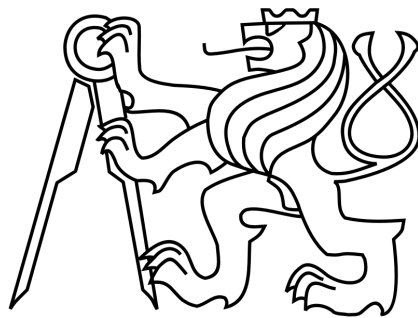


**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY**

Bc. Marek Pařízek

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Jandera Ph.D.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Bc. Marek Pařízek

.....

8. ledna 2017



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební


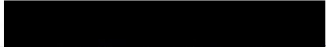
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Pařízek	Jméno: Marek	Osobní číslo: 396545
Zadávající katedra: Katedra ocelových konstrukcí, K134		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Dvoulodní hala s mostovými jeřáby	
Název diplomové práce anglicky: Two-bay hall with overhead cranes	
Pokyny pro vypracování: Návrh ocelové konstrukce dvoulodní haly včetně nosníku jeřábové dráhy. Návrh 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: 5.10.2016	Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017
 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“.

5.10.2016 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
------------------------------------	---

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem dvoulodní ocelové haly s mostovými jeřáby. Rozpon lodí je 30 m. Řešen je návrh nosníku jeřábových drah, hlavní rám objektu, momentové šroubované přípoje, ztužení objektu a další vybrané konstrukční detaily. Výpočet je proveden podle evropských norem zavedených do systému českých norem ČSN EN.

Klíčová slova

ocelová konstrukce, dvoulodní hala, rám, jeřábová dráha, ztužidla, klopení nosníku, momentový šroubový přípoj, štítová stěna

Abstract

Master project deals with structural design of a steel two-bay hall with overhead cranes. Span of the bays is 30 m. Overhead cranes, typical steel portal frame, bolted moment connection, diagonal bracing and other selected details are designed. Design is made according to the European standards integrated in system of Czech standards ČSN EN.

Key words

steel structure, two-bay hall, portal frame, overhead crane, diagonal bracing, lateral torsional stability, bolted moment connection, gable wall

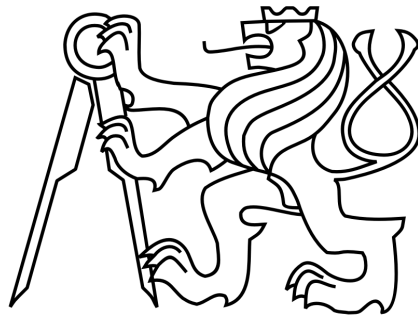
Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Janderovi, Ph.D. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Použité zdroje

- [1] ČSN EN 1991-1-1 (73 0035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Praha: ČNI, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-3 (72 773). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem*. Praha: ČNI, 2005.
- [3] ČSN EN 1991-1-4 (77 516). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem*. Praha: ČNI, 2007.
- [4] ČSN EN 1991-3 (73 0035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 3: Zatížení od jeřábů a strojního vybavení*. Praha: ČNI, 2008.
- [5] ČSN EN 1993-1-1 (73 1401). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: ČNI, 2006.
- [6] ČSN EN 1993-1-8 (76 684). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování styčníků*. Praha: ČNI, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-9 (73 1401). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-9: Únava*. Praha: ČNI, 2006.
- [8] ČSN EN 1993-1-10 (73 1401). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-10: Houževnatost materiálu a vlastnosti napříč tloušťkou*. Praha: ČNI, 2007.
- [9] ČSN EN 1993-6 (73 1460). *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 6: Jeřábové dráhy*. Praha: ČNI, 2008.
- [10] ČSN EN 12944-5 (03 8241) *Nátěrové hmoty - Protikorozní ochrana ocelových konstrukcí ochrannými nátěrovými systémy - Část 5: Ochranné nátěrové systémy*. Praha: ČNI, 2008.
- [11] Doc. Ing. Vraný T., CSc.; Ing. Jandera M., Ph.D.; Ing. Eliášová M., CSc. *Ocelové konstrukce 2 - Cvičení*; České vysoké učení technické v Praze, 2011.
- [12] Ing. Sokol Z., Ph.D.; Prof. Ing. Wald F., CSc; *Ocelové konstrukce - Tabulky*; České vysoké učení technické v Praze, 2012.
- [13] Ing. Židlický B.; Ing. Jandera M.; *Jeřábová dráha*; [online]. Praha, 2016. [vid. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://people.fsv.cvut.cz/~xjanderm/>

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY
TECHNICKÁ ZPRÁVA**

Bc. Marek Pařízek

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Jandera Ph.D.

Obsah

1 Popis konstrukce	2
2 Popis nosné konstrukce.....	2
3 Údaje o zatížení	2
4 Použité materiály.....	4
5 Výroba ocelové konstrukce	6
6 Montáž ocelové konstrukce	6
7 Ochrana proti korozi.....	6
8 Ochrana proti požáru	7
9 Použité programy	7

1 Popis konstrukce

Diplomová práce se zabývá návrhem dvoulodní ocelové haly s mostovými jeřáby. Konstrukce je umístěna v Kutné Hoře a slouží jako sklad. Rozpětí lodí je 30 m, přičemž nosnost jeřábu je 5 tun. Jedná se o rámovou konstrukci z válcovaných profilů.

2 Popis nosné konstrukce

Hala je řešena jako rámová konstrukce s vetknutými krajními sloupy a kloubově uloženým středním sloupem. Sloupy rámu jsou z profilu HEA 500 (krajní, vetknuté) a HEA 320 (střední, kloubově uložený), příčle rámu jsou z profilu IPE 500 s náběhy o výšce 400 mm a délce 6 m, taktéž z profilu IPE 500. Jeřábová dráha má nosnost 5 tun na rozpon 28 m. Osová vzdálenost rámu je 6 m. Hlavní nosník jeřábové dráhy je profil HEA 280 a je uložen jako prostý nosník na konzolách HEA 320 připojených na sloupy rámu. Rámové rohy jsou řešeny jako šroubované. Sloupy štítové stěny jsou z profilu IPE 330.

Ztužení haly je zajištěno pomocí trubkových ztužidel. Příčle rámu jsou rozepřeny pomocí kruhových trubek TR 102x4 pro zkrácení vzpěrných délek.

Jako plášť jsou navrženy sendvičové panely Kingspan uložené na střešních vaznicích Z240 a na stěnových paždicích C140.

Krajní rámové vazby jsou navrženy stejně jako běžné vazby z důvodu případného rozšíření haly.

Při výpočtu bylo uvažováno s tuhými styčníky, při modelování styčnicků v programu IDEA StatiCa však byly některé styčníky klasifikovány jako polotuhé. Při následném zadání tuhosti styčníku do modelu však došlo jen k nepatrné změně vnitřních sil (několik %), bylo tedy i dále uvažováno s průběhem sil pro tuhé styčníky.

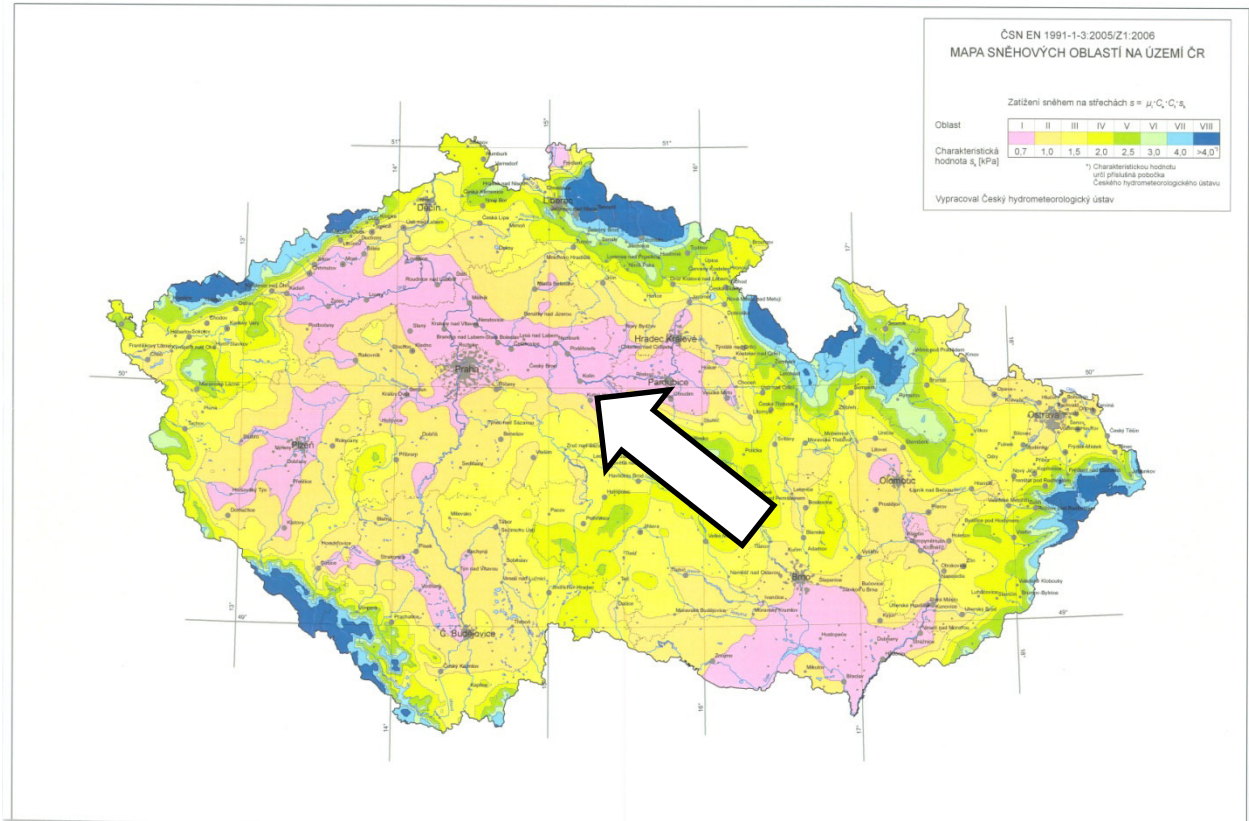
3 Údaje o zatížení

Výpočet zatížení je proveden na základě norem ČSN EN 1991-1.

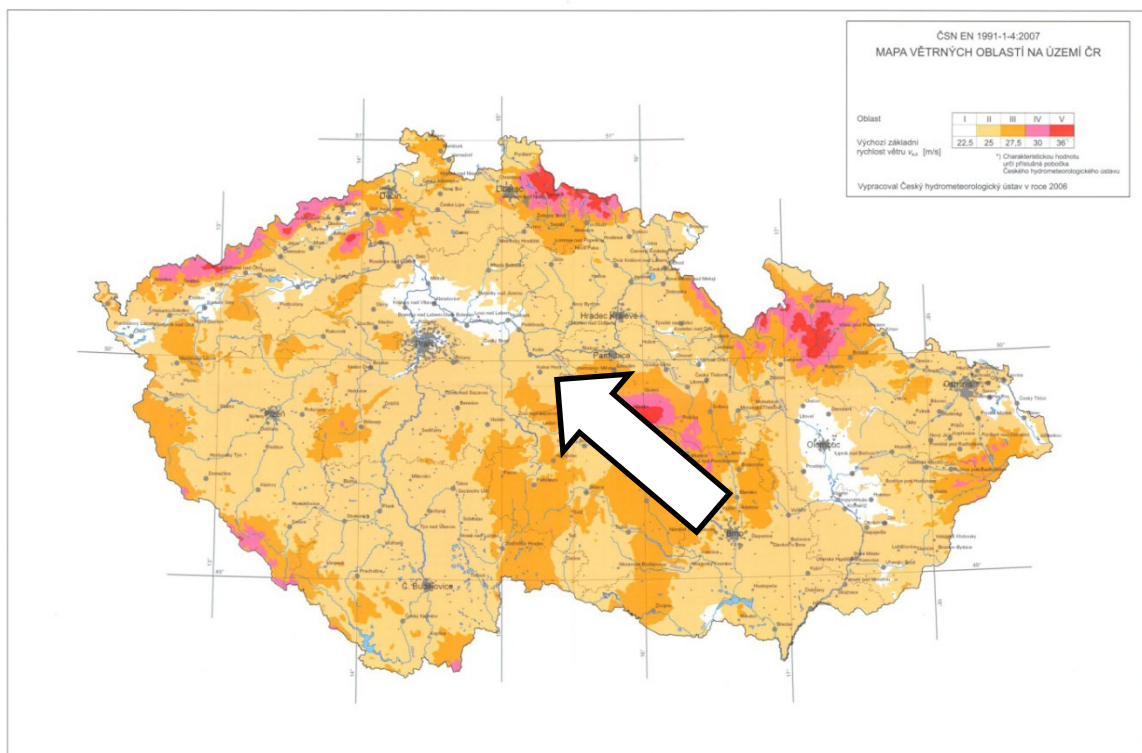
Objekt se nachází v první sněhové oblasti s charakteristickou hodnotou zatížení $s_k = 0,7 \text{ kN/m}^2$, ve II. větrné oblasti a kategorii terénu II.

Zatížení teplotou je uvažováno hodnotami $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ (teplota ve skladu neklesne pod $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a teplota při montáži se uvažuje $10 \text{ }^\circ\text{C}$) a $+30 \text{ }^\circ\text{C}$.

I. sněhová oblast – Kutná hora



zatížení větrem – ČSN EN 1991-1-4 Eurokód 1: Zatížení větrem II. větrná oblast – Kutná Hora



Seizmické zatížení – ČSN EN 1998-1 Eurokód 8: Zemětřesení – obecná pravidla



Seizmická oblast s referenčním zrychlením základové půdy $a_{gR} = (0,00 - 0,02) \text{ g}$

Podle článku NA.2.8 Národní přílohy NA (informativní) – str. 165, není třeba dodržovat ustanovení ČSN EN 1998, pokud se stavba nachází v oblasti velmi malé seismicity.

$$a_g S = a_{gR} * \gamma_I * S = 0,02 \text{ g} * 1,0 * 1,35 = \underline{0,027 \text{ g}} < \underline{0,05 \text{ g}} \rightarrow \text{oblast velmi malé seismicity}$$

součinitel významu $\gamma_I = 1,0$

- třída významu pozemní stavby: II
součinitel podloží $S = 1,35$

- typ základové půdy B

4 Použité materiály

Ocelová konstrukce je z oceli S355JR

Šrouby M16 jsou z materiálu 8.8, šrouby M27 z materiálu 10.9.

Trapézový plech z oceli S350GD.

Beton patek je třídy C30/37 - XC1 – Cl 0,2 – D_{\max} 16mm - S3 – E_{cm} 32 GPa.

Výběr jakostního stupně dle ČSN EN 1993-1-10

Mimořádná kombinace

$$\sum G_{k,i} + A_d + \psi_1 Q_{k,1} + \sum \psi_2 Q_{k,i}$$

$\psi_1 = 0,2$ – zatížení sněhem/sněhem;

$\psi_2 = 0$ – zatížení sněhem/větrem

Moment od jednotlivých zatěžovacích stavů na příčli IPE 500

$$M_{G,k} = 90,47 + 57,34 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,k,1} = 450,9 \text{ kNm} - \text{sníh}$$

Moment od mimořádné kombinace na příčli IPE 500

$$M_d = 147,8 + 0,2 \cdot 450,9 = 238,0 \text{ kNm}$$

Moment od jednotlivých zatěžovacích stavů na sloupu HEA 500

$$M_{G,k} = 68,5 + 44,3 \text{ kNm}$$

$$M_{Q,k,1} = 192,1 \text{ kNm} - \text{vítr}$$

Moment od mimořádné kombinace na HEA 500

$$M_d = 112,8 + 0,2 \cdot 192,1 = 151,2 \text{ kNm}$$

Rozhodující prvky pro výběr jakosti:

$$\text{Příčle IPE 500 - využití prvku: } \sigma_{Ed} = \frac{238}{968,9} = 0,25 f_y$$

$$\text{Sloup HEA 500 - využití prvku: } \sigma_{Ed} = \frac{151,2}{1139,7} = 0,13 f_y$$

Jmenovitá mez kluzu

$$\text{Příčle IPE 500 - } f_y(t) = f_{y,nom} - 0,25 \frac{t}{t_0} = 355 - 0,25 \cdot \frac{16}{1} = 351 \text{ MPa}$$

$$\text{Sloup HEA 500 - } f_y(t) = f_{y,nom} - 0,25 \frac{t}{t_0} = 355 - 0,25 \cdot \frac{23}{1} = 349,3 \text{ MPa}$$

Podíl vůči jmenovité mezi kluzu

$$\sigma_{Ed, IPE500} = \frac{0,25 \cdot 355}{351} = 0,25 f_y(t)$$

$$\sigma_{Ed, IPE500} = \frac{0,13 \cdot 355}{349,3} = 0,13 f_y(t)$$

Referenční teplota

$$T_{Ed} = T_{md} + \Delta T_r + \Delta T_\sigma + \Delta T_R + \Delta T_{\dot{\epsilon}} + \Delta T_{\dot{\epsilon}\dot{\epsilon}f} = -35 - 5 - 0 - 0 - 0 - 0 = -40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Jakostní stupeň dle ČSN EN 1993-1-10, Tab. 2.1

IPE500 - S355JR

5 Výroba ocelové konstrukce

Všechny ocelové prvky budou vyrobeny v mostárně dle projektové dokumentace.

Dle ČSN EN 1990 je určena třída následků konstrukce jako CC1 – malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí. Rizika spojená s používáním konstrukce kategorie SC2 - konstrukce a komponenty posuzované na únavu dle ČSN EN 1993. Výrobní třída je EXC2.

Veškeré přípoje prováděné v mostárně jsou svařované.

6 Montáž ocelové konstrukce

Montáž bude prováděna dle všech platných norem. Po celou dobu montáže budou rámy podepřeny, aby nedošlo k jejich vybočení.

Rám je rozdělen do montážních dílů v místech rámových rohů a ve vrcholu příčle, které budou na staveništi spojeny čelními deskami a šroubovým spojem tak, aby byl vytvořen momentový přípoj.

Tenkostěnné vaznice a paždíky budou k rámu připojeny přes ocelovou botku dle podkladů výrobce. Jednotlivé vaznice budou navzájem v přesahu na délku 0,6/0,9 m.

Ztužidla konstrukce budou připojena přes styčnickový plech kloubovým spojem (šroubovaný spoj).

7 Ochrana proti korozi

Veškeré ocelové konstrukce jsou zabudovány v interiéru objektu, kde se nenachází agresivní ani vlhké prostředí. Stupeň korozní agresivity je uvažován jako C2 – nízká (sklad). Předpokládaná životnost: Střední (M) – 5 až 15 let. Způsob protikorozní ochrany bude přesněji specifikován na základě podrobnějšího výpočtu. Ocelové profily budou natřeny dílensky 1-2x základním nátěrem a 2-3x vrchním nátěrem.

8 Ochrana proti požáru

Požární odolnost nebyla v rámci této diplomové práce řešena. Pro její stanovení je třeba provést návrh a posouzení na požární odolnost. Na základě požadované doby požární odolnosti by byly případně aplikovány ochranné protipožární nástřiky, či obklady.

9 Použité programy

SCIA Engineer 16.0

AutoCAD 2016

LTBeamN

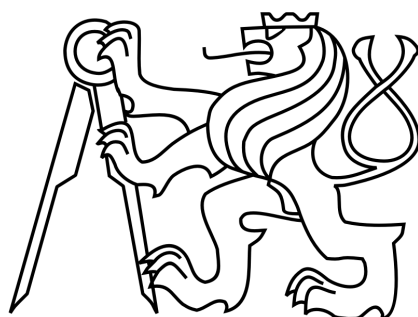
Hilti PROFIS Anchor

IDEA StatiCa 7

Microsoft Office Word 2013

Microsoft Office Excel 2013

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY
STATICKÝ VÝPOČET**

Bc. Marek Pařízek

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Jandera Ph.D.

