

České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Obor Konstrukce pozemních staveb



Diplomová práce

Trojlodní průmyslová hala s mostovými jeřáby

Zadání a Technická zpráva

Vypracoval: Bc. Martin Pavelka

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

Prosinec 2019

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pavelka Jméno: Martin Osobní číslo: 438414

Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí, K134

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Trojlodní průmyslová hala s mostovými jeřáby

Název diplomové práce anglicky: Three-bay industrial hall with overhead cranes

Pokyny pro vypracování:

Návrh ocelové konstrukce haly včetně nosníku JD, vybraných detailů. Výkresová dokumentace (dizpoziční výkresy, detaily). Technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Návrh konstrukce bude proveden podle platných evropských norem, zejména EN 1991, EN 1993.

Jméno vedoucího diplomové práce: Michal Jandera

Datum zadání diplomové práce: 23.9.2019

Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku



Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

23.9.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Martin Pavelka

Název diplomové práce: Trojlodní průmyslová hala s mostovými jeřáby

Základní část: Ocelové konstrukce podíl: 100 %

Formulace úkolů: viz pokyny k vypracování

Podpis vedoucího DP: [redacted]

Datum: 23. 9. 2019

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____

Datum: _____

3. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____

Datum: _____

4. Část: _____ podíl: _____ %

Konzultant (jméno, katedra): _____

Formulace úkolů: _____

Podpis konzultanta: _____

Datum: _____

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Anotace

V diplomové práci je proveden návrh nosné konstrukce trojlodní průmyslové haly s mostovými jeřáby nacházející se v obci Moravské Budějovice. V práci jsou navrženy všechny nosné prvky, hlavní rámová vazba, konstrukce střechy, obvodový plášť, ztužidla a nosník jeřábové dráhy. Dále byly posouzeny rámové přípoje, montážní přípoje, přípoje ztužidel a vetknuté patky sloupů. Součástí práce je výkresová dokumentace, statický výpočet a katalog příloh.

Klíčová slova

Ocelová konstrukce, průmyslová hala, jeřábová dráha, rámový přípoj, vetknutá patka sloupu.

Annotation

This thesis deals with design of a three bay industrial hall with an overhead crane, located in town of Moravské Budějovice. The designed contains following: structural elements, main portal frame, roof construction, cladding, bracing and crane-runway girder. Further moment connection, rafter connections, connections of bracing and fixed column base were analysed. The thesis contains drawings and structural design calculations. Manufacturers' catalogues and the software outputs can be found in the attachments.

Key word

Steel construction, industrial hall, crane-runway beam, moments connection, fixed column base.

Prohlášení

Prohlašuji, že Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, a uvedl jsem seznam veškeré použité literatury.

V Praze 29.12.2019

Martin Pavelka

.....

(podpis autora)

Obsah

1.	Základní údaje o projektu	2
1.1.	Obecný popis stavby.....	2
1.2.	Podklady a normy pro zhotovení projektu.....	2
1.3.	Použitý software.....	2
2.	Základní charakteristiky konstrukčního řešení.....	3
2.1.	Urbanistické, Architektonické a dispoziční řešení stavby, předpoklady	3
2.2.	Technické řešení stavby	3
2.3.	Materiálové řešení stavby.....	3
3.	Zatížení.....	3
3.1.	Stálá zatížení.....	3
3.2.	Užitná zatížení	3
3.3.	Zatížení sněhem.....	4
3.4.	Zatížení větrem.....	4
3.5.	Zatížení jeřábu	4
4.	Kotvení sloupů do základové konstrukce	4
5.	Nosný systém.....	4
5.1.	Nosná konstrukce.....	4
5.2.	Konstrukce jeřábové dráhy	4
5.3.	Ztužidla	4
6.	Ochrana proti korozi a nepříznivým vlivům	4
6.1.	Ochrana proti požáru	4
6.2.	Ochrana proti korozi.....	5
7.	Technologie provádění stavby	5
7.1.	Výroba	5
7.2.	Montáž	5
8.	Bezpečnost práce a ochrana zdraví	5

1. Základní údaje o projektu

1.1. Obecný popis stavby

Předmětem diplomové práce je návrh trojlodní průmyslové haly s mostovými jeřáby. Objekt se nachází v obci Moravské Budějovice na pozemku číslo st.1307 katastrálního území. Stavba leží na okraji zástavby, z jedné strany obklopena volnou krajinou. Objekt je napojen na inženýrské sítě, vedené v přilehlé komunikaci. Nosná konstrukce stavby je ocelová konstrukce z válcovaných profilů.

1.2. Podklady a normy pro zhotovení projektu

- Projektová dokumentace
- ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- ČSN EN 1991-1-1. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- ČSN EN 1991-1-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- ČSN EN 1991-1-4. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- ČSN EN 1991-1-5. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-5: Obecná zatížení – Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- ČSN EN 1991-3. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábu a strojního vybavení. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- ČSN EN 1993-1-1. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- ČSN EN 1993-1-8. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčnicků. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- ČSN EN 1993-1-9. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- ČSN EN 1993-6. Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- Jandera, M., Eliášová, M., Vraný, T.: Ocelové konstrukce 1 - Cvičení, 3. opravené vydání, 2015.
- Sokol – Wald: Ocelové konstrukce. Tabulky. ČVUT, 2016.
- ČSN EN 1090-2. Provádění ocelových konstrukcí a hliníkových konstrukcí – Část 2: Technické požadavky na ocelové konstrukce. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

1.3. Použitý software

- ArchiCAD 19
- LTBeamN 1.0.3
- Dlubal RSTAB 8.20
- EduBeam 3.4.2.
- RAWLPLUG EasyFix

2. Základní charakteristiky konstrukčního řešení

2.1. Urbanistické, Architektonické a dispoziční řešení stavby, předpoklady

Předmětem diplomové práce je návrh trojlodní haly s půdorysnými rozměry 75 x 67,5 m, a výškou 11 m. Rozpon každé lodě je 22,5 m zastřešena sedlovými střechami. Střecha je odvodněna vnitřními svody v úžlabích, a vnějšími svody. Budova opláštěna kazetami. V hale je zabudován systém mostových jeřábů. Předmětem diplomové práce nebylo řešení tepelné techniky a skladeb obvodových konstrukcí. V práci je řešena pouze ocelová konstrukce. Předpokladem řešení projektu je, že základová půda přenesne bezpečně zatížení do zemního podloží, tento předpoklad nebyl ověřován.

2.2. Technické řešení stavby

Ocelová konstrukce se skládá ze sloupů, příčlí, trapézového plechu, kazet, nosníků jeřábových drah, ztužidel. Sloupy jsou do základových patek uchyceny pomocí chemických kotev, přes ocelový patní plech. Přípoje obvodových sloupků na příčle, přípoje obvodových sloupků do patek, přípoje trapézových plechů na příčle, přípoje kazet na sloupy, a přípoje nosníků jeřábových drah na konzolky jsou řešeny kloubovými styky. Přípoje sloupů a příčlí jsou rámové spoje. Opláštění budovy provedeno horizontálními kazetami.

2.3. Materiálové řešení stavby

Konstrukce haly je navržena z ocelových rámu.

- Ocelové sloupy, příčle, ztužidla ocel S235 J0
- Trapézový plech S320GD +Z275
- Šroubové spoje kloubové pevnostní třídy 8.8
- Šroubové spoje rámové pevnostní třídy 10.9

Základová konstrukce

- Beton C20/25

3. Zatížení

Uvedené jsou charakteristické hodnoty zatížení. Pro získání návrhových hodnot je nutno provést pře násobení dílčím součinitelem bezpečnosti.

3.1. Stálá zatížení

Jsou uvedena ve statickém výpočtu

3.2. Užitná zatížení

Střecha je nepochozí s výjimkou běžné údržby a oprav. Uvažováno zatížení 0,75 kN/m². Ve výpočtu se tato hodnota neprojeví, neboť je nižší než stanovené zatížení sněhem.

3.3. Zatížení sněhem

Stavba nacházející se v Moravských Budějovicích náleží do sněhové oblasti III.

3.4. Zatížení větrem

Stavba nacházející se v Moravských Budějovicích náleží do větrové oblasti II, v oblasti na okraji průmyslové zóny řídky pokryté budovami, a z jedné strany sousedící s polem představují otevřenou krajinu. Vzhledem k této okolnosti volena kategorie terénu I.

(otevřená krajina).

3.5. Zatížení jeřábu

- Nosnost jeřábu 20 t
- Celková hmotnost jeřábu s kladkostrojem 18 t
- Hmotnost kočky 2 t
- Rozpětí jeřábu 21 m

4. Kotvení sloupů do základové konstrukce

Kotvení je provedeno přes patní plechy navržené tloušťky 40 mm a kotevní příčníky a podélníky. Navrhnuté jsou předem zabetonované kotvy pro vetknutou patku šrouby M56x3, a pro kloubovou patku chemické kotvy R-KERII 2x šrouby M24.

5. Nosný systém

5.1. Nosná konstrukce

Ocelové sloupy z válcovaných profilů HEB 550 pro vnitřní sloupy, ocelové sloupy z válcovaných profilů HEB 600 pro krajní sloupy. Příčle provedeny z IPE 550 a zesílené náběhy z IPE 550. Mezi příčlemi je pnutý trapézový plech TR 206/350 tl. 1,13 mm, v úžlabích je navržen plech TR 206/375 tl. 1,5 mm.

5.2. Konstrukce jeřábové dráhy

Hlavní jeřábový nosník je proveden ze svařence (HEA 500 + 2x L200/23) a kolejnice JKL 55. Konzolka pro podepření jeřábové dráhy je HEB 400.

5.3. Ztužidla

Ztužidla ve střešní rovině provedeny z trubek 114x5, 114x6,3, TR 127x5 a 140x5. trubky mezi příčlemi TR 114x5 a v úžlabích TR 140x8. Brzdné ztužidlo je z trubek TR 152x5 a TR 102x5.

6. Ochrana proti korozi a nepříznivým vlivům

6.1. Ochrana proti požáru

Požární odolnost ocelové konstrukce není předmětem zadání diplomové práce.

6.2. Ochrana proti korozi

Korozní prostředí v interiéru C2 (občasná kondenzace).

Protikorozi odolnost trapézových plechů je zajištěna pozinkováním 275 g/m².

Na sloupy, příčle, trubky a trapézové plechy jsou nanášeny 4 vrstvy protikorozi nátěru a celkové tloušťce 160 μm. Nátěr musí být na celé konstrukci obnovován jednou za 15 let.

7. Technologie provádění stavby

7.1. Výroba

Konstrukce bude provedena třídou EXC2, mimo nosník jeřábové dráhy, která bude provedena třídou EXC3.

7.2. Montáž

Montáž konstrukce bude provedena podle dílenských výkresů dodaných z mostárny. Sloupy jsou k základu spojeny přes patní plech, příčníky a podélníky a spojeny 4 šrouby a ztužidlové patky taktéž 4 šrouby. Sloupy se vyrovnají, aby byly svislé. Budou namontovány ztužidla na zajištění kolmosti sloupů. Pomocí šroubových spojů budou připojeny jednotlivé části příčle na stojící sloupy. Celá vazba bude stabilizována po dobu montáže. Stejným způsobem se provede další vazba. Ztužidla se připojí na styčnickové plechy. Jeřábová dráha se osadí na konzolky sloupů a provede se rektifikace jeřábu, dráha bude osazena před provedením střešního pláště. Po provedení všech vazeb se osadí brzdná ztužidla ve stěně na styčnickový plech pomocí šroubových spojů. Osadí se výplňové otvory (kazety). Na střeše přikotvíme trapézové plechy pomocí samo vrtných šroubů. A dále bude provedeno celé souvrství střechy.

8. Bezpečnost práce a ochrana zdraví

Všechny části stavby byly navrženy v souladu s předpisy platnými v České republice.

Veškeré práce budou provedeny stavební firmou k této činnosti odborně způsobilou.

České vysoké učení technické

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí

Obor Konstrukce pozemních staveb



Diplomová práce

Trojlodní průmyslová hala s mostovými jeřáby

Statický výpočet

Vypracoval: Bc. Martin Pavelka

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

Prosinec 2019

Obsah

Zadání	1
Zatížení sněhem	2
Zatížení větrem.....	4
Zatížení větrem na stěny	4
Západní vítr.....	4
Severní vítr.....	5
Zatížení větrem na střechu.....	6
Západní vítr.....	6
Severní vítr.....	7
Předběžný návrh.....	9
Varianta A.....	9
Návrh trapézového plechu	9
Návrh 1. Vaznice (západní vítr).....	10
Návrh 2. vaznice (západní vítr)	12
Návrh 1. Vaznice (severní vítr).....	14
Návrh 2. Vaznice (severní vítr).....	17
Posouzení sendvičových panelů a vaznic v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem	19
Návrh obvodového pláště	21
Návrh paždíku (severní vítr)	26
Návrh mezisloupku.....	27
Varianta B.....	34
Návrh trapézového plechu	34
Posouzení trapézového plechu v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem	35
Návrh kazet.....	36
Varianta C.....	38
Návrh trapézového plechu	38
Návrh 1. Vaznice (západní vítr).....	39
Návrh 2. vaznice (západní vítr)	42
Návrh 1. Vaznice (severní vítr).....	46
Posouzení trapézových plechů a vaznic v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem	51
Obvodový plášť.....	54
Návrh trapézového plechu	54
Návrh paždíku (západní vítr)	55
Návrh mezisloupku.....	59

Návrh Jeřábové dráhy	60
Zadání	60
Proměnná zatížení	61
Svislá zatížení	61
Tíhy jeřábu	61
Zatížení kladkostroje	62
Vodorovná zatížení	63
Zrychlení mostového jeřábu	63
Příčeni jeřábu	65
Dynamické součinitele	66
Únavové zatížení	68
Vnitřní síly	69
Svislé zatížení	69
Vnitřní síly od vodorovného zatížení	73
Zrychlení mostu jeřábu	73
Příčné síly od zrychlení mostu	74
Příčeni mostu jeřábu	75
Zrychlení kočky	76
Schéma zatěžovací stav č.1	76
Zatěžovací stav č.2	77
Momenty od nejhorší kombinace (kombinace č.2)	78
Výsledná vnitřní síly	78
Návrhové hodnoty vnitřních sil	80
Návrh průřezu nosníku jeřábové dráhy	81
Varianta A) Svařenec z plechů	81
Mezní stav použitelnosti	82
Mezní stav únosnosti	87
Napětí v horních vláknech	87
Napětí v dolních vláknech	88
Interakce klopení a kroucení	88
Kroucení	90
Posouzení na interakci klopení a kroucení	91
Kombinace vzpěru s ohybem	93
Posouzení na MSÚ 1	96
Posouzení na MSÚ 5	97
Lokální tlakové a smykové napětí	98

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu	99
Interakce lokálního boulení a ohybového momentu	101
Návrh krčných svarů	102
Varianta B	104
Mezní stav použitelnosti.....	104
Posouzení na únavu.....	107
Mezní stav únosnosti.....	110
Napětí v horních vláknech	110
Napětí v dolních vláknech	110
Interakce klopení a kroucení	110
Kroucení.....	112
Posouzení na interakci klopení a kroucení	112
Posouzení na MSÚ 1	114
Posouzení na MSÚ 5	115
Lokální tlakové a smykové napětí.....	115
Interakce lokálního boulení a ohybového momentu	115
Globální smykové napětí	116
Rozhodnutí:	117
Návrh hlavní vazby	118
Výpočet zatěžovacích sil na rám.....	118
Statická schémata hlavní rámové vazby.....	121
1) Kloubové patky	121
2) Vetknuté patky	122
3) Vetknuté krajní patky a kloubové vnitřní patky	123
4) Kloubové patky s táhlem	124
Závěr	124
Posouzení vnitřního sloupu	125
Posouzení vnějšího sloupu	130
Posouzení příčle.....	135
Posouzení příčle na sání větru.....	140
Rámový roh vnitřní	143
Návrh svaru	143
Způsoby porušení	144
Posouzení všech šroubů v tabulce (plasticky)	149
Spoj S2 (čelní deska).....	150
Posouzení všech šroubů v tabulce.....	153

Posouzení všech šroubů v tabulce.....	157
Ověření stěny sloupu ve smyku.....	158
Návrh konzolky	159
Návrh štítového sloupku	161
Ztužidla	164
Střešní ztužidlo	164
Návrh brzdného ztužidla	168
Návrh detail	172
Detail D1	172
Detail D2	172
Detail D3	179
Detail D4	180
Detail D5	183
Detail D5	184
Závěr	198

ZADÁNÍ

Trojlodní průmyslová hala s mostovými jeřáby

Zadání: viz. příloha zadání

Oblast: Moravské Budějovice

Rozměry budovy cca 67,5x75 m

Výška hřebene 11 m

Počet lodí 3

Schéma řez

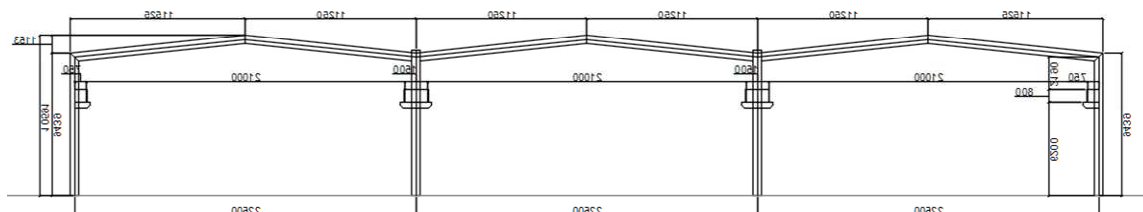
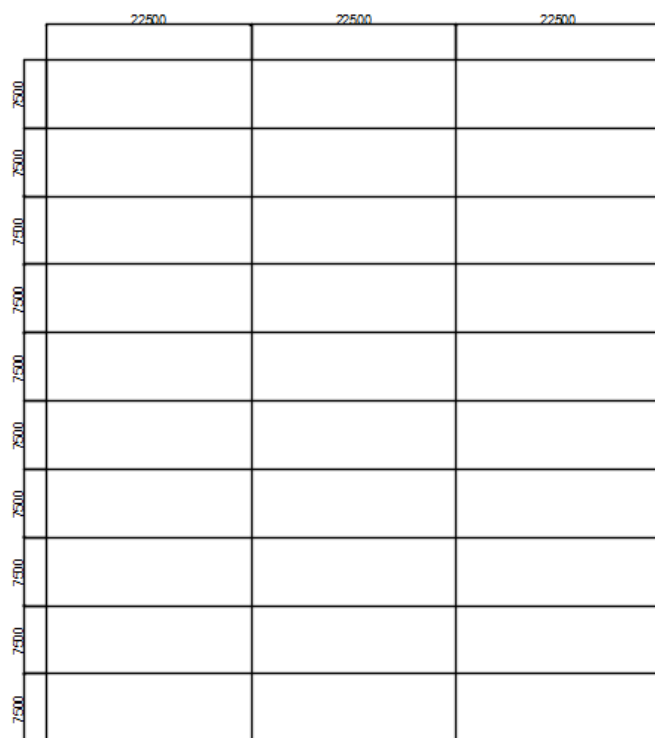


Schéma půdorys



Zatížení sněhem

Lokalita Moravské Budějovice:

Mapa větrových oblastí: → Oblast II $v_k = 25\text{m/s}$ Mapa sněhových oblastí: → Oblast III $s_k = 1,5\text{ kN/m}^2$

$$\alpha = 5,7^\circ$$

$$C_e = 1,0$$

$$C_t = 1,0$$

VÝPOČET ZATÍŽENÍ SNĚHEM-Charakteristické zatížení sněhem

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

$$\mu_1 = 0,8$$

$$\mu_2 = 0,8 + 0,8 \frac{\alpha}{30} = 0,8 + 0,8 \frac{5,7}{30} = 0,95$$

$$s_1 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s_1 = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

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

$$s_2 = \mu_2 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s_2 = 0,95 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$s_2 = 1,43 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Schéma pro nenavátý sníh

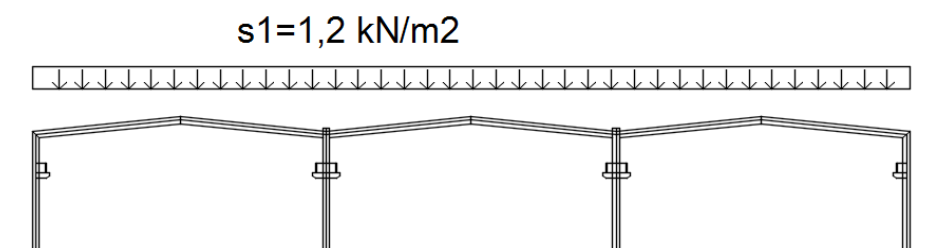


Schéma pro navátý sníh

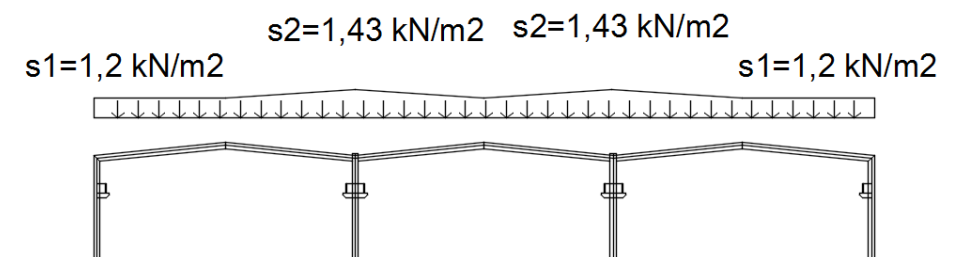
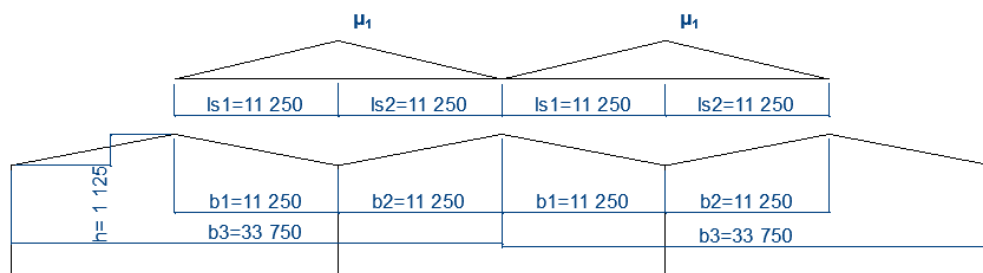


Schéma pro stav výjimečného navátí sněhu



$$\mu_1 = \min\left(\frac{2h}{s_k}; \frac{2 \cdot b_3}{l_{s1} + l_{s2}}; 5\right)$$

$$\mu_1 = \min\left(\frac{2 \cdot 1,125}{1,5}; \frac{2 \cdot 33,75}{11,25 + 11,25}; 5\right)$$

$$\mu_1 = \min(1,5; 3,0; 5,0)$$

$$\mu_1 = 1,5$$

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

$$\rho_A = 1,25 \text{ kg/m}^2$$

$$s_3 = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

$$s_3 = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5$$

$$s_3 = 2,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Návrhová hodnota zatížení sněhem

Případ nenavátý sníh

$$s_{d,1} = s \cdot \gamma_Q$$

$$s_{d,1} = 1,2 \cdot 1,5$$

$$s_{d,1} = 1,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$C_e(11) = 2,8$$

Případ navátý sníh

$$s_{d,2} = s \cdot \gamma_Q$$

$$s_{d,2} = 1,43 \cdot 1,5$$

$$s_{d,2} = 2,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Případ výjimečně navátý sních

$$s_{d,2} = s \cdot \gamma_Q$$

$$s_{d,2} = 2,25 \cdot 1,5$$

$$s_{d,2} = 3,375 \frac{kN}{m^2}$$

ZATÍŽENÍ VĚTREM

Vliv terénu → kategorie terénu I (okraj průmyslové zóny)

Výška budovy $z = 11 \text{ m}$

ZÁKLADNÍ DYNAMICKÝ TLAK VĚTRU:

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

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 25^2$$

$$q_b = 390,6 \text{ Pa} = 0,39 \text{ kPa}$$

MAXIMÁLNÍ DYNAMICKÝ TLAK VĚTRU:

$$q_z(z) = C_e(z) \cdot q_b$$

$$q_z(11) = C_e(10,8) \cdot q_b$$

$$q_z(11) = 2,8 \cdot 0,39$$

$$q_z(11) = 1,09 \frac{kN}{m^2}$$

ZATÍŽENÍ VĚTRU NA PLOCHY – ZATÍŽENÍ STĚN

$$w_e = q_z(z) \cdot C_{p,e}$$

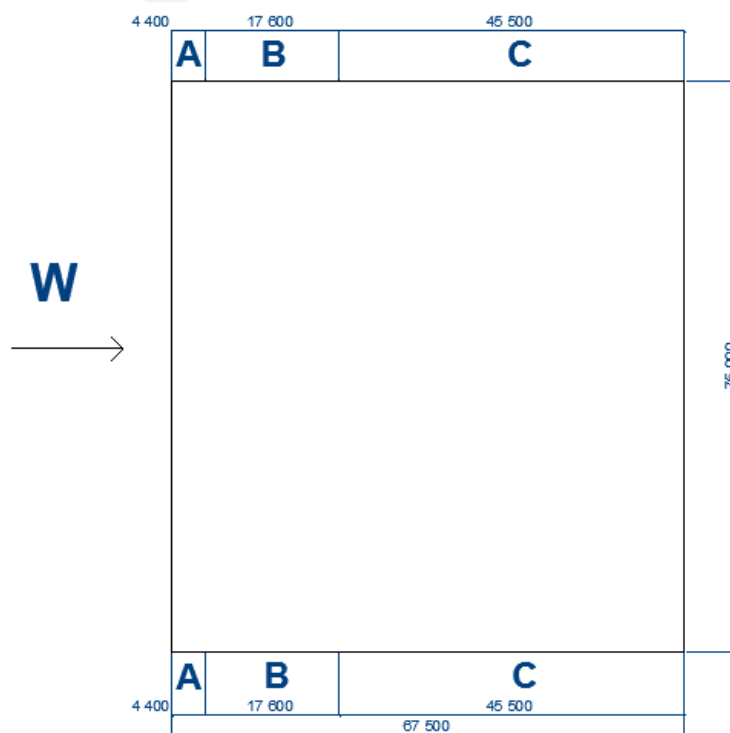
Západní vítr

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{67,5; 2 \cdot 11\} = \min\{67,5 \text{ m}; 22 \text{ m}\} = 22 \text{ m}$$

$$A = \frac{e}{5} = \frac{22}{5} = 4,4 \text{ m}$$

$$B = \frac{4e}{5} = \frac{4 \cdot 22}{5} = 17,6 \text{ m}$$

$$C = b - e = 67,5 - 22 = 45,5 \text{ m}$$



Tabulka zatížení větrem západním na stěny

Oblast	$q_z(10,8)$	$C_{pe,10}$	$w_e [kN/m^2]$
A	1,09	-1,2	-1,31
B	1,09	-0,8	-0,87
C	1,09	-0,5	-0,55
D	1,09	0,8	0,87
E	1,09	-0,5	-0,55

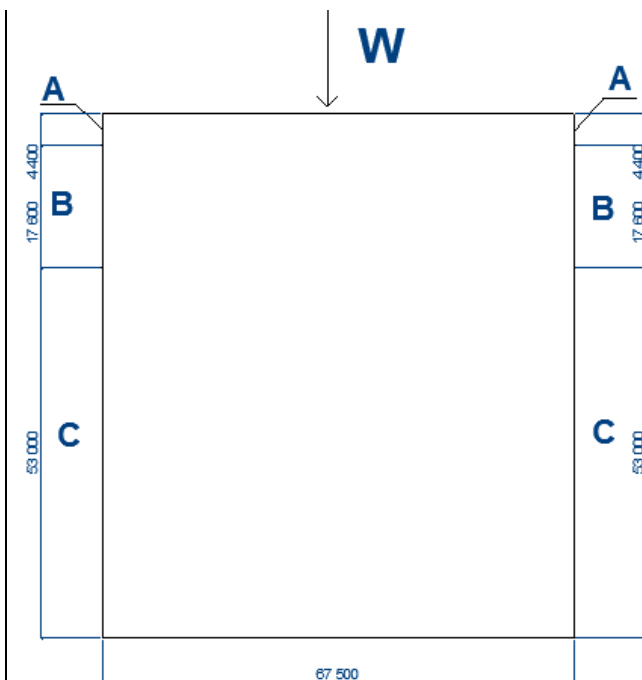
Severní vítr

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{67,5; 2 \cdot 11\} = \min\{67,5 \text{ m}; 22 \text{ m}\} = 22 \text{ m}$$

$$A = \frac{e}{5} = \frac{22}{5} = 4,4 \text{ m}$$

$$B = \frac{4e}{5} = \frac{4 \cdot 22}{5} = 17,6 \text{ m}$$

$$C = b - e = 75 - 22 = 53 \text{ m}$$



Tabulka zatížení větrem severním na stěny

Oblast	$q_z(10,8)$	$C_{pe,10}$	$w_e[kN/m^2]$	$w_{e,d}[kN/m^2]$
A	1,09	-1,2	-1,31	-1,97
B	1,09	-0,8	-0,87	-1,31
C	1,09	-0,5	-0,55	-0,83
D	1,09	0,8	0,87	1,31
E	1,09	-0,5	-0,55	-0,83

ZATÍŽENÍ VĚTEM NA STŘECHU

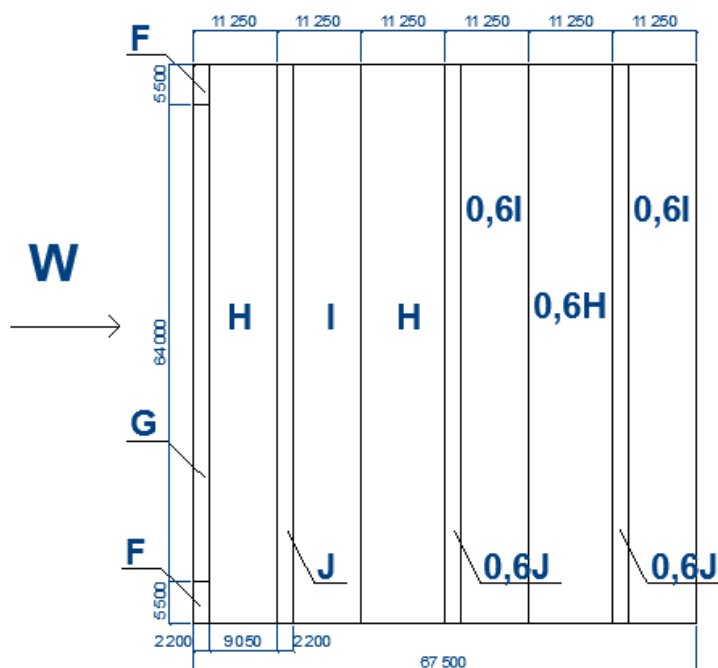
Západní vítr

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{67,5m; 2 \cdot 11\} = \min\{67,5m; 22 m\} = 22 m$$

$$\frac{e}{10} = \frac{22}{10} = 2,2 m$$

$$\frac{e}{4} = \frac{22}{4} = 5,5 m$$

$$\frac{e}{2} = \frac{22}{2} = 11,0 m$$



Tabulka zatížení větrem západním na střechu

Oblast	$q_z(10,8)$	$C_{Pe,10}$	$w_e [kN/m^2]$	$w_{e,d} [kN/m^2]$
F	1,09	-1,7	-1,85	-2,78
G	1,09	-1,2	-1,31	-1,97
H	1,09	-0,6	-0,65	-0,98
0,6H	1,09	-0,36	-0,39	-0,59
I	1,09	-0,6	-0,65	-0,98
0,6 I	1,09	-0,36	-0,39	-0,59
J	1,09	-0,6	-0,65	-0,98
J	1,09	0,2	0,22	0,33
0,6 J	1,09	-0,36	-0,39	-0,98
0,6 J	1,09	0,12	0,13	0,20

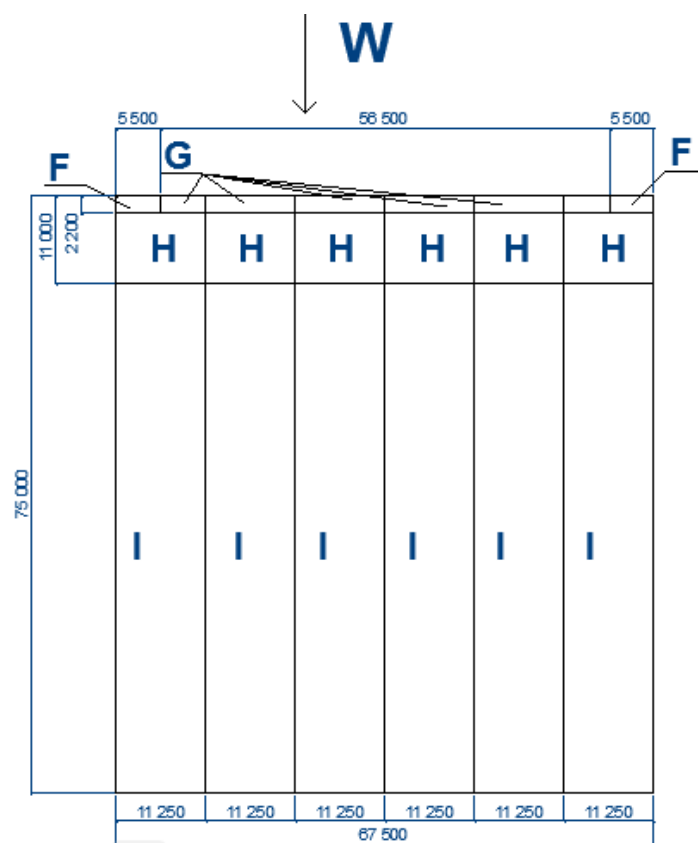
Severní vítr

$$e = \min\{b; 2h\} = \min\{75 \text{ m}; 2 \cdot 11\} = \min\{75 \text{ m}; 22 \text{ m}\} = 22 \text{ m}$$

$$\frac{e}{10} = \frac{22}{10} = 2,2 \text{ m}$$

$$\frac{e}{4} = \frac{22}{4} = 5,5 \text{ m}$$

$$\frac{e}{2} = \frac{22}{2} = 11 \text{ m}$$



Tabulka zatížení větrem západním na střeche

Oblast	$q_z(10,8)$	$C_{pe,10}$	$w_e[kN/m^2]$	$w_{e,d}[kN/m^2]$
F	1,09	-1,6	-1,74	-2,63
G	1,09	-1,3	-1,42	-2,13
H	1,09	-0,7	-0,76	-1,14
I	1,09	-0,6	-0,65	-0,98

Předběžný návrh

Střešní plášť

Varianta A

Plášť:

- Střešní plášť sendvičových panelů KINGSPAN)

Vaznice:

- Tenkostěnná vaznice tvaru „Z“

Obvodový plášť:

- Stěnové sendvičové panely KINGSPAN
- Paždíky „C“ profily
- mezi sloupky

Návrh trapézového plechu

Zatížení

Zatížení sněhem $s_k = 1,43 \frac{kN}{m^2}$

Název	Plošné zatížení (kN/m ²)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m ²)
Sníh	1,43	1,5	2,15
panel	0,15	1,35	0,2
			2,35 kN/m ²

Celkové zatížení od sněhu a stálého zatížení

$$q_{stálé+sníh} = 2,35 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem oblast F $w_F = -1,74 \frac{kN}{m^2}$

Posouzení na sání větru

Navrhují vzdálenost vaznic $l_v = 2,25 \text{ m}$

Navrhují panel KS1000 RW jako nosník o 3 a více polích tl. 160 mm (viz. Příloha str 1. a 2.)

Únosnost profilu-sání větru uvažovaná podle tabulek při maximálním charakteristickým zatížením od sání větru $q_{Ek} = 1,75 \frac{kN}{m^2}$

$$l_{lim} = 2,38 \text{ m} > l_v = 2,25 \text{ m} \quad \underline{\text{panel vyhoví}}$$

Posouzení na zatížení sněhem uvažovaná podle tabulek při maximálním charakteristickým zatížením od sněhu $q_{Ek} = 1,43 \frac{kN}{m^2}$

$$l_{lim} = 2,73 \text{ m} > l_v = 2,25 \text{ m} \quad \underline{\text{panel vyhoví}}$$

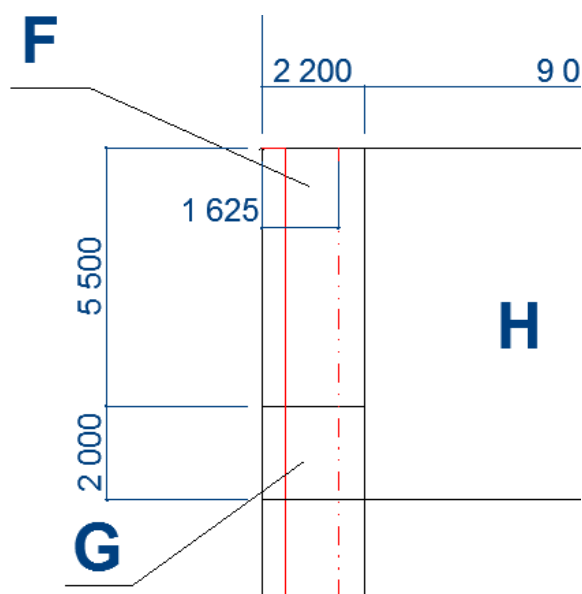
Návrh 1. Vaznice (západní vítr)

Posudek na sání větru

Zatížení:

Oblast F $w_{F,Ed} = -2,78 \frac{kN}{m^2}$

Oblast G $w_{G,Ed} = -1,97 \frac{kN}{m^2}$



Zatížení

$$q_{vitr,F} = (1,625 \cdot w_{F,Ed})$$

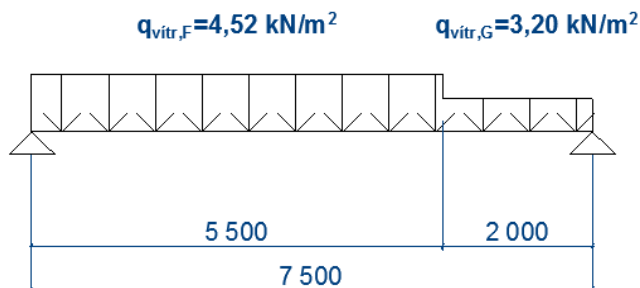
$$q_{vitr,F} = (1,625 \cdot 2,78)$$

$$q_{vitr,F} = 4,52 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,G} = (1,625 \cdot w_{G,Ed})$$

$$q_{vitr,G} = (1,625 \cdot 1,97)$$

$$q_{vitr,G} = 3,20 \frac{kN}{m}$$



$$q_{vitr,záp} = \frac{4,52 \cdot 5,50 + 3,20 \cdot 2,00}{5,5 + 2,00}$$

$$q_{vitr,záp} = 4,17 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 3)

Únosnost vaznice na sání větru

$$q_{Rd} = -5,04 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = -4,17 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na sání vyhoví}$$

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sníh- } q_{Ed,s} = 2,35 \frac{kN}{m^2}$$

Osová vzdálenost vaznic $l_v = 1,625 \text{ m}$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,sníh} = q_{Ed,s} \cdot l_v$$

$$q_{Ed,sníh} = 2,35 \cdot 1,625$$

$$q_{Ed,sníh} = 3,94 \frac{kN}{m}$$

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 3,94 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na zatížení sněhem vyhoví}$$

Posouzení průhybu vaznice

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou na rozpětí 7,5 m jako nosník o třech a více polích.

