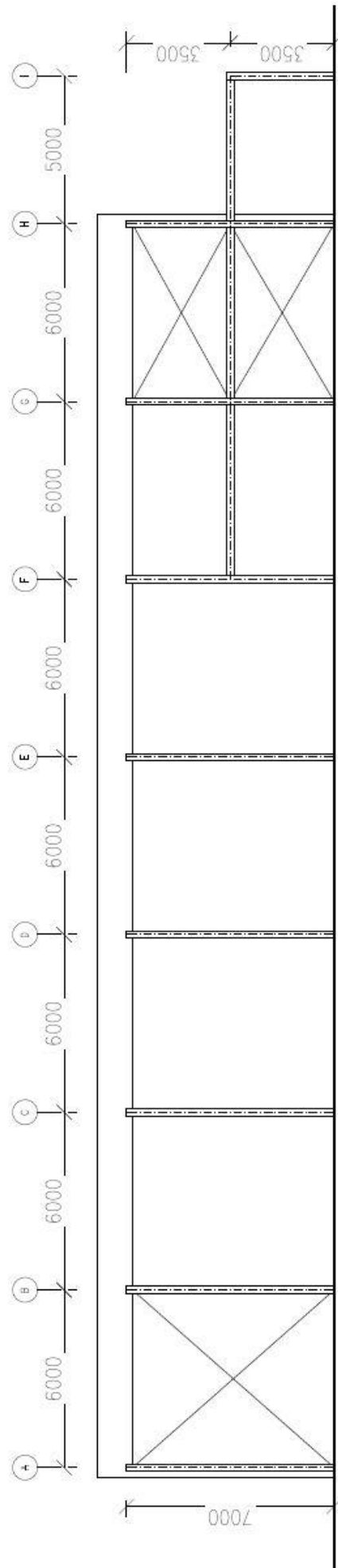
8.2 Patka prostředního sloupu štítové vazby a ztužidla.....	80
8.2.1 Návrh betonového základu	80
8.2.2 Návrh smykové zarážky.....	82
8.3 Návrh přípoje diagonály.....	84
8.3.1 Návrh šroubů.....	84
8.3.2 Návrh a posouzení svarů.....	86

DISPOZICE









1. ZATÍŽENÍ

1.1 Stálé

Střešní plášť

Zatížení střešního pláště dle navrženého řešení – viz. dále.

Stěna

Zatížení stěnového pláště dle navrženého řešení – viz. dále.

1.2 Proměnné

Zatížení sněhem

Lokalita:

Plzeň

Rozměry budovy:

$d = 42 \text{ m}$, $b = 12 \text{ m}$, $h = 8 \text{ m}$

Sněhová oblast:

I \longrightarrow $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$

Plochá střecha

Součinitel expozice $C_e = 1,0$

Tepelný součinitel $C_t = 1,0$

Tvarový součinitel zatížení sněhem ($\alpha = 7\% \approx 4^\circ$)

$\mu_i = 0,8$

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

Oblast návějí

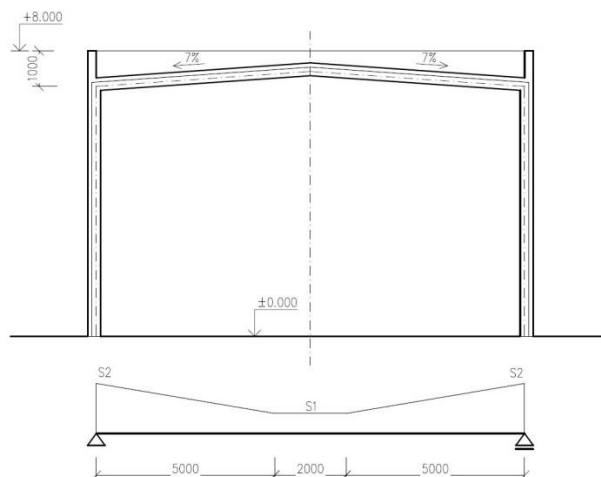
$\mu_1 = 0,8$

$$\mu_2 = \frac{\gamma * h}{s_k} = \frac{2 * 1}{0,7} = 2,86 \rightarrow \mu_2 \in (0,8; 2,0) \rightarrow \mu_2 = 2,0$$

$$l_s = 2 * h = 2 * 1,0 = 2 \text{ m} \rightarrow l_s \in (5; 15) \rightarrow l_s = 5 \text{ m}$$

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

$$s_2 = \mu_2 * C_e * C_t * s_k = 2,0 * 1,0 * 1,0 * 0,7 = 1,4 \text{ kN/m}^2$$



Zatížení větrem

Lokalita: Plzeň
Rozměry budovy: $d = 42 \text{ m}$, $b = 12 \text{ m}$, $h = 8 \text{ m}$
Větrná oblast: II \longrightarrow $v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$
Kategorie terénu: III

Základní rychlost větru je 25 m/s

Základní dynamický tlak větru

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

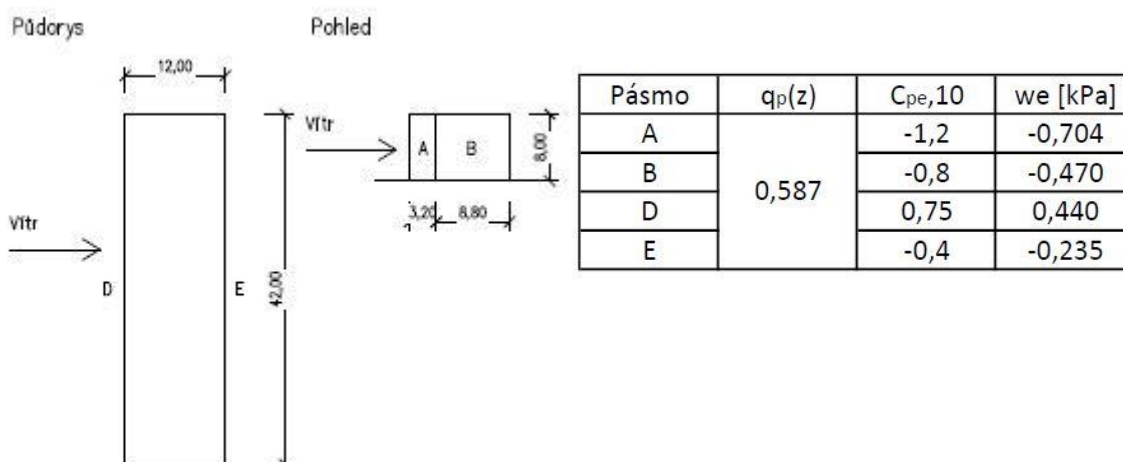
Maximální dynamický tlak

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

$C_e(z) \rightarrow$
křivka III
 $h = 8 \text{ m}$
 $\rightarrow C_e(z) = 1,5$
(graf)

Příčný vítr - stěny

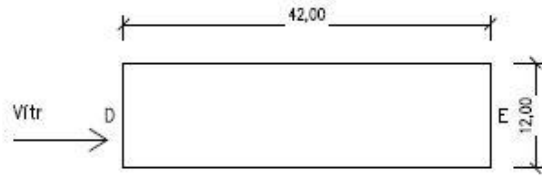
$b = 42 \text{ m}$ $h < b \rightarrow$ celá výška haly je v jednom tlakovém pásmu
 $d = 12 \text{ m}$ $e = \min(b; 2h) = 16 \text{ m}$
 $h = 8 \text{ m}$ $h/d = 8/12 = 0,67$



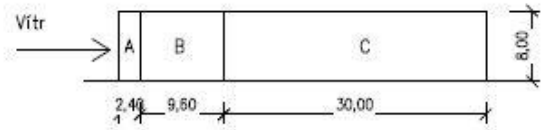
Podélný vítr – stěny

$b = 12 \text{ m}$ $h < b \rightarrow$ celá výška haly je v jednom tlakovém pásmu
 $d = 42 \text{ m}$ $e = \min(b; 2h) = 12 \text{ m}$
 $h = 8 \text{ m}$ $h/d = 8/42 = 0,19$

Pádorys



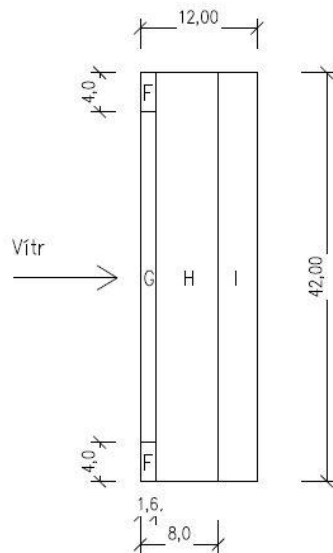
Pohled



Pásmo	$q_p(z)$	$C_{pe,10}$	w_e [kPa]
A	0,587	-1,2	-0,704
B		-0,8	-0,470
C		-0,5	-0,294
D		0,7	0,411
E		-0,3	-0,176

Příčný vítr – střecha

$b = 42 \text{ m}$
 $d = 12 \text{ m}$
 $h = 8 \text{ m}$
 $e = 16 \text{ m}$



Pásmo	$q_p(z)$	$C_{pe,10}$	w_e [kPa]
F	0,587	-1,2	-0,704
G		-0,8	-0,470
H		-0,7	-0,411
I		$\pm 0,2$	$\pm 0,117$

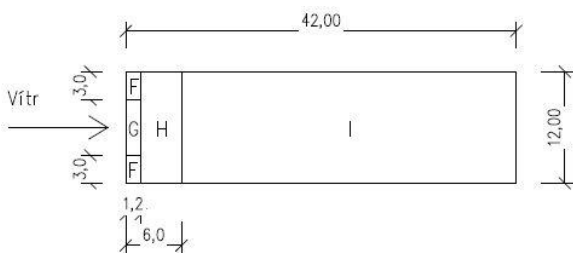
Podélný vítr – střecha

b = 12 m

d = 42 m

h = 8 m

e = 12 m



Pásmo	$q_p(z)$	$C_{pe,10}$	w_e [kPa]
F	0,587	-1,2	-0,704
G		-0,8	-0,470
H		-0,7	-0,411
I		$\pm 0,2$	$\pm 0,117$

2. STŘEŠNÍ PLÁŠŤ

Budou navrženy a posouzeny dvě varianty řešení střešního pláště – vaznicový a bezvaznicový systém se sendvičovými panely.

Příloha č. 1

2.1 Varianta – vaznice a sendvičové panely

2.1.1 Návrh střešního panelu

Statické schéma

Spojité nosník o třech polích a rozponu 2 m.

STŘEŠNÍ SENDVIČOVÝ PANEL KS 1000 RW 100

d = 100 mm

tl. plechů – ext. = 0,5 mm

hmotnost 11,73 kg/m²

int. = 0,4 mm

$$g_k = 0,117 \text{ kN/m}^2 * 1,35 \rightarrow g_d = 0,158 \text{ kN/m}^2$$

ZATÍŽENÍ

KZS1: Stálé + sníh + vítr (tlak shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \Psi * w_{e,I} * 1,5$$

$s = 1,23 \text{ kN/m}^2$ (průměrná hodnota v oblasti s návějí ve vzdálenosti 1 m od atiky)

$$g_k = 0,117 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,117 \text{ kPa}; \Psi = 0,6 \text{ (vítr)}$$

$$q_{Ed} = 0,117 * 1,35 + 1,23 * 1,5 + 0,6 * 0,117 * 1,5 = 2,108 \text{ kN/m}^2$$

KZS2: Stálé + vítr (sání shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,0 + w_{e,max} * 1,5$$

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

$$q_{Ed} = 0,117 * 1,0 + (-0,704) * 1,5 = -0,939 \text{ kN/m}^2$$

ÚNOSNOST

Zatížení

(na rozpon 2 m → hodnota pro zatížení 2,00 a 2,25 kN/m² → dle tabulek výrobce)

$$q_{Rk} = 2,00 + (2,12 - 2,00) * \frac{2,25 - 2,00}{2,28 - 2,12} = 2,19 \text{ kN/m}^2$$

Sání

$$q_{Rk} = 0,94 \approx 1,00 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{dle tabulek výrobce} \rightarrow l_{max} = 3,62 \text{ m}$$

POSOUZENÍ

MSÚ

KZS 1 – rozhodující

$$q_{Ed} = 2,108 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 2,19 \text{ kN/m}^2$$

KZS 2

$$l = 2 \text{ m} < l_{max} = 4,36 \text{ m}$$

MSP

pouze sníh

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

$$q_{Ek} = 1,23 \approx 1,25 \text{ kN/m}^2 \rightarrow \text{(dle tabulek výrobce)}$$

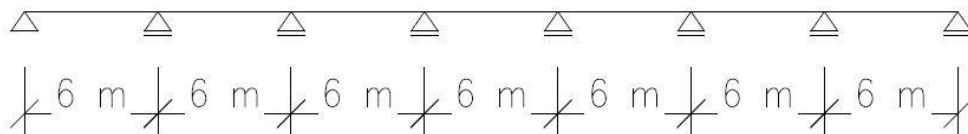
$$l = 2 \text{ m} < l_{max} = 3,06 \text{ m}$$

→ Střešní panel KS 1000 RW 100 → VYHOVUJE

2.1.2 Návrh vaznice

Statické schéma

Spojitý nosník o pěti a více polích a rozponu 6 m.



(spojitost zajištěna překrytím o 600 mm u krajního pole o 900 mm)

Příloha č. 1

VAZNICE Z270 – S

$m = 8,85 \text{ kg/m}$

ocel S350GD

krajní: Z270/2,5

vnitřní: Z270/2,0

ZATÍŽENÍ

KZS1: Stálé (střešní pláště + vl. tíha vaznice) + sníh + vítr (tlak shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \Psi * w_{e,I} * 1,5$$

$$s = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

$$g_k = 0,117 \text{ kN/m}^2$$

$$w_{e,I} = 0,117 \text{ kPa} ; \Psi = 0,6$$

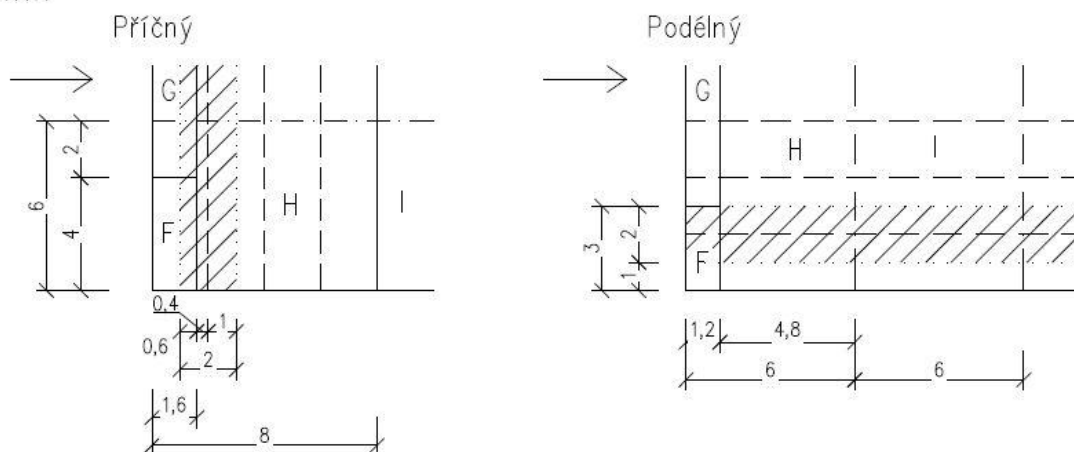
zatěžovací šířka $l = 2 \text{ m}$

$$q_{Ed} = 0,117 * 2 * 1,35 + 1,23 * 2 * 1,5 + 0,6 * 0,117 * 2 * 1,5 = 4,217 \text{ kN/m}$$

KZS2: Stálé + vítr (sání shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,0 + w_{e,max} * 1,5$$

VÍTR



Příčný vítr

- krajní pole

$$w_k = \frac{w_{eF} * 4,0 * 0,6 + w_{eG} * 2,0 * 0,6 + w_{eH} * 6,0 * 1,4}{2,0 * 6,0}$$

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

- vnitřní pole

$$w_k = \frac{w_{eG} * 6,0 * 0,6 + w_{eH} * 6,0 * 1,4}{2,0 * 6,0}$$

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

Podélný vítr

- krajní pole

$$w_k = \frac{w_{eF} * 2,0 * 1,2 + w_{eH} * 2,0 * 4,8}{2,0 * 6,0}$$

$$w_k = \frac{(-0,704 * 2,4) + (-0,411 * 9,6)}{12} = -0,47 \text{ kN/m}^2$$

- vnitřní pole

$$w_k = \frac{w_{eI} * 2,0 * 6,0}{2,0 * 6,0}$$

$$w_k = w_{eI} = -0,117 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje příčný vítr v krajním poli $w_{k,max} = -0,476 \text{ kN/m}^2$

$$q_{Ed} = 0,117 * 2 * 1,00 + (-0,476) * 2 * 1,5 = -1,194 \text{ kN/m}$$

ÚNOSNOST

Zatížení

$$q_{Rd} = 5,830 \text{ kN/m} \quad 1 - \text{únosnost bez vlivu osové síly}$$

$$q_{Rk} = 7,430 \text{ kN/m} \quad 5 - \text{max. zatížení pro deformaci L/200 (MSÚ nezohledněno)}$$

Sání

$$q_{Rd} = -4,360 \text{ kN/m} \quad 3 - \text{únosnost pro sání bez vlivu osové síly}$$

POSOUZENÍ

MSÚ

KZS 1

$$q_{Ed} = 4,217 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 5,830 \text{ kN/m}$$

KZS 2

$$q_{Ed} = 1,194 \text{ kN/m} < q_{Rd} = 4,360 \text{ kN/m}$$

MSP

jen proměnné zatížení

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

$$q_{Ek} = 1,23 * 2 + 0,117 * 2 = 2,69 \text{ kN/m} < q_{Rk} = 7,430 \text{ kN/m}$$

→ Vaznice Z270/2,5 a Z270/2,0 → VYHOVUJE

2.2 Varianta – bezvaznicový systém

Příloha č. 1

2.2.1 Návrh střešního panelu

Statické schéma

Spojité nosník o dvou polích a rozponu 6 m.
podpory → rámové vazby

STŘEŠNÍ PANEL KS 1000 X-DEK XG140

d = 140 mm trapéz 108 mm

D = 248 mm

hmotnost 18,0 kg/m² (tl. plechů 0,9 mm)

$$g_k = 0,180 \text{ kN/m}^2 * 1,35 \rightarrow g_d = 0,243 \text{ kN/m}^2$$

ZATÍŽENÍ

KZS1: Stálé + sníh + vítr (tlak shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,35 + s * 1,5 + \Psi * w_{e,I} * 1,5$$

$$s = 1,23 \text{ kN/m}^2; g_k = 0,180 \text{ kN/m}^2; w_{e,max} = 0,704 \text{ kPa}; \Psi = 0,6$$

$$q_{Ed} = 0,180 * 1,35 + 1,23 * 1,5 + 0,6 * 0,117 * 1,5 = 2,193 \text{ kN/m}^2$$

KZS2: Stálé + vítr (sání shora)

$$g_{Ed} = g_k * 1,0 + w_{e,max} * 1,5$$

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

$$q_{Ed} = 0,180 * 1,0 + (-0,704) * 1,5 = -0,876 \text{ kN/m}^2$$

ÚNOSNOST

Zatížení

$$q_{Rd} = 1,23 \text{ kN/m}^2$$

Sání

$$q_{Rd} = -0,82 \text{ kN/m}^2$$

POSOUZENÍ

MSÚ

KZS 1

$$q_{Ed} = 2,193 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 1,23 \text{ kN/m}^2 \quad \times$$

KZS 2

$$q_{Ed} = 0,876 \text{ kN/m}^2 < q_{Rd} = 0,82 \text{ kN/m}^2 \quad \times$$

→ Střešní panel KS 1000 X-DEK XG140 → NEVYHOVUJE

Volím 1. variantu střešního pláště

→ Střešní panely KS 1000 RW 100 + vaznice Z270-S

3. OBVODOVÝ PLÁŠŤ

Příloha č. 1

výška budovy h = 8 m

STĚNOVÝ PANEL KS 1000 NF 120

d = 120 mm

ext. plech tl. 0,6 mm

int. plech tl. 0,4 mm

hmotnost 13,28 kg/m²

$$g_k = 0,133 \text{ kN/m}^2 * 1,35 \rightarrow g_d = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

ZATÍŽENÍ

tlak na stěnu

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

sání

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

ÚNOSNOST

panely kladeny vodorovně (prostý nosník)

mezi rámové vazby → rozpon pole 6 m

tlak

$$q_{Rk} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 9,12 \text{ m}$$

sání

$$q_{Rk} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 6,01 \text{ m}$$

→ VYHOVUJE

panely kladeny svisle (spojitý nosník o dvou polích)

tlak

$$q_{Rk} = 0,50 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 6,38 \text{ m}$$

sání

$$q_{Rk} = 0,75 \text{ kN/m}^2 \rightarrow l_{max} = 6,01 \text{ m}$$

U varianty kladení panelů svisle by bylo třeba doplnit paždík v polovině výšky budovy a vytvořit tak spojitý nosník o dvou polích a rozponu 4 m.

Volím variantu kladení panelů vodorovně.

4. HLAVNÍ RÁMOVÁ VAZBA

4.1 Návrh příčné vazby

ZATÍŽENÍ

1. Stálé a min. stálé

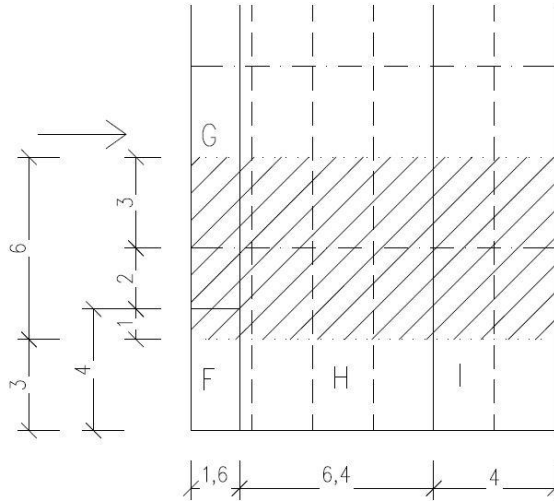
		g_k [kN/m]
střešní plášť	$0,117 * 6,0 = 0,702 \text{ kN/m}$	0,702
vl. tíha vaznice	$m = 8,85 \text{ kg/m}$	0,089
obvodový plášť	$0,133 * 6,0 = 0,798 \text{ kN/m}$	0,798
Σ		2,385

2. Sníh

$$s_1 = 0,56 * 6,0 = 3,36 \text{ kN/m}$$

$$s_2 = 1,40 * 6,0 = 8,40 \text{ kN/m}$$

3. Vítr příčný



$$w_1 = \frac{w_{eF} * 1,0 + w_{eF} * 5,0}{6,0} * 6,0$$

$$w_1 = -0,704 * 1,0 + (-0,470 * 5,0) = -3,054 \text{ kN/m}$$

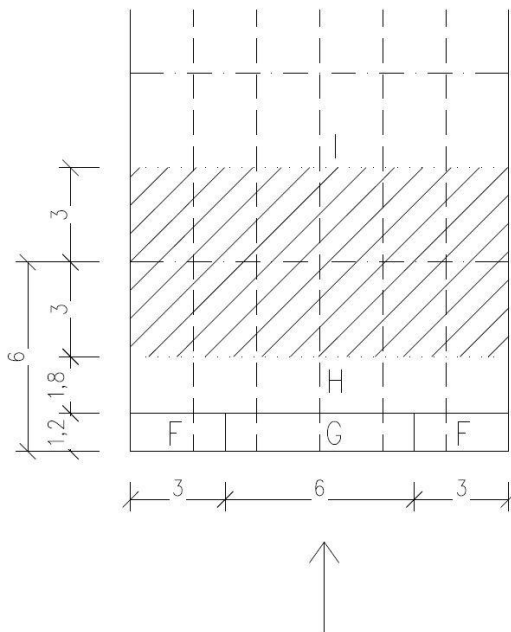
$$w_2 = w_{eH} * 6,0 = -0,411 * 6,0 = -2,466 \text{ kN/m}$$

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

$$w_{s1} = w_{eD} * 6,0 = 0,440 * 6,0 = 2,64 \text{ kN/m}$$

$$w_{s2} = w_{eE} * 6,0 = -0,235 * 6,0 = -1,41 \text{ kN/m}$$

4. Vítr podélný



$$w_4 = \frac{w_{eH} * 3,0 + w_{eI} * 3,0}{6,0} * 6,0$$

$$w_4 = -0,411 * 3,0 + (-0,117) * 3,0 = -1,584 \text{ kN/m}$$

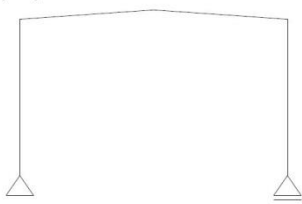
$$w_{s3} = w_{eB} * 6,0 = -0,470 * 6,0 = -2,820 \text{ kN/m}$$

Kombinace zatěžovacích stavů

KZS 1	Stálé + sníh
KZS 2	Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný
KZS 3	Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh
KZS 4	Min. stálé + vítr příčný
KZS 5	Min. stálé + vítr podélný

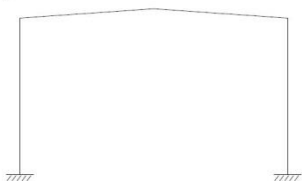
STATICKÉ SCHÉMA – Varianty

1) a 2)



- 1) Rám s kloubovými patkami
- 2) Rám s kloubovými patkami a náběhy
- 3) Rám s vetknutými patkami

3)

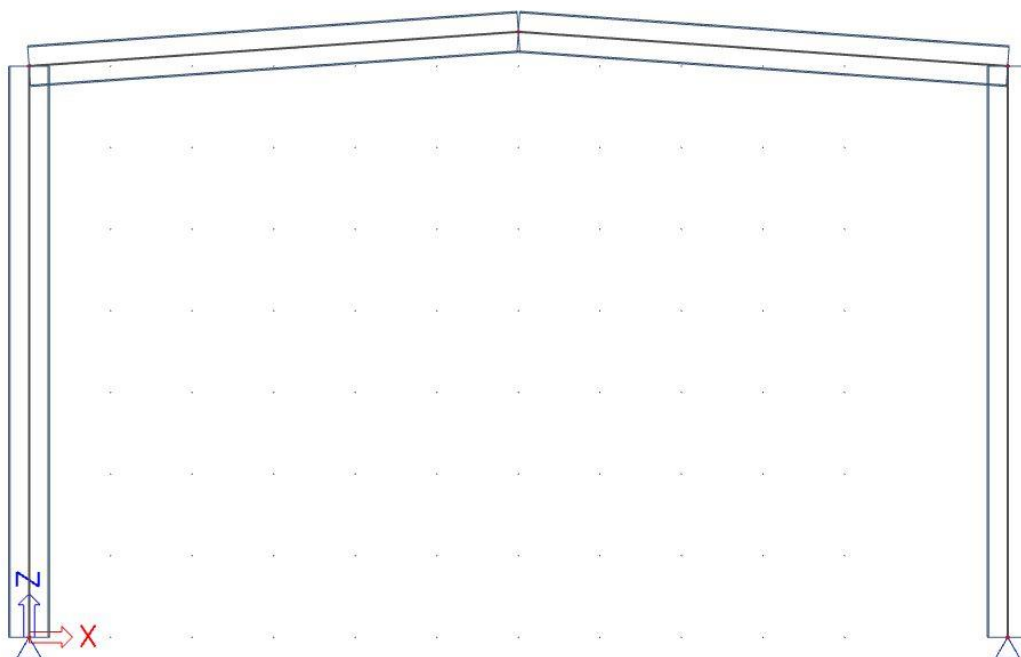


Kombinace vložené do programu Scia Engineer

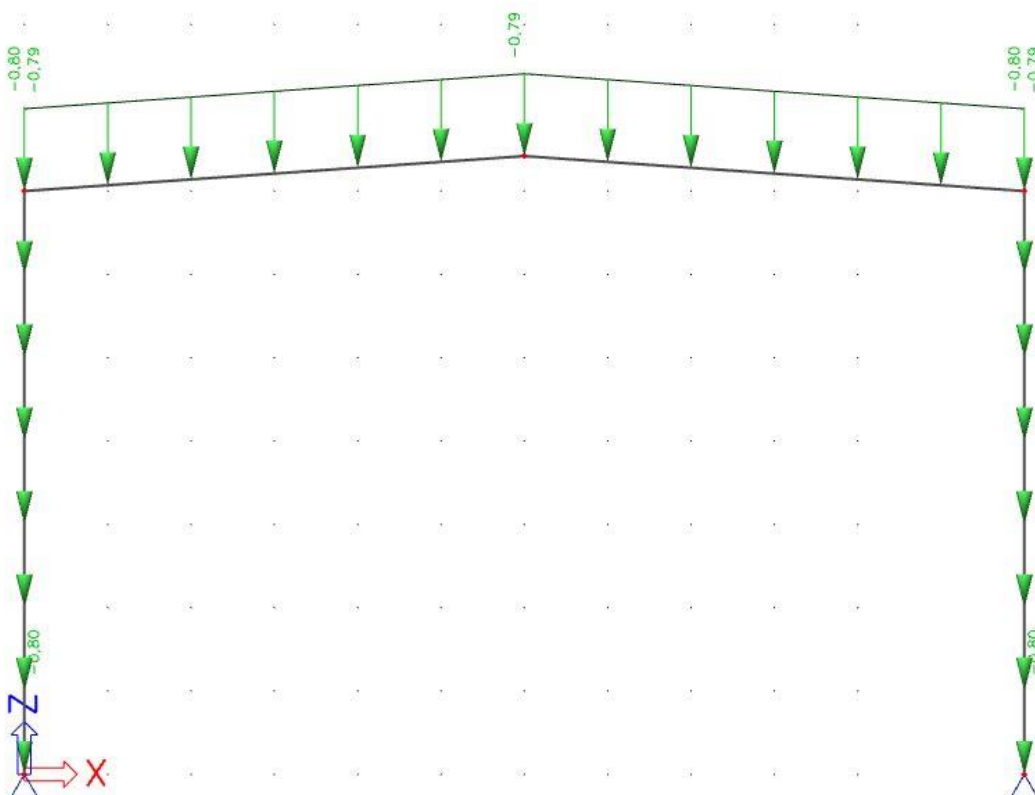
MSÚ KZS1		Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	1,50
MSÚ KZS2		Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	1,50
			ZS4 - Vítr příčný	0,90
MSÚ KZS3		Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,35
			ZS2 - Stálé	1,35
			ZS3 - Sníh	0,75
			ZS4 - Vítr příčný	1,50
MSÚ KZS4		Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS4 - Vítr příčný	1,50
MSÚ KZS5		Obálka - únosnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS6 - Vítr podélný	1,50
MSP KZS1		Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
MSP KZS2		Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	1,00
			ZS4 - Vítr příčný	0,60
MSP KZS3		Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS2 - Stálé	1,00
			ZS3 - Sníh	0,50
			ZS4 - Vítr příčný	1,00
MSP KZS4		Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS7 - Min. stálé	1,00
			ZS4 - Vítr příčný	1,00
MSP KZS5		Obálka - použitelnost	ZS1 - Vlastní tíha	1,00
			ZS7 - Min. stálé	1,00
			ZS6 - Vítr podélný	1,00