Obsah

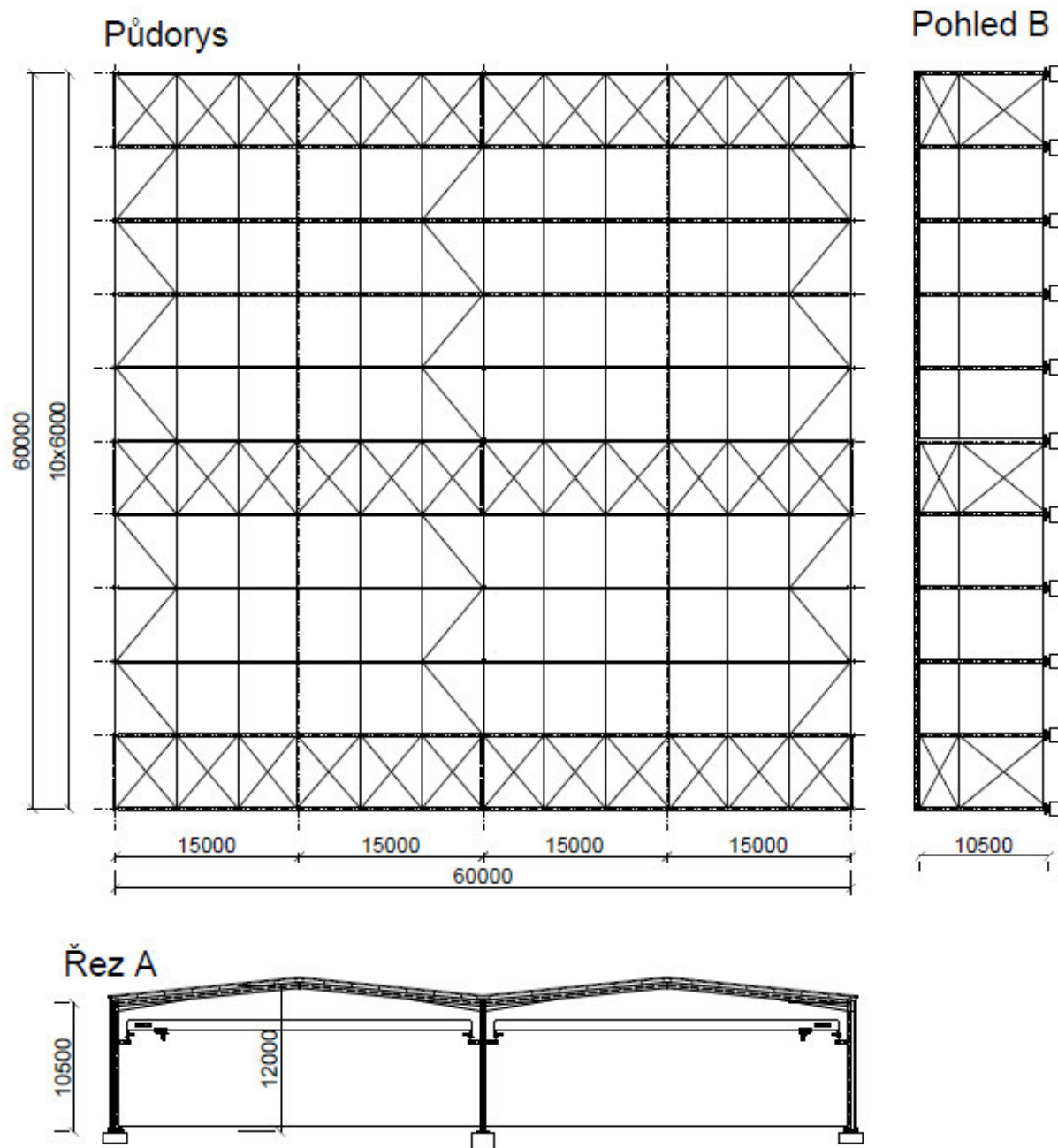
1 SCHÉMA DISPOZICE.....	- 4 -
2 ZATÍŽENÍ.....	- 5 -
2.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM.....	- 5 -
2.3 ZATÍŽENÍ TEPLOTOU	- 6 -
2.3 ZATÍŽENÍ VĚTREM	- 7 -
2.4 STŘEŠNÍ PANELY	- 12 -
2.5 STĚNOVÉ PANELY.....	- 12 -
2.6 VAZNICE	- 12 -
2.7 PAŽDÍKY.....	- 12 -
3 JEŘÁBOVÁ DRÁHA	- 13 -
3.1 TECHNICKÉ ÚDAJE JEŘÁBU	- 13 -
3.2 ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY.....	- 15 -
3.2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ	- 15 -
3.2.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ	- 15 -
3.2.3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZATÍŽENÍ JEŘÁBEM.....	- 21 -
3.2.4 KOMBINAČNÍ SOUČINITELE PRO ZATÍŽENÍ JEŘÁBY	- 22 -
3.3 ÚNAVOVÉ ZATÍŽENÍ.....	- 22 -
4 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL	- 24 -
4.1 VNITŘNÍ SÍLY - SVISLÉ ZATÍŽENÍ.....	- 24 -
4.2 VNITŘNÍ SÍLY - VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ.....	- 26 -
4.3 HODNOTY NÁVRHOVÝCH HODNOT ZATÍŽENÍ.....	- 29 -
5 POSOUZENÍ HLAVNÍCH PRVKŮ HALY	- 30 -
5.1 NÁVRH HLAVNÍHO JEŘÁBOVÉHO NOSNÍKU	- 30 -
5.1.1 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI (MSP)	- 31 -
5.1.2 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI (MSÚ)	- 32 -
5.1.3 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI FAT	- 38 -
5.2 NÁVRH HLAVNÍHO RÁMU (3)	- 40 -
5.2.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY PRO MODEL	- 40 -
5.2.2 POSOUZENÍ KRAJNÍCH SLOUPŮ	- 44 -
5.2.3 POSOUZENÍ STŘEDNÍHO SLOUPU	- 47 -
5.2.4 POSOUZENÍ PŘÍČLE RÁMU	- 51 -

5.2.5 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI	- 55 -
5.3 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ KE STŘEDNÍMU SLOUPU	- 56 -
5.4 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ KRAJNÍCH SLOUPŮ	- 61 -
5.5 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ VE VRCHOLU RÁMU	- 62 -
5.6 PŘÍPOJ KONZOLY JEŘÁBOVÉ DRÁHY	- 63 -
5.6.1 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KONZOLY	- 63 -
5.6.2 SVAROVÝ PŘÍPOJ KONZOLY	- 63 -
5.7 NÁVRH ZTUŽENÍ HALY	- 64 -
5.7.1 ZATÍŽENÍ MODELU PRO NÁVRH ZTUŽIDEL	- 64 -
5.7.2 IMPERFEKCE PRO ANALÝZU VÝZTUŽNÉHO SYSTÉMU	- 65 -
5.7.3 NÁVRH ROZPĚR RÁMŮ	- 66 -
5.7.4 NÁVRH DIAGONÁL PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ	- 67 -
5.7.5 NÁVRH PODÉLNÝCH ZTUŽIDEL	- 67 -
5.7.6 DETAIL 2 - NÁVRH PŘÍPOJE ZTUŽIDLA	- 68 -
5.7.7 DETAIL 3 - NÁVRH PŘÍPOJE ZTUŽIDEL	- 69 -
5.8 KLOUBOVÁ PATKA STŘEDNÍCH SLOUPŮ RÁMŮ	- 71 -
5.8.1 ZTUŽIDLOVÝ SLOUP	- 71 -
5.8.2 BĚŽNÝ SLOUP	- 72 -
5.9 VETKNUTÁ PATKA KRAJNÍCH SLOUPŮ RÁMU	- 72 -
5.9.1 Zatěžovací stavy	- 72 -
5.9.2 NÁVRH PATKY	- 73 -
5.9.3 SVAR VÝZTUH K PATNÍMU PLECHU	- 76 -
5.9.4 KOTEVNÍ ŠROUBY	- 78 -
5.9.5 KOTEVNÍ PŘÍČNÍK	- 79 -
5.9.6 PŘENOS POSOUVAJÍCÍ SÍLY DO BETONOVÉ PATKY	- 80 -
5.10 SLOUP ŠTÍTOVÉ STĚNY	- 82 -

DVOULODNÍ HALA S JEŘÁBOVÝMI DRAHAMI

Diplomová práce se zabývá návrhem dvoulodní jednopodlažní ocelové haly. Rozpětí lodí je 30m. V každé lodi se nachází mostový jeřáb o nosnosti $Q = 5$ t a s rozpětím 28,0 m. Hlavní nosník jeřábové dráhy je z profilu HEA a je proveden jako prostý nosník na rozpětí 6m. Hala slouží jako sklad a je umístěna v Kutné Hoře.

1 SCHÉMA DISPOZICE



2 ZATÍŽENÍ

2.1 ZATÍŽENÍ SNĚHEM

$$s_i = \mu_i c_e c_t s_k$$

μ_i - tvarový součinitel zatížení sněhem = 0,8 ($0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$)

c_e - součinitel expozice = 1 (normální typ krajiny)

c_t - tepelný součinitel = 1 (nedochází k tání sněhu vlivem prostupu tepla střechou)

s_k - charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi = 0,7 (sněhová oblast I.)

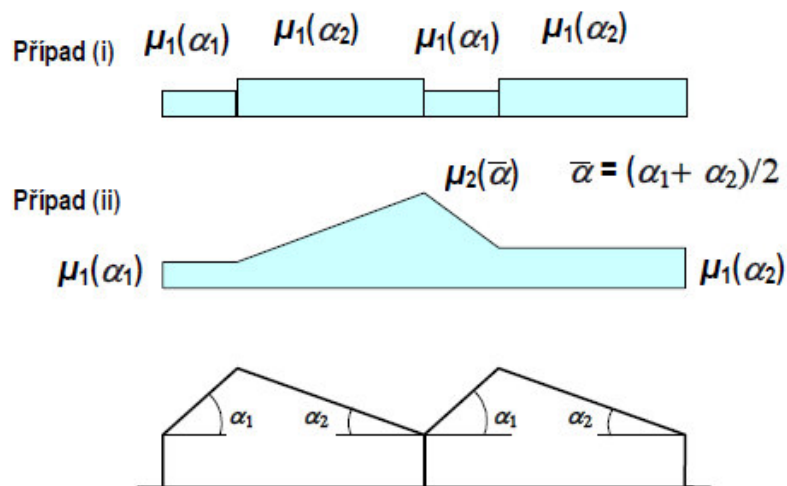
$$\mu_1 = 0,8 \quad (\alpha = 6^\circ)$$

$$s_1 = \mu_1 c_e c_t s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

navátí sněhu

$$\mu_2 = 0,8 + \frac{0,8\alpha}{30} = 0,8 + \frac{0,8 \cdot 6}{30} = 0,96$$

$$s_2 = \mu_2 c_e c_t s_k = 0,96 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 = 0,67 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek 5.4 – Tvarové součinitele zatížení sněhem pro střechy vícelodních budov

Obr. 1 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 3, str. 20

Výjimečné navátí sněhu v úžlabí

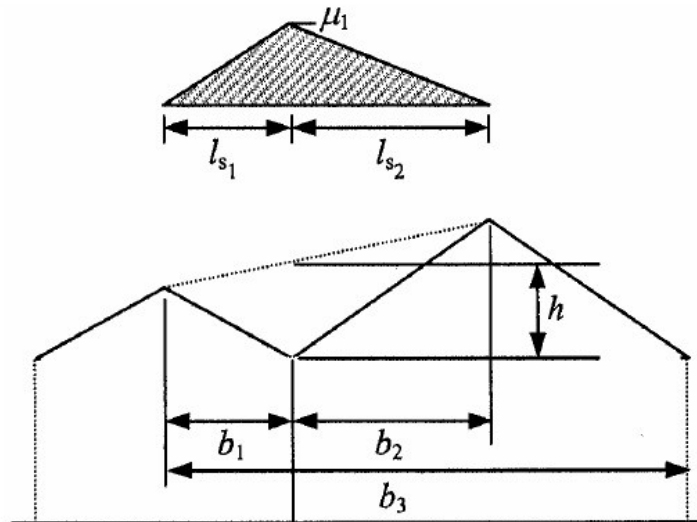
$$\mu_1 = \frac{2h}{s_k} = \frac{2 \cdot 1,5}{0,7} = 4,3$$

$$\mu_1 = \frac{3b_3}{(l_{s1} + l_{s2})} = \frac{3 \cdot 45}{(15 + 15)} = 4,5$$

$$\mu_1 = 5$$

$$\mu_1 = \min(4,3; 4,5; 5) = 4,3$$

$$s_3 = \mu_1 c_e c_t s_k = 4,3 * 1 * 1 * 0,7 = 3,01 \text{ kN/m}^2$$



Obrázek B.1 – Tvarový součinitel a délky návějí pro výjimečné navátí sněhu – úžlabí střech vícelodních budov

Obr. 2 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 3, str. 26

2.3 ZATÍŽENÍ TEPLOTOU

Pro návrh bude uvažováno s teplotou při montáži 10°C

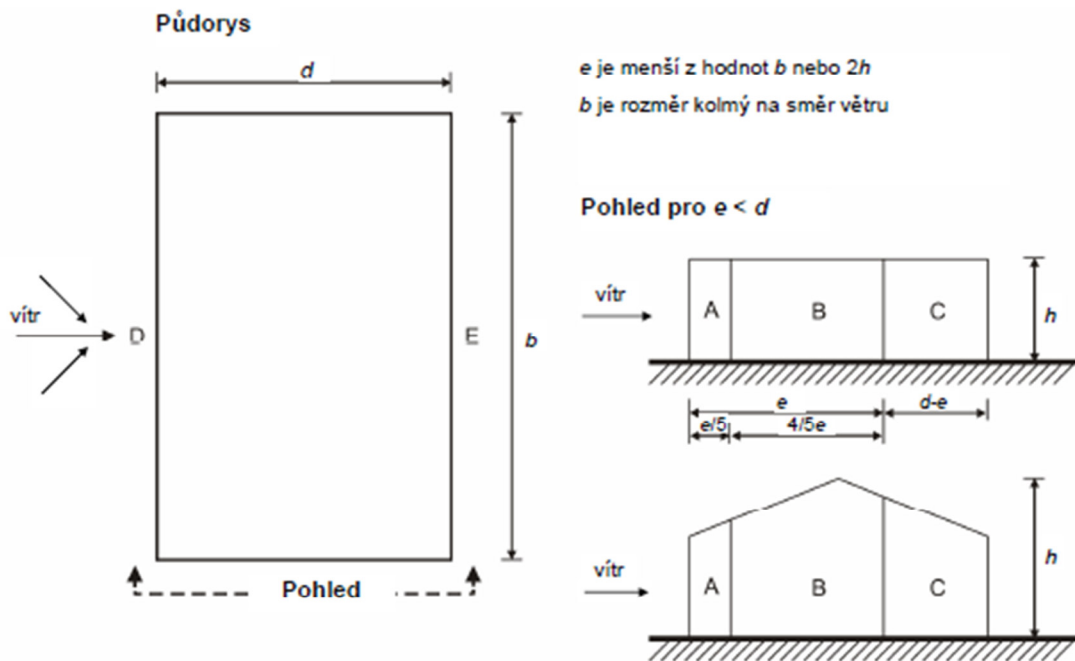
Maximální teplota je uvažována jako 40°C, tedy rozdíl $\Delta t = +30^\circ\text{C}$

Minimální teplota je uvažována jako 0°C, tedy rozdíl $\Delta t = -10^\circ\text{C}$

2.3 ZATÍŽENÍ VĚTREM

- výpočet viz Příloha 1

Stěny



Obr. 3 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 4, str. 34

Stěny – vítr příčný – směr x

Oblast A → $w_{e,k} = -1,14 \text{ kN/m}^2$

Oblast B → $w_{e,k} = -0,76 \text{ kN/m}^2$

Oblast C → $w_{e,k} = -0,48 \text{ kN/m}^2$

Oblast D → $w_{e,k} = 0,67 \text{ kN/m}^2$

Oblast E → $w_{e,k} = -0,29 \text{ kN/m}^2$

Stěny – vítr příčný – směr y

Oblast A → $w_{e,d} = -1,71 \text{ kN/m}^2$

Oblast B → $w_{e,d} = -1,14 \text{ kN/m}^2$

Oblast C → $w_{e,d} = -0,72 \text{ kN/m}^2$

Oblast D → $w_{e,d} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Oblast E → $w_{e,d} = -0,44 \text{ kN/m}^2$

Stěny – vítr podélný – směr y

Oblast A → $w_{e,k} = -1,14 \text{ kN/m}^2$

Oblast B → $w_{e,k} = -0,76 \text{ kN/m}^2$

Oblast C → $w_{e,k} = -0,48 \text{ kN/m}^2$

Oblast D → $w_{e,k} = 0,67 \text{ kN/m}^2$

Oblast E → $w_{e,k} = -0,29 \text{ kN/m}^2$

Stěny – vítr podélný – směr x

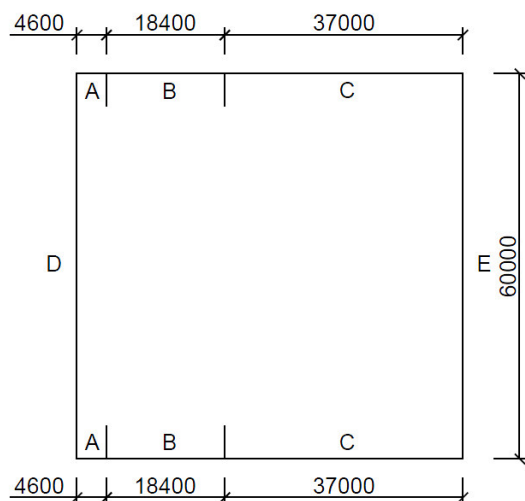
Oblast A → $w_{e,d} = -1,71 \text{ kN/m}^2$

Oblast B → $w_{e,d} = -1,14 \text{ kN/m}^2$

Oblast C → $w_{e,d} = -0,72 \text{ kN/m}^2$

Oblast D → $w_{e,d} = 1,0 \text{ kN/m}^2$

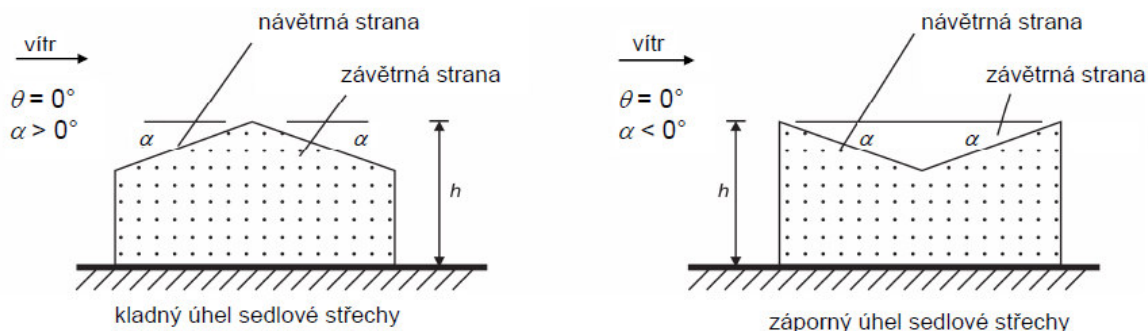
Oblast E → $w_{e,d} = -0,44 \text{ kN/m}^2$



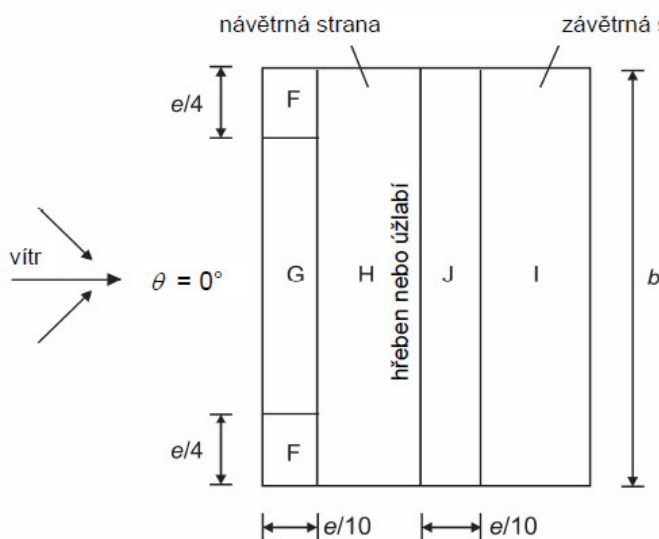
Střecha

Pro zatížení větrem střechy vícelodní haly je první a poslední část střechy (při zatížení větrem $\theta = 0^\circ$) uvažována jako pultová střecha a střední pole je řešeno jako sedlová střecha se záporným úhlem α (viz obr. 6).

Sedlová část střechy



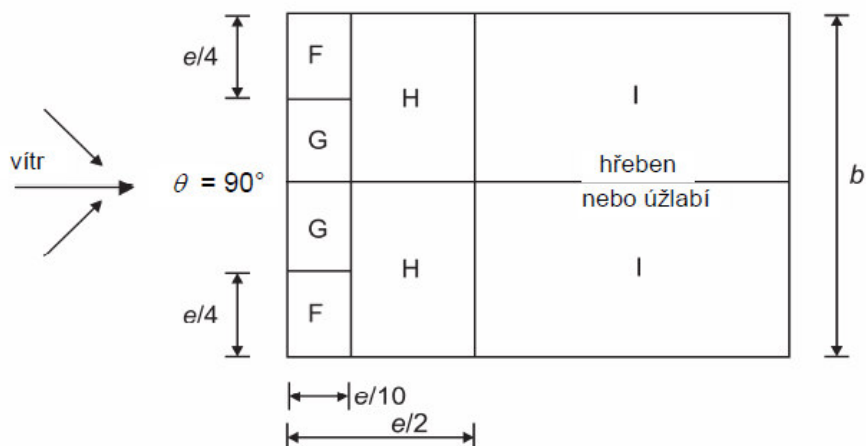
a) Všeobecně



e je menší z hodnot b nebo $2h$

b) Směr větru $\theta = 0^\circ$

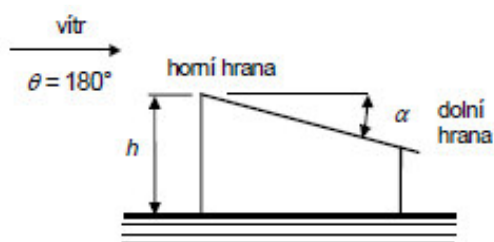
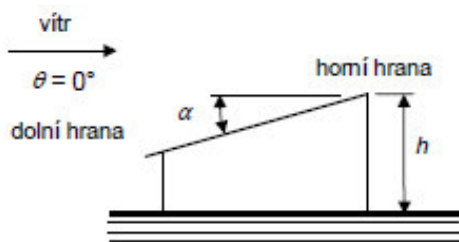
b je rozměr kolmo na směr větru



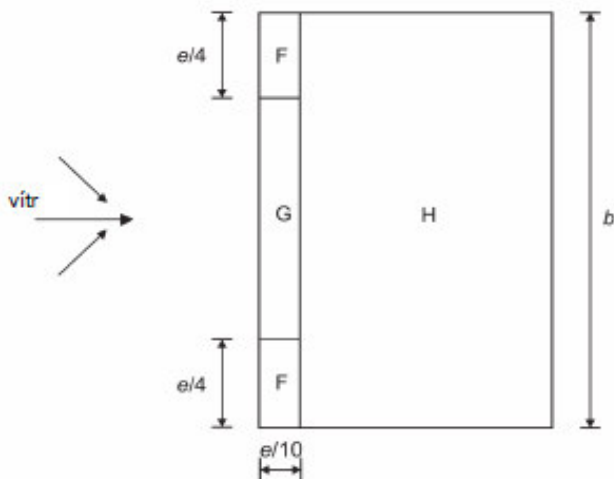
c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Obr. 4 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 4, str. 39

Pultová část střechy



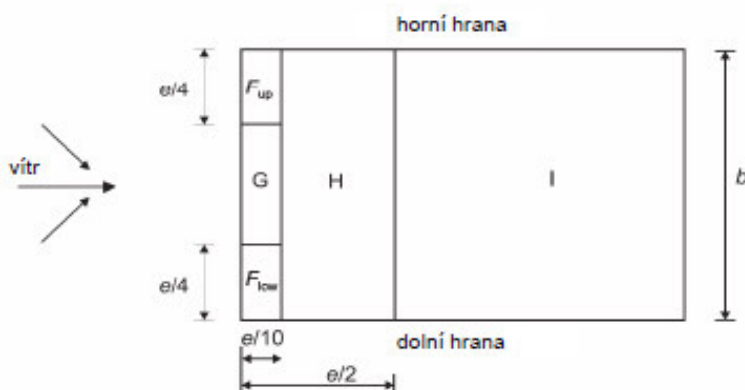
a) Všeobecně



e je menší z hodnot b nebo $2h$

b) Směr větru $\theta = 0^\circ$ a $\theta = 180^\circ$

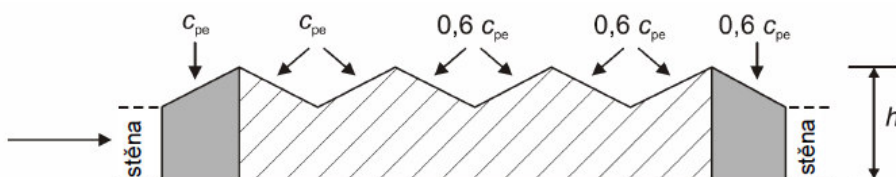
b je rozměr kolmo na směr větru



c) Směr větru $\theta = 90^\circ$

Obrázek 7.7 – Legenda pro pultové střechy

Obr. 5 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 4, str. 37



Obr. 6 – převzato z ČSN EN 1991 – 1 – 4, str. 43

Charakteristické a návrhové hodnoty zatížení větrem ($\gamma_f = 1,5$)

vítr příčný – pultová střecha – první pole – směr x (kladné hodnoty $\cong 0 \text{ kN/m}^2$ – zanedbány)