Posudek na nejvíce zatíženou vaznici na sání větrem (1. vaznice)

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ek} = \frac{4,17}{1,5} = -2,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Posudek na zatížení sněhem

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ek} = \frac{3,95}{1,5} = 2,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

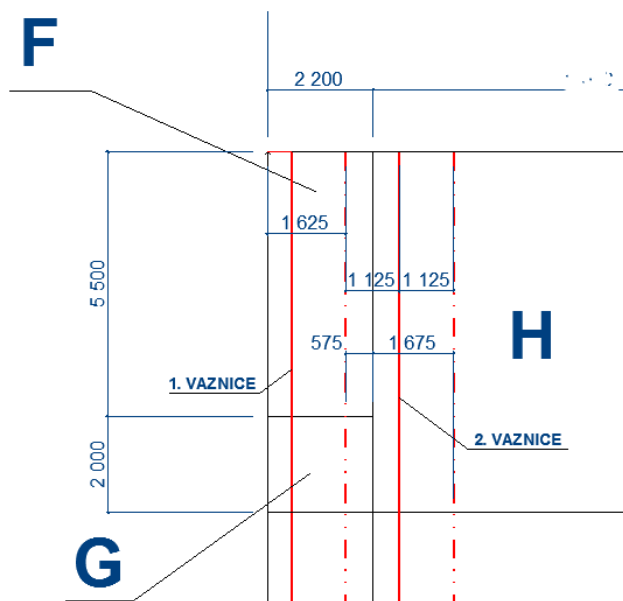
Návrh 2. vaznice (západní vítr)

Zatížení

$$\text{Oblast F } w_{F,Ed} = -2,78 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Oblast G } w_{G,Ed} = -1,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Oblast H } w_{H,Ed} = -0,98 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



$$q_{vitr,záp,1} = 0,575 \cdot w_{F,Ed} + 1,675 \cdot w_{H,Ed}$$

$$q_{vitr,záp,1} = 0,575 \cdot 2,78 + 1,675 \cdot 0,98$$

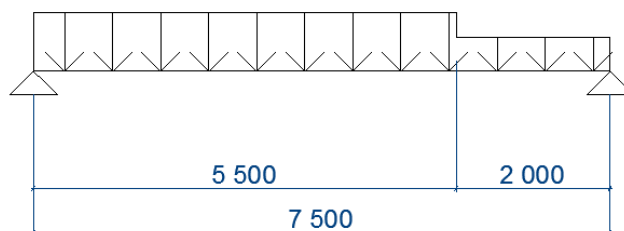
$$q_{vitr,záp,1} = 3,24 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,záp,2} = 0,575 \cdot w_{G,Ed} + 1,675 \cdot w_{H,Ed}$$

$$q_{vitr,záp,2} = 0,575 \cdot 1,97 + 1,675 \cdot 0,98$$

$$q_{vitr,záp,2} = 2,77 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,záp,1} = 3,24 \text{ kN/m}^2 \quad q_{vitr,záp,2} = 2,77 \text{ kN/m}^2$$



$$q_{vitr,záp} = \frac{q_{vitr,záp,1} \cdot 5,50 + q_{vitr,záp,2} \cdot 2,00}{5,5 + 2,00}$$

$$q_{vitr,záp} = \frac{3,24 \cdot 5,50 + 2,77 \cdot 2,00}{5,5 + 2,00}$$

$$q_{vitr,záp} = 3,11 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 3)

Únosnost vaznice na sání větru

$$q_{Rd} = -5,04 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = -3,11 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na sání vyhoví}$$

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sníh- } q_{Ed,s} = 2,35 \frac{kN}{m^2}$$

Osová vzdálenost vaznic $l_v = 2,25 \text{ m}$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,snih} = q_{Ed,s} \cdot l_v$$

$$q_{Ed,snih} = 2,35 \cdot 2,25$$

$$q_{Ed,snih} = 5,29 \frac{kN}{m}$$

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 5,29 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na zatížení sněhem vyhoví}$$

Posouzení průhybu vaznice

$$\text{Maximální přípustná deformace } \delta \leq \frac{l_v}{200}$$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou na rozpětí 7,5 m jako nosník o třech a více polích.

Posudek na nejvíce zatíženou vaznici na sání větrem (1. vaznice)

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{kN}{m} > q_{Ek} = \frac{3,11}{1,5} = -2,07 \frac{kN}{m} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Posudek na zatížení sněhem

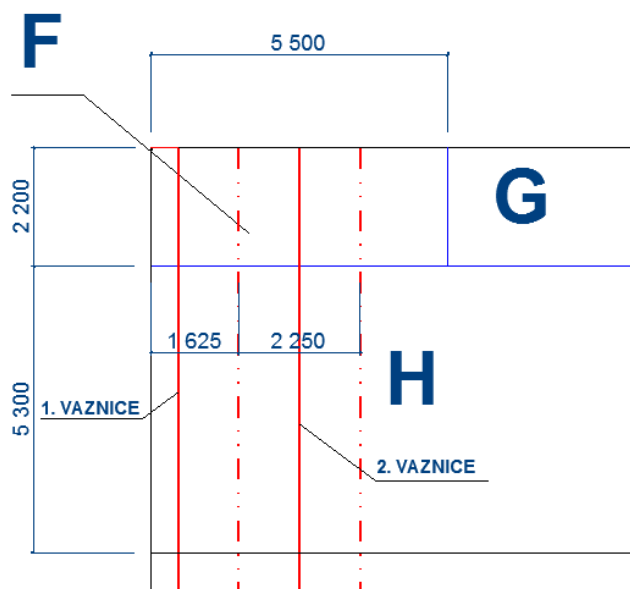
$$q_{Rk} = 8,58 \frac{kN}{m} > q_{Ek} = \frac{5,29}{1,5} = 3,53 \frac{kN}{m} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Návrh 1. Vaznice (severní vítr)

Zatížení

$$\text{Oblast F } w_{F,Ed} = -2,63 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Oblast H } w_{H,Ed} = -1,14 \frac{kN}{m^2}$$



Zatížení

$$q_{vitr,F} = (1,625 \cdot w_{F,Ed})$$

$$q_{vitr,F} = (1,625 \cdot 2,63)$$

$$q_{vitr,F} = 4,27 \frac{kN}{m}$$

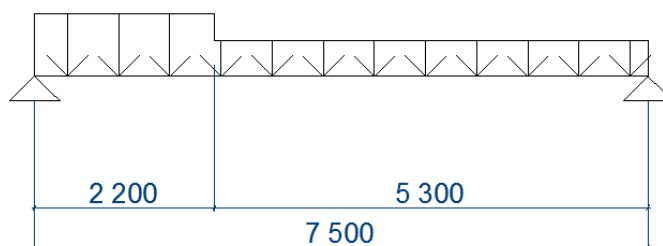
$$q_{vitr,H} = (1,625 \cdot w_{H,Ed})$$

$$q_{vitr,H} = (1,625 \cdot 1,14)$$

$$q_{vitr,H} = 1,85 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,F} = 4,27 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{vitr,H} = 1,85 \text{ kN/m}^2$$



$$q_{vitr,sev} = \frac{q_{vitr,F} \cdot 2,20 + q_{vitr,H} \cdot 5,30}{2,20 + 5,30}$$

$$q_{vitr,sev} = \frac{4,27 \cdot 2,20 + 1,85 \cdot 5,30}{2,20 + 5,30}$$

$$q_{vitr,sev} = 2,56 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 3)

Únosnost vaznice na sání větru

$$q_{Rd} = -5,04 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ed} = -2,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ Vaznice na sání vyhoví}$$

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sníh- } q_{Ed,s} = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Osová vzdálenost vaznic } l_v = 1,625 \text{ m}$$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,sníh} = q_{Ed,s} \cdot l_v$$

$$q_{Ed,sníh} = 2,35 \cdot 1,625$$

$$q_{Ed,sníh} = 3,94 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ed} = 3,94 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ Vaznice na zatížení sněhem vyhoví}$$

Posouzení průhybu vaznice

$$\text{Maximální přípustná deformace } \delta \leq \frac{l_v}{200}$$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou na rozpětí 7,5 m jako nosník o třech a více polích.

Posudek na nejvíce zatíženou vaznici na sání větrem (1. vaznice)

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ek} = \frac{2,56}{1,5} = -1,71 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Posudek na zatížení sněhem

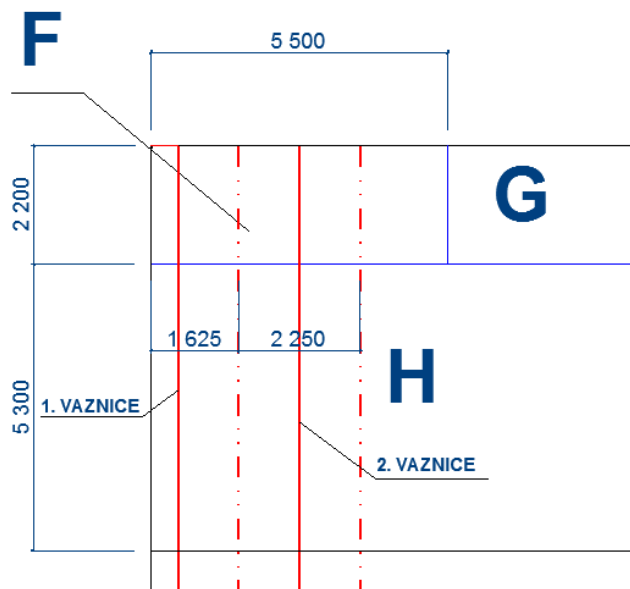
$$q_{Rk} = 8,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ek} = \frac{3,95}{1,5} = 2,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Návrh 2. Vaznice (severní vítr)

Zatížení

$$\text{Oblast F } w_{F,Ed} = -2,63 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Oblast H } w_{H,Ed} = -1,14 \frac{kN}{m^2}$$



Zatížení

$$q_{vitr,F} = (2,25 \cdot w_{F,Ed})$$

$$q_{vitr,F} = (2,25 \cdot 2,63)$$

$$q_{vitr,F} = 5,92 \frac{kN}{m}$$

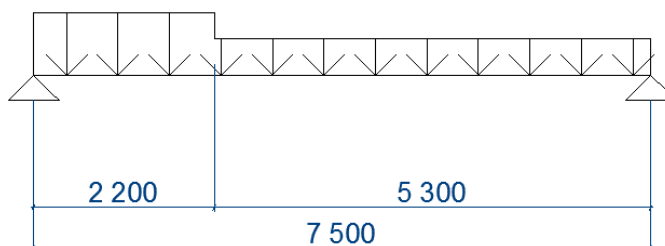
$$q_{vitr,H} = (2,25 \cdot w_{H,Ed})$$

$$q_{vitr,H} = (2,25 \cdot 1,14)$$

$$q_{vitr,H} = 2,57 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,F} = 5,92 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{vitr,H} = 2,57 \text{ kN/m}^2$$



$$q_{vitr,sev} = \frac{q_{vitr,F} \cdot 2,20 + q_{vitr,H} \cdot 5,30}{2,20 + 5,30}$$

$$q_{vitr,sev} = \frac{5,92 \cdot 2,20 + 2,57 \cdot 5,30}{2,20 + 5,30}$$

$$q_{vitr,sev} = 3,55 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 m$ (viz. Příloha str. 3)

Únosnost vaznice na sání větru

$$q_{Rd} = -5,04 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = -3,55 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na sání vyhoví}$$

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sníh- } q_{Ed,s} = 2,35 \frac{kN}{m^2}$$

Osová vzdálenost vaznic $l_v = 2,25 m$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,sníh} = q_{Ed,s} \cdot l_v$$

$$q_{Ed,sníh} = 2,35 \cdot 2,25$$

$$q_{Ed,sníh} = 5,29 \frac{kN}{m}$$

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 5,29 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na zatížení sněhem vyhoví}$$

Posouzení průhybu vaznice

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 mm$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou na rozpětí 7,5 m jako nosník o třech a více polích.

Posudek na nejméně zatíženou vaznici na sání větrem (1. vaznice)

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{kN}{m} > q_{Ek} = \frac{3,55}{1,5} = -2,37 \frac{kN}{m} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

Posudek na zatížení sněhem

$$q_{Rk} = 8,58 \frac{kN}{m} > q_{Ek} = \frac{5,29}{1,5} = 3,53 \frac{kN}{m} \quad \text{vaznice vyhoví na průhyb}$$

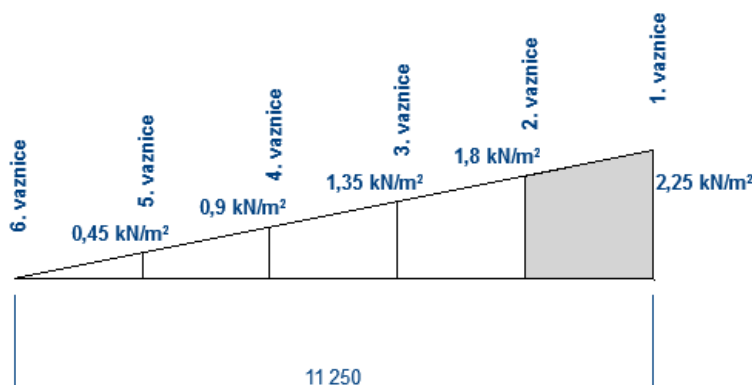
Posouzení sendvičových panelů a vaznic v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem

Sendvičový panel

Navržený panel KS1000 RW jako nosník o 3 a více polích tl. 160 mm (viz. Příloha str. 1-2)

Maximální zatížení sněhem – $q_{Snih,k} = 2,25 \frac{kN}{m^2}$

Charakter zatížení



$$q_{Snih,k} = \frac{2,25 + 0,45}{2}$$

$$q_{Snih,k} = 1,35 \frac{kN}{m^2}$$

Posouzení na zatížení sněhem uvažovaná podle tabulek při maximálním charakteristickém zatížení od sněhu $q_{Ek} = 2,00 \frac{kN}{m^2}$

$$l_{lim} = 2,26 \text{ m} > l_v = 2,25 \text{ m} \quad \text{panel vyhoví}$$

Posudek 1. Vaznice na sníh v úžlabí

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 3)

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sníh- } q_{Ek,s} = 2,00 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Osová vzdálenost vaznic } l_v = 2,25 \text{ m}$$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,snih} = q_{Ek,s} \cdot \gamma_Q \cdot l_v$$

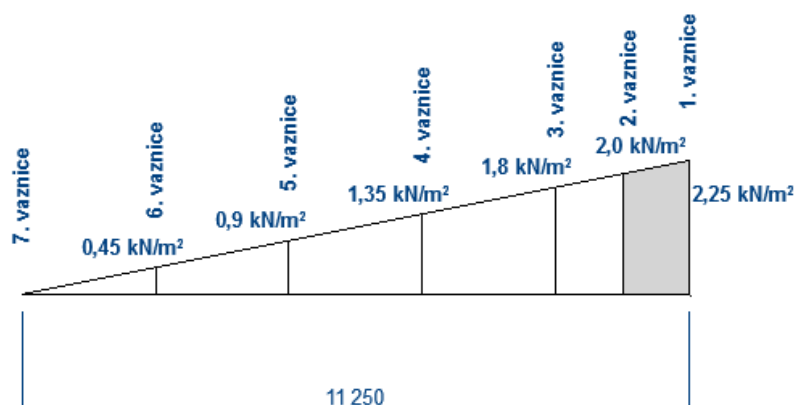
$$q_{Ed,snih} = 2,00 \cdot 1,5 \cdot 2,25$$

$$q_{Ed,snih} = 6,75 \frac{kN}{m}$$

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 6,75 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na zatížení sněhem } \underline{\text{nevyhoví}}$$

V úžlabí zhustím vaznice podle obrázku



$$q_{Snih,k} = \frac{2,25 + 2,00}{2}$$

$$q_{Snih,k} = 2,13 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Osová vzdálenost vaznic } l_v = 1,125 \text{ m}$$

Zatížení sněhem

$$q_{Ed,snih} = q_{Ek,s} \cdot \gamma_Q \cdot l_v$$

$$q_{Ed,snih} = 2,13 \cdot 1,5 \cdot 1,125$$

$$q_{Ed,snih} = 3,59 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnnou vaznici Z350/2,5 s profilovanou stojinou jako spojitý nosník o 3 a více polích na rozpětí $l = 7,5 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 3)

Únosnost vaznice při zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 5,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 3,59 \frac{kN}{m} \text{ Vaznice na zatížení sněhem vyhoví}$$

Varianta ANávrh obvodového pláště

Mezi rámy bude osazen sloupek obvodového pláště

-Výška stěny $h = 9,5 \text{ m}$

-osová vzdálenost paždíků $l_p = 1,9 \text{ m}$

Návrh sendvičového panelu

Zatížení větrem oblast A $w_A = -1,97 \frac{kN}{m^2}$

Posouzení na sání větru

Navrhují vzdálenost paždíků $l_p = 2,3 \text{ m}$

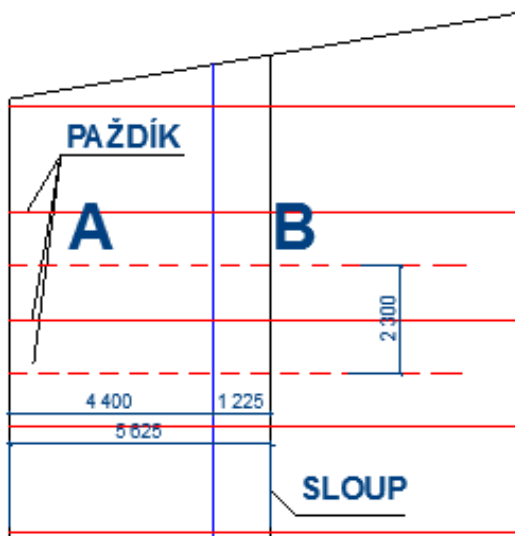
Navrhují panel KS1150 NF/TL jako nosník o 3 a více polích tl. 100 mm (viz. Příloha str. 4)

Únosnost profilu-sání větru uvažovaná podle tabulek při maximálním charakteristickým zatížením od sání větru $q_{Ek} = 2,00 \frac{kN}{m^2}$

$$l_{lim} = 3,36 \text{ m} > l_v = 2,3 \text{ m} \quad \text{panel vyhoví}$$

Návrh paždíku (západní vítr)

Schéma pohled



Zatížení

$$\text{Oblast A } w_{A,Ed} = -1,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Oblast B } w_{B,Ed} = -1,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot w_{A,Ed})$$

$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot 1,97)$$

$$q_{vitr,A} = 4,53 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

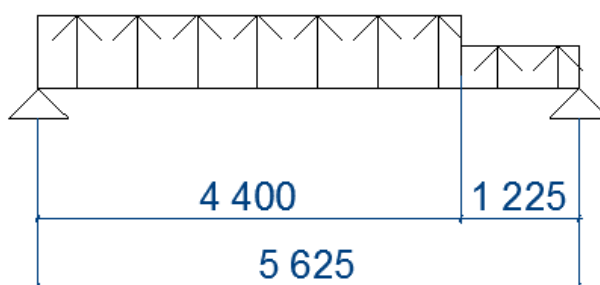
$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot w_{B,Ed})$$

$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot 1,31)$$

$$q_{vitr,B} = 3,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{vitr,A} = 4,51 \text{ kN/m}$$

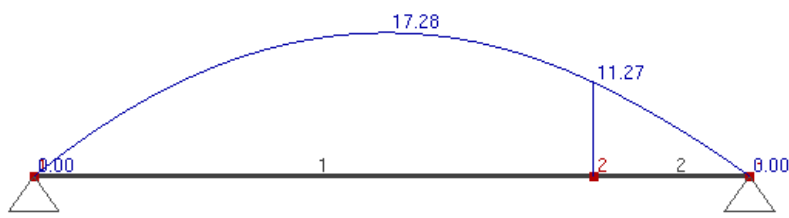
$$q_{vitr,B} = 3,01 \text{ kN/m}$$



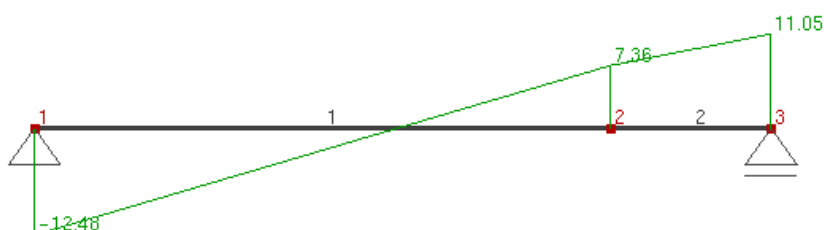
Navrhnu paždík UPE 160 jako prostý nosník na rozpětí $l = 5,63 \text{ m}$

Vnitřní síly zjištěny v programu EduBeam

Ohybový moment



Posouvající síla



Navrhnu ocelový „U“ profil UPE 200

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 2901 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 1350 \text{ mm}^2$
- $I_y = 1909 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 220,1 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 220,1 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 17,28 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 51,72 \text{ kNm} > M_{Ed} = 17,28 \text{ kNm} \text{ Paždík vyhoví}$$

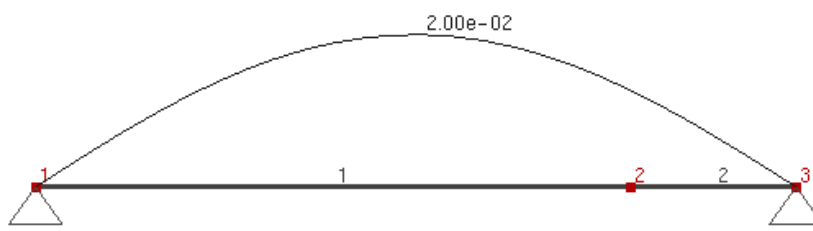
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1350 \cdot 235 > V_{Ed} = 12,48 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 317,25 \text{ kN} > V_{Ed} = 12,48 \text{ kN} \text{ Paždík vyhoví}$$

Průhyb paždíku vypočítaný pomocí programu EduBeam



$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{5625}{200}$$

$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = 28,1 \text{ mm} \text{ Paždík vyhoví}$$

Vliv klopení

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5625} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 11000 \cdot 10^6}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 8,89 \cdot 10^4}}$$

$$\kappa_w = 0,32$$

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

$$C_1 = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,32$$

$$C_1 = 1,130$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,32^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,19$$

Kritický moment

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

$$M_{cr} = 1,19 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 187,3 \cdot 10^4 \cdot 80,7 \cdot 10^3 \cdot 8,89 \cdot 10^4}}{5625}$$

$$M_{cr} = 35,31 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{220,1 \cdot 10^3 \cdot 235}{35,31 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,21$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,21 - 0,2) + 1,21^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,47$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,47 + \sqrt{1,47^2 - 1,21^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,434$$

Posouzení sloup v na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

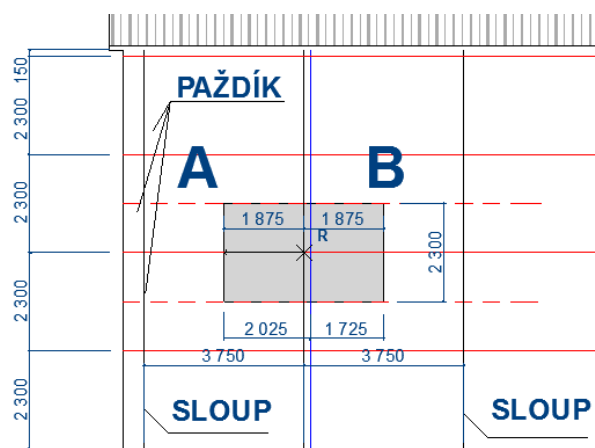
$$M_{b,Rd} = \frac{0,434 \cdot 220,1 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 17,28 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 22,45 \text{ kNm} > 17,28 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Návrh paždíku (severní vítr)

Schéma pohled



Zatížení

Oblast A $w_{A,Ed} = -1,97 \frac{kN}{m^2}$

Oblast B $w_{B,Ed} = -1,31 \frac{kN}{m^2}$

$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot w_{A,Ed})$$

$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot 1,97)$$

$$q_{vitr,A} = 3,74 \frac{kN}{m}$$

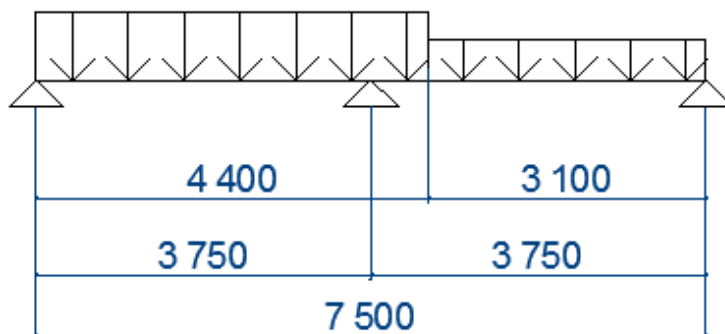
$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot w_{B,Ed})$$

$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot 1,31)$$

$$q_{vitr,B} = 3,01 \frac{kN}{m}$$

$q_{vitr,A} = 3,74 \text{ kN/m}^2$

$q_{vitr,B} = 3,01 \text{ kN/m}^2$



$$q_{vitr,sev} = 3,74 \frac{kN}{m}$$

Navrhnu tenkostěnný paždík C180/2,0 jako nosník o dvou polích na rozpětí $l = 3,75 m$ (viz. Příloha str. 5)

Únosnost paždíku na sání větru

$$q_{Rd} = -3,87 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = -3,74 \frac{kN}{m} \text{ Paždík na sání vyhoví}$$

Posouzení průhybu paždíku

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{3750}{200}$$

$$\delta \leq 18,8 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro paždík C180/2,0 s rovnou stojinou na rozpětí 3,75 m jako dvou polový nosník.

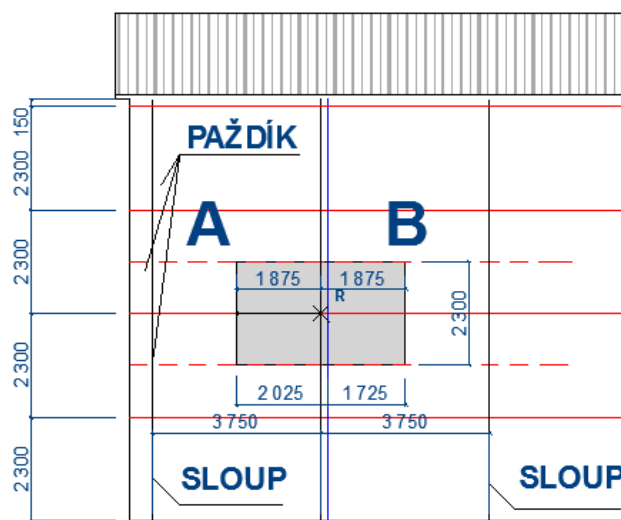
Posudek na nejvíce zatížený paždík na sání větrem

$$q_{Rk} = -11,3 \frac{kN}{m} > q_{Ek} = \frac{3,74}{1,5} = -2,49 \frac{kN}{m} \text{ paždík vyhoví na průhyb}$$

Návrh mezi sloupku

Výpočet síly na sloupek

Schéma

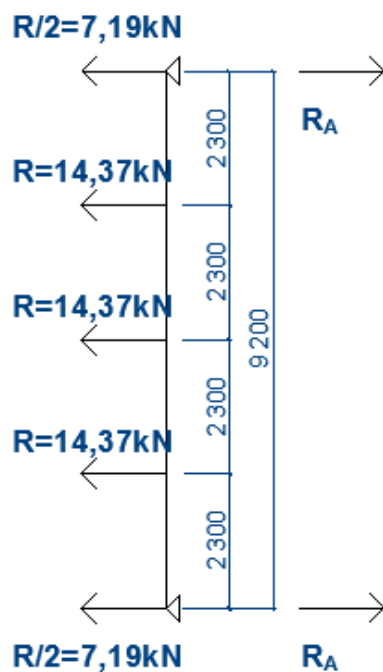


$$R = (q_{vitr,A} \cdot 2,025 + q_{vitr,B} \cdot 1,725) \cdot l_p$$

$$R = (1,97 \cdot 2,025 + 1,31 \cdot 1,725) \cdot 2,3$$

$$R = 14,37 \text{ kN}$$

Statické schéma



Reakce a vnitřní síly

$$R_A = 2,0 \cdot R$$

$$R_A = 2,0 \cdot 14,37$$

$$R_A = 28,74 \text{ kN}$$

Ohybový moment

$$M_{Ed} = R_A \cdot 4,6 - 14,37 \cdot 2,3 - 7,19 \cdot 4,6$$

$$M_{Ed} = 28,74 \cdot 4,6 - 14,37 \cdot 2,3 - 7,19 \cdot 4,6$$

$$M_{Ed} = 66,08 \text{ kNm}$$

Posouvající síla

$$V_{Ed} = R_A = 28,74 \text{ kN}$$

Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 330

- ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 6261 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 3081 \text{ mm}^2$
- $I_y = 11700 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 804,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 804,3 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 66,08 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 189,01 \text{ kNm} > M_{Ed} = 66,08 \text{ kNm} \text{ Sloup vyhoví}$$

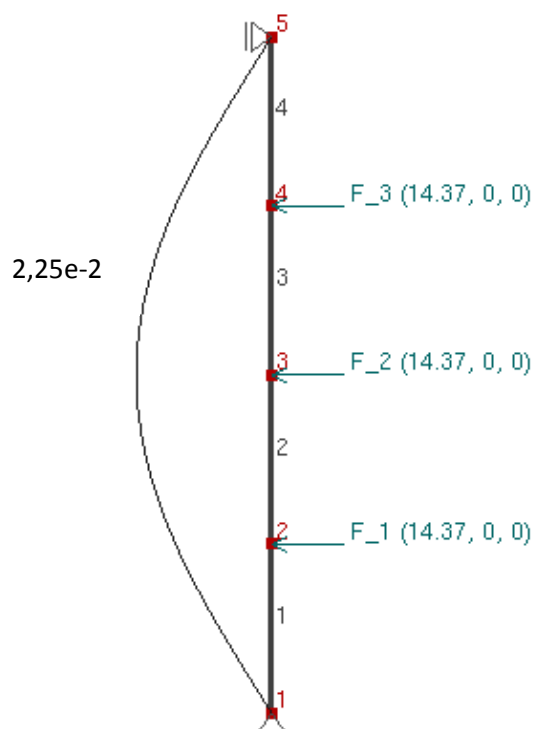
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 3081 \cdot 235 > V_{Ed} = 28,74 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 724,04 \text{ kN} > V_{Ed} = 28,74 \text{ kN} \text{ Sloup vyhoví}$$

Průhyb sloupu vypočítaný pomocí programu EduBeam



$$w = 22,5 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{250}$$

$$w = 22,5 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{9500}{250}$$

$$w = 22,5 \text{ mm} < w_{lim} = 38 \text{ mm} \text{ Sloup vyhoví}$$

Posouzení vlivu kroucení

Průřezové charakteristiky IPE330

$$-A = 6261 \text{ mm}^2$$

$$-A_{vz} = 3081 \text{ mm}^2$$

$$-I_y = 11770 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

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

$$-I_\omega = 199100 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

$$-E = 210 \text{ GPa}$$

$$-G = 80,7 \text{ GPa}$$

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

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

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\beta = 0,75$$

$$\alpha_{LT} = 0,34$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{1,0 \cdot 9500} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 199100 \cdot 10^6}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 28,15 \cdot 10^4}}$$

$$\kappa_w = 0,45$$

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

$$C_1 = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,45$$

$$C_1 = 1,130$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,45^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,25$$

Kritický moment

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

$$M_{cr} = 1,25 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 788,1 \cdot 10^4 \cdot 80,7 \cdot 10^3 \cdot 28,15 \cdot 10^4}}{9500}$$

$$M_{cr} = 80,15 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{804,3 \cdot 10^3 \cdot 235}{80,15 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,56$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,56 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,56^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,61$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,61 + \sqrt{1,61^2 - 0,75 \cdot 1,56^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,40$$

Posouzení sloup v na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,40 \cdot 804,3 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 66,08 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 75,60 \text{ kNm} > 66,08 \text{ kNm}$$

sloup na klopení za ohybu vyhoví

Jelikož, pro návrh mezi sloupku je rozhodující ztráta stability v ohybu, a dříve popsany výpočet nezahrnuje vliv obvodového pláště provedu výpočet v programu LTBeamN, kde tento účinek zahrnu do výpočtu a zkusím navrhnout průřez IPE300.

Kritický moment z programu LTBearN $M_{cr} = 85,15 \text{ kNm}$ (viz. Příloha str. 6-7)

Průřezové charakteristiky IPE300

$$-A = 5381 \text{ mm}^2$$

$$-A_{vz} = 2568 \text{ mm}^2$$

$$-I_y = 8356 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{628,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{85,15 \cdot 10^6}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = 1,32$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,32 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,32^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,31$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \overline{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,31 + \sqrt{1,31^2 - 0,75 \cdot 1,32^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,51$$

Posouzení sloup v na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,51 \cdot 628,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 66,08 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 75,31 \text{ kNm} > 66,08 \text{ kNm}$$

sloup na klopení za ohybu vyhoví

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{2568 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 28,74 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 348,42 \text{ kN} > V_{Ed} = 28,74 \text{ kN}$$

Malý smyk není potřeba posoudit interakci ohybu se smykem.

Varianta B

Plášť:

- Střešní plášť se samonosným trapézovým plechem (Arval)
- Střešní plášť zateplený
- Střešní plášť bude skládám při montáži
- Bez vaznicový systém

Obvodový plášť:

- Stěnový plášť skládaný s horizontálními kazetami
- zateplený

Návrh trapézového plechuZatížení sněhem $s_d = 1,80 \frac{kN}{m^2}$

Název	Plošné zatížení (kN/m ²)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m ²)
Sníh	1,2	1,5	1,80
plech	0,053	1,35	0,072
izolace tl. 150 mm (	0,22	1,35	0,297
			2,17 kN/m ²

Celkové zatížení od sněhu a stálého zatížení

$$q_{stálé+sníh} = 2,17 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem oblast F $w_F = -1,85 \frac{kN}{m^2}$ Návrhová hodnota $w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$

$$w_{F,Ed} = -1,85 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = -2,78 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed}$$

Navrhuji vzdálenost ráků $l_v = 7,5 \text{ m}$

Navrhuji TR 206/375 na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník, tloušťky plechu 1,13 mm (viz příloha str. 8)

Únosnost profilu na sání větru

$$q_{Rd} = 3,19 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 2,78 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví}}$$

Na zatížení sněhem

$$q_{Rd} = 3,19 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 2,17 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví}}$$

Posouzení průhybu

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro TR 206/375 na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník, tloušťky plechu 1,13 mm.

$$q_{Rk} = 1,90 \frac{kN}{m^2} > q_{Ek} = 1,85 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví na průhyb}}$$

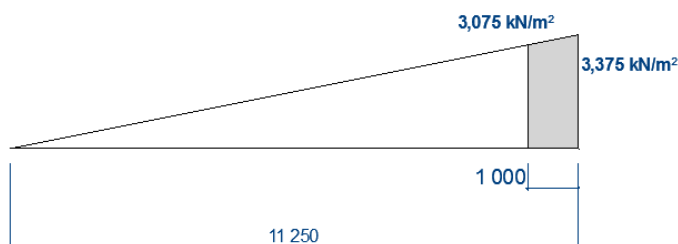
Posouzení trapézového plechu v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem

Navržený plech TR 206/375 jako prostý nosník tl. Plechu 1,13 mm (viz.

Příloha str. 8)

Maximální zatížení sněhem – $q_{Snih,d} = 3,375 \frac{kN}{m^2}$

Charakter zatížení (uvažuje nejhorší zatížení na 1 m)



$$q_{Snih,d} = \frac{3,375 + 3,075}{2}$$

$$q_{Snih,d} = 3,23 \frac{kN}{m^2}$$

Posouzení na zatížení sněhem uvažovaná podle tabulek při maximálním návrhovém zatížení od sněhu, při rozpětí $l_p = 7,5 \text{ m}$

$$q_{Rd} = 3,19 \frac{kN}{m^2} \not> q_{Ed} = 3,23 \frac{kN}{m^2} \text{ plech na zatížení sněhem } \underline{\text{nevyhoví}}$$

Navržený plech TR 206/375 jako prostý nosník tl. Plechu 1,5 mm (viz. Příloha str. 8)

Posouzení na zatížení sněhem uvažovaná podle tabulek při maximálním návrhovém zatížení od sněhu, při rozpětí $l_p = 7,5$ m

$$q_{Rd} = 4,21 \frac{kN}{m} > q_{Ed} = 3,23 \frac{kN}{m} \text{ plech na zatížení sněhem } \underline{\text{nevyhoví}}$$

Posouzení průhybu při sání větru

Maximální přípustná deformace $\delta \leq 37,5$ mm

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$,
protrápězový plech TR 206/375 na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník,
tloušťky plechu 1,5 mm.

$$q_{Rk} = 2,54 \frac{kN}{m^2} > q_{Ek} = \frac{3,23}{1,5} = 2,15 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví na průhyb}}$$

Závěr:

V místě úžlabí navrhnu 2x TR 206/375 tl. plechu 1,5mm. Celková šířka obou plechů 1,5 m, v na zbytku střechy vyhoví plech TR 206/375 tl. plechu 1,13 mm.

Návrh kazet

$$\text{Zatížení větrem oblast A } w_A = -1,31 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Návrhová hodnota } w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$$

$$w_{F,Ed} = -1,31 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = -1,97 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed,sání}$$

$$\text{Zatížení větrem oblast D } w_D = 0,87 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Návrhová hodnota } w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$$

$$w_{F,Ed} = 0,87 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = 1,31 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed,tlak}$$

Vzdálenost ráků $l_v = 7,5$ m

Navrhnu kazetu 200/600S na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník, tloušťky plechu 1,5 mm (viz příloha str. 9)

Únosnost profilu na sání větru

$$q_{Rd} = 3,08 \frac{kN}{m^2} \geq q_{Ed} = 1,97 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Kazeta vyhoví}}$$

Posouzení průhybu při sání větru

$$\text{Maximální přípustná deformace } \delta \leq \frac{l_v}{200}$$

$$\delta \leq \frac{7500}{200}$$

$$\delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro kazetu 200/600S na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník, tloušťky plechu 1,5 mm.

$$q_{Rk} = 1,83 \frac{kN}{m^2} > q_{Ek} = 1,31 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Kazeta vyhoví na průhyb}}$$

Na zatížení tlakem větru

$$q_{Rd} = 2,71 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 1,31 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Kazeta vyhoví}}$$

Posouzení průhybu při sání větru

$$\text{Maximální přípustná deformace } \delta \leq 37,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro kazetu 200-600S na rozpětí 7,5 m jako prostý nosník, tloušťky plechu 1,5 mm.

$$q_{Rk} = 2,17 \frac{kN}{m^2} > q_{Ek} = 0,87 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Kazeta vyhoví na průhyb}}$$

Varianta C

Plášť:

- Střešní plášť z trapézových plechů (Arval)
- Střešní plášť zateplený
- Hydroizolační vrstva (fólie)
- Střešní plášť bude skládán při montáži

Vaznice:

- Vaznice z ocelových válcovaných „I“ profilů

Obvodový plášť:

- Obvodový plášť z trapézových plechů (Arval)
- Plášť zateplený
- Plášť skládán při montáži
- Podporován mezi sloupky

Návrh trapézového plechuZatížení sněhem $s_d = 1,2 \frac{kN}{m^2}$

Název	Plošné zatížení (kN/m ²)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m ²)
Sníh	1,2	1,5	1,80
plech	0,053	1,35	0,072
izolace tl. 150 mm (	0,22	1,35	0,297
			2,15 kN/m ²

Celkové zatížení od sněhu a stálého zatížení

$$q_{stálé+sníh} = 2,15 \text{ kN/m}^2$$

Zatížení větrem oblast F $w_F = -1,85 \frac{kN}{m^2}$ Návrhová hodnota $w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$

$$w_{F,Ed} = -1,85 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = -2,78 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed}$$

Navrhují vzdálenost vaznic $l_v = 1,85 \text{ m}$

Navrhuji TR 39/333 na rozpětí 1,85 m jako nosník o třech a více polích,
tloušťky plechu 1,00 mm (viz příloha str. 10)

Únosnost profilu na sání větru

$$q_{Rd} = 4,00 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 2,78 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví}}$$

Posouzení na zatížení stálé + sníh

$$q_{Rd} = 4,00 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 1,80 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví}}$$

Posouzení průhybu

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

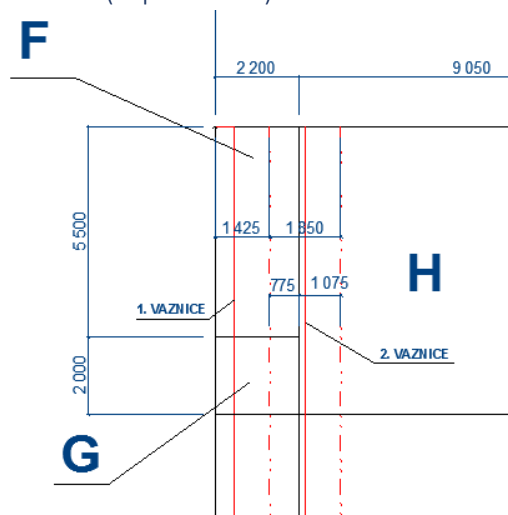
$$\delta \leq \frac{1850}{200}$$

$$\delta \leq 9,3 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro TR 39/333 na rozpětí 1,85 m jako nosník o třech a více polích, tloušťky plechu 1,00 mm.

$$q_{Rk} = 2,46 \frac{kN}{m^2} > q_{Ek} = 1,85 \frac{kN}{m^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví na průhyb}}$$

Návrh 1. Vaznice (západní vítr)



Zatížení

$$q_{vitr,F} = (1,425 \cdot w_{F,Ed})$$

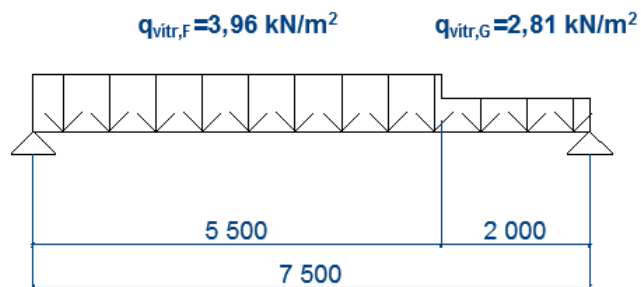
$$q_{vitr,F} = (1,425 \cdot 2,78)$$

$$q_{vitr,F} = 3,96 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,G} = (1,425 \cdot w_{G,Ed})$$

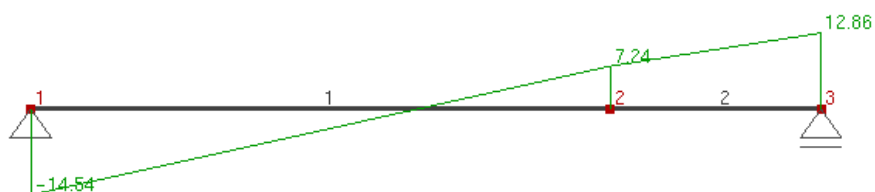
$$q_{vitr,G} = (1,425 \cdot 1,97)$$

$$q_{vitr,G} = 2,81 \frac{kN}{m}$$

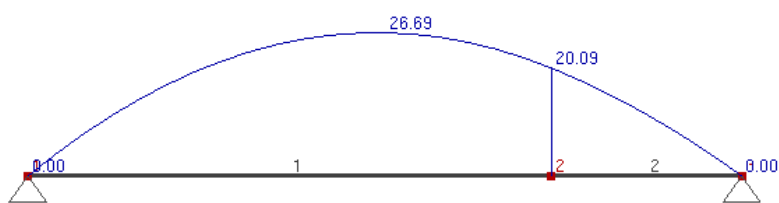


Vnitřní síly z programu EduBeam

Posouvající síla



Ohybový moment



Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 220

- ocel S235 $f_{yd} = 235 MPa$

- $A = 3337 mm^2$
- $A_{vz} = 1588 mm^2$
- $I_y = 2772 \cdot 10^4 mm^4$
- $W_{y,pl} = 285,4 \cdot 10^3 mm^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 285,4 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 26,69 kNm$$

$$M_{Rd} = 67,07 kNm > M_{Ed} = 26,69 kNm \text{ Vaznice vyhoví}$$

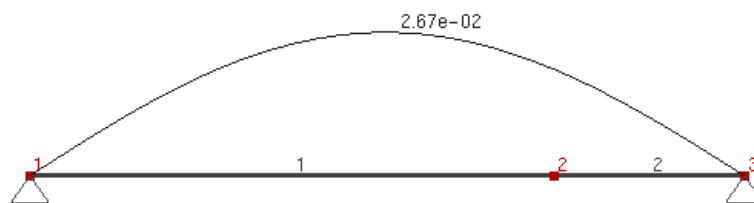
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1588 \cdot 235 > V_{Ed} = 14,54 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 14,54 \text{ kN} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Průhyb výstup z programu EduBeam



$$w = 26,7 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = 26,7 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{200}$$

$$w = 26,7 \text{ mm} < w_{lim} = 37,5 \text{ mm} \text{ Nosník vyhoví}$$

Posouzení klopení 1. Vaznice

Kritický moment z programu LT BeamN $M_{cr} = -45,39 \text{ kNm}$, protokol z výpočtu je součástí přílohy projektu. (viz. Příloha str. 11-12)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{45,39 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,22$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,22 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,22^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,20$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 0,75 \cdot 1,22^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,57$$

Posouzení vaznice na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,57 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 26,71 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 38,23 \text{ kNm} > 26,71 \text{ kNm}$$

Nosník na klopení za ohybu vyhoví

Posouzení na smyk

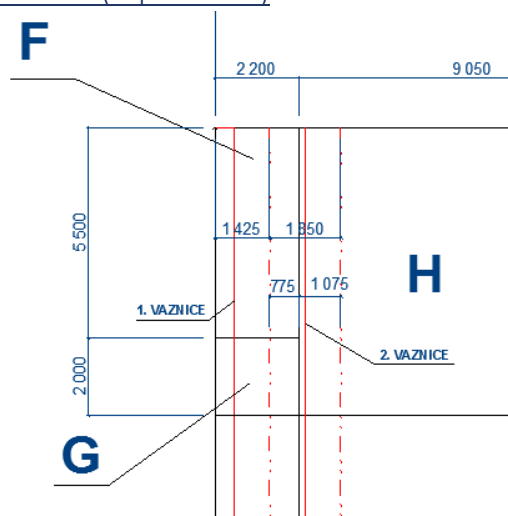
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1588 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 14,54 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 14,54 \text{ kN}$$

Malý smyk není potřeba posoudit interakci ohybu se smykem.