Zatížení vložené do programu Scia Engineer

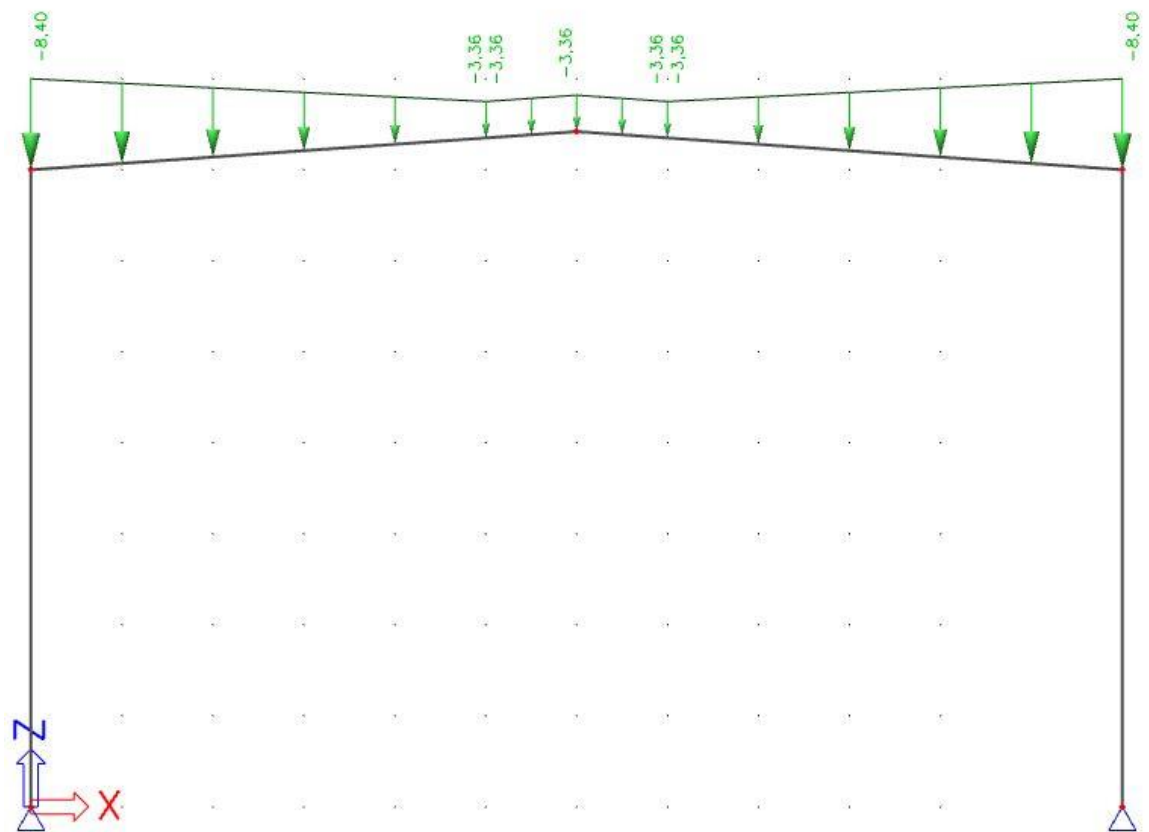
Schéma konstrukce



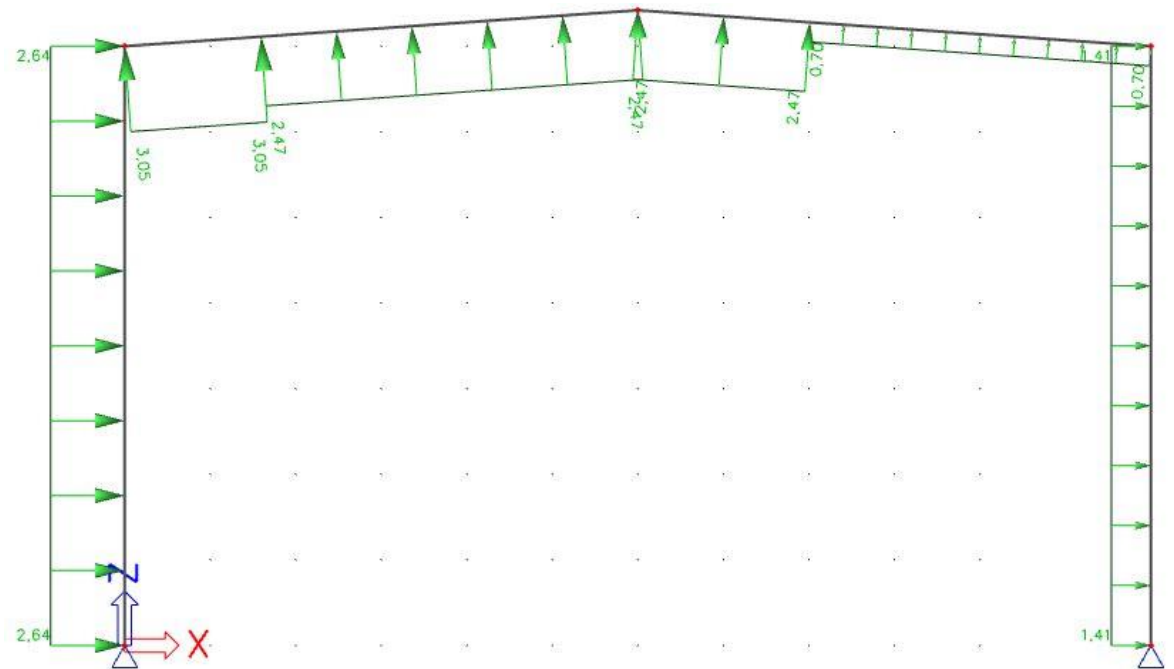
Stálé + min. stálé



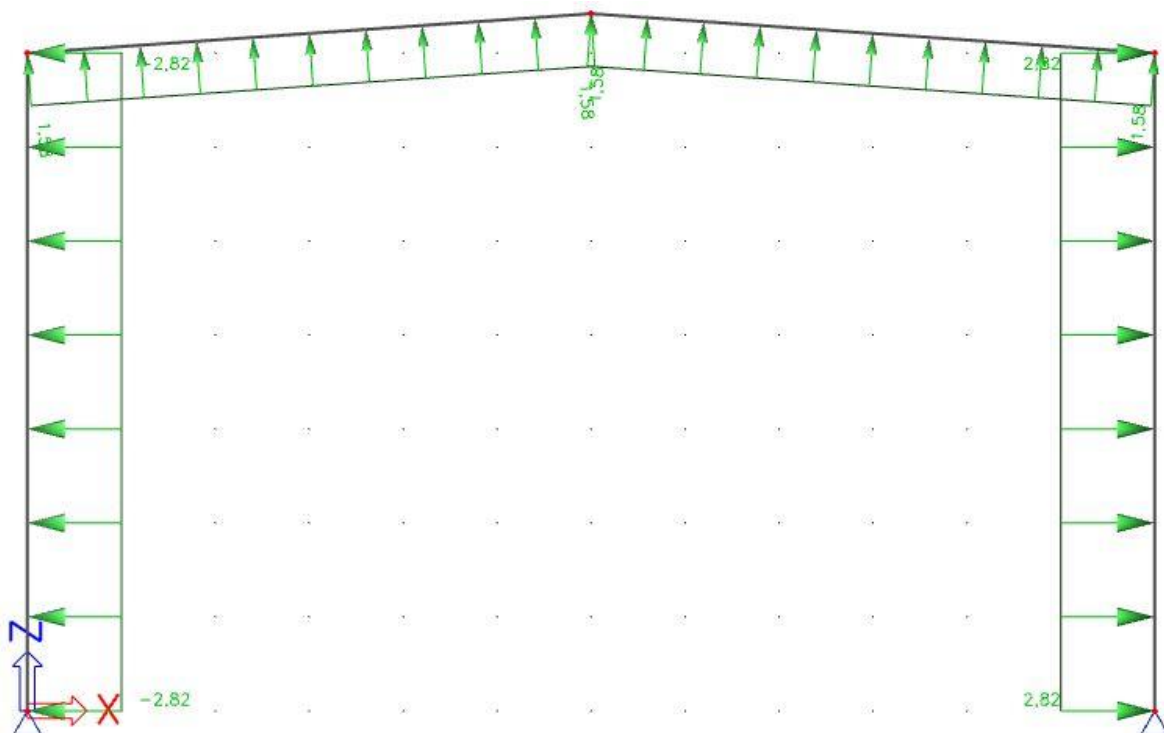
Sníh



Vítr příčný



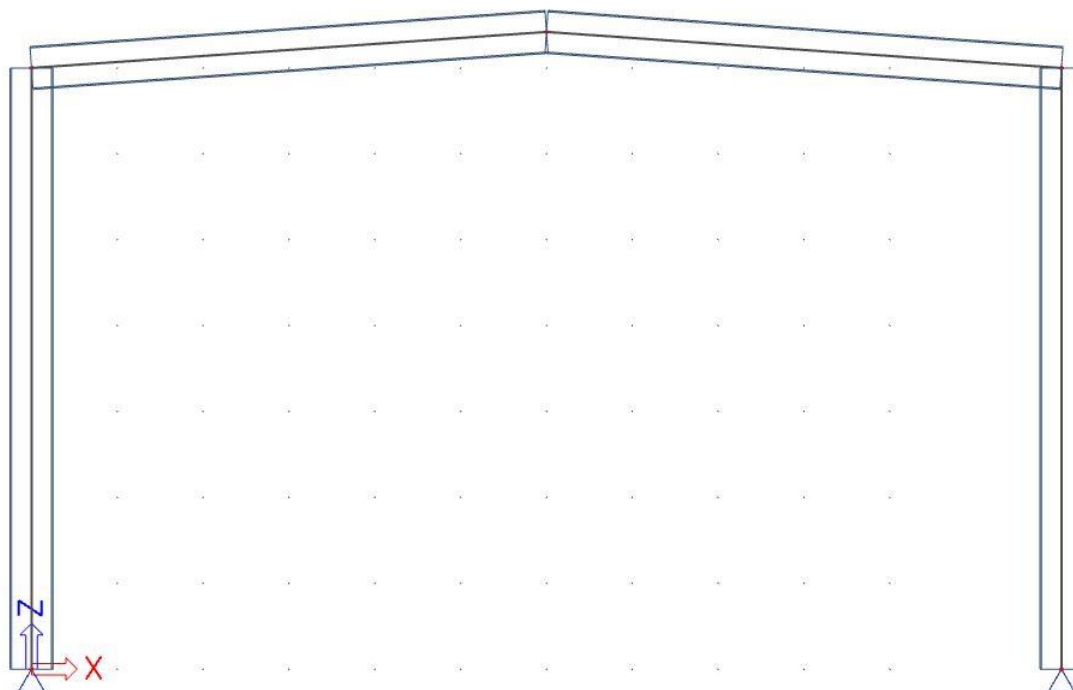
Vítr podélný



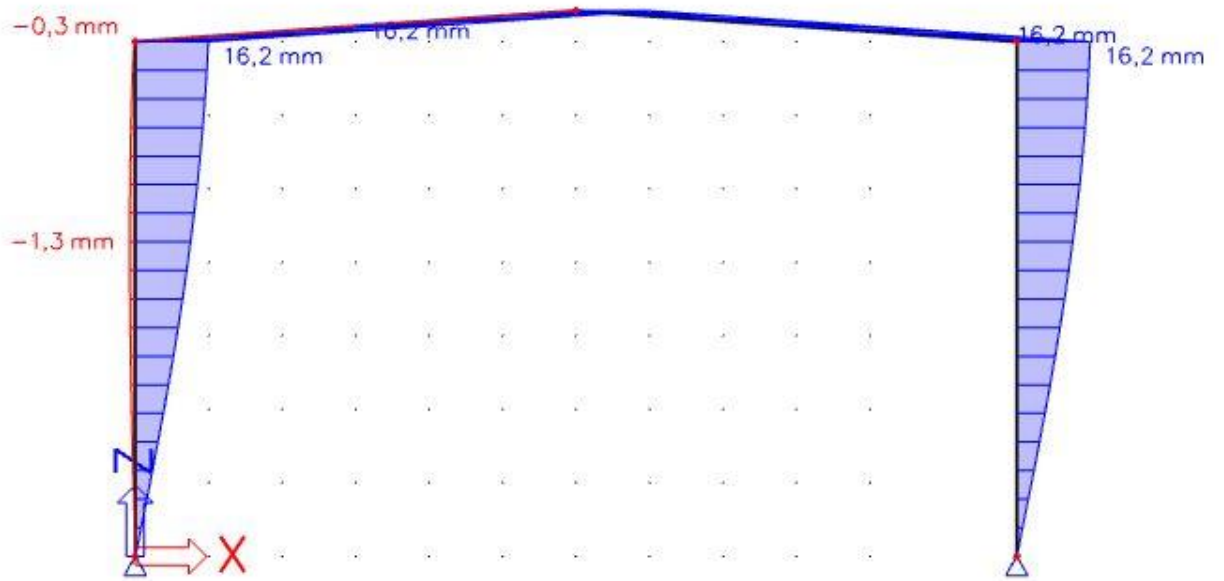
ZJEDNODUŠENÍ → uvažováno spojité zatížení, místo osových sil do vaznic

VÝBĚR STATICKÉHO SCHÉMATU

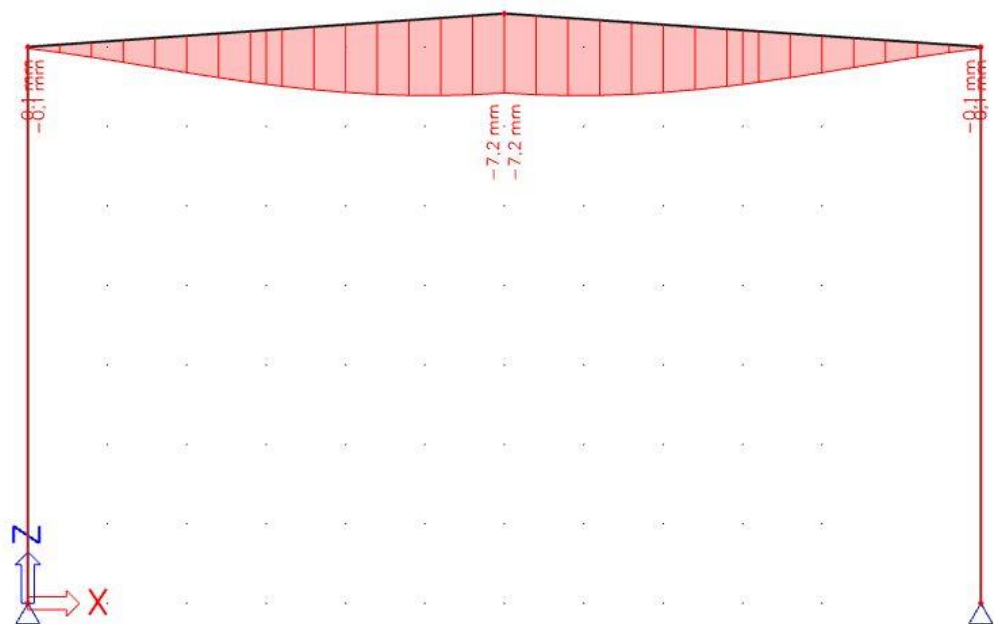
1. KLOUBOVÉ PATKY RÁMU
 - a) Schéma konstrukce



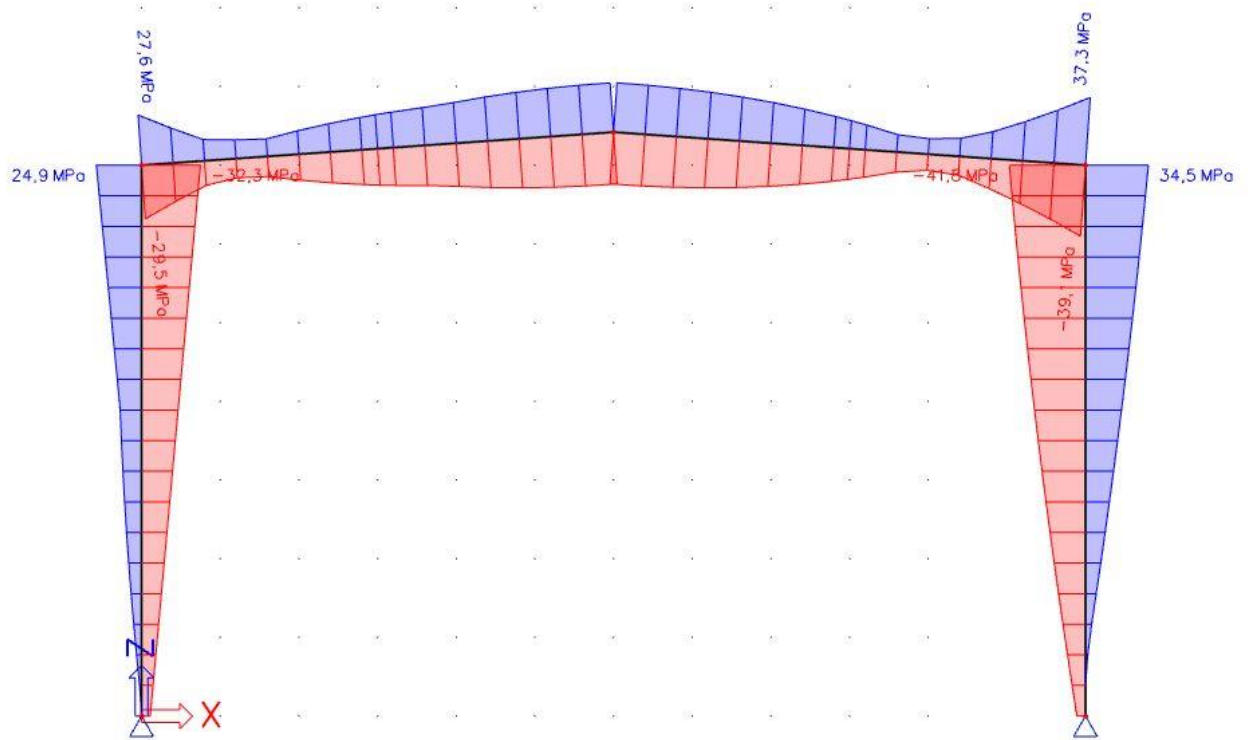
b) Deformace u_x – KZS 3



c) Deformace u_z – KZS 1

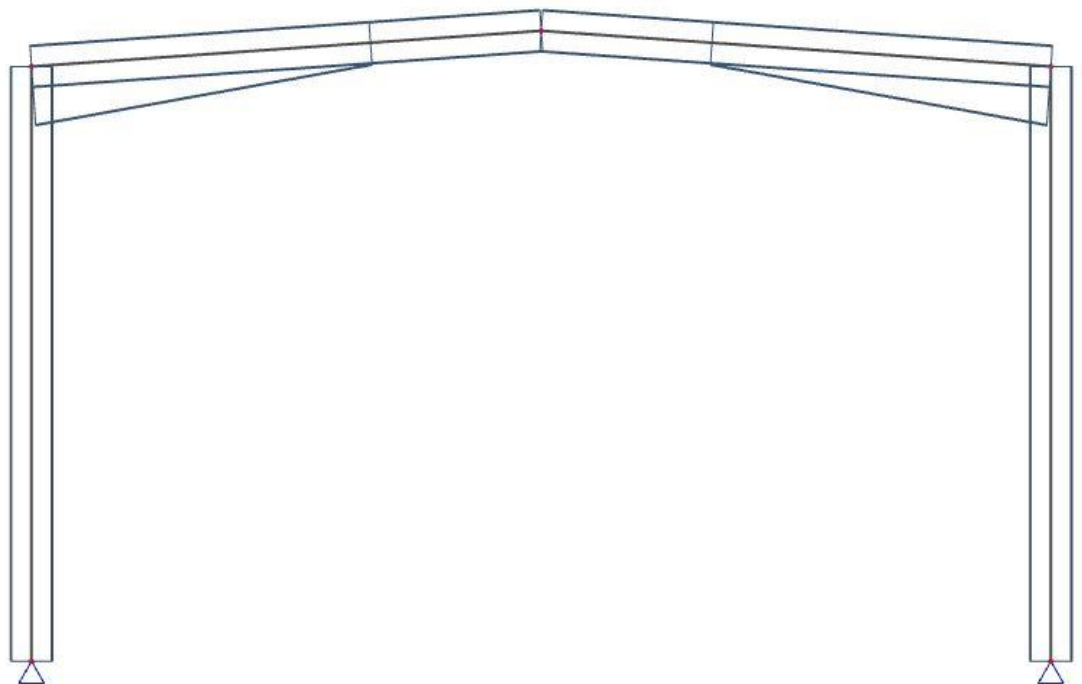


d) Napětí – KZS 2

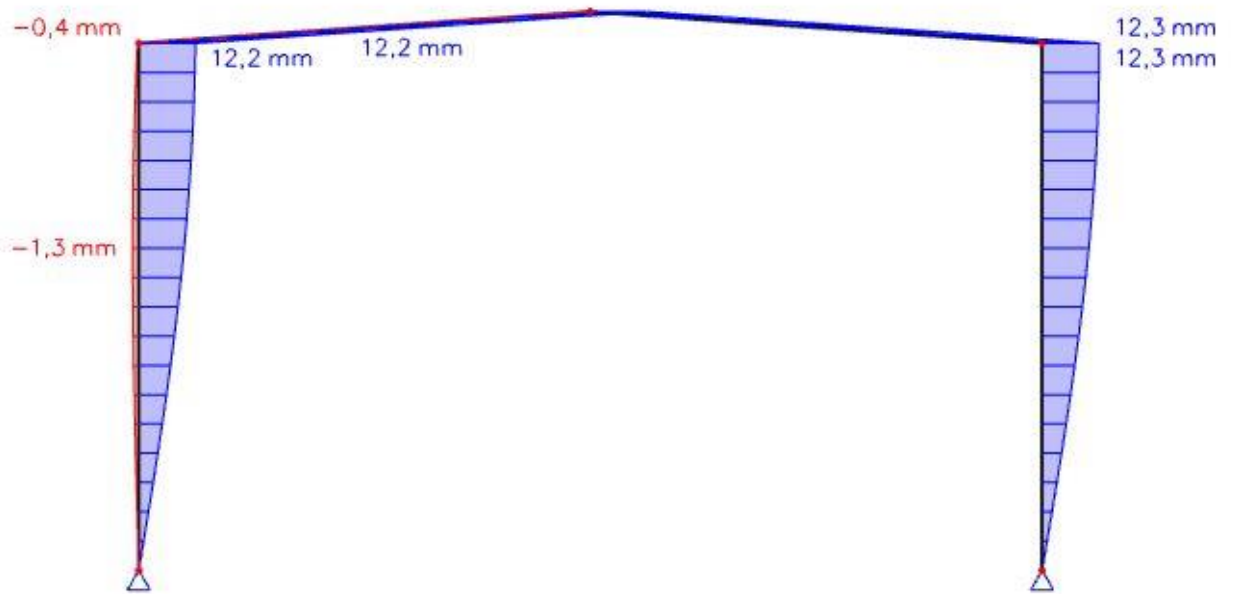


2. KLOUBOVÉ PATKY RÁMU + NÁBĚHY

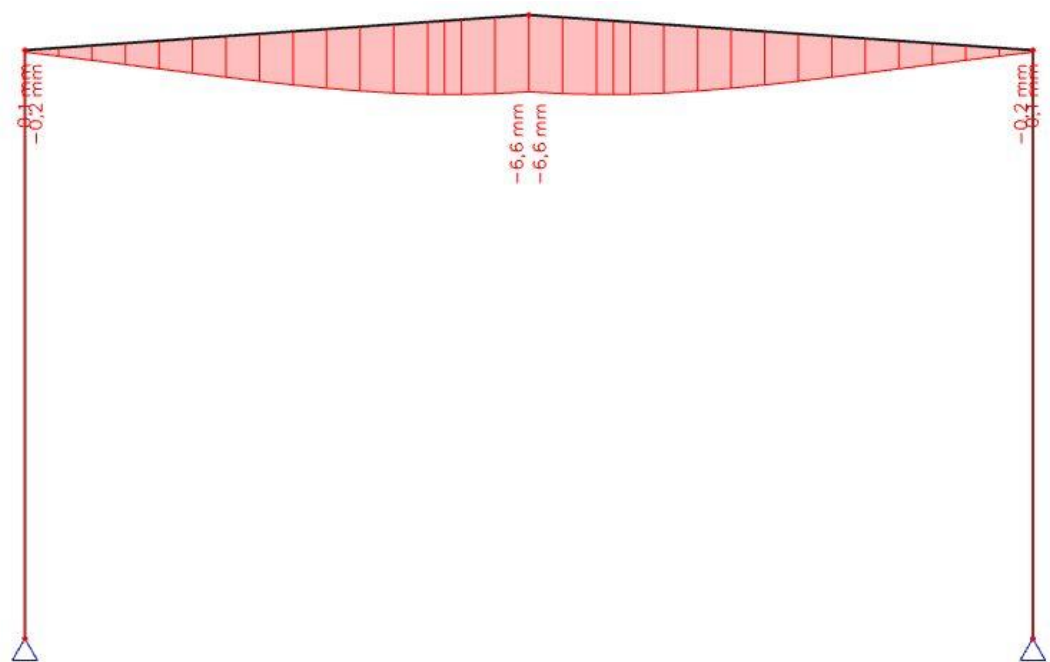
a) Schéma konstrukce



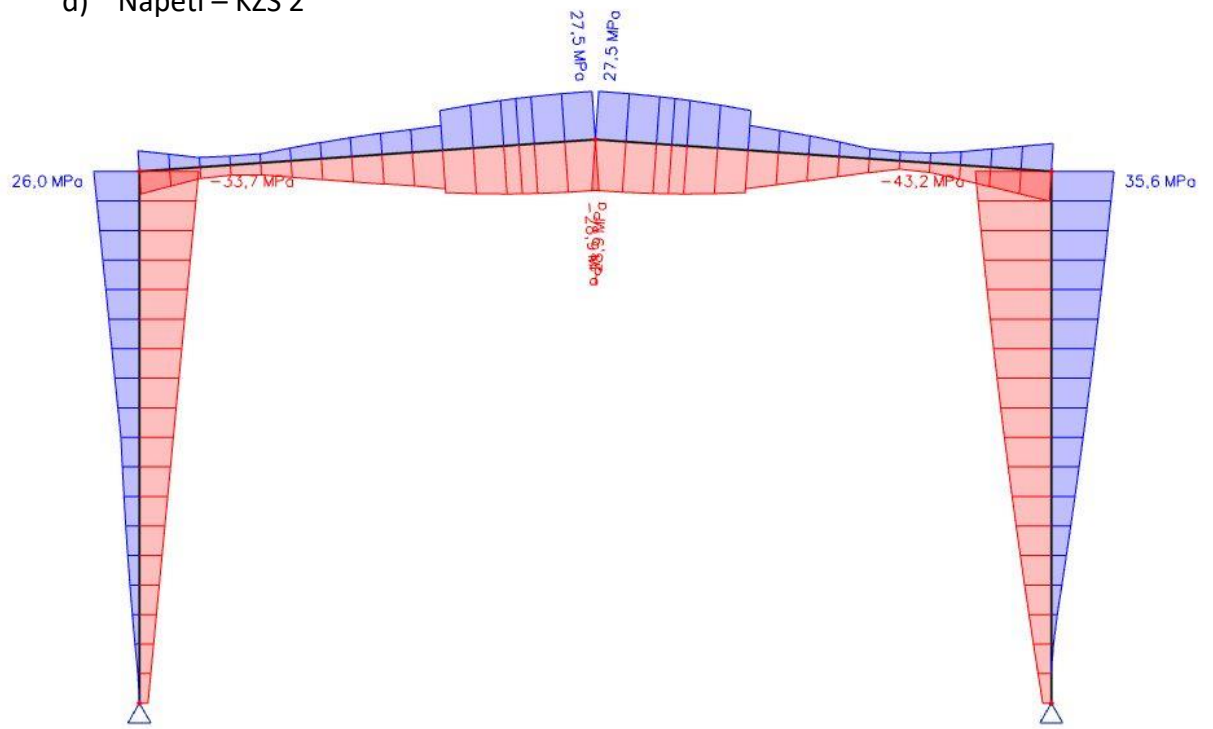
b) Deformace u_x – KZS 3



c) Deformace u_z – KZS 1

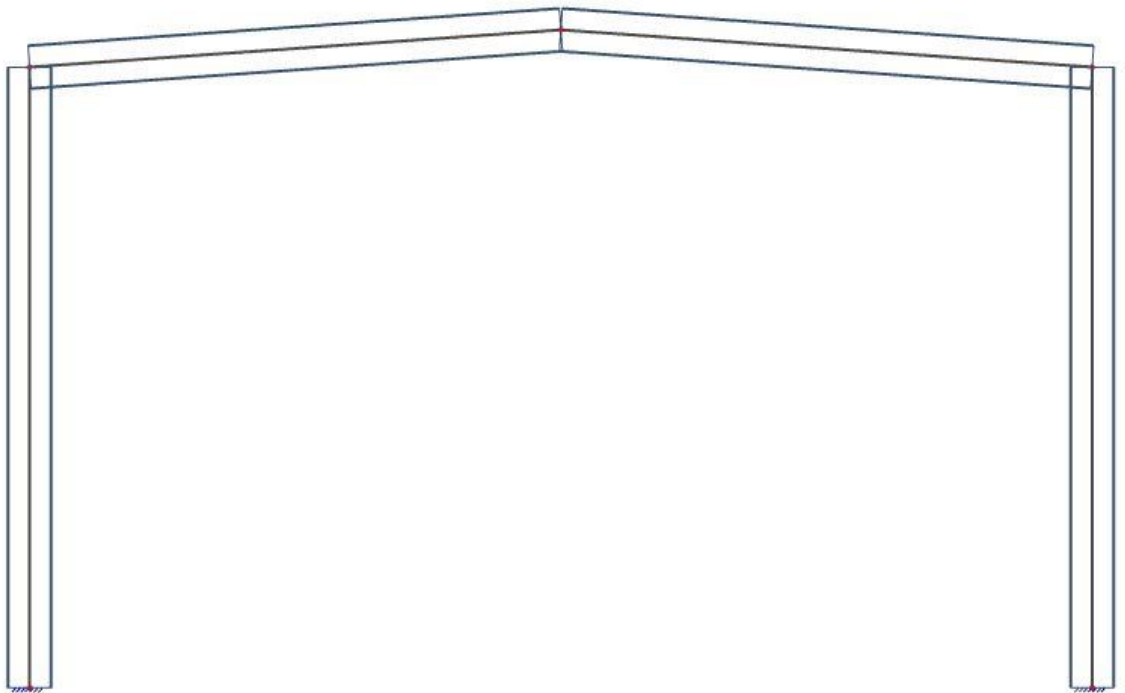


d) Napětí – KZS 2

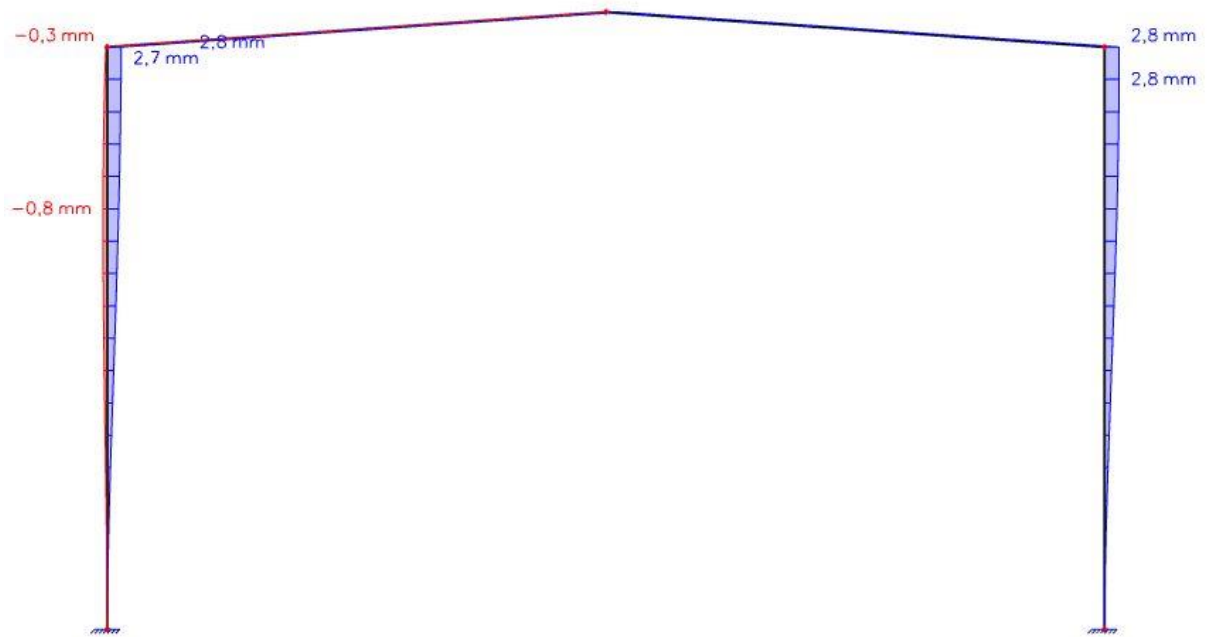


3. VETKNUTÉ PATKY RÁMU

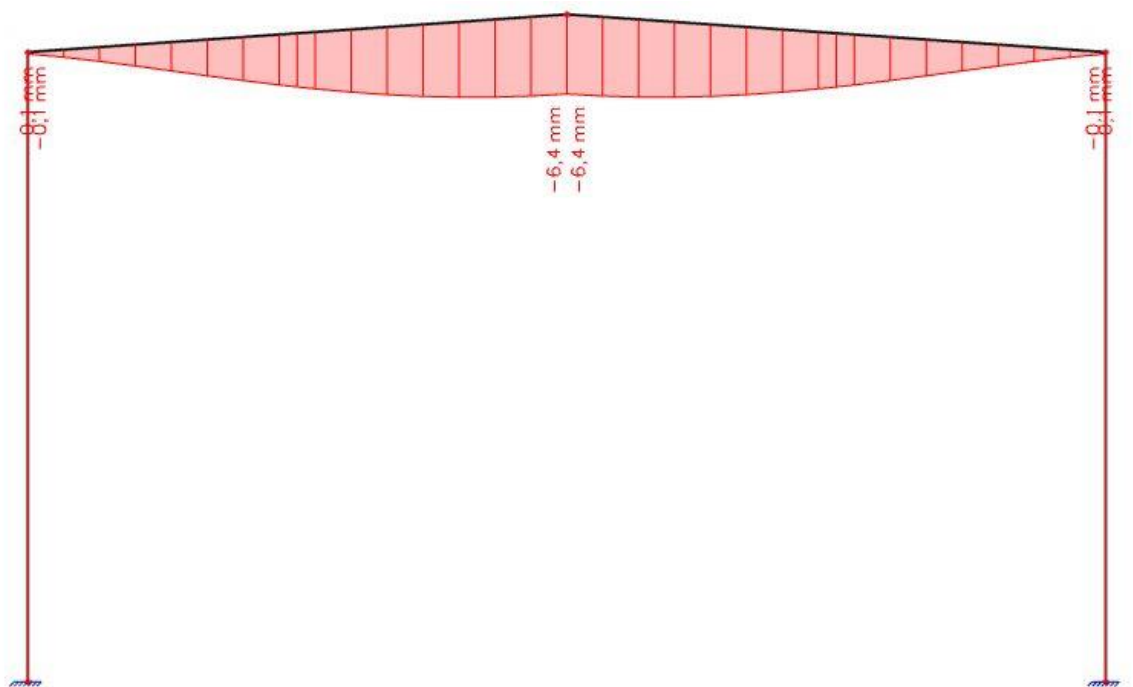
a) Schéma konstrukce



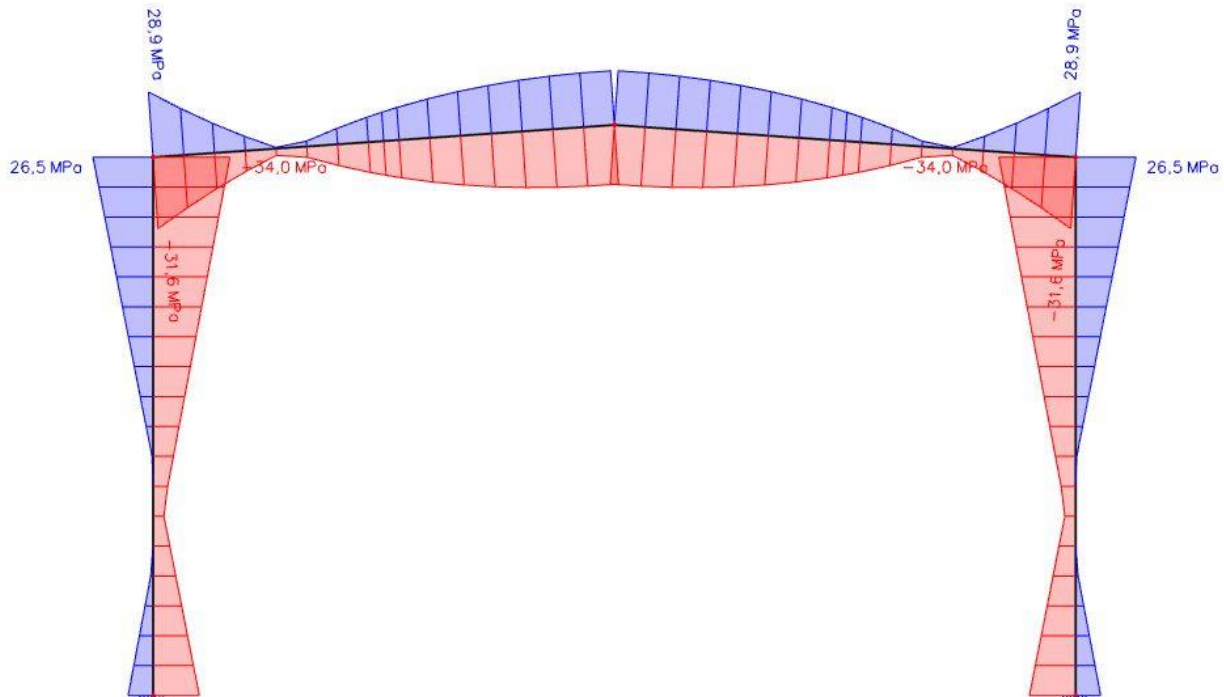
b) Deformace u_x – KZS 3



c) Deformace u_z – KZS 1



d) Napětí – KZS 1



MEZNÍ HODNOTY PRŮHYBU

SVISLÝ PRŮHYB - u_z

$$\delta_{lim} = \frac{L}{250}$$
$$\delta_{lim} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm}$$