Oblast $F_{1,k} \rightarrow w_e = -1,55 \text{ kN/m}^2$

$F_{1,d} \rightarrow w_e = -2,32 \text{ kN/m}^2$

Oblast $G_{1,k} \rightarrow w_e = -1,11 \text{ kN/m}^2$

$G_{1,d} \rightarrow w_e = -1,66 \text{ kN/m}^2$

Oblast $H_{1,k} \rightarrow w_e = -0,54 \text{ kN/m}^2$

$H_{1,d} \rightarrow w_e = -0,82 \text{ kN/m}^2$

vítr příčný – sedlová střecha – směr x

Oblast $F_{2,k} \rightarrow w_e = -2,21 \text{ kN/m}^2$

$F_{2,d} \rightarrow w_e = -3,32 \text{ kN/m}^2$

Oblast $G_{2,k} \rightarrow w_e = -1,15 \text{ kN/m}^2$

$G_{2,d} \rightarrow w_e = -1,73 \text{ kN/m}^2$

Oblast $H_{2,k} \rightarrow w_e = -0,77 \text{ kN/m}^2$

$H_{2,d} \rightarrow w_e = -1,16 \text{ kN/m}^2$

Oblast $J_{2,k} \rightarrow w_e = -0,58/+0,10 \text{ kN/m}^2$

$J_{2,d} \rightarrow w_e = -0,87/+0,16 \text{ kN/m}^2$

Oblast $I_{2,k} \rightarrow w_e = -0,68/+0,12 \text{ kN/m}^2$

$I_{2,d} \rightarrow w_e = -1,02/+0,19 \text{ kN/m}^2$

vítr příčný – pultová střecha – poslední pole – směr x (hodnoty pro 0,6 c_{pe})

Oblast F_{3,k} → w_e = -1,33 kN/m²

F_{3,d} → w_e = -1,99 kN/m²

Oblast G_{3,k} → w_e = -0,78 kN/m²

G_{3,d} → w_e = -1,12 kN/m²

Oblast H_{3,k} → w_e = -0,46 kN/m²

H_{3,d} → w_e = -0,69 kN/m²

Vítr podélný – sedlová střecha – směr y

Oblast F_{4,k} → w_e = -1,73 kN/m²

F_{4,d} → w_e = -2,59 kN/m²

Oblast G_{4,k} → w_e = -1,14 kN/m²

G_{4,d} → w_e = -1,72 kN/m²

Oblast H_{4,k} → w_e = -0,68 kN/m²

H_{4,d} → w_e = -1,02 kN/m²

Oblast I_{4,k} → w_e = -0,59 kN/m²

I_{4,d} → w_e = -0,89 kN/m²

Vítr podélný - pultová střecha – směr y

Oblast F_{up,k} → w_e = -2,03 kN/m²

F_{up,d} → w_e = -3,05 kN/m²

Oblast F_{low,k} → w_e = -1,96 kN/m²

F_{low,d} → w_e = -2,93 kN/m²

Oblast G_{5,k} → w_e = -1,73 kN/m²

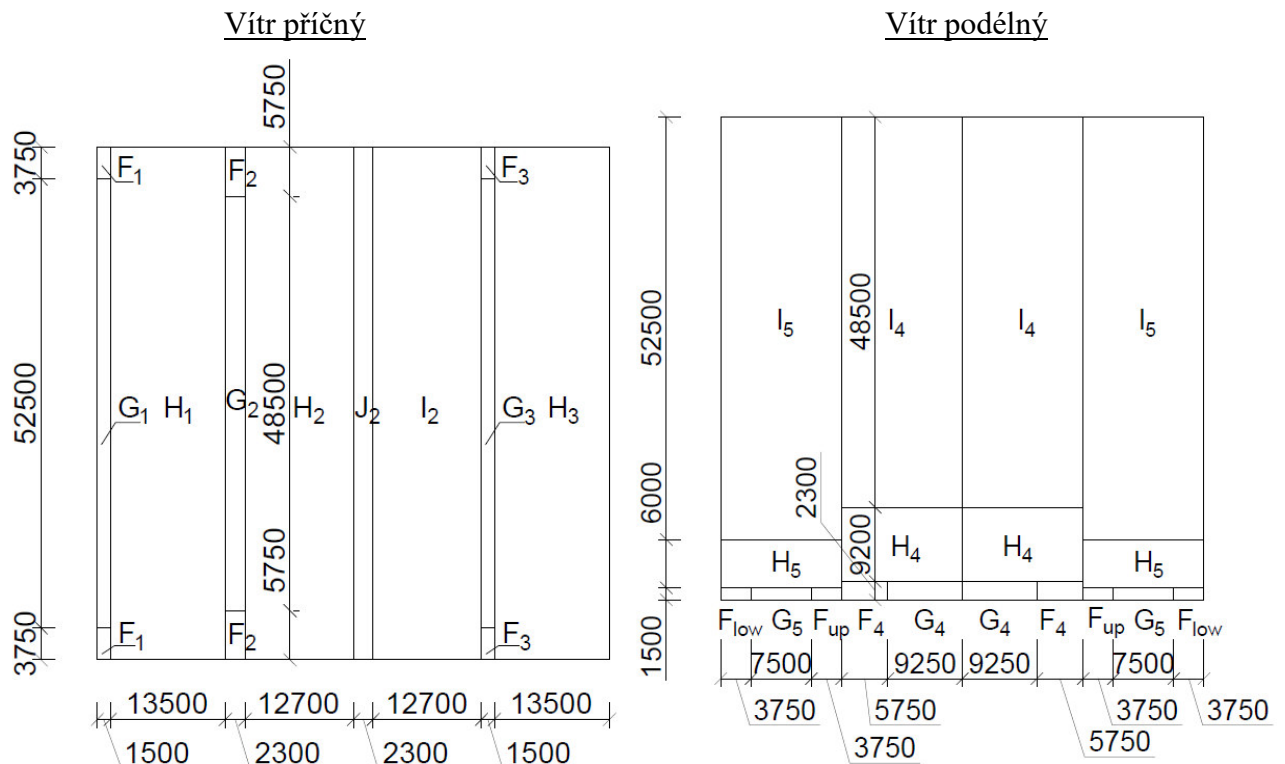
G_{5,d} → w_e = -2,59 kN/m²

Oblast H_{5,k} → w_e = -0,59 kN/m²

H_{5,d} → w_e = -0,89 kN/m²

Oblast I_{5,k} → w_e = -0,50 kN/m²

I_{5,d} → w_e = -0,74 kN/m²



2.4 STŘEŠNÍ PANELY

Kingspan KS1000 RW – 100mm

Rozhoduje zatížení sáním větru

Maximální rozpon (spojitý nosník o 3 a více polích) při zatížení větrem $-2,21 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
max. vzdálenost podpor 2,26 m \rightarrow podpory po 2,25 m

Hmotnost panelu: $11,53 \text{ kg/m}^2$

Součinitel prostupu tepla $U = 0,206 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.5 STĚNOVÉ PANELY

Kingspan KS1000 AWP – 100mm

Rozhoduje zatížení sáním větru

Maximální rozpon (spojitý nosník o 3 a více polích) při zatížení větrem $-1,14 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$
maximální vzdálenost podpor 2,17 m \rightarrow podpory po 2,0 m

Hmotnost panelu: $12,77 \text{ kg/m}^2$

Součinitel prostupu tepla $U = 0,226 \text{ W/m}^2\text{K}$

2.6 VAZNICE

Maximální zatížení na vaznice od sání větru (rozhoduje)

Vaznice v poli

$$F_{max} = H_{2,k} \cdot b + g_{panel} \cdot b = -1,16 \cdot 2,25 + 0,1153 \cdot 2,25 = -2,35 \text{ kN/m}$$

Krajní vaznice

$$F_{max} = F_{1,k} \cdot b_{krajní} + g_{panel} \cdot b = -2,32 \cdot 1,5 + 0,1153 \cdot 1,5 = -3,31 \text{ kN/m}$$

$$F_{max} = F_{2,k} \cdot b_{hřebenová} + g_{panel} \cdot b = -3,32 \cdot 1,2 + 0,1153 \cdot 1,2 = -3,85 \text{ kN/m}$$

Návrh - Z 240/2,5 (krajní) + Z 240/2,0 (vnitřní) - spojitý nosník o 5 a více polích - přesahy 0,6/0,9 m – viz příloha 2

2.7 PAŽDÍKY

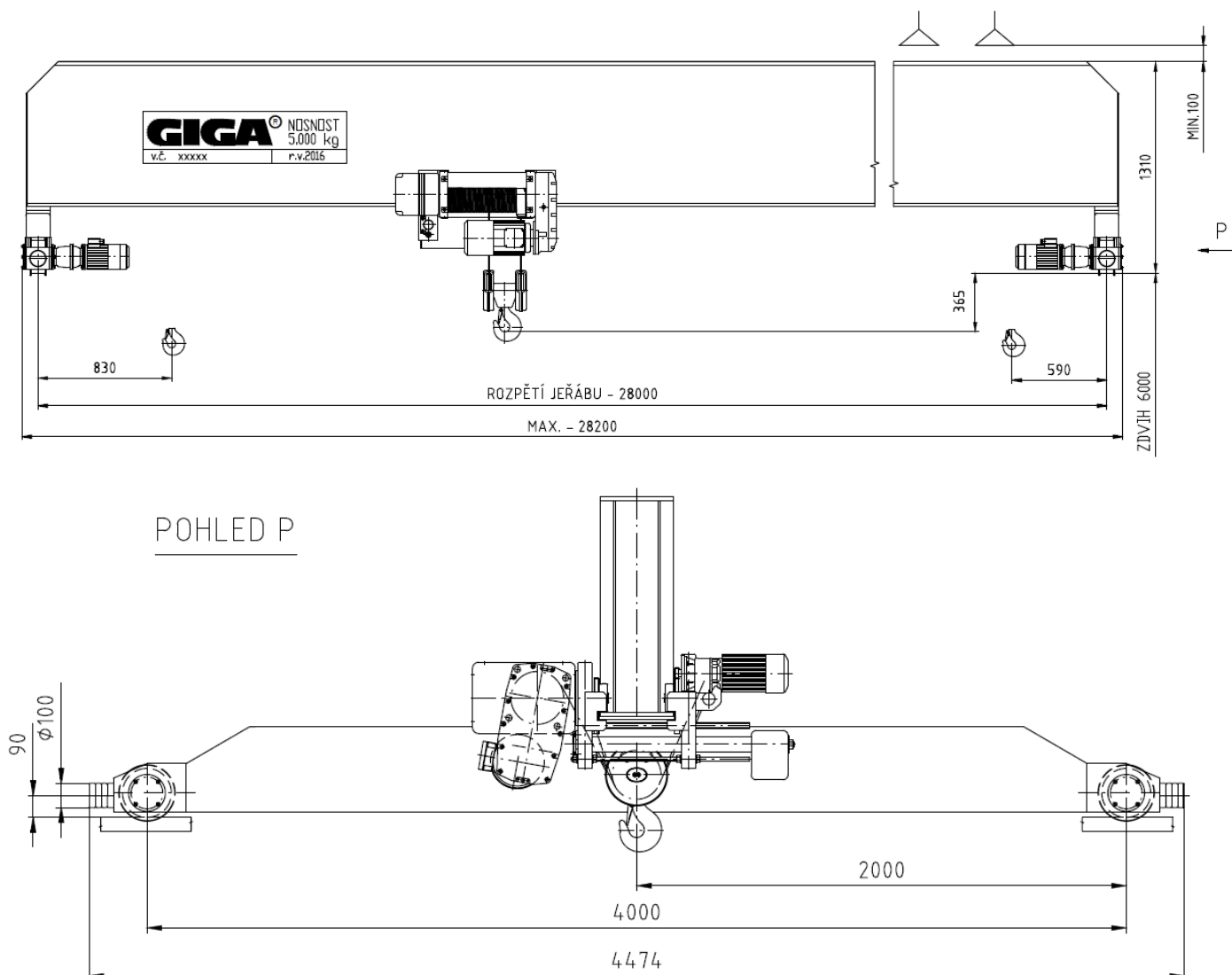
Maximální zatížení na paždíky od sání větru (rozhoduje)

Vaznice v poli

$$F_{max} = H_{2,k} \cdot b + g_{panel} \cdot b = -1,16 \cdot 2,75 = -3,19 \text{ kN/m}$$

Návrh - C 140/2,0 – spojitý nosník o 2 polích – viz příloha 2

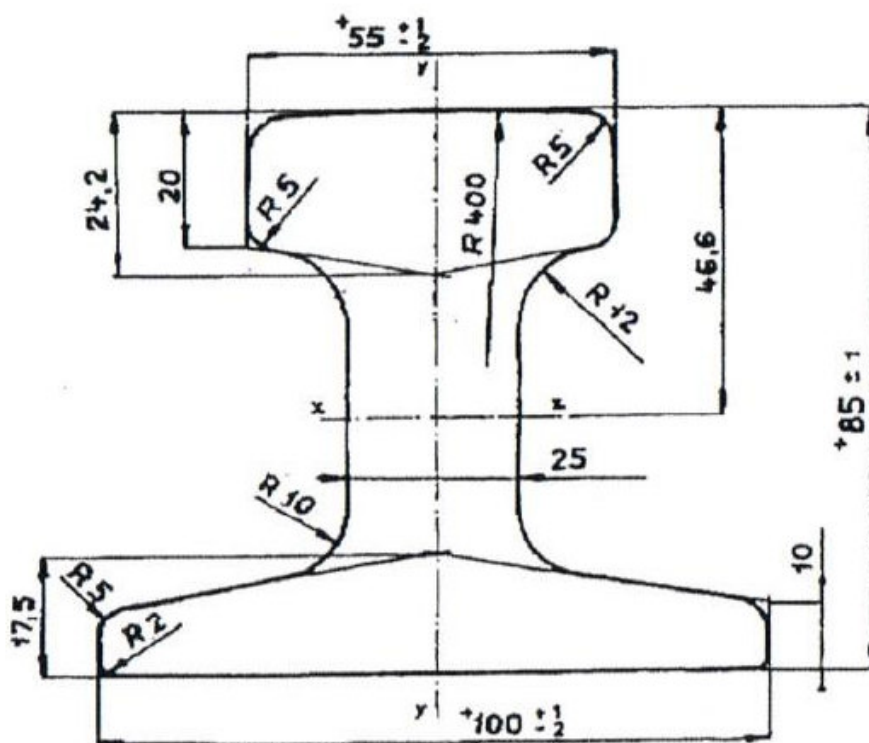
3 JEŘÁBOVÁ DRÁHA



3.1 TECHNICKÉ ÚDAJE JEŘÁBU

Značení	Popis	Hodnota	Jednotky
Q	Nosnost jeřábu	5,0	t
l	Rozpětí jeřábu	28,0	m
a	Rozvor kol příčnicku	4,0	m
p	Vzdálenost osy kola od konce příčnicku	237	mm
O	Vzdálenost osy kola od vnějšího líce jeřábu	100	mm
B	Stavební výška jeřábu	1310	mm

C	Konstrukční výška háku	365	mm
D	Konstrukční výška jeřábu	1410	mm
e	Dojezd kladkostroje	830/590	mm
P	Instalovaný výkon motoru	7,5	kW
V_{max}	Maximální kolový tlak	44,83	kN
V_{min}	Minimální kolový tlak	18,52	kN
Q_h	Tíha břemene	50	kN
Q_t	Tíha kočky	4,95	kN
Q_c	Celková hmotnost jeřábu s kladkostrojem	76,7	kN



Šířka hlavy		55 mm
Hmotnost		29,6 kg/m
Plocha průřezu		37,7 cm ²
Moment setrvačnosti k ose ohybu x	I_x	309,5 cm ⁴
Průřezový modul k ose ohybu x	W_x	66,43 cm ³
Moment setrvačnosti k ose ohybu y	I_y	130,5 cm ⁴
Průřezový modul k ose ohybu y	W_y	26,1 cm ³
Statická hodnota c_x	c_x	4,66 cm
Statická hodnota c_y	c_y	3,84 cm

Doplňující technické údaje

Značení	Popis	Hodnota	Jednotky
v_h	Rychlost zdvihu	0,083	<i>m/s</i>
v_k	Rychlost pojezdu kladkostroje	0,33	<i>m/s</i>
v_m	Rychlost pojezdu mostu	0,67	<i>m/s</i>
HC2	Třída zvedacího zařízení		
S_4	Kategorie S		
JKL 55	Typ kolejnice (bezstyková, přípoj příchýtkami)		
IFF	Vedení pomocí nákolků (pohon jednotlivých kol)		
n	Počet dvojic kol	2	
m_w	Počet pohonů jednotlivých kol	2	

3.2 ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

3.2.1 STÁLÉ ZATÍŽENÍ

	$g_k [kN/m^2]$	γ_G	
Vlastní tíha kolejnice	0,3	1,35	0,41
Vlastní tíha jeřábové dráhy (odhad)	1	1,35	1,35
Stálé zatížení celkem	1,3		1,76

3.2.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

3.2.2.1 SVISLÁ ZATÍŽENÍ

3.2.2.1.1 TÍHA JEŘÁBU

Svislé síly kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

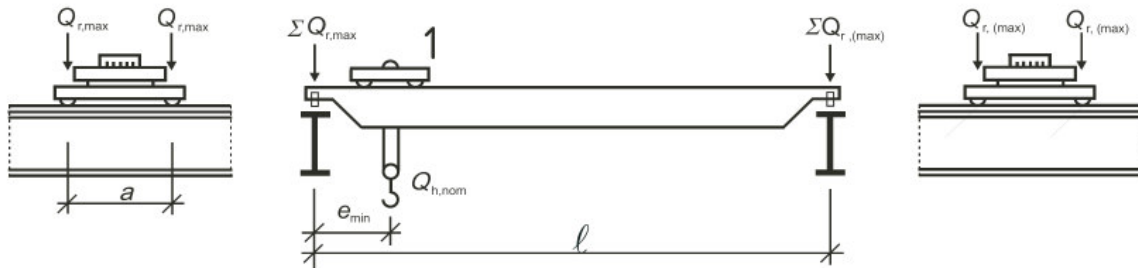
$$Q_{c,r,max} = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t(l - e)}{l} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{76,7 - 4,95}{2} + \frac{4,95(28 - 0,59)}{28} \right) = 20,4 \text{ kN}$$

$$Q_{c,r,(max)} = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_c - Q_t}{2} + \frac{Q_t e}{l} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{76,7 - 4,95}{2} + \frac{4,95 \cdot 0,83}{28} \right) = 18,0 \text{ kN}$$

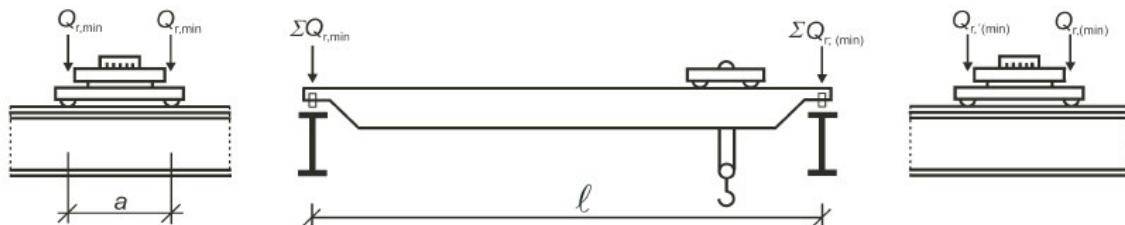
Svislé síly kol nezátíženého jeřábu

$$Q_{C,r,min} = Q_{C,r,max} = 18,0 \text{ kN}$$

$$Q_{C,r,(min)} = Q_{C,r,(max)} = 20,4 \text{ kN}$$



a) Uspořádání zatíženého jeřábu při maximálním zatížení nosníku jeřábové dráhy



b) Uspořádání zatíženého jeřábu při minimálním zatížení nosníku jeřábové dráhy

Obr. 7 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 19

3.2.2.1.2 ZATÍŽENÍ KLDKOSTROJE

Svislé síly kol zatíženého jeřábu způsobené jeho vlastní tíhou

$$Q_{H,r,max} = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_h(l-e)}{l} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{50(28-0,59)}{28} \right) = 24,5 \text{ kN}$$

$$Q_{H,r,(max)} = \frac{1}{n} \left(\frac{Q_h e}{l} \right) = \frac{1}{2} \left(\frac{50 \cdot 0,83}{28} \right) = 0,8 \text{ kN}$$

3.2.2.2 VODOROVNÁ ZATÍŽENÍ

3.2.2.2.1 SÍLY OD ZRYCHLENÍ JEŘÁBU

Hnací síla

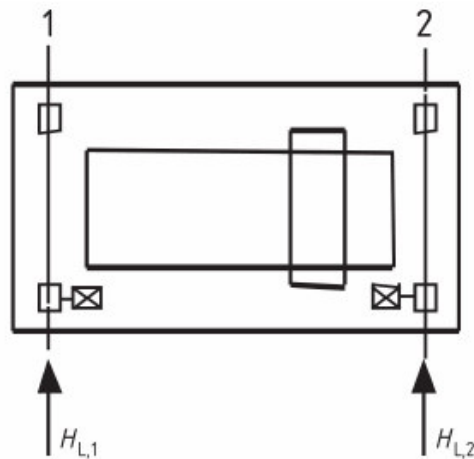
$$K = \mu m_w Q_{C,r,min} = 0,2 \cdot 2 \cdot 18 = 7,2 \text{ kN}$$

$\mu = 0,2$ – součinitel tření pro ocel – ocel

Síly způsobené rozjezdem, nebo bržděním jeřábu

$$H_{L,i} = H_{L,1} = H_{L,2} = \frac{K}{n_r} = \frac{7,2}{2} = 3,6 \text{ kN}$$

$n_r = 2$ – počet nosníků jeřábové dráhy



Legenda

- 1 kolejnice $i = 1$
- 2 kolejnice $i = 2$

Obrázek 2.5 – Vodorovné síly v podélném směru $H_{L,i}$

Obr. 8 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 23

Moment M , který vzniká při působení hnací síly, má mít působíště v těžišti. Je udržován v rovnováze příčnými vodorovnými zatíženími $H_{T,1}$ a $H_{T,2}$ (viz obr. 9)

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

ξ_i – podíl vzdáleností těžiště jeřábu od osy jeřábové kolenice a rozpětí jeřábu

$$H_{T,1} = \xi_2 \frac{M}{a}$$

$$H_{T,2} = \xi_1 \frac{M}{a}$$

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{n(Q_{c,r,max} + Q_{h,r,max})}{Q_c + Q_h} = \frac{2(20,4 + 24,5)}{76,7 + 50} = 0,709$$

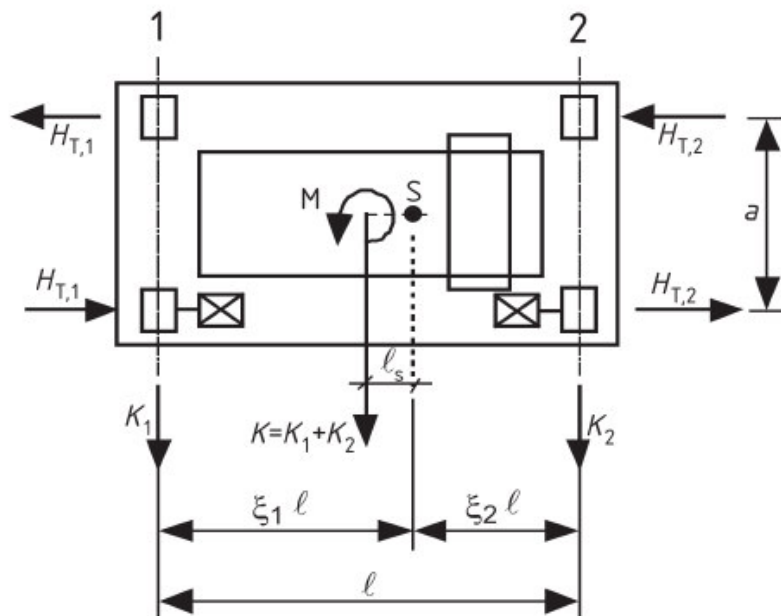
$$\xi_2 = 1 - \xi_1 = 1 - 0,709 = 0,291$$