Návrh 2. vaznice (západní vítr)



Zatížení

$$q_{vitr,záp,1} = 0,775 \cdot w_{F,Ed} + 1,075 \cdot w_{H,Ed}$$

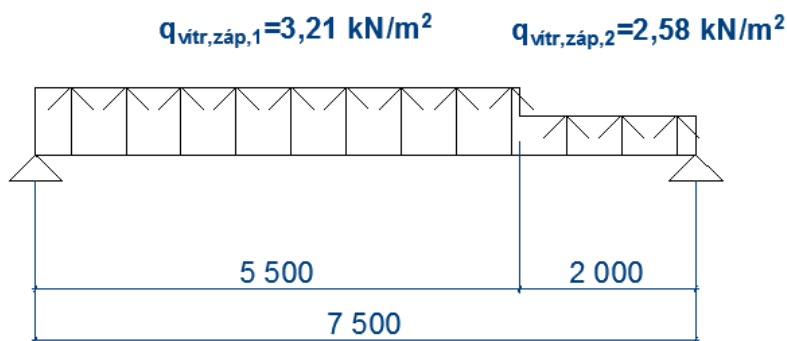
$$q_{vitr,záp,1} = 0,775 \cdot 2,78 + 1,075 \cdot 0,98$$

$$q_{vitr,záp,1} = 3,21 \frac{kN}{m}$$

$$q_{vitr,záp,2} = 0,775 \cdot w_{G,Ed} + 1,075 \cdot w_{H,Ed}$$

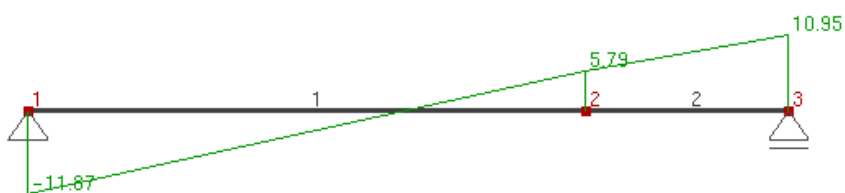
$$q_{vitr,záp,2} = 0,775 \cdot 1,97 + 1,075 \cdot 0,98$$

$$q_{vitr,záp,2} = 2,58 \frac{kN}{m}$$

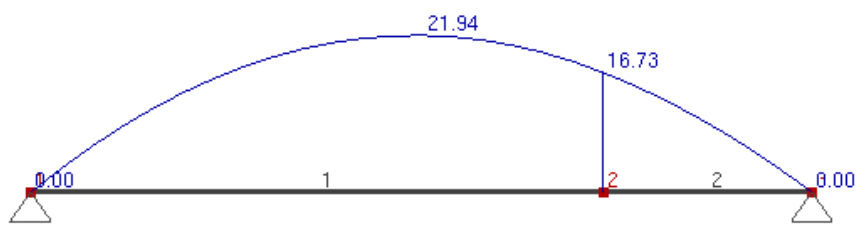


Vnitřní síly z programu EduBeam

Posouvající síla



Ohybový moment



Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 220

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 3337 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$
- $I_y = 2772 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 285,4 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 21,94 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 67,07 \text{ kNm} > M_{Ed} = 21,94 \text{ kNm} \text{ Vaznice vyhoví}$$

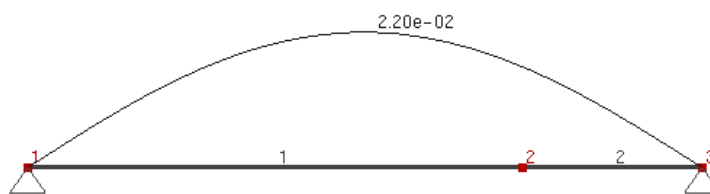
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1588 \cdot 235 > V_{Ed} = 11,87 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 11,87 \text{ kN} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Průhyb výstup z programu EduBeam



$$w = 22,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = 22,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{200}$$

$$w = 22,0 \text{ mm} < w_{lim} = 37,5 \text{ mm} \text{ Nosník vyhoví}$$

Posouzení klopení 1. Vaznice

Kritický moment z programu LT BeamN $M_{cr} = -44,85 \text{ kNm}$, protokol z výpočtu je součástí přílohy projektu. (viz. Příloha str. 11–12)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{44,85 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,22$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,22 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,22^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,20$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,20 + \sqrt{1,20^2 - 0,75 \cdot 1,22^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,57$$

Posouzení vaznice na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,57 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 21,94 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 38,23 \text{ kNm} > 21,94 \text{ kNm}$$

Nosník na klopení za ohybu vyhoví

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1588 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 11,87 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 11,87 \text{ kN}$$

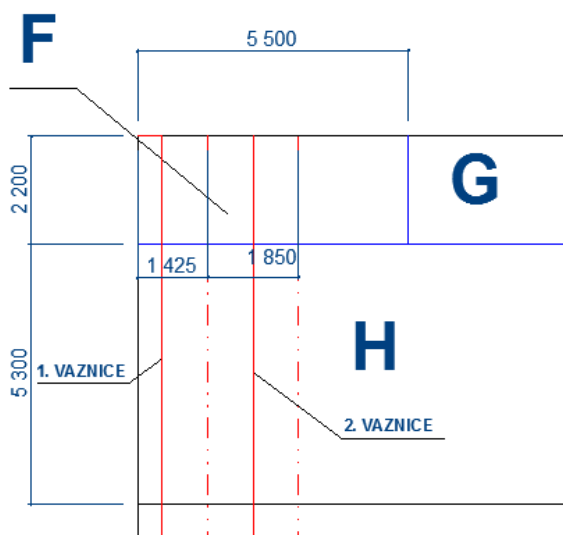
Malý smyk není potřeba posoudit interakci ohybu se smykem.

Návrh 1. Vaznice (severní vítr)

Zatížení

$$\text{Oblast F } w_{F,Ed} = -2,63 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Oblast H } w_{H,Ed} = -1,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Zatížení

$$q_{vitr,F} = (1,85 \cdot w_{F,Ed})$$

$$q_{vitr,F} = (1,85 \cdot 2,78)$$

$$q_{vitr,F} = 5,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

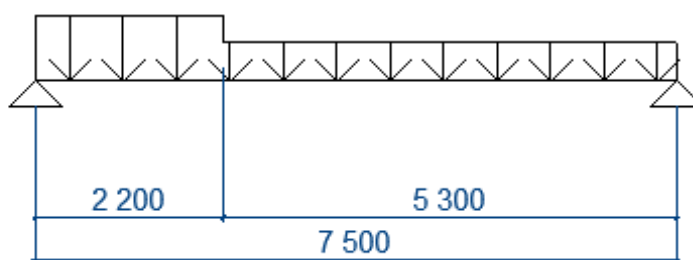
$$q_{vitr,H} = (1,85 \cdot w_{H,Ed})$$

$$q_{vitr,H} = (1,85 \cdot 1,14)$$

$$q_{vitr,H} = 2,11 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

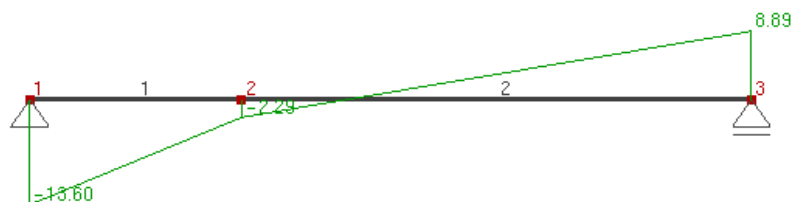
$$q_{vitr,F} = 5,14 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{vitr,H} = 2,11 \text{ kN/m}^2$$

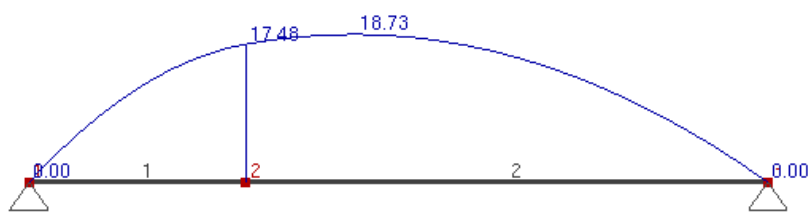


Vnitřní síly z programu EduBeam

Posouvající síla



Ohybový moment



Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 220

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 3337 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$
- $I_y = 2772 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 285,4 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 18,73 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 67,07 \text{ kNm} > M_{Ed} = 18,73 \text{ kNm} \text{ Vaznice vyhoví}$$

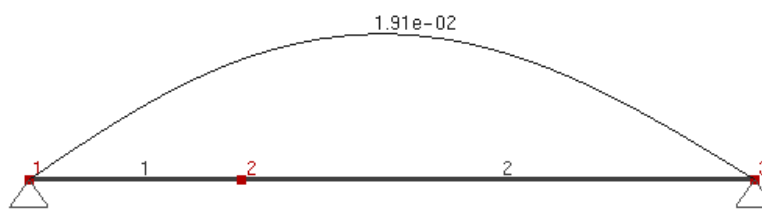
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1588 \cdot 235 > V_{Ed} = 13,60 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 13,60 \text{ kN} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Průhyb výstup z programu EduBeam



$$w = 19,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = 19,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{200}$$

$$w = 19,1 \text{ mm} < w_{lim} = 37,5 \text{ mm} \text{ Nosník vyhoví}$$

Posouzení klopení 1. Vaznice

Kritický moment z programu LT BeamN $M_{cr} = -45,85 \text{ kNm}$, protokol z výpočtu je součástí přílohy projektu. (viz. Příloha 13-14)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{45,85 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,21$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,21 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,21^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,19$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,19 + \sqrt{1,19^2 - 0,75 \cdot 1,21^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,57$$

Posouzení vaznice na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,57 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 18,73 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 38,23 \text{ kNm} > 18,73 \text{ kNm}$$

Nosník na klopení za ohybu vyhoví

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1588 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 13,60 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 13,60 \text{ kN}$$

Malý smyk není potřeba posoudit interakci ohybu se smykem.

Posouzení 2. vaznice na zatížení sněhem

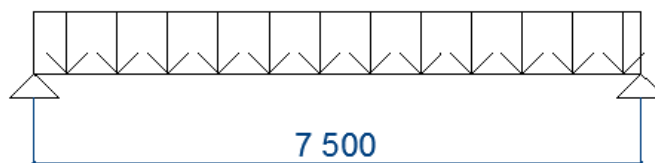
Zatížení

$$q_{stálé+sněh} = (1,85) \cdot q_{stálé+sněh}$$

$$q_{stálé+sněh} = (1,85) \cdot 2,17$$

$$q_{stálé+sněh} = 4,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{sněh} = 4,02 \text{ kN/m}^2$$



Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{f_{Ed} \cdot l^2}{8}$$

$$M_{Ed} = \frac{4,02 \cdot 7,5^2}{8}$$

$$M_{Ed} = 28,26 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{f_{Ed} \cdot l}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{4,02 \cdot 7,5}{2}$$

$$V_{Ed} = 15,08 \text{ kN}$$

Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 220

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 3337 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$
- $I_y = 2772 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 285,4 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 28,26 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 67,7 \text{ kNm} > M_{Ed} = 28,26 \text{ kNm} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1588 \cdot 235 > V_{Ed} = 15,08 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 15,08 \text{ kN} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Průhyb

$$w = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = \frac{5 \cdot \frac{4,02}{1,5} \cdot 7500^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2772 \cdot 10^4} < w_{lim} = \frac{7500}{200}$$

$$w = 19,0 \text{ mm} < w_{lim} = 37,5 \text{ mm} \text{ vaznice vyhoví}$$

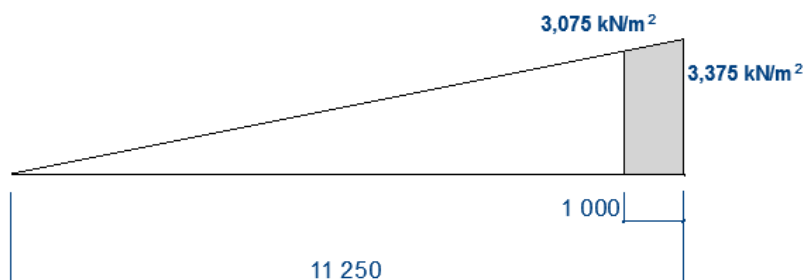
Posouzení trapézových plechů a vaznic v úžlabí na účinek výjimečného zatížení sněhem

Trapézový plech

Navržený plech TR 30/333 jako nosník o 3 a více polích tl. plechu 1,00mm, na rozpětí pole $l_v = 1,85 \text{ m}$ (viz. Příloha str. 10)

Maximální zatížení sněhem – $q_{Snih,d} = 3,375 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Charakter zatížení



$$q_{Snih,k} = \frac{3,375 + 3,075}{2}$$

$$q_{Snih,k} = 3,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Posouzení na zatížení sněhem uvažovaná podle tabulek rozpětí pole $l = 2,00 \text{ m}$

$$q_{Rd} = 4,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} > q_{Ed} = 3,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \text{ plech na zatížení sněhem } \underline{\text{vyhoví}}$$

Posouzení průhybu

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{1850}{200}$$

$$\delta \leq 9,3 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro TR 39/333 na rozpětí 1,85 m jako nosník o třech a více polích, tl. plechu 1,00 mm.

$$q_{Rk} = 2,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > q_{Ek} = \frac{3,23}{1,5} = 2,15 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví na průhyb}}$$

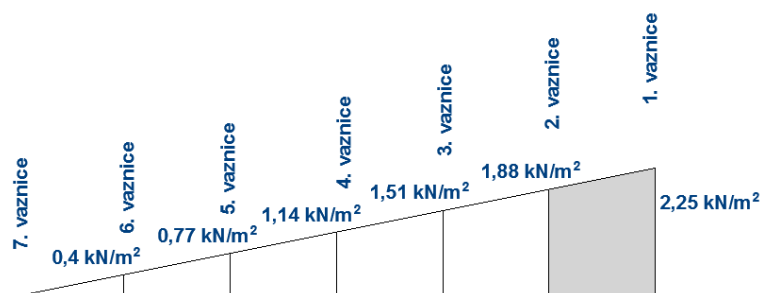
Posudek 1. Vaznice na sních v úžlabí

Posouzení na zatížení sněhem

$$\text{Sních- } q_{Ek,s} = 2,25 \frac{kN}{m^2}$$

Osová vzdálenost vaznic $l_v = 1,85 \text{ m}$

V úžlabí zhustím vaznice podle obrázku



$$q_{Snih,k} = \frac{2,25 + 1,88}{2}$$

$$q_{Snih,k} = 2,07 \frac{kN}{m^2}$$

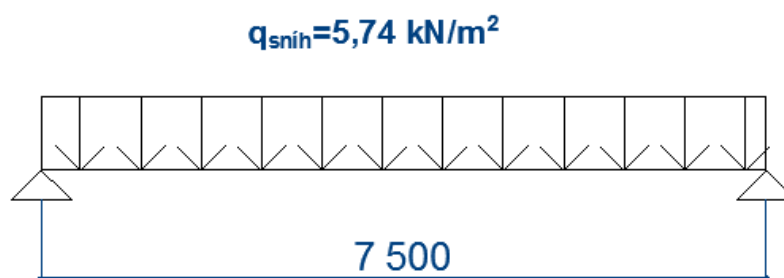
Zatížení sněhem

$$q_{Ed,snih} = q_{Ek,s} \cdot \gamma_Q \cdot l_v$$

$$q_{Ed,snih} = 2,07 \cdot 1,5 \cdot 1,85$$

$$q_{Ed,snih} = 5,74 \frac{kN}{m}$$

Schéma



Maximální ohybový moment

$$M_{Ed} = \frac{f_{Ed} \cdot l^2}{8}$$

$$M_{Ed} = \frac{5,74 \cdot 7,5^2}{8}$$

$$M_{Ed} = 40,36 \text{ kNm}$$

Maximální posouvající síla

$$V_{Ed} = \frac{f_{Ed} \cdot l}{2}$$

$$V_{Ed} = \frac{5,74 \cdot 7,5}{2}$$

$$V_{Ed} = 21,53 \text{ kN}$$

Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 220

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 3337 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 1588 \text{ mm}^2$
- $I_y = 2772 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 285,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 285,4 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 40,36 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 67,7 \text{ kNm} > M_{Ed} = 40,36 \text{ kNm} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1588 \cdot 235 > V_{Ed} = 21,53 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 373,18 \text{ kN} > V_{Ed} = 21,53 \text{ kN} \text{ Vaznice vyhoví}$$

Průhyb

$$w = \frac{5 \cdot q_k \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = \frac{5 \cdot \frac{5,74}{1,5} \cdot 7500^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 2772 \cdot 10^4} < w_{lim} = \frac{7500}{200}$$

$$w = 27,08 \text{ mm} < w_{lim} = 37,5 \text{ mm} \text{ vaznice vyhoví}$$

Obvodový plášťNávrh trapézového plechu

Zatížení větrem oblast F $w_A = -1,31 \frac{kN}{m^2}$

Návrhová hodnota $w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$

$$w_{F,Ed} = -1,31 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = -1,97 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed}$$

Zatížení větrem oblast F $w_D = 0,87 \frac{kN}{m^2}$

Návrhová hodnota $w_{F,Ed} = w_F \cdot \gamma_Q$

$$w_{F,Ed} = 0,87 \cdot 1,5$$

$$w_{F,Ed} = 1,31 \frac{kN}{m^2} \rightarrow q_{Ed}$$

Navrhuji vzdálenost paždíků $l_p = 2,3 \text{ m}$

Navrhuji TR 39/333 na rozpětí 2,3 m jako nosník o třech a více polích, tloušťky plechu 1,25 mm (viz příloha. 10)

Únosnost profilu na sání větru

$$q_{Rd} = 3,27 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 1,97 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Plech vyhoví}$$

Posouzení na zatížení stálé + sníh

$$q_{Rd} = 3,27 \frac{kN}{m^2} > q_{Ed} = 1,31 \frac{kN}{m^2} \quad \text{Plech vyhoví}$$

Posouzení průhybu

Maximální přípustná deformace $\delta \leq \frac{l_v}{200}$

$$\delta \leq \frac{2300}{200}$$

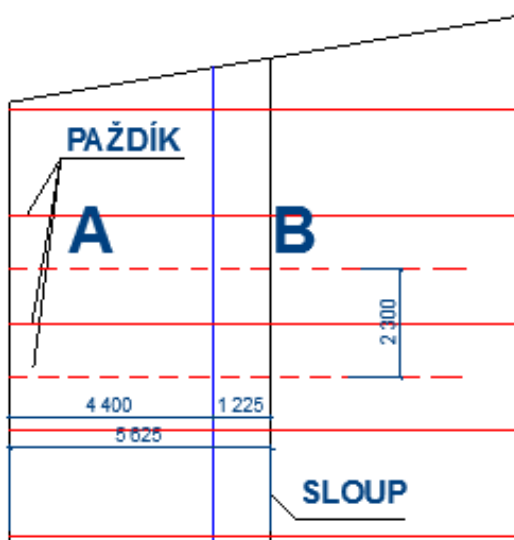
$$\delta \leq 11,5 \text{ mm}$$

Tabulková charakteristická hodnota zatížení pro průhyb $\delta \leq \frac{l_v}{200}$, pro TR 39/333 na rozpětí 2,3 m jako nosník o třech a více polích, tloušťky plechu 1,25 mm.

$$q_{Rk} = 1,64 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} > q_{Ek} = 1,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \underline{\text{Plech vyhoví na průhyb}}$$

Návrh paždíku (západní vítr)

Schéma pohled



Zatížení

$$\text{Oblast A } w_{A,Ed} = -1,97 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Oblast B } w_{B,Ed} = -1,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot w_{A,Ed})$$

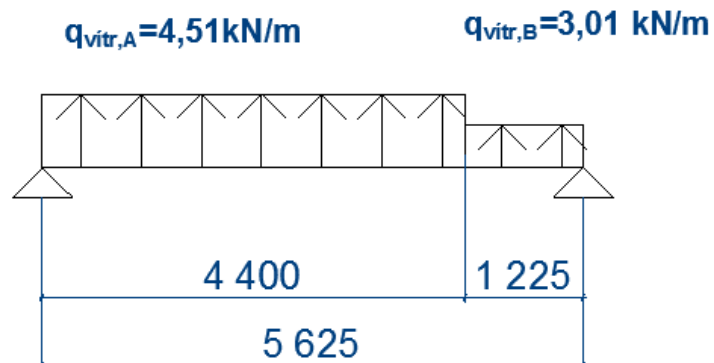
$$q_{vitr,A} = (2,30 \cdot 1,97)$$

$$q_{vitr,A} = 4,53 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot w_{B,Ed})$$

$$q_{vitr,B} = (2,30 \cdot 1,31)$$

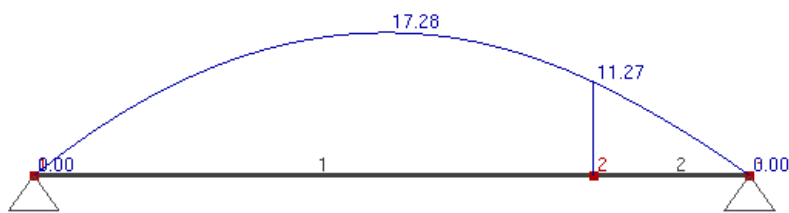
$$q_{vitr,B} = 3,01 \frac{kN}{m}$$



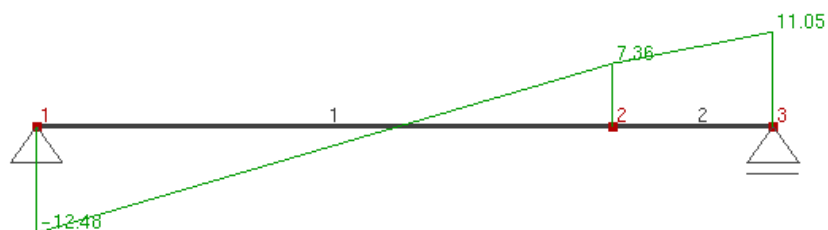
Navrhnu pažďík UPE 160 jako prostý nosník na rozpětí $l = 5,63 m$ (

Vnitřní síly zjištěny v programu EduBeam

Ohybový moment



Posouvající síla



Navrhnu ocelový „U“ profil UPE 200

- ocel S235 $f_{yd} = 235 MPa$

- $A = 2901 mm^2$
- $A_{vz} = 1350 mm^2$
- $I_y = 1909 \cdot 10^4 mm^4$
- $W_{y,pl} = 220,1 \cdot 10^3 mm^3$

Posouzení na ohyb:

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

$$M_{Rd} = 235 \cdot 220,1 \cdot 10^3 > M_{Ed} = 17,28 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 51,72 \text{ kNm} > M_{Ed} = 17,28 \text{ kNm} \text{ Paždík vyhoví}$$

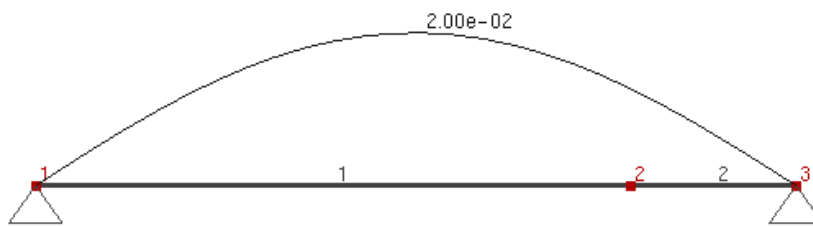
Posouzení na smyk

$$V_{Rd} = A_{vz} \cdot f_{yd} > V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = 1350 \cdot 235 > V_{Ed} = 12,48 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 317,25 \text{ kN} > V_{Ed} = 12,48 \text{ kN} \text{ Paždík vyhoví}$$

Průhyb paždíku vypočítaný pomocí programu EduBeam



$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{l}{200}$$

$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{5625}{200}$$

$$w = 20,0 \text{ mm} < w_{lim} = 28,1 \text{ mm} \text{ Paždík vyhoví}$$

Vliv klopení

$$\kappa_w = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{1,0 \cdot 5625} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 11000 \cdot 10^6}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 8,89 \cdot 10^4}}$$

$$\kappa_w = 0,32$$

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

$$C_1 = 1,13 + (1,13 - 1,13) \cdot 0,32$$

$$C_1 = 1,130$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2}$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,13}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,32^2}$$

$$\mu_{cr} = 1,19$$

Kritický moment

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

$$M_{cr} = 1,19 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 187,3 \cdot 10^4 \cdot 80,7 \cdot 10^3 \cdot 8,89 \cdot 10^4}}{5625}$$

$$M_{cr} = 35,31 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{220,1 \cdot 10^3 \cdot 235}{35,31 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 1,21$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (1,21 - 0,2) + 1,21^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,47$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,47 + \sqrt{1,47^2 - 1,21^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,434$$

Posouzení sloup v na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,434 \cdot 220,1 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 17,28 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 22,45 \text{ kNm} > 17,28 \text{ kNm}$$

Vyhovuje

Návrh mezi sloupku

Návrh mezi sloupku je shodný s návrhem mezi sloupku ve variantě A ze stran 26.-31. statického výpočtu.

Výsledný profil je IPE 300, na rozpětí pole 3,75 m a výšky sloupku 9,8 m.

Návrh Jeřábové dráhy

Zadání

Nosnost jeřábu $Q = 20t$

Rozpětí jeřábu $l = 21 m$

Rozvor kol příčnicku $O = 4,4 m$

Vzdálenost osy kola od konce příčnicku $p = 400 mm$

Vzdálenost osy kola od vnějšího líce jeřábu $b = 240 mm$

Stavební výška jeřábu $B = 1800 mm$

Konstrukční výška k háku $C = 1315 mm$

Dojezdy kladkostroje $T_1 = 1250 mm, T_2 = 1350 mm$

Instalovaný výkon motorů $P = 18 kW$

Kolové tlaky $V_{max} = 144,4 kN, V_{min} = 40,5 kN$

Hmotnost kočky $G_k = 2 t$

Celková hmotnost jeřábu s kladkostrojem $18 t$

Rychlost zdvihu $v_z = 0,16 \frac{m}{s}$

Rychlost pojezdu kladkostroje $v_k = 0,45 \frac{m}{s}$

Rychlost pojezdu mostu $v_m = 0,9 \frac{m}{s}$

Třída zvedacího zatížení $HC3$

Kategorie $S3$

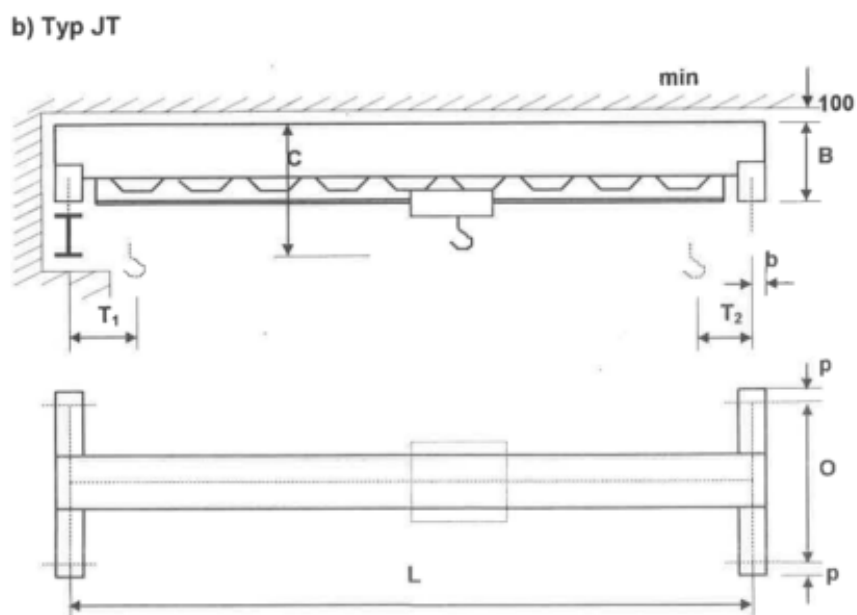
Typ kolejnice (bezstyková, připojená příchýtkami) $JKL 55$

Vedení pomocí nákolníků IFF

Počet kolejnic $n = 2$

Počet pohonů jednotlivých kol $m_w = 2$

Schéma



Zatížení jeřábové dráhy

Stálé zatížení

Název	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
VI. Tíha kolejnice (29,6 kg/m)	0,3	1,35	0,41
VI. Tíha jeřábové dráhy (odhad)	1,0	1,35	1,35
	1,30 kN/m		1,76 kN/m

Proměnná zatížení

Zatížení jeřábu

Svislá zatížení

Tíhy jeřábu

Svislé síly od kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{n} \left(\frac{G_j - G_k}{2} + \frac{G_k \cdot (l - T_1)}{l} \right)$$

$$Q_{C,r,max} = \frac{1}{2} \left(\frac{180 - 20}{2} + \frac{20 \cdot (21 - 1,25)}{21} \right)$$

$$Q_{C,r,max} = 49,40 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{n} \left(\frac{G_j - G_k}{2} + \frac{G_k \cdot T_1}{l} \right)$$

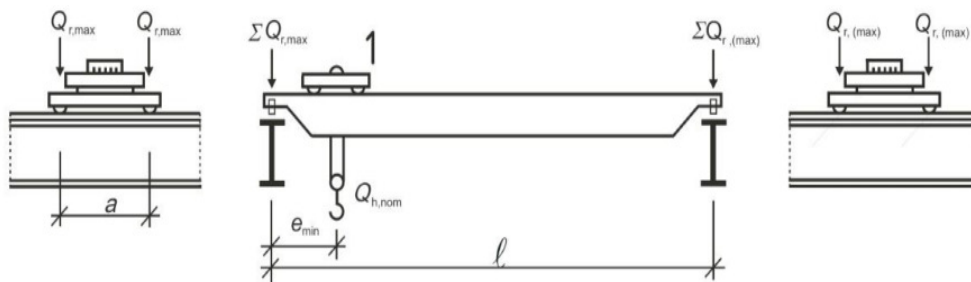
$$Q_{C,r,(max)} = \frac{1}{2} \left(\frac{180 - 20}{2} + \frac{20 \cdot 1,25}{21} \right)$$

$$Q_{C,r,(max)} = 40,60 \text{ kN}$$

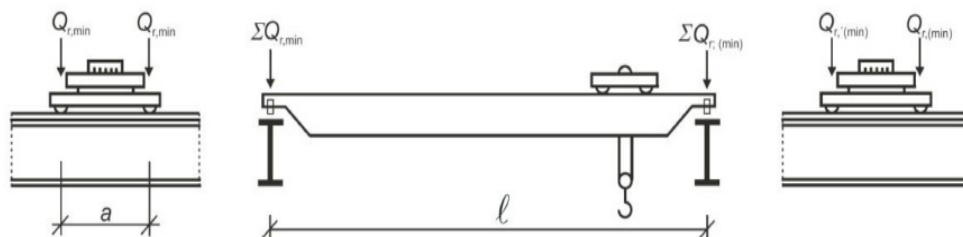
Svislé síly kol od nezatíženého jeřábu

$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,(max)} = 40,60 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,max} = 49,40 \text{ kN}$$



a) Uspořádání zatíženého jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy



b) Uspořádání zatíženého jeřábu při minimálním zatížení nosníku jeřábové dráhy

Zatížení kladkostroje

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q \cdot (l - T_1)}{l}$$

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{2} \cdot \frac{200 \cdot (21 - 1,25)}{21}$$

$$Q_{H,r,max} = 94,05 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \cdot \frac{Q \cdot T_1}{l}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{200 \cdot 1,25}{21}$$

$$Q_{H,r,(max)} = 5,95 \text{ kN}$$

Vodorovná zatížení

Zrychlení mostového jeřábu

- Podélné vodorovné síly $H_{L,i}$

Hnací síla kol jeřábu (kola se neprotáčejí)

$$K = \mu \cdot m_w \cdot Q_{C,r,min}$$

$$K = 0,2 \cdot 2 \cdot 40,6$$

$$K = 16,24 \text{ kN}$$

Součinitel tření

$$\mu = 0,2$$

Podélná síla

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r}$$

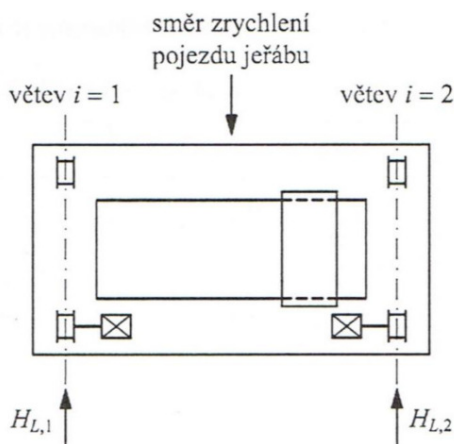
$$H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{16,24}{2}$$

$$H_{L,1} = H_{L,2} = 8,12 \text{ kN}$$

Počet větví jeřábové dráhy

$$n_r = 2$$

Schéma (podélné síly od rozjezdu nebo brzdění jeřábu)



- Příčné vodorovné síly $H_{T,i}$

$$H_{T,i} = \xi_i \cdot \frac{M}{a}$$

ξ_i - podíl vzdáleností těžiště jeřábu od osy jeřábové kolejnice a rozpětí jeřábu

a – rozvor kol

$$\xi_1 = \frac{n(Q_{C,r,max} + Q_{H,r,max})}{G_j + G_k}$$

$$\xi_1 = \frac{2 \cdot (49,4 + 94,05)}{180 + 200}$$

$$\xi_1 = 0,755$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1$$

$$\xi_2 = 1 - 0,755$$

$$\xi_2 = 0,245$$

Moment hnací síly

$$M = K \cdot (\xi_1 - 0,5)l$$

$$M = 16,24 \cdot (0,755 - 0,5) \cdot 21$$

$$M = 86,97 \text{ kNm}$$

Příčné síly

$$H_{T,1} = \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,1} = 0,755 \cdot \frac{86,97 \cdot 10^6}{4400}$$

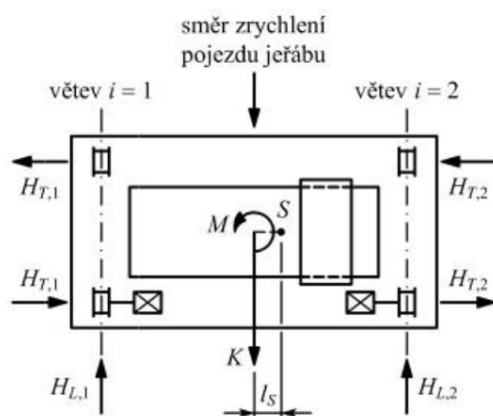
$$H_{T,1} = 14,92 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \xi_2 \cdot \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = 0,245 \cdot \frac{86,97 \cdot 10^6}{4400}$$

$$H_{T,2} = 4,84 \text{ kN}$$

Příčné vodorovné síly od rozjezdu nebo brždění jeřábu



Příčení jeřábu

Součinitel rekcí příčení

$$f = 0,30$$

Součinitel síly kola

$$\lambda_{S,i,j,k}$$

Součet svislých zatížení od kol jeřábu na obou větvích $\sum Q_r$

$$H_{S,i,j,k} = f \cdot \lambda_{S,i,j,k} \sum Q_r$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_2}{n}$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = \frac{0,245}{2}$$

$$\lambda_{S,1,1,T} = 0,123$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{\xi_1}{n}$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = \frac{0,755}{2}$$

$$\lambda_{S,1,2,T} = 0,378$$

Vodorovné síly od příčení jeřábu

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \sum Q_r$$

$$H_{S,1,1,T} = 0,3 \cdot 0,123 \cdot (180 + 200)$$

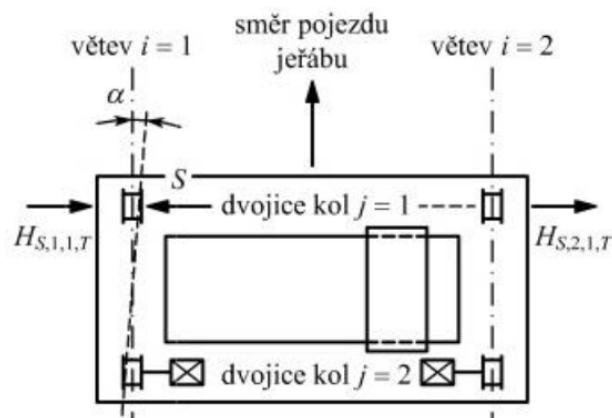
$$H_{S,1,1,T} = 14,02 \text{ kN}$$

$$H_{S,1,2,T} = f \cdot \lambda_{S,1,2,T} \sum Q_r$$

$$H_{S,1,2,T} = 0,3 \cdot 0,378 \cdot (180 + 200)$$

$$H_{S,1,2,T} = 43,09 \text{ kN}$$

Příčné síly od příčení jeřábu



Zrychlení kočky

$$H_{T3,1} = \frac{0,1}{2} \cdot (Q_h + G_k) \cdot \frac{l - T_1}{l}$$

$$H_{T3,1} = \frac{0,1}{2} \cdot (180 + 20) \cdot \frac{21 - 1,25}{21}$$

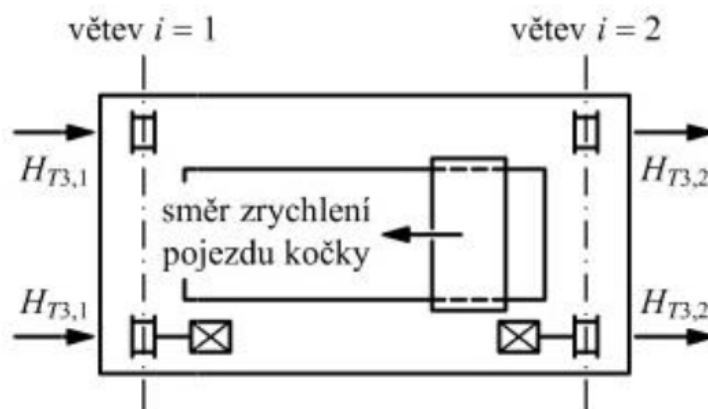
$$H_{T3,1} = 9,40 \text{ kN}$$

$$H_{T3,2} = \frac{0,1}{2} \cdot (Q_h + G_k) \cdot \frac{T_1}{l}$$

$$H_{T3,2} = \frac{0,1}{2} \cdot (180 + 20) \cdot \frac{1,25}{21}$$

$$H_{T3,2} = 0,60 \text{ kN}$$

Příčné vodorovné síly od zrychlení kočky



Rychlost zdvihu

$$v_z = 0,16 \text{ m/s}$$

Pro HC3

$$\varphi_{2,min} = 1,15$$

$$\beta_2 = 0,51$$

Dynamické součinitele

 φ_1 - Buzení vibrací konstrukcí jeřábu při zvedání zatížení ze země

$$\varphi_1 = 1,1$$

 φ_2 - Dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 \cdot v_z$$

$$\varphi_2 = 1,15 + 0,51 \cdot 0,16$$

$$\varphi_2 = 1,23$$

 φ_4 - Dynamické účinky vznikající při pojezdu na jeřábových drahách

$$\varphi_4 = 1,0$$

 φ_5 - Dynamické účinky vyvolané hnacími silami

$$\varphi_5 = 1,15$$

φ_6 - Dynamické účinky zkušební zátěží, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů

$$\varphi_6 = 0,5 \cdot (1 + \varphi_2)$$

$$\varphi_6 = 0,5 \cdot (1 + 1,23)$$

$$\varphi_6 = 1,115$$

φ_7 - Dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky

Skupiny zatížení

		Značka	Kapitola	Skupina zatížení									
				Mezní stav únosnosti							Zkušební zatížení	Mimořádná	
				1	2	3	4	5	6	7				8	9	10
1	Vlastní tíha jeřábu	Q_C	2.6	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4	1	φ_1	1	1
2	Zatížení kladkostroje	Q_H	2.6	φ_2	φ_3	-	φ_4	φ_4	φ_4	$\eta^{1)}$	-	1	1
3	Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T	2.7	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	-	-	-	φ_5	-	-
4	Příčení mostu jeřábu	H_S	2.7	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
5	Zrychlení nebo brzdění kočky nebo pojízdného kladkostroje	H_{T3}	2.7	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-
6	Vítr při provozu	F_W^*	Příloha A	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-
7	Zkušební zatížení	Q_T	2.10	-	-	-	-	-	-	-	φ_6	-	-
8	Síly na nárazník	H_B	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	φ_7	-
9	Klopné síly	H_{TA}	2.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
POZNÁMKA Vítr při provozu – viz příloha A.													
¹⁾ η je část zatížení kladkostroje, která zůstává, když je odstraněno užitečné zatížení, ale není zahrnuta do vlastní tíhy jeřábu.													