1. $w_{ek} = 7,2 < \delta_{lim} = 48 \text{ mm} \checkmark$
2. $w_{ek} = 6,6 < \delta_{lim} = 48 \text{ mm} \checkmark$
3. $w_{ek} = 6,4 < \delta_{lim} = 48 \text{ mm} \checkmark$

VODOROVNÝ PRŮHYB - u_x

$$\delta_{lim} = \frac{L}{150}$$
$$\delta_{lim} = \frac{7000}{150} = 46,7 \text{ mm}$$

1. $w_h = 16,2 < \delta_{lim} = 46,7 \text{ mm} \checkmark$
2. $w_h = 12,3 < \delta_{lim} = 46,7 \text{ mm} \checkmark$
3. $w_h = 2,8 < \delta_{lim} = 46,7 \text{ mm} \checkmark$

SROVNÁNÍ

	Schéma	Profil	A [mm ²]	Svislý průhyb [mm]	Vodorovný průhyb [mm]	Napětí [MPa]
1.	Kloubové patky	IPE 500	11550	7,2	16,2	41,8
2.	Kloubové patky + náběhy	IPE 500	11550	6,6	12,3	43,2
3.	Vetknuté patky	IPE 500	11550	6,4	2,8	34,0

	Schéma	+,- jednotlivých řešení
1.	Kloubové patky	+ jednoduchost návrhu a provedení - větší profil příčle než u vetknuté patky
2.	Kloubové patky + náběhy	+ možnost menšího profilu - výrobně složitější provedení náběhů + (případné snížení světlé výšky
3.	Vetknuté patky	+ možnost menších profilů + malý vodorovný posun - dražší a složitější provedení patek a základů

Z průzkumu variant nejlépe vychází varianta 3. vetknuté patky, ale přesto volím variantu 1. kloubové patky z důvodu jednoduššího a levnějšího provedení, pokud by ovšem toto provedení nevyhovělo na příliš velký moment v rámovém rohu, tak bych zvolil variantu 2. kloubové patky s náběhy.

→ Volím variantu 1. Kloubové patky na rozpon 12 m

RÁMOVÉ IMPERFEKCE

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

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,0}} = 0,76 \quad 2/3 \leq \alpha_h \leq 1$$

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

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

Úhel natočení sloupů

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

STANOVENÍ α_{cr} POMOCÍ PROGRAMU Scia Engineer

$$\alpha_{cr} = 21,22$$

Volím menší profil – IPE 400 pro sloupy a IPE 330 pro příčli

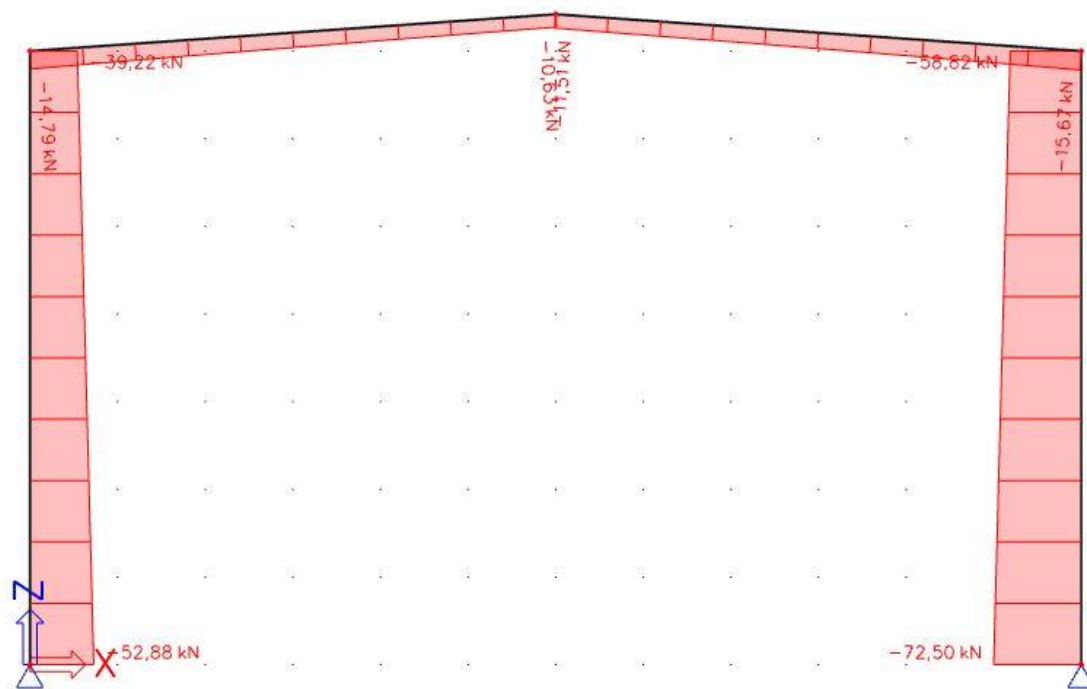
POSOUZENÍ PRVKŮ RÁMU

Výpočet vnitřních sil

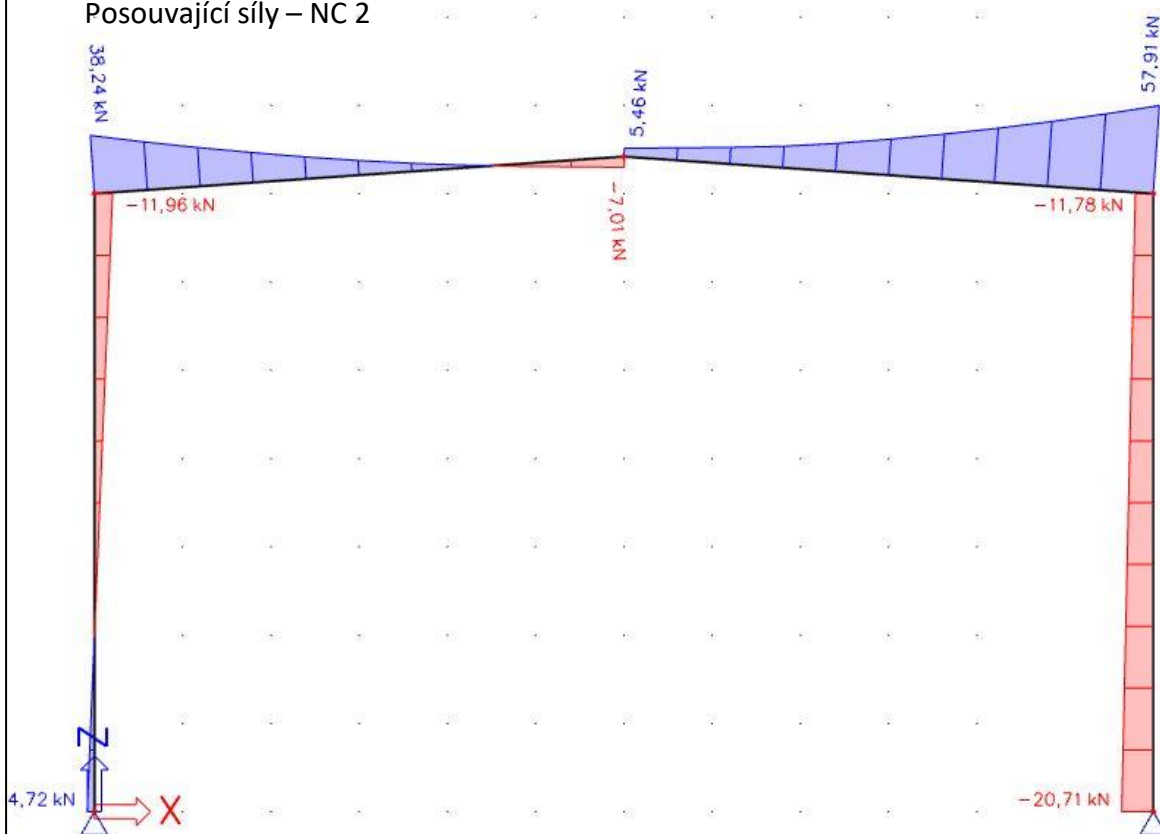
Pomocí programu Scia Engineer, nelineární kombinace a zadané imperfekce.

Příloha č. 2

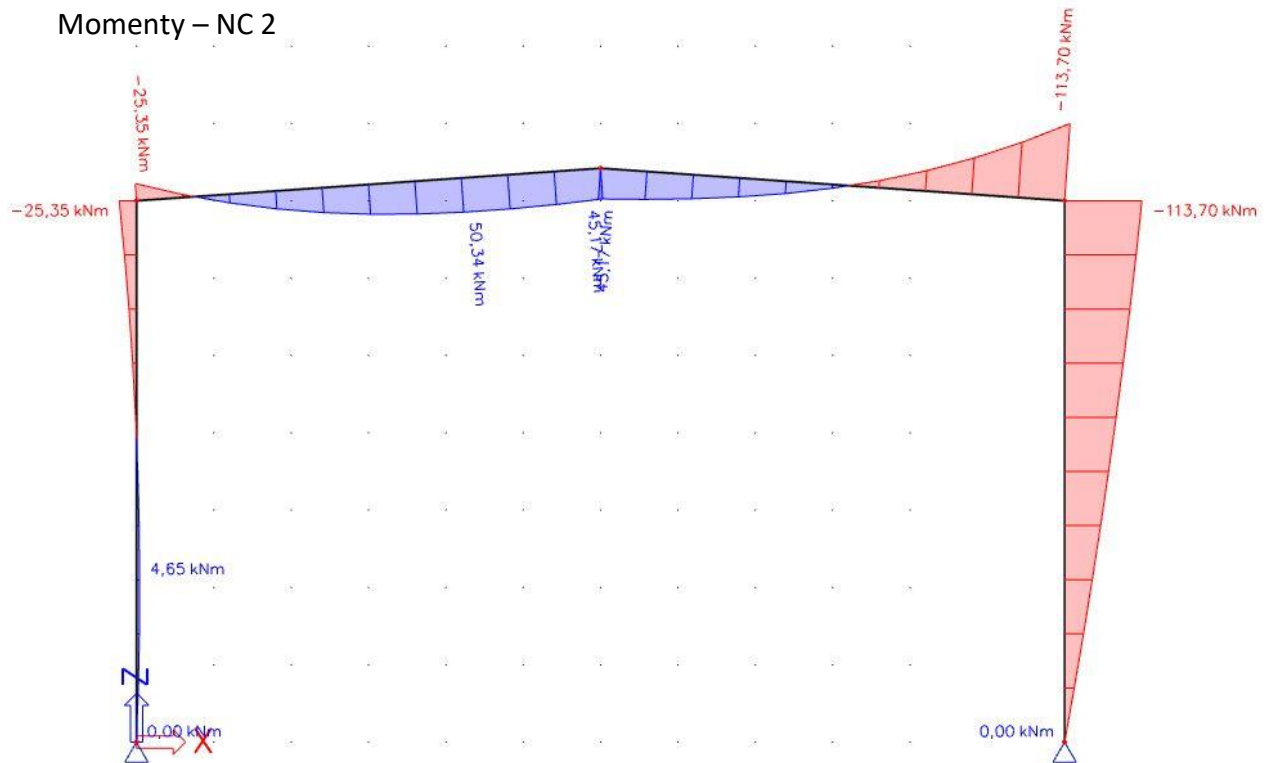
Normálové síly – NC 2



Posouvající síly – NC 2



Momenty – NC 2



$$N_{Ed} = 72,50 \text{ kN}$$

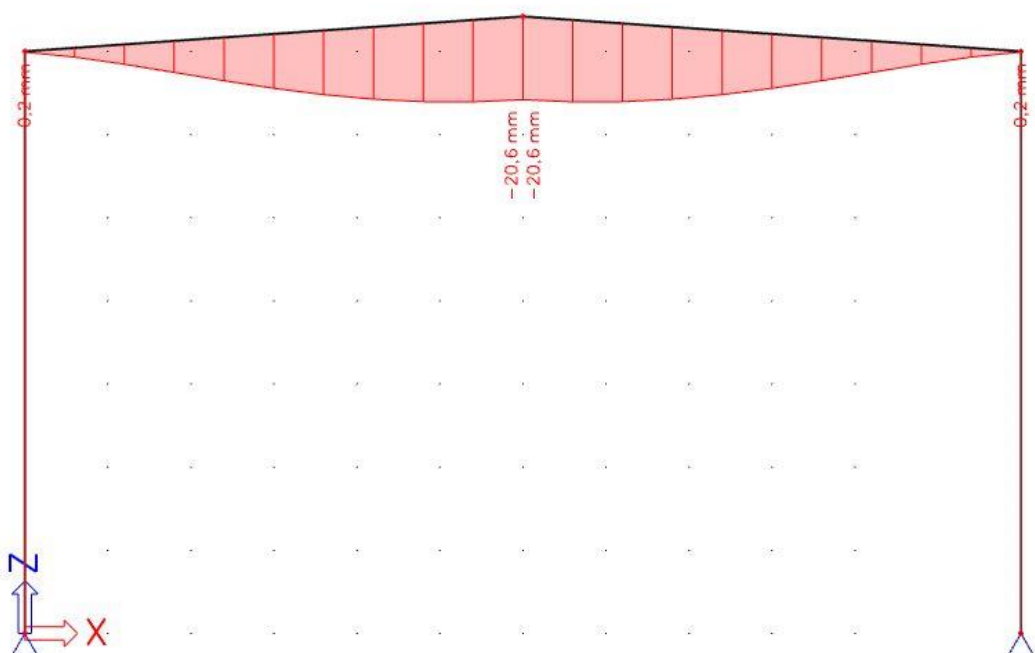
$$V_{Ed} = 57,91 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 113,70 \text{ kNm}$$

POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI

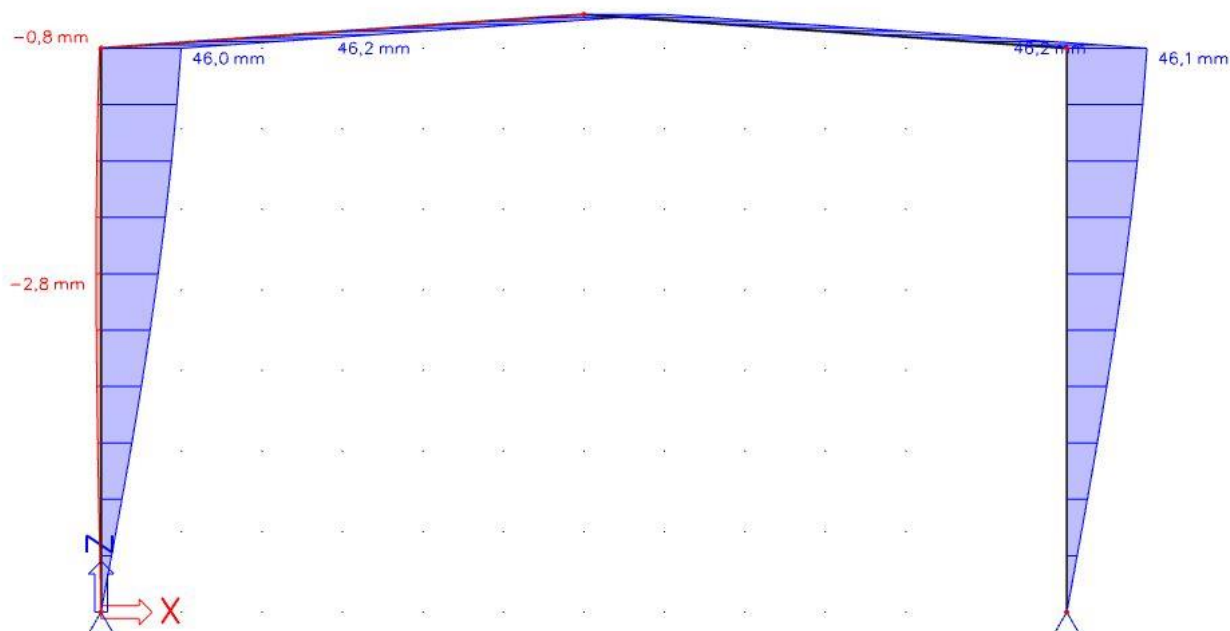
Svislý průhyb – u_z

$$w_{ek} = 20,6 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ mm} \quad \checkmark$$



Vodorovný průhyb – u_x

$$w_h = 46,2 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{7000}{150} = 46,7 \text{ mm} \quad \checkmark$$



Obě podmínky jsou splněny, rám z hlediska mezního stavu použitelnosti vyhovuje.

4.1.1 Posouzení sloupu

Oba sloupy rámu jsou stejného průřezu IPE 400, ale v pravém sloupu působí větší normálová síla i ohybový moment.

UVAŽOVANÉ VNITŘNÍ SÍLY PRO POSOUZENÍ JSOU:

$$N_{Ed} = 72,50 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 113,70 \text{ kNm}$$

IPE 400

ocel S355

$$t_w = 8,6 \text{ mm}; t_f = 13,5 \text{ mm}; d = 331,0 \text{ mm}$$

$$I_y = 23\,130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 165 \text{ mm}$$

$$w_{y,el} = 1\,156 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 51,08 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A = 8\,446 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 1\,318 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 39,5 \text{ mm}$$

$$w_{y,pl} = 1\,307 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 490 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A_{vz} = 4\,269 \text{ mm}^2$$

ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU SLOUPU NAMÁHANÉHO KOMBINACÍ TLAKU A OHYBU

$$\chi = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{72,50 * 10^3}{8,6 * 355} = 23,747 \text{ mm}$$
$$\alpha = \frac{0,5 * d + \chi}{d} = \frac{0,5 * 331 + 23,747}{331} = 0,572 \rightarrow \alpha > 0,5$$

ZATŘÍDĚNÍ STOJINY

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{331}{8,6} = 38,488$$
$$\frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,572 - 1} = 50,085$$
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814 \quad 38,488 < 50,085 \quad \checkmark$$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

ZATŘÍDĚNÍ PÁSNICE

$$\frac{c}{t_f} = \frac{180 * 0,5 - 8,6 * 0,5 - 21,0}{13,5} = 4,793$$
$$9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,329 \quad 4,793 < 7,329 \quad \checkmark$$

Podmínka pro pásnici 1. třídy průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

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

ŠTÍHLOSTI SLOUPU

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7000}{165} = 42,42$$
$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7000}{39,5} = 177,22$$

PŘÍŘAZENÍ KŘIVEK VZPĚRNÉ PEVNOSTI

$$\frac{h}{b} = \frac{400}{180} = 2,22 > 1,2$$
$$t_f = 13,5 \leq 40 \text{ mm}$$

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

POMĚRNÉ ŠTÍHLOSTI

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

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{42,42}{76,399} = 0,56 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0,905$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{177,22}{76,399} = 2,32 \quad \rightarrow \quad \chi_z = 0,160$$

VLIV KLOPENÍ

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

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

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

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

$$k_y = k_z = 1,0$$

$$k_{wt} = \frac{\pi}{k_w * L} * \sqrt{\frac{E * I_w}{G * I_t}} = \frac{\pi}{1,0 * 7000} * \sqrt{\frac{210\,000 * 490 * 10^9}{81\,000 * 51,08 * 10^4}} = 0,708$$

$$C_1 = C_{1,0} + (C_{1,1} - C_{1,0}) * k_{wt} = 1,77 + (1,85 - 1,77) * 0,708 = 1,827$$

$$C_1 = 1,827 \leq C_{1,1} = 1,85$$

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} * \sqrt{1 + k_{wt}^2} = \frac{1,827}{1,0} * \sqrt{1 + 0,708^2} = 2,239$$

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

$$M_{cr} = 2,239 * \frac{\pi * \sqrt{210\,000 * 1\,318 * 10^4 * 81\,000 * 51,08 * 10^4}}{7000} = 340,05 \text{ kNm}$$

SOUČINITEL KLOPENÍ

$$\lambda_{LT,y}^- = \sqrt{\frac{w_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1156 * 10^3 * 355}{340,05 * 10^6}} = 1,1$$

$$\chi_{LT} = 0,596 \quad (\text{tabulka, křivka } a)$$

$$\chi_{LT} = 0,596 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

$$\chi_{LT} = 0,596 \leq \frac{1}{\lambda_{LT,y}^-^2} = \frac{1}{1,1^2} = 0,826 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SLOUPU NA KOMBINACI TLAKU S OHYBEM

$$\Psi = 0$$

$C_{my} = 0,9$ - součinitel ekvivalentního momentu při vybočení s posunem styčniců

$$C_{mLT} = 0,6 + \Psi * 0,4 = 0,6$$

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI V TLAKU A OHYBU

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 8\,446 * 355 = 2\,998,330 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} * f_{yd} = 1\,307 * 10^3 * 355 = 463,985 \text{ kNm}$$

INTERAKČNÍ SOUČINITELE

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,9 * \left(1 + (0,56 - 0,2) * \frac{72,50 * 10^3}{0,905 * \frac{2998330}{1,0}} \right) \\ 0,9 * \left(1 + 0,8 * \frac{72,50 * 10^3}{0,905 * \frac{2998330}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,909\} = 0,909$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,32}{(0,6 - 0,25)} * \frac{72,50 * 10^3}{0,160 * \frac{2998330}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} * \frac{72,50 * 10^3}{0,160 * \frac{2998330}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{matrix} 0,900 \\ 0,957 \end{matrix} \right\} = 0,957$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

Sloup

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

$$\frac{72,50 * 10^3}{0,905 * \frac{2998330}{1,0}} + 0,909 * \frac{113,70 * 10^6}{0,596 * \frac{463,985 * 10^6}{1,0}} = 0,40 \leq 1 \quad \checkmark$$

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

$$\frac{72,50 * 10^3}{0,160 * \frac{2998330}{1,0}} + 0,957 * \frac{113,70 * 10^6}{0,596 * \frac{463,985 * 10^6}{1,0}} = 0,545 \leq 1 \quad \checkmark$$

PODMÍNKA ÚNOSNOSTI PRO PRŮŘEZ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

$$\frac{72,50 * 10^3}{2998,33 * 10^3 * 1,0} + \frac{113,70 * 10^6}{463,985 * 10^6 * 1,0} = 0,269 \leq 1 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{4269 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 875 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 20,71 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Ed} = 20,71 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 437,5 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Smyková únosnost vyhovuje s velkou rezervou a protože se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

PRŮŘEZ SLOUPU IPE 400 → VYHOVUJE

4.1.2. Posouzení příčle

IPE 330

ocel S355

$$t_w = 7,5 \text{ mm}; t_f = 11,5 \text{ mm}; d = 271,0 \text{ mm}$$

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

$$I_z = 788,1 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 137 \text{ mm}$$

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

$$w_{y,el} = 713,1 * 10^3 \text{ mm}^3$$

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

$$I_t = 28,15 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 199,1 * 10^9 \text{ mm}^6$$

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

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

ZATŘÍDĚNÍ STOJINY

$$\alpha = 0,600; \varepsilon = 0,814$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = 36,133 < \frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = 47,404 \quad \checkmark$$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

ZATŘÍDĚNÍ PÁSNICE

$$\frac{c}{t_f} = 5,065 < 9 * \varepsilon = 7,329 \quad \checkmark$$

Podmínka pro pásnici 1. třídy průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

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

ŠTÍHLOSTI PŘÍČLE

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{12\,000}{137} = 87,59$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6\,000}{35,5} = 169,014$$

POMĚRNÉ ŠTÍHLOSTI

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

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{87,59}{76,399} = 1,15 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0,562$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{169,014}{76,399} = 2,21 \quad \rightarrow \quad \chi_z = 0,175$$

VLIV KLOPENÍ

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

Příloha č. 3

$$M_{cr} = 298,77 \text{ kNm}$$

SOUČINITEL KLOPENÍ

$$\lambda_{LT,y}^- = \sqrt{\frac{w_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{713,1 * 10^3 * 355}{298,77 * 10^6}} = 0,92$$

$$\chi_{LT} = 0,721 \quad (\text{tabulka, křivka } a)$$

$$\chi_{LT} = 0,721 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

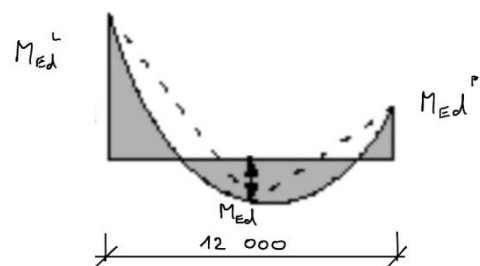
$$\chi_{LT} = 0,721 \leq \frac{1}{\lambda_{LT,y}^2} = \frac{1}{0,92^2} = 1,18 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ PŘÍČLE NA KOMBINACI TLAKU S OHYBEM

$$\Psi = \frac{M_{Ed}^L}{M_{Ed}^P} = \frac{-25,35}{-113,70} = 0,223$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^P} = \frac{45,17}{-113,70} = -0,397$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \quad \text{a} \quad 0 \leq \Psi \leq 1$$

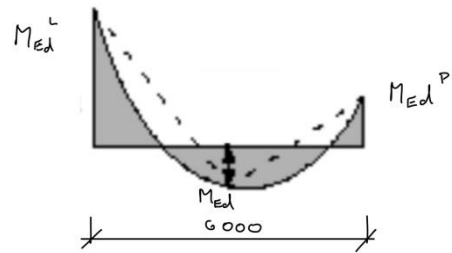


$$C_{my} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * (-0,397) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,42 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,42$$

$$\Psi = \frac{M_{Ed}^L}{M_{Ed}^P} = \frac{45,17}{-113,70} = -0,397$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^P} = \frac{5,51}{-113,70} = -0,048$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \text{ a } -1 \leq \Psi \leq 0$$



$$C_{mLT} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,1 * (1 - \Psi) - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\}$$

$$= \max \left\{ \begin{array}{c} 0,1 * (1 + 0,528) - 0,8 * (-0,146) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{c} 0,27 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,4$$

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI V TLAKU A OHYBU

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 6\,261 * 355 = 2\,222,655 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} * f_{yd} = 804,3 * 10^3 * 355 = 285,527 \text{ kNm}$$

INTERAKČNÍ SOUČINITELE

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{c} 0,42 * \left(1 + (1,15 - 0,2) * \frac{72,50 * 10^3}{0,562 * \frac{2222655}{1,0}} \right) \\ 0,42 * \left(1 + 0,8 * \frac{72,50 * 10^3}{0,562 * \frac{2222655}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{c} 0,443 \\ 0,440 \end{array} \right\} = 0,440$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,21}{(0,4 - 0,25)} * \frac{72,50 * 10^3}{0,175 * \frac{2222655}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} * \frac{72,50 * 10^3}{0,175 * \frac{2222655}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,725\} = 0,876$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

Příčel

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

$$\frac{72,50 * 10^3}{0,562 * \frac{2222655}{1,0}} + 0,440 * \frac{113,70 * 10^6}{0,721 * \frac{285,527 * 10^6}{1,0}} = 0,301 \leq 1 \quad \checkmark$$

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

$$\frac{72,50 * 10^3}{0,175 * \frac{2222655}{1,0}} + 0,876 * \frac{113,70 * 10^6}{0,721 * \frac{285,527 * 10^6}{1,0}} = 0,670 \leq 1 \quad \checkmark$$

PODMÍNKY ÚNOSNOSTI PRO PRŮŘEZ

$$\frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{\gamma_{M0}} \leq 1$$

$$\frac{72,50 * 10^3}{2222,655 * 10^3} + \frac{113,70 * 10^6}{285,527 * 10^6} = 0,472 \leq 1 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{3081 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 632 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 57,91 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Ed} = 57,91 \text{ kN} < 0,5 * V_{pl,Rd} = 316 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Smyková únosnost vyhovuje s velkou rezervou a protože se jedná o malý smyk, není třeba zohlednit vliv smykové síly na únosnost průřezu v tlaku a ohybu.