Moment hnací síly k těžišti jeřábu

$$M = K l_s = K (\xi_1 - 0,5)l = 7,2 \cdot (0,709 - 0,5) \cdot 28 = 42,1 \text{ kNm}$$

$$H_{T,1} = \xi_2 \frac{M}{a} = 0,291 \cdot \frac{42,1}{4} = 3,1 \text{ kN}$$

$$H_{T,2} = \xi_1 \frac{M}{a} = 0,709 \cdot \frac{42,1}{4} = 7,5 \text{ kN}$$



Legenda

- 1 kolejnice $i = 1$
- 2 kolejnice $i = 2$

Obrázek 2.6 – Definice sil v příčném směru $H_{T,i}$

Obr. 9 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 24

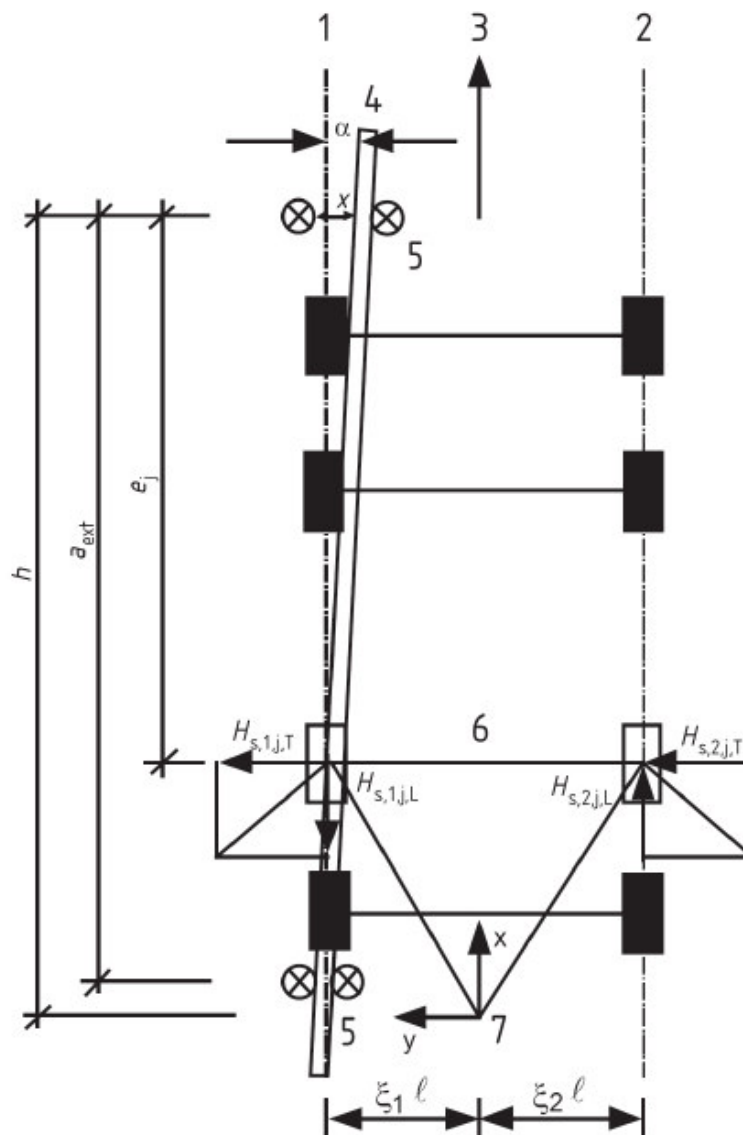
3.2.2.2.2 SÍLY OD PŘÍČENÍ JEŘÁBU

Příčné síly způsobené příčením (nákolky – vůle 15 mm)

f – součinitel reakcí příčení

$$f = 0,3(1 - e^{-250\alpha})$$

Úhel příčeni α



Legenda

- 1 kolejnice $i = 1$
- 2 kolejnice $i = 2$
- 3 směr pohybu
- 4 směr kolejnice
- 5 vodící prostředky
- 6 dvojice kol j
- 7 okamžitý střed otáčení

Obrázek 2.8 – Definice úhlu α a vzdálenosti h

Obr. 10 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 27

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_v + \alpha_0$$

$$\alpha_f = \frac{0,75x}{a_{ext}} = \frac{0,75 \cdot 15}{3} = 3,75 \text{ mrad}$$

$$\alpha_v = \frac{y}{a_{ext}} = \frac{0,1 b}{a_{ext}} = \frac{0,1 \cdot 55}{3} = 1,83 \text{ mrad}$$

$$\alpha_0 = 1 \text{ mrad}$$

$$\alpha = \alpha_f + \alpha_v + \alpha_0 = 0,00375 + 0,00183 + 0,001 = 0,00658 \text{ rad}$$

$$\leq 0,015 \text{ rad ... vyhovuje}$$

$$f = 0,3(1 - e^{-250\alpha}) = 0,3(1 - e^{-250 \cdot 0,00658}) = 0,24$$

Součinitele síly (dvojice kol typu I (ve dvojici nezávislá), $e_1 = 0, e_2 = a$)

$$h = \frac{\sum e_j^2}{e_j} = \frac{4^2}{4} = 4 \text{ m}$$

$$\lambda_{s,1,1,T} = \frac{\xi_2}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,291}{2} = 0,146$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{\xi_1}{n} \left(1 - \frac{e_1}{h}\right) = \frac{0,709}{2} = 0,355$$

Vodorovné síly od přičení

$$H_{S,1,1,T} = f \lambda_{s,1,1,T} \sum Q_r = 0,24 \cdot 0,146 \cdot (76,7 + 50) = 4,5 \text{ kN}$$

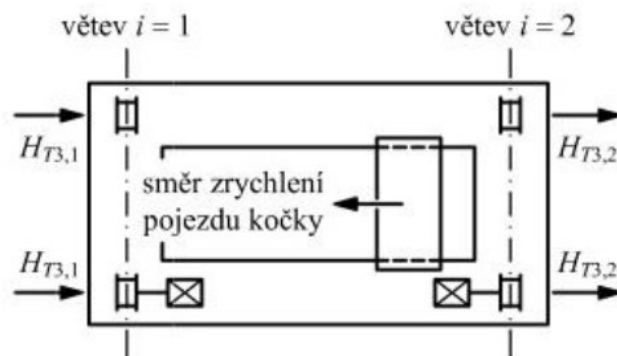
$$H_{S,2,1,T} = f \lambda_{s,2,1,T} \sum Q_r = 0,24 \cdot 0,355 \cdot (76,7 + 50) = 10,8 \text{ kN}$$

3.2.2.2.3 ZRYCHLENÍ KOČKY

Za předpokladu, že užitečné zatížení není rozkývané, horizontální zatížení $HB,2$, reprezentující síly na nárazníky vztažené k pohybu kočky nebo podvěsné kočky, lze uvážit jako 10 % součtu zatížení kladkostroje a tíhy kočky nebo podvěsné kočky.

$$H_{T,3,1} = \frac{0,1}{2} (Q_h + Q_t) \left(\frac{l - e}{l}\right) = \frac{0,1}{2} (50 + 4,95) \left(\frac{28 - 0,59}{28}\right) = 2,7 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,2} = \frac{0,1}{2} (Q_h + Q_t) \left(\frac{l - e}{l}\right) = \frac{0,1}{2} (50 + 4,95) \left(\frac{0,59}{28}\right) = 0,1 \text{ kN}$$



Obr. 7 Příčné vodorovné síly od rozjezdu nebo brzdění kočky

3.2.3 CHARAKTERISTICKÉ HODNOTY ZATÍŽENÍ JEŘÁBEM

Dynamické součinitele

Tabulka 2.1 – Různé druhy dynamických součinitelů φ_i

Dynamický součinitel	Uvažované účinky	Použije se pro
φ_1	– buzení vibrací konstrukce jeřábu při zvednutí zatížení kladkostroje ze země	vlastní tíhu jeřábu
φ_2 nebo φ_3	– dynamické účinky zatížení kladkostroje při zvedání ze země k jeřábu – dynamický účinek náhlého uvolnění užitečného zatížení, jestliže jsou použity např. drapáky nebo magnety	zatížení kladkostroje
φ_4	– dynamické účinky, vznikající při pojezdu na kolejích nebo jeřábových drahách	vlastní tíhu jeřábu a zatížení kladkostroje
φ_5	– dynamické účinky vyvolané hnacími silami	hnací síly
φ_6	– dynamické účinky zkušebního zatížení, které se pohybuje po dráze jeřábu pomocí pohonů	zkušební zatížení
φ_7	– dynamický pružný účinek nárazu na nárazníky	síly na nárazníky

Obr. 11 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 17

$$\varphi_1 = 1,1$$

$$\varphi_2 = \varphi_{2,min} + \beta_2 v_h = 1,1 + 0,34 \cdot 0,083 = 1,13$$

$$\varphi_{2,min} = 1,1, \beta_2 = 0,34 \text{ (dle ČSN EN 1991 – 3, tabulka 2.5, str. 23)}$$

$$\varphi_4 = 1,0 \text{ (za předpokladu, že jsou dodrženy tolerance kolejových tratí podle EN 1993 – 6.)}$$

$$\varphi_5 = 1,5 \text{ (přb systémy, kde se síly mění pozvolna)}$$

$$\varphi_6 = 1,0 \text{ (stat.) – zatíženo 125% jmenovitého zatížení, jeřáb v příznivé pozici}$$

$$\varphi_6 = 0,5 (1 + \varphi_2) = 0,5(1 + 1,13) = 1,06 \text{ (dyn.)}$$

Tabulka 2.2 – Skupiny zatížení a dynamických součinitelů uvažovaných jako jedno charakteristické zatížení od jeřábu

		Značka	Kapitola	Skupina zatížení										
				Mezní stav únosnosti								Zkušební zatížení	Mimořádná	
				1	2	3	4	5	6	7	8			
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	-	-	1	-	-	-	-	-	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.

Obr. 12 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 18

Rozhodující zatěžovací stavy: 1,5,6,8

3.2.4 KOMBINAČNÍ SOUČINITELE PRO ZATÍŽENÍ JEŘÁBY

Pro jediný jeřáb nebo skupiny zatížení od jeřábů jsou kombinační součinitele:

$$\psi_0 = 1,0$$

$$\psi_1 = 0,9$$

$$\psi_2 = \frac{Q_c}{Q_c + Q_h} = \frac{76,7}{76,7 + 50} = 0,61$$

3.3 ÚNAVOVÉ ZATÍŽENÍ

Ekvivalentní únavové zatížení jedním kolem zatíženého jeřábu Q_e pro počet zatěžovacích cyklů k referenční hodnotě $N_c = 2,0 \cdot 10^6$ cyklů.

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

φ_{fat} – dynamický součinitel pro ekvivalentní poškození rázem

λ – součinitel ekvivalentního poškození

$$\varphi_{fat,1} = \frac{1 + \varphi_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05$$

$$\varphi_{fat,2} = \frac{1 + \varphi_2}{2} = \frac{1 + 1,13}{2} = 1,07$$

Ekvivalentní zatížení poškození únavou:

$\lambda_\sigma, \lambda_\tau$ – z tabulky 2.12 v ČSN EN 1991 – 3, str. 32 – klasifikace jeřábové dráhy S_4

$$\lambda_\sigma = 0,500$$

$$\lambda_\tau = 0,660$$

$$Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \lambda_\sigma Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_\sigma Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,63 \cdot 20,4 + 1,07 \cdot 0,500 \cdot 24,5 \\ = 26,6 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \varphi_{fat,1} \lambda_\tau Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_\tau Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,758 \cdot 20,4 + 1,07 \cdot 0,660 \cdot 24,5 \\ = 33,5 \text{ kN}$$

Pro lokální účinky od kolového zatížení uvažujeme počet cyklů 2násobný oproti počtu pracovních cyklů jeřábu. Kategorie účinků je tedy o jednu vyšší, tedy S_5

$$\lambda_{\sigma,loc} = 0,630$$

$$\lambda_{\tau,loc} = 0,758$$

$$Q_{e,\sigma} = \varphi_{fat,1} \lambda_{\sigma,loc} Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_{\sigma,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,63 \cdot 20,4 + 1,07 \cdot 0,63 \cdot 24,5 \\ = 30,0 \text{ kN}$$

$$Q_{e,\tau} = \varphi_{fat,1} \lambda_{\tau,loc} Q_{C,r,max} + \varphi_{fat,2} \lambda_{\tau,loc} Q_{H,r,max} = 1,05 \cdot 0,758 \cdot 20,4 + 1,07 \cdot 0,758 \cdot 24,5 \\ = 36,1 \text{ kN}$$

4 VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL

Hlavní nosník jeřábové dráhy působí jako prostý nosník na rozpětí 6 m. Profil nosníku je HEA.

4.1 VNITŘNÍ SÍLY - SVISLÉ ZATÍŽENÍ

Součinitele spolehlivosti

Tabulka A.1 – Doporučené hodnoty dílčích součinitelů zatížení γ

Zatížení	Značka	Situace	
		P/T	A
Stálá zatížení od jeřábů			
- nepříznivá	$\gamma_{G\ sup}$	1,35	1,00
- příznivá	$\gamma_{G\ inf}$	1,00	1,00
Proměnná zatížení od jeřábu			
- nepříznivá	$\gamma_{Q\ sup}$	1,35	1,00
- příznivá:	$\gamma_{Q\ inf}$		
- s jeřábem		1,00	1,00
- bez jeřábu		0,00	0,00
Ostatní proměnná zatížení	γ_Q		
- nepříznivá		1,50	1,00
- příznivá		0,00	0,00
Mimořádná	γ_A	-	1,00

P - trvalá situace T - dočasná situace A - mimořádná situace

Obr. 13 – převzato z ČSN EN 1991 – 3, str. 11

4.1.1 VNITŘNÍ SÍLY OD PŮSOBENÍ JEŘÁBU

Maximální svislé síly namáhající nosník

$$F_1 = \gamma_{Q, sup} (\varphi_1 Q_{c,r, max} + \varphi_2 Q_{H,r, max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 20,4 + 1,13 \cdot 24,5) = 67,7 \text{ kN}$$

$$F_5 = \gamma_{Q, sup} (\varphi_4 Q_{c,r, max} + \varphi_4 Q_{H,r, max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 20,4 + 1,0 \cdot 24,5) = 60,6 \text{ kN}$$

$$F_6 = \gamma_{Q, sup} (\varphi_4 Q_{c,r, max} + \varphi_4 Q_{H,r, max}) = 1,35 \cdot (1,0 \cdot 20,4 + 1,0 \cdot 24,5) = 60,6 \text{ kN}$$

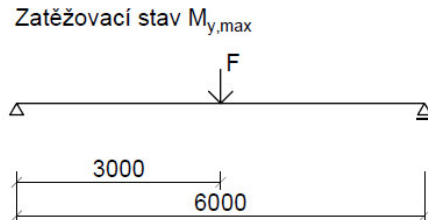
$$F_{8, stat} = \gamma_{Q, sup} (\varphi_1 Q_{c,r, max} + \gamma_{zk, stat} Q_{H,r, max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 20,4 + 1,25 \cdot 24,5) = 71,6 \text{ kN}$$

$$F_{8, dyn} = \gamma_{Q, sup} (\varphi_1 Q_{c,r, max} + \gamma_{zk, dyn} Q_{H,r, max}) = 1,35 \cdot (1,1 \cdot 20,4 + 1,1 \cdot 24,5) = 66,7 \text{ kN}$$

Maximální ohybový moment, vzhledem k rozvoru kol 4 m a rozponu 6 m, nastává v případě, kdy se jedno kolo nachází v polovině nosníku a druhé kolo je již na nosníku sousedního pole.

$$M_{11,Ed,y} = \frac{1}{4} F l = \frac{1}{4} \cdot 67,7 \cdot 6 = 107,4 \text{ kNm}$$

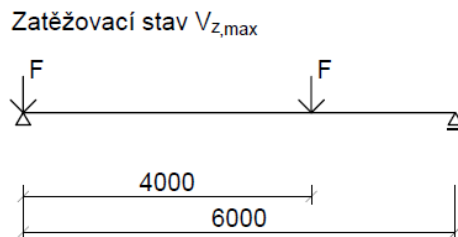
$$V_{11,Ed,z} = \frac{1}{2} F = \frac{1}{2} \cdot 67,7 = 33,9 \text{ kN}$$



Maximální posouvající síla pak nastává v případě, kdy se obě kola nachází na jednom nosníku, přičemž jedno kolo je přímo nad podporou.

$$M_{12,Ed,y} = \frac{2}{3} F \cdot \frac{1}{3} l = \frac{2}{9} \cdot 67,7 \cdot 6 = 90,3 \text{ kNm}$$

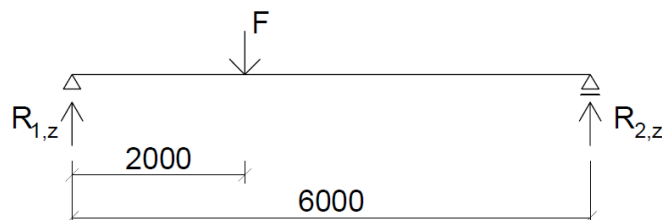
$$V_{12,Ed,z} = F + \frac{1}{3} F = \frac{4}{3} \cdot 67,7 = 90,3 \text{ kN}$$



Pro zatěžovací stav 8(stat) se jeřáb umístí do nejpříznivější polohy, kdy je symetricky nad podporou.

$$M_{8,stat,Ed,y} = \frac{2}{3} F \cdot \frac{1}{3} l = \frac{2}{9} \cdot 67,7 \cdot 6 = 95,5 \text{ kNm}$$

$$V_{8,stat,Ed,z} = \frac{2}{3} F = \frac{2}{3} \cdot 71,6 = 47,7 \text{ kN}$$



Návrhové hodnoty pro další kombinace získáme přenásobením poměrem sil

	Vnitřní síla	Skupina zatížení				
		1	5	6	8(stat)	8(dyn)
Maximální moment	$M_{11,Ed,y}$ [kNm]	107,4	96,1	96,1	95,5	105,8
	$V_{11,Ed,z}$ [kN]	33,9	30,4	30,4	47,7	33,4
Maximální posouvající síla	$M_{12,Ed,y}$ [kNm]	90,3	80,8	80,8	-	88,9
	$V_{12,Ed,z}$ [kN]	90,3	80,8	80,8	-	88,9

4.1.2 VNITŘNÍ SÍLY OD VLASTNÍ TÍHY JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Zatížení viz kapitola 3.2.1 - $g_k = 1,3 \text{ kN/m}$; $g_d = 1,76 \text{ kN/m}$

$$V_{g,Ed,z} = \frac{1}{2} g_d l = \frac{1}{2} \cdot 1,76 \cdot 6 = 5,3 \text{ kN}$$

$$M_{g,Ed,y} = \frac{1}{8} g_d l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,76 \cdot 6^2 = 7,9 \text{ kNm}$$

4.1.2 VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ SÍLY OD SVISLÉHO ZATÍŽENÍ

	Vnitřní síla	Skupina zatížení				
		1	5	6	8(stat.)	8(dyn)
Maximální moment	$M_{11,Ed,y}$ [kNm]	115,3	104	104	103,4	113,6
	$V_{11,Ed,z}$ [kN]	39,2	35,7	35,7	53	38,6
Maximální posouvající síla	$M_{12,Ed,y}$ [kNm]	98,2	88,7	88,7	-	96,8
	$V_{12,Ed,z}$ [kN]	95,6	86,1	86,1	-	94,2

Vzhledem k malému rozdílu mezi momenty při zatěžovacích stavech pro maximální moment a maximální posouvající sílu, bude pro nejnepríznivější kombinaci uvažován zároveň největší moment i posouvající síla.

4.2 VNITŘNÍ SÍLY - VODOROVNÉ ZATÍŽENÍ

4.2.1 ZRYCHLENÍ MOSTU JEŘÁBU

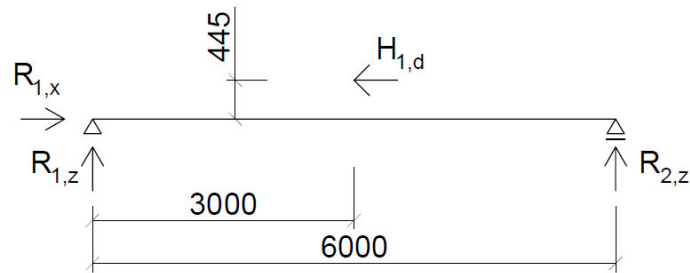
4.2.1.1 PODÉLNÉ SÍLY

$$H_{L,d} = \gamma_{Q,sup} \varphi_5 H_{L,i} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 3,6 = 7,3 \text{ kN}$$

Síla vůči podpoře nosníku působí na rameni rovném výšce hlavního nosníku a výšce koleje.

$$\text{Odhad ramene: } z = h_n + h_k = 360 + 85 = 445 \text{ mm}$$

Síla působí v místě působení síly pro maximální ohybový moment od svislého zatížení, tedy v polovině nosníku



$$R_{1,x} = H_{L,d} = 7,3 \text{ kN}$$

$$R_{1,z} = \frac{H_{L,d} z}{l} = \frac{7,3 \cdot 0,445}{6} = 0,54 \text{ kN}$$

$$R_{2,z} = -R_{1,z} = -0,54 \text{ kN}$$

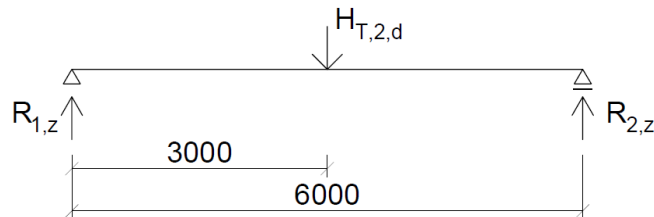
$$N_{L,Ed} = 7,3 \text{ kN}$$

$$V_{L,Ed,z} = 0,54 \text{ kN}$$

$$M_{L,Ed,y} = R_{1,z} \frac{l}{2} = 0,54 \cdot 3 = 1,6 \text{ kNm}$$

4.2.1.2 PŘÍČNÉ SÍLY

Jelikož síly $H_{T,2}$ působí proti sobě, nejnepříznivější stav nastane, pokud se na nosníku bude nacházet pouze jedno kolo a to v polovině nosníku.