Dyn. Součinitel pro poškození rázem

$$\varphi_{fat}$$

Součinitel ekvivalentního poškození

$$\lambda$$

Ověření účinků zkušební zátěží (110 % maximálního dynamického zatížení)

$$1,1 \cdot \varphi_6 = 1,1 \cdot 1,115 = 1,225$$

Maximální účinek nepřesahuje účinek zatížení kladkostroje z mezního stavu 1, nebude se dále ověřovat.

Kombinační součinitel pro zatížení jeřáby

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = \frac{G_j}{G_j + Q_h} = \frac{180}{180 + 200} = 0,47$$

Únavové zatížení

Počet zatěžovacích cyklů $N_C = 2 \cdot 10^6$

Únavové zatížení jedním kolem jeřábu

$$Q_e = \varphi_{fat} \cdot \lambda \cdot Q_{r,max}$$

Dyn. Součinitel pro poškození rázem

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2}$$

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + 1,1}{2}$$

$$\varphi_{fat,1} = 1,1$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2}$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + 1,23}{2}$$

$$\varphi_{fat,2} = 1,12$$

Ekvivalentní únavová zatížení

Pro Kategorii S3

$$\lambda_\sigma = 0,397$$

$$\lambda_\tau = 0,575$$

$$Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\sigma \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\sigma} = 1,1 \cdot 0,397 \cdot 49,4 \cdot 10^3 + 1,12 \cdot 0,397 \cdot 94,05 \cdot 10^3$$

$$Q_{e,\sigma} = 63,39 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_\tau \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\tau} = 1,1 \cdot 0,575 \cdot 49,4 \cdot 10^3 + 1,12 \cdot 0,575 \cdot 94,05 \cdot 10^3$$

$$Q_{e,\tau} = 91,81 \text{ kN}$$

Lokální účinky

Pro posouzení se bere počet cyklů dvojnásobný a ekvivalentní únavové zatížení s použitím součinitele pro S4

$$\lambda_{\sigma,lok} = 0,500$$

$$\lambda_{\tau,lok} = 0,660$$

$$Q_{e,\sigma,lok} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\sigma,lok} \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\sigma,lok} \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\sigma,lok} = 1,1 \cdot 0,500 \cdot 49,4 \cdot 10^3 + 1,12 \cdot 0,500 \cdot 94,05 \cdot 10^3$$

$$Q_{e,\sigma,lok} = 79,84 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau,lok} = \varphi_{fat,1} \cdot \lambda_{\tau,lok} \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \cdot \lambda_{\tau,lok} \cdot Q_{H,r,max}$$

$$Q_{e,\tau,lok} = 1,1 \cdot 0,660 \cdot 49,4 \cdot 10^3 + 1,12 \cdot 0,660 \cdot 94,05 \cdot 10^3$$

$$Q_{e,\tau,lok} = 105,39 \text{ kN}$$

Vnitřní síly

Svislé zatížení

Vnitřní síly od působení jeřábu

Síly namáhající hlavní nosník

$$F_1 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_1 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_2 \cdot Q_{H,r,max})$$

$$F_1 = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 49,40 + 1,23 \cdot 94,05)$$

$$F_1 = 229,53 \text{ kN}$$

$$\gamma_{Q,sup} = 1,35$$

$$F_5 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{H,r,max})$$

$$F_5 = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 49,40 + 1,0 \cdot 94,05)$$

$$F_5 = 193,66 \text{ kN}$$

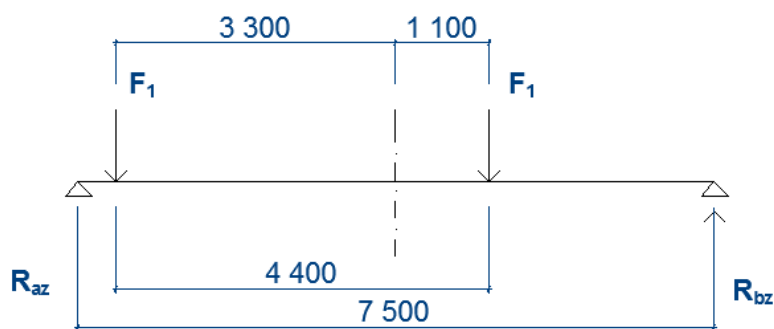
$$F_6 = \gamma_{Q,sup} \cdot (\varphi_4 \cdot Q_{C,r,max} + \varphi_4 \cdot Q_{H,r,max})$$

$$F_6 = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 49,40 + 1,0 \cdot 94,05)$$

$$F_6 = 193,66 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních sil a reakcí

Schéma 1. zatěžovací stav



$$R_{b,z,1} = \frac{F_1 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} - a\right) + F_1 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4}\right)}{l}$$

$$R_{b,z,1} = \frac{229,53 \cdot (3,75 + 1,10 - 4,40) + 229,53 \cdot (3,75 + 1,10)}{7,50}$$

$$R_{b,z,1} = 162,20 \text{ kN}$$

$$R_{a,z,1} = -R_{b,z,1} + 2 \cdot F_1$$

$$R_{a,z,1} = -162,2 + 2 \cdot 229,53$$

$$R_{a,z,1} = 296,86 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = R_{a,z,1} = 296,86 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = R_{b,z,1} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{4}\right)$$

$$M_{1,Ed,y} = 162,2 \cdot (3,75 - 1,1)$$

$$M_{1,Ed,y} = 429,83 \text{ kNm}$$

$$R_{b,z,5} = \frac{F_5 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} - a\right) + F_5 \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4}\right)}{l}$$

$$R_{b,z,5} = \frac{193,66 \cdot (3,75 + 1,10 - 4,40) + 193,66 \cdot (3,75 + 1,10)}{7,50}$$

$$R_{b,z,5} = 136,86 \text{ kN}$$

$$R_{a,z,5} = -R_{b,z,1} + 2 \cdot F_5$$

$$R_{a,z,5} = -136,86 + 2 \cdot 193,66$$

$$R_{a,z,5} = 250,46 \text{ kN}$$

$$V_{5,Ed,z} = R_{a,z,5} = 250,46 \text{ kN}$$

$$M_{5,Ed,y} = R_{b,z,5} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{4}\right)$$

$$M_{5,Ed,y} = 136,86 \cdot (3,75 - 1,1)$$

$$M_{5,Ed,y} = 362,68 \text{ kNm}$$

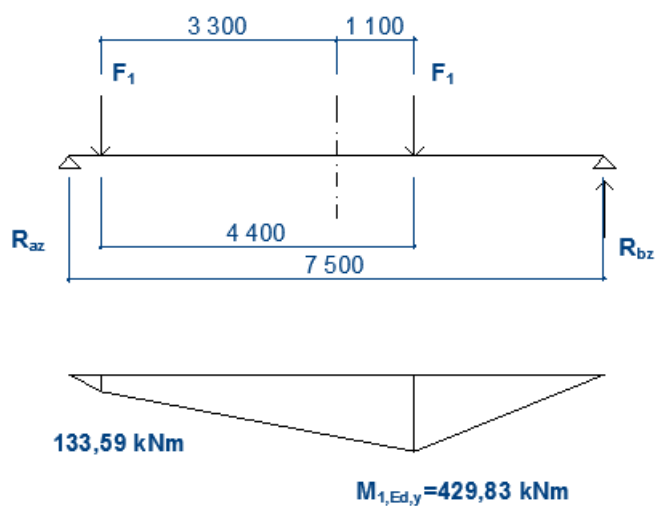
$$R_{b,z,6} = R_{b,z,5} = 136,86 \text{ kN}$$

$$R_{a,z,6} = R_{a,z,5} = 250,46 \text{ kN}$$

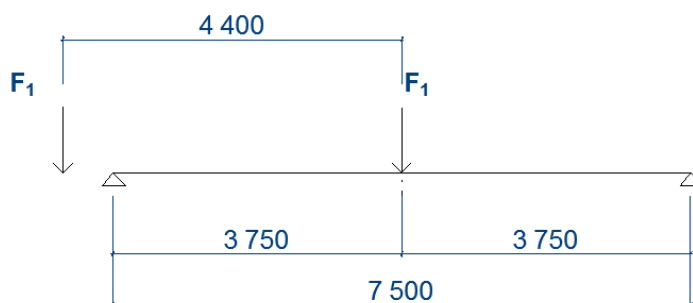
$$V_{6,Ed,z} = V_{5,Ed,z} = 250,46 \text{ kN}$$

$$M_{6,Ed,y} = M_{5,Ed,y} = 362,68 \text{ kNm}$$

Moment kombinace č.1



2. zatěžovací stav



$$R_{b,z,1} = \frac{F_1}{2}$$

$$R_{b,z,1} = \frac{229,53}{2}$$

$$R_{b,z,1} = R_{a,z,1} = 114,77 \text{ kN}$$

$$V_{1,Ed,z} = R_{a,z,1} = 114,77 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = \frac{F_1 \cdot l}{4}$$

$$M_{1,Ed,y} = \frac{229,53 \cdot 7,5}{4}$$

$$M_{1,Ed,y} = 430,37 \text{ kNm}$$

$$R_{b,z,5} = \frac{F_5}{2}$$

$$R_{b,z,5} = \frac{193,66}{2}$$

$$R_{b,z,5} = R_{a,z,5} = 96,83 \text{ kN}$$

$$V_{5,Ed,z} = R_{a,z,5} = 96,83 \text{ kN}$$

$$M_{5,Ed,y} = \frac{F_5 \cdot l}{4}$$

$$M_{5,Ed,y} = \frac{193,66 \cdot 7,5}{4}$$

$$M_{5,Ed,y} = 363,11 \text{ kNm}$$

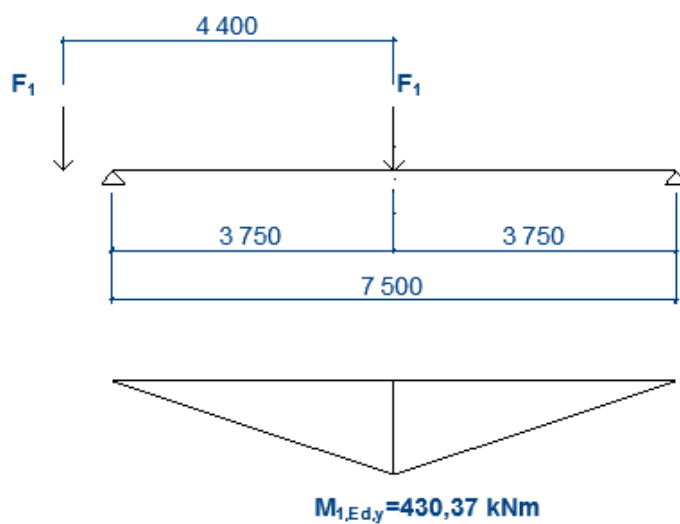
$$R_{b,z,6} = R_{b,z,5} = 96,83 \text{ kN}$$

$$R_{a,z,6} = R_{a,z,5} = 96,83 \text{ kN}$$

$$V_{6,Ed,z} = V_{5,Ed,z} = 96,83 \text{ kN}$$

$$M_{6,Ed,y} = M_{5,Ed,y} = 368,11 \text{ kNm}$$

Moment kombinace č.2 (nejhorší kombinace)



Vnitřní síly od vlastní tíhy jeřábové dráhy

$$g_d = 1,76 \text{ kN/m}$$

$$V_{g,Ed,z} = \frac{1}{2} \cdot g_d \cdot l$$

$$V_{g,Ed,z} = \frac{1}{2} \cdot 1,76 \cdot 7,5$$

$$V_{g,Ed,z} = 6,6 \text{ kN}$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{1}{8} \cdot g_d \cdot l^2$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{1}{8} \cdot 1,76 \cdot 7,5^2$$

$$M_{g,Ed,y} = 12,38 \text{ kNm}$$

Výsledné vnitřní síly od svislého zatížení

$$V_{1,C,Ed,z} = V_{1,Ed,z} + V_{g,Ed,z} = 114,77 + 6,6 = 121,37 \text{ kN}$$

$$M_{1,C,Ed,y} = M_{1,Ed,y} + M_{g,Ed,y} = 430,37 + 12,38 = 442,72 \text{ kNm}$$

$$V_{5,C,Ed,z} = V_{5,Ed,z} + V_{g,Ed,z} = 96,83 + 6,6 = 103,43 \text{ kN}$$

$$M_{5,C,Ed,y} = M_{5,Ed,y} + M_{g,Ed,y} = 363,11 + 12,38 = 375,49 \text{ kNm}$$

$$V_{6,C,Ed,z} = V_{6,Ed,z} + V_{g,Ed,z} = 96,83 + 6,6 = 103,43 \text{ kN}$$

$$M_{6,C,Ed,y} = M_{6,Ed,y} + M_{g,Ed,y} = 363,11 + 12,38 = 375,49 \text{ kNm}$$

Vnitřní síly od vodorovného zatížení

Zrychlení mostu jeřábu

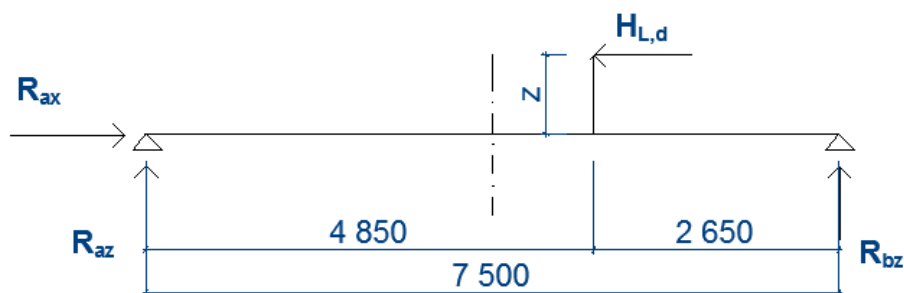
Podélné síly

$$H_{L,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{L,i}$$

$$H_{L,d} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 8,12$$

$$H_{L,d} = 16,44 \text{ kN}$$

Vodorovná síla vyvodí moment



$h = 500$ odhad, výška kolejnice $h_t = 85$ mm

$$z = h + h_t = 500 + 85 = 585 \text{ mm}$$

$$R_{ax} = H_{L,d} = 16,44 \text{ kN}$$

$$R_{az} = \frac{H_{L,d} \cdot z}{l}$$

$$R_{az} = \frac{16,44 \cdot 0,85}{7,5}$$

$$R_{az} = 1,86 \text{ kN}$$

$$R_{b,z} = -R_{az} = -1,86 \text{ kN}$$

$$N_{L,d} = R_{ax} = 16,44 \text{ kN}$$

$$V_{L,d,z} = 1,86 \text{ kN}$$

$$M_{L,d,y} = R_{az} \cdot 4,85 = 1,86 \cdot 4,85 = 9,02 \text{ kNm}$$

Příčné síly od zrychlení mostu

$$H_{T,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{T,1}$$

$$H_{T,1,d} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 14,94$$

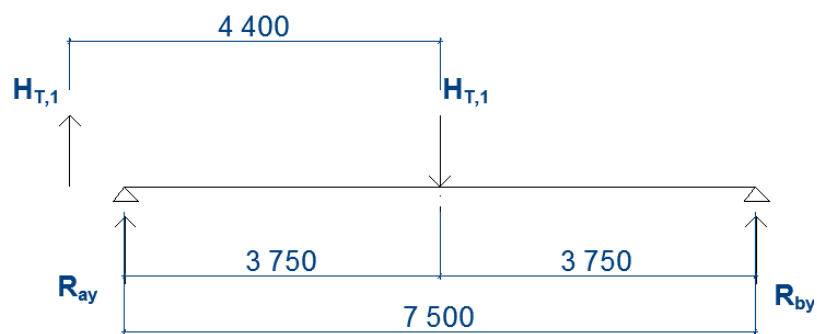
$$H_{T,1,d} = 30,25 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot \varphi_5 \cdot H_{T,2}$$

$$H_{T,2,d} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 4,84$$

$$H_{T,2,d} = 9,80 \text{ kN}$$

Uvažován zatěžovací stav



$$R_{ay} = R_{by} = \frac{H_{T,1,d}}{2}$$

$$R_{ay} = R_{by} = \frac{30,25}{2}$$

$$R_{ay} = R_{by} = 15,13 \text{ kN}$$

$$V_{H,T,Ed,y} = R_{ay} = 15,13 \text{ kN}$$

$$M_{H,T,Ed,z} = \frac{R_{by} \cdot l}{2}$$

$$M_{H,T,Ed,z} = 15,13 \cdot 3,75$$

$$M_{H,T,Ed,z} = 56,74 \text{ kNm}$$

Příčení mostu jeřábu

$$H_{S,T,1,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{T,1}$$

$$H_{S,T,1,1,d} = 1,35 \cdot 14,02$$

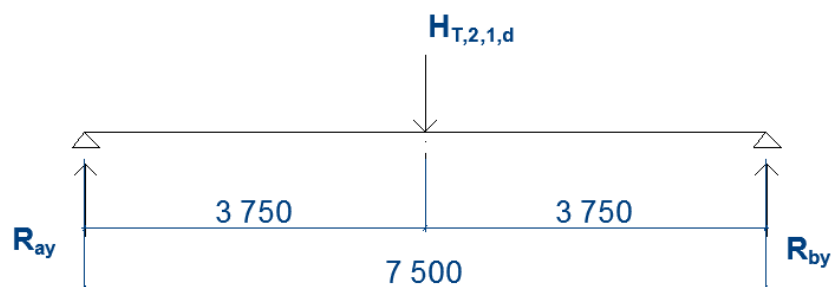
$$H_{S,T,1,1,d} = 18,93 \text{ kN}$$

$$H_{S,T,2,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot 2$$

$$H_{S,T,2,1,d} = 1,35 \cdot 43,04$$

$$H_{S,T,2,1,d} = 58,10 \text{ kN}$$

Schéma



$$V_{S,Ed,y} = \frac{H_{S,2,1,d}}{2}$$

$$V_{S,Ed,y} = \frac{58,10}{2}$$

$$V_{S,Ed,y} = 29,05 \text{ kN}$$

$$M_{S,Ed,z} = \frac{H_{S,2,1,d}}{4} \cdot l$$

$$M_{S,Ed,z} = \frac{58,10}{4} \cdot 7,5$$

$$M_{S,Ed,z} = 108,94 \text{ kNm}$$

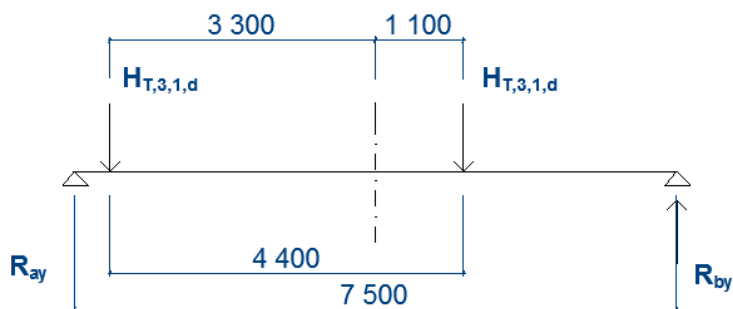
Zrychlení kočky

$$H_{T,3,1,d} = \gamma_{Q,sup} \cdot H_{T,3,1}$$

$$H_{T,3,1,d} = 1,35 \cdot 9,40$$

$$H_{T,3,1,d} = 12,69 \text{ kN}$$

Schéma zatěžovací stav č.1



$$R_{by} = \frac{H_{T,3,1,d} \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4} - a\right) + H_{T,3,1,d} \cdot \left(\frac{l}{2} + \frac{a}{4}\right)}{l}$$

$$R_{by} = \frac{12,69 \cdot (3,75 + 1,10 - 4,40) + 12,69 \cdot (3,75 + 1,10)}{7,50}$$

$$R_{by} = 8,97 \text{ kN}$$

$$R_{ay} = -R_{by} + 2 \cdot H_{T,3,1,d}$$

$$R_{ay} = -8,97 + 2 \cdot 12,69$$

$$R_{ay} = 16,41 \text{ kN}$$

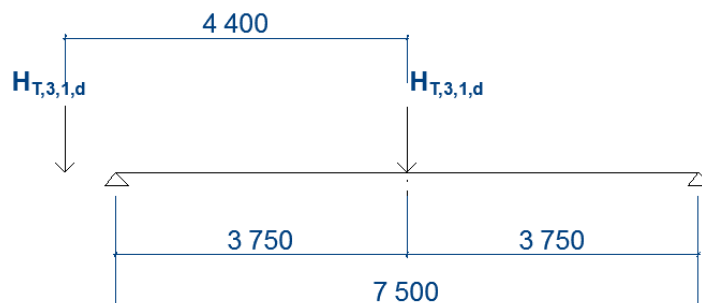
$$V_{T,3,Ed,y} = R_{ay} = 16,41 \text{ kN}$$

$$M_{T,3,Ed,z} = R_{by} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{a}{4}\right)$$

$$M_{T,3,Ed,z} = 8,97 \cdot (3,75 - 1,1)$$

$$M_{T,3,Ed,z} = 23,77 \text{ kNm}$$

Zatěžovací stav č.2



$$R_{by} = \frac{H_{T,3,1,d}}{2}$$

$$R_{by} = \frac{12,69}{2}$$

$$R_{by} = R_{ay} = 6,35 \text{ kN}$$

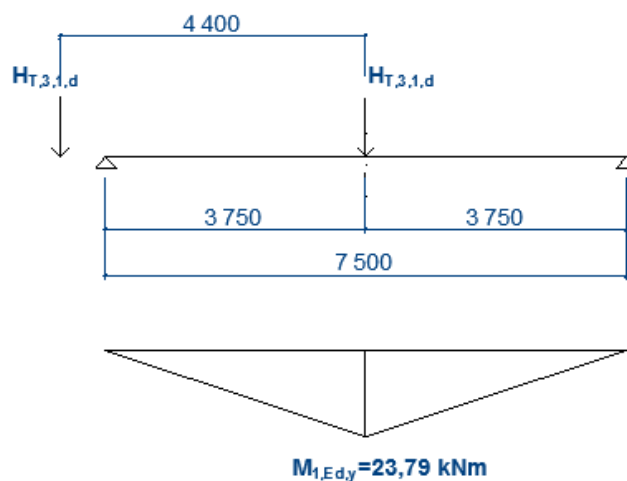
$$V_{T,3,Ed,y} = R_{ay} = 6,35 \text{ kN}$$

$$M_{T,3,Ed,z} = \frac{H_{T,3,1,d} \cdot l}{4}$$

$$M_{T,3,Ed,z} = \frac{12,69 \cdot 7,5}{4}$$

$$M_{T,3,Ed,z} = 23,79 \text{ kNm}$$

Momenty od nejhorší kombinace (kombinace č.2)



Výsledná vnitřní síly

Výsledné vnitřní síly ve svislém směru $V_{i,z}$				
Zatížení	Značka	skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_C + Q_H$	121,37	103,43	103,43
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L + H_T$	1,87	-	-
Příčení mostu jeřábu	H_S	-	0	-
Zrychlení kočky	$H_{T,3}$	-	-	0
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
celkem		123,24	103,43	103,43

Výsledné vnitřní síly ve svislém směru $M_{i,y}$				
Zatížení	Značka	skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	442,72	375,49	375,49
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L + H_T$	9,02	-	-
Příčlení mostu jeřábu	H_S	-	0	-
Zrychlení kočky	$H_{T,3}$	-	-	0
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
celkem		451,74	375,49	375,49

Výsledné zatížení ve vodorovném směru $V_{i,y}$				
Zatížení	Značka	skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L + H_T$	15,13	-	-
Příčlení mostu jeřábu	H_S	-	29,05	-
Zrychlení kočky	$H_{T,3}$	-	-	6,35
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
celkem		15,13	29,05	6,35

Výsledné zatížení ve vodorovném směru $M_{i,z}$				
Zatížení	Značka	skupina zatížení		
		Mezní stav únosnosti		
		1	5	6
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	$H_L + H_T$	56,74	-	-
Příčlení mostu jeřábu	H_S	-	108,94	-
Zrychlení kočky	$H_{T,3}$	-	-	23,79
Síly na nárazník	H_B	-	-	-
celkem		56,74	108,94	23,79

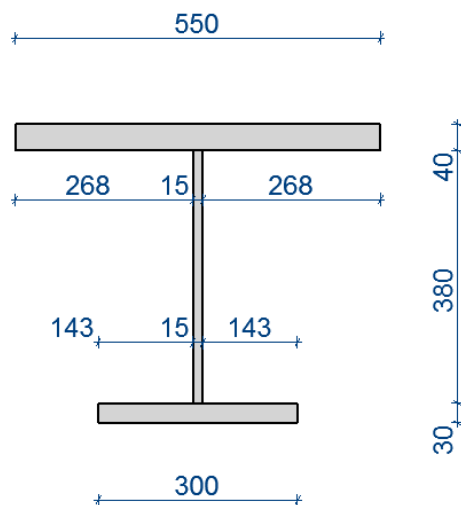
Návrhové hodnoty vnitřních sil

Vnitřní síla	Skupina zatížení		Jednotky
	1	5	
$N_{i,Ed}$	16,44	0	kN
$V_{i,Ed,z}$	123,24	103,43	kN
$M_{i,Ed,y}$	451,74	375,4	kNm
$V_{i,Ed,y}$	15,13	29,05	kN
$M_{i,Ed,z}$	56,74	108,94	kNm

Návrh průřezu nosníku jeřábové dráhy

Varianta A) Svařenec z plechů

Schéma



Průřezové charakteristiky (viz. Příloha str. 16-17)

- $h = 450 \text{ mm}$
- $b = 550 \text{ mm}$
- $t_{f,h} = 40 \text{ mm}$
- $t_{f,d} = 30 \text{ mm}$
- $t_w = 15 \text{ mm}$
- $A = 36700 \text{ mm}^2$
- $I_y = 121100 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_z = 62220 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_t = 1419 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_w = 10300000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

Mezní stav použitelnosti

Svislý průhyb

Maximální povolený průhyb

$$\delta_{z,CD} = \min\left(\frac{l}{600}; 25 \text{ mm}\right)$$

$$\delta_{z,CD} = \min\left(\frac{7500}{600}; 25 \text{ mm}\right)$$

$$\delta_{z,CD} = \min(12,5 \text{ mm}, 25 \text{ mm})$$

$$\delta_{z,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Průhyb od stálého zatížení

$$\delta_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{g_d \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$\delta_g = \frac{5}{384} \cdot \frac{1,3 \cdot 7500^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 121100 \cdot 10^4}$$

$$\delta_g = 0,2 \text{ mm}$$

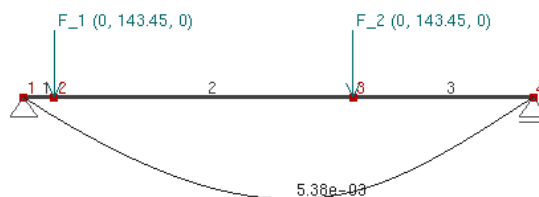
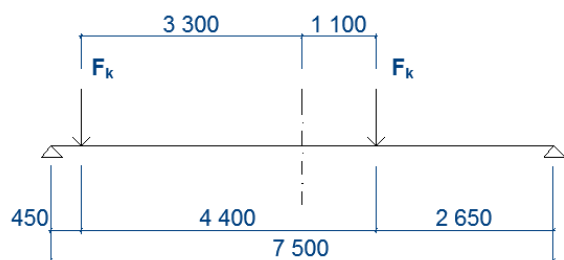
Maximální charakteristické zatížení od kol

$$F_k = Q_{C,r,max} + Q_{C,r,max}$$

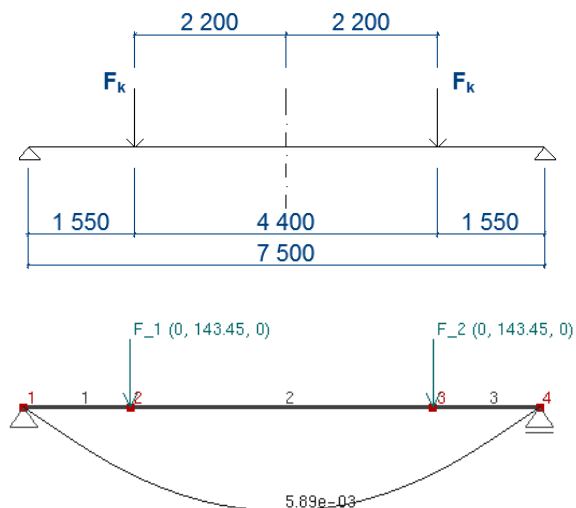
$$F_k = 49,40 + 94,05$$

$$F_k = 143,45 \text{ kN}$$

Zatěžovací stav A



Zatěžovací stav B



$$\delta_{az} = 5,4 \text{ mm}$$

$$\delta_{bz} = 5,9 \text{ mm}$$

Celkový svislý průhyb

$$\delta_z = \delta_{bz} + \delta_g < \delta_{z,CD}$$

$$\delta_z = 5,9 + 0,6 < \delta_{z,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

$$\delta_z = 6,5 \text{ mm} \leq \delta_{z,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

Maximální povolený průhyb

$$\delta_{y,CD} = \frac{l}{600}$$

$$\delta_{y,CD} = \frac{7500}{600}$$

$$\delta_{y,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Charakteristické síly:

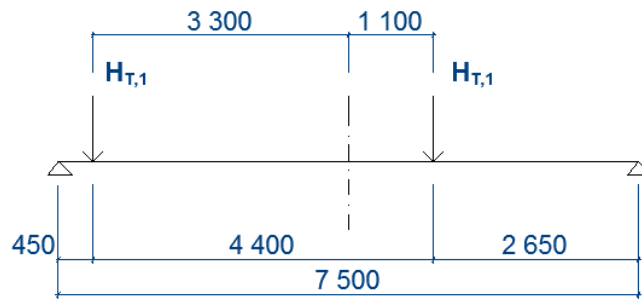
Od zrychlení mostu jeřábu – $H_{T,1} = 14,92 \text{ kN}$

Od přičení mostu jeřábu – $H_{S,2,1,T} = 43,09 \text{ kN}$

Od zrychlení kočky – $H_{T,3,1} = 9,40 \text{ kN}$

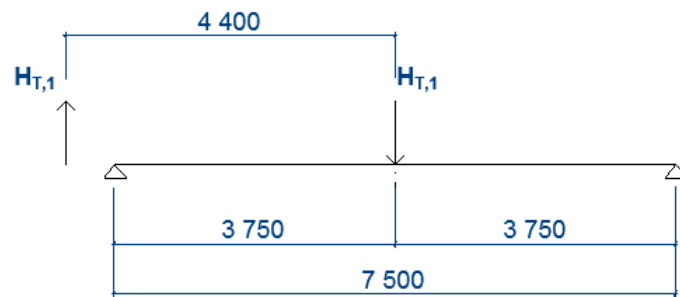
Zatěžovací stavy

A



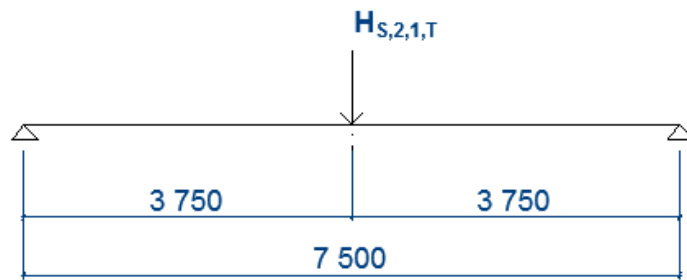
$$\delta_a = 3,7 \text{ mm}$$

B



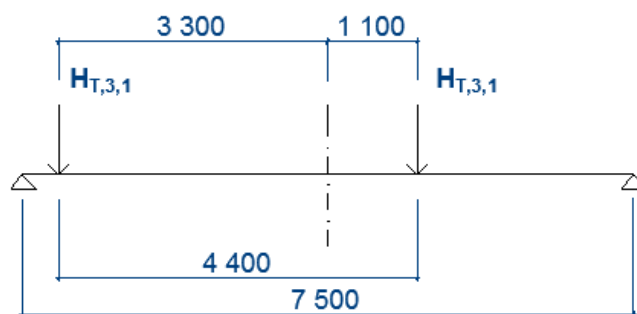
$$\delta_b = 3,4 \text{ mm}$$

C

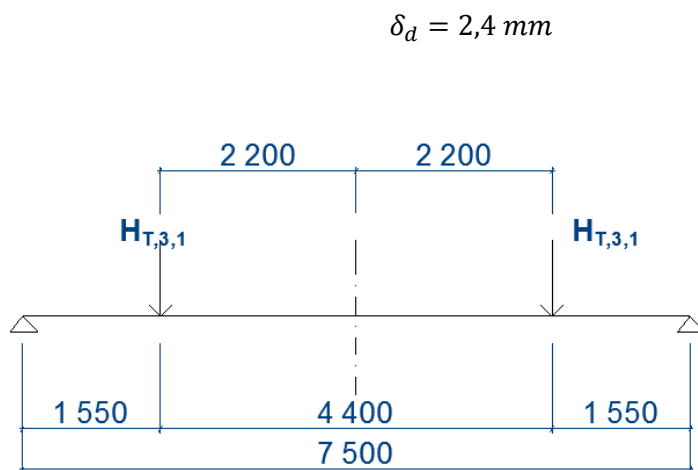


$$\delta_c = 9,7 \text{ mm}$$

D



E



Nejhorší kombinace C

$$\delta_{cy} = 9,7 \text{ mm}$$

Celkový vodorovný průhyb

$$\delta_z = \delta_{cz} < \delta_{y,CD}$$

$$\delta_y = 9,7 \text{ mm} \leq \delta_{y,CD} = 10,0 \text{ mm}$$

Posouzení na únavu

Kategorie detailu

Základní materiál horní pásnice v místě přivařených vodících plechů kolejnice- *KD 80*

Základní materiál stojiny s přivařenou výztuhou v místě podpor - *KD 80*

Krční svar lokální normálové napětí - *KD 36*

Krční svar lokální smykové napětí - *KD 36*

Dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti γ_{Mf}

Metoda hodnocení	Důsledky porušení	
	Mírné	závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Volím bezpečnou životnost a mírné důsledky porušení $\gamma_{Mf} = 1,15$

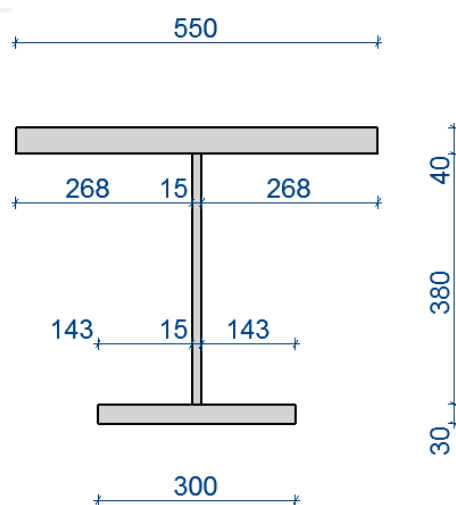
Posouzení na únavu není provedeno, protože tato varianta není v dalším výpočtu používána.