PRŮŘEZ PŘÍČLE IPE 330 → VYHOVUJE

5. ŠTÍTOVÁ VAZBA

5.1 Návrh prvků štítové vazby

ZATÍŽENÍ

1. Stálé a min. stálé

		$g_k [kN/m]$
střešní plášť	$0,117 * 3,0 = 0,351 \text{ kN/m}$	0,351
vl. tíha vaznice	$m = 8,85/2 = 0,045$	0,045
obvodový plášť	$0,133 * 6,0 = 0,798 \text{ kN/m}$	0,798
Σ		1,194

2. Sníh

s → průměrná hodnota zatížení sněhem do vzdálenosti 3 m za atikou

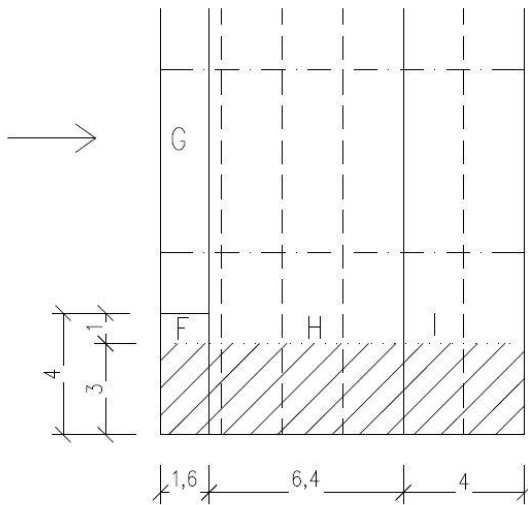
$$s_1 = 1,40 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{l=3m} = 0,56 + \left(\frac{2}{5} * 0,84\right) = 0,896 \text{ kN/m}^2$$

$$s = \frac{0,896 + 1,4}{2} * 3,0 = 1,148 * 3,0 = 3,44 \text{ kN/m}$$

3. Vítr příčný

Příčný



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

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

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

$$w_{s1} = w_{eD} * 3,0 = 0,440 * 3,0 = 1,320 \text{ kN/m}$$

$$w_{s2} = w_{eE} * 3,0 = -0,235 * 3,0 = -0,705 \text{ kN/m}$$

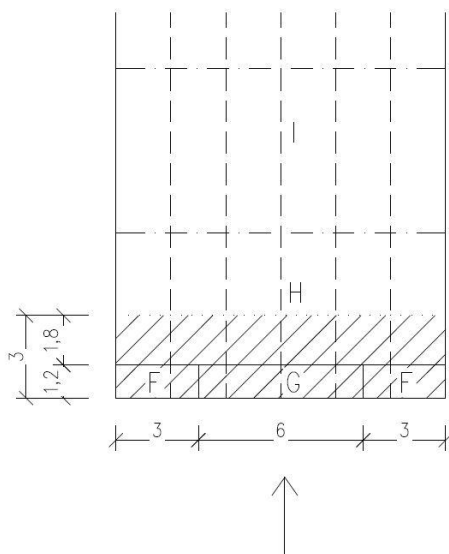
$$w_{s3} = w_{eA} * 3,0 = -0,704 * 3,0 = -2,112 \text{ kN/m}$$

$$w_{s4} = w_{eB} * 6,0 = -0,470 * 6,0 = -2,860 \text{ kN/m}$$

$$w_{s5} = w_{eB} * 3,0 = -0,470 * 3,0 = -1,410 \text{ kN/m}$$

4. Vítr podélný

Podélný



$$w_4 = \frac{w_{eF} * 1,2 + w_{eH} * 1,8}{3,0} * 3,0$$

$$w_4 = -0,704 * 1,2 + (-0,411) * 1,8 = -1,585 \text{ kN/m}$$

$$w_5 = \frac{w_{eG} * 1,2 + w_{eH} * 1,8}{3,0} * 3,0$$

$$w_5 = -0,470 * 1,2 + (-0,411) * 1,8 = -1,304 \text{ kN/m}$$

$$w_{s6} = w_{eA} * 3,0 = -0,704 * 3,0 = -2,112 \text{ kN/m}$$

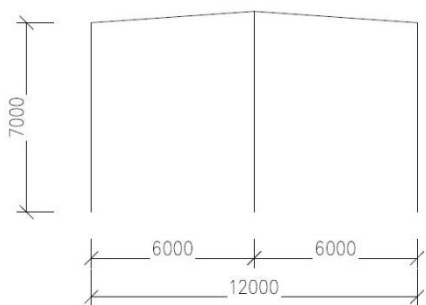
$$w_{s7} = w_{eD} * 3,0 = 0,440 * 3,0 = 1,320 \text{ kN/m}$$

$$w_{s8} = w_{eD} * 6,0 = 0,440 * 6,0 = 2,640 \text{ kN/m}$$

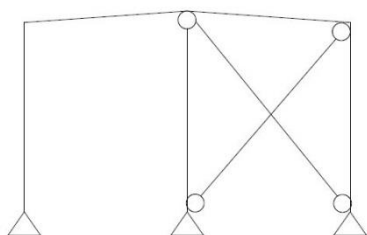
Kombinace zatěžovacích stavů

KZS 1	Stálé + sníh
KZS 2	Stálé + sníh + Ψ_0 vítr příčný
KZS 3	Stálé + vítr příčný + Ψ_0 sníh
KZS 4	Min. stálé + vítr příčný
KZS 5	Min. stálé + vítr podélný

STATICKÉ SCHÉMA

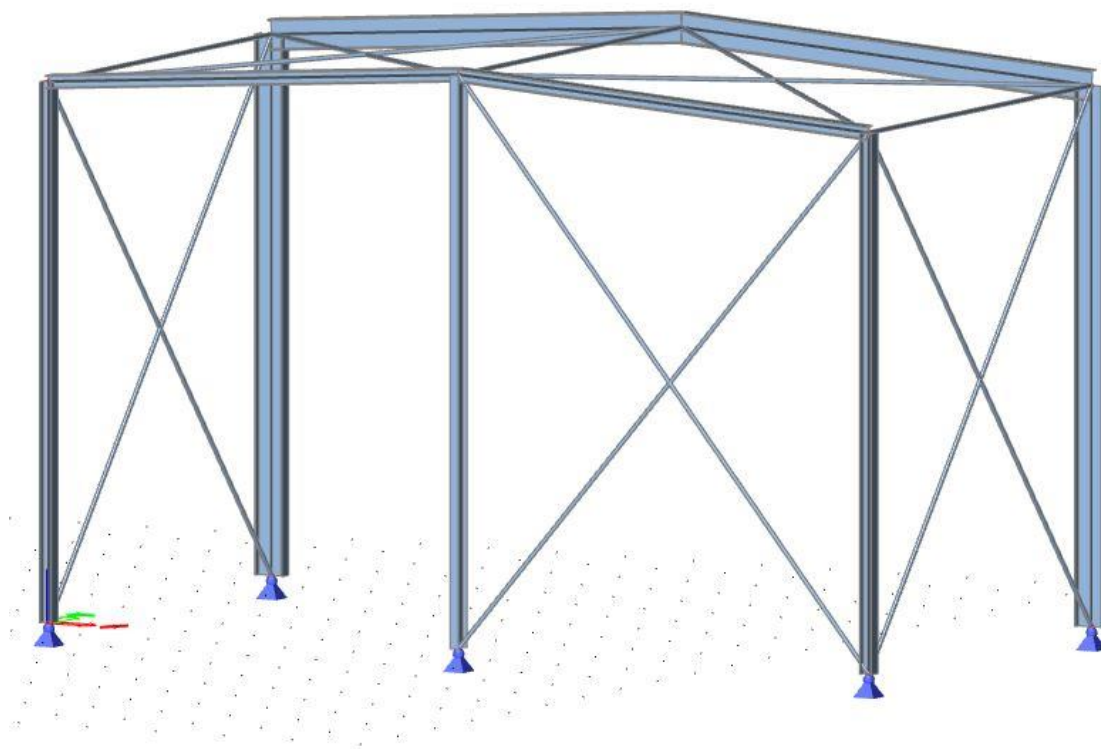


Rám s kloubovými patkami podepíraný štítovým sloupem po šesti metrech.

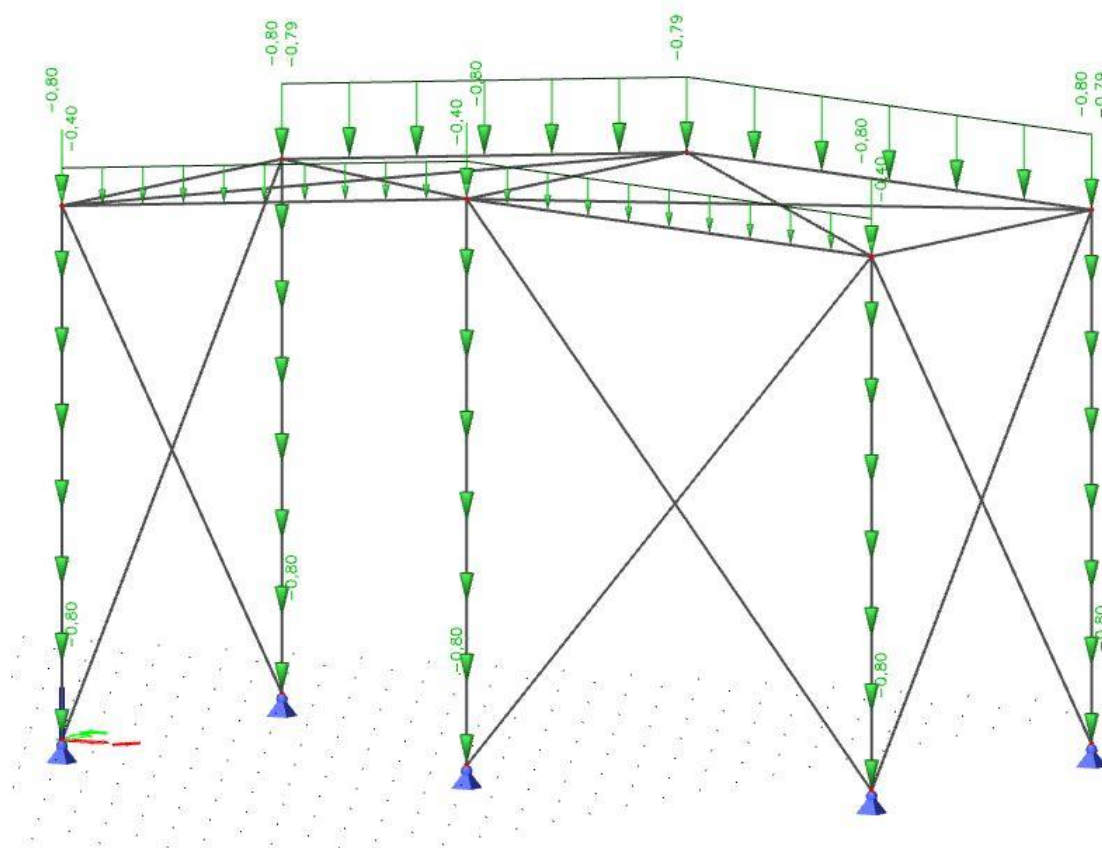


Zatížení vložené do programu Scia Engineer

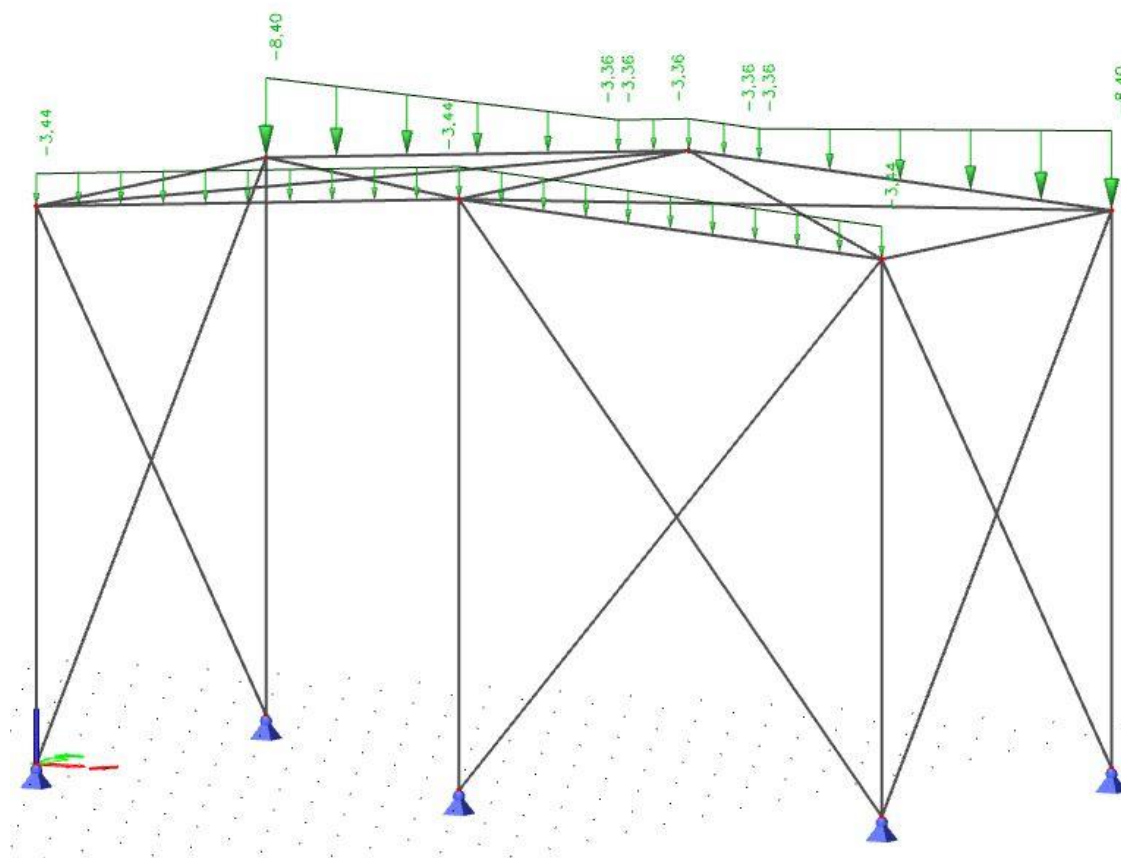
Schéma konstrukce



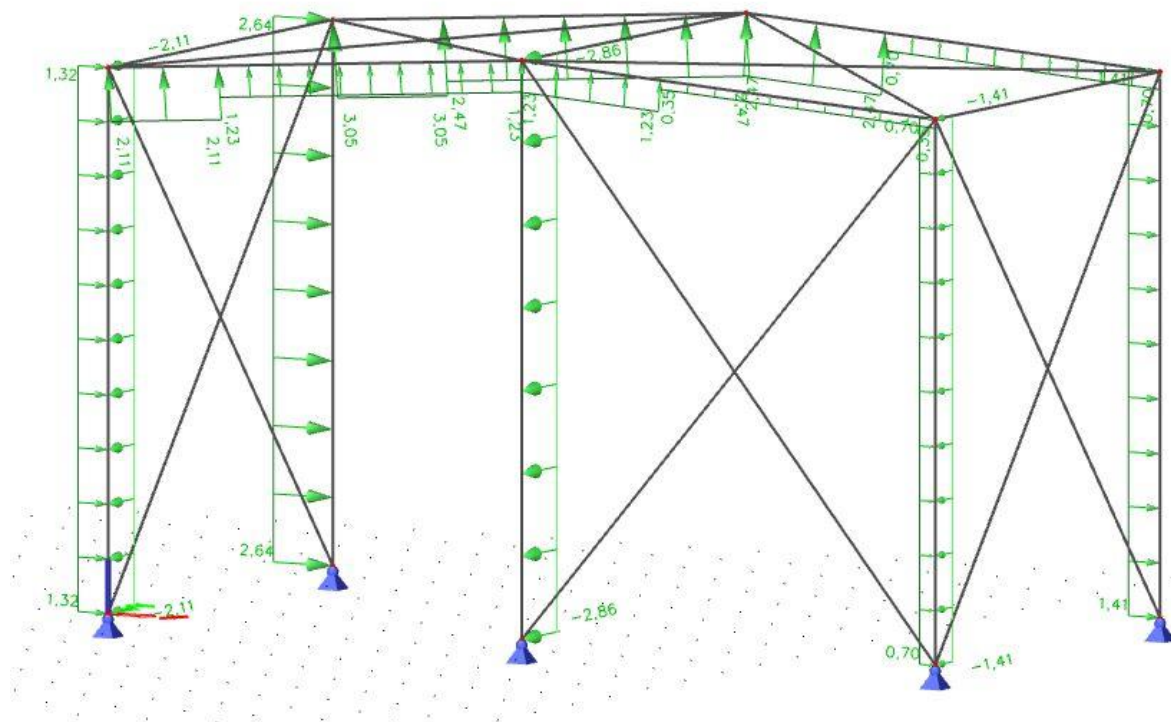
Stálé + min. stálé



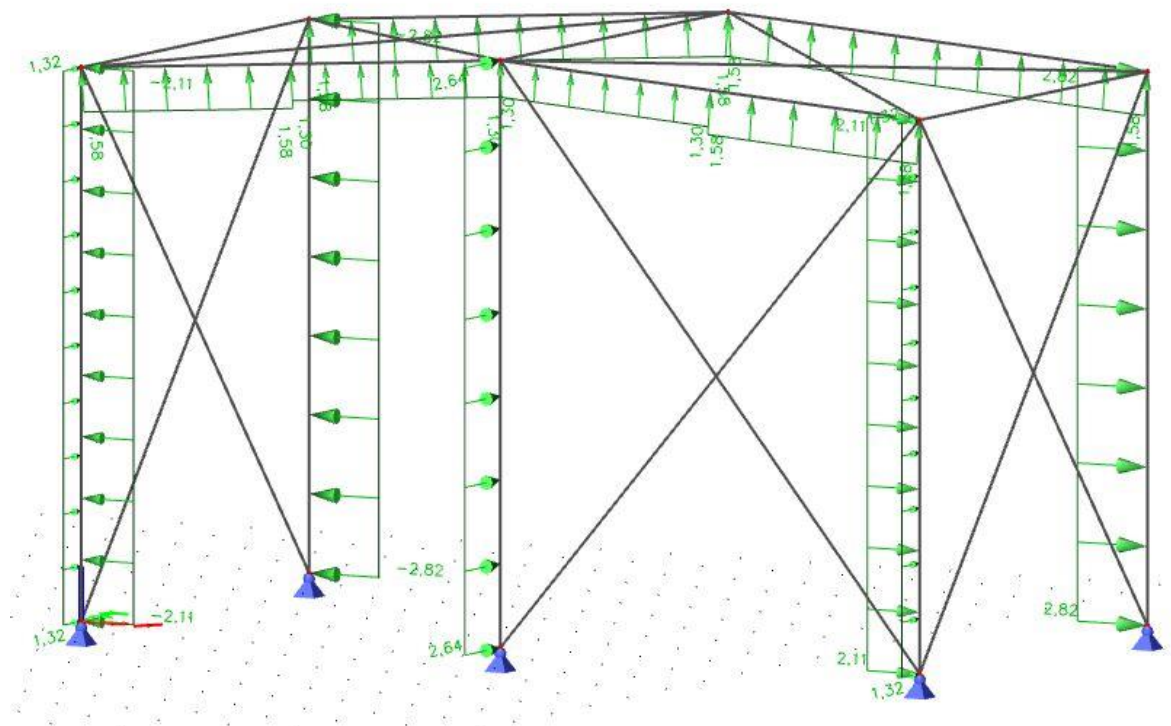
Sníh



Vítr příčný



Vítr podélný



ZJEDNODUŠENÍ → uvažováno spojitě zatížení, místo osových sil do vazniček

RÁMOVÉ IMPERFEKCE

Součinitel zohledňující výšku rámu ($h = 7,0 \text{ m}$)

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{7,0}} = 0,76 \quad 2/3 \leq \alpha_h \leq 1$$

Součinitel zohledňující počet sloupů v řadě ($m=3$)

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

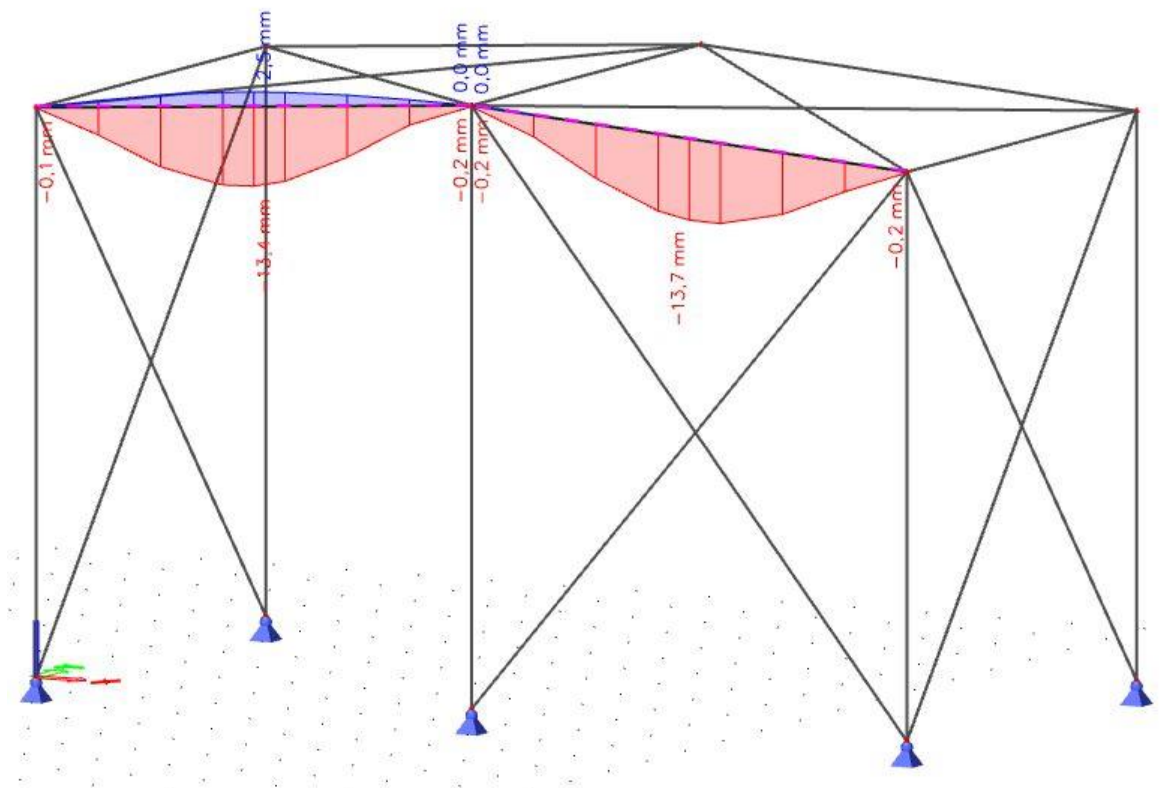
Úhel natočení sloupů

$$\phi = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m = \frac{1}{200} * 0,76 * 0,816 = 3,101 * 10^{-3}$$

POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI

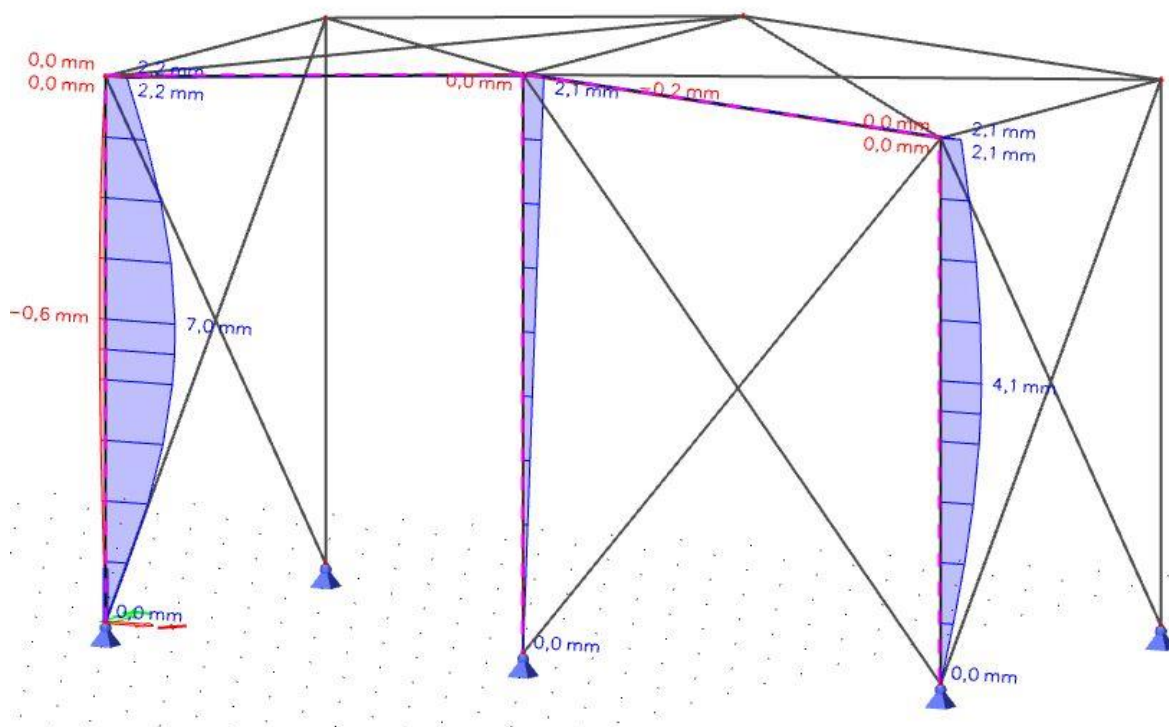
Svislý průhyb – u_z

$$w_{ek} = 13,7 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm} \quad \checkmark$$



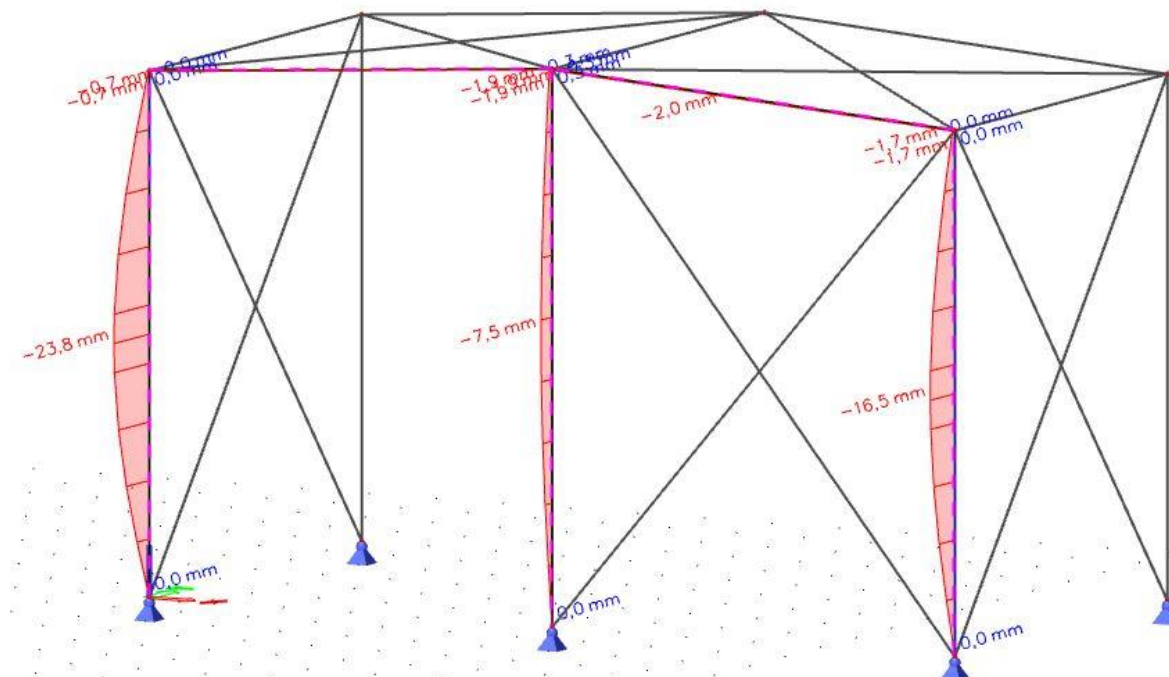
Vodorovný průhyb – u_x

$$w_h = 7,0 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{7000}{150} = 46,7 \text{ mm} \quad \checkmark$$



Vodorovný průhyb – u_y

$$w_h = 23,8 \text{ mm} \leq \delta_{lim} = \frac{7000}{250} = 28 \text{ mm} \quad \checkmark$$



Podmínky jsou splněny, rám z hlediska mezního stavu použitelnosti vyhovuje.

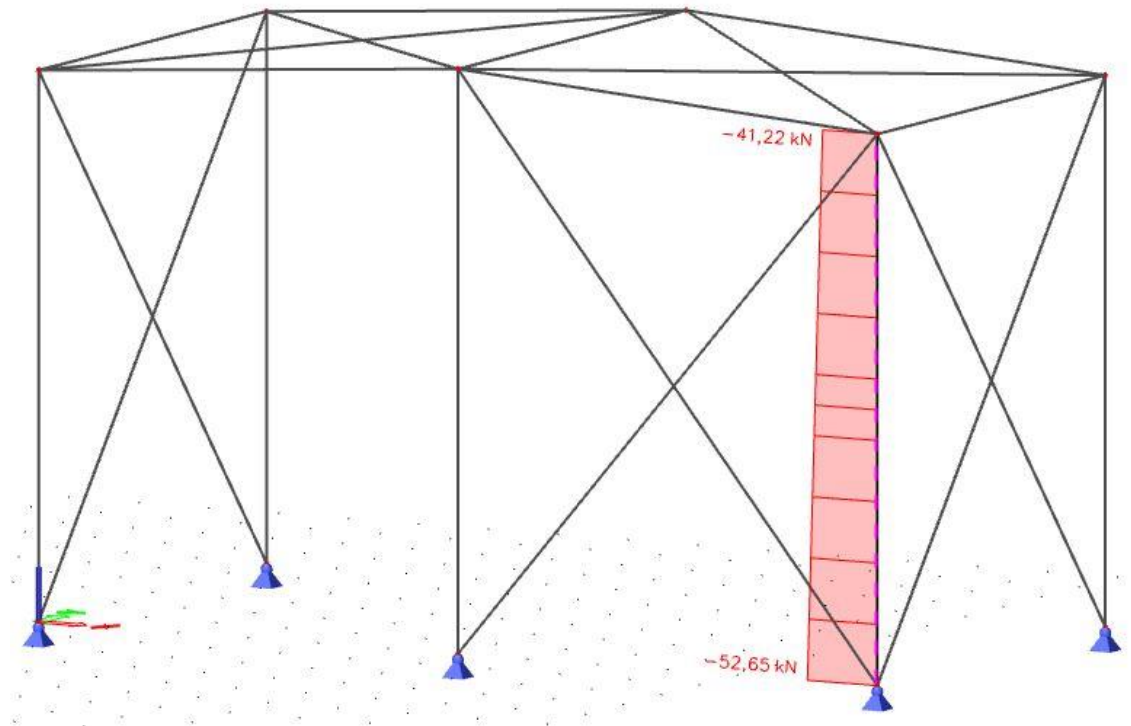
POSOUZENÍ KRAJNÍHO SLOUPU RÁMU VE ŠTÍTOVÉ VAZBĚ

Výpočet vnitřních sil

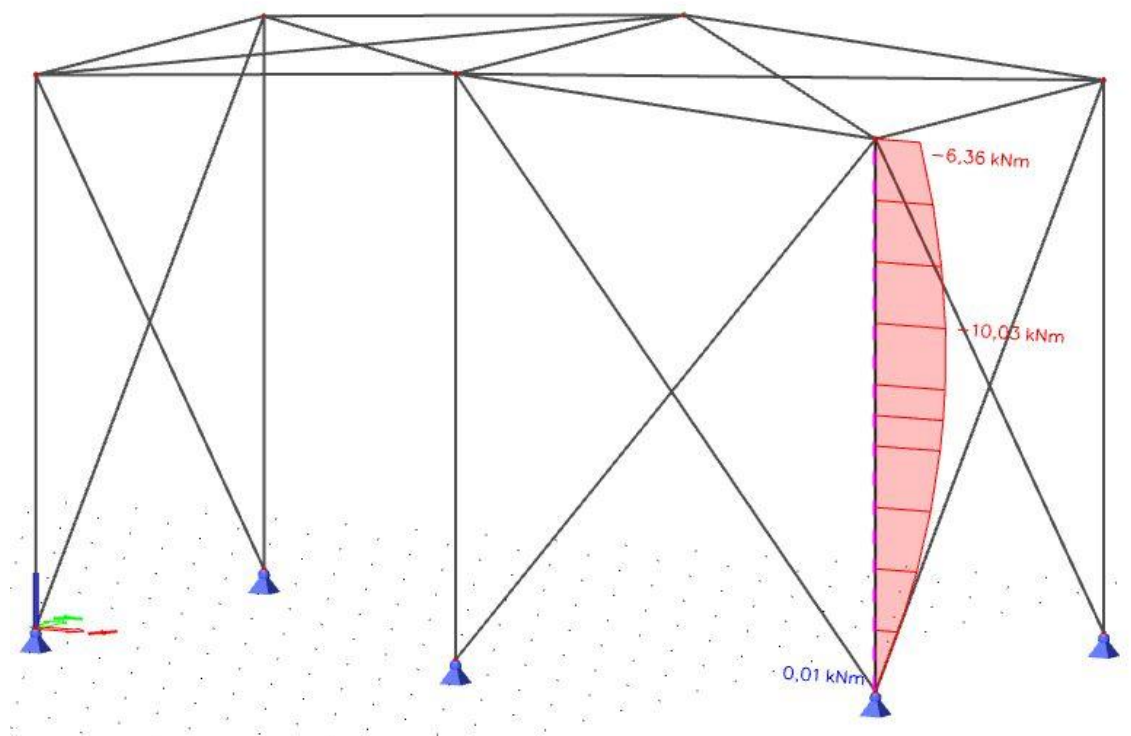
Pomocí programu Scia Engineer, nelineární kombinace a zadané imperfekce.