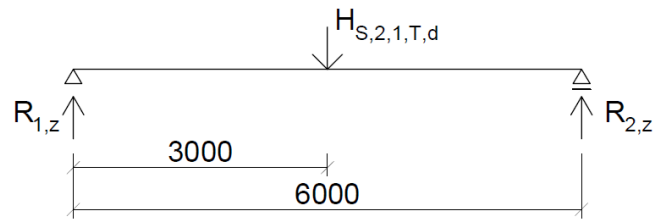
$$H_{T,2,d} = \gamma_{Q,sup} \varphi_5 H_{T,2} = 1,35 \cdot 1,5 \cdot 7,5 = 15,2 \text{ kN}$$

$$R_{1,z} = V_{H,T,Ed,y} = \frac{1}{2} H_{T,2} = \frac{1}{2} \cdot 15,2 = 7,6 \text{ kN}$$

$$M_{H,T,Ed,z} = R_{1,z} \frac{l}{2} = 7,6 \cdot \frac{6}{2} = 22,8 \text{ kNm}$$

4.2.2 PŘÍČENÍ MOSTU JEŘÁBU

$$H_{S,2,1,T,d} = \gamma_{Q,sup} H_{S,2,1,T} = 1,35 \cdot 10,8 = 14,6 \text{ kN}$$



$$R_{1,z} = V_{S,Ed,y} = \frac{1}{2} H_{S,2,1,T,d} = \frac{1}{2} \cdot 14,6 = 7,3 \text{ kN}$$

$$M_{S,Ed,z} = R_{1,z} \frac{l}{2} = 7,3 \cdot \frac{6}{2} = 21,9 \text{ kNm}$$

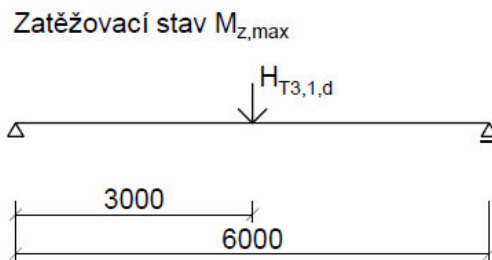
4.2.3 ZRYCHLENÍ KOČKY

$$H_{T,3,1,d} = \gamma_{Q,sup} H_{T,3,1} = 1,35 \cdot 2,7 = 3,7 \text{ kN}$$

Maximální ohybový moment, vzhledem k rozvoru kol 4 m a rozponu 6 m, nastává v případě, kdy se jedno kolo nachází v polovině nosníku a druhé kolo je již na nosníku sousedního pole.

$$M_{T3,Ed,z} = \frac{1}{4} H_{T,3,1,d} l = \frac{1}{4} \cdot 3,7 \cdot 6 = 5,6 \text{ kNm}$$

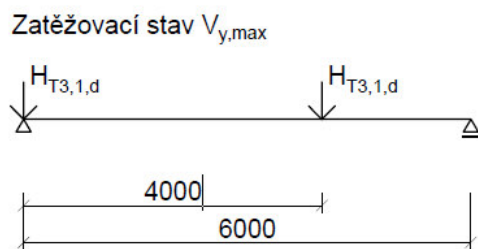
$$V_{11,Ed,z} = \frac{1}{2} H_{T,3,1,d} = \frac{1}{2} \cdot 3,7 = 1,9 \text{ kN}$$



Maximální posouvající síla pak nastává v případě, kdy se obě kola nachází na jednom nosníku, přičemž jedno kolo je přímo nad podporou.

$$M_{T3,Ed,z} = \frac{2}{3} H_{T,3,1,d} \cdot \frac{1}{3} l = \frac{2}{9} \cdot 3,7 \cdot 6 = 4,9 \text{ kNm}$$

$$V_{11,Ed,z} = H_{T,3,1,d} + \frac{1}{3} H_{T,3,1,d} = \frac{4}{3} \cdot 3,7 = 4,9 \text{ kN}$$



4.3 HODNOTY NÁVRHOVÝCH HODNOT ZATÍŽENÍ

Pozn.: Jelikož jsou hodnoty výše vypočtených vodorovných sil vypočtena se 100% zatížení, avšak pro zkušební zatížení 8 (dyn) má být velikost zatížení rovna hodnotě 110%, budou vypočtené hodnoty vodorovného zatížení ještě přenásobeny poměrem sil

$$\frac{1,1 Q_h + Q_t}{Q_h + Q_t} = \frac{1,1 \cdot 24,5 + 20,4}{24,5 + 20,4} = 1,06$$

Maximální normálová síla $N_{Ed} = 7,3 \text{ kN}$

Výsledné posouvající síly ve svislém směru $V_{i,z}$ [kN]						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		1	5	6	8 (stat)	8 (dyn)
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	95,6	86,1	86,1	53	93,9
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T, N_{Ed}	0,6	-	-	-	0,6
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	0	-	-	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	0	-	-
Celkem		96,2	86,1	86,1	53	94,5

Výsledné ohybové momenty v ose y $M_{i,y}$ [kNm]						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		1	5	6	8 (stat)	8 (dyn)
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	115,3	104	104	103,4	113,2
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T, N_{Ed}	1,6	-	-	-	1,7
Příčení mostu jeřábu	H_S, S	-	0	-	-	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	0	-	-
Celkem		116,9	104	104	103,4	114,8

Výsledné posouvající síly ve vodorovném směru $V_{i,y}$ [kN]						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		1	5	6	8 (stat)	8 (dyn)
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T, N_{Ed}	7,6	-	-	-	7,6
Příčeni mostu jeřábu	H_S, S	-	7,3	-	-	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	4,9	-	-
Celkem		7,6	7,3	4,9	0	7,6

Výsledné ohybové momenty v ose z $M_{i,z}$ [kNm]						
Zatížení	Značka	Skupina zatížení				
		1	5	6	8 (stat)	8 (dyn)
Vlastní tíha jeřábu a zatížení kladkostroje	$Q_c + Q_H$	0	0	0	0	0
Zrychlení mostu jeřábu	H_L, H_T, N_{Ed}	22,8	-	-	-	24,2
Příčeni mostu jeřábu	H_S, S	-	21,9	-	-	-
Zrychlení kočky	H_{T3}	-	-	5,6	-	-
Celkem		22,8	21,9	5,6	0	24,2

5 POSOUZENÍ HLAVNÍCH PRVKŮ HALY

5.1 NÁVRH HLAVNÍHO JEŘÁBOVÉHO NOSNÍKU

Vzhledem k tomu že pro nosníky jeřábové dráhy často rozhoduje mezní stav použitelnosti, bude pro odhad profilu nosníku nejprve ověřen tento mezní stav a následně bude nosník posouzen.

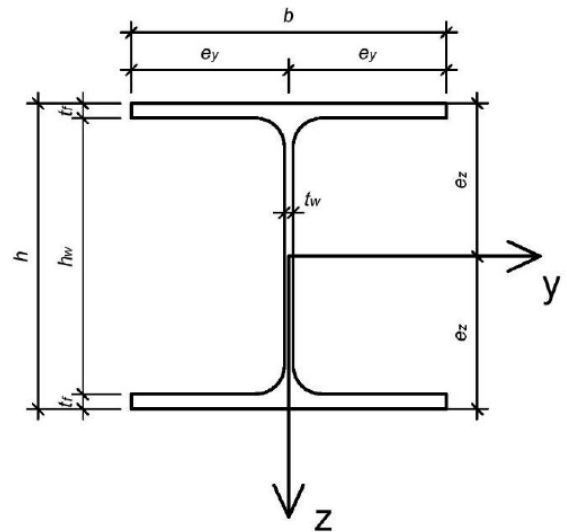
Profil nosníku HEA 280

Ocel: S355J0

Třída nosníku: 3

5.1.1 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI

Rozměry	Průřezové charakteristiky
$h = 270 \text{ mm}$	$A = 9726 \text{ mm}^2$
$b = 280 \text{ mm}$	$A_{vz} = 3174 \text{ mm}^2$
$t_w = 8 \text{ mm}$	$W_{el,y} = 1013 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$t_f = 13 \text{ mm}$	$W_{el,z} = 340,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$h_w = 244 \text{ mm}$	$W_{pl,y} = 1112 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$
$e_z = 135 \text{ mm}$	$I_y = 13670 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
$e_y = 140 \text{ mm}$	$I_z = 4763 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$
	$I_t = 621 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$
	$I_\omega = 785,4 \cdot 10^9 \text{ mm}^6$



(MSP)

Limitní deformace nosníku jeřábové dráhy ve svislém i vodorovném směru

$$\delta_{lim} = \min\left(\frac{l}{600}; 25\right) = \min\left(\frac{6000}{600}; 25\right) = \min(10; 25) = 10 \text{ mm}$$

Deformace nosníku jsou spočteny v programu SCIA Engineer 16.0

Svislá deformace ve směru osy z

Svislá deformace nosníku od vlastní tíhy $\delta_1 = 0,5 \text{ mm}$

Maximální svislá síla vzniká od zatěžovacího stavu 1

$$F_{1,k} = \varphi_1 Q_{c,r,max} + \varphi_2 Q_{H,r,max} = 48,1 \text{ kN}$$

Svislá deformace od zatížení $\delta_2 = 8,7 \text{ mm}$

Celková deformace $\delta_z = \delta_1 + \delta_2 = 0,5 + 7,9 = 8,4 \text{ mm} < \delta_{lim} = 10 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$

Vodorovná deformace ve směru osy y

Maximální vodorovná síly vzniká od příčných sil při zrychlení jeřábu

$$\varphi_5 H_{T,2} = 1,5 \cdot 7,5 = 11,25 \text{ kN}$$

Vodorovná deformace od zatížení $\delta_y = 5,1 \text{ mm} < \delta_{lim} = 10 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$

Profil HEA 280 vyhoví na MSP.

5.1.2 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU ÚNOSNOSTI (MSÚ)

5.1.2.1 NAPĚTÍ VE SPODNÍCH VLÁKNECH

Maximální ohybový moment $M_{y,Ed}$ nastává pro zatěžovací stav 8 (stat)

$$\sigma_{8,stat,s,Ed} = \frac{M_{8,y,Ed}}{W_{el,y}} = \frac{121,5 \cdot 10^6}{1013 \cdot 10^3} = 119,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.1.2.2 NAPĚTÍ V HORNÍCH VLÁKNECH

Dochází ke kombinaci ohybových momentů $M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$ a normálové síly N_{Ed} je třeba posoudit kombinace pro více zatěžovacích stavů – kombinace 1, 8(dyn)

$$\begin{aligned} \sigma_{1,h,Ed} &= \frac{M_{1,y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z}} + \frac{N_{1,Nd}}{A} = \frac{116,9 \cdot 10^6}{1013 \cdot 10^3} + \frac{22,8 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3} + \frac{7,3 \cdot 10^3}{9726} \\ &= 115,4 + 67,0 + 0,8 = 183,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{8,dyn,h,Ed} &= \frac{M_{1,y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z}} + \frac{N_{1,Nd}}{A} = \frac{114,8 \cdot 10^6}{1013 \cdot 10^3} + \frac{24,2 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3} + \frac{7,3 \cdot 10^3}{9726} \\ &= 113,3 + 71,1 + 0,8 = 185,2 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

5.1.2.3 INTERAKCE KLOPENÍ A KROUCENÍ

5.1.2.3.1 KLOPENÍ

Kritický moment stanoven v programu LTBeamN (viz příloha 3)

$$M_{cr} = 378,2 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1013 \cdot 10^3 \cdot 355}{378,2 \cdot 10^6}} = 0,98$$

$$\begin{aligned} \phi_{LT} &= 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] = 0,5 [1 + 0,34(0,98 - 0,4) + 0,75 \cdot 0,98^2] \\ &= 0,96 \end{aligned}$$

$$\frac{h}{b} = \frac{270}{280} = 0,96 \leq 2, \text{ platí křivka klopení } b$$

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

$\beta = 0,75$ – pro válcované průřezy

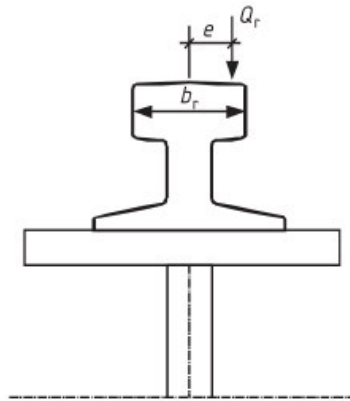
$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$ – pro válcované průřezy

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = \frac{1}{0,96 + \sqrt{0,96^2 - 0,75 \cdot 0,98^2}} = 0,71$$

5.1.2.3.2 KROUCENÍ

Rameno působení kolového zatížení

$$e_1 = 0,25 b_r = 0,25 \cdot 55 = 13,8 \text{ mm}$$



Rameno působení vodorovných sil

$$e_2 = 220 \text{ mm}$$

Tuhost při kroucení

$$K_t = L \sqrt{\frac{G I_t}{E I_\omega}} = 6000 \sqrt{\frac{80,7 \cdot 10^3 \cdot 621 \cdot 10^3}{210 \cdot 10^3 \cdot 785,4 \cdot 10^9}} = 3,31$$

$$\kappa = \frac{1}{\beta + \left(\frac{\alpha}{K_t}\right)^2} = \frac{1}{1,08 + \left(\frac{3,7}{3,31}\right)^2} = 0,43$$

α, β - dle tabulky NB.2.1 v ČSN EN 1993-1-1, str. 92

$$\alpha = 3,7$$

$$\beta = 1,08$$

Bimoment vázaného kroucení $B_{i,\omega,Ed}$

$$B_{i,\omega,Ed} = (M_{i,z,Ed} e_2 + M_{i,y,Ed} e_1) (1 - \kappa)$$

$$B_{1,\omega,Ed} = (22,8 \cdot 0,22 + 116,9 \cdot 0,0138) \cdot (1 - 0,43) = 3,8 \text{ kNm}^2$$

$$B_{5,\omega,Ed} = (21,9 \cdot 0,22 + 104 \cdot 0,0138) \cdot (1 - 0,43) = 3,6 \text{ kNm}^2$$

$$B_{6,\omega,Ed} = (5,6 \cdot 0,22 + 104 \cdot 0,0138) \cdot (1 - 0,43) = 1,5 \text{ kNm}^2$$

$$B_{8,dyn,\omega,Ed} = (24,2 \cdot 0,22 + 121,5 \cdot 0,0138) \cdot (1 - 0,43) = 4,0 \text{ kNm}^2$$

5.1.2.3.2 POSOUZENÍ INTERAKCE KLOPENÍ A KROUCENÍ

Posouzení dle ČSN EN 1993-6 příloha A

$$\frac{M_{i,y,Ed}}{\chi_{LT} W_{el,y} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{M_{i,z,Ed}}{W_{el,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + \frac{k_{i,w} k_{i,zw} k_{i,a} B_{i,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

Potřebné hodnoty:

$$B_{Rk} = \frac{I_{\omega}}{\omega_{max}} f_y = \frac{785,4 \cdot 10^9}{18900} \cdot 355 = 14,8 \text{ kNm}^2$$

$$\omega_{max} = \frac{b \cdot h}{4} = \frac{280 \cdot 270}{4} = 18\,900 \text{ mm}^2$$

Zatěžovací stav 1

$$k_{1,w} = 0,7 - \frac{0,2 B_{1,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 2,9 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,66$$

$$k_{1,zw} = 1 - \frac{M_{1,z,Ed}}{W_{el,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{22,8 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,81$$

$$k_{1,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{1,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{116,9 \cdot 10^3}{371,2 \cdot 10^3}} = 1,46$$

$$\frac{116,9 \cdot 10^6}{0,71 \cdot 1013 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{22,8 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,66 \cdot 0,81 \cdot 1,46 \cdot 3,8 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} =$$

$$= 0,46 + 0,19 + 0,2 = 0,85 \leq 1 \dots \text{vyhovuje}$$

Zatěžovací stav 5

$$k_{5,w} = 0,7 - \frac{0,2 B_{5,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 2,8 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,66$$

$$k_{5,zw} = 1 - \frac{M_{5,z,Ed}}{W_{el,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{21,9 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,82$$

$$k_{5,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{5,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{104 \cdot 10^3}{371,2 \cdot 10^3}} = 1,39$$

$$\frac{104 \cdot 10^6}{0,71 \cdot 1013 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{21,9 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,66 \cdot 0,82 \cdot 1,39 \cdot 3,6 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} =$$

$$= 0,41 + 0,18 + 0,19 = 0,78 \leq 1 \dots \text{vyhovuje}$$

Zatěžovací stav 6

$$k_{6,w} = 0,7 - \frac{0,2 B_{6,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 0,7 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,69$$

$$k_{6,zw} = 1 - \frac{M_{6,z,Ed}}{W_{el,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{5,6 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,95$$

$$k_{6,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{6,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{104 \cdot 10^3}{371,2 \cdot 10^3}} = 1,46$$

$$\frac{104 \cdot 10^6}{0,71 \cdot 1013 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{5,6 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,69 \cdot 0,95 \cdot 1,46 \cdot 1,5 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} =$$

$$= 0,41 + 0,05 + 0,1 = 0,56 \leq 1 \dots \text{vyhovuje}$$

Zatěžovací stav 8(dyn)

$$k_{8,dyn,w} = 0,7 - \frac{0,2 B_{8,dyn,Ed}}{\frac{B_{Rk}}{\gamma_{M1}}} = 0,7 - \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} = 0,66$$

$$k_{8,dyn,zw} = 1 - \frac{M_{8,dyn,z,Ed}}{W_{el,z} \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} = 1 - \frac{24,2 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} = 0,80$$

$$k_{8,dyn,a} = \frac{1}{1 - \frac{M_{8,dyn,y,Ed}}{M_{y,cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{121,5 \cdot 10^3}{371,2 \cdot 10^3}} = 1,49$$

$$\frac{121,5 \cdot 10^6}{0,71 \cdot 1013 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{24,2 \cdot 10^6}{340,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0}} + \frac{0,66 \cdot 0,80 \cdot 1,49 \cdot 4,0 \cdot 10^3}{\frac{14,8 \cdot 10^3}{1,0}} =$$

$$= 0,48 + 0,20 + 0,21 = 0,89 \leq 1 \dots \text{vyhovuje}$$

5.1.2.4 POSOUZENÍ INTERAKCE KLOPENÍ A KROUCENÍ

$$l_{eff} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_r + I_{f,eff}}{t_w}} = 3,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{2,79 \cdot 10^6 + 32,4 \cdot 10^3}{8}} = 228,8 \text{ mm}$$

$I_r = 2,79 \cdot 10^6$ – Moment setřvačnosti opotřebené koleje

$$I_{f,eff} = \frac{1}{12} b_{eff} t_f^3 = \frac{1}{12} \cdot 176,8 \cdot 13^3 = 32,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^4$$

$$b_{eff} = b_r + 0,75 h_r + t_f = 100 + 0,75 \cdot 85 + 13 = 176,8 \text{ mm}$$

$$b_r = 100 \text{ mm}; h_r = 85 \text{ mm (viz obr. str. 13)}$$

Posouzení maximálního svislého napětí pro maximální svislou sílu $F_{8,stat}$

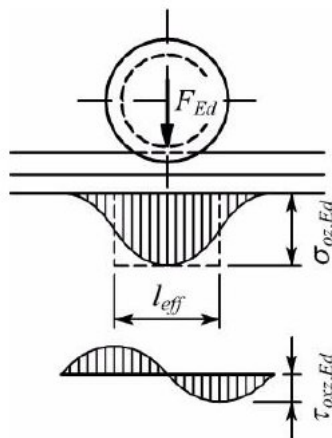
$$\sigma_{oz,Ed} = \frac{F_{8,stat}}{l_{eff} t_w} = \frac{71,6 \cdot 10^3}{228,8 \cdot 8} = 39,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa ... vyhovuje}$$

Lokální smykové napětí – uvažuje se jako 20% maximálního svislého napětí $\sigma_{oz,Ed}$

$$\tau_{oxz,Ed} = 0,2 \sigma_{oz,Ed} = 0,2 \cdot 39,1 = 7,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa ... vyhovuje}$$

Interakce normálového a smykového napětí

$$\sqrt{\sigma_{oz,Ed}^2 + 3 \tau_{oxz,Ed}^2} = \sqrt{39,1^2 + 3 \cdot 7,8^2} = 41,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa ... vyhovuje}$$



Lokální tlakové a smykové napětí pod kolovým zatížením

Obr. 14 – převzato z ČSN EN 1993 – 6, str. 20

5.1.2.5 INTERAKCE LOKÁLNÍHO BOULENÍ A OHYBOVÉHO MOMENTU

5.1.2.5.1 LOKÁLNÍ BOULENÍ

Posouzení pro maximální svislou sílu $F_{8,stat}$

Únosnost při lokálním boulení stojiny

$$F_{Rd} = \frac{f_y L_{eff} t_w}{\gamma_{M1}} = \frac{355 \cdot 283,1 \cdot 8}{1} = 804,0 \text{ kN}$$

$$L_{eff} = \chi_f l_y = 0,74 \cdot 382,6 = 283,1 \text{ mm}$$

$$l_y = s_s + 2t_f(1 + \sqrt{m_1 + m_2}) = 202,8 + 2 \cdot 13 \cdot (1 + \sqrt{35 + 0}) = 382,6 \text{ mm}$$

$$s_s = l_{eff} - 2t_f = 228,8 - 2 \cdot 13 = 202,8 \text{ mm}$$

$$m_1 = \frac{b}{t_w} = \frac{280}{8} = 35 \text{ mm}$$

m_2 určí se na základě $\bar{\lambda}_f$, tato hodnota ovšem zatím není známa a tak je konzervativně uvažováno $m_2 = 0$

$$\chi_f = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_f} = \frac{0,5}{0,676} = 0,74 \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda}_f = \sqrt{\frac{l_y t_w f_y}{F_{cr}}} = \sqrt{\frac{382,6 \cdot 8 \cdot 355}{2379,5 \cdot 10^3}} = 0,676$$

$$F_{cr} = 0,9 k_f E \frac{t_w^3}{h_w} = 0,9 \cdot 6 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot \frac{8^3}{244} = 2379,5 \text{ kN}$$

$$k_f = 6 + 2 \left(\frac{h_w}{a} \right)^2 = 6 + 2 \cdot \left(\frac{244}{6000} \right)^2 = 6$$

$a = 6000 \text{ mm}$ – vzdálenost výztuh – výztuhy nad podporami

Posouzení

$$F_{8,stat} = 71,6 \text{ kN} \leq F_{Rd} = 804 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Vzhledem k dostatečné únosnosti již nebude výpočet upřesněn s přesně stanoveným m_2 , výpočet s přesným m_2 by vedl k větší únosnosti.