Mezní stav únosnosti
Návrhové vnitřní síly

Vnitřní síla	Skupina zatížení		Jednotky
	1	5	
$N_{i,Ed}$	16,44	0	kN
$V_{i,Ed,z}$	123,24	103,43	kN
$M_{i,Ed,y}$	451,74	375,49	kNm
$V_{i,Ed,y}$	15,13	29,05	kN
$M_{i,Ed,z}$	56,74	108,94	kNm

Materiál S235 $f_y = 235 \text{ MPa}$

Svařenec



$$I_y = 121100 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 62220 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$z_d = 295,6 \text{ mm}$$

$$z_h = 154,4 \text{ mm}$$

$$I_t = 1419 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_w = 10300000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$$

Napětí v horních vláknech

$$\sigma_{1,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_y} \cdot z_h \leq f_y$$

$$\sigma_{1,h,Ed} = \frac{451,23 \cdot 10^6}{121100 \cdot 10^4} \cdot 154,4 \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,h,Ed} = 57,53 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

$$\sigma_{5,h,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_{y,c}} \cdot z_h \leq f_y$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = \frac{375,06 \cdot 10^6}{121100 \cdot 10^4} \cdot 154,4 \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{5,h,Ed} = 47,82 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví*Napětí v dolních vláknech*

$$\sigma_{1,d,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_{y,c}} \cdot z_d \leq f_y$$

$$\sigma_{1,d,Ed} = \frac{451,23 \cdot 10^6}{121100 \cdot 10^4} \cdot 295,6 \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,d,Ed} = 110,14 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

$$\sigma_{1,d,Ed} = \frac{M_{1,y,Ed}}{I_{y,c}} \cdot z_d \leq f_y$$

$$\sigma_{1,d,Ed} = \frac{375,06 \cdot 10^6}{121100 \cdot 10^4} \cdot 295,6 \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{1,d,Ed} = 91,55 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví*Interakce klopení a kroucení*

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_w = \frac{\pi}{1,0 \cdot 7500} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 10300000 \cdot 10^6}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 1419 \cdot 10^4}}$$

$$\kappa_w = 0,56$$

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

$$C_1 = 1,00 + (1,00 - 1,00) \cdot 0,56$$

$$C_1 = 1,0$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

Bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_a = 154,4 \text{ mm}$$

$$z_s = 121 \text{ mm}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot z_g}{k_z \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$z_g = z_a - z_s + h_r$$

$$z_g = 154,4 - 121 + 85$$

$$z_g = 118,4 \text{ mm}$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot 118,4}{1,0 \cdot 7500} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 62220 \cdot 10^4}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 1419 \cdot 10^4}}$$

$$\zeta_g = 0,53$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$\zeta_j = \frac{\pi \cdot z_j}{k_z \cdot l} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_z}{G \cdot I_t}}$$

$$z_j = z_s - \frac{0,5}{I_y} \int_A (z^2 + y^2) \cdot z \, dA$$

$$z_j = -121 - 0$$

$$z_j = -121$$

$$\zeta_g = \frac{\pi \cdot (-121)}{1,0 \cdot 7500} \cdot \sqrt{\frac{210 \cdot 10^3 \cdot 62220 \cdot 10^4}{80,7 \cdot 10^3 \cdot 1419 \cdot 10^4}}$$

$$\zeta_g = -0,54$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = \frac{C_1}{k_z} \cdot \sqrt{1 + \kappa_{wt}^2 + (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)^2} - (C_2 \cdot \zeta_g - C_3 \cdot \zeta_j)$$

$$\mu_{cr} = \frac{1,0}{1,0} \cdot \sqrt{1 + 0,56^2 + (0,46 \cdot 0,53 - 0,54 \cdot -0,54)^2} - (0,46 \cdot 0,53 - 0,54 \cdot -0,54)$$

$$\mu_{cr} = 0,73$$

Kritický moment

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

$$M_{cr} = 0,73 \cdot \frac{\pi \cdot \sqrt{210 \cdot 10^3 \cdot 62220 \cdot 10^4 \cdot 80,7 \cdot 10^3 \cdot 1419 \cdot 10^4}}{7500}$$

$$M_{cr} = 3740,47 \text{ kNm}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{y,el} \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{4095 \cdot 10^3 \cdot 235}{3740,47 \cdot 10^6}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = 0,51$$

$$-\alpha_{LT} = 0,76$$

$$-\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,2$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,49 \cdot (0,51 - 0,2) + 0,51^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,71$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \overline{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,51^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,83$$

Kroucení

Parametr tuhosti průřezu v kroucení

$$K_t = l \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}}$$

$$K_t = 7500 \cdot \sqrt{\frac{80,7 \cdot 10^3 \cdot 1419 \cdot 10^4}{210 \cdot 10^3 \cdot 10300000 \cdot 10^6}}$$

$$K_t = 5,46$$

Koeficienty α, β

Okrajové podmínky při kroucení		Kroucí zátížení		α	β	
Oboustranné podepření nosníku	prosté podepření (volná deplanace)	plně rovnoměrné		3,1	1,00	
		obecné		3,7	1,08	
	vetknutí (deplanaci je zabráněno)	plně rovnoměrné	pro vnitřní síly v podpoře		8,0	1,25
			pro maximum v poli		5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14	
Konzola	vetknutí	obecné – pro vnitřní síly v podpoře		2,7	1,11	

$$\alpha = 3,7$$

$$\beta = 1,08$$

Rozdělovací parametr

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2}$$

$$\kappa = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{5,47}\right)^2}$$

$$\kappa = 0,65$$

Bimoment od vázaného kroucení

$$B_{1,Ed} = M_{1,z,Ed} \cdot z_g \cdot (1 - \kappa)$$

$$B_{1,Ed} = 56,74 \cdot 10^6 \cdot 118,4 \cdot (1 - 0,65)$$

$$B_{1,Ed} = 2,35 \text{ kNm}^2$$

$$B_{5,Ed} = M_{5,z,Ed} \cdot z_g \cdot (1 - \kappa)$$

$$B_{5,Ed} = 108,94 \cdot 10^6 \cdot 118,4 \cdot (1 - 0,65)$$

$$B_{5,Ed} = 4,51 \text{ kNm}^2$$

Posouzení na interakci klopení a kroucení

$$\frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\omega_{max} = \frac{b \cdot h}{4}$$

$$\omega_{max} = \frac{550 \cdot 450}{4}$$

$$\omega_{max} = 61875 \text{ mm}^2$$

$$B_{Rk} = \frac{I_w}{\omega_{max}} \cdot f_y$$

$$B_{Rk} = \frac{10300000 \cdot 10^6}{61875} \cdot 235$$

$$B_{Rk} = 39,12 \text{ kNm}^2$$

$$k_{1,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{1,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 2,35 \cdot 10^9}{\frac{39,12 \cdot 10^9}{1,0}}$$

$$k_{1,w} = 0,69$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{56,74 \cdot 10^6}{4095 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}}$$

$$k_{1,zw} = 0,94$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{1,y,Ed}}{M_{y,cr}}}$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{451,74 \cdot 10^6}{3740,47 \cdot 10^6}}$$

$$k_{1,a} = 1,14$$

Kombinace vzpěru s ohybem

Uvažované síly (viz. Statický výpočet str. 80)

$$N_{1,Ed} = -16,44 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = 451,73 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed,z} = 56,74 \text{ kNm}$$

Zatřetíení průřezu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{16,44 \cdot 10^3}{15 \cdot 235} = 4,7 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 358,8 + 4,7}{358,8} = 0,51$$

$$c = h - t_{f,1} - t_{f,2} - 2 \cdot \frac{a_w}{\sqrt{2}}$$

$$c = 450 - 40 - 30 - 2 \cdot \frac{15}{\sqrt{2}}$$

$$c = 358,8$$

Zatřetíení stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{358,8}{15} = 23,9$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 1,0$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,51 - 1} = 70,33 > 23,9$$

Stojina je třídy průřezu 1Zatřetíení tlačené pásnice

$$c = \frac{b - t_w - \frac{a_w}{\sqrt{2}}}{2} = \frac{550 - 15 - \frac{15}{\sqrt{2}}}{2} = 262,2 \text{ mm}$$

Posouzení (tlačená pásnice a tažený konec)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{262,2}{40} = 6,61 < \frac{9 \cdot \varepsilon}{\alpha \cdot \sqrt{\alpha}} = \frac{9 \cdot 1,0}{0,51 \cdot \sqrt{0,51}} = 24,71$$

6,61 < 24,71 Pásnice je třídy průřezu 1Posouzení (tlačená pásnice a tlačný konec)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{262,2}{40} = 6,61 < \frac{9 \cdot \varepsilon}{\alpha} = \frac{9 \cdot 1,0}{0,51} = 17,64$$

6,61 < 17,64 Pásnice je třídy průřezu 1, celý průřez je třídy 1

Vzpěrné délky

$$i_y = 181,6 \text{ mm}$$

$$i_z = 130,2 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{7500}{181,6}$$

$$\lambda_y = 41,30$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{7500}{130,2}$$

$$\lambda_z = 57,60$$

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

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

Poměrná štíhlost

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

$$\bar{\lambda}_y = \frac{41,30}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,44 \text{ křivka vzpěrnosti „b“} \rightarrow \chi_y = 0,906$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{57,60}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,61 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,779$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Součinitel ekvivalentního momentu

$$C_{m,y} = 0,90$$

$$C_{m,z} = 0,90$$

$$\text{Součinitel } C_{mLT} = 0,95 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0 = 0,90$$

Charakteristické únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 36700 \cdot 235 = 8624,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{y,pl} \cdot f_{yk} = 5053,7 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1189,62 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,pl} \cdot f_{yk} = 3721,4 \cdot 10^3 \cdot 235 = 874,44 \text{ kNm}$$

K_{yy}

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

$$k_{yy} = \min \left(\begin{array}{c} 0,90 \left(1 + (0,44 - 0,2) \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,906 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,90 \left(1 + 0,8 \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,906 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \min(0,90)$$

$$k_{yy} = 0,90$$

K_{zy}

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{c} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{c} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,61}{0,90 - 0,25} \cdot \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,779 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{0,90 - 0,25} \cdot \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,779 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min(1,00)$$

$$k_{zy} = 1,00$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} C_{mz} \left(1 + (2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \right) \\ C_{mz} \left(1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \left(\begin{array}{l} 0,9 \left(1 + (2 \cdot 0,61 - 0,6) \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,779 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,9 \left(1 + 0,8 \cdot \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,779 \cdot \frac{8624,5 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{zz} = \min \begin{pmatrix} 0,90 \\ 0,90 \end{pmatrix}$$

$$k_{zz} = 0,90$$

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

$$k_{yz} = 0,6 \cdot 0,9$$

$$k_{yz} = 0,54$$

V posudku na interakci klopení a kroucení nebudou součinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz} zahrnuty, neboť působí příznivě.

Posouzení na MSÚ 1

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{16,44 \cdot 10^3}{0,907 \cdot 8624,5 \cdot 10^3} + \frac{451,74 \cdot 10^6}{0,83 \cdot 4095 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{56,74 \cdot 10^6}{2262,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}}$$

$$+ \frac{0,69 \cdot 0,94 \cdot 1,14 \cdot 2,35 \cdot 10^9}{\frac{39,12 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,719 \leq 1,0$$

Nosník vyhoví

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{16,44 \cdot 10^3}{0,779 \cdot 8624,5 \cdot 10^3} + \frac{451,74 \cdot 10^6}{0,83 \cdot 4095 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{56,74 \cdot 10^6}{2262,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}}$$

$$+ \frac{0,69 \cdot 0,94 \cdot 1,14 \cdot 2,35 \cdot 10^9}{\frac{39,12 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,719 \leq 1,0$$

Nosník vyhoví

Posouzení na MSÚ 5

$$k_{5,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot B_{5,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{5,w} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 4,51 \cdot 10^9}{\frac{39,12 \cdot 10^9}{1,0}}$$

$$k_{5,w} = 0,68$$

$$k_{5,zw} = 1 - \frac{M_{5,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{5,zw} = 1 - \frac{108,94 \cdot 10^6}{2262,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}}$$

$$k_{5,zw} = 0,80$$

$$k_{5,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{5,y,Ed}}{M_{y,cr}}}$$

$$k_{5,a} = \frac{1}{1 - \frac{375,49 \cdot 10^6}{3740,47 \cdot 10^6}}$$

$$k_{5,a} = 1,11$$

Posouzení na MSÚ 5

$$\frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{375,49 \cdot 10^6}{0,83 \cdot 4095 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{108,94 \cdot 10^6}{2262,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{0,68 \cdot 0,80 \cdot 1,11 \cdot 4,51 \cdot 10^9}{\frac{39,12 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,744 \leq 1,0$$

Nosník vyhoví*Lokální tlakové a smykové napětí*

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_R + I_{f,eff}}{t_w}}$$

Moment setrvačnosti kolejnice k její vlastní vodorovné ose

$$I_R = 279 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Moment setrvačnosti pásnice k její vlastní vodorovné ose $I_{f,eff}$

Efektivní šířka pásnice

$$b_{eff} = b_r + 0,75 \cdot h_r + t_{f,1}$$

$$b_{eff} = 100 + 0,75 \cdot 85 + 40$$

$$b_{eff} = 203,8 \text{ mm}$$

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot b_{eff} \cdot t_{f,1}^3$$

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} \cdot 203,8 \cdot 40^3$$

$$I_{f,eff} = 108,7 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_R + I_{f,eff}}{t_w}}$$

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{279 \cdot 10^4 + 108,7 \cdot 10^4}{15}}$$

$$l_{eff} = 207,0 \text{ mm}$$

Lokální svislé tlakové napětí

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_1}{l_{eff} \cdot t_w} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{229,53 \cdot 10^3}{207 \cdot 15} \leq \frac{235}{1,0}$$

$$\sigma_{oz,Ed} = 73,9 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Lokální smykové napětí

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma_{oz,Ed} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \cdot 73,9 \leq \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0}$$

$$\tau_{oxz,Ed} = 14,8 \text{ MPa} \leq 135,7 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Interakce normálového a smykového napětí

$$\sqrt{\sigma_{oz,Ed}^2 + 3 \cdot \tau_{oxz,Ed}^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\sqrt{73,9^2 + 3 \cdot 14,8^2} \leq \frac{235}{1,0}$$

$$78,3 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

Lokální boulení

Účinná délka

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y$$

Účinná zatěžovací délka

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

$$s_s = l_{eff} - 2 \cdot t_f$$

$$s_s = 207,0 - 2 \cdot 40$$

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

Parametry

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{550}{15} = 36,67$$

Parametr $m_2 = 0$ jelikož jej zatím neznám

Účinná zatěžovací délka

$$l_y = s_s + 2 \cdot t_f \cdot (1 + \sqrt{m_1 + m_2})$$

$$l_y = 127 + 2 \cdot 40 \cdot (1 + \sqrt{36,67 + 0})$$

$$l_y = 691,4 \text{ mm}$$

Součinitel lokálního boulení

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}}$$

Kritická síla při lokálním boulení

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w}$$

Součinitel boulení

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{h_w}{a}\right)^2$$

Vzdálenost výztuh

$$a = 2500 \text{ mm}$$

$$k_F = 6 + 2 \cdot \left(\frac{450 - 30 - 40}{2500}\right)^2$$

$$k_F = 6,03$$

Kritická síla při lokálním boulení

$$F_{cr} = 0,9 \cdot k_F \cdot E \cdot \frac{t_w^3}{h_w}$$

$$F_{cr} = 0,9 \cdot 6,03 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{15^3}{450 - 30 - 40}$$

$$F_{cr} = 10122 \text{ kN}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y \cdot t_w \cdot f_y}{F_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{691,4 \cdot 15 \cdot 235}{10122 \cdot 10^3}}$$

$$\bar{\lambda}_F = 0,49$$

Součinitel lokálního boulení

$$\chi_F = \frac{0,8}{\bar{\lambda}_F}$$

$$\chi_F = \frac{0,8}{0,49}$$

$$\chi_F = 1,0$$

Účinná délka

$$L_{eff} = \chi_F \cdot l_y$$

$$L_{eff} = 1,0 \cdot 691,4$$

$$L_{eff} = 691,4 \text{ mm}$$

Únosnost při lokálním boulení stojiny

$$F_{Rd} = \frac{f_y \cdot L_{eff} \cdot t_w}{\gamma_{M1}} \geq F_1$$

$$F_{Rd} = \frac{235 \cdot 691,4 \cdot 15}{1,0} \geq F_1$$

$$F_{Rd} = 2437,19 \text{ kN} \geq F_1 = 229,53 \text{ kN}$$

Nosník vyhoví*Interakce lokálního boulení a ohybového momentu*

$$M_{pl,y} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{pl,y} = 50537 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}$$

$$M_{pl,y} = 11876 \text{ kNm}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$

$$\frac{229,53 \cdot 10^3}{2437,19 \cdot 10^3} + 0,8 \frac{451,74 \cdot 10^6}{11876 \cdot 10^6} \leq 1,4$$

$$0,125 \leq 1,4$$

Podmínka splněna

Globální smykové napětí

$$\tau_{v,Rd} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w}$$

Statický moment horní pásnice k těžišťové ose

$$S_{f,y} = b \cdot t_{f,1} \cdot \left(z_h - \frac{t_{f,1}}{2} \right)$$

$$S_{f,y} = 550 \cdot 40 \cdot \left(154,4 - \frac{40}{2} \right)$$

$$S_{f,y} = 2956,8 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{v,Rd} = \frac{V_{Ed} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot t_w} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$\tau_{v,Rd} = \frac{305,33 \cdot 10^3 \cdot 2956,8 \cdot 10^3}{121100 \cdot 10^4 \cdot 15} \leq \frac{235}{\sqrt{3} \cdot 1,0}$$

$$\tau_{v,Rd} = 49,70 \text{ MPa} \leq 135,68 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna*Návrh krčných svarů*Krční svar $a_w = 8 \text{ mm}$

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a_w \cdot L_{eff} \cdot 2} + \tau_{v,Rd}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{305,33 \cdot 10^3}{8 \cdot 691,4 \cdot 2} + 49,70$$

$$\tau_{\parallel} = 77,30 \text{ MPa}$$

Normálové napětí kolmé k ose svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{F_{Ed}}{2 \cdot L_{eff} \cdot a_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{229,53 \cdot 10^3}{2 \cdot 691,4 \cdot 8}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 14,67 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{14,67^2 + 3 \cdot (14,67^2 + 77,30^2)} < \frac{360}{0,8 \cdot 1,25}$$

$$137,07 \text{ MPa} < 360 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

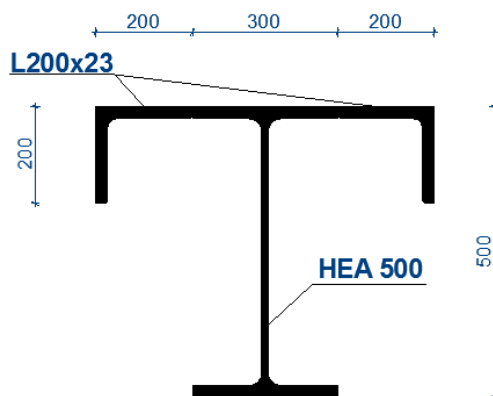
$$\sigma_{\perp} = 14,67 \text{ MPa} < \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$\sigma_{\perp} = 14,67 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Varianta B

Svařenec z HEA 500 a 2x L200x23



Průřezové charakteristiky (viz. Příloha str. 18-19))

- $h = 500 \text{ mm}$
- $b = 700 \text{ mm}$
- $t_{f,h} = 23 \text{ mm}$
- $t_{f,d} = 23 \text{ mm}$
- $t_w = 12 \text{ mm}$
- $A = 36590 \text{ mm}^2$
- $I_y = 127874 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_z = 164252 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_t = 564 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $I_w = 20300000 \cdot 10^6 \text{ mm}^6$

Mezní stav použitelnosti

Svislý průhyb

Maximální povolený průhyb

$$\delta_{z,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

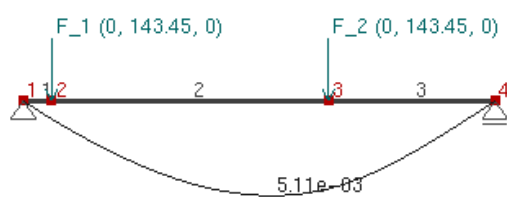
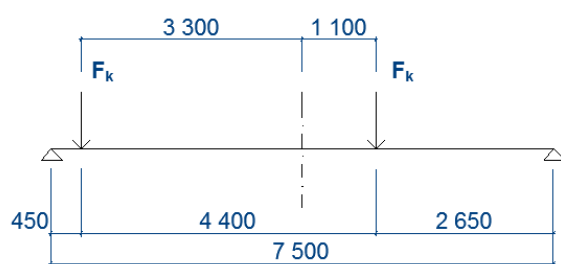
Průhyb od stálého zatížení

$$\delta_g = 0,2 \text{ mm}$$

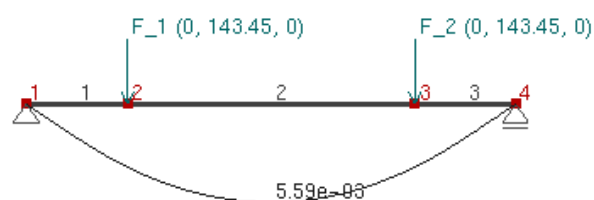
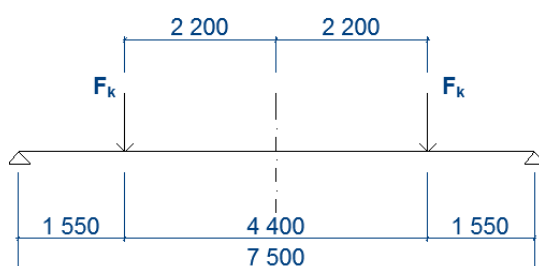
Maximální charakteristické zatížení od kol

$$F_k = 143,45 \text{ kN}$$

Zatěžovací stav A



Zatěžovací stav B



$$\delta_{az} = 5,1 \text{ mm}$$

$$\delta_{bz} = 5,6 \text{ mm}$$

Celkový svislý průhyb

$$\delta_z = 6,2 \text{ mm} \leq \delta_{z,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Vodorovný průhyb

Maximální povolený průhyb

$$\delta_{y,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Charakteristické síly:

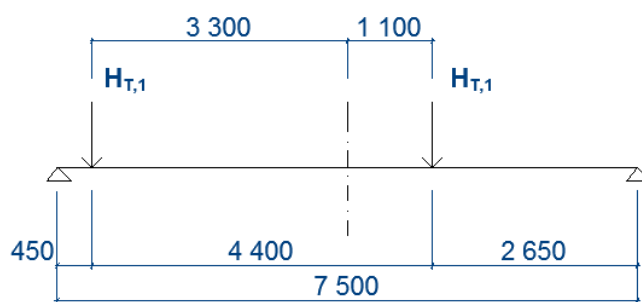
Od zrychlení mostu jeřábu – $H_{T,1} = 14,92 \text{ kN}$

Od přičení mostu jeřábu – $H_{S,2,1,T} = 43,09 \text{ kN}$

Od zrychlení kočky - $H_{T,3,1} = 9,40 \text{ kN}$

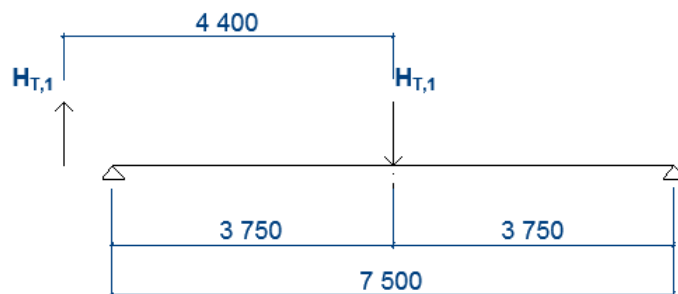
Zatěžovací stavy

A



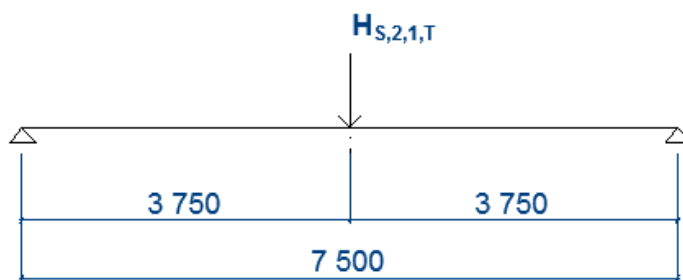
$$\delta_a = 4,1 \text{ mm}$$

B



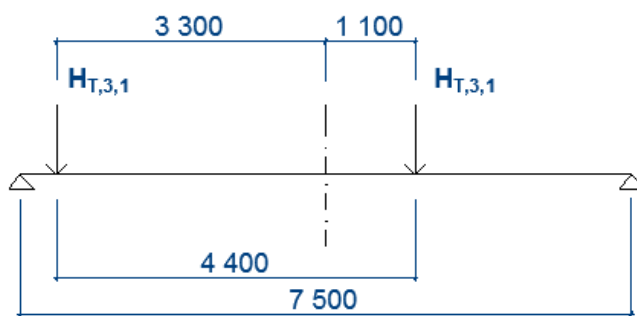
$$\delta_b = 4,1 \text{ mm}$$

C



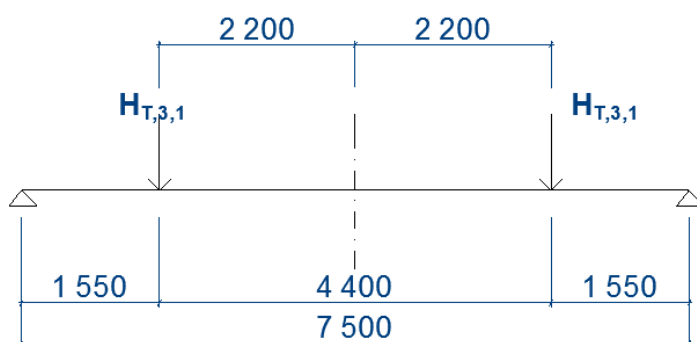
$$\delta_c = 11,8 \text{ mm}$$

D



$$\delta_d = 2,6 \text{ mm}$$

E



$$\delta_{ey} = 2,2 \text{ mm}$$

Celkový vodorovný průhyb

$$\delta_y = 11,8 \text{ mm} \leq \delta_{y,CD} = 12,5 \text{ mm}$$

Posouzení na únavu

Kategorie detailu

Základní materiál horní pásnice v místě přivařených vodících plechů kolejnice- *KD 80*

Základní materiál stojiny s přivařenou výztuhou v místě podpor - *KD 80*

Nezabroušený svar bez míst přerušování svařování - *KD 112*

Dílčí součinitel spolehlivosti únavové pevnosti γ_{Mf}

Metoda hodnocení	Důsledky porušení	
	Mírné	závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Volím bezpečnou životnost a mírné důsledky porušení $\gamma_{Mf} = 1,15$

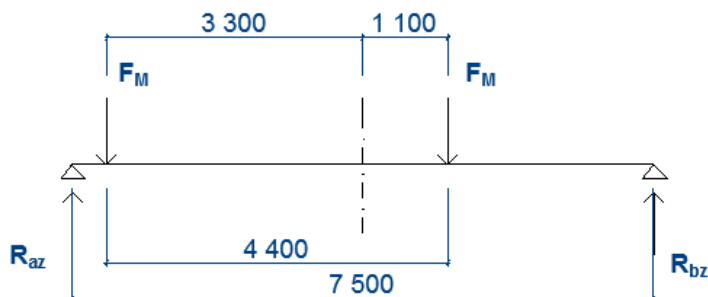
Posouzení pásnic na rozkmit normálového napětí od ohybového momentu

Referenční únavová pevnost - $\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$

Břemeno představující konstantní rozkmit proměnného zatížení v ekvivalentním návrhovém spektru

$$F_M = Q_{e,\sigma} = 63,39 \text{ MPa}$$

Schéma



Vnitřní síly a reakce

$$R_{b,z} = 44,80 \text{ kN}$$

$$R_{a,z} = 81,98 \text{ kN}$$

$$\Delta V_{E2} = R_{a,z} = 81,98 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{E2} = 118,72 \text{ kNm}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y}}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{118,72 \cdot 10^6}{3752,33 \cdot 10^3}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 31,6 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{E2}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C}\right)^3 < 1,0$$

$$D_\sigma = 1,0^3 \cdot 31,60^3 \cdot \left(\frac{1,15}{80}\right)^3 < 1,0$$

$$D_\sigma = 0,09 < 1,0$$

Posouzení stojiny pro rozkmit hlavního napětí od ohybového momentu a posouvající síly

Referenční únavová pevnost - $\Delta\sigma_C = 80 \text{ MPa}$

Ekvivalentní konstantní rozkmit

$$z = \frac{h_w}{2} = \frac{500 - 23 - 23}{2} = 227 \text{ mm}$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{I_y} \cdot z$$

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{118,72 \cdot 10^6}{127874 \cdot 10^4} \cdot 227$$

$$\Delta\sigma_{E2} = 21,07 \text{ MPa}$$

Ekvivalentní konstantní rozkmit jmenovitého smykového napětí ve stojině

$$\tau_{Ed} = \frac{\Delta V_{Ed} \cdot S_y}{I_y \cdot t_w}$$

$$S_y = 1645,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{Ed} = \frac{81,91 \cdot 10^3 \cdot 1645,7 \cdot 10^3}{127874 \cdot 10^4 \cdot 12}$$

$$\tau_{Ed} = 8,78 \text{ MPa}$$

Rozkmit hlavního napětí

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(\Delta\sigma_{E2} + \sqrt{\Delta\sigma_{E2}^2 + 4 \cdot \Delta\tau_{E2}^2} \right)$$

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = \frac{1}{2} \left(21,07 + \sqrt{21,07^2 + 4 \cdot 8,78^2} \right)$$

$$\Delta\sigma_{eq,E2} = 24,25 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození

$$D_\sigma = \gamma_{Ff}^3 \cdot \Delta\sigma_{E2}^3 \cdot \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_c} \right)^3 < 1,0$$

$$D_\sigma = 1,0^3 \cdot 24,25^3 \cdot \left(\frac{1,15}{80} \right)^3 < 1,0$$

$$D_\sigma = 0,04 < 1,0$$

Nosník na únavu vyhoví

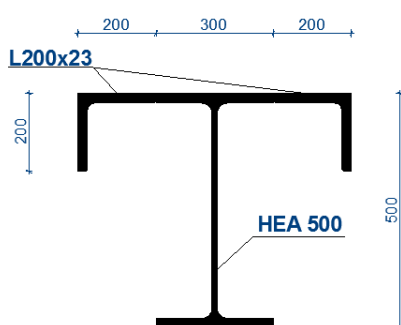
Mezní stav únosnosti

Posudek bude proveden zkrácenou formou, neboť postup výpočtu byl uveden u předchozí varianty.

Návrhové vnitřní síly

Vnitřní síla	Skupina zatížení		Jednotky
	1	5	
$N_{i,Ed}$	16,44	0	kN
$V_{i,Ed,z}$	123,24	103,43	kN
$M_{i,Ed,y}$	451,74	375,49	kNm
$V_{i,Ed,y}$	15,13	29,05	kN
$M_{i,Ed,z}$	56,74	108,94	kNm

Svařenec



Napětí v horních vláknech

$$\sigma_{1,h,Ed} = 56,18 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

$$\sigma_{5,h,Ed} = 46,69 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

Napětí v dolních vláknech

$$\sigma_{1,d,Ed} = 120,26 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

$$\sigma_{1,d,Ed} = 99,96 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Nosník vyhoví

Interakce klopení a kroucení

$$\kappa_{wt} = \frac{\pi}{k_w \cdot L} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_\omega}{G \cdot I_t}}$$

$$\kappa_w = 0,56$$

$$C_1 = 1,0$$

$$C_2 = 0,46$$

$$C_3 = 0,53$$

$$z_a = 244,2 \text{ mm}$$

$$z_s = 189,5 \text{ mm}$$

Bezrozměrný parametr působení zatížení vzhledem ke středu smyku

$$z_g = 54,7 \text{ mm}$$

$$\zeta_g = 0,63$$

Bezrozměrný parametr nesymetrie průřezu

$$z_j = 189,5$$

$$\zeta_j = 2,19$$

Bezrozměrný kritický moment

$$\mu_{cr} = 2,31$$

Kritický moment

$$M_{cr} = 12123,89 \text{ kNm}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = 0,27$$

$$-\alpha_{LT} = 0,76$$

$$-\overline{\lambda}_{LT,0} = 0,2$$

$$\Phi_{LT} = 0,56$$

$$\chi_{LT} = 0,95$$

Kroucení

Parametr tuhosti průřezu v kroucení

$$K_t = l \cdot \sqrt{\frac{G \cdot I_t}{E \cdot I_w}}$$

$$K_t = 7,75$$

Koeficienty α, β

Okrajové podmínky při kroucení		Kroucí zátížení		α	β	
Oboustranné podepření nosníku	prosté podepření (volná deplanace)	plné rovnoměrné		3,1	1,00	
		obecné		3,7	1,08	
	vetknutí (deplanaci je zabráněno)	plné rovnoměrné	pro vnitřní síly v podpoře		8,0	1,25
			pro maximum v poli		5,6	1,00
		obecné		6,9	1,14	
Konzola	vetknutí	obecné – pro vnitřní síly v podpoře		2,7	1,11	

$$\alpha = 3,7$$

$$\beta = 1,08$$

Rozdělovací parametr

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2}$$

$$\kappa = 0,76$$

Bimoment od vázaného kroucení

$$B_{1,Ed} = 0,74 \text{ kNm}^2$$

$$B_{5,Ed} = 1,43 \text{ kNm}^2$$

Posouzení na interakci klopení a kroucení

$$\omega_{max} = 77813,3 \text{ mm}^2$$

$$B_{Rk} = 61,40 \text{ kNm}^2$$

$$k_{1,w} = 0,70$$

$$k_{1,zw} = 0,95$$

$$k_{1,\alpha} = 1,49$$

Kombinace vzpěru s ohybem

Uvažované síly (viz. příloha str Statický výpočet str. 80)

$$N_{1,Ed} = -16,44 \text{ kN}$$

$$M_{1,Ed,y} = 451,73 \text{ kNm}$$

$$M_{1,Ed,z} = 56,74 \text{ kNm}$$

Zatřívání průřezu

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,28 - 1} = 150 > 32,5$$

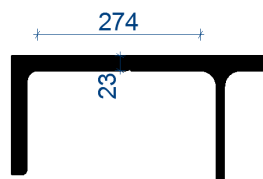
Stojina je třídy průřezu 1

Posouzení pásnice (přečnávající část)



$$\frac{c}{t_f} = \frac{157}{23} = 6,83 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0 = 9,00$$

$6,83 < 9,00$ Pásnice je třídy průřezu 1



Posouzení pásnice (vnitřní část)

$$\frac{c}{t_f} = \frac{273}{23} = 11,86 < 33 \cdot \varepsilon = 33 \cdot 1,0 = 33,0$$

$11,86 < 33,0$ Pásnice je třídy průřezu 1, celý průřez je třídy 1

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = 40,21$$

$$\lambda_z = 35,39$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_y = 0,43 \text{ křivka vzpěrnosti „b“} \rightarrow \chi_y = 0,914$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,38 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,908$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Součinitel ekvivalentního momentu

$$C_{m,y} = 0,90$$

$$C_{m,z} = 0,90$$

$$\text{Součinitel } C_{mLT} = 0,90 + 0,10 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,1 \cdot 0 = 0,90$$

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 36590 \cdot 235 = 8598,65 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rk} = W_{z,el} \cdot f_{yk} = 3752 \cdot 10^3 \cdot 235 = 881,72 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rk} = W_{z,el} \cdot f_{yk} = 4693 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1102,86 \text{ kNm}$$

Kyy a kzy

$$k_{yy} = 0,90$$

$$k_{zy} = 1,00$$

$$k_{zz} = 0,90$$

$$k_{yz} = 0,54$$

V posudku na interakci klopení a kroucení nebudou součinitele k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} a k_{zz} zahrnuty, neboť působí příznivě.

Posouzení na MSÚ 1

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} &\leq 1,0 \\ \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,914 \cdot 8598,65 \cdot 10^3} + \frac{451,74 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 5271 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{56,74 \cdot 10^6}{6107 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} &+ \frac{0,70 \cdot 0,95 \cdot 1,49 \cdot 0,74 \cdot 10^9}{\frac{61,40 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0 \\ &0,437 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Nosník vyhoví

$$\begin{aligned} \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}} + \frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} &\leq 1,0 \\ \frac{16,44 \cdot 10^3}{0,908 \cdot 8598,65 \cdot 10^3} + \frac{451,74 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 5271 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{56,74 \cdot 10^6}{6107 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} &+ \frac{0,70 \cdot 0,95 \cdot 1,49 \cdot 0,74 \cdot 10^9}{\frac{61,40 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0 \\ &0,437 \leq 1,0 \end{aligned}$$

Nosník vyhoví

Posouzení na MSÚ 5

$$k_{5,w} = 0,69$$

$$k_{5,zw} = 0,90$$

$$k_{5,a} = 1,14$$

Posouzení na MSÚ 5

$$\frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{1,w} \cdot k_{1,zw} \cdot k_{1,a} \cdot B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{375,49 \cdot 10^6}{0,95 \cdot 5271 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{108,94 \cdot 10^6}{6107 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{0,69 \cdot 0,90 \cdot 1,14 \cdot 1,43 \cdot 10^9}{\frac{61,40 \cdot 10^9}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,411 \leq 1,0$$

Nosník vyhoví

Lokální tlakové a smykové napětí

Efektivní šířka pásnice

$$b_{eff} = 186,7 \text{ mm}$$

$$I_{f,eff} = 18,92 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$l_{eff} = 204,3 \text{ mm}$$

Lokální svislé tlakové napětí

$$\sigma_{oz,Ed} = 93,62 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Lokální smykové napětí

$$\tau_{oxz,Ed} = 18,72 \text{ MPa} \leq 135,7 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Interakce normálového a smykového napětí

$$99,08 \text{ MPa} \leq 235 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

Lokální boulení

$$s_s = 158,3 \text{ mm}$$

Parametry

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{700}{12} = 58,34$$

Parametr $m_2 = 0$ jelikož jej zatím neznám

Účinná zatěžovací délka

$$l_y = 555,7 \text{ mm}$$

Součinitel boulení

$$k_F = 6,07$$

Kritická síla při lokálním boulení

$$F_{cr} = 4316 \text{ kN}$$

Vzdálenost výztuh

$$a = 2500 \text{ mm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_F = 0,60$$

Součinitel lokálního boulení

$$\chi_F = 1,0$$

Účinná délka

$$L_{eff} = 555,7 \text{ mm}$$

Únosnost při lokálním boulení stojiny

$$F_{Rd} = 1567,07 \text{ kN} \geq F_1 = 229,53 \text{ kN}$$

Nosník vyhoví

Interakce lokálního boulení a ohybového momentu

$$M_{pl,y} = 1238 \text{ kNm}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$

$$\frac{229,53 \cdot 10^3}{1567,07 \cdot 10^3} + 0,8 \frac{451,74 \cdot 10^6}{1238 \cdot 10^6} \leq 1,4$$

$$0,438 \leq 1,4$$

Podmínka splněna*Globální smykové napětí*

Statický moment horní pásnice k těžišťové ose

$$S_{f,y} = 2181 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{v,Rd} = 43,40 \text{ MPa} \leq 135,68 \text{ MPa}$$

Podmínka splněna

Rozhodnutí:

V dalších výpočtech budu pracovat s nosníkem B.

Vybral jsem si jej kvůli nižší pracnosti výroby.

Návrh hlavní vazby

Výpočet zatěžovacích sil na rám

Zatěžovací stav I Vlastní tíha

Plech tl. 1,13 mm (oblasti mimo úžlabí)

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
plech	0,18	7,5	1,35	1,35	1,82
izolace tl. 150 mm (	0,05	7,5	0,38	1,35	0,51
		$g_{k,vl}$	1,73	$g_{d,vl}$	2,33

Plech tl. 1,5 mm (oblast úžlabí)

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
plech	0,24	7,5	1,8	1,35	2,43
izolace tl. 150 mm (	0,05	7,5	0,38	1,35	0,51
		$g_{k,vl}$	2,18	$g_{d,vl}$	2,94

Obvodový plášť

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
izolace tl. 200 mm (	0,06	7,5	0,45	1,35	0,61
Kazeta	0,22	7,5	1,65	1,35	2,23
		$g_{k,vl}$	2,10	$g_{d,vl}$	2,84

Tíha jeřábového nosníku

Zatížení	Liniové zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Bodové zatížení (kN)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN)
Svařenec	2,88	7,5	21,6	1,35	29,16
kolejnice	0,30	7,5	2,25	1,35	3,04
		$g_{k,vl}$	23,85	$g_{d,vl}$	32,24

Zatěžovací stav II SníhBěžný sníh

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
Sníh	1,43	7,5	10,73	1,5	16,10
		$q_{k,sníh}$	10,73	$q_{d,sníh}$	16,10

Zatěžovací stav III Sníh v úžlabí

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
Sníh	2,25	7,5	16,88	1,5	25,31
		$q_{k,sníh}$	16,88	$q_{d,sníh}$	25,31

Zatěžovací stav IV Vítr západní

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
Oblast A	-1,31	7,5	-9,83	1,5	-14,75
Oblast B	-0,87	7,5	-6,53	1,5	-9,80
Oblast C	-0,55	7,5	-4,13	1,5	-6,20
Oblast D	0,87	7,5	6,53	1,5	9,80
Oblast E	-0,55	7,5	-4,13	1,5	-6,20
Oblast F	-1,85	7,5	-13,88	1,5	-20,82
Oblast G	-1,31	7,5	-9,83	1,5	-14,75
Oblast H	-0,65	7,5	-4,88	1,5	-7,32
Oblast 0,6H	-0,39	7,5	-2,93	1,5	-4,40
Oblast I	-0,65	7,5	-4,88	1,5	-7,32
Oblast 0,6I	-0,39	7,5	-2,93	1,5	-4,40
Oblast J	-0,65	7,5	-4,88	1,5	-7,32
Oblast J	0,22	7,5	1,65	1,5	2,48
Oblast 0,6J	-0,39	7,5	-2,93	1,5	-7,32
Oblast 0,6J	0,13	7,5	0,98	1,5	1,47

Zatěžovací stav V Vítr severní

Zatížení	Plošné zatížení (kN/m ²)	Zatěžovací šířka (m)	Liniové zatížení (kN/m)	Dílčí součinitel (-)	Návrhové zatížení (kN/m)
Oblast A	-1,31	7,5	-9,83	1,5	-14,75
Oblast B	-0,87	7,5	-6,53	1,5	-9,80
Oblast C	-0,55	7,5	-4,13	1,5	-6,20
Oblast D	0,87	7,5	6,53	1,5	9,80
Oblast E	-0,55	7,5	-4,13	1,5	-6,20
Oblast F	-1,74	7,5	-11,03	1,5	-15,55
Oblast G	-1,42	7,5	-10,65	1,5	-15,98
Oblast H	-0,76	7,5	-5,70	1,5	-8,55
Oblast I	-0,65	7,5	-4,88	1,5	-7,32

Zatěžovací stav VI jeřáb (všechny nosníky v jednom poli)

Zatížení	Bodové zatížení (kN)
Most. Jeřáb u sloupu	219,99
Most. Jeřáb u druhé podpory	51,98

Zatěžovací stav VII Teplota (normální stav 20 °C)

- a) Teplota -5 °C
- b) Teplota 40 °C

Kombinace zatížení viz. Příloha str. 15

Statická schémata hlavní rámové vazby

- 1) Kloubové patky
- 2) Vetknuté patky
- 3) Krajní vetknuté a vnitřní kloubové patky
- 4) Kloubové patky a příčle staženy táhlem

- 1) Kloubové patky (viz. Příloha str.20)

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě úžlabí

$$w_H = 91,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{300}$$

$$w_H = 91,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{9800}{300}$$

$$w_H = 91,3 \text{ mm} \not< w_{lim} = 32,7 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě hlavy kolejnice

$$w_H = 62,9 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{400}$$

$$w_H = 62,9 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7000}{400}$$

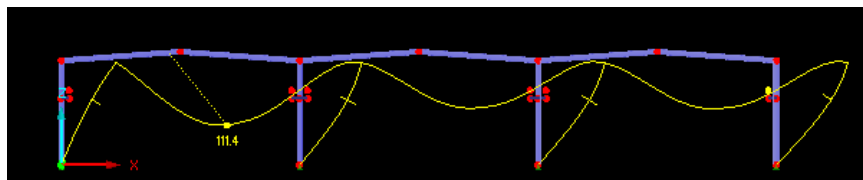
$$w_H = 62,9 \text{ mm} \not< w_{lim} = 17,5 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Svislá deformace příčle (profil IPE 550)

$$w_V = 85,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$w_V = 85,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{22500}{250}$$

$$w_V = 85,0 \text{ mm} < w_{lim} = 90,0 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$



Průhyb nevyhovuje a z důvodu že na toto variantu by bylo potřeba použít větší profil sloupu, nebude tato varianta dále uvažována.