Příloha č. 2

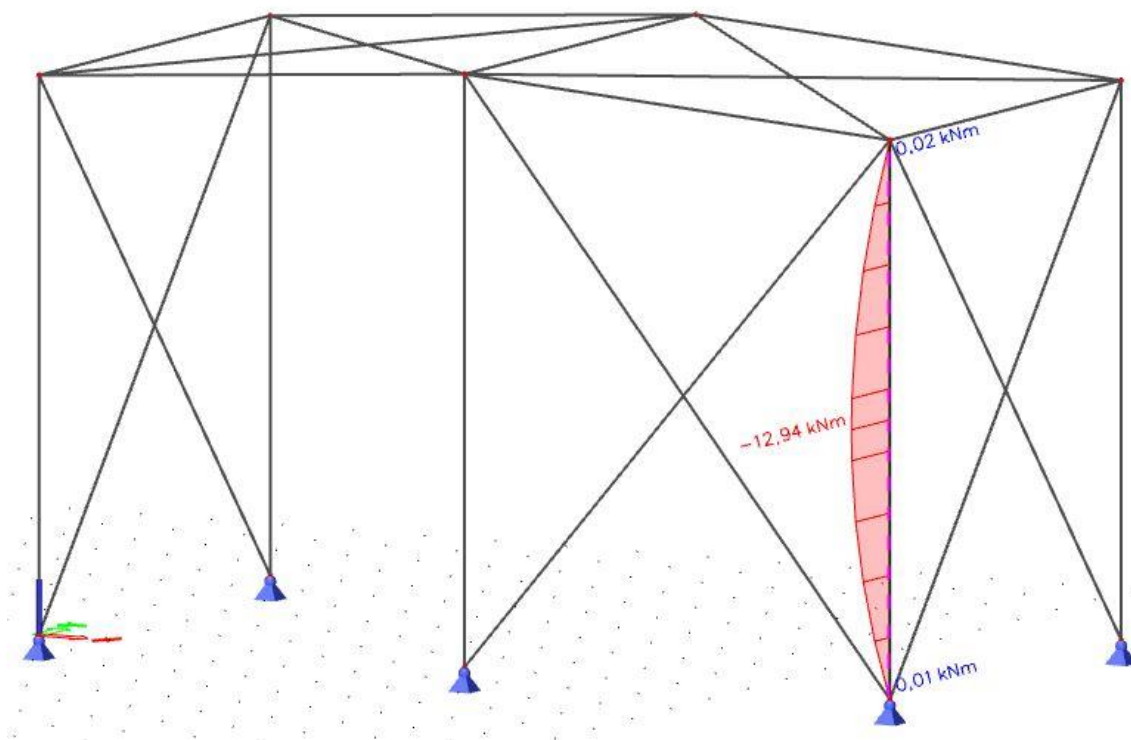
Normálová síla – NC 3



Moment M_y – NC 3



Moment M_z – NC 3



$$N_{Ed} = 52,65 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 10,03 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 12,94 \text{ kNm}$$

5.1.1 Posouzení krajního sloupu štítové vazby

Oba krajní sloupy rámu jsou stejného průřezu HEA 200, ale v pravém sloupu působí větší normálová síla i ohybové momenty.

UVAŽOVANÉ VNITŘNÍ SÍLY PRO POSOUZENÍ JSOU:

$$N_{Ed} = 52,65 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 10,03 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = 12,94 \text{ kNm}$$

HEA 200

ocel S355

$$t_w = 6,5 \text{ mm}; t_f = 10,0 \text{ mm}; d = 134,0 \text{ mm}$$

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

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

$$W_{y,el} = 388,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{z,el} = 133,6 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

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

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

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

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

$$W_{z,pl} = 203,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 108 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A_{vz} = 1\,808 \text{ mm}^2$$

ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU SLOUPU NAMÁHANÉHO KOMBINACÍ TLAKU A OHYBU

$$\chi = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{52,65 * 10^3}{6,5 * 355} = 22,82 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 * d + \chi}{d} = \frac{0,5 * 134 + 22,82}{134} = 0,67 \rightarrow \alpha > 0,5$$

ZATŘÍDĚNÍ STOJINY

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{134}{6,5} = 20,615$$
$$\frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,67 - 1} = 41,809$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814 \quad 20,615 < 41,809 \quad \checkmark$$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

ZATŘÍDĚNÍ PÁSNICE

$$\frac{c}{t_f} = \frac{200 * 0,5 - 6,5 * 0,5 - 18,0}{10,0} = 7,875$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,329 \quad 7,875 < 7,329 \quad \times$$

$$10 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 8,140 \quad 7,875 < 8,140 \quad \checkmark$$

Podmínka pro pásnici 2. třídy průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

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

ŠTÍHLOSTI SLOUPU

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7000}{82,8} = 84,54$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7000}{49,8} = 140,56$$

PŘIŘAZENÍ KŘIVEK VZPĚRNÉ PEVNOSTI

$$\frac{h}{b} = \frac{190}{200} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 10,0 \leq 100 \text{ mm}$$

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

POMĚRNÉ ŠTÍHLOSTI

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

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{84,54}{76,399} = 1,11 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0,529$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{140,56}{76,399} = 1,84 \quad \rightarrow \quad \chi_z = 0,226$$

VLIV KLOPENÍ

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

Příloha č. 3

$$M_{cr} = 123,37$$

SOUČINITEL KLOPENÍ

$$\lambda_{LT,y}^- = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{388,6 * 10^3 * 355}{123,37 * 10^6}} = 1,06$$

$$\chi_{LT} = 0,559 \quad (\text{tabulka, křivka } b)$$

$$\chi_{LT} = 0,559 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

$$\chi_{LT} = 0,559 \leq \frac{1}{\lambda_{LT,y}^2} = \frac{1}{1,06^2} = 0,890 \quad \checkmark$$

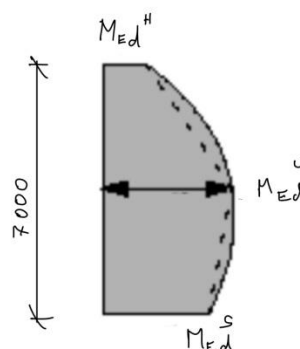
POSOUZENÍ SLOUPU NA KOMBINACI TLAKU S OHYBEM

Osa ohybu y-y

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}^H}{M_{Ed}^U} = \frac{-6,36}{-10,03} = 0,634$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1 \quad \text{a} \quad -1 \leq \Psi \leq 1$$



$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \alpha_s = 0,95 + 0,05 * 0,634 = 0,982$$

Osa ohybu z-z

$$\left. \begin{array}{l} \Psi = 0 \\ \alpha_s = 0 \end{array} \right\} 0 \leq \alpha_s \leq 1 \quad \text{a} \quad -1 \leq \Psi \leq 1$$

$$C_{mz} = 0,95 + 0,05 * \alpha_s = 0,95$$

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI V TLAKU A OHYBU

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 5\,383 * 355 = 1\,910,965 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} * f_{yd} = 429,5 * 10^3 * 355 = 152,473 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = w_{z,pl} * f_{yd} = 203,8 * 10^3 * 355 = 72,349 \text{ kNm}$$

INTERAKČNÍ SOUČINITELE

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,982 * \left(1 + (1,11 - 0,2) * \frac{52,65 * 10^3}{0,529 * \frac{1910965}{1,0}} \right) \\ 0,982 * \left(1 + 0,8 * \frac{52,65 * 10^3}{0,529 * \frac{1910965}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{1,029\} = 1,023$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 1,84}{(0,982 - 0,25)} * \frac{52,65 * 10^3}{0,226 * \frac{1910965}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,982 - 0,25)} * \frac{52,65 * 10^3}{0,226 * \frac{1910965}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,969\} = 0,983$$

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

$$k_{zz} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,950 * \left(1 + (2 * 1,84 - 0,6) * \frac{52,65 * 10^3}{0,226 * \frac{1910965}{1,0}} \right) \\ 0,950 * \left(1 + 1,4 * \frac{52,65 * 10^3}{0,226 * \frac{1910965}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{zz} = \min \{1,307\} = 1,112$$

$$k_{yz} = 0,6 * k_{zz} = 0,6 * 1,112 = 0,667$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

Sloup

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

$$\frac{52,65 * 10^3}{0,529 * \frac{1910965}{1,0}} + 1,023 * \frac{10,03 * 10^6}{0,559 * \frac{152,473 * 10^6}{1,0}} + 0,667 * \frac{12,94 * 10^6}{\frac{72,349 * 10^6}{1,0}} = 0,29 \leq 1 \quad \checkmark$$

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

$$\frac{52,65 * 10^3}{0,226 * \frac{1910965}{1,0}} + 0,983 * \frac{10,03 * 10^6}{0,559 * \frac{152,473 * 10^6}{1,0}} + 1,112 * \frac{12,94 * 10^6}{\frac{72,349 * 10^6}{1,0}} = 0,44 \leq 1 \quad \checkmark$$

PODMÍNKA ÚNOSNOSTI PRO PRŮŘEZ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed,y}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed,z}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

$$\frac{52,65 * 10^3}{\frac{1910965}{1,0}} + \frac{10,03 * 10^6}{\frac{152,473 * 10^6}{1,0}} + \frac{12,94 * 10^6}{\frac{72,349 * 10^6}{1,0}} = 0,272 \leq 1 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI

Hodnoty jsou velmi nízké, smyková únosnost nerozhoduje.

PRŮŘEZ SLOUPU HEA 200 → VYHOVUJE

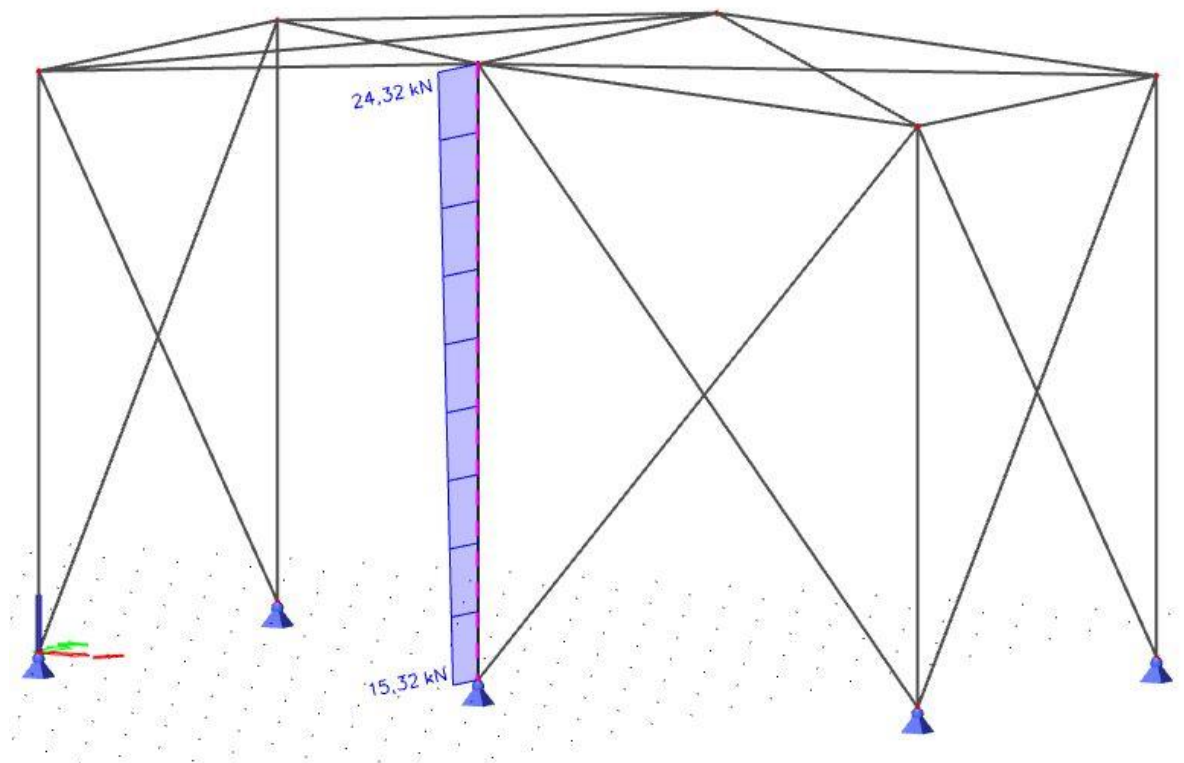
POSOUZENÍ SLOUPU VE ŠTÍTOVÉ VAZBĚ

Výpočet vnitřních sil

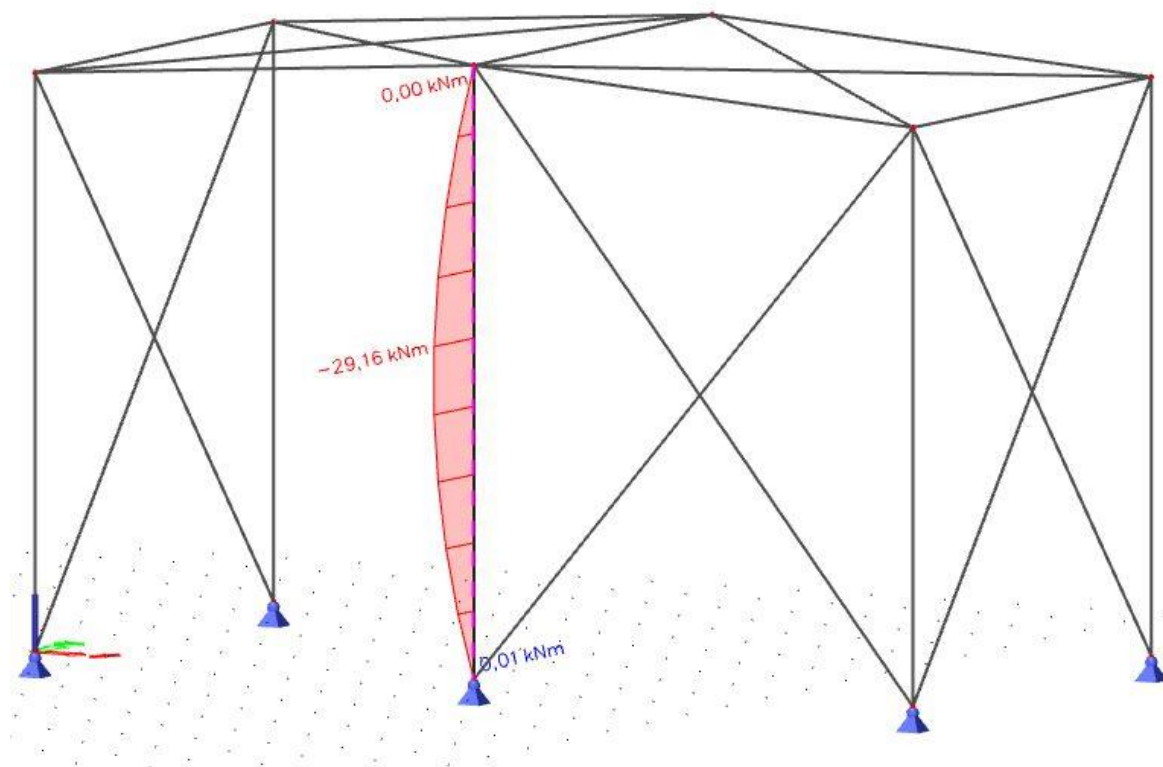
Pomocí programu Scia Engineer, nelineární kombinace a zadané imperfekce.

Příloha č. 2

Normálová síla – NC 4



Moment M_y – NC 4



$$N_{Ed} = 24,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 29,16 \text{ kNm}$$

5.1.2 Posouzení středového sloupu štítové vazby

UVAŽOVANÉ VNITŘNÍ SÍLY PRO POSOUZENÍ JSOU:

$$N_{Ed} = 24,32 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 29,16 \text{ kNm}$$

IPE 300

ocel S355

$$t_w = 7,1 \text{ mm}; t_f = 10,7 \text{ mm}; d = 248,6 \text{ mm}$$

$$I_y = 8\,356 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 125 \text{ mm}$$

$$w_{y,el} = 557,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 20,12 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$A = 5\,381 \text{ mm}^2$$

$$I_z = 603,8 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_z = 33,5 \text{ mm}$$

$$w_{y,pl} = 628,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_w = 125,9 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A_{vz} = 2\,568 \text{ mm}^2$$

ZATŘÍDĚNÍ PRŮŘEZU SLOUPU NAMÁHANÉHO KOMBINACÍ TLAKU A OHYBU

$$\chi = \frac{N_{Ed}}{t_w * f_{yd}} = \frac{24,32 * 10^3}{7,1 * 355} = 9,649 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 * d + \chi}{d} = \frac{0,5 * 248,6 + 9,649}{248,6} = 0,54 \rightarrow \alpha > 0,5$$

ZATŘÍDĚNÍ STOJINY

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{248,6}{7,1} = 35,014$$

$$\frac{396 * \varepsilon}{13 * \alpha - 1} = \frac{396 * 0,814}{13 * 0,54 - 1} = 53,546$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,814 \quad 35,014 < 53,546 \quad \checkmark$$

Podmínka pro stojinu 1. třídy průřezu je splněna.

ZATŘÍDĚNÍ PÁSNICE

$$\frac{c}{t_f} = \frac{150 * 0,5 - 7,1 * 0,5 - 15,0}{10,7} = 5,276$$

$$9 * \varepsilon = 9 * 0,814 = 7,326 \quad 5,276 < 7,326 \quad \checkmark$$

Podmínka pro pásnici 1. třídy průřezu je splněna.

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

ŠTÍHLOSTI SLOUPU

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7420}{125} = 59,36$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7420}{33,5} = 221,49$$

PŘIŘAZENÍ KŘIVEK VZPĚRNÉ PEVNOSTI

$$\frac{h}{b} = \frac{300}{150} = 2,00 > 1,2$$

$$t_f = 10,7 \leq 100 \text{ mm}$$

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

POMĚRNÉ ŠTÍHLOSTI

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

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{59,36}{76,399} = 0,78 \quad \rightarrow \quad \chi_y = 0,807$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{221,49}{76,399} = 2,90 \quad \rightarrow \quad \chi_z = 0,106$$

VLIV KLOPENÍ

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

Příloha č. 3

$$M_{cr} = 79,49 \text{ kNm}$$

SOUČINITEL KLOPENÍ

$$\lambda_{LT,y}^- = \sqrt{\frac{W_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{557,1 * 10^3 * 355}{79,49 * 10^6}} = 1,58$$

$$\chi_{LT} = 0,341 \quad (\text{tabulka, křivka } a)$$

$$\chi_{LT} = 0,341 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

$$\chi_{LT} = 0,341 \leq \frac{1}{\lambda_{LT,y}^2} = \frac{1}{1,58^2} = 0,401 \quad \checkmark$$

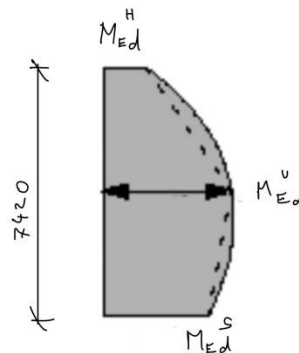
POSOUZENÍ SLOUPU NA KOMBINACI TLAKU S OHYBEM

Osa ohybu y-y

$$\Psi = 0$$

$$\alpha_s = 0$$

$$0 \leq \alpha_s \leq 1 \quad a \quad -1 \leq \Psi \leq 1$$



$$C_{my} = C_{mLT} = 0,95 + 0,05 * \alpha_s = 0,95$$

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI V TLAKU A OHYBU

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 5\,381 * 355 = 1\,910,255 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} * f_{yd} = 628,4 * 10^3 * 355 = 223,082 \text{ kNm}$$

INTERAKČNÍ SOUČINITELE

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,95 * \left(1 + (0,78 - 0,2) * \frac{24,32 * 10^3}{0,807 * \frac{1910255}{1,0}} \right) \\ 0,95 * \left(1 + 0,8 * \frac{24,32 * 10^3}{0,807 * \frac{1910255}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,959; 0,962\} = 0,959$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,90}{(0,950 - 0,25)} * \frac{24,32 * 10^3}{0,106 * \frac{1910255}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,950 - 0,25)} * \frac{24,32 * 10^3}{0,106 * \frac{1910255}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,950; 0,983\} = 0,983$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

Sloup

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

$$\frac{24,32 * 10^3}{0,807 * \frac{1910255}{1,0}} + 0,959 * \frac{29,16 * 10^6}{0,341 * \frac{223,082 * 10^6}{1,0}} = 0,383 \leq 1 \quad \checkmark$$

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

$$\frac{24,32 * 10^3}{0,106 * \frac{1910255}{1,0}} + 0,983 * \frac{29,16 * 10^6}{0,341 * \frac{223,082 * 10^6}{1,0}} = 0,497 \leq 1 \quad \checkmark$$

PODMÍNKA ÚNOSNOSTI PRO PRŮŘEZ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

$$\frac{24,32 * 10^3}{\frac{1910255}{1,0}} + \frac{29,16 * 10^6}{\frac{223,082 * 10^6}{1,0}} = 0,143 \leq 1 \quad \checkmark$$

PRŮHYB

$$\delta = \frac{5}{384} * \frac{w_{s4} * L^4}{E * I_y} = \frac{5}{384} * \frac{2,860 * 7420^4}{210 * 10^3 * 8356 * 10^4} = 6,433 \text{ mm}$$

$$\delta < \frac{L}{250} = \frac{7420}{250} = 29,68 \text{ mm} \quad \checkmark$$

PRŮŘEZ SLOUPU IPE 300 → VYHOVUJE

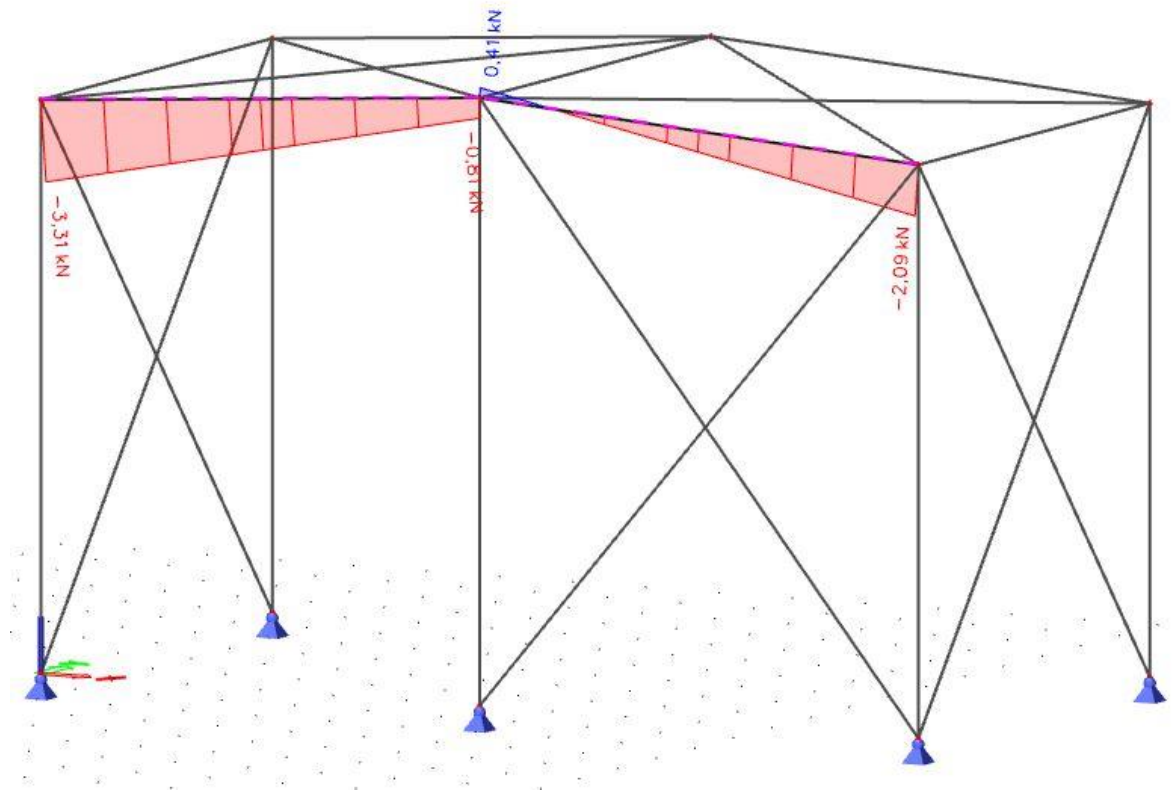
POSOUZENÍ PŘÍČLE VE ŠTÍTOVÉ VAZBĚ

Výpočet vnitřních sil

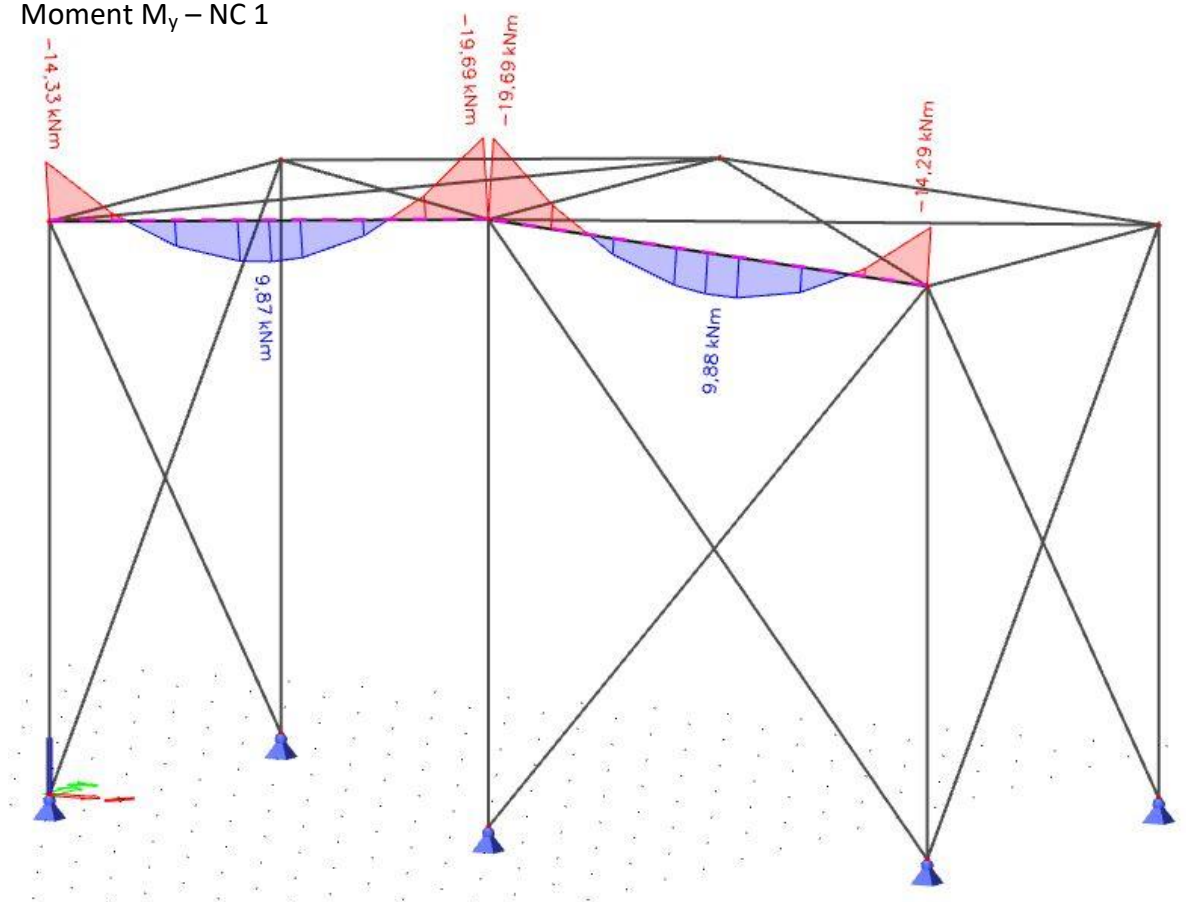
Pomocí programu Scia Engineer, nelineární kombinace a zadané imperfekce.

Příloha č. 2

Normálová síla – NC 1



Moment M_y – NC 1



5.1.3 Posouzení příčle štítové vazby

UVAŽOVANÉ VNITŘNÍ SÍLY PRO POSOUZENÍ JSOU:

$$N_{Ed} = 3,31 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 19,69 \text{ kNm}$$

HEA 120

ocel S355

$$t_w = 5,0 \text{ mm}; t_f = 8,0 \text{ mm}; d = 74,0 \text{ mm}$$

$$I_y = 606,2 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 230,9 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$i_y = 48,9 \text{ mm}$$

$$i_z = 30,2 \text{ mm}$$

$$w_{y,el} = 106,3 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$w_{y,pl} = 119,5 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_t = 5,994 * 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 6,472 * 10^9 \text{ mm}^6$$

$$A = 2\,534 \text{ mm}^2$$

$$A_{vz} = 846 \text{ mm}^2$$

Vzpěrné délky a součinitel vzpěrnosti

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

ŠTÍHLOSTI PŘÍČLE

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{6000}{48,9} = 122,699$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{6000}{30,2} = 198,675$$

PŘÍŘAZENÍ KŘIVEK VZPĚRNÉ PEVNOSTI

$$\frac{h}{b} = \frac{114}{120} = 0,95 < 1,2$$

$$t_f = 8,0 \leq 100 \text{ mm}$$

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

POMĚRNÉ ŠTÍHLOSTI

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

$$\lambda_y^- = \frac{\lambda_y}{\lambda_1} = \frac{122,699}{76,399} = 1,61 \rightarrow \chi_y = 0,305$$

$$\lambda_z^- = \frac{\lambda_z}{\lambda_1} = \frac{198,675}{76,399} = 2,60 \rightarrow \chi_z = 0,123$$

VLIV KLOPENÍ

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

Příloha č. 3

$$M_{cr} = 69,41 \text{ kNm}$$

SOUČINITEL KLOPENÍ

$$\lambda_{LT,y}^- = \sqrt{\frac{w_{el,y} * f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{106,3 * 10^3 * 355}{69,41 * 10^6}} = 0,74$$

$$\chi_{LT} = 0,761 \quad (\text{tabulka, křivka } b)$$

$$\chi_{LT} = 0,761 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

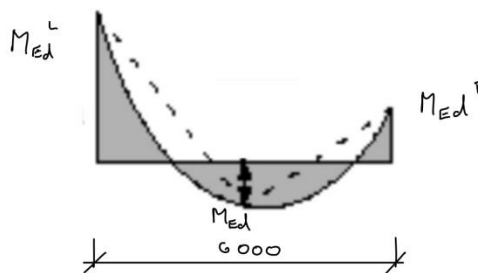
$$\chi_{LT} = 0,761 \leq \frac{1}{\lambda_{LT,y}^2} = \frac{1}{0,74^2} = 1,826 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SLOUPU NA KOMBINACI TLAKU S OHYBEM

$$\Psi = \frac{M_{Ed}^L}{M_{Ed}^P} = \frac{-14,33}{-19,69} = 0,728$$

$$\alpha_s = \frac{M_{Ed}}{M_{Ed}^P} = \frac{9,87}{-19,69} = -0,501$$

$$-1 \leq \alpha_s \leq 0 \quad \text{a} \quad 0 \leq \Psi \leq 1$$



$$C_{my} = C_{mLT} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * \alpha_s \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,1 - 0,8 * (-0,501) \\ 0,4 \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} 0,50 \\ 0,4 \end{array} \right\} = 0,50$$

CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ÚNOSNOSTI V TLAKU A OHYBU

$$N_{Rk} = A * f_{yd} = 2\,534 * 355 = 899,570 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = w_{y,pl} * f_{yd} = 119,5 * 10^3 * 355 = 42,225 \text{ kNm}$$

INTERAKČNÍ SOUČINITELE

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

$$k_{yy} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,50 * \left(1 + (1,61 - 0,2) * \frac{3,31 * 10^3}{0,305 * \frac{899570}{1,0}} \right) \\ 0,50 * \left(1 + 0,8 * \frac{3,31 * 10^3}{0,305 * \frac{899570}{1,0}} \right) \end{array} \right\}$$

$$k_{yy} = \min \{0,509\} = 0,505$$

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

$$k_{zy} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 * 2,60}{(0,50 - 0,25)} * \frac{3,31 * 10^3}{0,123 * \frac{899570}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{(0,50 - 0,25)} * \frac{3,31 * 10^3}{0,123 * \frac{899570}{1,0}} \end{array} \right\}$$

$$k_{zy} = \max \{0,969\} = 0,988$$

PODMÍNKY SPOLEHLIVOSTI

Příčel

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

$$\frac{3,31 * 10^3}{0,305 * \frac{899570}{1,0}} + 0,505 * \frac{19,69 * 10^6}{0,761 * \frac{42,225 * 10^6}{1,0}} = 0,322 \leq 1 \quad \checkmark$$

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

$$\frac{3,31 * 10^3}{0,123 * \frac{899570}{1,0}} + 0,988 * \frac{19,69 * 10^6}{0,761 * \frac{42,225 * 10^6}{1,0}} = 0,635 \leq 1 \quad \checkmark$$

PODMÍNKA ÚNOSNOSTI PRO PRŮŘEZ

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

$$\frac{3,31 * 10^3}{\frac{899570}{1,0}} + \frac{19,69 * 10^6}{\frac{42,225 * 10^6}{1,0}} = 0,470 \leq 1 \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ SMYKOVÉ ÚNOSNOSTI

Hodnoty jsou velmi nízké, smyková únosnost nerozhoduje.