5.1.2.5.2 INTERAKCE LOKÁLNÍHO BOULENÍ A OHYBOVÉHO MOMENTU

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} + 0,8 \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1,4$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1112 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} = 394,8 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = M_{8,stat} = 121,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{71,6}{804} + 0,8 \cdot \frac{121,5}{394,8} = 0,09 + 0,24 = 0,33 \leq 1,4 \dots \text{vyhovuje}$$

5.1.2.6 GLOBÁLNÍ SMYKOVÉ NAPĚTÍ

$$\tau_{v,Ed} = \frac{V_{8,stat,z,Ed} S_{f,y}}{I_y t_w} = \frac{100,8 \cdot 10^3 \cdot 467,7 \cdot 10^3}{13670 \cdot 10^4 \cdot 8} = 43,4 \text{ MPa}$$

Statický moment horní pásnice k těžišťové ose y

$$S_{f,y} = b t_f \left(e_z - \frac{t_f}{2} \right) = 280 \cdot 13 \cdot \left(135 - \frac{13}{2} \right) = 467,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Posouzení

$$\tau_{v,Ed} = 43,4 \text{ MPa} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 205 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.1.3 MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI FAT

Metoda hodnocení	Důsledky porušení	
	mírné	závažné
Přípustná poškození	1,00	1,15
Bezpečná životnost	1,15	1,35

Doporučené hodnoty dílčích součinitelů

Důsledky porušení – mírné a metoda Bezpečné životnosti

$$\gamma_{Mf} = 1,15$$

Kategorie posuzovaných detailů dle ČSN EN 1991-1-9

Kategorie detailu	Popis detailu	Odkaz na normu
90	11) Nosný prvek s dírami pro šrouby při namáhání ohybem a osovými silami	Tab. 8.1 – Ploché prvky a nesvařované detaily, str. 24
80	7) Svislé výztuhy přivařené k válcovanému nebo svařovanému nosníku	Tab. 8.4 – Příčně přivařené prvky a výztuhy, str. 30

5.1.3.1 POSOUZENÍ PÁSNIC PRO ROZKMIT NORMÁLOVÉHO NAPĚTÍ OD OHYBOVÉHO MOMENTU

Referenční únavová pevnost

$$\Delta\sigma_{c,1} = 80 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{c,2} = 90 \text{ MPa}$$

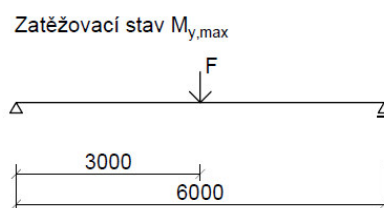
Rozkmit proměnlivého zatížení v návrhovém spektru

$$Q_{e,\sigma} = 30,0 \text{ kN (viz str. 22)}$$

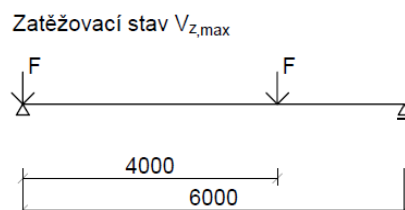
Rozkmit ekvivalentního ohybového momentu – zatížení kolem v polovině nosníku

$$R_{1,z} = \Delta V_{E2} = \frac{1}{2} Q_{e,\sigma} = \frac{1}{2} \cdot 30,0 = 15 \text{ kN}$$

$$\Delta M_{E2} = R_{1,z} \frac{l}{2} = 15 \cdot \frac{6}{2} = 45 \text{ kNm}$$



$$\Delta V_{E2} = Q_{e,\sigma} + \frac{1}{3} Q_{e,\sigma} = \frac{4}{3} \cdot 30 = 40 \text{ kN}$$



Pozn.: Pro posouzení, kdy se uvažuje zároveň moment i posouvající síla, se použije kombinace s maximálním moment i maximální posouvající silou.

Rozkmit ekvivalentního jmenovitého normálového napětí

$$\Delta\sigma_{E2} = \frac{\Delta M_{E2}}{W_{el,y}} = \frac{45 \cdot 10^6}{1013 \cdot 10^3} = 44,4 \text{ MPa}$$

Výpočet únavového poškození pro detail 11)

$$D_{\sigma} = \gamma_{Ff}^3 \Delta\sigma_{E2}^3 \left(\frac{\gamma_{Mf}}{\Delta\sigma_C} \right)^3 = 1^3 \cdot 44,4^3 \cdot \left(\frac{1,15}{90} \right)^3 = 0,18 \leq 1 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\gamma_{Ff} = 1,0 \text{ – dle ČSN EN 1993 – 6}$$

5.2 NÁVRH HLAVNÍHO RÁMU (3)

Rám je tvořen z válcovaných nosníků s náběhy. Z důvodu vodorovných deformací jsou krajní sloupy řešeny jako vetknuté. Střední sloup je řešen jako stojka. Profily sloupů jsou HEA a profil příčle IPE.

Modelován bude rám na ose 3 spolu se dvěma sousedícími rámy

5.2.1 ZATĚŽOVACÍ STAVY PRO MODEL

Pro model bylo zatížení na rám uvažováno jako spojité, ačkoliv jsou síly do rámu přenášeny přes vaznice a paždíky. Rozdíl v průběhu a velikosti vnitřních sil, pro takto uvažované zatížení, je zanedbatelný oproti skutečnému průběhu při uvažování bodových sil v místě uložení vaznic a paždíků.

Zatěžovací šířka je rovna vzdálenosti hlavních ráků $a = 6 \text{ m}$.

Z důvodu omezení klopení budou ráky propojeny každých 5 m.

Pro porovnání bude uveden průběh momentu od zatížení pláštěm (viz příloha 4)

Maximální moment pro model s vaznicemi a paždíky $M_{max} = 59,63 \text{ kNm}$

Maximální moment pro model bez vaznic a paždíků $M_{max} = 59,99 \text{ kNm}$

5.2.1.1 PLÁŠŤ

Střešní panely $g = 0,1153 \cdot 6 = 0,69 \text{ kN/m}$

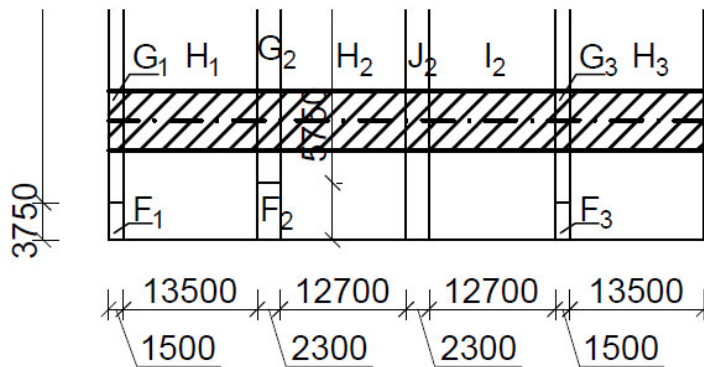
Stěnové panely $g = 0,1277 \cdot 6 = 0,766 \text{ kN/m}$

5.2.1.2 SNÍH

Zatížení dle 2.1.

5.2.1.3 VÍTR PŘÍČNÝ

Střecha



$$q_1 = 6 \cdot G_{1,k} = 6 \cdot -1,11 = -6,66 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 6 \cdot H_{1,k} = 6 \cdot -0,54 = -3,24 \text{ kN/m}$$

$$q_3 = 6 \cdot G_{2,k} = 6 \cdot -1,15 = -6,9 \text{ kN/m}$$

$$q_4 = 6 \cdot H_{2,k} = 6 \cdot -0,77 = -4,62 \text{ kN/m}$$

$$q_5 = 6 \cdot J_{2,k} = 6 \cdot -0,58 = -3,48 \text{ kN/m}$$

$$q_6 = 6 \cdot I_{2,k} = 6 \cdot -0,68 = -4,08 \text{ kN/m}$$

$$q_7 = 6 \cdot G_{3,k} = 6 \cdot -0,78 = -4,68 \text{ kN/m}$$

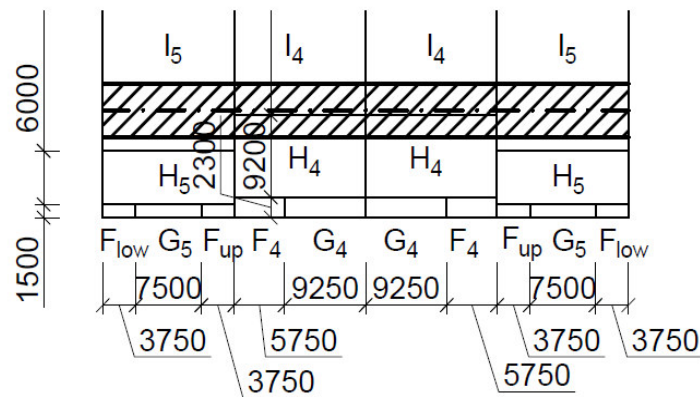
$$q_8 = 6 \cdot H_{3,k} = 6 \cdot -0,46 = -2,76 \text{ kN/m}$$

Stěny

$$q_8 = 6 \cdot D = 6 \cdot 0,67 = 4,0 \text{ kN/m}$$

$$q_9 = 6 \cdot E = 6 \cdot -0,44 = -2,64 \text{ kN/m}$$

5.2.1.4 VÍTR PODÉLNÝ



$$q_1 = 6 \cdot I_{5,k} = 6 \cdot -0,5 = -3 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = 3,5 \cdot I_{4,k} + 2,5 \cdot H_{4,k} = 3,5 \cdot -0,59 + 2,5 \cdot -0,68 = -3,77 \text{ kN/m}$$

Stěny

$$q_3 = 6 \cdot B = 6 \cdot -0,76 = -4,56 \text{ kN/m}$$

5.2.1.4 ZATÍŽENÍ OD JEŘÁBU

Pro každý zatěžovací stav bude jeřáb umístěn do takové polohy, která vyvoluje maximální svislé a vodorovné reakce v místě uložení na sloupy rámu 3.

Velikosti sil převzaty z kapitoly 3.2.2 PROMĚNNÁ ZATÍŽENÍ

Jelikož rám je zatížen dvěma jeřáby, je třeba uvažovat 2 zatěžovací stavy.

1. Obě kočky jsou v najeté maximálně vpravo
2. Kočky jsou najeté maximálně ke střednímu sloupu

5.2.1.4.1 ZATĚŽOVACÍ STAV 1

Charakteristické svislé síly od kol

$$F_{k,max} = \varphi_1 Q_{c,r,max} + \varphi_2 Q_{H,r,max} = 1,1 \cdot 20,4 + 1,13 \cdot 24,5 = 50,1 \text{ kN}$$

$$F_{k,(max)} = \varphi_1 Q_{c,r,(max)} + \varphi_2 Q_{H,r,(max)} = 1,1 \cdot 18 + 1,13 \cdot 0,8 = 20,7 \text{ kN}$$

Charakteristické podélné síly

$$H_{L,k} = \varphi_5 H_{L,i} = 1,5 \cdot 3,6 = 5,4 \text{ kN}$$

Charakteristické příčné síly

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 H_{T,2} = 1,5 \cdot 3,1 = 4,7 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 H_{T,2} = 1,5 \cdot 7,5 = 11,3 \text{ kN}$$

5.2.1.4.1 ZATĚŽOVACÍ STAV 5

Charakteristické svislé síly od kol

$$F_{k,max} = \varphi_4 Q_{c,r,max} + \varphi_4 Q_{H,r,max} = 1,0 \cdot 20,4 + 1,0 \cdot 24,5 = 44,9 \text{ kN}$$

$$F_{k,(max)} = \varphi_4 Q_{c,r,(max)} + \varphi_4 Q_{H,r,(max)} = 1,0 \cdot 18 + 1,0 \cdot 0,8 = 18,8 \text{ kN}$$

Charakteristické svislé od příčeni mostu

$$H_{S,1,1,T,k} = 4,5 \text{ kN}$$

$$H_{S,2,1,T,k} = 10,8 \text{ kN}$$

5.2.1.4.1 ZATĚŽOVACÍ STAV 6

Charakteristické svislé síly od kol

$$F_{k,max} = \varphi_4 Q_{c,r,max} + \varphi_4 Q_{H,r,max} = 1,0 \cdot 20,4 + 1,0 \cdot 24,5 = 44,9 \text{ kN}$$

$$F_{k,(max)} = \varphi_4 Q_{c,r,(max)} + \varphi_4 Q_{H,r,(max)} = 1,0 \cdot 18 + 1,0 \cdot 0,8 = 18,8 \text{ kN}$$

Charakteristické síly zrychlení kočky

$$H_{T,3,1} = \frac{0,1}{2} (Q_h + Q_t) \left(\frac{l-e}{l} \right) = \frac{0,1}{2} (50 + 4,95) \left(\frac{28 - 0,59}{28} \right) = 2,7 \text{ kN}$$

$$H_{T,3,2} = \frac{0,1}{2} (Q_h + Q_t) \left(\frac{l-e}{l} \right) = \frac{0,1}{2} (50 + 4,95) \left(\frac{0,59}{28} \right) = 0,1 \text{ kN}$$

5.2.1.4.1 ZATĚŽOVACÍ STAV 8(stat)

Charakteristické svislé síly od kol

$$F_{k,max} = \varphi_1 Q_{c,r,max} + \gamma_{zk,stat} Q_{H,r,max} = 1,1 \cdot 20,4 + 1,25 \cdot 24,5 = 53,1 \text{ kN}$$

$$F_{k,(max)} = \varphi_1 Q_{c,r,(max)} + \gamma_{zk,stat} Q_{H,r,(max)} = 1,1 \cdot 18 + 1,25 \cdot 0,8 = 20,8 \text{ kN}$$

5.2.1.4.1 ZATĚŽOVACÍ STAV 8(dyn)

Charakteristické svislé síly od kol

$$F_{k,max} = \varphi_1 Q_{c,r,max} + \gamma_{zk,dyn} Q_{H,r,max} = 1,1 \cdot 20,4 + 1,1 \cdot 24,5 = 49,4 \text{ kN}$$

$$F_{k,(max)} = \varphi_1 Q_{c,r,(max)} + \gamma_{zk,dyn} Q_{H,r,(max)} = 1,1 \cdot 18 + 1,1 \cdot 0,8 = 20,7 \text{ kN}$$

Charakteristické podélné síly

$$H_{L,k} = \varphi_5 H_{L,i} = 1,5 \cdot 3,6 = 5,4 \text{ kN}$$

Charakteristické příčné síly

$$H_{T,1,k} = \varphi_5 H_{T,2} = 1,5 \cdot 3,1 = 4,7 \text{ kN}$$

$$H_{T,2,k} = \varphi_5 H_{T,2} = 1,5 \cdot 7,5 = 11,3 \text{ kN}$$

5.2.2 POSOUZENÍ KRAJNÍCH SLOUPŮ

Vzhledem k tomu že sloup je dimenzován především dle podmínky vodorovné deformace, bude uvažováno působení maximálního momentu a normálové síly současně.

5.2.2.1 IMPERFEKCE

$$\theta = \theta_0 + \alpha_n + \alpha_m = \frac{1}{200} * \frac{2}{3} * 0,8165 = 0,00272 \rightarrow 2,72 \text{ mm/m}$$

$$\theta_0 = \frac{1}{200}$$

$$\alpha_n = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{10,5}} = 0,62 \geq \frac{2}{3} \rightarrow \alpha_n = \frac{2}{3}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})} = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{3})} = 0,8165$$

5.2.2.2 NÁVRHOVÉ SÍLY

$$N_{Ed} = -238,3 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = -521,9 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} \cong 0 \text{ kN}$$

5.2.2.3 KLASIFIKACE PRŮŘEZU

HEA 500

$$A = 19750 \text{ mm}^2 \quad c = 117 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad h = 490 \text{ mm}$$

$$d = 390 \text{ mm}$$

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

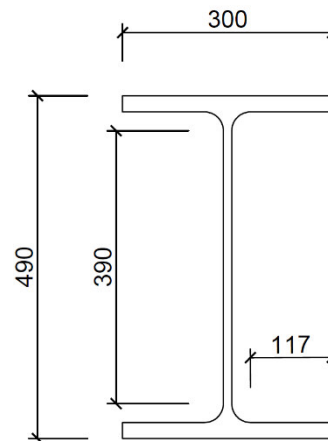
ocel S355

$$W_{pl,y} = 3949 \text{ 000 mm}^3$$

$$i_y = 210 \text{ mm}$$

$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$i_z = 72,4 \text{ mm}$$



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

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{117}{23} = 5,08 \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,81 = 7,29 \dots \text{pásnice 1. třídy}$$

Stojina

$$z = \frac{N_{ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{238 \text{ 300}}{12 \cdot 355} = 55,9$$

$$a_c = \frac{d + z}{2} = \frac{390 + 55,9}{2} = 223,0$$

$$\alpha = \frac{a_c}{d} = \frac{223,0}{390} = 0,571$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{390}{12} = 32,5 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,571 - 1} = 49,9 \dots \text{stojina 1. třídy}$$

→ **průřez 1. třídy**

5.2.2.4 SOUČINITELE VZPĚRU

$$L_{cr,y} = 0,7 l_y = 0,7 \cdot 10,5 = 7,35 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 0,7 l_z = 0,7 \cdot 7,35 = 5,15 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{7350}{210} = 35$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{35}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,458$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5150}{72,4} = 71,133$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{71,133}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 0,931$$

$$\chi_y = 0,937 \text{ (křivka a)}$$

$$\chi_z = 0,641 \text{ (křivka b)}$$

5.2.2.5 SOUČINITEL KLOPENÍ

Kritický moment

Vypočteno v programu LTBeamN – viz příloha 6

$$M_{cr} = 2153,7 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{3949 \cdot 355}{2153700}} = 0,72$$

$$\frac{h}{b} = \frac{490}{300} = 1,63 < 2, \text{ platí křivka klopení b}$$

$$\chi_{LT} = 0,813$$

5.2.2.6 POSOUZENÍ

Součinitele interakce k_{yy} , k_{zy}

$$\begin{aligned} k_{yy} &= c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,9 \cdot \left(1 + (0,458 - 0,2) \cdot \frac{238300}{\frac{0,937 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = \\ &= 0,908 \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,9 \left(1 + 0,8 \frac{238300}{\frac{0,937 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = 0,926 \\ &\rightarrow k_{yy} = 0,908 \end{aligned}$$

$$\text{poměr koncových momentů } \psi = \frac{485,9}{-521,9} = -0,93$$

$c_{my} = 0,9$ – vybočení s posunem styčnic

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z N_{rk}} \right) = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 0,931}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{238\,300}{\frac{0,641 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,967 \geq \left(1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\chi_z N_{rk}} \right) = \left(1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{238\,300}{\frac{0,641 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,965 \rightarrow k_{zy} = 0,967$$

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4\psi = 0,6 + 0,4 \cdot (-0,93) = 0,23 \geq 0,4 \rightarrow c_{my} = 0,4$$

Podmínky

$$\frac{N_{ed}}{\chi_y N_{rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} M_{y,rk}} = \frac{238\,300}{\frac{0,937 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,908 \frac{521\,900}{\frac{0,813 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,04 + 0,42 = 0,46$$

< 1 ... vyhovuje

$$\frac{N_{ed}}{\chi_z N_{rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} M_{y,rk}} = \frac{238\,300}{\frac{0,641 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,967 \frac{521\,900}{\frac{0,813 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,05 + 0,44 = 0,49$$

< 1 ... vyhovuje

Profil HEA 500 pro krajní sloup vyhoví.

5.2.3 POSOUZENÍ STŘEDNÍHO SLOUPU

Vzhledem k poměrně malému momentu bude uvažována kombinace s maximální normálovou silou a maximálním momentem

5.2.3.1 NÁVRHOVÉ SÍLY

$$N_{Ed} = -668,6 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = 50,2 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} = 14,3 \text{ kN}$$

5.2.3.2 KLASIFIKACE PRŮŘEZU

HEA 320

$$A = 12440 \text{ mm}^2 \quad c = 118,5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm} \quad h = 310 \text{ mm}$$

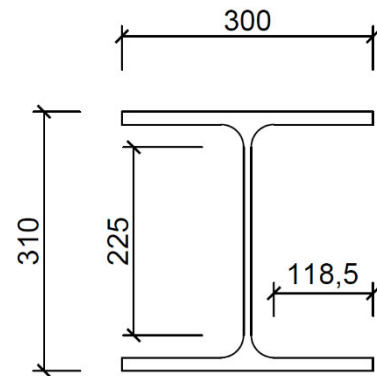
$$d = 225 \text{ mm}$$

$$t_w = 9 \text{ mm} \quad t_f = 15,5 \text{ mm}$$

ocel S355

$$W_{pl,y} = 1628\,000 \text{ mm}^3 \quad W_{pl,z} = 709\,700 \text{ mm}^3$$

$$i_y = 136 \text{ mm} \quad i_z = 74,9 \text{ mm}$$



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

Pásnice

$$\frac{c}{t_f} = \frac{118,5}{15,5} = 7,64 \leq 10\varepsilon = 10 \cdot 0,81 = 8,1 \dots \text{pásnice 2. třídy}$$

Stojina

$$z = \frac{N_{ed}}{t_w \cdot f_{yd}} = \frac{668\,600}{9 \cdot 355} = 209,3$$

$$a_c = \frac{d + z}{2} = \frac{225 + 209,3}{2} = 217,1$$

$$\alpha = \frac{a_c}{d} = \frac{217,1}{225} = 0,965$$

$$\frac{d}{t_w} = \frac{225}{9} = 25 \leq \frac{396\varepsilon}{13\alpha - 1} = \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,965 - 1} = 27,8 \dots \text{stojina 1. třídy}$$

→ průřez je 2. třídy

5.2.3.3 SOUČINITELE VZPĚRU

$$L_{cr,y} = 10,5 \text{ m}$$

$$L_{cr,z} = 7,35 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{10500}{136} = 77,2$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{77,2}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,011$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{7350}{74,9} = 98,1$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{98,1}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,284$$

$$\chi_y = 0,59 \text{ (křivka b)}$$

$$\chi_z = 0,395 \text{ (křivka c)}$$

5.2.3.4 SOUČINITEL KLOPENÍ

Kritický moment

Vypočteno v programu LTBeamN – viz příloha 7

$$M_{cr} = 519,8 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{1628 \cdot 355}{519\,800}} = 1,054$$

$$\frac{h}{b} = \frac{310}{300} = 1,03 < 2, \text{ platí křivka klopení a}$$

$$\chi_{LT} = 0,666$$

5.2.3.6 POSOUZENÍ

Součinitele interakce k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz}

$$\begin{aligned} k_{yy} &= c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,95 \cdot \left(1 + (1,011 - 0,2) \cdot \frac{668\,600}{\frac{0,59 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = \\ &= 1,147 \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,95 \left(1 + 0,8 \frac{668\,600}{\frac{0,59 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = 1,145 \\ &\rightarrow k_{yy} = 1,145 \end{aligned}$$

trojúhelníkový průběh momentu $\rightarrow c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,95$

$$k_{yz} = 0,6 \quad k_{zz} = 0,6 \cdot 1,241 = 0,745$$

$$\begin{aligned} k_{zy} &= \left(1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,284}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{668\,600}{\frac{0,395 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = \\ &= 0,93 \geq \left(1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{668\,600}{\frac{0,395 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = \\ &= 0,945 \rightarrow k_{zy} = 0,945 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} k_{zz} &= c_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \\ &= 0,95 \cdot \left(1 + (2 \cdot 1,284 - 0,6) \cdot \frac{668\,600}{\frac{0,395 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = 1,666 \leq c_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \\ &= \left(1 + 1,4 \frac{668\,600}{\frac{0,395 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} \right) = 1,459 \rightarrow k_{zz} = 1,459 \end{aligned}$$

Podmínky

$$\begin{aligned} \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} &= \\ &= \frac{668\,600}{\frac{0,59 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 1,145 \cdot \frac{56\,900}{\frac{0,666 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} + 0,745 \cdot \frac{14\,300}{\frac{709,7 \cdot 355}{1}} = \\ &= 0,26 + 0,17 + 0,04 = 0,47 \\ &< 1 \dots \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,ed}}{\frac{M_{z,rk}}{\gamma_{M1}}} &= \\ &= \frac{668\,600}{\frac{0,23 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,945 \cdot \frac{56\,900}{\frac{0,666 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} + 1,459 \cdot \frac{14\,300}{\frac{709,7 \cdot 355}{1}} = \\ &= 0,38 + 0,14 + 0,04 = 0,56 \\ &< 1 \dots \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

Profil HEA 320 pro střední sloup vyhoví.