2) Vetknuté patky (viz. Příloha str.20)

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě úžlabí

$$w_H = 16,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{300}$$

$$w_H = 16,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{9800}{300}$$

$$w_H = 16,1 \text{ mm} < w_{lim} = 32,7 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě hlavy kolejnice

$$w_H = 10,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{400}$$

$$w_H = 10,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7000}{400}$$

$$w_H = 10,3 \text{ mm} < w_{lim} = 17,5 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$

Svislá deformace příčle (profil IPE 550)

$$w_V = 73,4 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$w_V = 73,4 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{22500}{250}$$

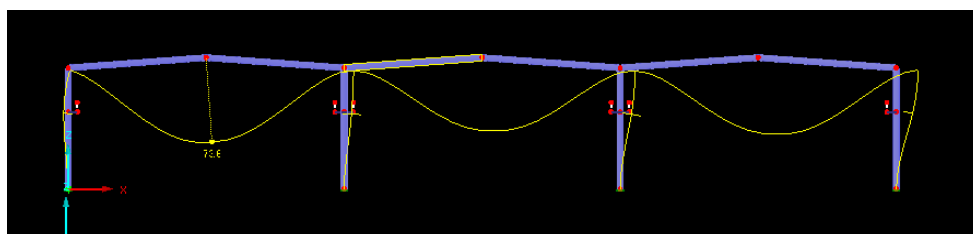
$$w_V = 73,4 \text{ mm} < w_{lim} = 90,0 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$

Rozdíl vodorovné deformace sloupu (profil HEB 600) v místě hlavy kolejnice s druhým rámem

$$w_H = 10,3 - 3,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{600}$$

$$w_H = 7,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{600}$$

$$w_H = 7,3 \text{ mm} < w_{lim} = 12,5 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$



3) Vetknuté krajní patky a kloubové vnitřní patky (viz. Příloha str.20)

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě úžlabí

$$w_H = 32,9 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{300}$$

$$w_H = 32,9 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{9800}{300}$$

$$w_H = 32,9 \text{ mm} \nless w_{lim} = 32,7 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB600) v místě hlavy kolejnice

$$w_H = 24,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{400}$$

$$w_H = 24,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7000}{400}$$

$$w_H = 24,3 \text{ mm} \nless w_{lim} = 17,5 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Svislá deformace příčle (profil IPE 550)

$$w_V = 82,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$w_V = 82,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{22500}{250}$$

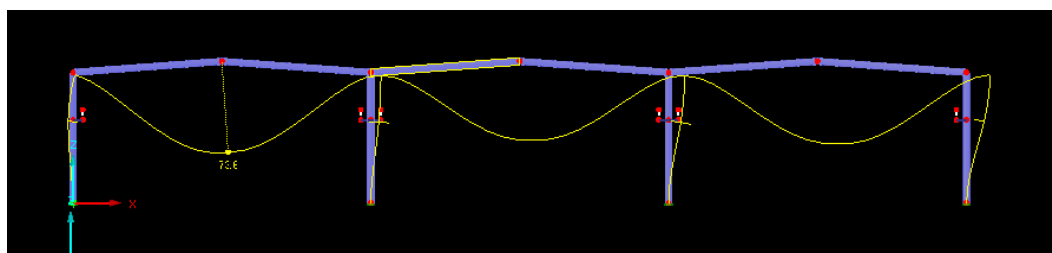
$$w_V = 82,1 \text{ mm} < w_{lim} = 90,0 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$

Rozdíl vodorovné deformace sloupu (profil HEB 600) v místě hlavy kolejnice s druhým rámem

$$w_H = 24,3 - 7,3 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{600}$$

$$w_H = 17,0 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{600}$$

$$w_H = 17,0 \text{ mm} < w_{lim} = 12,5 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$



4) Kloubové patky s táhlem (viz. Příloha str.21)

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě úžlabí

$$w_H = 87,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{300}$$

$$w_H = 87,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{9800}{300}$$

$$w_H = 87,1 \text{ mm} \not< w_{lim} = 32,7 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Vodorovná deformace sloupu (profil HEB 600) v místě hlavy kolejnice

$$w_H = 61,8 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{400}$$

$$w_H = 61,8 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7000}{400}$$

$$w_H = 61,8 \text{ mm} \not< w_{lim} = 17,5 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$

Svislá deformace příčle (profil IPE 550)

$$w_V = 69,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{L}{250}$$

$$w_V = 69,1 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{22500}{250}$$

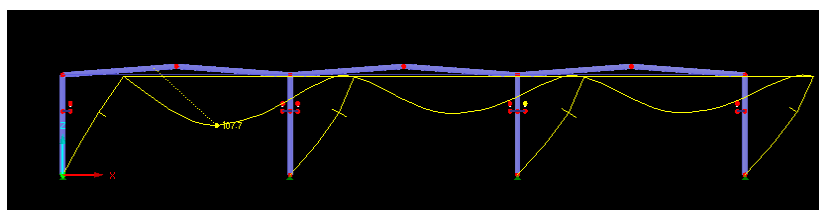
$$w_V = 69,1 \text{ mm} < w_{lim} = 90,0 \text{ mm} \text{ Vyhovuje}$$

Rozdíl vodorovné deformace sloupu (profil HEB 550) v místě hlavy kolejnice s druhým rámem

$$w_H = 61,8 - 16,2 < w_{lim} = \frac{L}{600}$$

$$w_H = 45,6 \text{ mm} < w_{lim} = \frac{7500}{600}$$

$$w_H = 45,6 \text{ mm} < w_{lim} = 12,5 \text{ mm} \text{ Nevyhovuje}$$



Závěr

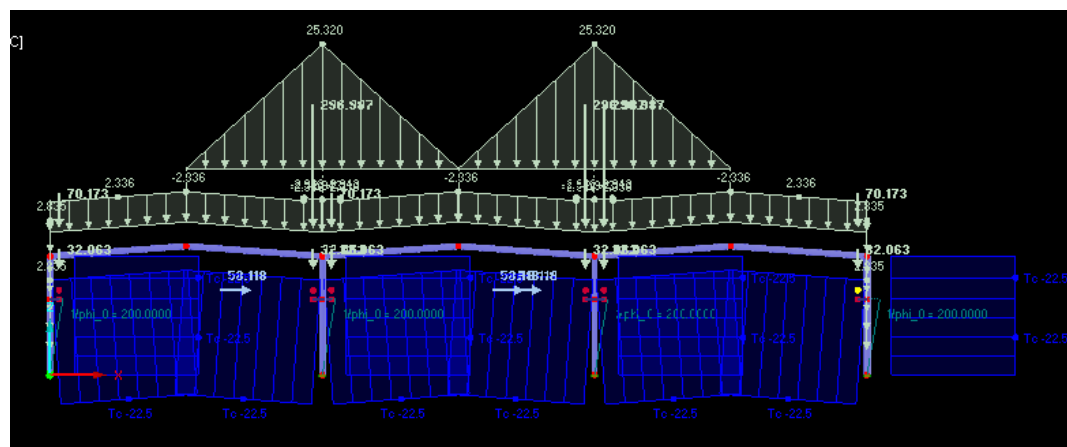
Rozhodl jsem se ro variantu s vetknutými patkami, kvůli přijatelně nízké deformaci.

V případě jiné varianty bych musel zvětšit dimenze sloupů.

Posouzení vnitřního sloupu

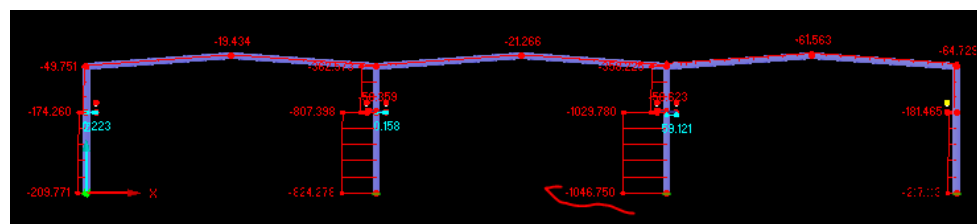
Nejhorší možná kombinace: Kombinace č.2 Stálé zatížení + Navátý sníh + jeřáby u sloupu (větší ohybový moment než u KZ1)

Zatížení

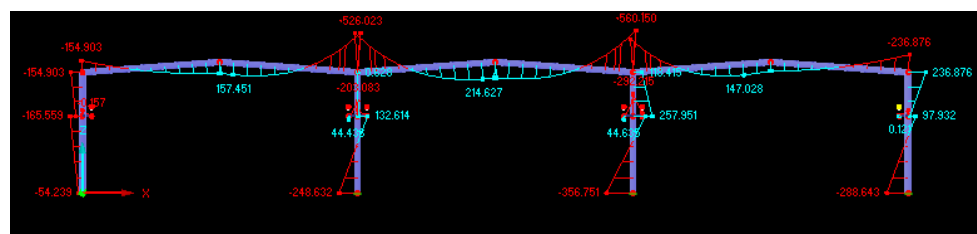


Uvažované síly (viz. příloha str. 23)

$$N_{Ed} = -1046,75 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 356,75 \text{ kNm}$$



Průřez Sloupu HEB 550

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A = 25410 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 136700 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 13080 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 4971 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

$$t_f = 29 \text{ mm}$$

$$d = 438 \text{ mm}$$

$$h = 550 \text{ mm}$$

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

- $r = 27 \text{ mm}$
- $i_y = 232 \text{ mm}$
- $i_z = 71,7 \text{ mm}$

Zatřžení průřezu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{10 \cdot 10^3}{15 \cdot 235} = 297,0 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 438 + 297,0}{438} = 1,17$$

Zatřžení stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{438}{15} = 29,2$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{456 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 1,17 - 1} = 32,09 > \frac{c}{t_w} = 29,2$$

Stojina je třídy průřezu 2

Zatřžení tlačené pásnice

$$c = \frac{b - t_w - r}{2} = \frac{300 - 15 - 27}{2} = 129 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{c}{t_f} = \frac{129}{29} = 4,45 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0$$

$4,45 < 9$ Pásnice je třídy průřezu 1 a celý průřez je třídy 2

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{9800}{232}$$

$$\lambda_y = 42,24$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{6240}{71,7}$$

$$\lambda_z = 87,03$$

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

$$\lambda_1 = 93,9 \sqrt{\frac{235}{235}}$$

$$\lambda_1 = 93,9$$

Poměrná štíhlost

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

$$\bar{\lambda}_y = \frac{42,24}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,45 \text{ křivka vzpěrnosti „a“} \rightarrow \chi_y = 0,939$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{87,03}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,92 \text{ křivka vzpěrnosti „b“} \rightarrow \chi_z = 0,648$$

Prut vybočí ve směru osy z.Vliv klopení

Kritický moment spočítaný v programu LTBeamN $M_{cr} = 4304 \text{ kNm}$ (viz. Příloha str. 28-29)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{4971 \cdot 10^3 \cdot 235}{4304 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,52$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,52 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,52^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,62$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,62 + \sqrt{0,62^2 - 0,75 \cdot 0,52^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,96$$

Součinitel ekvivalentního momentu $C_{m,y} = 0,90$

Součinitel $C_{mLT} = 0,60 + \psi \cdot 0,4 = 0,60 - 0,71 \cdot 0,4 = 0,32$

Charakteristické únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 25410 \cdot 235 = 5971,35 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} \cdot f_{yk} = 4971 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1168,19 \text{ kNm}$$

Kyy

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

$$k_{yy} = \max \left(\begin{array}{l} 0,90 \left(1 + (0,45 - 0,2) \frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,939 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,90 \left(1 + 0,8 \frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,939 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \max \begin{pmatrix} 0,94 \\ 1,03 \end{pmatrix}$$

$$k_{yy} = 1,03$$

Kzy

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,92}{0,32 - 0,25} \cdot \frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,648 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{0,32 - 0,25} \cdot \frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,648 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \begin{pmatrix} 0,64 \\ 0,61 \end{pmatrix}$$

$$k_{zy} = 0,61$$

Posouzení podmínek

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,939 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,03 \cdot \frac{356,75 \cdot 10^6}{0,96 \cdot \frac{1168,19 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,514 ≤ 1,0 Podmínka splněna

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{1046,75 \cdot 10^3}{0,648 \cdot \frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,61 \cdot \frac{356,75 \cdot 10^6}{0,96 \cdot \frac{1168,19 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,465 ≤ 1,0 Podmínka splněna

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

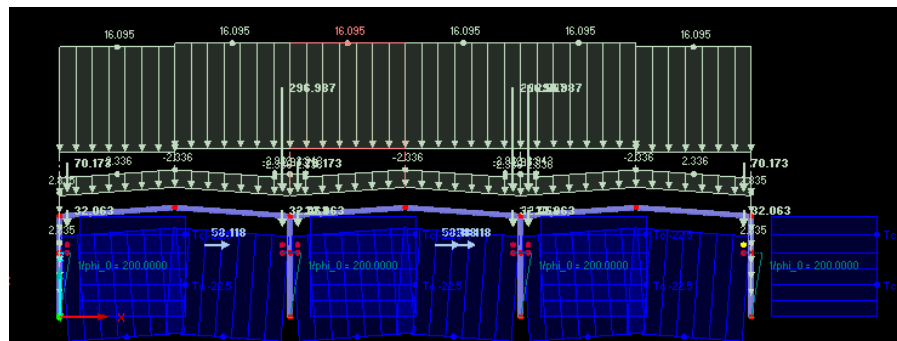
$$\frac{1046,75 \cdot 10^3}{\frac{5971,35 \cdot 10^3}{1,0}} + \frac{356,75 \cdot 10^6}{\frac{1168,19 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,481 ≤ 1,0 Podmínka splněna

Posouzení vnějšího sloupu

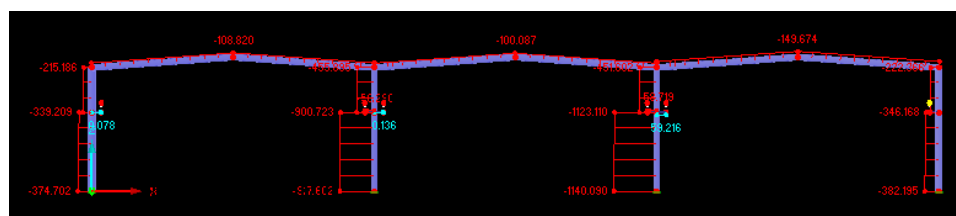
Nejhorší možná kombinace: Kombinace č.1 Vlastní tíha+ běžný sníh+ jeřáb

Zatížení

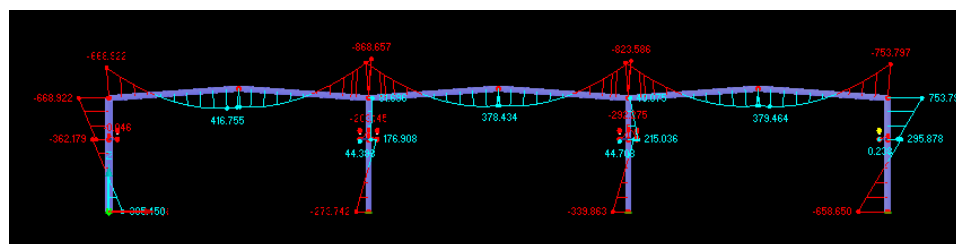


Uvažované síly (viz. příloha str. 22)

$$N_{Ed} = -382,20 \text{ kN}$$



$$M_{Ed} = 658,65 \text{ kNm}$$



Průřez Sloupu HEB 600

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A = 27000 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 171000 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 13530 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$W_{y,pl} = 6425 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$t_w = 15,5 \text{ mm}$$

$$t_f = 30 \text{ mm}$$

$$d = 486 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

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

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

$$- i_y = 252 \text{ mm}$$

$$- i_z = 70,8 \text{ mm}$$

Zatřetíení průřezu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{383,19 \cdot 10^3}{15 \cdot 235} = 104,9 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 486 + 104,9}{486} = 0,72$$

Zatřetíení stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{486}{15,5} = 31,35$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1} = \frac{396 \cdot 1,0}{13 \cdot 0,72 - 1} = 47,37 > \frac{c}{t_w} = 29,2$$

Stojina je třídy průřezu 1

Zatřetíení tlačené pásnice

$$c = \frac{b - t_w - r}{2} = \frac{300 - 15 - 27}{2} = 129 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{c}{t_f} = \frac{129}{30} = 4,3 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0$$

4,3 < 9 Pásnice je třídy průřezu 1 a celý průřez je třídy 1

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{9800}{232}$$

$$\lambda_y = 38,89$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{6240}{70,8}$$

$$\lambda_z = 88,16$$

Poměrná štíhlost

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

$$\bar{\lambda}_y = \frac{38,89}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = 0,41 \text{ křivka vzpěrnosti „a“} \rightarrow \chi_y = 0,950$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{88,16}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 0,94 \text{ křivka vzpěrnosti „b“} \rightarrow \chi_z = 0,635$$

Prut vybočí ve směru osy z.Vliv klopení

Kritický moment spočítaný v programu LTBeamN $M_{cr} = 3518,6 \text{ kNm}$
(viz. Příloha str. 30-31)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{6425 \cdot 10^3 \cdot 235}{3518,6 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,66$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,66 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,66^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,71$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,71 + \sqrt{0,71^2 - 0,75 \cdot 0,66^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,88$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = -\frac{658,65}{753,79} = -0,874$$

Součinitel ekvivalentního momentu $C_{m,y} = 0,90$

$$\text{Součinitel } C_{mLT} = 0,60 + 0,4 \cdot \psi = 0,6 + 0,4 \cdot -0,874 = 0,25$$

Charakteristické únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 27000 \cdot 235 = 6345 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} \cdot f_{yk} = 6425 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1509,88 \text{ kNm}$$

K_{yy}

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

$$k_{yy} = \max \left(\begin{array}{l} 0,9 \left(1 + (0,41 - 0,2) \frac{383,19 \cdot 10^3}{0,95 \cdot \frac{6345 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,9 \left(1 + 0,8 \frac{383,19 \cdot 10^3}{0,95 \cdot \frac{6345 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

$$k_{yy} = \max \begin{pmatrix} 0,91 \\ 0,94 \end{pmatrix}$$

$$k_{yy} = 0,94$$

K_{zy}

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,94}{0,25 - 0,25} \cdot \frac{383,19 \cdot 10^3}{0,635 \cdot \frac{6345 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{0,25 - 0,25} \cdot \frac{383,19 \cdot 10^3}{0,635 \cdot \frac{6345 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \begin{pmatrix} 1,0 \\ 1,0 \end{pmatrix}$$

$$k_{zy} = 1,0$$

Posouzení podmínek

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$0,95 \cdot \frac{382,19 \cdot 10^3}{1,0} + 0,94 \cdot \frac{753,79 \cdot 10^6}{0,88 \cdot \frac{1509,88 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,600 ≤ 1,0 Podmínka splněna

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$0,635 \cdot \frac{382,19 \cdot 10^3}{1,0} + 1,0 \cdot \frac{753,79 \cdot 10^6}{0,88 \cdot \frac{1509,88 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,662 ≤ 1,0 Podmínka splněna

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{382,19 \cdot 10^3}{\frac{6345 \cdot 10^3}{1,0}} + \frac{753,79 \cdot 10^6}{\frac{1509,88 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

0,559 ≤ 1,0 Podmínka splněnaPosouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{11080 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 151,90 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 1503,30 \text{ kN} > V_{Ed} = 151,90 \text{ kN}$$

Malý smyk neposuzují interakci ohybu se smykem

Posouzení příčle

Nejhorsí možná kombinace: Kombinace č.1 Vlastní tíha+ běžný sníh+ jeřáb

Zatížení

Uvažované síly (viz. příloha str. 22)

$$N_{Ed} = -125,37 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 868,66 \text{ kNm}$$

Průřez příčle IPE 550

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A = 13400 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 67120 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

$$W_{y,pl} = 3787 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

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

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

$$h = 550 \text{ mm}$$

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

- $r = 24 \text{ mm}$

- $i_y = 223 \text{ mm}$

- $i_z = 44,5 \text{ mm}$

Průřez příčle IPE 550 v místě náběhu (průřez. Charakteristiky viz. Příloha str. 32-33)

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A = 20065 \text{ mm}^2$$

$$-I_y = 17380 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

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

$$-W_{y,pl} = 5009 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

$$-t_f = 17,2 \text{ mm}$$

$$-h = 820 \text{ mm}$$

$$-b = 210 \text{ mm}$$

$$-r = 24 \text{ mm}$$

$$-i_y = 294,2 \text{ mm}$$

$$-i_z = 44,7 \text{ mm}$$

Zatřetíení průřezu

Celý průřez v ohybu je třídy 1

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{22500}{223}$$

$$\lambda_y = 100,90$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{5625}{44,5}$$

$$\lambda_z = 126,40$$

Poměrná štíhlost

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

$$\bar{\lambda}_y = \frac{100,90}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_y = 1,07 \text{ křivka vzpěrnosti „a“} \rightarrow \chi_y = 0,950$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{126,4}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,35 \text{ křivka vzpěrnosti „b“} \rightarrow \chi_z = 0,404$$

Prut vybočí ve směru osy z.Vliv klopeníKritický moment spočítaný v programu LTBeamN $M_{cr} = 5185 \text{ kNm}$ (viz. Příloha str. 34-35)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 235}{5185 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,35$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,35 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,35^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,53$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,53 + \sqrt{0,53^2 - 0,75 \cdot 0,35^2}}$$

$$\chi_{LT} = 1,00$$

$$\psi = \frac{M_1}{M_2} = \frac{668,92}{868,66} = 0,77$$

Součinitel ekvivalentního momentu $C_{m,y} = 0,95 + 0,05 \cdot \psi = 0,95 + 0,05 \cdot 0,77 = 0,9$

Součinitel $C_{m,LT} = 0,95 + 0,05 \cdot \psi = 0,95 + 0,05 \cdot 0,77 = 0,99$

Charakteristické únosnosti v tlaku a ohybu

$$N_{Rk} = A \cdot f_{yk} = 20065 \cdot 235 = 4715,28 \text{ kN}$$

$$M_{Rk} = W_{y,pl} \cdot f_{yk} = 5009 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1177,11 \text{ kNm}$$

Kyy

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

$$k_{yy} = \max \left(\begin{array}{l} 0,99 \left(1 + (1,07 - 0,2) \frac{125,33 \cdot 10^3}{0,617 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \\ 0,99 \left(1 + 0,8 \frac{125,33 \cdot 10^3}{0,617 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} \right) \end{array} \right)$$

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

$$k_{yy} = 0,99$$

Kzy

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{mLT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \\ 1 - \frac{0,1}{C_{m,LT} - 0,25} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1 - \frac{0,1 \cdot 0,99}{0,99 - 0,25} \cdot \frac{125,33 \cdot 10^3}{0,404 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} \\ 1 - \frac{0,1}{0,99 - 0,25} \cdot \frac{125,33 \cdot 10^3}{0,404 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = \min \left(\begin{array}{l} 1,0 \\ 1,0 \end{array} \right)$$

$$k_{zy} = 1,0$$

Posouzení podmínek v začátku náběhu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{0,617 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,99 \cdot \frac{580,54 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \frac{654,95 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,926 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{0,404 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{580,54 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \frac{654,95 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,952 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{4715,28 \cdot 10^3} + \frac{580,54 \cdot 10^6}{654,95 \cdot 10^6} \leq 1,$$

$$0,913 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{5987 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 224,53 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 812,30 \text{ kN} > V_{Ed} = 224,53 \text{ kN}$$

Malý smyk neposuzují interakci ohybu se smykem

Posouzení podmínek na konci náběhu

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{0,617 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} + 0,99 \cdot \frac{868,66 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \frac{1177,11 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,774 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{0,404 \cdot \frac{4715,28 \cdot 10^3}{1,0}} + 1,0 \cdot \frac{868,66 \cdot 10^6}{1,0 \cdot \frac{1177,11 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,804 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{N_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} + \frac{M_{Ed}}{\frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{125,37 \cdot 10^3}{4715,28 \cdot 10^3} + \frac{868,66 \cdot 10^6}{1177,11 \cdot 10^6} \leq 1,$$

$$0,765 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{5987 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 224,53 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 812,30 \text{ kN} > V_{Ed} = 224,53 \text{ kN}$$

Malý smyk neposuzují interakci ohybu se smykem

Posouzení příčle na sání větru

Nejhorší možná kombinace: Kombinace č.4 Vítr severní + min. stálé

Zatížení

Uvažované síly (viz. příloha str. 25)

$$N_{Ed} = 79,90 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 215,07 \text{ kNm}$$

Posouzení nutnosti uvažovat tahovou normálovou sílu v kombinaci s ohybemOhyb kolem osy y-y

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 13440 \cdot 235 = 3158,4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq 0,25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} = 79,90 \text{ kN} \leq 0,25 \cdot 3158,4$$

$$N_{Ed} = 79,90 \text{ kN} \leq 789,6 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$N_{Ed} = 79,90 \text{ kN} \leq \frac{0,5 \cdot 550 \cdot 11,2 \cdot 235}{1,0}$$

$$N_{Ed} = 79,90 \text{ kN} \leq 743,19 \text{ kN}$$

Vliv osové tahové síly je možné při výpočtu zatížení kombinací tahu za ohybu zanedbat.

Vliv klopení

Kritický moment spočítaný v programu LTBeamN $M_{cr} = 694,2 \text{ kNm}$
(viz. Příloha str. 36-37)

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 235}{694,2 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,97$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,97 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,97^2]$$

$$\Phi_{LT} = 0,94$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \bar{\lambda}_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,94 + \sqrt{0,94^2 - 0,75 \cdot 0,97^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,73$$

Charakteristické únosnosti v ohybu

$$M_{Rk} = W_{y,pl} \cdot f_{yk} = 5009 \cdot 10^3 \cdot 235 = 1177,11 \text{ kNm}$$

Posouzení podmínek

$$\frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{Rk}}{\gamma_{M,1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{215,07 \cdot 10^6}{0,73 \cdot \frac{654,95 \cdot 10^6}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,446 \leq 1,0 \text{ Podmínka splněna}$$

Posouzení na smyk

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{5987 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 59,36 \text{ kN}$$

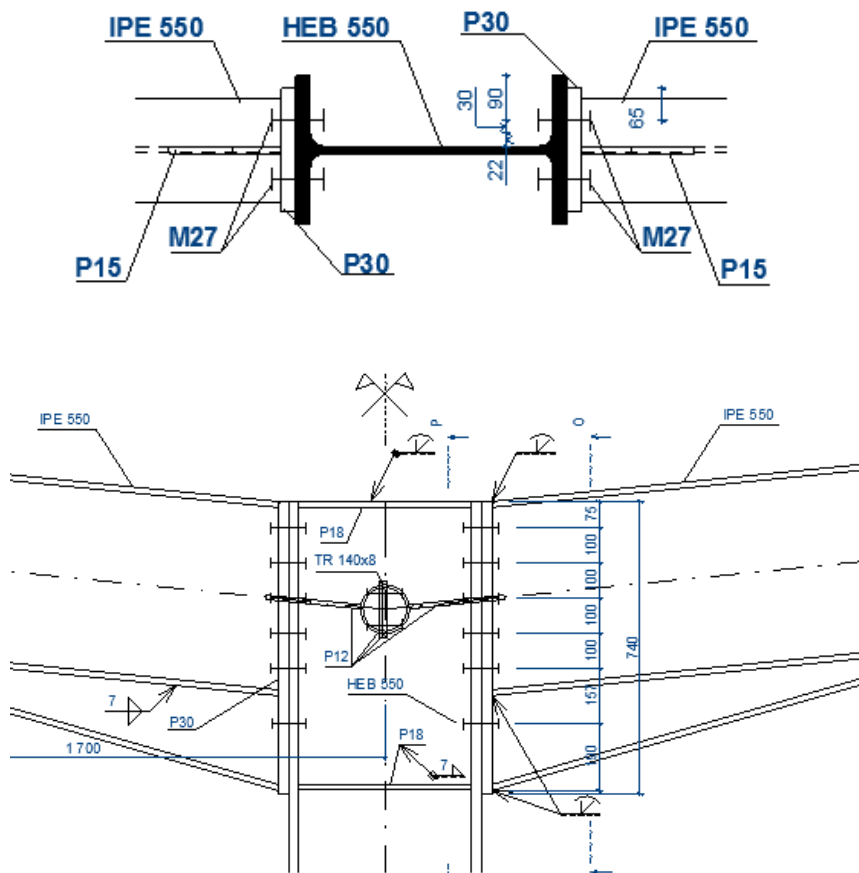
$$V_{pl,Rd} = 812,30 \text{ kN} > V_{Ed} = 59,36 \text{ kN}$$

Malý smyk neposuzují interakci ohybu se smykem

Příčle vyhoví

Rámový roh vnitřní

Schéma



Vnitřní síly (viz. Příloha str. 22)

$$M_{Ed} = -868,66 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 224,52 \text{ kN}$$

Návrh svaru

Svar na stojině koutový navržena na plnou únosnost profilu

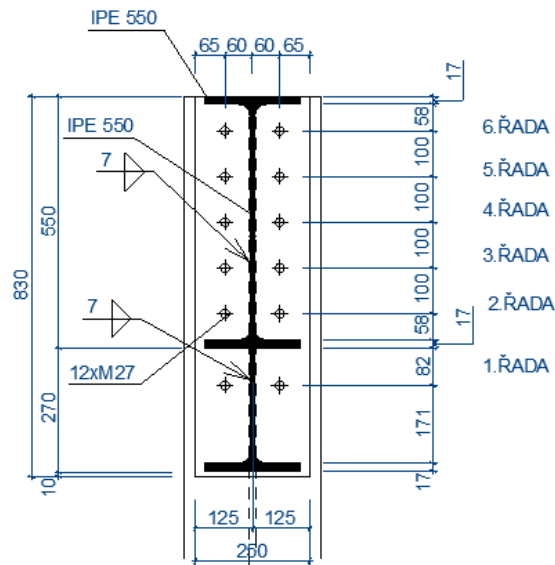
$$a_w \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}{f_u}$$

$$a_w \geq \frac{11,1}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \frac{1,0 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}}{360}$$

$$a_w \geq 6,4 \text{ mm}$$

Navrhnu výšku svaru na stojině $a_w = 7 \text{ mm}$

Na pásnících tupí svar



Způsoby porušení

1.

$$F_{t1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m}$$

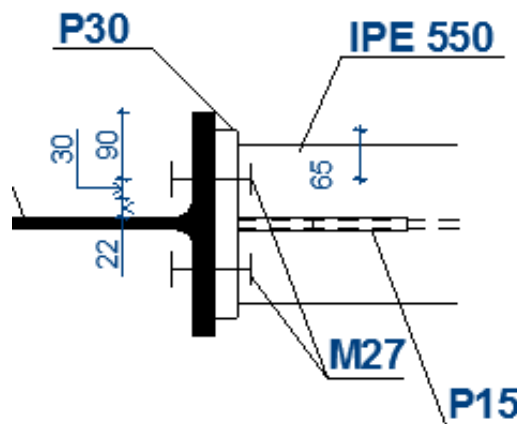
2.

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

3.

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{r,Rd}$$

Pohled



$$m = 30 \text{ mm}$$

$$e = \min(e_1; e_2)$$

$$e = \min(90; 65)$$

$$e = 65 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m)$$

$$n = \min(65; 1,25 \cdot 30)$$

$$n = \min(65; 37,5)$$

$$n = 37,5 \text{ mm}$$

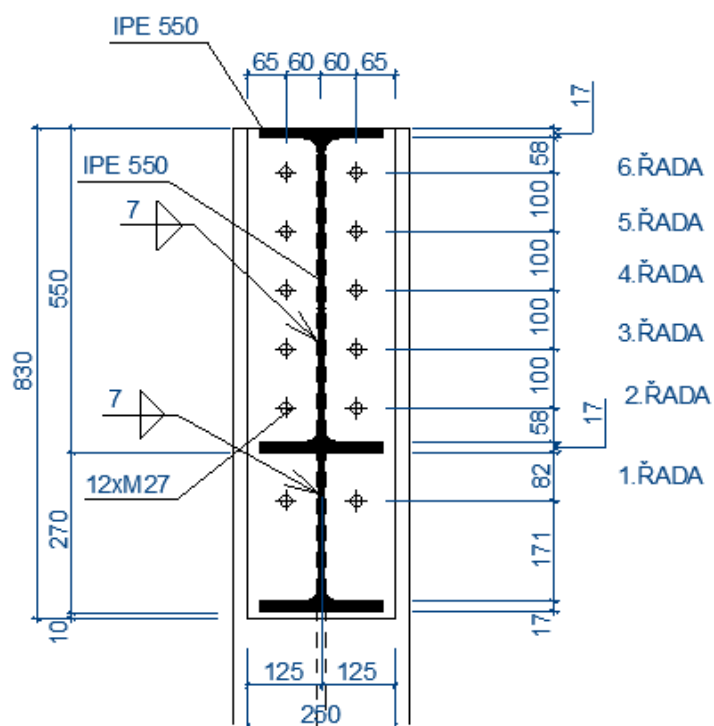
Moment únosnosti

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff} \cdot t^2 f_{yd}$$

6. a 2.řada šroubů

Řada šroubů sousedící s výtuhou slabší je pásnice HEB 550

Schéma



$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} = \frac{30}{30+65} = 0,32$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} = \frac{58}{30+65} = 0,61$$

$$\alpha = 6,8$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot m \\ \alpha \cdot m \\ \pi \cdot m + p \\ 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot 30 \\ 6,8 \cdot 30 \\ \pi \cdot 30 + 100 \\ 0,5 \cdot 100 + 6,8 \cdot 30 - (2 \cdot 30 + 0,625 \cdot 65) \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 188,5 \text{ mm} \\ 204 \text{ mm} \\ 194,3 \text{ mm} \\ 153,4 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = 153,4 \text{ mm}$$

Únosnost

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \cdot l_{eff} \cdot t^2 f_{yd}$$

$$M_{pl,Rd} = 0,25 \cdot 153,4 \cdot 29^2 \cdot 235$$

$$M_{pl,Rd} = 7,58 \text{ kNm}$$

Posouzení:

1.

$$F_{t1,Rd} = \frac{4 \cdot M_{pl,Rd}}{m}$$

$$F_{t1,Rd} = \frac{4 \cdot 7,58 \cdot 10^6}{30}$$

$$F_{t1,Rd} = 1010,67 \text{ kN}$$

2.

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$$

$$F_{t2,Rd} = \frac{2 \cdot 7,58 \cdot 10^6 + 37,5 \cdot 2 \cdot 330,5 \cdot 10^3}{30 + 37,5}$$

$$F_{t2,Rd} = 591,81 \text{ kN}$$

3.

$$F_{t3,Rd} = \sum F_{r,Rd}$$

$$F_{t3,Rd} = 2 \cdot 330,5$$

$$F_{t3,Rd} = 661,00 \text{ kN}$$

Řada šroubů vyhoví

Posouzení 5.-3. řady šroubů (vnitřní řada šroubů)

$$m = 30 \text{ mm}$$

$$e = 65 \text{ mm}$$

$$n = 37,5 \text{ mm}$$

Řada šroubů pod taženou pásnicí

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{19}{19 + 27} = 0,41$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{58}{19 + 27} = 1,26$$

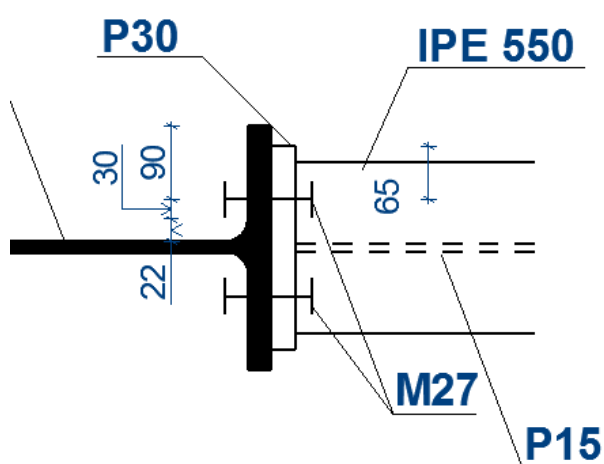
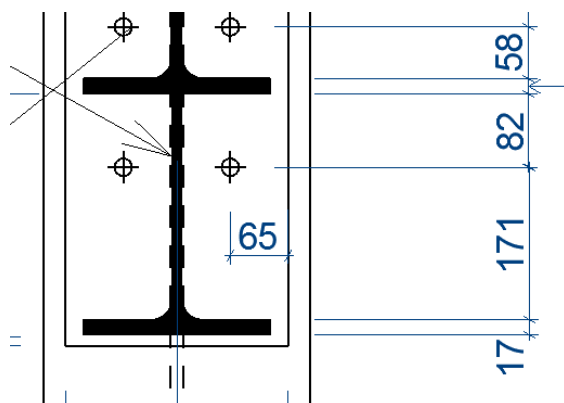
$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m \\ 4 \cdot m + 1,25e \\ 2 \cdot p \\ p \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot 30 \\ 4 \cdot 30 + 1,25 \cdot 65 \\ 2 \cdot 100 \\ 100 \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 188,5 \text{ mm} \\ 201,3 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = 100 \text{ mm}$$

Posouzení 1. řada šroubů (řada šroubů sousedící s výztuhou)



$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{30}{30 + 65} = 0,32$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{75}{30 + 65} = 0,79$$

$$\alpha = 6,8$$

Dojde k samostatnému porušení šroubu

$$l_{eff} = \min \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot m}{\alpha \cdot m} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot 30}{6,8 \cdot 30} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\frac{188,5 \text{ mm}}{204 \text{ mm}} \right)$$

$$l_{eff} = 188,5 \text{ mm}$$

Únosnost pásnice v tlaku

$$F_c = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{h - t_f}$$

$$F_c = \frac{5009 \cdot 10^3 \cdot 235}{820 - 17,2}$$

$$F_c = 1466,26 \text{ kN}$$

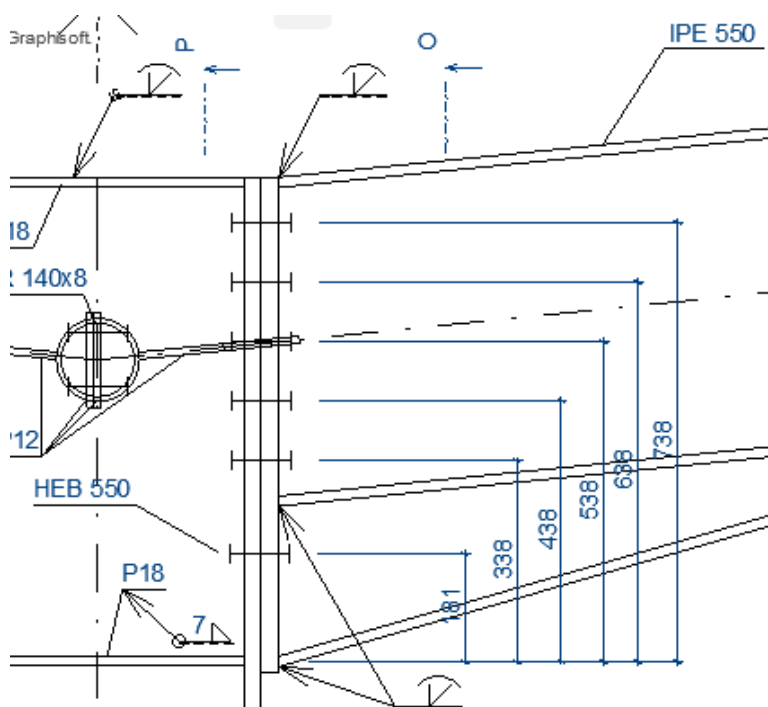
Ověření možnosti počítat únosnosti šroubů plasticky

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

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot 330,5$$

$$F_{t,i,Rd} \leq 627,95 \text{ kN}$$

Podmínky splněny pro všechny řady až na řadu 1. a 2., ale té bude přisouzena posouvající síla V_{Ed} .