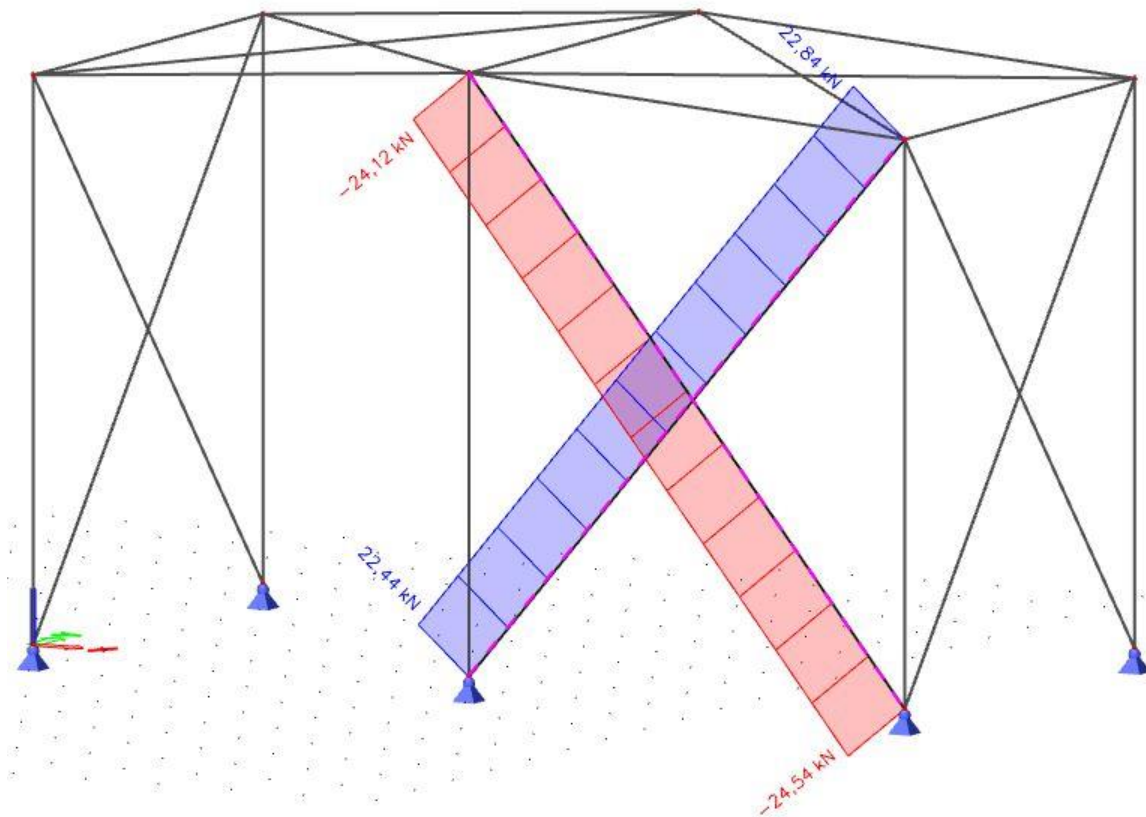
PRŮŘEZ PŘÍČLE HEA 120 → VYHOVUJE

6. NÁVRH ZTUŽIDEL

6.1 Příčné ztužení

Příloha č. 2

Normálové síly – NC 3



VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed,tah} = 22,84 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tlak} = 24,54 \text{ kN}$$

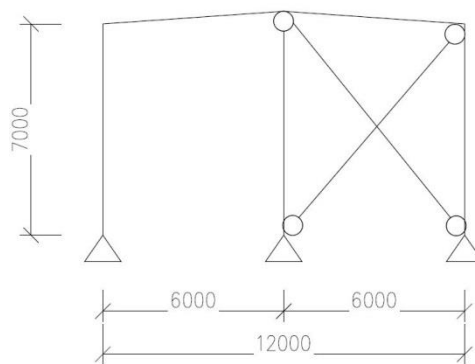
TR 70/4,0

třída 1 pro tlak, ocel S355

$$I_y = 45,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez.

$$L = \sqrt{6000^2 + 7000^2} = 9219,5 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,tah}}{N_{Ed,tlak}}} = 9219,5 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{22,84}{24,54}} = 5066 \text{ mm}$$

POMĚRNÁ ŠTÍHLOST

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{5066}{23,4} = 216,496$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{216,496}{76,399} = 2,83 \rightarrow \chi = 0,106 \text{ (tabulka, křivka c)}$$

TLAKOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,c} = \chi * A * f_y = 0,106 * 829 * 355 = 31,20 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = 31,20 \text{ kN} > N_{Ed,tlak} = 24,54 \text{ kN} \quad \checkmark$$

TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,t} = A * f_y / \gamma_{M0} = 829 * 355 / 1,0 = 294,30 \text{ kN}$$

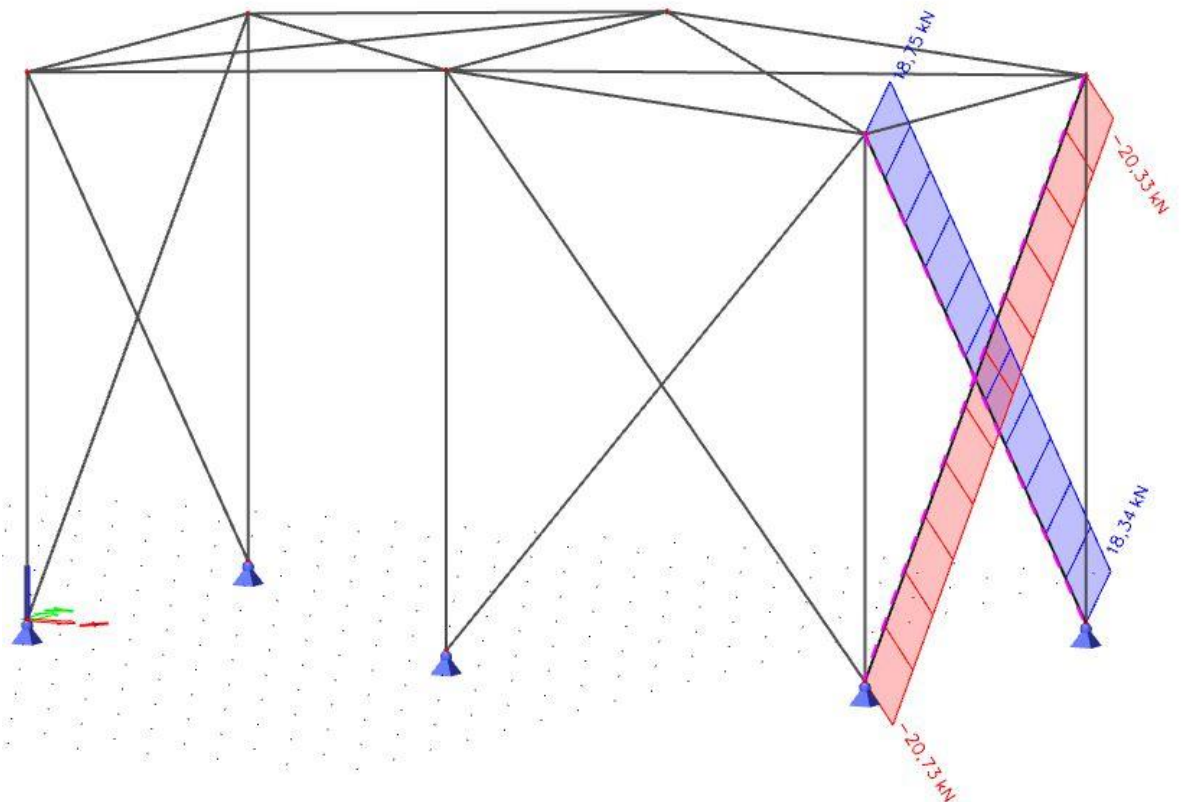
$$N_{Rd,t} = 294,30 \text{ kN} > N_{Ed,tah} = 22,84 \text{ kN} \quad \checkmark$$

NÁVRH TR 70/4,0 → VYHOVUJE

6.2 Podélné ztužení

Příloha č. 2

Normálové síly – NC 3



VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed,tah} = 18,75 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tlak} = 20,73 \text{ kN}$$

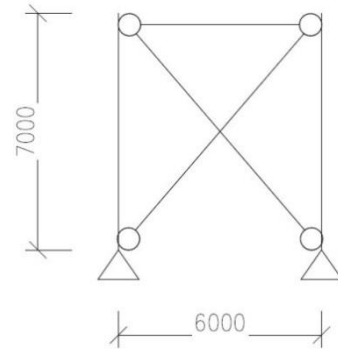
TR 70/4,0

třída 1 pro tlak, ocel S355

$$I_y = 45,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez.

$$L = \sqrt{6000^2 + 7000^2} = 9219,5 \text{ mm}$$

$$L_{cr,z} = L * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,tah}}{N_{Ed,tlak}}} = 9219,5 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{18,75}{20,73}} = 5229 \text{ mm}$$

POMĚRNÁ ŠTÍHLOST

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{5229}{23,4} = 223,462$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{223,462}{76,399} = 2,92 \rightarrow \chi = 0,100 \text{ (tabulka, křivka c)}$$

TLAKOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,c} = \chi * A * f_y = 0,100 * 829 * 355 = 29,43 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = 29,43 \text{ kN} > N_{Ed,tlak} = 20,73 \text{ kN} \quad \checkmark$$

TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,t} = A * f_y / \gamma_{M0} = 829 * 355 / 1,0 = 294,30 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,t} = 294,30 \text{ kN} > N_{Ed,tah} = 18,75 \text{ kN} \quad \checkmark$$

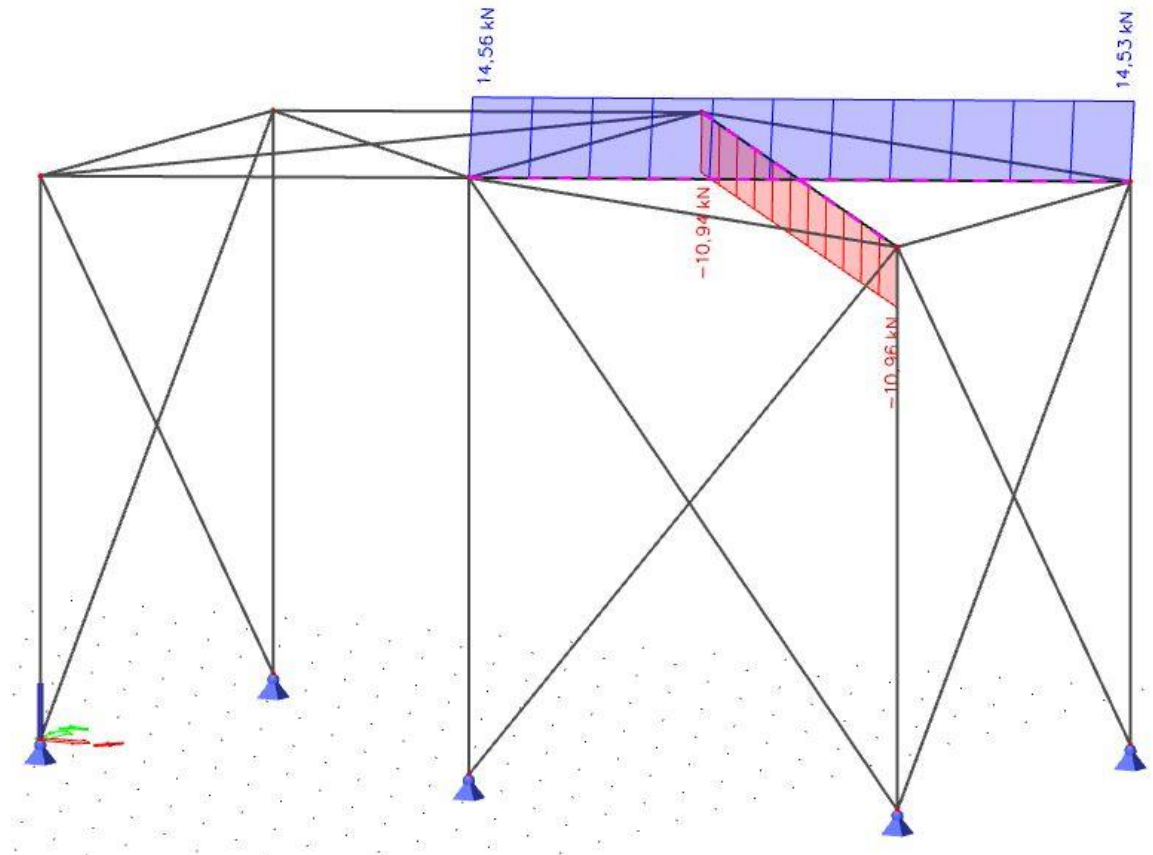
NÁVRH TR 70/4,0 → VYHOVUJE

6.3 Příčné ztužidlo ve střešní rovině

6.3.1 Diagonály

Příloha č. 2

Normálové síly – NC 3



VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed,tah} = 14,56 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,tlak} = 10,96 \text{ kN}$$

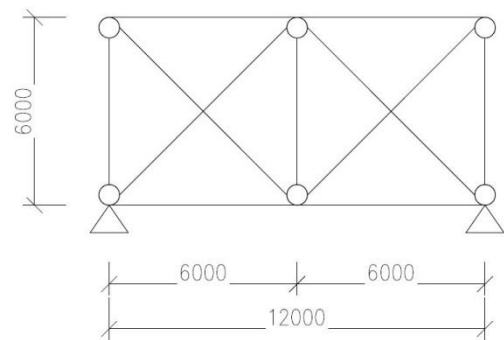
TR 70/4,0

třída 1 pro tlak, ocel S355

$$I_y = 45,3 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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



Vzpěrná délka

Obě diagonály mají shodný průřez.

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

$$L_{cr,z} = L * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{N_{Ed,tah}}{N_{Ed,tlak}}} = 8485 * \sqrt{1 - 0,75 * \frac{10,96}{14,56}} = 5599 \text{ mm}$$

POMĚRNÁ ŠTÍHLOST

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{5599}{23,4} = 239,274$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{239,274}{76,399} = 3,13 \rightarrow \chi = 0,088 \text{ (tabulka, křivka c)}$$

TLAKOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,c} = \chi * A * f_y = 0,088 * 829 * 355 = 25,90 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = 25,90 \text{ kN} > N_{Ed,tlak} = 10,96 \text{ kN} \quad \checkmark$$

TAHOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,t} = A * f_y / \gamma_{M0} = 829 * 355 / 1,0 = 294,30 \text{ kN}$$

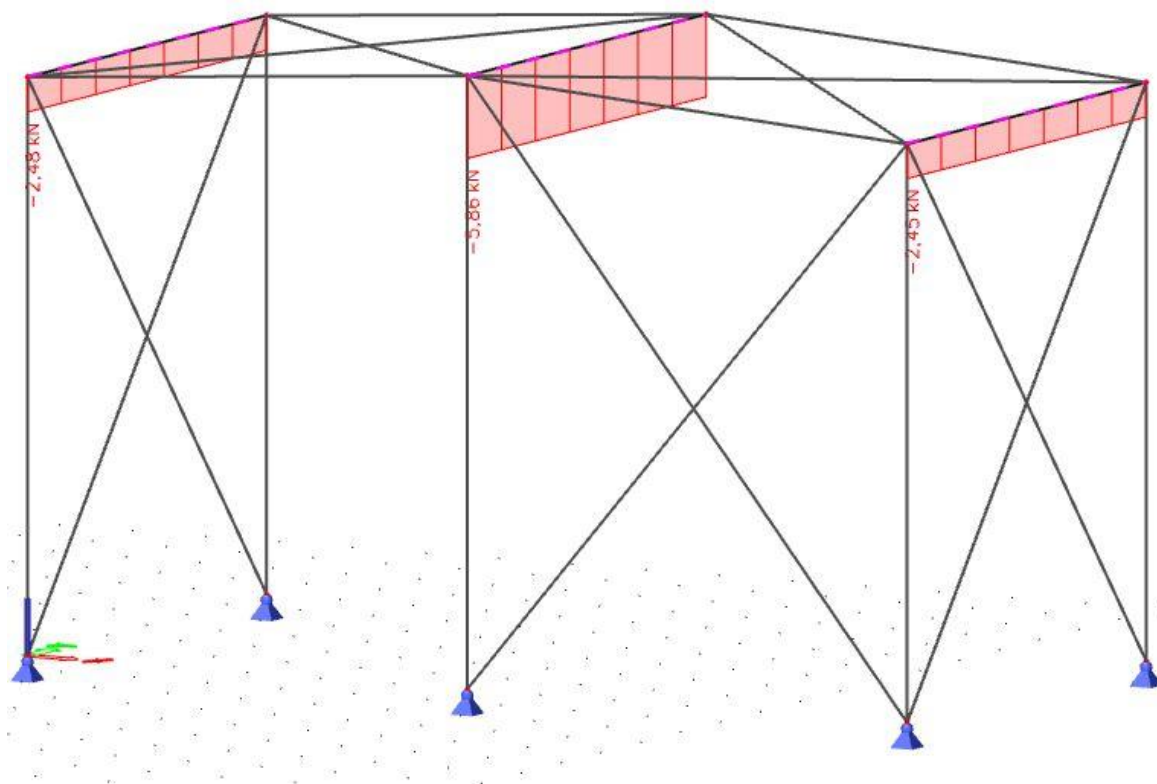
$$N_{Rd,t} = 294,30 \text{ kN} > N_{Ed,tah} = 14,56 \text{ kN} \quad \checkmark$$

NÁVRH TR 70/4,0 → VYHOVUJE

6.3.2 Svislice

Příloha č. 2

Normálové síly – NC 5



VNITŘNÍ SÍLY

$$N_{Ed,tlak} = 5,86 \text{ kN}$$

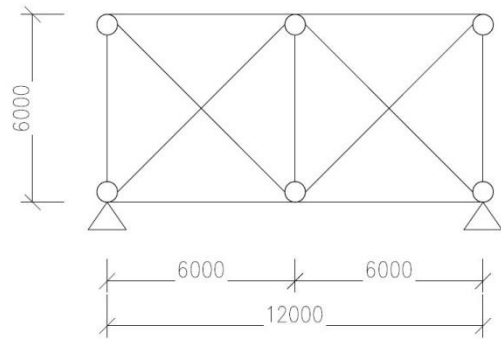
TR 76/4,0

třída 1 pro tlak, ocel S355

$$I_y = 58,8 * 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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



Vzpěrná délka

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

POMĚRNÁ ŠTÍHLOST

$$\lambda = \frac{L_{cr,z}}{i} = \frac{6000}{25,5} = 235,294$$

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

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{235,294}{76,399} = 3,08 \rightarrow \chi = 0,091 \text{ (tabulka, křivka c)}$$

TLAKOVÁ ÚNOSNOST

$$N_{Rd,c} = \chi * A * f_y = 0,091 * 905 * 355 = 29,24 \text{ kN}$$

$$N_{Rd,c} = 29,24 \text{ kN} > N_{Ed,tlak} = 5,86 \text{ kN} \quad \checkmark$$

NÁVRH TR 76/4,0 → VYHOVUJE

7. RÁMOVÝ ROH

str. 23,24

VNITŘNÍ SÍLY

$$M_{Ed} = 113,70 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 57,91 \text{ kN}$$

Šrouby M24 třídy pevnosti 8.8, $f_{yb} = 640 \text{ MPa}$, $f_{ub} = 800 \text{ MPa}$

Profil IPE 400, ocel S355, $f_u = 490 \text{ MPa}$

$$t_w = 8,6 \text{ mm}; t_f = 13,5 \text{ mm}; d = 331,0 \text{ mm}$$

7.1 Návrh svarů

Konzervativně se svary navrhnou na plnou únosnost průřezu.

Svar čelní desky a tažené pásnice příčle

$$a_1 \geq \frac{t_f}{2} * \left(\frac{f_y}{\gamma_{m0}} \right) * \left(\frac{\beta_w * \gamma_{m2}}{f_u / \sqrt{2}} \right) = \frac{13,5}{2} * \left(\frac{355}{1,0} \right) * \left(\frac{0,8 * 1,25}{490 / \sqrt{2}} \right) = 6,916$$

$$a_1 = 7,0 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a tlačené pásnice příčle

Pro jednoduchost je svar uvažován stejné tloušťky jako u horní pásnice.

$$a_2 = 7,0 \text{ mm}$$

Svar čelní desky a stojiny příčle

$$a_3 \geq \frac{t_w}{2} * \left(\frac{f_y}{\gamma_{m0}} \right) * \left(\frac{\beta_w * \gamma_{m2}}{f_u / \sqrt{2}} \right) = \frac{8,6}{2} * \left(\frac{355}{1,0} \right) * \left(\frac{0,8 * 1,25}{490 / \sqrt{2}} \right) = 4,406$$

$$a_3 = 5,0 \text{ mm}$$

Svar výztuhy a stojiny sloupu

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

$$a_3 = 5,0 \text{ mm}$$

7.2 Únosnost dílčích komponent

Dílčí komponenty budou navrženy odhadem a to na základě tlouštěk sloupu a příčle.

Výztuha stojiny sloupu

$$t_v \approx t_f - \text{tloušťka pásnice příčle} \rightarrow t_v = 15 \text{ mm}$$

Tloušťka čelní desky

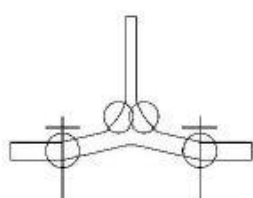
$$t_d \approx t_f - \text{tloušťka pásnice sloupu} \rightarrow t_d = 20 \text{ mm}$$

7.3 Výpočet únosnosti řad šroubů v tahu

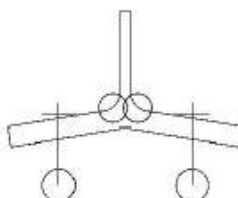
Pro výpočet únosnosti ohýbané pásnice a čelní desky se používá model náhradního T-průřezu. Jeho únosnost je dána jedním ze tří způsobů porušení podle následující tabulky.

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

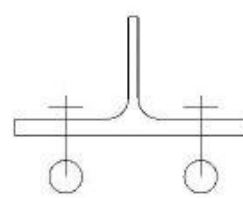
Grafické znázornění způsobů porušení



Způsob 1



Způsob 2



Způsob 3

Únosnost jednoho šroubu v tahu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_{ub}}{\gamma_{m,2}} = \frac{0,9 \cdot 353 \cdot 800}{1,25} = 203,3 \text{ kN}$$

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,1} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{m0}} \quad t_{fc} = 13,5 \text{ mm}$$

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} \cdot l_{eff,2} \cdot t_{fc}^2 \cdot \frac{f_y}{\gamma_{m0}}$$

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

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

7.3.1 Výpočet 1. řady šroubů

Součinitel α pro vyztužené pásnice sloupu a čelní desky se vypočítá podle grafu z normy ČSN EN 1993-1-8.

$$c_1 = 0,8 * a_1 * \sqrt{2} = 0,8 * 7,0 * \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

$$m_2 = 44 - c_1 = 44 - 7,92 = 36,08 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 * a_3 * \sqrt{2} = 0,8 * 5,0 * \sqrt{2} = 5,66 \text{ mm}$$

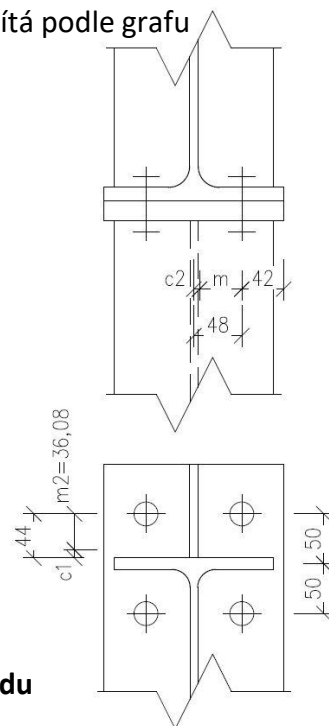
$$m = 48 - c_2 = 48 - 5,66 = 42,34 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{42,34}{42,34 + 42} = 0,51$$

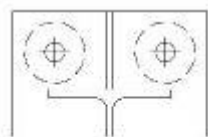
$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{36,08}{42,34 + 42} = 0,44$$

$$\alpha = 5,8$$

$$n = \min(e; 1,25 * m) = (42; 1,25 * 42,34) = 42 \text{ mm}$$



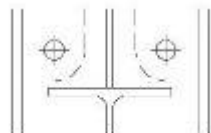
Výpočet efektivní šířky náhradního T- průřezu pro koncovou řadu šroubů s výztuhou



$$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 42,34$$

$$l_{eff,cp} = 266,03 \text{ mm}$$

Kruhové porušení



$$l_{eff,nc} = \alpha * m = 5,8 * 42,34$$

$$l_{eff,nc} = 245,57 \text{ mm}$$

Nekruhové porušení

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = (266,03; 245,57) = 245,57 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 245,57 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,rd} = M_{pl,2,rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1}{4} * 245,57 * 13,5^2 * \frac{355}{1,0}$$

$$= 3,972 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost koncové řady šroubů s výztuhou

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 3,972 * 10^6}{42,34} = 375,248 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 3,972 * 10^6 + 42 * 2 * 203,3 * 10^3}{42,34 + 42} = 296,671 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 403,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = (375,248; 296,671; 403,3) = 296,671 \text{ kN}$$

7.3.2 Výpočet 2. řady šroubů

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T- průřezu.

$$c_1 = 0,8 * a_1 * \sqrt{2} = 0,8 * 7,0 * \sqrt{2} = 7,92 \text{ mm}$$

$$m_2 = 44 - c_1 = 44 - 7,92 = 36,08 \text{ mm}$$

$$c_2 = 0,8 * a_3 * \sqrt{2} = 0,8 * 5,0 * \sqrt{2} = 5,66 \text{ mm}$$

$$m = 48 - c_2 = 48 - 5,66 = 42,34 \text{ mm}$$

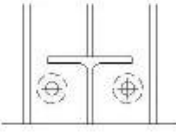
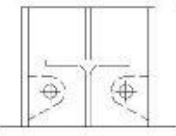
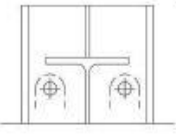
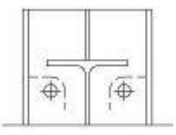
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{42,34}{42,34 + 42} = 0,51$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{36,08}{42,34 + 42} = 0,44$$

$$\alpha = 5,8$$

$$n = \min(e; 1,25 * m) = (42; 1,25 * 42,34) = 42 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky náhradního T- průřezu pro řadu šroubů pod taženou pásnicí

Řada šroubů působí samostatně		Kruhové porušení	$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 42,34$ $l_{eff,cp} = 266,03 \text{ mm}$
		Nekruhové porušení	$l_{eff,nc} = \alpha * m = 5,8 * 42,34$ $l_{eff,nc} = 245,57 \text{ mm}$
Řada šroubů působí jako součást skupiny		Kruhové porušení	$l_{eff,cp} = \pi * m + p = \pi * 42,34 + 109$ $l_{eff,cp} = 242,02 \text{ mm}$
		Nekruhové porušení	$l_{eff,nc} = 0,5 * p + \alpha * m - (2 * m + 0,625 * e)$ $l_{eff,nc} = 189,14 \text{ mm}$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,nc}) = (242,02; 189,14) = 189,14 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 189,14 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1}{4} * 189,14 * 13,5^2 * \frac{355}{1,0} = 3,06 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost řady šroubů pod taženou pásnicí

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 3,06 * 10^6}{42,34} = 289,088 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 3,06 * 10^6 + 42 * 2 * 203,3 * 10^3}{42,34 + 42} = 275,044 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 403,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = (289,088; 275,044; 403,3) = 275,044 \text{ kN}$$

7.3.3 Výpočet 3. řady šroubů

Stanovení únosnosti pásnice náhradního T- průřezu.

$$c_2 = 0,8 * a_3 * \sqrt{2} = 0,8 * 5,0 * \sqrt{2} = 5,66 \text{ mm}$$

$$m = 48 - c_2 = 48 - 5,66 = 42,34 \text{ mm}$$

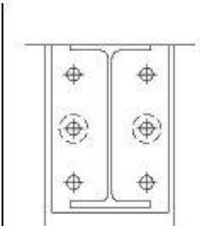
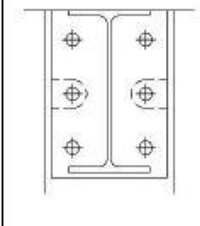
$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{42,34}{42,34 + 42} = 0,51$$

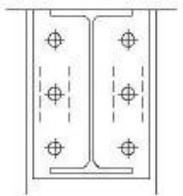
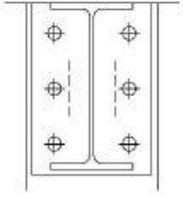
$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{109}{42,34 + 42} = 1,29$$

$$\alpha = 5,25$$

$$n = \min(e; 1,25 * m) = (42; 1,25 * 42,34) = 42 \text{ mm}$$

Výpočet efektivní šířky náhradního T- průřezu pro vnitřní řadu šroubů

Řada šroubů působí samostatně		Kruhové porušení	$l_{eff,cp} = 2 * \pi * m = 2 * \pi * 42,34$ $l_{eff,cp} = 266,03 \text{ mm}$
		Nekruhové porušení	$l_{eff,op} = 4 * m + 1,25 * e$ $l_{eff,op} = 4 * 42,34 + 1,25 * 42$ $l_{eff,op} = 221,86 \text{ mm}$

Řada šroubů působí jako součást skupiny		Kruhové porušení	$l_{eff,cp} = 2 * p = 2 * 109$ $l_{eff,cp} = 218 \text{ mm}$
		Nekruhové porušení	$l_{eff,op} = p$ $l_{eff,op} = 109 \text{ mm}$

$$l_{eff,1} = \min(\min l_{eff,cp}; \min l_{eff,op}) = (218; 109) = 109 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,op} = 109 \text{ mm}$$

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} * l_{eff,1} * t_{fc}^2 * \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = \frac{1}{4} * 109 * 13,5^2 * \frac{355}{1,0} = 1,76 \text{ kNm}$$

Návrhová únosnost vnitřní řady šroubů

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4 * M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 * 1,76 * 10^6}{42,34} = 166,273 \text{ kN}$$

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2 * M_{pl,2,Rd} + n * \Sigma F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 * 1,76 * 10^6 + 42 * 2 * 203,3 * 10^3}{42,34 + 42} = 244,216 \text{ kN}$$

$$F_{t,c,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} = 2 * 203,3 = 403,3 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = (166,273; 244,216; 403,3) = 166,273 \text{ kN}$$

7.3.4 Výpočet 4. řady šroubů – smyková únosnost

Šrouby ve 4. řadě se použijí pro přenos smykové síly, tato řada nebude konzervativně uvažována pro výpočet momentové únosnosti.

Šrouby M24 třídy 8.8 $\rightarrow \alpha_v = 0,6$

Únosnost jednoho šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * A_s * f_{ub}}{\gamma_{m2}} = \frac{0,6 * 353 * 800}{1,25} = 135,55 \text{ kN}$$

Únosnost v otláčení

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

$t_f = 13,5 \text{ mm}$ – tloušťka pásnice sloupu

$t_d = 20 \text{ mm}$ – tloušťka čelní desky

$$\alpha_b = \min\left(\frac{e_1}{3 * d_0}; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1,0\right) = \left(\frac{50}{3 * 26}; \frac{800}{490}; 1,0\right) = (0,64; 1,63; 1,0) = 0,64$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \left(2,8 * \frac{42}{26} - 1,7; 2,5\right) = (2,82; 2,5) = 2,5$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{m2}} = \frac{2,5 * 0,64 * 490 * 24 * 13,5}{1,25} = 203,212 \text{ kN}$$

Posouzení únosnosti ve smyku

$$V_{Rd} = 2 * \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 * \min(135,55; 203,212) = 2 * 135,55 = 271,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 271,1 \text{ kN} > V_{Ed} = 57,91 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Rámový spoj vyhovuje na smykovou únosnost.

7.3.5 Únosnost základních komponent

Únosnost pásnice příče v tlaku

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{w_{pl,y} * f_{yk}}{(h - t_f) * \gamma_{m0}} = \frac{804,3 * 10^3 * 355}{(330 - 11,5) * 1,0} = 896,473 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} = 896,473 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 296,671 + 275,044 + 166,273 = 737,988 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku

Ověření třídy průřezu stěny sloupu.

$$\frac{d}{t_w} = \frac{331,0}{8,6} = 38,488 \leq 69 * \varepsilon = 69 * \sqrt{\frac{235}{355}} = 56,140 \quad \checkmark$$

Stěna sloupu vyhovuje podmínce pro 1. třídu průřezu.

Únosnost

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 * f_y * A_{vz}}{\sqrt{3} * 1,0} = \frac{0,9 * 355 * 4269}{\sqrt{3} * 1,0} = 787,474 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 787,474 \geq \sum_{i=1}^n F_{t,i,Rd} = 296,671 + 275,044 + 166,273 = 737,988 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Obě podmínky vyhoví → není nutné přidávat výztuhy

Rozdělení sil a momentové únosnosti

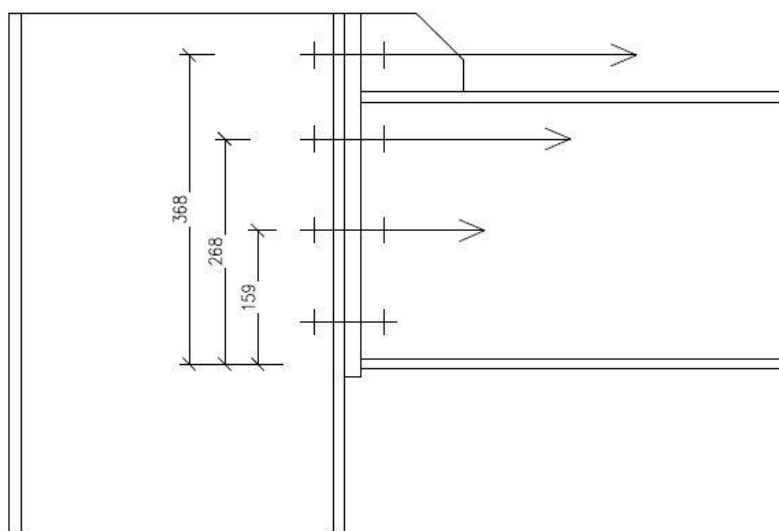
$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 * F_{t,Rd}$$

$$F_{t,1,Rd} = 296,671 \text{ kN} \leq 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 203,3 = 386,27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$F_{t,2,Rd} = 275,044 \text{ kN} \leq 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 203,3 = 386,27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$F_{t,3,Rd} = 166,273 \text{ kN} \leq 1,9 * F_{t,Rd} = 1,9 * 203,3 = 386,27 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Všechny podmínky byly splněny, a tak lze uvažovat plastické rozdělení sil.