5.2.4 POSOUZENÍ PŘÍČLE RÁMU

Návrh příčle je stejně jako sloupy ovlivněn podmínkou pro dodržení vodorovné deformace rámu v místě uložení jeřábové dráhy. V případě snahy dosáhnout vyššího využitá příčle dojde k překročení povolené deformace a znamenalo by to další zvětšení dimenze sloupů.

Průřez s náběhem

5.2.4.1 NÁVRHOVÉ SÍLY

Kombinace NC 106

$$N_{Ed} = -83,7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = -900,0 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} \cong 0 \text{ kN}$$

IPE 500

$$A = 11550 \text{ mm}^2$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

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

ocel S355

$$W_{pl,y} = 3949 \text{ 000 mm}^3$$

$$i_y = 204 \text{ mm}$$

průřez 1. třídy

IPE 500+400

$$A = 18869 \text{ mm}^2$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$W_{pl,y} = 4947 \text{ 000 mm}^3$$

$$i_y = 316 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

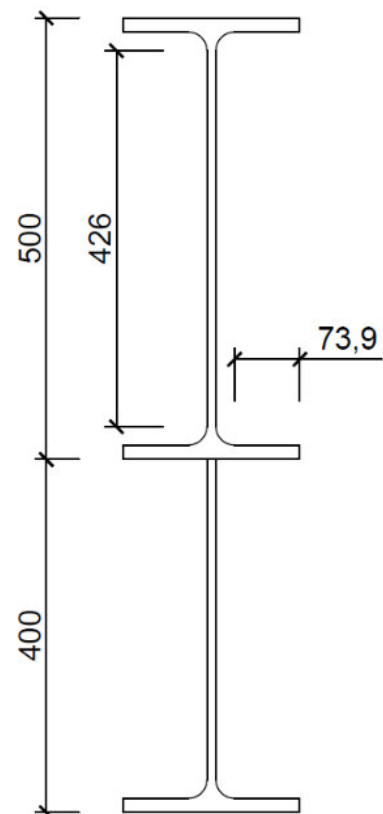
$$t_f = 23 \text{ mm}$$

$$i_z = 43,1 \text{ mm}$$

$$c = 117 \text{ mm}$$

$$h = 900 \text{ mm}$$

$$i_z = 41,0 \text{ mm}$$



5.2.4.2 SOUČINITELE VZPĚRU

$$L_{cr,y} = 30 \text{ m}$$

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

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{30000}{316} = 94,9$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{94,9}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,243$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{41} = 121,9$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{121,9}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,596$$

$$\chi_y = 0,504 \text{ (křivka a)}$$

$$\chi_z = 0,309 \text{ (křivka b)}$$

5.2.4.3 SOUČINITEL KLOPENÍ

Pro výpočet součinitele klopení bude bezpečně uvažováno s průřezovým modulem průřezu s náběhem.

Kritický moment

Vypočteno v programu LTBeamN – viz příloha 8

$$M_{cr} = 1394,8 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{4947 \cdot 355}{1\,394\,800}} = 1,122$$

$$\frac{h}{b} = \frac{500}{200} = 2,5 > 2, \text{ platí křivka klopení c}$$

$$\chi_{LT} = 0,567$$

5.2.4.4 POSOUZENÍ

Součinitele interakce k_{yy} , k_{zy}

$$k_{yy} = c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,4 \cdot \left(1 + (1,243 - 0,2) \cdot \frac{81\,500}{\frac{0,504 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,410 \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{81\,500}{\frac{0,504 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) = 0,408$$

$$\rightarrow k_{yy} = 0,408$$

$$\text{poměr koncových momentů } \psi = \frac{-238,3}{-900,0} = 0,265$$

$$\alpha_s = \frac{145,5}{-900,0} = -0,162$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s = 0,1 \cdot (1 - 0,265) - 0,8 \cdot (-0,162) = 0,2$$

$$\geq 0,4 \rightarrow c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,4$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,596}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{81\,500}{\frac{0,309 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,957 \geq \left(1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{81\,500}{\frac{0,309 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,973 \rightarrow k_{zy} = 0,973$$

Podmínky

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{83\,700}{\frac{0,504 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,408 \frac{900\,00}{\frac{0,567 \cdot 4947 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,03 + 0,37 = 0,4$$

$$< 1 \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{83\,700}{\frac{0,504 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,973 \frac{900\,000}{\frac{0,567 \cdot 4947 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,04 + 0,88 = 0,92$$

$$< 1 \dots \text{vyhovuje}$$

Průřez bez náběhu

5.2.5.1 NÁVRHOVÉ SÍLY

$$N_{Ed} = -83,7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y} = -194,2 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z} \cong 0 \text{ kN}$$

5.2.5.2 SOUČINITELE VZPĚRU

$$L_{cr,y} = 30 \text{ m}$$

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

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{30000}{204} = 147,1$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{\lambda_y}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{147,1}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,925$$

$$\lambda_z = \frac{L_{cr,z}}{i_z} = \frac{5000}{43,1} = 116,0$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{\lambda_z}{\pi} \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{116,0}{\pi} \sqrt{\frac{355}{210000}} = 1,518$$

$$\chi_y = 0,239 \text{ (křivka a)}$$

$$\chi_z = 0,336 \text{ (křivka b)}$$

5.2.5.3 POSOUZENÍ

Součinitele interakce k_{yy} , k_{zy}

$$\begin{aligned} k_{yy} &= c_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,4 \cdot \left(1 + (1,243 - 0,2) \cdot \frac{83\,700}{\frac{0,239 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) = \\ &= 0,457 \leq c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = 0,4 \left(1 + 0,8 \frac{83\,700}{\frac{0,239 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) = 0,427 \\ &\rightarrow k_{yy} = 0,427 \end{aligned}$$

$$\text{poměr koncových momentů } \psi = \frac{-238,3}{-900,0} = 0,265$$

$$\alpha_s = \frac{145,5}{-900,0} = -0,162$$

$$c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,1(1 - \psi) - 0,8\alpha_s = 0,1 \cdot (1 - 0,265) - 0,8 \cdot (-0,162) = 0,2 \geq 0,4 \rightarrow c_{my} = c_{mz} = c_{mLT} = 0,4$$

$$k_{zy} = \left(1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1 \cdot 1,518}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{83\,700}{\frac{0,336 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,938 \geq \left(1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} \right) = \left(1 - \frac{0,1}{(0,4 - 0,25)} \cdot \frac{83\,700}{\frac{0,336 \cdot 18869 \cdot 355}{1}} \right) =$$

$$= 0,959 \rightarrow k_{zy} = 0,959$$

Podmínky

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_y N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{83\,700}{\frac{0,239 \cdot 11550 \cdot 355}{1}} + 0,427 \frac{194\,200}{\frac{0,567 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,09 + 0,19 = 0,28$$

< 1 ... vyhovuje

$$\frac{N_{ed}}{\frac{\chi_z N_{rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \frac{M_{y,ed}}{\frac{\chi_{LT} M_{y,rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{83\,700}{\frac{0,239 \cdot 19750 \cdot 355}{1}} + 0,961 \frac{194\,200}{\frac{0,567 \cdot 3949 \cdot 355}{1}} =$$

$$= 0,06 + 0,42 = 0,48$$

< 1 ... vyhovuje

Profil IPE 500 s náběhem vyhoví.

5.2.5 POSOUZENÍ MEZNÍHO STAVU POUŽITELNOSTI

Mezní stav použitelnosti je rozhodujícím faktorem pro návrh celého rámu a je důvodem pro poměrně nízké využití únosnosti krajních sloupů rámu.

Deformace byly vypočteny v programu SCIA Engineer - viz příloha 5

5.2.5.1 SVISLÁ DEFORMACE

$$w_{max} = 71,4 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{30000}{250} = 120 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

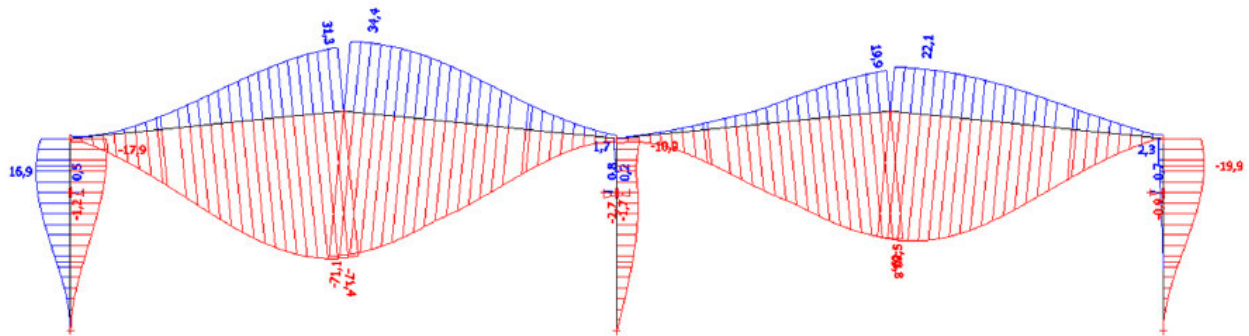
5.2.5.2 VODOROVNÁ DEFORMACE

Celková vodorovná deformace

$$w_{max} = 19,9 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{H}{500} = \frac{10500}{500} = 21 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

Deformace v místě uložení jeřábové dráhy

$$w_{max} = 19,4 \text{ mm} \leq w_{lim} = \frac{H}{400} = \frac{7845}{400} = 19,6 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$



5.3 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ KE STŘEDNÍMU SLOUPU

tloušťka čelní desky $t=20\text{mm}$ ($\sim t_f$ sloupu; $t_f = 15,5 \text{ mm}$)

tloušťka výztuhy stojiny sloupu $t=20\text{mm}$ ($\sim t_f$ příčle; $t_f = 16,0\text{mm}$)

Šrouby M27 10.9 $f_{ub} = 1000 \text{ MPa}$ $f_{yb} = 900 \text{ MPa}$

$$M_{ed} = 900 \text{ kNm} \quad V_{ed} = 223,8 \text{ kN}$$

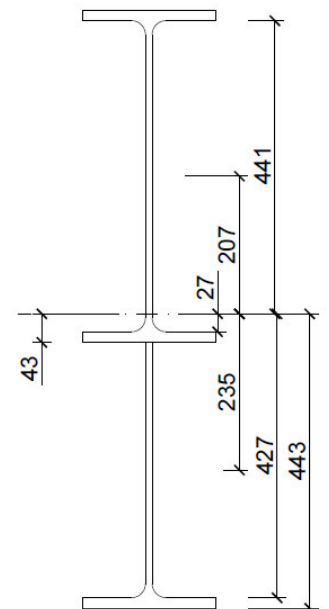
Svarový přípoj příčle k čelní desce

Svar stojiny je namáhán posouvající silou a momentem

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{2 a l} = \frac{223 \ 800}{2 \cdot 8 \cdot (468 + 384)} = 16,4 \text{ MPa}$$

Moment setrvačnosti svaru

$$\begin{aligned} I_w &= \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 8^3 + 200 \cdot 8 \cdot 443^2 \right) + \left(\frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 8^3 + 200 \cdot 8 \cdot 457^2 \right) \\ &+ \left(8 \cdot \frac{1}{12} \cdot 95 \cdot 8^3 + (2 \cdot 95 \cdot 8) \cdot (427^2 + 43^2 + 27^2 + 441^2) \right) \\ &+ \left(\frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 468^3 + 468 \cdot 8 \cdot 207^2 \right) + \left(\frac{1}{12} \cdot 8 \cdot 384^3 + 384 \cdot 8 \cdot 235^2 \right) \\ &= 314,0 \cdot 10^6 + 334,1 \cdot 10^6 + 576,7 \cdot 10^6 + 228,8 \cdot 10^6 + 207,4 \cdot 10^6 \\ &= 1661,1 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{ed}}{\sqrt{2} I_w} z = \frac{900 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 1661,1 \cdot 10^6} \cdot 457 = 175,1 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{175,1^2 + 3 \cdot (1,75,1^2 + 16,4^2)} = 351,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Efektivní délky

$$m = 82,9 - 0,8\sqrt{2}a_{w,w} = 70 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 = 73,8 \text{ mm}$$

$$m_2 = 54 - 0,8\sqrt{2}a_{w,f} = 50 - 0,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 8 = 45,0 \text{ mm}$$

$$\lambda_1 = \frac{m}{m + e} = \frac{73,8}{73,8 + 56} = 0,57$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m + e} = \frac{45}{73,8 + 62} = 0,33$$

$$\rightarrow \alpha = 5,9$$

A) Koncová řada šroubů s výztuhou

1) řada šroubů působí samostatně

$$\text{-kruhové porušení: } l_{eff,cp} = 2\pi m = 2 \cdot \pi \cdot 73,8 = 463,7 \text{ mm}$$

$$\text{-nekruhové porušení: } l_{eff,nc} = \alpha m = 5,9 \cdot 73,8 = 435,4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = \min(463,7; 435,4) = 435,4 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 435,4 \text{ mm}$$

B) Řada šroubů sousedící s výztuhou

1) řada šroubů působí samostatně

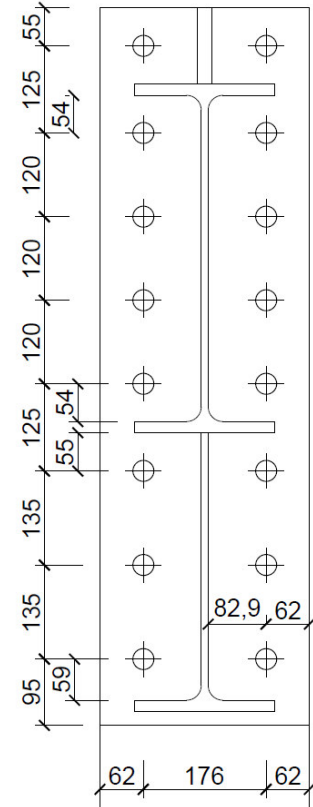
$$\text{-kruhové porušení: } l_{eff,cp} = 2\pi m = 2 \cdot \pi \cdot 73,8 = 463,7 \text{ mm}$$

$$\text{-nekruhové porušení: } l_{eff,nc} = \alpha m = 5,9 \cdot 73,8 = 435,4 \text{ mm}$$

2) řada šroubů působí jako součást skupiny

$$\text{-kruhové porušení: } l_{eff,cp} = \pi m + p = \pi \cdot 73,8 + 120 = 351,8 \text{ mm}$$

-nekruhové porušení:



$$l_{eff,nc} = 0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e) = 0,5 \cdot 120 + 5,9 \cdot 73,8 - (2 \cdot 73,8 + 0,625 \cdot 62) \\ = 309,1 \text{ mm}$$

$$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}; l_{eff,nc}) = \min(351,8; 309,1) = 309,1 \text{ mm}$$

$$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 309,1 \text{ mm}$$

C) Vnitřní řady šroubů

1) řada šroubů působí samostatně

-kruhové porušení: $l_{eff,cp} = 2\pi m = 2 \cdot \pi \cdot 73,8 = 463,7 \text{ mm}$

-nekruhové porušení: $l_{eff,nc} = 4m + 1,25e = 4 \cdot 73,8 + 1,25 \cdot 62 = 372,7 \text{ mm}$

2) řada šroubů působí jako součást skupiny

-kruhové porušení: $l_{eff,cp} = 2p = 2 \cdot 120 = 240 \text{ mm}$

-nekruhové porušení:

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

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

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

Návrhová únosnost pásnice náhradního T profilu

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9f_{ub}A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 1000 \cdot 459}{1,25} = 330,5 \text{ kN}$$

$$n = \min(e_{min}; 125) = \min(56; 125) = 56 \text{ mm}$$

A) Koncová řada šroubů s výztuhou

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,1} t_p^2 \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 453,4 \cdot 15^2 \cdot \frac{355}{1} = 9,0 \text{ kNm}$$

1) Úplná plastifikace pásnice

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 9,0 \cdot 10^6}{73,8} = 487,8 \text{ kN}$$

2) Porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 9,0 \cdot 10^6 + 62 \cdot 2 \cdot 330,5 \cdot 10^3}{73,8 + 62} = 434,3 \text{ kN}$$

3) Porušení šroubů

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,5 = 661,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,1,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(487,8; 434,3; 661,0) = 434,3 \text{ kN}$$

B) Řada šroubů sousedící s výztuhou

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,1} t_p^2 \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 309,1 \cdot 15^2 \cdot \frac{355}{1} = 6,17 \text{ kNm}$$

1) Úplná plastifikace pásnice

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 6,17 \cdot 10^6}{73,8} = 334,4 \text{ kN}$$

2) Porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 6,17 \cdot 10^6 + 62 \cdot 2 \cdot 330,5 \cdot 10^3}{73,8 + 62} = 392,3 \text{ kN}$$

3) Porušení šroubů

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,5 = 661,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,2,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(334,4; 392,3; 661,0) = 334,4 \text{ kN}$$

C) Vnitřní řady šroubů

$$M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = \frac{1}{4} l_{eff,1} t_p^2 \frac{f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{1}{4} \cdot 120 \cdot 15^2 \cdot \frac{355}{1} = 2,4 \text{ kNm}$$

1) Úplná plastifikace pásnice

$$F_{t,a,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m} = \frac{4 \cdot 2,4 \cdot 10^6}{73,8} = 130,0 \text{ kN}$$

2) Porušení šroubu s plastifikací pásnice

$$F_{t,b,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n} = \frac{2 \cdot 2,4 \cdot 10^6 + 62 \cdot 2 \cdot 330,5 \cdot 10^3}{73,8 + 62} = 337,1 \text{ kN}$$

3) Porušení šroubů

$$F_{t,c,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 2 \cdot 330,5 = 661,0 \text{ kN}$$

$$F_{t,3,Rd} = \min(F_{t,a,Rd}; F_{t,b,Rd}; F_{t,c,Rd}) = \min(130,0; 337,1; 661,0) = 130,1 \text{ kN}$$

D) Spodní řada šroubů

- posouvající sílu přenáší spodní řada šroubů

Únosnost šroubu ve stříhu

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v A_s f_{ub}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 459 \cdot 1000}{1,25} = 183,6 \text{ kN}$$

Únosnost šroubu v otláčení

$$k_1 = \min\left(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7; 2,5\right) = \min\left(2,8 \frac{62}{30} - 1,7; 2,5\right) = \min(4,09; 2,5) = 2,5$$

$$\alpha_b = \min\left\{\frac{e_1}{3d_0}; \frac{p_1}{3d_0} - 0,25; \frac{f_{ub}}{f_u}; 1\right\} = \min\left\{\frac{90}{3 \cdot 30}; \frac{120}{3 \cdot 30} - 0,25; \frac{1000}{490}; 1\right\}$$
$$= \min\{1; 1,333; 2,04; 1\} = 1$$

$$t = \min(t_f; t_p) = \min(15,5; 20) = 25$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \alpha_b d t f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 27 \cdot 15,5 \cdot 490}{1,25} = 410,1 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 2 \cdot \min(F_{v,Rd}; F_{b,Rd}) = 2 \cdot \min(183,6; 410,1) = 367,2 \text{ kN}$$

$$F_{Rd} = 367,2 \text{ kN} > V_{ed} = 223,8 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Únosnost základních komponent

Pásnice v tlaku

$$\sum F_{t,i,Rd} = 434,3 + 334,4 + 6 \cdot 130,1 = 1549,2 \text{ kN}$$

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h - t_f} = \frac{1549,8}{0,90 - 0,016} = 1753,2 \text{ kN} > \sum F_{t,i,Rd} = 1549,2 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$M_{c,Rd}$ – momentová únosnost průřezu nosníku se zanedbanou mezilehlou pásnicí a příspěvek stojiny redukován o 20%

$$M_{c,Rd} = W_{pl,y} f_y = \left(200 \cdot 16 \cdot (900 - 16) + \frac{0,8 \cdot 10,2}{4} (900 - 2 \cdot 16)^2\right) \cdot 355 =$$
$$= 4365,8 \cdot 355 = 1549,8 \text{ kNm}$$

Rozdělení sil a momentová únosnost

Plastické rozdělení lze uvažovat za splnění následujících podmínek:

$$F_{t,i,Rd} \leq 1,9F_{t,Rd} = 1,9 \cdot 303,5 = 576,6 \text{ kN}$$

$$434,3 \text{ kN} \leq 576,6 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$334,4 \text{ kN} \leq 576,6 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$130,1 \text{ kN} \leq 576,6 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Lze uvažovat plastické rozdělení sil

Ramena sil únosnost řady šroubů

$$r_1 = 947 \text{ mm} \quad F_1 = 434,3 \text{ kN}$$

$$r_2 = 822 \text{ mm} \quad F_2 = 334,4 \text{ kN}$$

$$r_3 = 702 \text{ mm} \quad F_3 = 130,1 \text{ kN}$$

$$r_4 = 582 \text{ mm} \quad F_3 = 130,1 \text{ kN}$$

$$r_5 = 462 \text{ mm} \quad F_3 = 130,1 \text{ kN}$$

$$r_6 = 337 \text{ mm} \quad F_3 = 130,1 \text{ kN}$$

$$r_7 = 202 \text{ mm} \quad F_3 = 130,1 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_s r_1 + F_1 r_2 + F_2 r_3 + F_3 r_4 + F_3 r_5 + F_3 r_6 = \\ &= 434,3 \cdot 0,947 + 334,4 \cdot 0,822 + 130,1 \cdot (0,702 + 0,582 + 0,462 + 0,337 + 0,202) \\ &= 983,4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Rd} = 983,4 \text{ kNm} > M_{ed} = 900 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

Pro srovnání byl styčnick vymodelován v programu IDEA StatiCa – viz příloha 12

Výsledná únosnost momentového přípoje na střední sloup posudkem v programu vyšla rovna

$$M_{Rd,IDEA} = 1312 \text{ kNm}$$

5.4 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ KRAJNÍCH SLOUPŮ

Přípoj je řešen pouze v programu IDEA StatiCa. Viz příloha 13.