Posouzení všech šroubů v tabulce (plasticky)

Řada	účinná délka (mm)	Moment únosnosti (kNm)	$F_{t,1,Rd}$	$F_{t,2,Rd}$	$F_{t,3,Rd}$	F_{Ed}	h (mm)	Posouzení
6	153,4	7,58	1010,57	591,79	661,00	591,79	738	VYHOVUJE
5	100	4,94	658,78	513,62	661,00	513,62	638	VYHOVUJE
4	100	4,94	658,78	513,62	661,00	360,85	538	VYHOVUJE
3	100	4,94	658,78	513,62	661,00	0,00	438	VYHOVUJE
2	153,4	7,58	1010,57	591,79	661,00	0,00	338	VYHOVUJE
1	188,5	9,31	1241,81	643,18	661,00	0,00	181	VYHOVUJE

Momentová únosnost spoje

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

$$M_{Rd} = 591,79 \cdot 10^3 \cdot 738 + 513,62 \cdot 10^3 \cdot 638 + 360,85 \cdot 10^3 \cdot 538 \geq M_{Ed}$$

$$M_{Rd} = 958,57 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 868,66 \text{ kNm}$$

Únosnost ve stříhu přisouzena 1. a 2. řadě šroubů

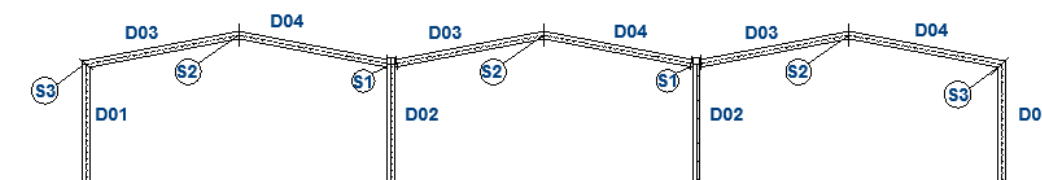
$$F_{v,Rd} = 176,3 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{224,52}{4} = 56,13 \text{ kN}$$

Otlačení:

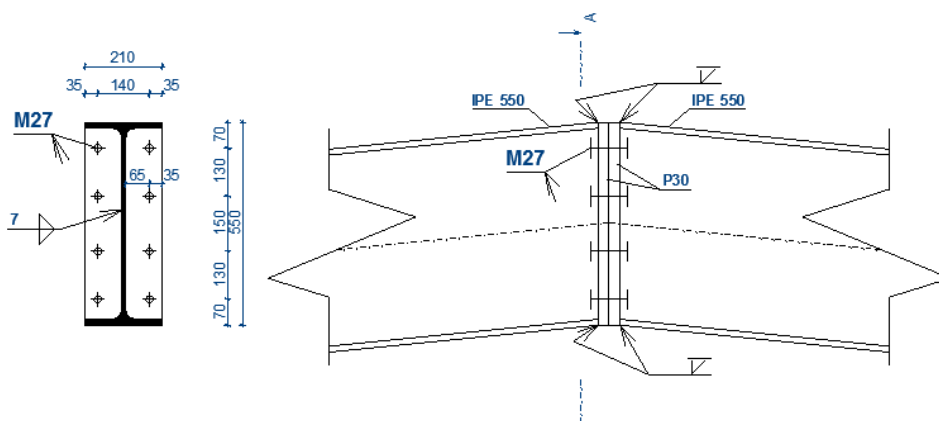
$$F_{b,Rd} = 77,8 \text{ kN} > \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{224,52}{4} = 56,13 \text{ kN}$$

šroub vyhoví

Montážní díly (návrh spojů)



Spoj S2 (čelní deska)



Tloušťka čelní desky $t = 30 \text{ mm}$, šrouby M27 10.9 (vnitřní síly viz. Příloha str. 22)

$$M_{Ed} = -410,37 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -16,99 \text{ kN}$$

Návrh svaru

Svar na stojině koutový navržena na plnou únosnost profilu

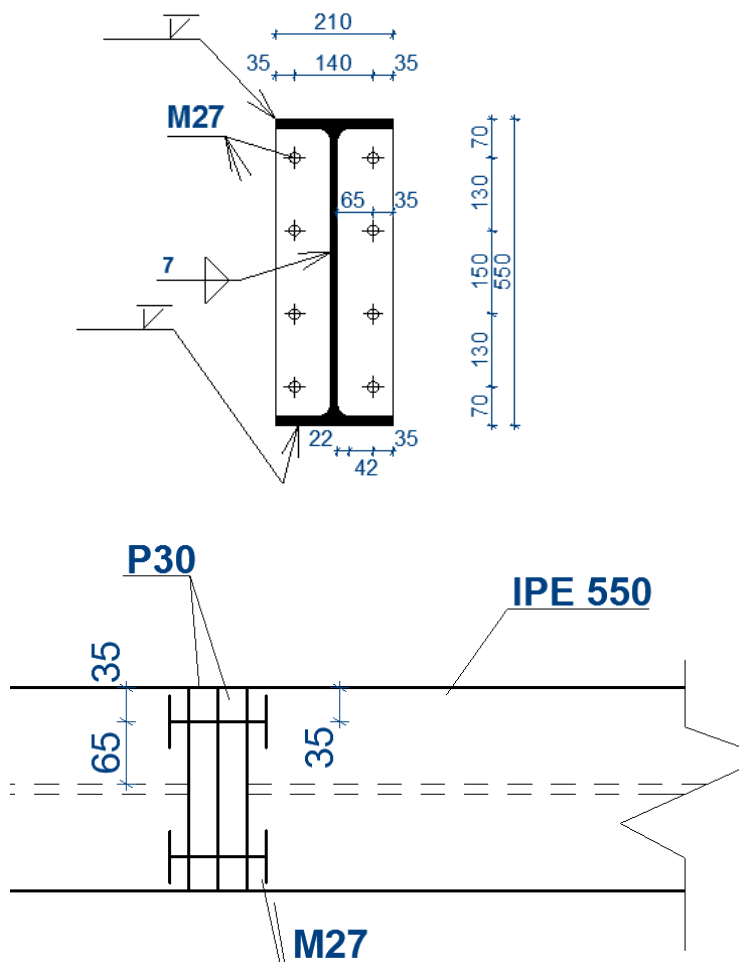
$$a_w \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}{f_u}$$

$$a_w \geq \frac{11,1}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \frac{1,0 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}}{360}$$

$$a_w \geq 6,4 \text{ mm}$$

Navrhnú výšku svaru na stojině $a_w = 7 \text{ mm}$

Na pásnicích tupí svar



$$m = 65 \text{ mm}$$

$$e = 35 \text{ mm}$$

$$n = \min(e; 1,25m)$$

$$n = \min(35; 1,25 \cdot 65)$$

$$n = \min(35; 81,3)$$

$$n = 35 \text{ mm}$$

Účinná délka

Řada šroubů 2. a 3. (Vnitřní řada šroubů)

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m \\ 4 \cdot m + 1,25e \\ 2 \cdot p \\ p \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot 65 \\ 4 \cdot 65 + 1,25 \cdot 35 \\ 2 \cdot 130 \\ 130 \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 408,4 \text{ mm} \\ 303,8 \text{ mm} \\ 260 \text{ mm} \\ 130 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = 130 \text{ mm}$$

Řada šroubů 1. a 4. (Koncová řada šroubů)

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot m \\ 4 \cdot m + 1,25e \\ \pi \cdot m + p \\ 2 \cdot m + 0,625 \cdot e + 0,5 \cdot p \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 2 \cdot \pi \cdot 65 \\ 4 \cdot 65 + 1,25 \cdot 35 \\ \pi \cdot 65 + 130 \\ 2 \cdot 65 + 0,625 \cdot 35 + 0,5 \cdot 130 \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = \min \begin{pmatrix} 408,4 \text{ mm} \\ 303,8 \text{ mm} \\ 334,2 \text{ mm} \\ 216,9 \text{ mm} \end{pmatrix}$$

$$l_{eff} = 216,9 \text{ mm}$$

Únosnost pásnice v tlaku

$$F_c = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{h - t_f}$$

$$F_c = \frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 235}{550 - 17,2}$$

$$F_c = 1229,25 \text{ kN}$$

Ověření možnosti počítat únosnosti šroubů plasticky

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

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot 330,5$$

$$F_{t,i,Rd} \leq 627,95 \text{ kN}$$

Podmínky splněny pro všechny řady 2. a 3., proto bude výpočet únosnosti šroubů proveden pružně.

Posouzení všech šroubů v tabulce

Řada	účinná délka (mm)	Moment únosnosti (kNm)	$F_{t,1,Rd}$	$F_{t,2,Rd}$	$F_{t,3,Rd}$	F_{Ed}	Posouzení
1	216,9	11,47	1529,15	707,03	661,00	72,21	VYHOVUJE
2	130	6,87	916,50	570,89	661,00	206,32	VYHOVUJE
3	130	6,87	916,50	570,89	661,00	361,06	VYHOVUJE
4	216,9	11,47	1529,15	707,03	661,00	495,17	VYHOVUJE

Únosnost ve stříhu přisouzena všem šroubům

$$F_{v,Rd} = 176,3 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{16,99}{8} = 2,12 \text{ kN}$$

Otlačení:

$$F_{b,Rd} = 77,8 \text{ kN} > \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{16,99}{8} = 2,12 \text{ kN}$$

Interakce tahu se stříhem pro nejzatíženější šroub

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{\frac{F_1}{2}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} < 1,0$$

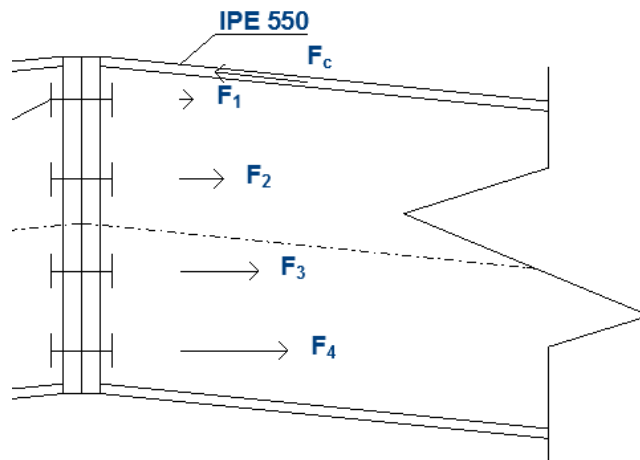
$$\frac{2,12}{183,6} + \frac{247,58}{1,4 \cdot 330,5} < 1,0$$

$$0,547 < 1,0$$

Šroub vyhoví

Ověření únosnosti tlačené pásnice

Schéma



$$\sum F_i \leq F_c$$

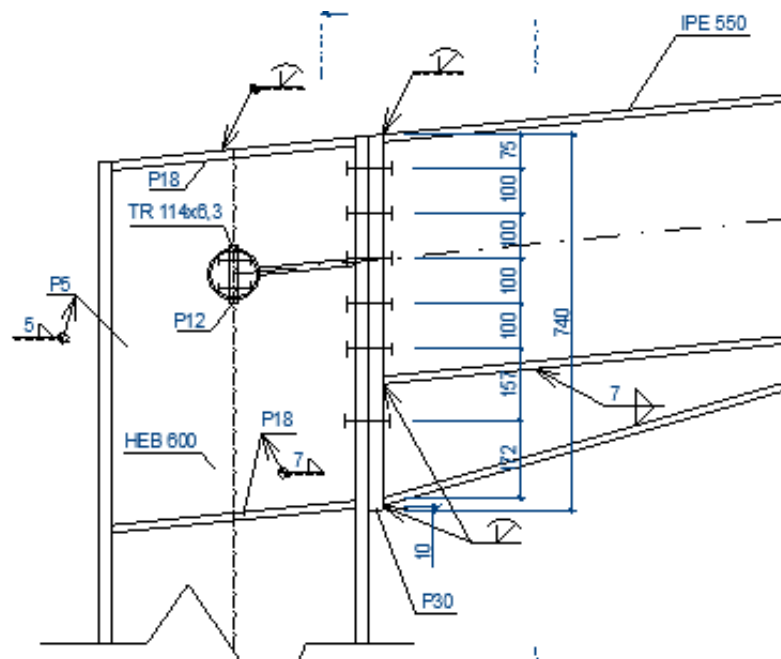
$$F_1 + F_2 + F_3 + F_4 \leq F_c = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{h - t_f}$$

$$72,21 + 206,32 + 361,06 + 495,17 \leq F_c = \frac{2787 \cdot 10^3 \cdot 235}{550 - 17,2}$$

$$\sum F_i = 1134,76 \text{ kN} \leq F_c = 1229,25 \text{ kN}$$

Pásnice vyhoví

Spoj S3 (čelní deska)



Tloušťka čelní desky $t = 30 \text{ mm}$, šrouby M27 10.9 (vnitřní síly viz. Příloha str.22)

$$M_{Ed} = -753,80 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = -210,79 \text{ kN}$$

Návrh svaru

Svar na stojině koutový navržen na plnou únosnost profilu

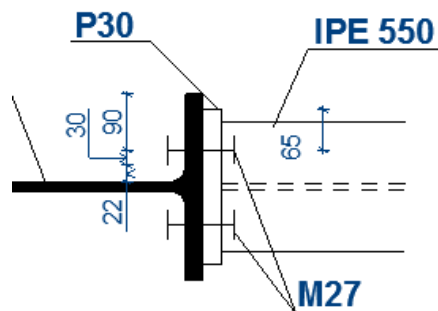
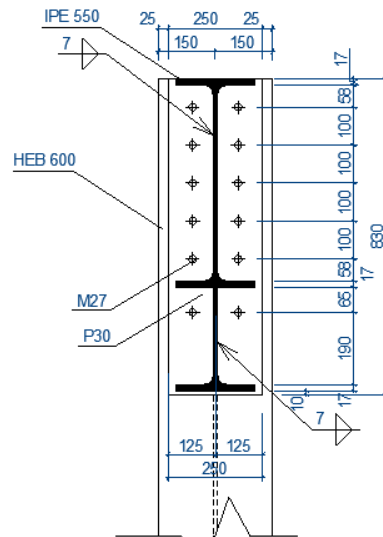
$$a_w \geq \frac{t_w}{2} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \cdot \frac{\beta_w \cdot \gamma_{M2} \cdot \sqrt{2}}{f_u}$$

$$a_w \geq \frac{11,1}{2} \cdot \frac{235}{1,0} \cdot \frac{1,0 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{2}}{360}$$

$$a_w \geq 6,4 \text{ mm}$$

Navrhu výšku svaru na stojině $a_w = 7 \text{ mm}$

Na pásnicích tupí svar



$$\alpha = 6,6$$

Řada šroubů 1., 2. a 6.

Řada šroubů 1. bude mít vyšší únosnost než řady 2. a 6., ale vzhledem k tomu že 1. řada je neméně zatížena budu konzervativně uvažovat s nižší únosností.

Řada šroubů sousedící s výztuhou

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot m \\ \alpha \cdot m \\ \pi \cdot m + p \\ 0,5 \cdot p + \alpha \cdot m - (2 \cdot m + 0,625 \cdot e) \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot 30 \\ 6,6 \cdot 30 \\ \pi \cdot 30 + 100 \\ 0,5 \cdot 100 + 6,6 \cdot 30 - (2 \cdot 30 + 0,625 \cdot 65) \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 188,5 \text{ mm} \\ 198 \text{ mm} \\ 194,24 \text{ mm} \\ 145,4 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = 145,4 \text{ mm}$$

Řada šroubů 3., 4. a 5. (Vnitřní řada šroubů)

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot m \\ 4 \cdot m + 1,25e \\ 2 \cdot p \\ p \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 2 \cdot \pi \cdot 30 \\ 4 \cdot 30 + 1,25 \cdot 65 \\ 2 \cdot 100 \\ 100 \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = \min \left(\begin{array}{c} 188,5 \text{ mm} \\ 201,3 \text{ mm} \\ 200 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right)$$

$$l_{eff} = 100 \text{ mm}$$

únosnost pásnice v tlaku

$$F_c = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{h - t_f}$$

$$F_c = \frac{5009 \cdot 10^3 \cdot 235}{820 - 17,2}$$

$$F_c = 1466,26 \text{ kN}$$

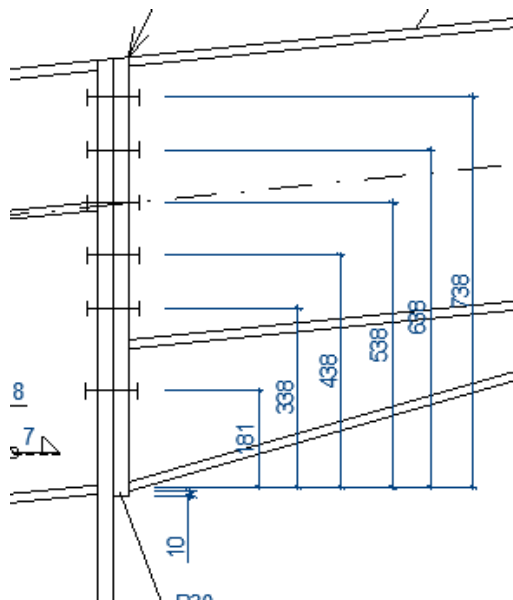
Ověření možnosti počítat únosnosti šroubů plasticky

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

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9 \cdot 330,5$$

$$F_{t,i,Rd} \leq 627,95 \text{ kN}$$

Podmínky splněny pro všechny řady.



Posouzení všech šroubů v tabulce

Řada	účinná délka (mm)	Moment únosnosti (kNm)	$F_{t,1,Rd}$	$F_{t,2,Rd}$	$F_{t,3,Rd}$	F_{Ed}	rameno (mm)	Posouzení
6	145	7,67	1022,25	594,39	661,00	594,39	738	VYHOVUJE
5	100	5,29	705,00	523,89	661,00	523,89	638	VYHOVUJE
4	100	5,29	705,00	523,89	661,00	347,98	538	VYHOVUJE
3	100	5,29	705,00	523,89	661,00	0,00	438	VYHOVUJE
2	145	7,67	1022,25	594,39	661,00	0,00	338	VYHOVUJE
1	145	7,67	1022,25	594,39	661,00	0,00	181	VYHOVUJE

Momentová únosnost spoje

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

$$M_{Rd} = 594,39 \cdot 10^3 \cdot 738 + 523,89 \cdot 10^3 \cdot 638 + 347,98 \cdot 10^3 \cdot 538 \geq M_{Ed}$$

$$M_{Rd} = 960,11 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 753,80 \text{ kNm}$$

Únosnost ve stříhu přisouzena 1. a 2. řadě šroubů

$$F_{v,Rd} = 176,3 \text{ kN} > F_{v,Ed} = \frac{210,80}{4} = 52,70 \text{ kN}$$

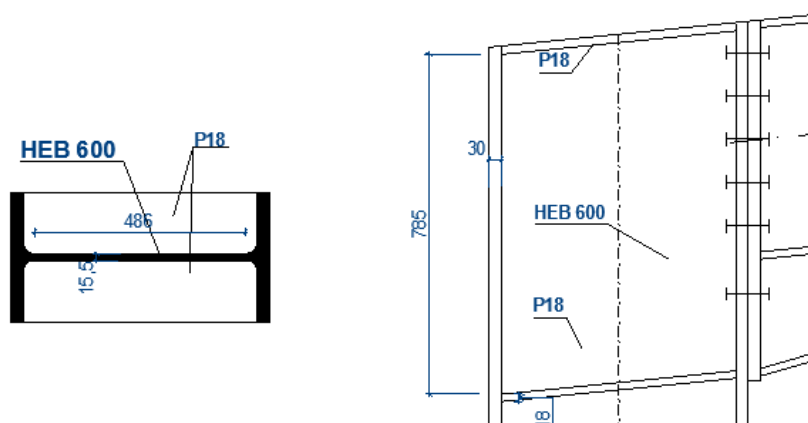
Otlačení:

$$F_{b,Rd} = 77,8 \text{ kN} > \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{210,80}{4} = 52,70 \text{ kN}$$

šroub vyhoví

Ověření stěny sloupu ve smyku

Schéma



Zatřetí stěny sloupu

$$\frac{d}{t_w} = \frac{486}{15,5} \leq 69 \cdot \varepsilon = 69 \cdot 1,0$$

31,35 ≤ 69 stěna sloupu je třídy průřezu 1

Příspěvek příčných výtuh a pásnic

$$W_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot M_{pl,fc,Rd}}{d_s}; \frac{2 \cdot M_{pl,fc,Rd} + 2 \cdot M_{pl,st,Rd}}{d_s}\right)$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b \cdot t_f^2 \cdot f_{yd}$$

$$M_{pl,fc,Rd} = \frac{1}{4} \cdot 300 \cdot 30^2 \cdot 235$$

$$M_{pl,fc,Rd} = 15,86 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} \cdot b_{st} \cdot t_{st}^2 \cdot f_{yd}$$

$$M_{pl,st,Rd} = \frac{1}{4} \cdot 300 \cdot 18^2 \cdot 235$$

$$M_{pl,st,Rd} = 5,71 \text{ kNm}$$

$$W_{wp,add,Rd} = \min\left(\frac{4 \cdot 15,86 \cdot 10^6}{785}; \frac{2 \cdot 15,86 \cdot 10^6 + 2 \cdot 5,71 \cdot 10^6}{785}\right)$$

$$W_{wp,add,Rd} = \min(80,82 \text{ kN}; 54,96 \text{ kN})$$

$$W_{wp,add,Rd} = 54,96 \text{ kN}$$

Únosnost stěny sloupu ve smyku je dána

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} > \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot 11080}{\sqrt{3} \cdot 1,0} + 54,96 \cdot 10^3 > \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 1407,93 \text{ kN} \not> \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

Podmínka není splněna přivaříme tedy na stojinu sloupu jednostranně plech tl.5 mm

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_y \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} + V_{wp,add,Rd} > \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 \cdot 235 \cdot (11080 + 5 \cdot 486)}{\sqrt{3} \cdot 1,0} + 54,96 \cdot 10^3 > \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

$$V_{wp,Rd} = 1704,66 \text{ kN} > \sum F_{t,i,Rd} = 1466,26 \text{ kN}$$

Rámový roh vyhoví

Návrh konzolky

Vnitřní síly (viz Příloha str. 22)

$$V_{z,Ed} = 104,26 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -292,2 \text{ kNm}$$

Síla od pojezdu jeřábu

$$V_{y,Ed} = 16,24 \text{ kN}$$

$$M_{z,Ed} = 16,24 \cdot 10^3 \cdot 760 = 12,34 \text{ kNm}$$

Navrhuji profil HEB 400

Průřez Sloupu HEB 400

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

$$A = 19780 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 57580 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 10820 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
 W_{y,pl} &= 2884 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \\
 t_w &= 13,5 \text{ mm} \\
 t_f &= 24 \text{ mm} \\
 d &= 298 \text{ mm} \\
 h &= 400 \text{ mm} \\
 b &= 300 \text{ mm} \\
 - r &= 27 \text{ mm} \\
 - i_y &= 171 \text{ mm} \\
 - i_z &= 74,0 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Zatřetíení průřezu

$$x = \frac{N_{Ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{0 \cdot 10^3}{15 \cdot 235} = 0,0 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{0,5 \cdot d + x}{d} = \frac{0,5 \cdot 298}{298} = 0,5$$

Zatřetíení stojiny

$$\frac{c}{t_w} = \frac{d}{t_w} = \frac{298}{13,5} = 22,07$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yd}}} = \sqrt{\frac{235}{235}} = 1,0$$

$$\frac{36 \cdot \varepsilon}{\alpha} = \frac{36 \cdot 1,0}{0,5} = 72 > \frac{c}{t_w} = 22,07$$

Stojina je třídy průřezu 1

Zatřetíení tlačené pásnice

$$c = \frac{b - t_w - r}{2} = \frac{300 - 13,5 - 27}{2} = 129,8 \text{ mm}$$

Posouzení

$$\frac{c}{t_f} = \frac{129,8}{24} = 5,4 < 9 \cdot \varepsilon = 9 \cdot 1,0$$

5,4 < 9 Pásnice je třídy průřezu 1 a celý průřez je třídy 1

Posouzení

$$\frac{M_{1,y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{el,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

$$\frac{292,2 \cdot 10^6}{1,0 \cdot 2884 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} + \frac{12,34 \cdot 10^6}{721,3 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1,0}} \leq 1,0$$

$$0,504 \leq 1,0$$

Podmínka splněnaPosouzení na smyk

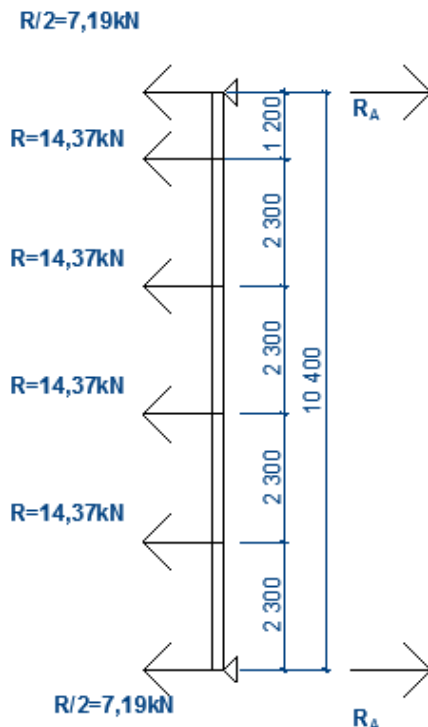
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_{yd}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} > V_{Ed}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{6998 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} > V_{Ed} = 104,26 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} = 949,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 104,26 \text{ kN}$$

Malý smyk neposuzují interakci ohybu se smykem

Návrh štítového sloupku



$$R_a = 32,89\text{kN}$$

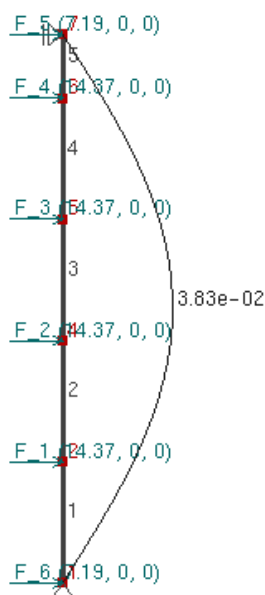
$$M_{Ed} = 85,17 \text{ kNm}$$

Navrhnu ocelový „I“ profil IPE 330

-ocel S235 $f_{yd} = 235 \text{ MPa}$

- $A = 6261 \text{ mm}^2$
- $A_{vz} = 3081 \text{ mm}^2$
- $I_y = 11700 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
- $W_{y,pl} = 804,3 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Průhyb sloupu vypočítaný pomocí programu EduBeam



Kritický moment z programu LTBeamN $M_{cr} = 101,71 \text{ kNm}$ (viz. Příloha str.)

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y \cdot f_{yd}}{M_{cr}}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{804,3 \cdot 10^3 \cdot 235}{101,71 \cdot 10^6}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = 1,36$$

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

$$\Phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (1,36 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,36^2]$$

$$\Phi_{LT} = 1,36$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \cdot \lambda_{LT}^2}}$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{1,36 + \sqrt{1,36^2 - 0,75 \cdot 1,36^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,48$$

Posouzení sloup v na moment v důsledku klopení

$$M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{y,pl} \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > M_{Ed}$$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,49 \cdot 804,3 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} > 85,17 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} = 92,51 \text{ kNm} > 85,17 \text{ kNm}$$

sloup na klopení za ohybu vyhoví

Ztužidla

Střešní ztužidlo

Schéma půdorys

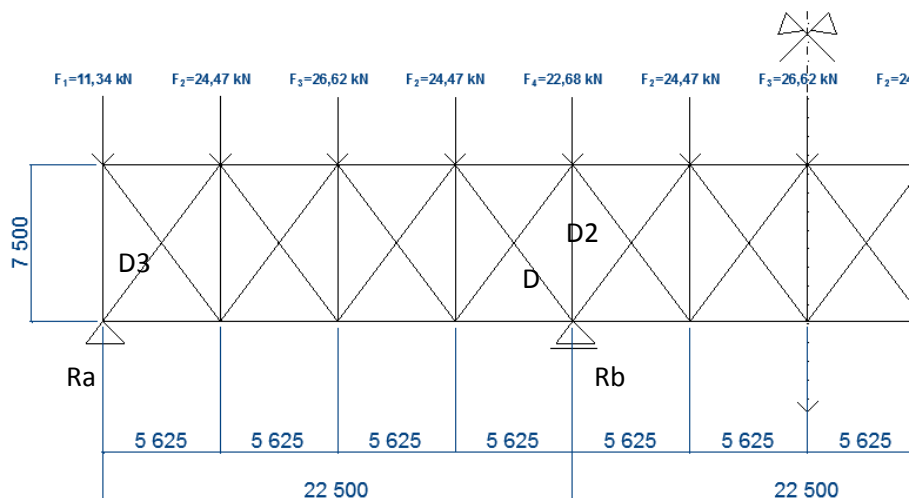
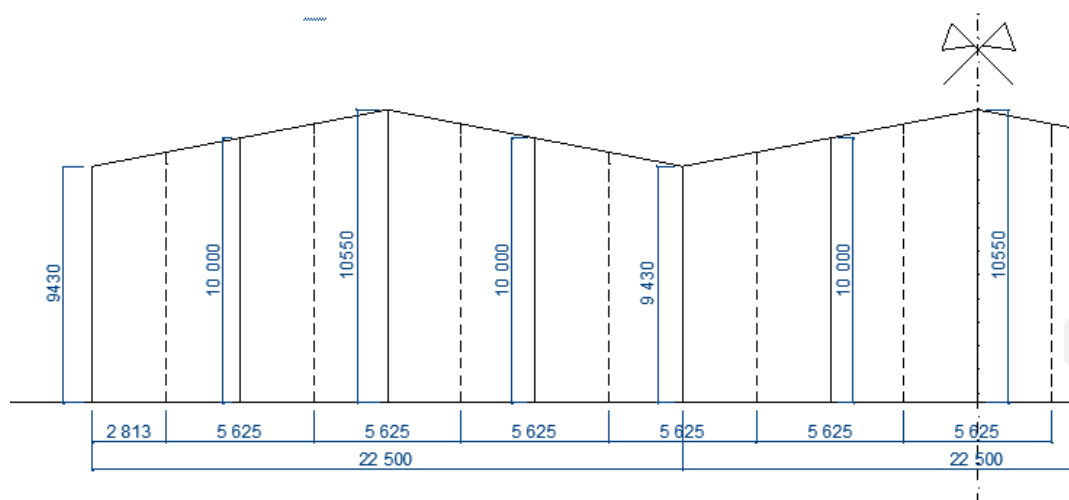


Schéma řez



Výpočet sil na styčníky

Zatížení větrem charakteristické $w_{D,k} = 0,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

$$F_1 = w_{D,k} \cdot \frac{A}{2} = 0,87 \cdot \frac{26,07}{2} = 11,34 \text{ kN}$$

$$F_2 = w_{D,k} \cdot \frac{10}{2} \cdot 5,625 = 0,87 \cdot \frac{10}{2} \cdot 5,625 = 48,94 \text{ kN}$$

$$F_3 = w_{D,k} \cdot \frac{A}{2} = 0,87 \cdot \frac{61,20}{2} = 53,24 \text{ kN}$$

$$F_4 = w_{D,k} \cdot \frac{A}{2} = 0,87 \cdot \frac{52,14}{2} = 45,36 \text{ kN}$$

Vnitřní síly (viz. Příloha str. 38)

Největší síla v diagonále

$$D = -62,42 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 140x5,0

$$A = 2121 \text{ mm}^2$$

$$i_y = 47,8 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{4688}{47,8}$$

$$\lambda_y = 98,08$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{9376}{47,8}$$

$$\lambda_z = 196,15$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{196,15}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,09 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,182$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,182 \cdot 2121 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 62,42 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 90,72 \text{ kN} > N_{Ed} = 62,42 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh ostatních méně zatížených diagonál

$$D_3 = -42,84 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 127x5

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

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

Vzpěrné délky

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{4688}{43,2}$$

$$\lambda_y = 108,52$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{9376}{43,2}$$

$$\lambda_z = 217,04$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{217,04}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,31 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,153$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,153 \cdot 1916 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 42,84 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 68,89 \text{ kN} > N_{Ed} = 42,84 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh ztužidlové trubky

$$D_2 = -59,58 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 114x5,0

$$A = 1712 \text{ mm}^2$$

$$i = 38,6 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,y}}{i}$$

$$\lambda_z = \frac{7500}{38,6}$$

$$\lambda_z = 194,30$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{194,30}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,07 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi = 0,185$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,185 \cdot 1712 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 59,58 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 74,43 \text{ kN} > N_{Ed} = 59,58 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh krajní ztužidlové trubky

$$\text{Reakce } R_A = 65,25 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 114x5 (stejný rozpon stejný trubka, provedu ověření)

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,185 \cdot 1712 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 65,25 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 74,43 \text{ kN} > N_{Ed} = 65,24 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh vnitřní ztužidlové trubky

$$\text{Reakce } R_B = 155,90 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 140x8

$$A = 3318 \text{ mm}^2$$

$$i = 46,8 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky

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

$$\lambda_y = \frac{7500}{46,8}$$

$$\lambda_y = 160,25$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{160,25}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,71 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,255$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,255 \cdot 3318 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 155,90 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 198,83 \text{ kN} > N_{Ed} = 155,90 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh brzdného ztužidla

Charakteristická síla od rozjezdu a brždění jeřábu

$$F_{L,k} = \varphi_5 \cdot \sum H_{L,2}$$

$$F_{L,k} = 1,15 \cdot (8,12 + 8,12)$$

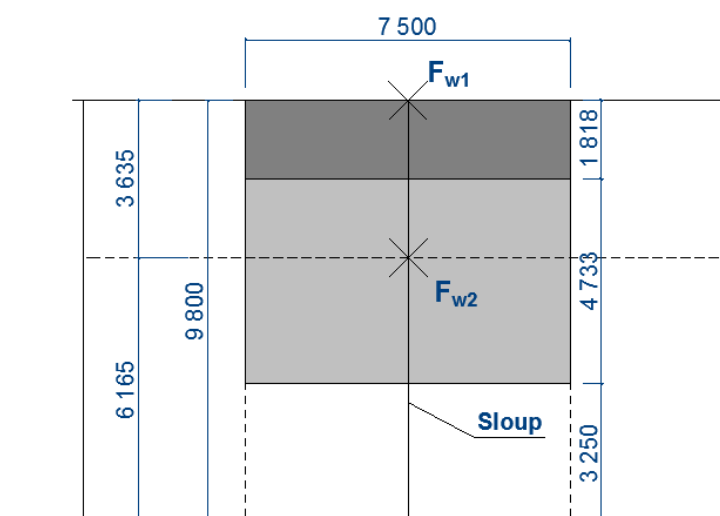
$$F_{L,k} = 18,68 \text{ kN}$$

Síla nárazu na nárazník

Účinek síly na nárazník nebude uvažován, protože na dráze je nainstalován koncový vypínač.

Síla od větru

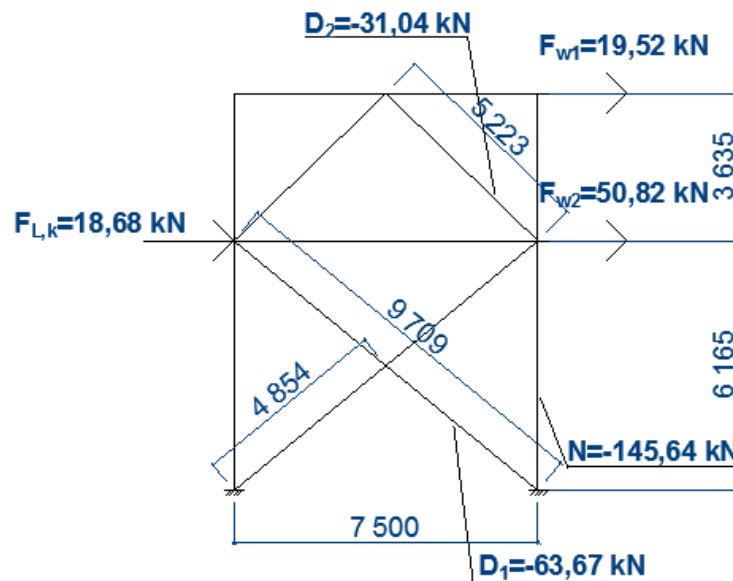
Schéma



$$F_{w1} = (w_{D,k} + w_{E,k}) \cdot 7,5 \cdot 1,82 = (0,87 + 0,56) \cdot 7,5 \cdot 1,82 = 19,52 \text{ kN}$$

$$F_{w2} = (w_{D,k} + w_{E,k}) \cdot 7,5 \cdot 4,74 = (0,87 + 0,56) \cdot 7,5 \cdot 4,74 = 50,83 \text{ kN}$$

Schéma



Výsledné vnitřní síly (viz. Příloha str. 38)

Návrh ztužidla D1

$$D_1 = -63,67 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 152,6,3

$$A = 2576 \text{ mm}^2$$

$$i = 51,8 \text{ mm}$$

Vzpěrné délky

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{9709}{51,8}$$

$$\lambda_z = 187,43$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{187,43}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 2,00 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,196$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,196 \cdot 2576 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 63,67 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 118,65 \text{ kN} > N_{Ed} = 63,67 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Návrh ztužidla D2

Normálová síla

$$D_2 = -63,67 \text{ kN}$$

Navrhnu TR 102x5

$$A = 1524 \text{ mm}^2$$

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

Vzpěrné délky

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{5223}{34,3}$$

$$\lambda_z = 152,27$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{152,27}{93,9}$$

$$\bar{\lambda}_z = 1,62 \text{ křivka vzpěrnosti „c“} \rightarrow \chi_z = 0,279$$

Prut vybočí ve směru osy z.

Posouzení

$$N_{Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}}{\gamma_{M1}} > N_{Ed}$$

$$N_{Rd} = \frac{0,279 \cdot 1524 \cdot 235}{1,0} > N_{Ed} = 63,67 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 99,92 \text{ kN} > N_{Ed} = 63,67 \text{ kN} \text{ vyhovuje}$$

Ověření únosnosti příčle v kombinaci M+N kvůli účinku síly od větru

Maximální síla v tlaku od větru

$$N_{c,ztuž} = -36,74 \text{ kN}$$

Maximální síla v tahu od větru

$$N_{t,ztuž} = 43,78 \text{ kN}$$

Příspěvek k využití profilu od tlakové síly

$$\frac{N_{c,ztuž}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} = \frac{36,76 \cdot 10^3}{0,404 \cdot 6345 \cdot 235} = 0,075$$

Příspěvek k využití profilu od tahové síly

$$\frac{N_{t,ztuž}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} = \frac{43,78 \cdot 10^3}{0,404 \cdot 6345 \cdot 235} = 0,061$$

Účinek obou sil představuje minimální využití průřezu. Maximální využití průřezu bylo 0,95. Proto nedojde k přetížení příčle a není potřeba posuzovat kombinaci s tlakem.

Ověření únosnosti sloupu v kombinaci M+N kvůli účinku síly od větru

Maximální síla v tlaku od větru

$$N_{c,ztuž} = -90,79 \text{ kN}$$

Maximální síla v tahu od větru

$$N_{t,ztuž} = 81,17 \text{ kN}$$

Příspěvek k využití profilu od tlakové síly

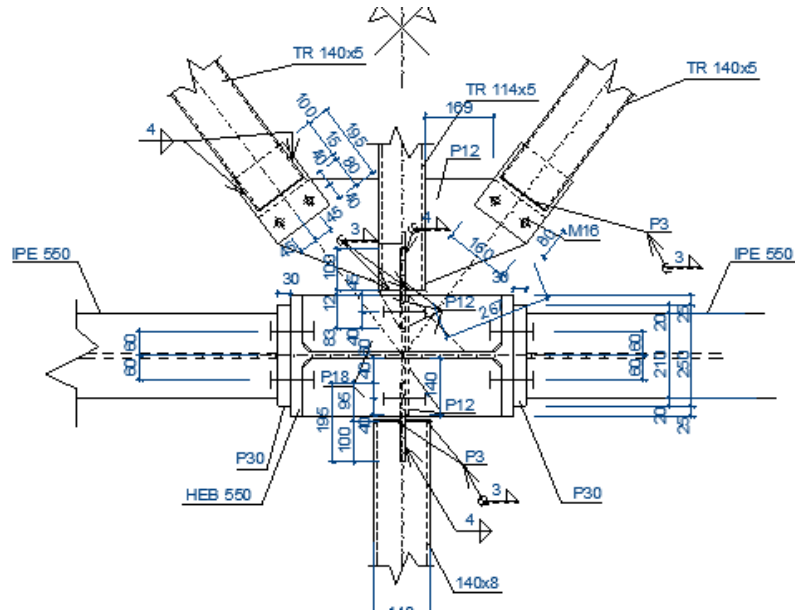
$$\frac{N_{c,ztuž}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = \frac{90,79 \cdot 10^3}{0,665 \cdot 27000 \cdot 235} = 0,022$$

Příspěvek k využití profilu od tahové síly

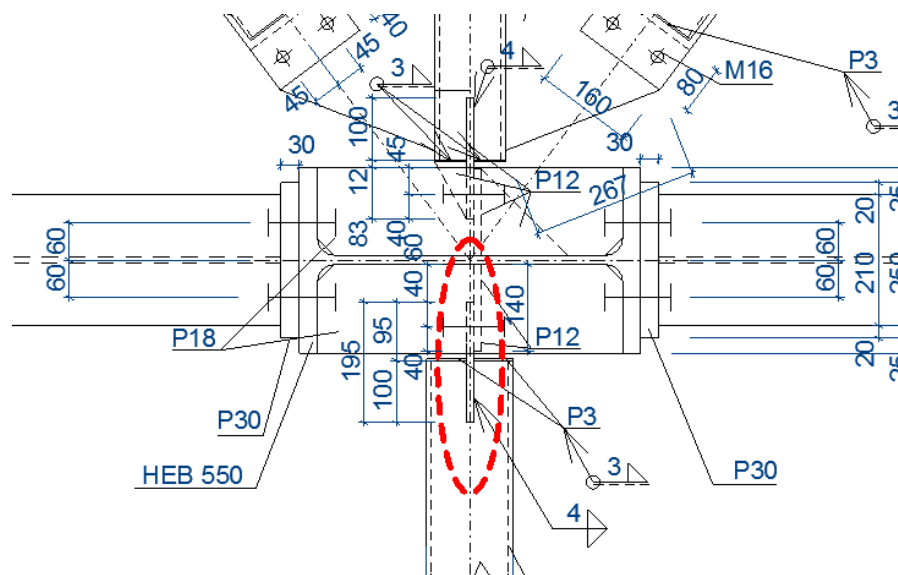
$$\frac{N_{t,ztuž}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = \frac{81,17 \cdot 10^3}{0,665 \cdot 27000 \cdot 235} = 0,019$$

Účinek obou sil představuje minimální využití průřezu. Maximální využití průřezu bylo 0,662. Proto nedojde k přetížení příčle a není potřeba posuzovat kombinaci s tlakem.