Řada	Únosnost řady $F_{t,i,Rd}$	Rameno h_i	$M_{Rd,i}$
1	296,671 kN	368 mm	109,175 kNm
2	275,044 kN	268 mm	73,712 kNm
3	166,273 kN	159 mm	26,437 kNm
Σ			209,324 kNm

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

$$M_{Rd} = 209,324 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 113,70 \text{ kNm} \quad \checkmark$$

Momentová únosnost navrženého styčníku vyhovuje.

8. PATKA SLOUPU

8.1 Patka hlavní rámové vazby

8.1.1 Návrh betonového základu

Beton C 20/25

Maximální svislé zatížení sloupu $N_{Ed} = 72,50 \text{ kN}$

Návrhová únosnost zeminy $R_d = 300 \text{ kN}$

Odhad rozměrů:

$$a \times b = 800 \times 800 \text{ mm}$$

$$tg45^\circ = \frac{h_{min}}{(800 - 400)/2} \rightarrow h_{min} = 200 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

Požadovaná efektivní plocha

$$A_{req} = \frac{N_{Ed} + N_{G0}}{R_d} = \frac{72,50 + 0,8 * 0,8 * 1,0 * 25 * 1,35}{300} = 0,314 \text{ m}^2$$

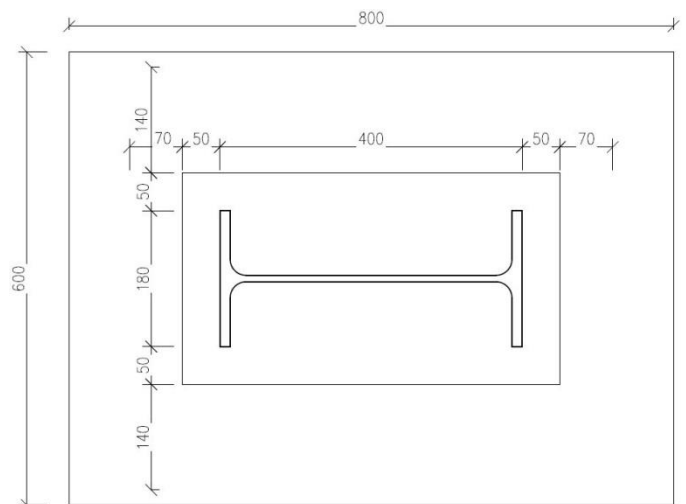
$$b_c = 0,8 \text{ m}; a_c = 0,8 \text{ m}; h = 1,0 \text{ m}$$

$$A = b_c * a_c = 0,8 * 0,8 = 0,64 \text{ m}^2$$

Vlastní tíha patky

$$N_{G0} = 0,8 * 0,8 * 1,0 * 25 * 1,0$$

$$N_{G0} = 16,0 \text{ kN} \geq N_{Ed,tah} = 15,93 \text{ kN}$$



$$N_{Ed,max} = 72,50 + 0,8 * 0,8 * 1,0 * 25 * 1,35 = 94,1 \text{ kN}$$

Započitatelné rozměry betonové patky

$$a_1 = \min(a_c; 3 * a_0; a_0 + h) = (800; 3 * 280; 280 + 1000) = 800 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 * b_0; b_0 + h; b_c) = (3 * 500; 500 + 500; 800) = 800 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{800 * 800}{280 * 500}} = 2,14$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{2/3 * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2/3 * 2,14 * 20}{1,5} = 19,02 \text{ MPa}$$

Tloušťka podlití

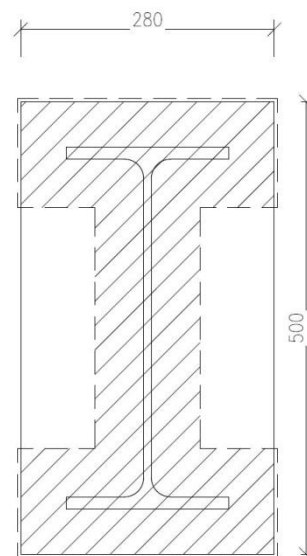
$$t_b \leq 0,2 * \min(a_0; b_0) = 0,2 * \min(280; 500) \\ \leq 0,2 * 280 \\ \leq 56 \text{ mm} \\ \rightarrow t_b = 30 \text{ mm}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{355}{3 * 19,02}} = 49,89 \text{ mm}$$

Efektivní plocha

$$A_{eff} = 96\,376 \text{ mm}^2$$



Únosnost patky v tlaku

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 96\,376 * 19,02 * 10^{-3} = 1\,833,072 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1\,833,072 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 88,7 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Patka na tlak vyhovuje.

Kotevní šrouby

Dle softwaru PROFIS Engineering od společnosti Hilti

Lepená rozpěrná kotva bez čistění HIT-HY 200-A a kotevní šroub HIT-Z M20

Příloha č. 4

NC4

$$N_{Ed,tah} = 15,93 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 26,54 \text{ kN}$$

Únosnost patky a kotevních šroubů v tahu

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení ocelí*	3,982	97,333	5	OK
Porušení vytažením*	3,982	100,000	4	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	15,930	83,957	19	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

Únosnost patky a kotevních šroubů ve smyku

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_v [%]	Stav
Porušení oceli (bez distanční montáže)*	6,635	58,400	12	OK
Porušení oceli (s distanční montáží)*	6,635	11,847	57	OK
Porušení vylomením betonu**	26,540	214,930	13	OK
Porušení okraje betonu ve směru y+**	26,540	45,122	59	OK

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (rovnocenné kotvy)

Patka i kotevní šrouby na tah a smyk vyhovují.

8.2 Patka prostředního sloupu štítové vazby a ztužidla

8.2.1 Návrh betonového základu

Beton C 20/25

Maximální svislé zatížení sloupu

$$N_{Ed} = N_{Ed,sloup} + N_{Ed,diagonála} = 48,50 + 1,59 * \sin(49,4^\circ) = 49,71 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost zeminy $R_d = 300 \text{ kN}$

Odhad rozměrů:

$$a \times b = 1100 \times 1200 \text{ mm}$$

$$\tan 45^\circ = \frac{h_{min}}{(1200 - 400)/2}$$

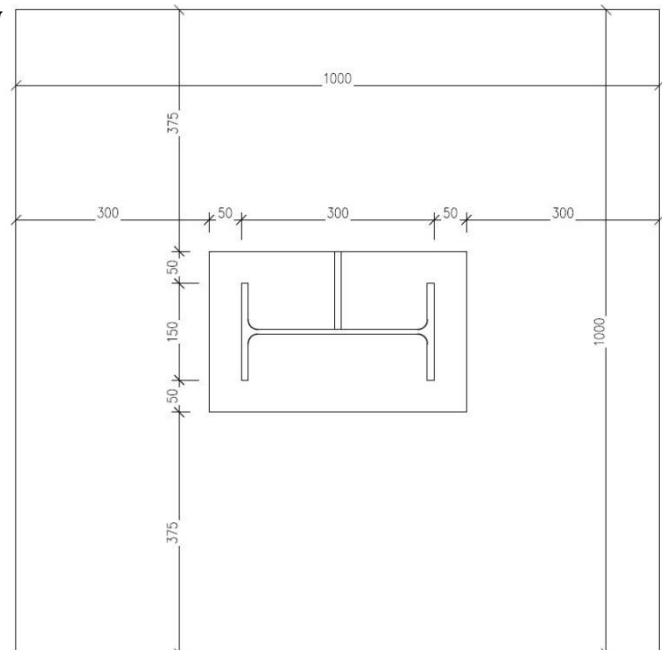
$$\rightarrow h_{min} = 400 \text{ mm}$$

$$h = 1000 \text{ mm}$$

Vlastní tíha patky

$$N_{G0} = 1,2 * 1,1 * 1,0 * 25 * 1,0$$

$$N_{G0} = 33,0 \text{ kN} \geq N_{Ed,tah} = 32,59 \text{ kN}$$



$$N_{Ed,max} = 49,71 + 1,2 * 1,1 * 1,0 * 25 * 1,35 = 94,26 \text{ kN}$$

Započítatelné rozměry betonové patky

$$a_1 = \min(a_c; 3 * a_0; a_0 + h) = (1100; 3 * 250; 250 + 1000) = 750 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 * b_0; b_0 + h; b_c) = (3 * 400; 400 + 1000; 1200) = 1200 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 * b_1}{a_0 * b_0}} = \sqrt{\frac{750 * 1200}{250 * 400}} = 3,0$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{2/3 * k_j * f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2/3 * 3,0 * 20}{1,5} = 26,67 \text{ MPa}$$

Tloušťka podlití

$$t_b \leq 0,2 * \min(a_0; b_0) = 0,2 * \min(250; 400)$$

$$\leq 0,2 * 250$$

$$\leq 50 \text{ mm}$$

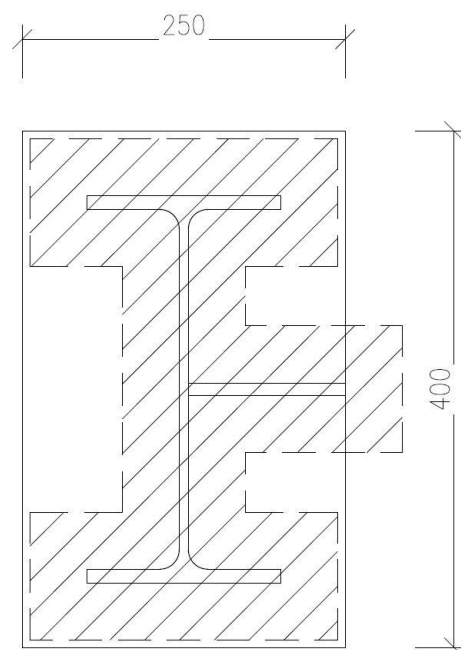
$$\rightarrow t_b = 30 \text{ mm}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p * \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 * f_{jd}}} = 20 * \sqrt{\frac{355}{3 * 26,67}} = 42,13 \text{ mm}$$

Efektivní plocha

$$A_{eff} = 77\,032 \text{ mm}^2$$



Únosnost patky v tlaku

$$N_{Rd} = A_{eff} * f_{jd} = 77\,032 * 26,67 * 10^{-3} = 2\,054,44 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 2\,054,44 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 83,46 \text{ kN} \quad \checkmark$$

Patka na tlak vyhovuje.

Kotevní šrouby

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

Lepená rozpěrná kotva bez čistění HIT-HY 200-A a kotevní šroub HIT-Z M20

NC4

$$N_{Ed,tah} = 15,07 + 23,08 * \sin(49,4^\circ) = 32,59 \text{ kN}$$

Únosnost patky a kotevních šroubů v tahu

	Zatížení [kN]	Únosnost [kN]	Využití β_N [%]	Stav
Porušení oceli*	8,148	97,333	9	OK
Porušení vytažením*	8,148	100,000	9	OK
Porušení vytržením betonového kuželu**	32,590	83,957	39	OK
Porušení rozštěpením**	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici	Není k dispozici

* nejnepříznivější kotva ** skupina kotev (kotvy v tahu)

Únosnost ve smyku

Posouvající síly – uvažována největší vodorovná reakce působící v patě sloupu ztužidla

$$V_{Ed,y} = 15,02 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 15,92 \text{ kN}$$

8.2.2 Návrh smykové zarážky

délka zarážky 80 mm

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

$$M_{Ed,y} = V_{Ed,y} * e = 15,02 * 10^3 * 55 = 0,826 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z} = V_{Ed,z} * e = 15,92 * 10^3 * 55 = 0,876 \text{ kNm}$$

HEA 100

ocel S355, třída průřezu 1

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

$$w_{y,pl} = 83,01 * 10^3 \text{ mm}^3$$

$$w_{z,pl} = 41,14 * 10^3 \text{ mm}^3$$

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

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

POSOUZENÍ NA SMYK

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

$$V_{Rd,y} = 327,935 \text{ kN} > V_{Ed,y} = 15,02 \text{ kN} \quad \checkmark$$

$$V_{Rd,z} = \frac{A_{vz} * f_y}{\sqrt{3} * \gamma_{M0}} = \frac{756 * 355}{\sqrt{3} * 1,0} = 154,946 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,z} = 154,946 \text{ kN} > V_{Ed,z} = 15,92 \text{ kN} \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ NA OHYB

$$\frac{M_{Ed,y}}{w_{y,pl} * f_y} + \frac{M_{Ed,z}}{w_{z,pl} * f_y} = \frac{0,826 * 10^6}{83,01 * 10^3 * 355} + \frac{0,876 * 10^6}{41,14 * 10^3 * 355} = 0,09 \leq 1,0 \quad \checkmark$$

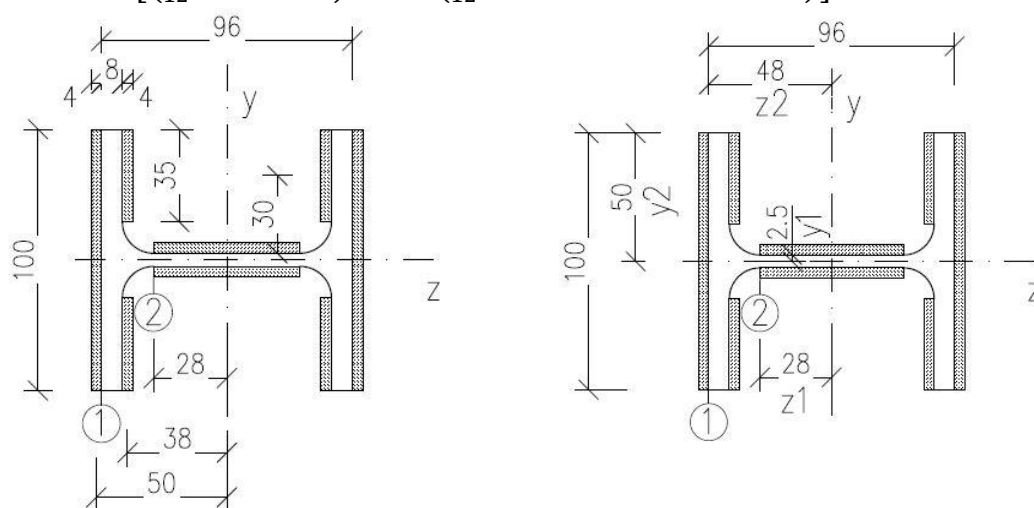
Zarážka vyhovuje.

Svarový přípoj zarážky k patnímu plechu

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

$$I_{w,y} = 2 * \left[\left(\frac{1}{12} * 4^3 * 100 + 100 * 4 * 50^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * 4^3 * 35 + 35 * 4 * 38^2 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * 28^3 * 4 + 28 * 4 * 14^2 \right) \right] = 2,928 * 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{w,z} = 2 * \left[\left(\frac{1}{12} * 100^3 * 4 \right) + 2 * \left(\frac{1}{12} * 35^3 * 4 + 35 * 4 * 30^2 \right) \right] = 1,228 * 10^6 \text{ mm}^4$$



POSOUZENÍ V BODĚ 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,y}}{2 * a * l} = \frac{15,02 * 10^3}{2 * 4 * 100 + 4 * 4 * 35} = 11,044 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{V_{Ed,z} * e}{I_{w,y}/z_2} + \frac{V_{Ed,y} * e}{I_{w,z}/y_2} \right)$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{15,92 * 10^3 * 55}{\frac{2,928 * 10^6}{48}} + \frac{15,02 * 10^3 * 55}{\frac{1,228 * 10^6}{50}} \right) = 33,93 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{33,93^2 + 3 * (33,93^2 + 11,044^2)} = 70,505 \text{ MPa}$$

$$70,505 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

$$\sigma_{\perp} = 33,93 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

POSOUZENÍ V BODĚ 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed,z}}{2 * a * l} = \frac{15,92 * 10^3}{2 * 4 * (2 * 28)} = 35,54 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \tau_{\perp} = \sigma_{\perp} &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{V_{Ed,z} * e}{I_{w,y}/z_1} + \frac{V_{Ed,y} * e}{I_{w,z}/y_1} \right) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} * \left(\frac{15,92 * 10^3 * 55}{\frac{2,928 * 10^6}{28}} + \frac{15,02 * 10^3 * 55}{\frac{1,228 * 10^6}{2,5}} \right) = 7,12 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{7,12^2 + 3 * (7,12^2 + 35,54^2)} = 63,18 \text{ MPa}$$

$$63,18 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

$$\sigma_{\perp} = 7,12 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Svar zarážky vyhovuje.

8.3 Návrh přípoje diagonály

8.3.1 Návrh šroubů

šrouby M16 8.8

$$N_{Ed,max} = 23,08 \text{ kN}$$

Únosnost ve stříhu

závit po celé délce šroubu, jedna střížná plocha

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

Únosnost v otláčení

ocel S355, běžné rozteče

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

Potřebný počet šroubů

Rozhoduje únosnost ve stříhu. Tloušťka styčnickového plechu diagonály je 10 mm.

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{23,08}{60,3} = 0,383$$

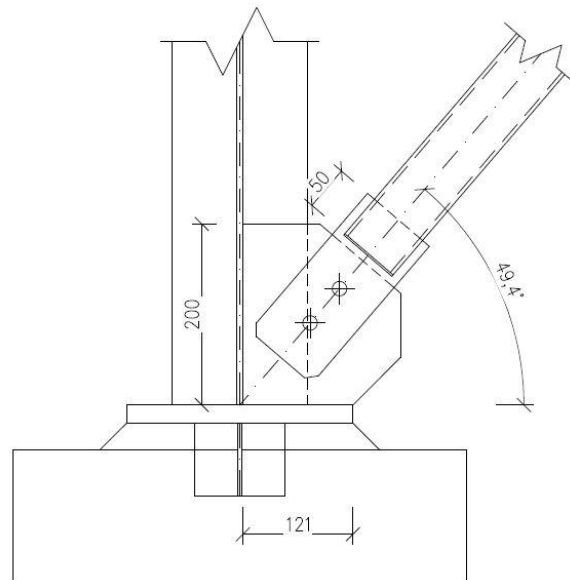
$$2 * 60,3 = 120,6 \text{ kN} > N_{Ed,max} = 23,08 \text{ kN}$$

Návrh 2xšroub M16 8.8

8.3.2 Návrh a posouzení svarů

Svislý svarový přípoj styčnickového plechu ke stojině sloupu IPE 300

2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$
 $L = 200 \text{ mm}$



$$F_{Sd} = N_{Ed,max} * \sin\alpha = 23,08 * \sin(49,4^\circ) = 17,52 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Sd}}{2 * a * L} = \frac{17,52 * 10^3}{2 * 4 * 200} = 10,95 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 * 10,95^2} = 18,97 \text{ MPa}$$

$$18,97 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Svar a = 4 mm vyhovuje.

Vodorovný svarový přípoj styčnickového plechu k patnímu plechu P20

$$\begin{aligned} 2x \text{ koutový svar} \quad a &= 4 \text{ mm} \\ L &= 121 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$F_{Vd} = N_{Ed,max} * \cos\alpha = 23,08 * \cos(49,4^\circ) = 15,02 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{Vd}}{2 * a * L} = \frac{15,02 * 10^3}{2 * 4 * 121} = 15,52 \text{ MPa}$$

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

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 * 15,52^2} = 26,88 \text{ MPa}$$

$$26,88 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Svar a = 4 mm vyhovuje.

Svarový přípoj diagonály TR 70/4,0 ke styčnickovému plechu P10

$$\begin{aligned} 4x \text{ koutový svar} \quad a &= 4 \text{ mm} \\ L &= 50 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$N_{Ed,max} = 23,08 \text{ kN}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,max}}{4 * a * L} = \frac{23,08 * 10^3}{4 * 4 * 50} = 28,85 \text{ MPa}$$

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

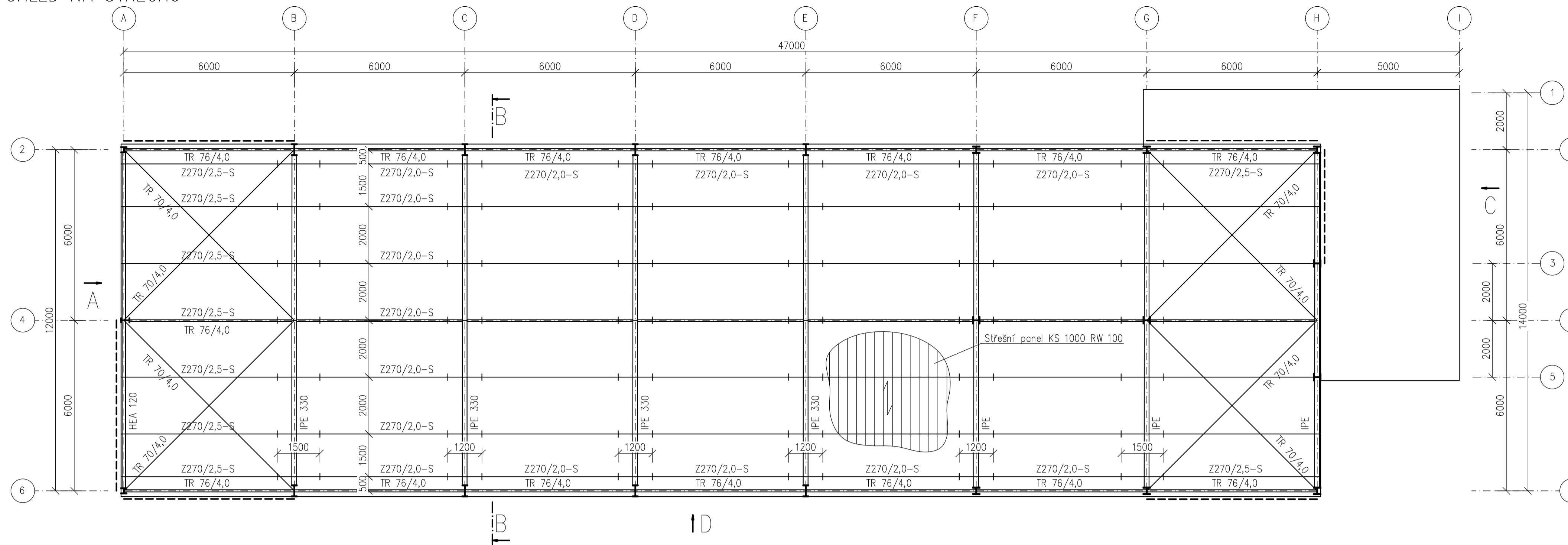
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 * (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 * 28,85^2} = 49,97 \text{ MPa}$$

$$49,97 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w * \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 * 1,25} = 435,6 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

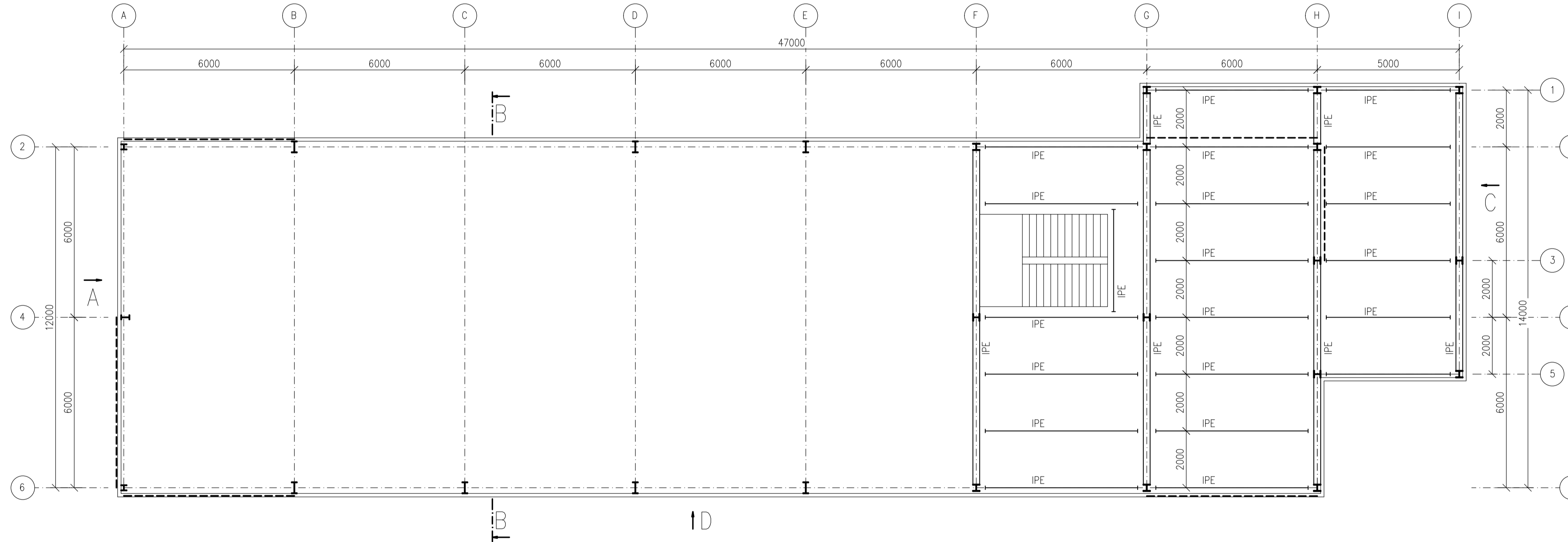
$$\sigma_{\perp} = 0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{490}{1,25} = 392 \text{ MPa} \quad \checkmark$$

Svar a = 4 mm vyhovuje.