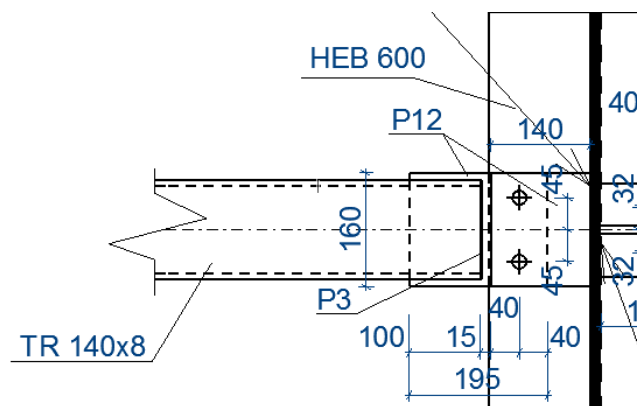
Schéma



Návrh přípoje ztuzidlové trubky



Přípoj na žiletku



Návrh šroubů

Vnitřní síly od zatížení větrem

$$N_{Ed} = 155,88 \text{ kN}$$

Návrh šroubů M20 8.8

Únosnost šroubu na stříh: $F_{v,Rd} = 94,1 \text{ kN}$

(závit po celé délce šroubu, jednostřížný spoj)

Únosnost šroubu na otláčení: $F_{b,Rd} = 73,9 \text{ kN}$

(ocel S235, tloušťka plechu $t=12 \text{ mm}$, běžné rozteče)

Potřebný počet šroubů:

Stříh

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{155,88 \cdot 10^3}{2 \cdot 94,1 \cdot 10^3} = 0,829$$

Otláčení

-plechy $t= 10 \text{ mm}$

$$\frac{V_{Ed}}{\frac{t}{10} \cdot F_{b,Rd}} = \frac{155,88 \cdot 10^3}{\frac{12}{10} \cdot 2 \cdot 73,9 \cdot 10^3} = 0,879$$

Navrhnu 2x šrouby M20 8.8

Návrh svaru (spoj plechu na sloup)

Koutový 2x $a=4 \text{ mm}$, délka $L_{we} = 160 \text{ mm}$

Ocel S235

$$f_u = 360 \text{ MPa}$$

$$\beta = 1,0$$

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

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

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

Normálové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{N_{Ed}}{L_w \cdot a_w}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{155,88 \cdot 10^3}{2 \cdot 160 \cdot 4}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 86,11 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{86,11^2 + 3 \cdot (86,11^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$172,22 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} < \frac{0,9 \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

$$\sigma_{\perp} = 86,11 \text{ MPa} < \frac{0,9 \cdot 360}{1,25}$$

$$\sigma_{\perp} = 86,11 \text{ MPa} < 259,2 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Návrh svaru (přípoj trubky na plech)

Koutový 4x a=3 mm, délka $L_{we} = 100 \text{ mm}$

Ocel S235

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{a_w \cdot L_w}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{155,88 \cdot 10^3}{4 \cdot 100 \cdot 3}$$

$$\tau_{\parallel} = 129,9 \text{ MPa}$$

Normálové napětí rovnoběžné s osou svaru

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

Posouzení

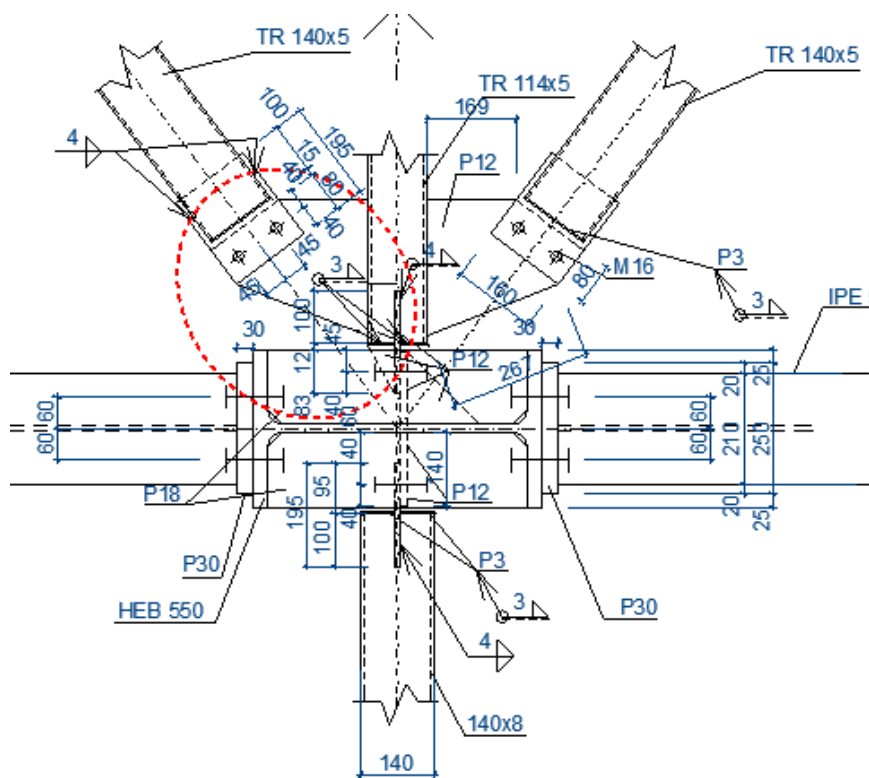
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} < \frac{f_u}{b_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{3 \cdot (129,9^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$225,00 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Návrh přípoje diagonály



Návrh šroubů

Vnitřní síly od zatížení větrem

$$N_{Ed} = 62,42 \text{ kN}$$

Návrh šroubů M16 8.8Únosnost šroubu na stříh: $F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN}$

(závit po celé délce šroubu, jednostřížný spoj)

Únosnost šroubu na otláčení: $F_{b,Rd} = 65,4 \text{ kN}$ (ocel S235, tloušťka plechu $t=12 \text{ mm}$, běžné rozteče)

Potřebný počet šroubů:

Střih

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{62,42 \cdot 10^3}{2 \cdot 60,3 \cdot 10^3} = 0,518$$

Otlačení

-plechy $t = 10 \text{ mm}$

$$\frac{V_{Ed}}{\frac{t}{10} \cdot F_{b,Rd}} = \frac{62,42 \cdot 10^3}{\frac{12}{10} \cdot 2 \cdot 78,1 \cdot 10^3} = 0,400$$

Navrhnu 2x šrouby M16 8.8

Návrh svaru (přípoj trubky na plech)

Koutový 4x $a = 3 \text{ mm}$, délka $L_{we} = 100 \text{ mm}$

Ocel S235

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed}}{a_w \cdot L_w}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{62,42 \cdot 10^3}{4 \cdot 100 \cdot 3}$$

$$\tau_{\parallel} = 52,01 \text{ MPa}$$

Normálové napětí rovnoběžné s osou svaru

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

Posouzení

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

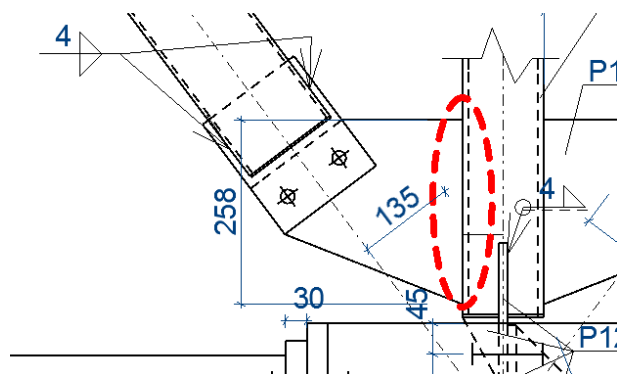
$$\sqrt{3 \cdot (52,02^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$90,10 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Přípoj plechu na trubku

Schéma



$$N_{Ed} = 62,42 \text{ kN}$$

Rozložení síly z Diagonály do směrů

$$\text{Úhel } \alpha = \arctg\left(\frac{7,5}{5,625}\right) = 53,13^\circ$$

$$D_x = D \cdot \cos\alpha = 62,42 \cdot \cos 53,13^\circ = 37,45 \text{ kN}$$

$$D_z = D \cdot \sin\alpha = 62,42 \cdot \sin 53,13^\circ = 49,94 \text{ kN}$$

Návrh svaru (přípoj plechu trubku)

Koutový 2x a=4 mm, délka svaru $L_{we} = 258 \text{ mm}$

Ocel S235

Smykové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\tau_{\parallel} = \frac{D_x}{a_w \cdot L_{we} \cdot 2}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{37,45 \cdot 10^3}{4 \cdot 258 \cdot 2}$$

$$\tau_{\parallel} = 18,14 \text{ MPa}$$

Normálové napětí rovnoběžné s osou svaru

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{D_z}{a_w \cdot L_{we} \cdot 2} + \frac{D_z \cdot e}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot L_w^2 \cdot a_w} \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{49,94 \cdot 10^3}{4 \cdot 258 \cdot 2} + \frac{49,94 \cdot 10^3 \cdot 135}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 258^2 \cdot 4} \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 70,82 \text{ MPa}$$

Posouzení

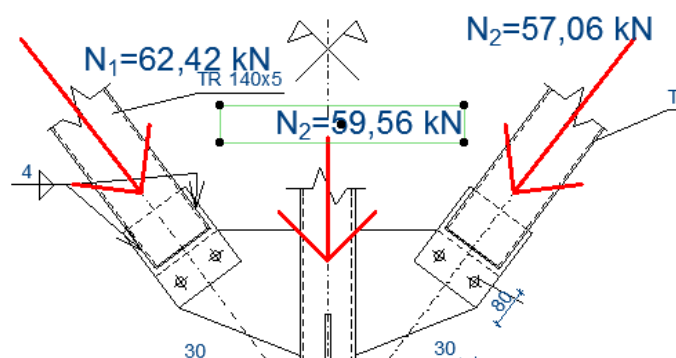
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} < \frac{f_u}{b_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{70,82^2 + 3 \cdot (70,82^2 + 18,14^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$145,09 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Výpoet vodorovné síly ve styčniku



$$D_{x,1} = D \cdot \cos \alpha = 62,42 \cdot \cos 53,13^\circ = 37,45 \text{ kN}$$

$$D_{x,2} = D \cdot \cos \alpha = 57,06 \cdot \cos 53,13^\circ = 34,23 \text{ kN}$$

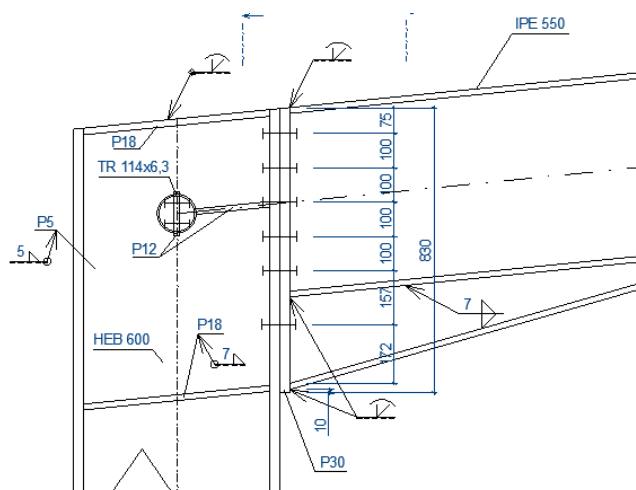
$$D_x = D_{x,1} - D_{x,2} = 37,45 - 34,23 = 3,21 \text{ kN}$$

Jelikož je vodorovná díla malá lze předpokládat, že ji přeneše výtzuha styčnickového plechu.

Detail 3

D3 Připoj příčle na krajní sloup

Schéma



(ocel S235, tloušťka plechu $t=12$ mm, běžné rozteče)

Potřebný počet šroubů:

Střih

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{63,67 \cdot 10^3}{2 \cdot 60,3 \cdot 10^3} = 0,524$$

Otlačení

-plechy $t= 10$ mm

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{t}{10} \cdot F_{b,Rd}} = \frac{63,67 \cdot 10^3}{\frac{12}{10} \cdot 2 \cdot 78,1 \cdot 10^3} = 0,340$$

Navrhnu 2x šrouby M16 8.8

Návrh šroubů (TR 102x5)

Vnitřní síly od zatížení větrem

$$N_{Ed} = 31,80 \text{ kN}$$

Potřebný počet šroubů:

Střih

$$\frac{N_{Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{31,80 \cdot 10^3}{2 \cdot 60,3 \cdot 10^3} = 0,264$$

Otlačení

-plechy $t= 10$ mm

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{t}{10} \cdot F_{b,Rd}} = \frac{31,80 \cdot 10^3}{\frac{12}{10} \cdot 2 \cdot 78,1 \cdot 10^3} = 0,170$$

Navrhnu 2x šrouby M16 8.8

Posouzení sloupu na přídatnou sílu od brzdících ztužidel

Maximální síla tlaková síla

$$N_{Ed} = 90,79 \text{ kN}$$

Využití průřezu přídatnou silou

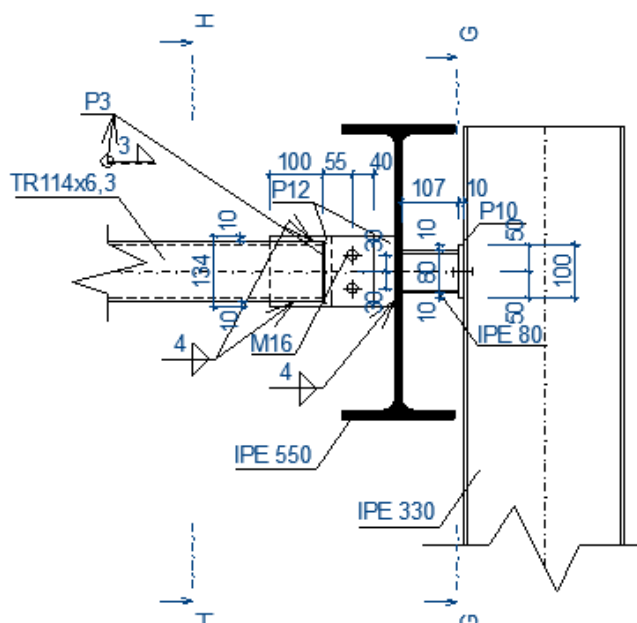
$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} = \frac{90,72 \cdot 10^3}{0,634 \cdot 27000 \cdot 235} = 0,022$$

Přídatná síla nebude rozhodovat o únosnosti sloupu.

Detail D5

Štítový sloupek

Přípoj na příčli

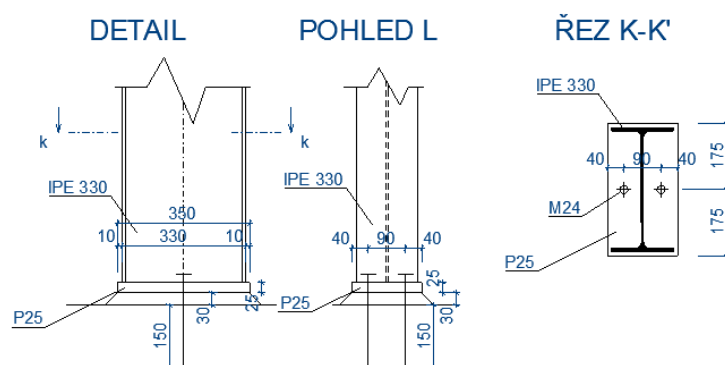


Kloubová patka sloupku

Patka je kloubová, a je namáhána pouze posouvající silou $V_{Ed} = 32,89 \text{ kN}$

Posudek kotvení (viz. Příloha str. 39-41)

Schéma



Detail D6 Patka sloupu

Nejhorší kombinace č.1 stálé +Sníh (největší tlaková síla) Příloha str. 22

$$N_{Ed,1} = -382,20 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,1} = 151,89 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,1} = -658,65 \text{ kNm}$$

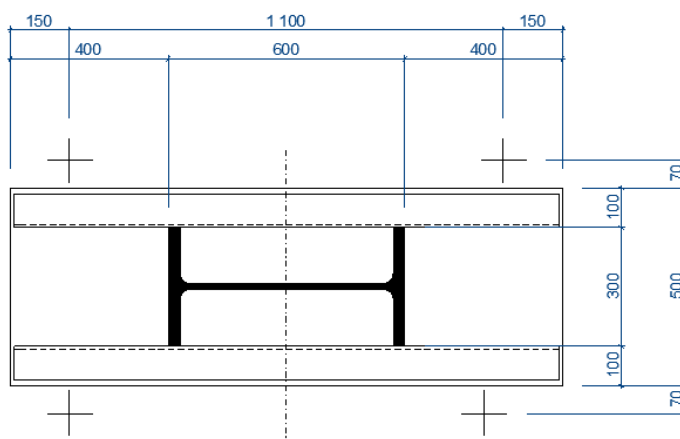
Kombinace č.5 minimální stálé + severní vítr (Příloha str. 26)

$$N_{Ed,5} = 1,60 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,5} = -17,47 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,5} = 237,90 \text{ kNm}$$

Schéma ocelové patky



Půdorysné rozměry patky 2000x1500 mm

Beton stropu C20/25

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

Výška patky $h = 1000 \text{ mm}$

Započitatelné rozměry patky

$$a_1 = \min(3 \cdot a_0; a_0 + h; a_c)$$

$$a_1 = \min(3 \cdot 1400; 1400 + 1000; 2000)$$

$$a_1 = \min(4200 \text{ mm}; 2400 \text{ mm}; 2000 \text{ mm})$$

$$a_1 = 2000 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3 \cdot b_0; b_0 + h; b_c)$$

$$b_1 = \min(3 \cdot 550; 550 + 1000; 1500)$$

$$b_1 = \min(1650 \text{ mm}; 1550 \text{ mm}; 1500 \text{ mm})$$

$$b_1 = 1500 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_0 \cdot b_0}}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{2200 \cdot 1500}{1600 \cdot 550}}$$

$$k_j = 2,06$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c}$$

$$f_{jd} = \frac{2 \cdot 2,06 \cdot 20}{3 \cdot 1,5}$$

$$f_{jd} = 18,3 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}$$

$$c = 50 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 18,3}}$$

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

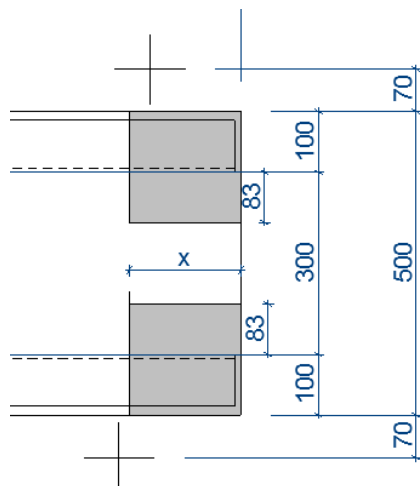
Účinná šířka patního plechu

$$b_{eff} = 2 \cdot 100 + 2 \cdot c$$

$$b_{eff} = 2 \cdot 100 + 2 \cdot 82,8$$

$$b_{eff} = 365 \text{ mm}$$

Schéma



Namáhání patní spáry v průřezu patky

Excentricita působíště normálové síly

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

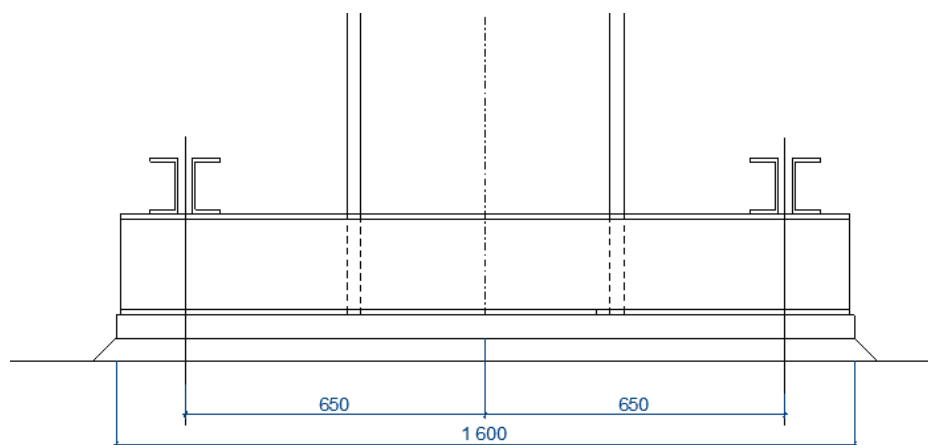
Síla od tlačeného betonu

$$N_c = b_{eff} \cdot x \cdot f_{jd}$$

Velikost tlačené oblasti x z kvadratické rovnice

$$b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot x^2 - b_{eff} \cdot f_{jd} \cdot (2 \cdot r_t + a) \cdot x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (e + r_t) = 0$$

		KZ1	KZ2	KZ3	KZ4	KZ5	KZ6
M_{Ed}	kNm	658,65	288,64	40,05	237,10	445,45	235,31
N_{Ed}	kN	382,20	217,11	66,39	-1,59	245,60	196,37
e	mm	1723,3	1329,5	603,3	-149025,8	1813,7	1198,3
x	mm	96,9	45,1	8,6	24,6	63,9	38,0
N_c	kN	647,19	301,07	57,55	164,20	426,70	253,63
T	kN	265,00	83,96	-8,84	165,79	181,10	57,26



Průřez patky

Ocel S235

Plech 40x530

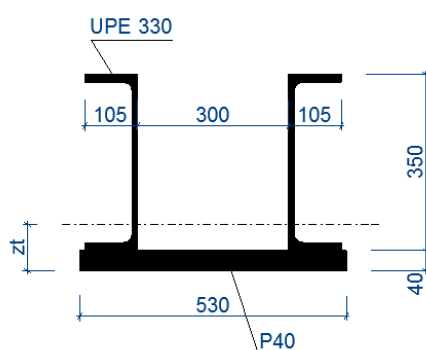
Průřezové charakteristiky UPE 330

$$-A = 6770 \text{ mm}^2$$

$$-I_y = 11010 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

$$-A_{vz} = 3881 \text{ mm}^2$$

Schéma



Těžiště

$$z_t = \frac{2 \cdot 6770 \cdot 205 + 40 \cdot 530 \cdot 20}{2 \cdot 6770 + 40 \cdot 530}$$

$$z_t = 92,1 \text{ mm}$$

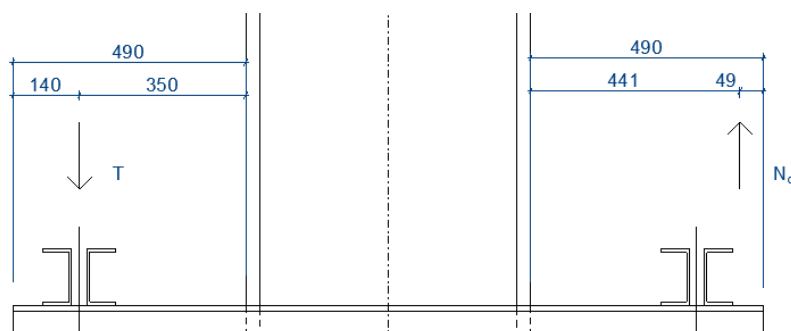
Moment setrvačnosti

$$I_{y,c} = 2 \cdot 11010 \cdot 10^4 + 2 \cdot 6770 \cdot (205 - 92,1)^2 + \frac{530 \cdot 40^3}{12} + 530 \cdot 40 \cdot (92,1 - 20)^2$$

$$I_{y,c} = 48581 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Největší tlačenná a tažená síla je v zatěžovacím stavu KZ1. Posoudím tedy tlačennou a taženou stranu patky.

Schéma



Tlačená část patky

$$M_p = N_c \cdot \left(490 - \frac{x}{2}\right)$$

$$M_p = 647,19 \cdot 10^3 \cdot (490 - 49)$$

$$M_p = 285,41 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 647,19 \text{ kN}$$

Tažená část patky

$$M_t = T \cdot 350$$

$$M_t = 265,00 \cdot 10^3 \cdot 350$$

$$M_t = 92,75 \text{ kNm}$$

$$V_t = T = 265,00 \text{ kN}$$

Pružné posouzení průřezu (rozhoduje posudek k horním vláknům)

$$W_{y,h} = \frac{I_{y,c}}{z_h}$$

$$W_{y,h} = \frac{48581 \cdot 10^4}{330 + 40 - 92,1}$$

$$W_{y,h} = 1748 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Posouzení normálového napětí

$$\sigma_{max} = \frac{M_p}{W_{y,h}} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = \frac{285,41 \cdot 10^6}{1748 \cdot 10^3} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 163,3 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Posouzení smykového napětí

$$\tau_{max} = \frac{V_p}{2 \cdot A_{vz}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$$\tau_{max} = \frac{647,19 \cdot 10^3}{2 \cdot 3881} \leq \frac{235}{\sqrt{3}}$$

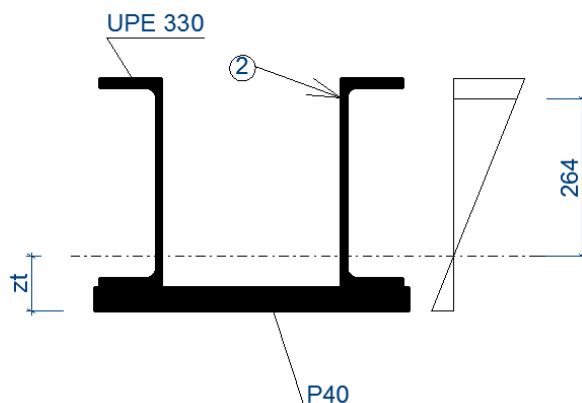
$$\tau_{max} = 83,4 \text{ MPa} \leq 135,7 \text{ MPa}$$

Jedná se o velký smyk, posoudí se interakce ohybu a smyku

$$83,4 \text{ MPa} > \frac{135,7}{2} = 67,8 \text{ MPa}$$

Interakce smyku s ohybem

Schéma



Normálové napětí v bodě 2

$$\sigma_2 = \frac{M_p}{I_{y,c}} \cdot z_2$$

$$\sigma_2 = \frac{285,49 \cdot 10^6}{48581 \cdot 10^4} \cdot 264$$

$$\sigma_2 = 155,1 \text{ MPa}$$

Posouzení interakce

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau_{max}^2} \leq f_y$$

$$\sqrt{155,1^2 + 3 \cdot 83,4^2} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

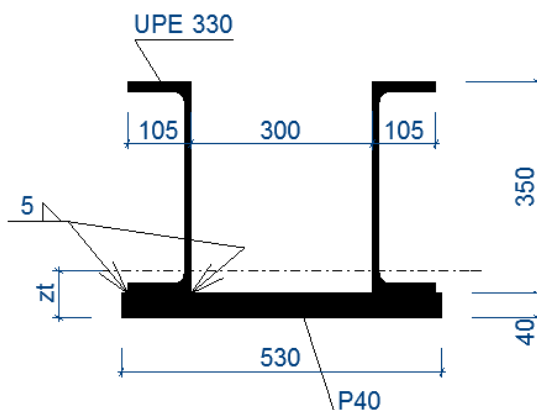
$$211,9 \text{ MPa} \leq f_y = 235 \text{ MPa}$$

Průřez vyhoví

Připojení podélných výtuh k patnímu plechu

Navrhnu koutové svary $a_w = 5 \text{ mm}$

Schéma



Posoudí se místo s největším ohybovým momentem (řez 2) a místo připojení kotvicích šroubů (řez 1) nejnepříznivější kombinace je KZ1

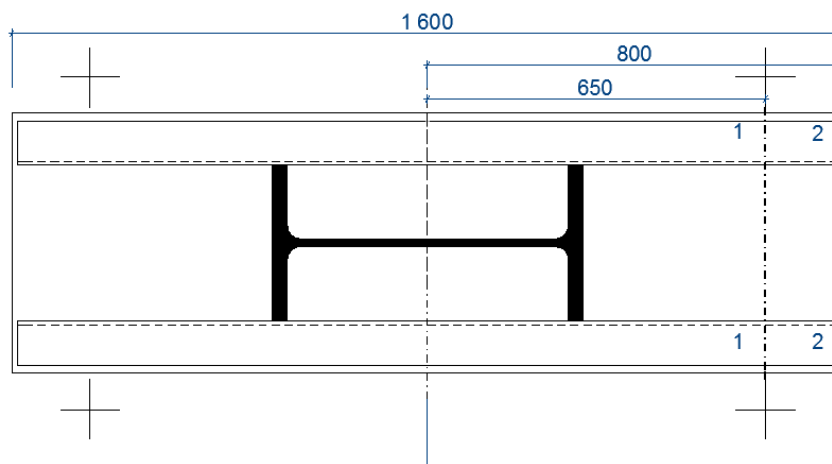
$$N_{Ed} = 382,20 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 658,65 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

$$V_p = 647,19 \text{ kN}$$

Schéma



Napětí ve svarech řez 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot L_w \cdot a_w} + \frac{V_p \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot 4 \cdot a_w}$$

Statický monet k rovině svaru

$$S_{f,y} = 530 \cdot 40 \cdot (92,1 - 20) = 1528 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{151,89 \cdot 10^3}{4 \cdot 1580 \cdot 5} + \frac{647,19 \cdot 10^3 \cdot 1528 \cdot 10^3}{48581 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 5}$$

$$\tau_{\parallel} = 106,6 \text{ MPa}$$

Normálové napětí

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{N_{Ed}}{4 \cdot L_w \cdot a_w} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_i \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{382,20 \cdot 10^3}{4 \cdot 1580 \cdot 5} + \frac{658,65 \cdot 10^6}{\frac{4 \cdot 5}{12} \cdot 1580^3} \cdot 650 \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 54,6 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{54,6^2 + 3 \cdot (54,6^2 + 106,6^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$214,5 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Napětí ve svarech řez 2

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{4 \cdot L_w \cdot a_w}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{151,89 \cdot 10^3}{4 \cdot 1580 \cdot 5}$$

$$\tau_{\parallel} = 4,8 \text{ MPa}$$

Normálové napětí

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{N_{Ed}}{4 \cdot L_w \cdot a_w} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_i \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{382,20 \cdot 10^3}{4 \cdot 1580 \cdot 5} + \frac{658,65 \cdot 10^6}{\frac{4 \cdot 5}{12} \cdot 1580^3} \cdot 800 \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 65,2 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{65,2^2 + 3 \cdot (65,2^2 + 4,8^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$130,7 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

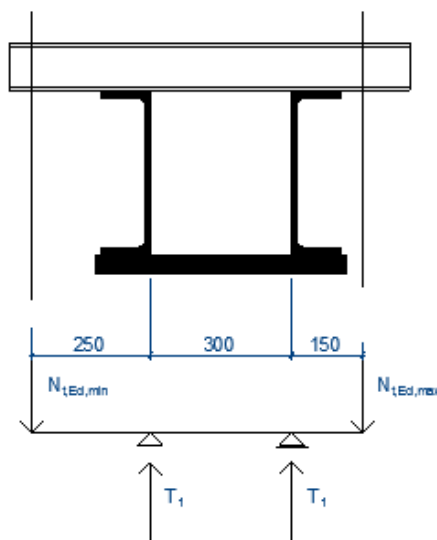
Svar vyhoví

Kotevní šrouby

Pro návrh rozhoduje kombinace KZ1

Tolerance osazení šroubů $\pm 50 \text{ mm}$

Schéma



$$T_1 = \frac{T}{2} = \frac{647,19}{2} = 323,60 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,max} = \frac{323,60 \cdot (250 + 550)}{700}$$

$$N_{t,Ed,max} = 369,83 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,min} = 647,19 - 369,83 = 277,36 \text{ kN}$$

Navrhnu vrtanou kotvu M56x4

Plocha v závitu $A_s = 2144 \text{ mm}^2$

Průměr dřívku $D = 60 \text{ mm}$, průměr otvoru $d_0 = 70 \text{ mm}$

Betonová patka bude vyztužena tak aby nedošlo k vytržení skupiny šroubů.

Porušení v místě závitu

$$F_{t,Rd} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} \geq N_{t,Ed,max}$$

$$F_{t,Rd} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot 2144 \cdot 360}{1,25} \geq N_{t,Ed,max} = 369,83 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 472,37 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,max} = 369,83 \text{ kN}$$

Porušení v místě dříku

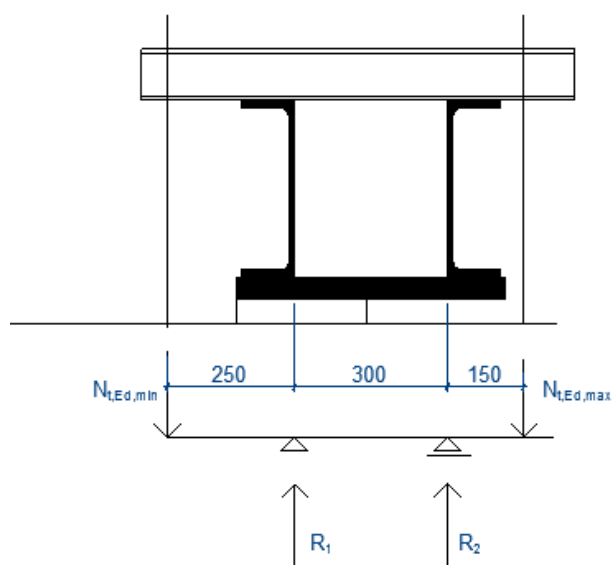
$$F_{t,Rd} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot f_y \geq N_{t,Ed,max}$$

$$F_{t,Rd} = \frac{\pi \cdot 60^2}{4} \cdot 235 \geq N_{t,Ed,max} = 369,83 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 664,44 \text{ kN} \geq N_{t,Ed,max} = 369,83 \text{ kN}$$

Kotva vyhoví

Kotevní příčník



Vnitřní síly

$$M_{1,Ed} = 277,36 \cdot 10^3 \cdot 250 = 69,34 \text{ kNm}$$

$$V_{1,Ed} = 277,36 \text{ kN}$$

$$M_{2,Ed} = 369,83 \cdot 10^3 \cdot 150 = 55,47 \text{ kNm}$$

$$V_{2,Ed} = 369,83 \text{ kN}$$

Navrhnu 2xUPE 220

Průřezové charakteristiky UPE 220

Ocel S235

$$-A = 3387 \text{ mm}^2$$

$$-W_{y,pl} = 281,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$-A_{vz} = 1581 \text{ mm}^2$$

Momentová únosnost

$$M_{Rd} = 2 \cdot W_{y,pl} \cdot f_y \geq M_{1,Ed}$$

$$M_{Rd} = 2 \cdot 281,5 \cdot 10^3 \cdot 235 \geq M_{1,Ed} = 69,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = 132,31 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 69,34 \text{ kNm}$$

Smyková únosnost

$$V_{Rd} = \frac{2 \cdot A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3}} \geq V_{2,Ed}$$

$$V_{Rd} = \frac{2 \cdot 1581 \cdot 235}{\sqrt{3}} \geq V_{2,Ed} = 369,83 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 429,01 \text{ kN} \geq V_{2,Ed} = 369,83 \text{ kN}$$

Jedná se o velký smyk je potřeba posoudit interakci ohybu a smyku

Průřez 1

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot 277,36}{429,01} - 1 \right)^2 = 0,086$$

$$M_{V,Rd} = \left(2 \cdot W_{pl} - \frac{\rho \cdot (2 \cdot A_{vz})^2}{4 \cdot 2 \cdot t_w} \right) \cdot f_y \geq M_{1,Ed}$$

$$M_{V,Rd} = \left(2 \cdot 281,5 \cdot 10^3 - \frac{0,086 \cdot (2 \cdot 1581)^2}{4 \cdot 2 \cdot 6,5} \right) \cdot 235 \geq M_{1,Ed} = 69,34 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 128,42 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 69,34 \text{ kNm}$$

Průřez 2

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot 369,83}{429,01} - 1 \right)^2 = 0,524$$

$$M_{V,Rd} = \left(2 \cdot W_{pl} - \frac{\rho \cdot (2 \cdot A_{vz})^2}{4 \cdot 2 \cdot t_w} \right) \cdot f_y \geq M_{2,Ed}$$

$$M_{V,Rd} = \left(2 \cdot 281,5 \cdot 10^3 - \frac{0,524 \cdot (2 \cdot 1581)^2}{4 \cdot 2 \cdot 6,5} \right) \cdot 235 \geq M_{1,Ed} = 55,47 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 108,63 \text{ kNm} \geq M_{1,Ed} = 55,47 \text{ kNm}$$

Příčnický vyhoví

Návrh smykové zarážky pro běžný sloup

Zatěžovací stav KZ1 (Příloha str. 22)

$$V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

Navrhnu profil HEB 140

$$-A_{vz} = 1308 \text{ mm}^2$$

$$-W_{y,pl} = 245,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Beton C20/25

Hloubka zarážky

$$h > \frac{V_{Ed}}{b \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c}}$$

$$h > \frac{151,89 \cdot 10^3}{140 \cdot \frac{20}{1,5}}$$

$$h > 81,4 \text{ mm}$$

Navrhnu zarážku hlubokou $h = 100 \text{ mm}$

Smyková únosnost

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd} = \frac{1308 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \geq V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 177,45 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

Jedná se o velký smyk je potřeba posoudit interakci ohybu a smyku

Momentová únosnost

$$M_{Rd} = \frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \geq M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e$$

$$M_{Rd} = \frac{245,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0} \geq M_{Ed} = 151,89 \cdot 10^3 \cdot \left(50 + \frac{100}{2}\right)$$

$$M_{Rd} = 57,67 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 15,19 \text{ kNm}$$

Interakce ohybu se smykem

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot 151,89}{177,45} - 1\right)^2 = 0,507$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl} - \frac{\rho \cdot (A_{vz})^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot f_y \geq M_{Ed}$$

$$M_{V,Rd} = \left(245,4 \cdot 10^3 - \frac{0,507 \cdot (1308)^2}{4 \cdot 7,0} \right) \cdot 235 \geq M_{Ed} = 15,19 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 50,39 \text{ kNm} \geq M_{Ed} = 15,19 \text{ kNm}$$

Smyková zarážka vyhoví

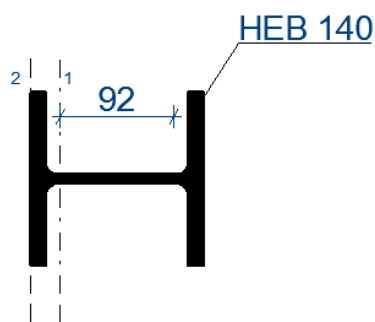
Návrh svaru smykové zarážky k patnímu plechu

Výška svaru $a_w = 6 \text{ mm}$

Moment setrvačnosti svaru

$$I_w = \frac{2 \cdot 6 \cdot 92^3}{12} + 2 \cdot \left(\frac{140 \cdot 6^3}{12} + 140 \cdot 6 \cdot 73^2 \right) + 4 \cdot \left(\frac{55 \cdot 6^3}{12} + 55 \cdot 6 \cdot 55^2 \right)$$

$$I_w = 1373 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$



Napětí ve svarech řez 1

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot L_w \cdot a_w}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{151,89 \cdot 10^3}{2 \cdot 92 \cdot 4}$$

$$\tau_{\parallel} = 137,6 \text{ MPa}$$

Normálové napětí

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{15,19 \cdot 10^6}{1373 \cdot 10^4} \cdot 46 \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 36,0 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{36,0^2 + 3 \cdot (36,0^2 + 137,6^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$249,0 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

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

$$\sigma_{\perp} = 36,0 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Napětí ve svarech řez 1

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

Normálové napětí

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{M_{Ed}}{I_w} \cdot z \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{15,19 \cdot 10^6}{1373 \cdot 10^4} \cdot 73 \right)$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 57,1 \text{ MPa}$$

Posouzení

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

$$\sqrt{57,1^2 + 3 \cdot (57,1^2)} < \frac{360}{1,0 \cdot 1,25}$$

$$57,1 \text{ MPa} < 288 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

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

$$\sigma_{\perp} = 57,1 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 \cdot 360}{1,25} = 259,2 \text{ MPa}$$

Svar vyhoví

Ověření smykové zarážky pro běžný sloup

Zatěžovací stav KZ4 (minimální stálé+ vítr severní)

$$V_{Ed,y} = 20,62 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,z} = 20,62 \text{ kN}$$

Posouzení

$$\frac{V_{Ed,y} \cdot e}{\frac{W_{y,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{V_{Ed,z} \cdot e}{\frac{W_{z,pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}} \geq 1,0$$

$$\frac{20,06 \cdot 10^3 \cdot 150}{\frac{245,4 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0}} + \frac{64,06 \cdot 150}{\frac{119,8 \cdot 10^3 \cdot 235}{1,0}} \geq 1,0$$

$$0,393 \geq 1,0$$

Smyková únosnost

$$V_{Rd,y} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd,y} = \frac{1308 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \geq V_{Ed} = 20,62 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,y} = 177,45 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 20,62 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,y} = \frac{2 \cdot A_f \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \geq V_{Ed}$$

$$V_{Rd,y} = \frac{3666 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \geq V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,y} = 497,4 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 151,89 \text{ kN}$$

Jedná se o malý smyk není potřeba posoudit interakci ohybu a smyku

Jelikož je zde nižší využití průřezu navržený svar vyhoví.

Závěr

V diplomové práci byly navrženy všechny hlavní nosné prvky průmyslové haly s mostovými jeřáby, které byly předmětem zadání.