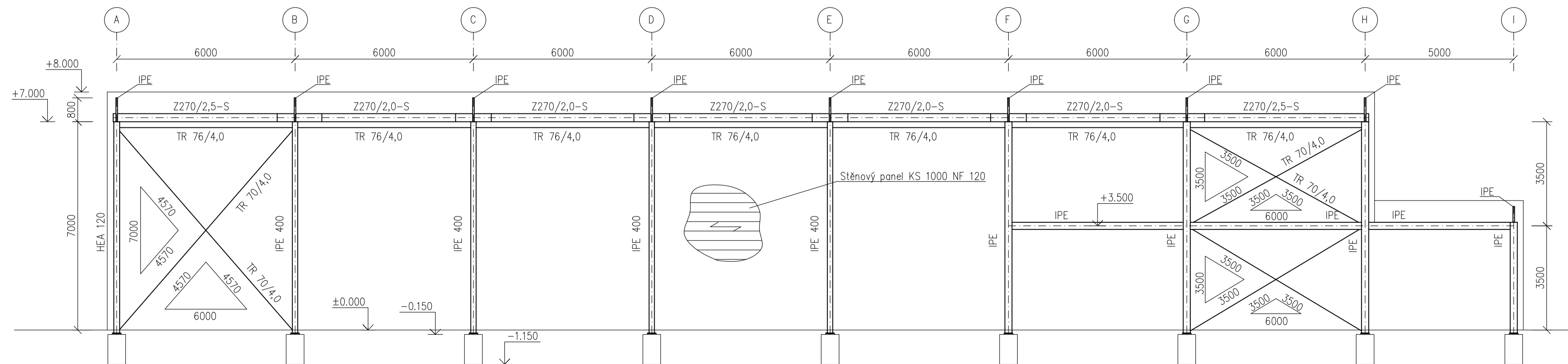
POHLED NA STŘECHU



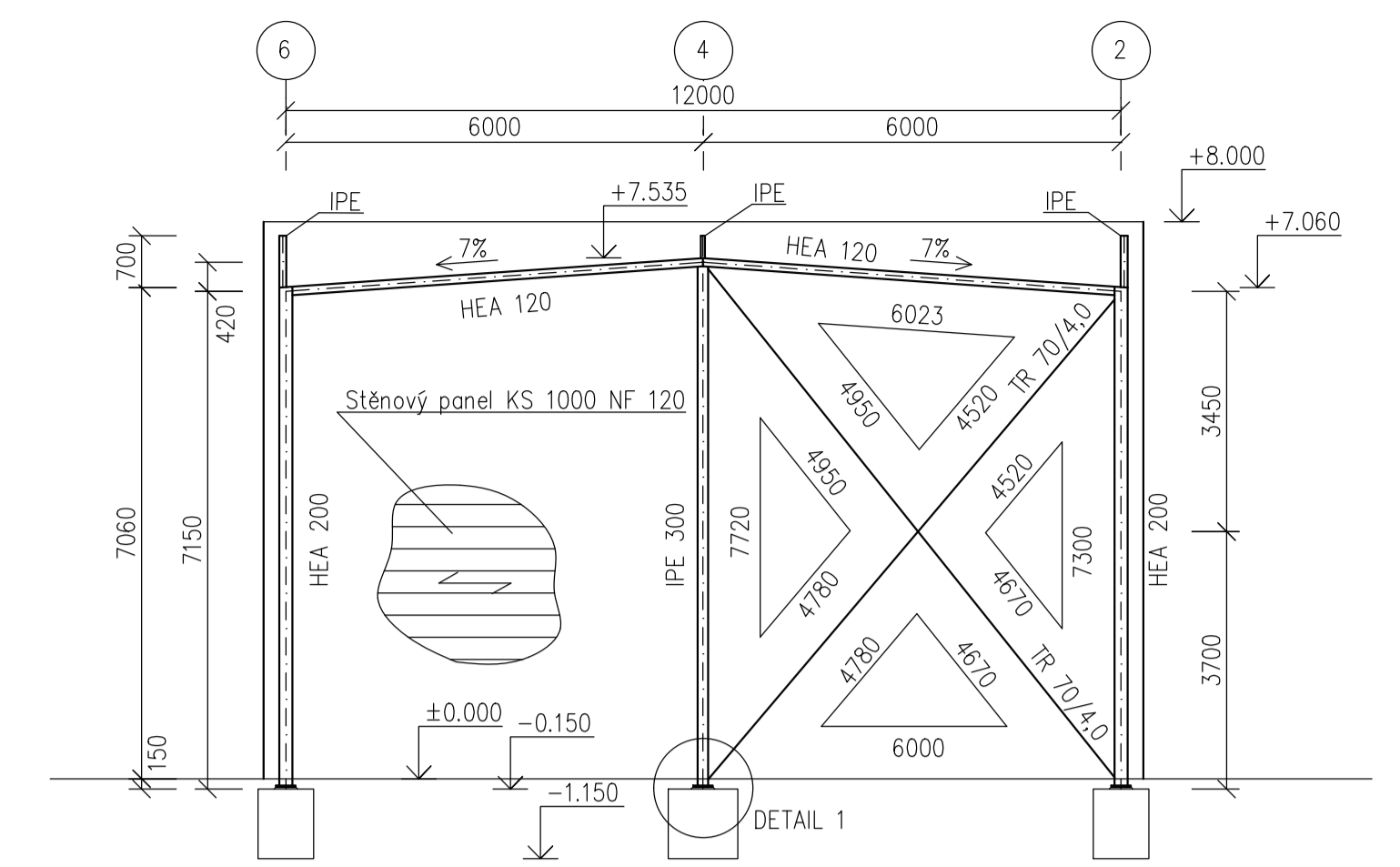
PŮDORYS +3.500



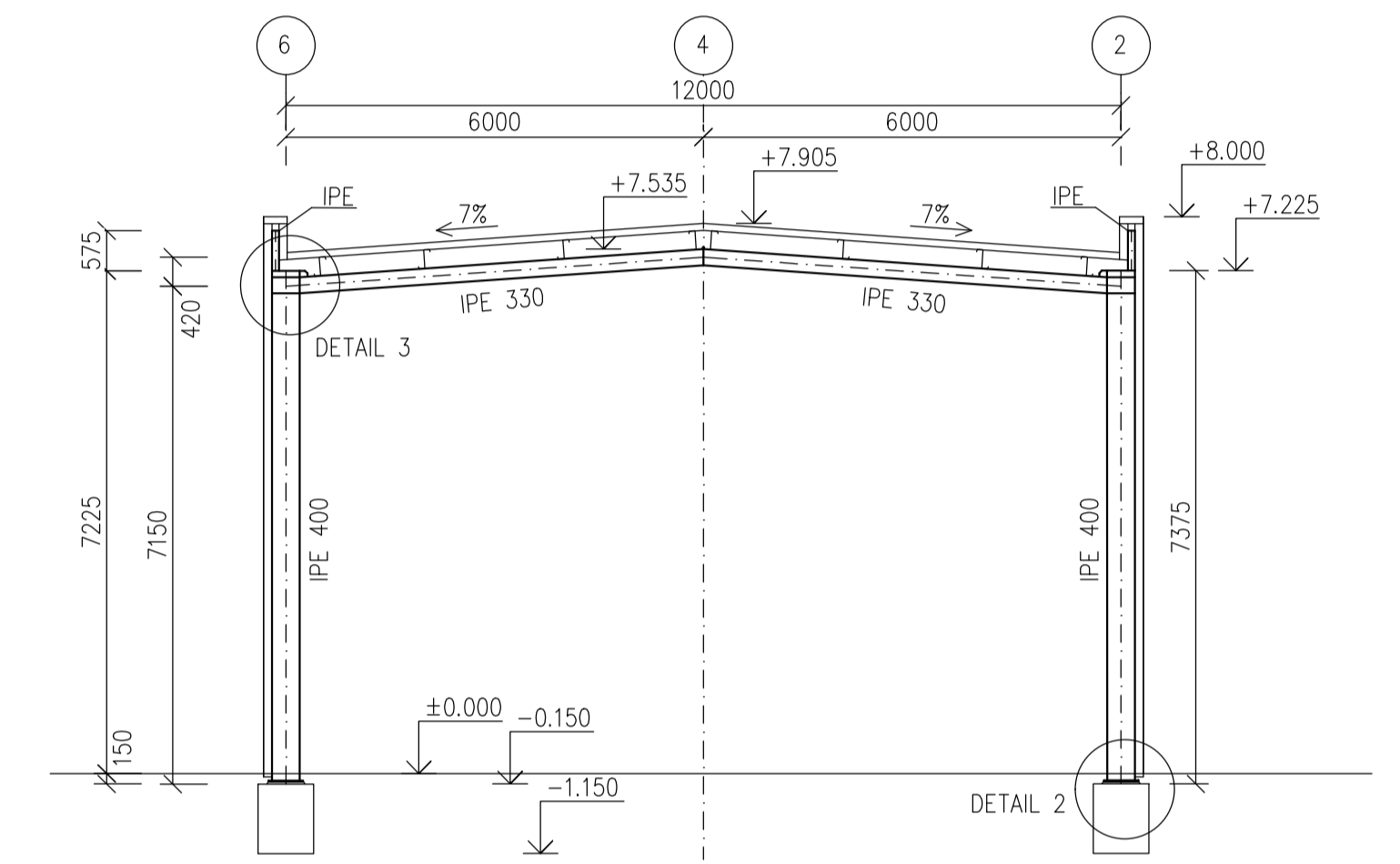
POHLED D



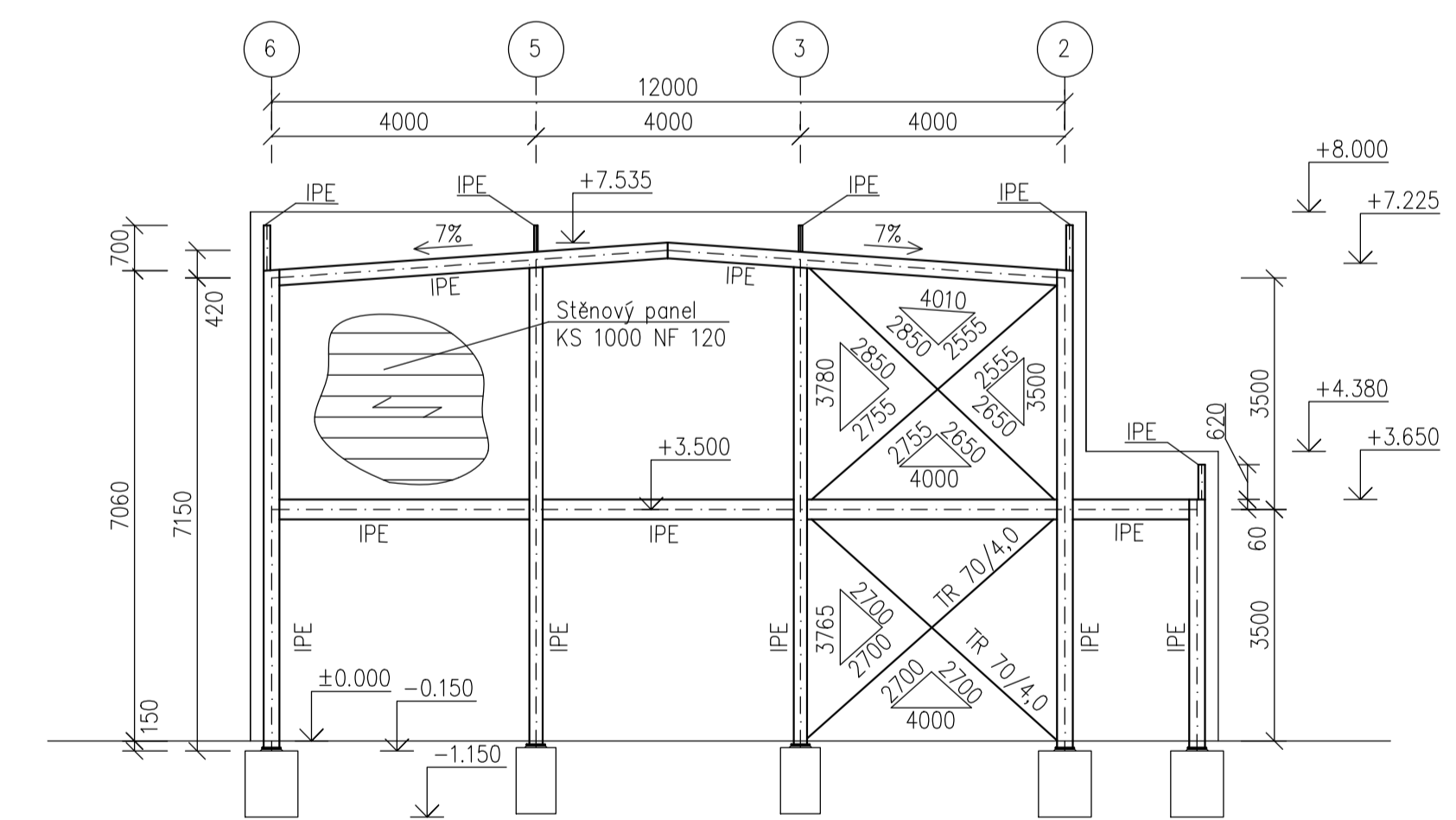
POHLED A




ŘEZ B-B



POHLED C

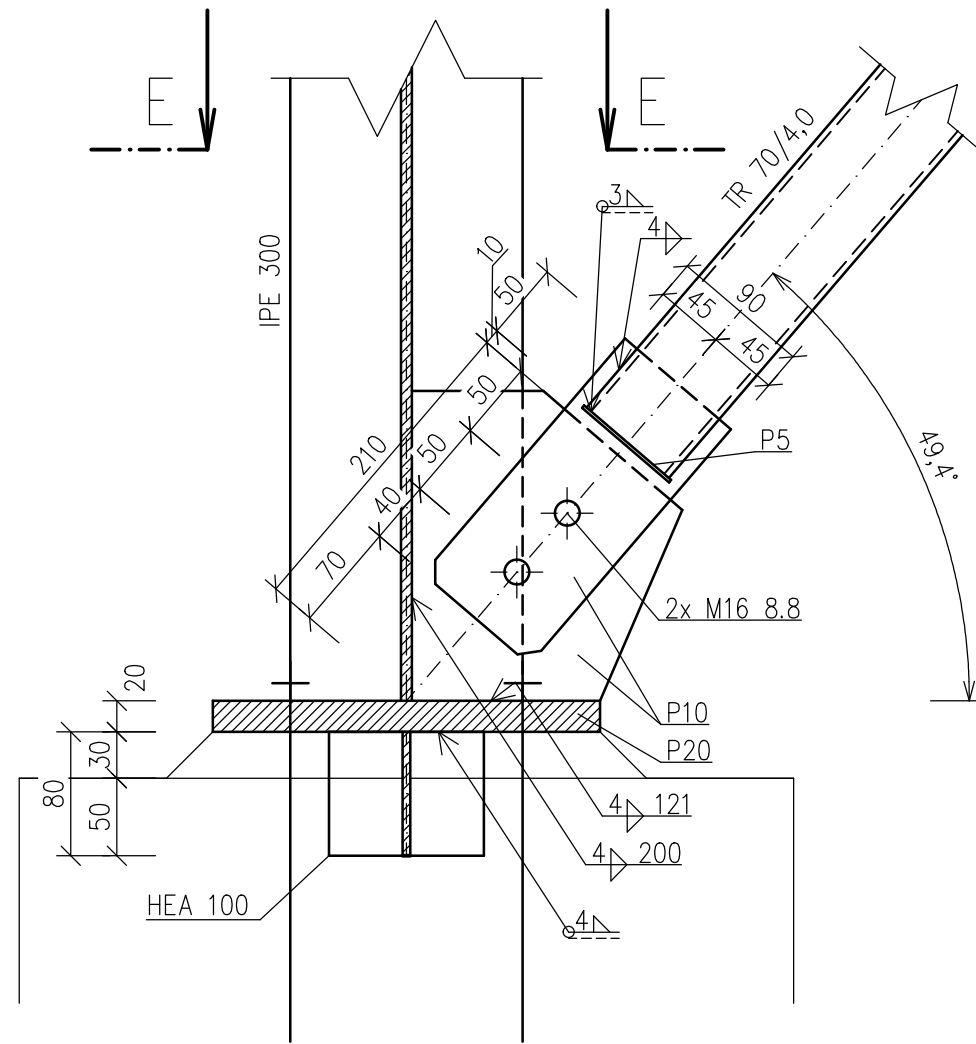


Ocel: S355JR
S350GD - vaznice
Betón: C20/25
Třída provedení EXC2

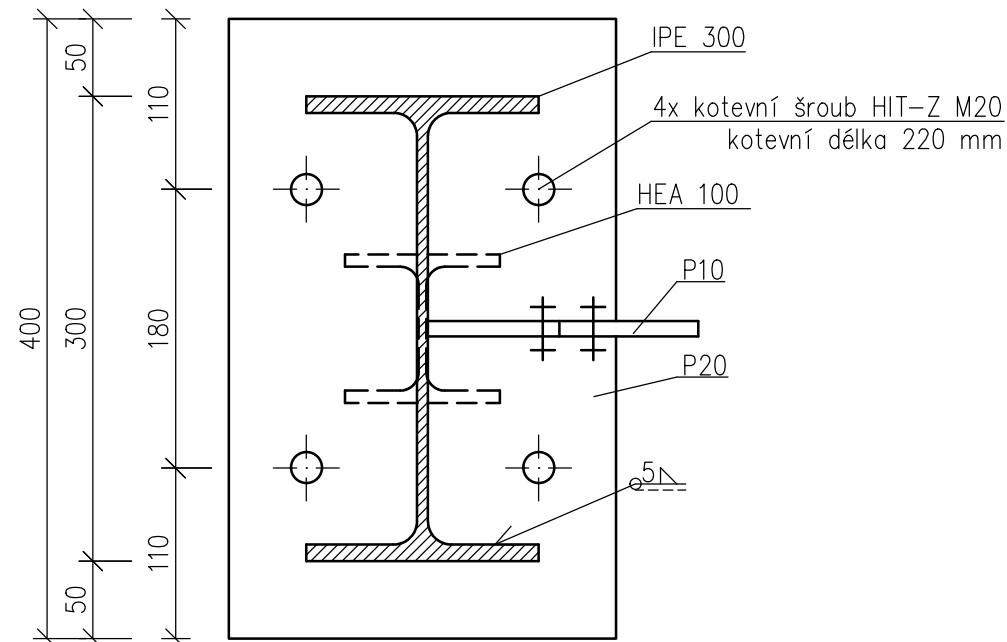
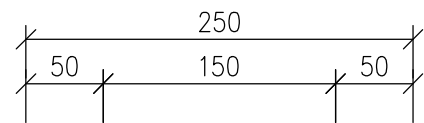
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT Lukáš Hozman	VYPRACOVAL Lukáš Hozman	KONTROLOVAL doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.	
OBOR: St-C	KATEGORIE: k134	FORMÁT: BxA4 / 1:100	
OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY			DATUM: KVĚTEN 2022
OBSAH: VÝKRES DISPOZICE			STUPEŇ: ÚS a OHLÁŠENÍ ST ČÍSLO ZAKÁZKY ČÁST PROJEKTU: PARÉ ČÍSLO 01

DETAIL KLOUBOVÉ PATKY S PŘÍPOJEM ZTUŽIDLA

M 1:5

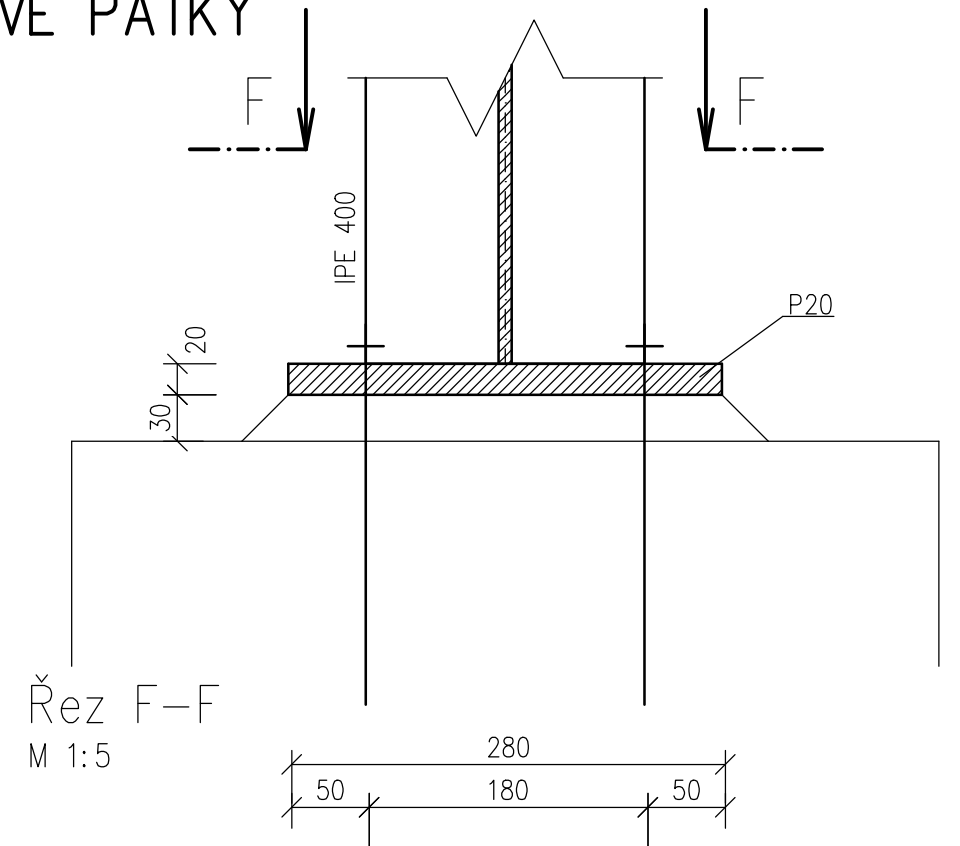


Řez E-E
M 1:5

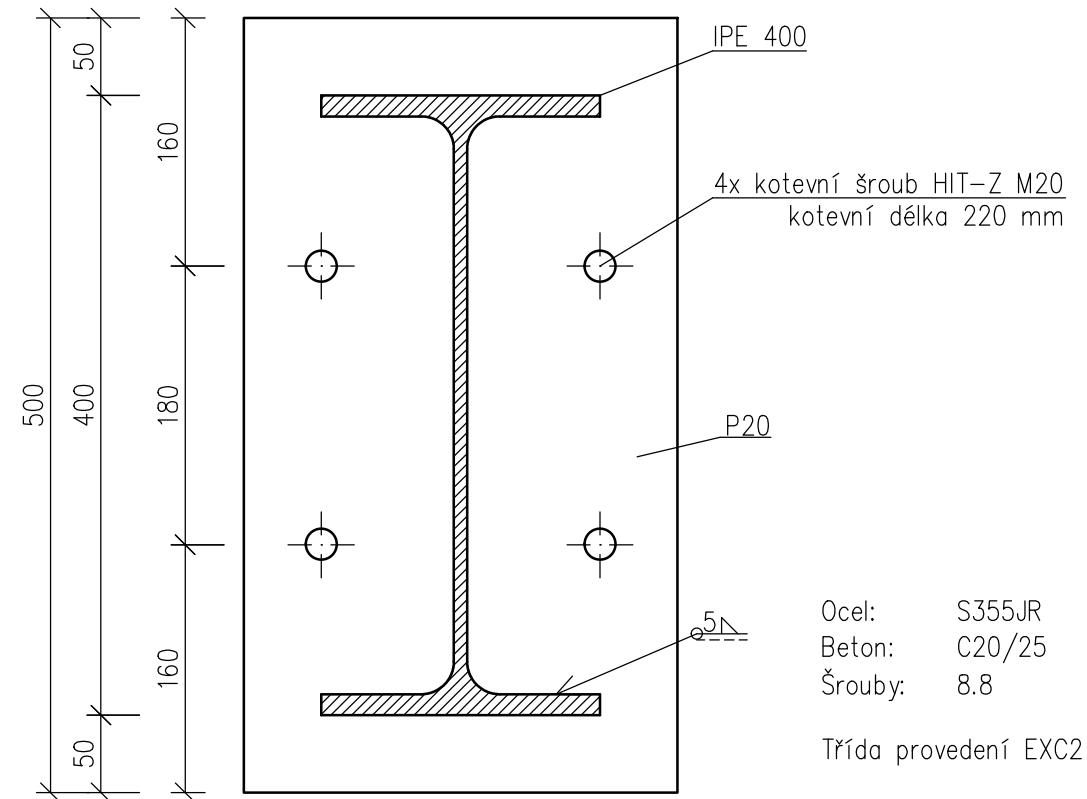


DETAIL KLOUBOVÉ PATKY

M 1:5




Řez F-F
M 1:5



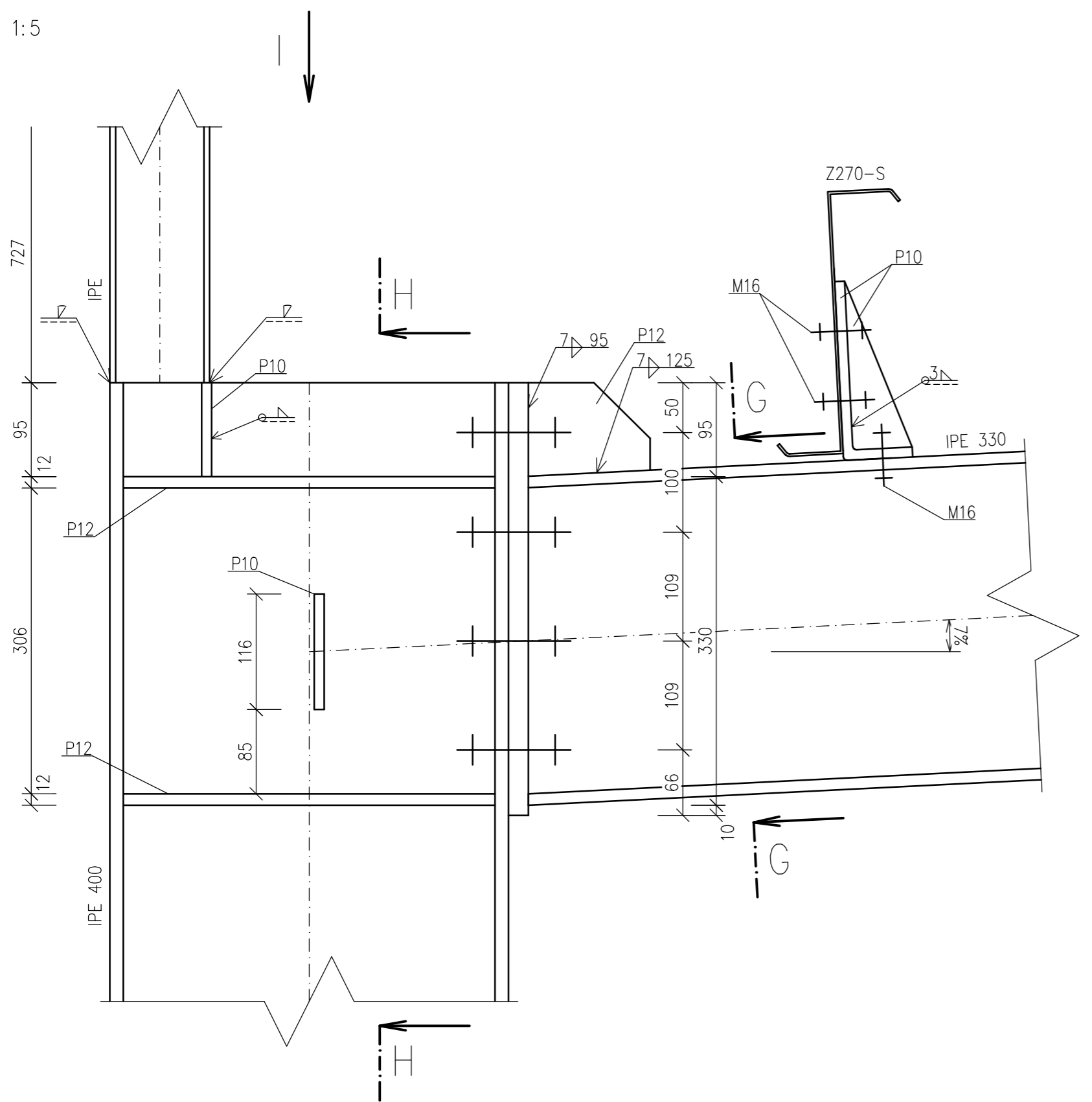
Ocel: S355JR
Beton: C20/25
Šrouby: 8.8

Třída provedení EXC2

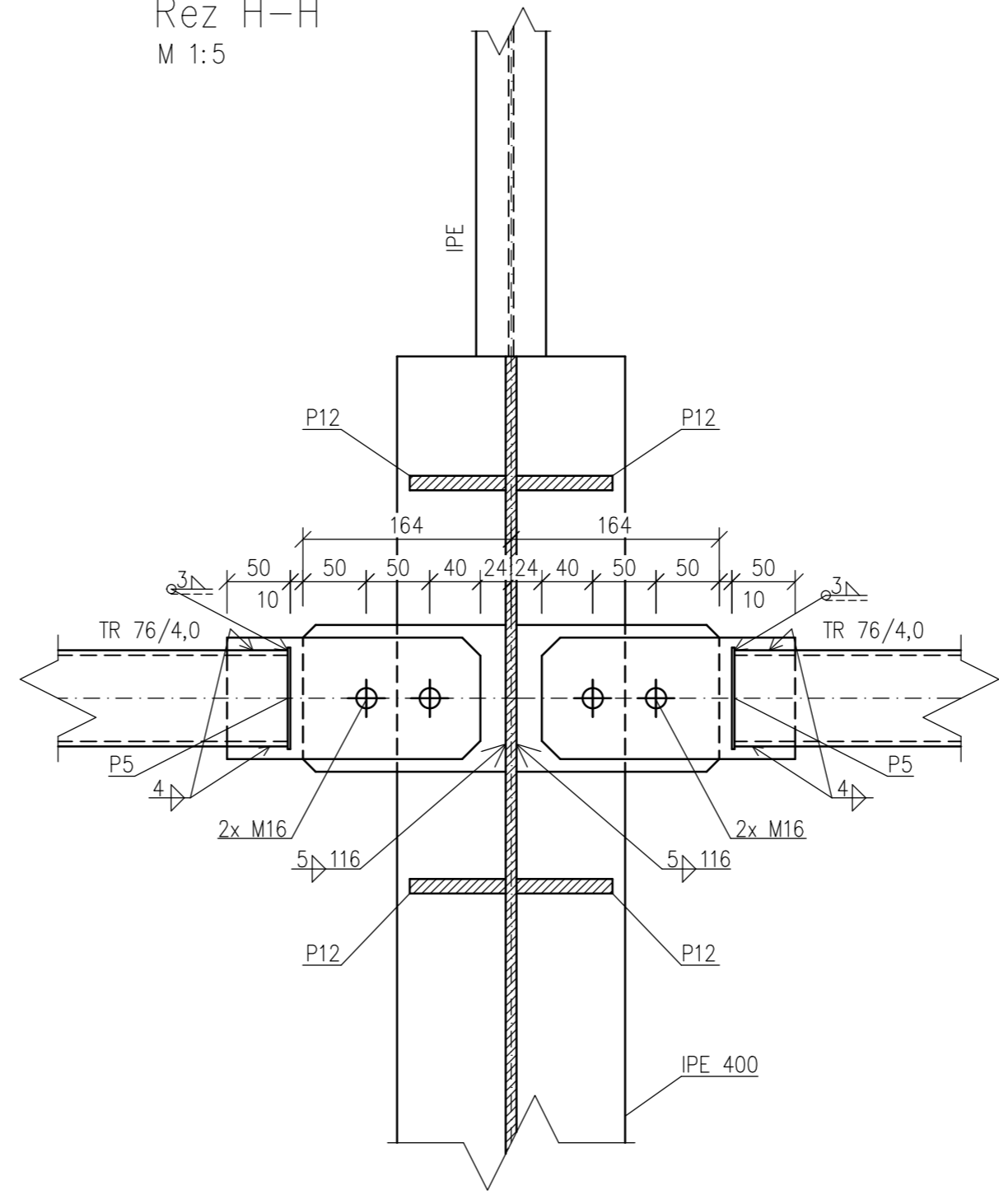
ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT Lukáš Hozman	VYPRACOVAL Lukáš Hozman	KONTROLOVAL doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.		
OBOR: SI-C	KATEDRA: k134			
OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY			DATUM KVĚTEN 2021	STUPEŇ ÚS a OHLÁŠENÍ ST
			ČÍSLO ZAKÁZKY	ČÁST PROJEKTU PARÉ ČÍSLO
OBSAH: DETAILY 1 a 2			02	

DETAIL RÁMOVÉHO ROHU

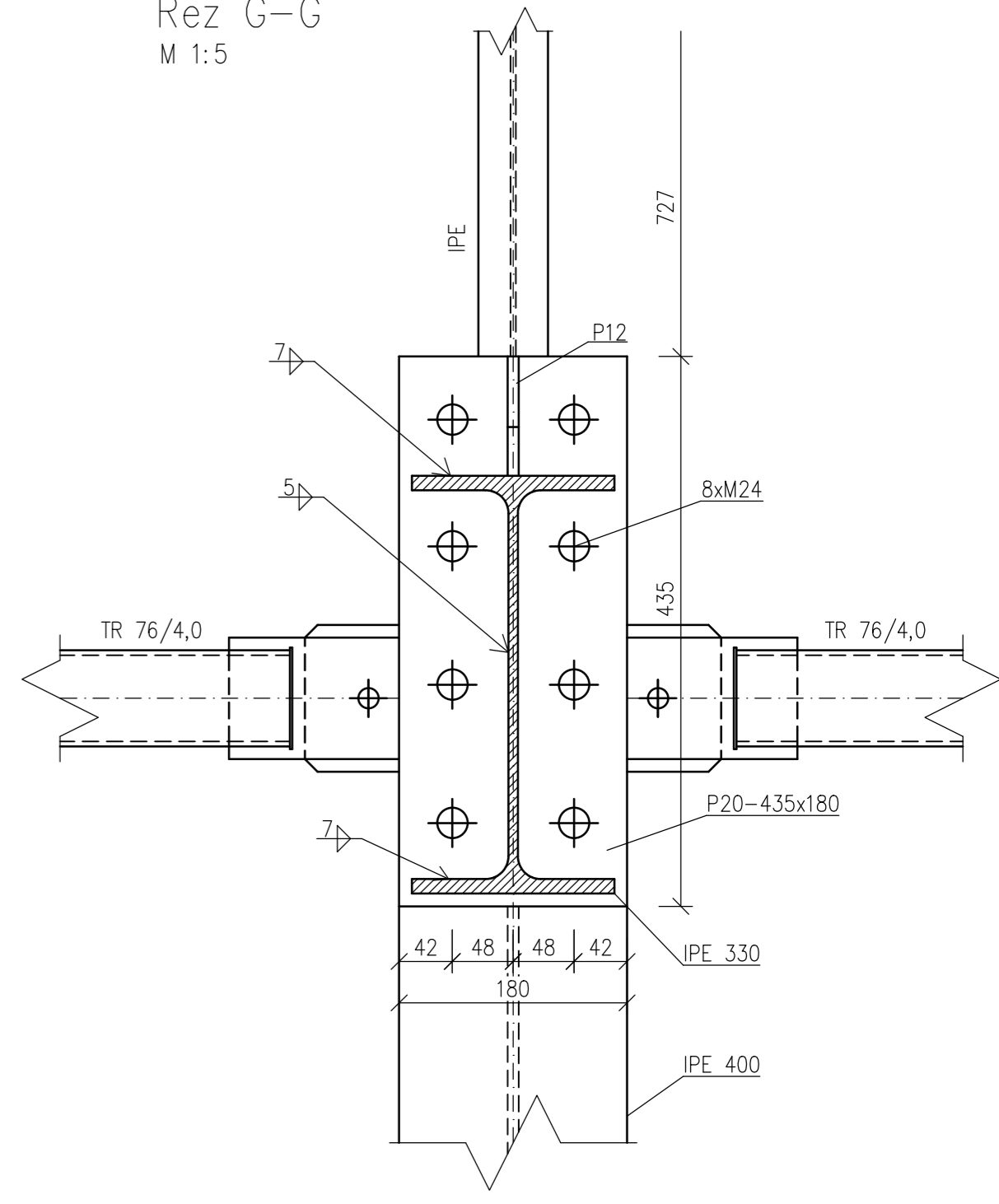
M 1:5



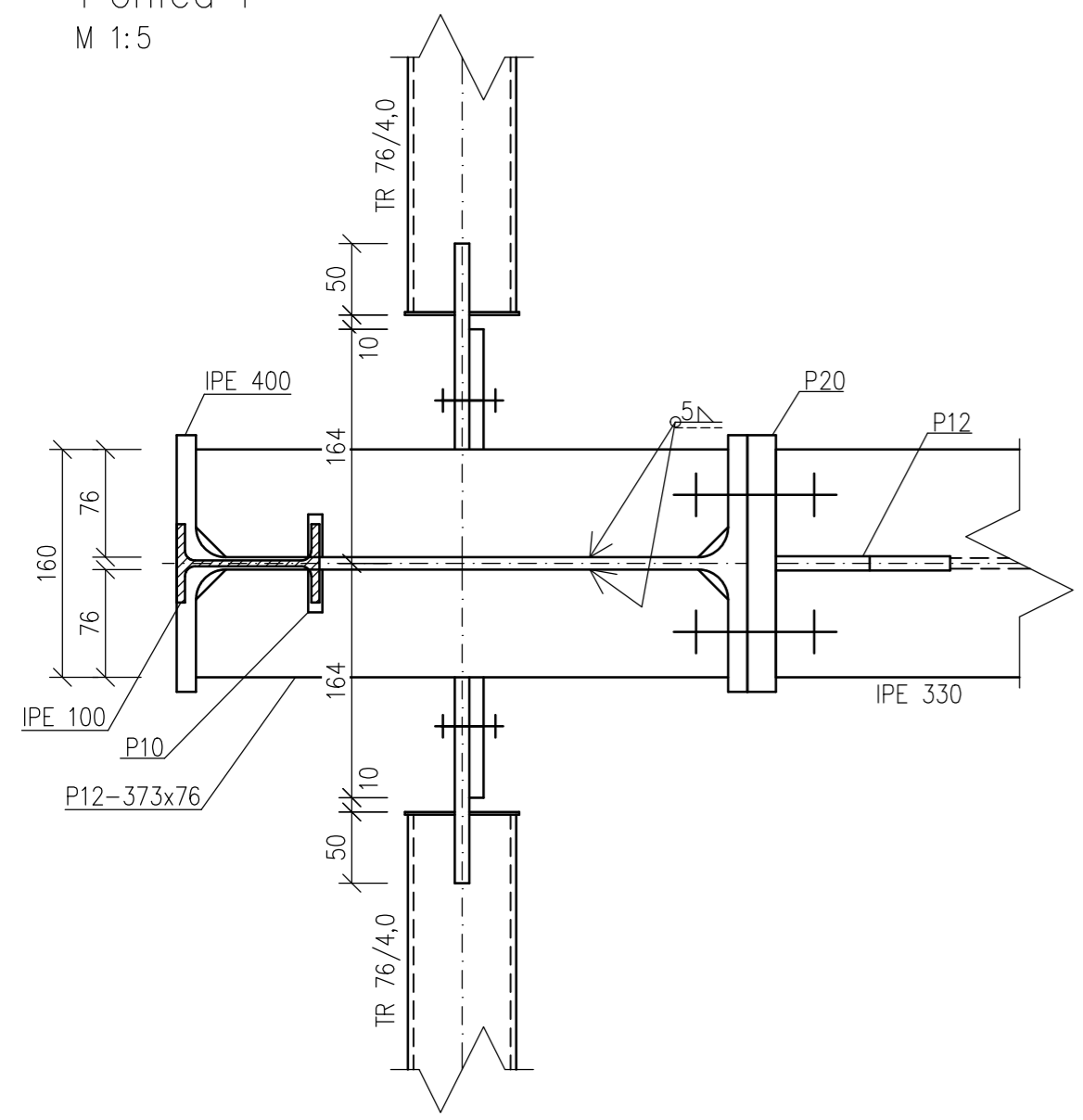
Řez H-H
M 1:5



Řez G-G
M 1:5



Pohled I
M 1:5



Ocel: S355JR
Šrouby: 8.8
Třída provedení EXC2

ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT	VYPRACOVAL	KONTROLOVAL		
Lukáš Hozman	Lukáš Hozman	doc. Ing. Michal Jandera, Ph.D.		
OBOR: St-C		KATEDRA: k134	FORMÁT	4xA4 / 1:5
OCELOVÁ KONSTRUKCE SKLADIŠTNÍ HALY			DATUM	KVĚTEN 2021
			STUPEŇ	ÚS a OHLÁŠENÍ ST
OBSAH: DETAIL 3			ČÍSLO ZAKÁZKY	PARÉ ČÍSLO
			ČÁST PROJEKTU	