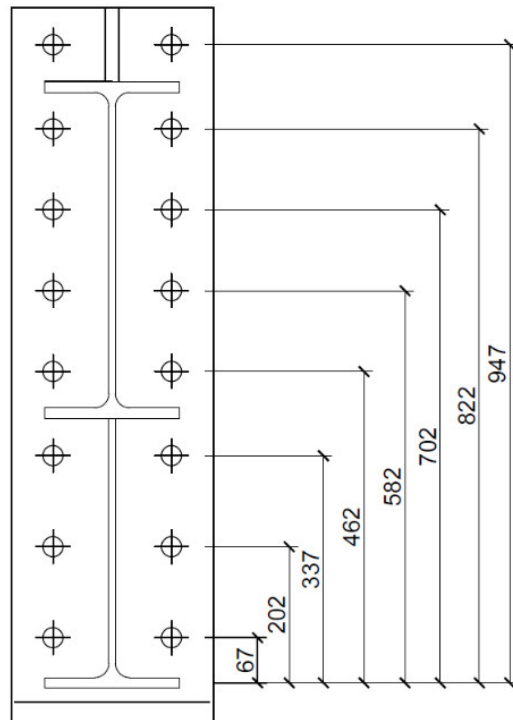
Návrhové hodnoty zatížení

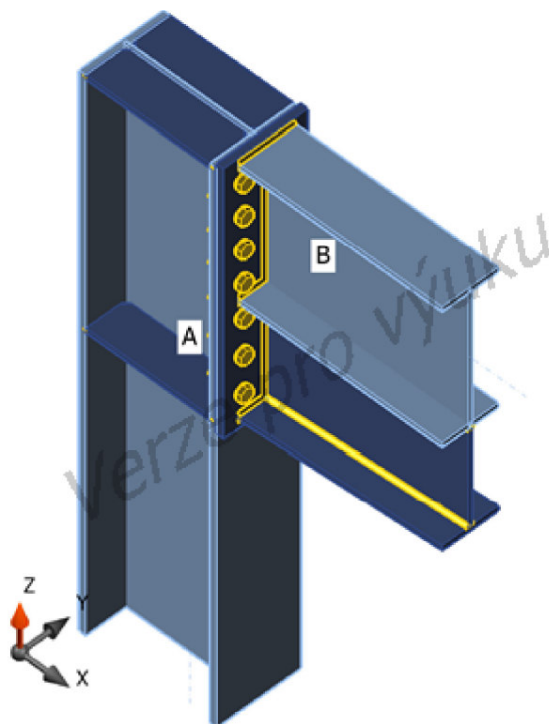
Návrhová únosnost

$$M_{y,Ed} = 503,6 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 877,2 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 102,2 \text{ kN}$$





5.5 MOMENTOVÝ PŘÍPOJ VE VRCHOLU RÁMU

Přípoj je řešen pouze v programu IDEA StatiCa. Viz příloha 14.

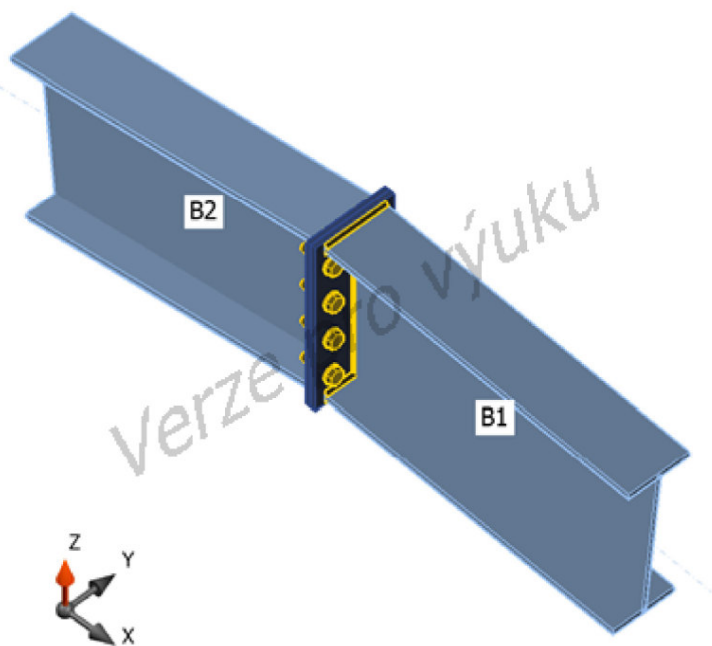
Návrhové hodnoty zatížení

Návrhová únosnost

$$M_{y,Ed} = 184,05 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 293,1 \text{ kNm}$$

$$V_{z,Ed} = 24,5 \text{ kN}$$



5.6 PŘÍPOJ KONZOLY JEŘÁBOVÉ DRÁHY

5.6.1 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI KONZOLY

5.6.1.1 Návrhové zatížení

$$V_{ed} = 103,0 \text{ kN}$$

$$M_{ed} = 103,7 \text{ kNm}$$

Profil HEA 320

5.4.1.2 Momentová únosnost

$$M_{Rd} = W_{pl,y} f_{yd} = 1628 \cdot 355 = 577,9 \text{ kNm} > M_{ed} = 72,8 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

5.6.1.3 Smyková únosnost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{4113 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 843,0 \text{ kNm} > 2 V_{ed} = 2 \cdot 102,4 = 204,8 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

→ malý smyk interakci smyku s ohybem není třeba posuzovat

5.6.1.4 POSOUZENÍ MSP

Průhyb vypočten v programu SCIA Engineer – viz příloha 5

$$\delta = 3,7 \text{ mm} < \delta_{lim} = \frac{L}{250} = \frac{1000}{250} = 4,0 \text{ mm}$$

5.6.2 SVAROVÝ PŘÍPOJ KONZOLY

5.6.2.1 Svar stojiny je namáhán posouvající silou a momentem

Profil HEA 320, svar 4 mm, návrhové vnitřní síly viz příloha 5

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{ed}}{2 a l} = \frac{102 \cdot 400}{2 \cdot 4 \cdot 225} = 56,9 \text{ MPa}$$

Moment setrvačnosti svaru

$$I_w = \left(2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 320 \cdot 4^3 + 2 \cdot 320 \cdot 4 \cdot 155^2 \right) + \left(4 \cdot \frac{1}{12} \cdot 118 \cdot 4^3 + 4 \cdot 118 \cdot 4 \cdot 139,5^2 \right) + \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 225^3 = 61,5 \cdot 10^6 + 36,7 \cdot 10^6 + 3,8 \cdot 10^6 = 102,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{ed}}{\sqrt{2} I_w} z = \frac{103,7 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 102,0 \cdot 10^6} \cdot 139,5 = 100,3 \text{ MPa}$$

Výsledné napětí

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{100,3^2 + 3 \cdot (100,3^2 + 56,9^2)} = 223,5 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 100,3 \text{ MPa} < \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 367,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.6.2.2 Svar pásnice je namáhán momentem

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{M_{ed}}{\sqrt{2} I_w} z = \frac{103,7 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 102,0 \cdot 10^6} \cdot 155 = 111,4 \text{ MPa}$$

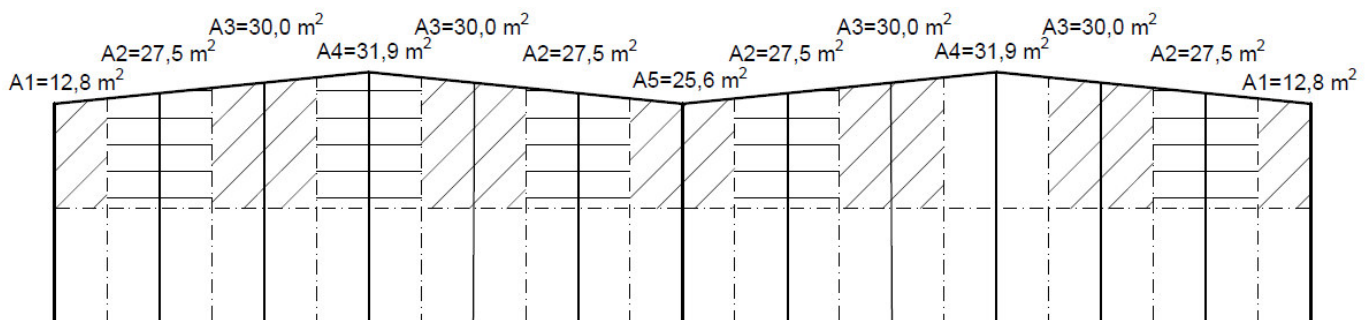
Výsledné napětí

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{111,4^2 + 3 \cdot (111,4^2 + 0^2)} = 222,8 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 111,4 \text{ MPa} < \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 367,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7 NÁVRH ZTUŽENÍ HALY

5.7.1 ZATÍŽENÍ MODELU PRO NÁVRH ZTUŽIDEL



Zatěžovací plochy pro zatížení podélným větrem – oblast D

Síly ve styčnicích štítového rámu

$$F_{1,k} = A_1 D = 12,8 \cdot 0,67 = 8,6 \text{ kN}$$

$$F_{2,k} = A_2 D = 27,5 \cdot 0,67 = 18,4 \text{ kN}$$

$$F_{3,k} = A_3 D = 30 \cdot 0,67 = 20,1 \text{ kN}$$

$$F_{4,k} = A_4 D = 31,9 \cdot 0,67 = 21,4 \text{ kN}$$

$$F_{5,k} = A_5 D = 25,6 \cdot 0,67 = 17,2 \text{ kN}$$

Vnitřní síly pro návrh ztužidel byly zjištěny ze zjednodušeného modelu, který byl vytvořen nakopírováním typické vazby a doplněného o vodorovné zatížení od podélného větru.

Vnitřní síly pro návrh ztužidel viz příloha 9.

5.7.2 IMPERFEKCE PRO ANALÝZU VÝZTUŽNÉHO SYSTÉMU

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 + \left(\frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 + \frac{1}{6}} = 0,816$$

$$e_0 = \alpha_m \frac{L}{500} = 0,816 \cdot \frac{30\,000}{500} = 49 \text{ mm}$$

Ekvivalentní zatížení

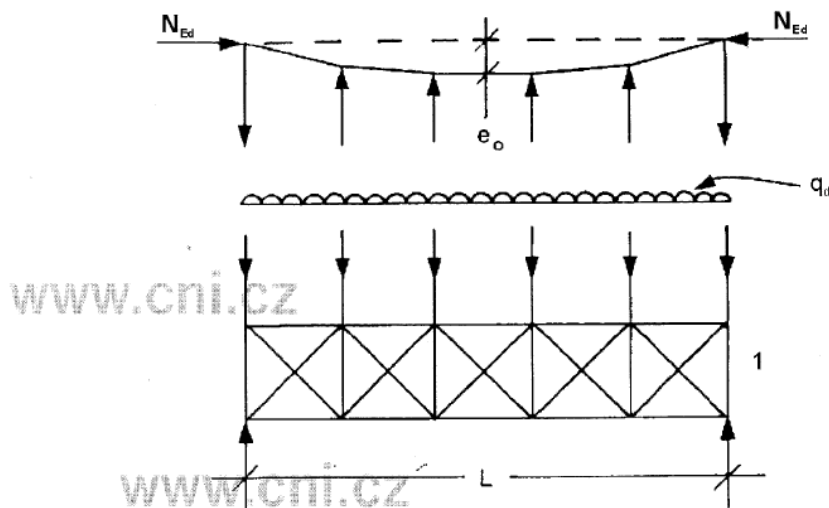
$$q_d = \sum N_{Ed} 8 \frac{e_0 + \delta_q}{L^2} = \frac{10}{3} \cdot 68,8 \cdot 8 \cdot \frac{0,049 + 0,0015}{30^2} = 0,103 \text{ kN/m}$$

$$\delta_q = 2,1 - 0,6 = 1,5 \text{ mm (viz příloha 9)}$$

Síly do styčníků

$$F = 5 \cdot q_d = 5 \cdot 0,103 = 0,52 \text{ kN}$$

→ vzhledem k velikosti síly bude vliv imperfekce zanedbán



Legenda

e_0 imperfekce

q_d ekvivalentní síla na jednotku délky

1 výztužný systém

Síla N_{Ed} se předpokládá rovnoměrně rozdělená podél rozpětí L výztužného systému. Nerovnoměrné rozdělení síly je mírně konzervativní.

Obrázek 5.6 – Ekvivalentní stabilizující síla

Obr. 15 - převzato z ČSN EN 1993-1-1, str. 39

5.7.3 NÁVRH ROZPĚR RÁMŮ

Maximální síla v rozpěrách $N_{Ed} = -54,1 \text{ kN}$

O dimenzi průřezu bude rozhodovat podmínka minimální štíhlosti prutu

$$\lambda_{lim} = 250 \rightarrow i_{min} = \frac{L_{cr}}{\lambda_{lim}} = \frac{6000}{250} = 24 \text{ mm}$$

Návrh TR 102 tl. 4 mm

$$A = 1232 \text{ mm}^2 \quad i = 34,7 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6000}{34,7} = 172,9$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{172,9}{93,9 \sqrt{\frac{235}{355}}} = 2,26$$

$\chi = 0,178$ (křivka a)

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,178 \cdot 1232 \cdot 355 = 77,85 \text{ kN} > N_{Ed} = 54,1 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.4 NÁVRH DIAGONÁL PŘÍČNÉHO ZTUŽIDLA VE STŘEŠNÍ ROVINĚ

Maximální síla v rozpěrách $N_{Ed} = -29,4 \text{ kN}$ - viz příloha 9

O dimenzi průřezu bude rozhodovat podmínka minimální štíhlosti prutu

$$\lambda_{lim} = 250 \rightarrow i_{min} = \frac{L_{cr}}{\lambda_{lim}} = \frac{7830}{250} = 31,3 \text{ mm}$$

Návrh TR 102 tl. 4 mm

$$A = 1232 \text{ mm}^2 \quad i = 34,7 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{7830}{34,7} = 225,7$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{225,7}{93,9 \sqrt{\frac{235}{355}}} = 2,95$$

$\chi = 0,107$ (křivka a)

$$N_{b,rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,107 \cdot 1232 \cdot 355 = 46,8 \text{ kN} > N_{ed} = 29,4 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.5 NÁVRH PODÉLNÝCH ZTUŽIDEL

5.7.5.1 DOLNÍ ČÁST PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA

Maximální síla na prutech $N_{Ed} = -28,0 \text{ kN}$ - viz příloha 9

O dimenzi průřezu bude rozhodovat podmínka minimální štíhlosti prutu

$$\lambda_{lim} = 250 \rightarrow i_{min} = \frac{L_{cr}}{\lambda_{lim}} = \frac{9630}{250} = 38,5 \text{ mm}$$

Návrh TR 114 tl. 4 mm

$$A = 1382 \text{ mm}^2 \quad i = 38,9 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{9630}{38,9} = 247,6$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{247,6}{93,9 \sqrt{\frac{235}{355}}} = 3,24$$

$\chi = 0,09$ (křivka a)

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,09 \cdot 1382 \cdot 355 = 43,8 \text{ kN} > N_{ed} = 28,0 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.5.2 HORNÍ ČÁST PODÉLNÉHO ZTUŽIDLA

Maximální síla na prutech $N_{Ed} = -21,6 \text{ kN}$ - viz příloha 9

O dimenzi průřezu bude rozhodovat podmínka minimální štíhlosti prutu

$$\lambda_{lim} = 250 \rightarrow i_{min} = \frac{L_{cr}}{\lambda_{lim}} = \frac{6693}{250} = 26,8 \text{ mm}$$

Návrh TR 89 tl. 4 mm

$$A = 1068 \text{ mm}^2 \quad i = 30,1 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} = \frac{6693}{30,1} = 222,4$$

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{93,9 \sqrt{\frac{235}{f_y}}} = \frac{222,4}{93,9 \sqrt{\frac{235}{355}}} = 2,91$$

$\chi = 0,11$ (křivka a)

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_y = 0,11 \cdot 1068 \cdot 355 = 41,7 \text{ kN} > N_{ed} = 21,6 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.6 DETAIL 2 - NÁVRH PŘÍPOJE ZTUŽIDLA

Přípoj trubky ke styčnickovému plechu bude počítán pro maximální síly ve ztužidlech celého objektu a bude pak použit pro všechny typy trubkových ztužidel.

Návrh 2x M16 8.8, plech P10

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

$$F_{b,Rd} = 64,5 \text{ kN (běžné rozteče; S355; } t = 10 \text{ mm)}$$

$$\text{střih: } \frac{N_{ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{28,0}{60,3} = 0,46$$

$$\text{otlačení: } \frac{N_{ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{28,0}{64,5} = 0,43$$

Návrh 2xM16 8.8 vyhoví.

Posouzení oslabeného průřezu plechu

$$A_{net,MIN} = 10 \cdot 100 - 10 \cdot 18 = 820 \text{ mm}^2$$

$$N_{Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 820 \cdot 490}{1,25} = 289,3,0 \text{ kN} > N_{ed,max} = 54,1 \text{ kN}$$

2x koutový svar $a = 3 \text{ mm}$, $L_{we} = 50 \text{ mm}$

Svar připoje trubky k plechu

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{ed,max}}{2al} = \frac{54 \cdot 100}{2 \cdot 3 \cdot 50} = 180,3 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.6.1 SVAROVÝ PŘÍPOJ STYČNÍKOVÉHO PLECHU KE STŘEDNÍMU SLOUPU

2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$, $L_{we} = 230 \text{ mm}$

$$F_{Vd} = N_{Ed} \sin \alpha = 28 \cdot \sin(51,5^\circ) = 21,9 \text{ kN}$$

$$F_{Hd} = N_{Ed} \cos \alpha = 28 \cdot \cos(51,5^\circ) = 17,7 \text{ kN}$$

Posouzení svaru

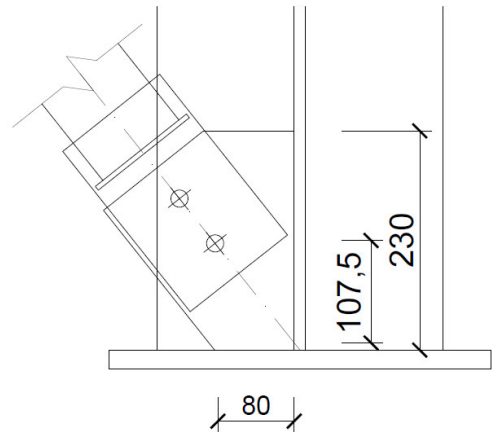
$$\tau_{\parallel,1} = \frac{F_{Vd}}{2al_{we}} = \frac{21 \cdot 900}{2 \cdot 4 \cdot 230} = 11,9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel,2} = \frac{F_{Hd}}{2al_{we}} = \frac{17 \cdot 700}{2 \cdot 4 \cdot 80} = 27,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 \cdot (11,9^2)} = 20,6 \text{ MPa}$$

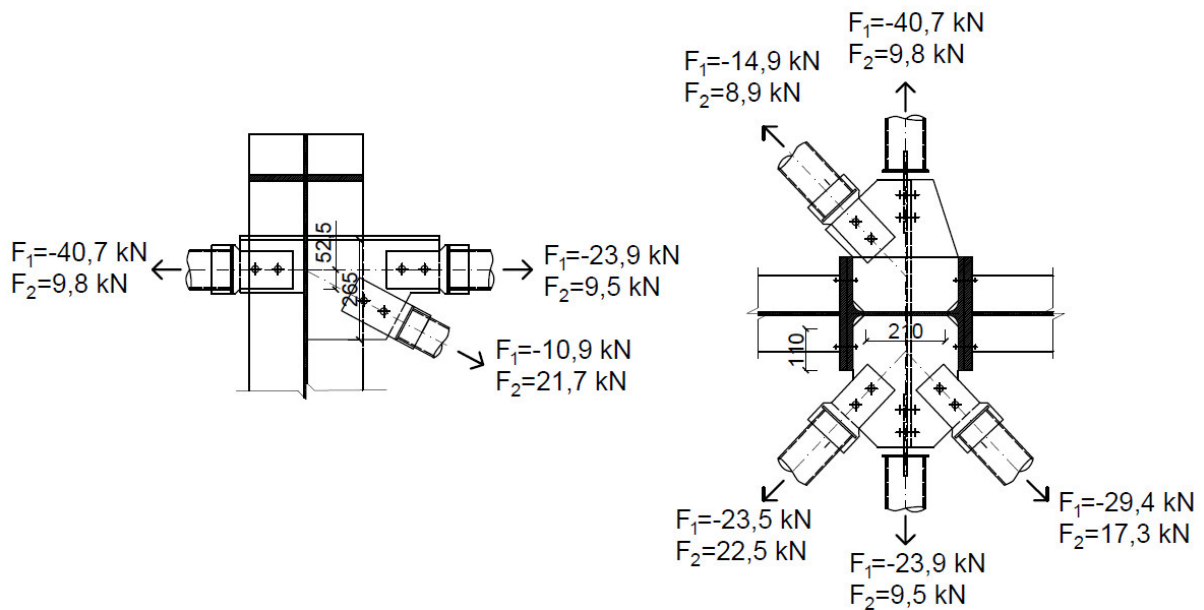
$$< \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{3 \cdot (27,6^2)} = 47,8 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$



5.7.7 DETAIL 3 - NÁVRH PŘÍPOJE ZTUŽIDEL

Vzhledem k velkému počtu zatěžovacích stavů byly určeny maximální tlakové a tahové síly v prutech a z těchto hodnot vytvořeny nejneprůzračnější kombinace pro návrh svarů. Vnitřní síly ve ztužidlech viz příloha 9.



5.7.7.1 SVAR PLECHU VE VODOROVNÉ ROVINĚ

Nejnepříznivější kombinace pro maximální sílu ve směru x

$$F_{x,max} = (22,5 + 29,4) \sin(43^\circ) = 35,4 \text{ kN}$$

Nejnepříznivější kombinace pro maximální sílu ve směru y

$$F_{y,max} = (23,5 + 29,4) \cos(43^\circ) = 45,0 \text{ kN}$$

Posouzení pro směr x - 2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$, $L_{we} = 210 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel,x} = \frac{F_{x,max}}{2al_{we}} = \frac{35\,400}{2 \cdot 4 \cdot 210} = 21,0 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení pro směr y - 2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$, $L_{we} = 2 \cdot 110 = 220 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel,y} = \frac{F_{y,max}}{2al_{we}} = \frac{45\,000}{2 \cdot 4 \cdot 220} = 25,6 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2} \sqrt{3}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{3}} = 251,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.7.7.1 SVAR PLECHU VE SVISLÉ ROVINĚ

Nejnepříznivější kombinace pro maximální sílu ve směru y

$$F_{y,max} = 23,9 + 10,9 \cdot \cos(28^\circ) = 33,5 \text{ kN}$$

Nejnepříznivější kombinace pro maximální sílu ve směru z

$$F_{z,max} = 21,7 \cdot \sin(28^\circ) = 10,2 \text{ kN}$$

Posouzení svaru styčnickového plechu ke sloupu

2x koutový svar $a = 4 \text{ mm}$, $L_{we} = 265 \text{ mm}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{F_{z,max}}{2al_{we}} = \frac{10\,200}{2 \cdot 4 \cdot 265} = 4,8 \text{ MPa}$$

e je vzdálenost středu svaru a průřezu svaru a osou připojené diagonály (viz obr.)

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{F_{y,max}}{2al_{we}} + \frac{F_{y,max} e}{W_{we}} \right) = \frac{1}{\sqrt{2}} \left(\frac{33\,500}{2 \cdot 4 \cdot 265} + \frac{33\,500 \cdot 0,0525}{2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 4 \cdot 265^2} \right) = 11,2 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{11,2^2 + 3(11,2^2 + 4,8^2)} = 23,9 \text{ MPa} < \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 11,2 \text{ MPa} < \frac{0,9f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 367,2 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

5.8 KLOUBOVÁ PATKA STŘEDNÍCH SLOUPŮ RÁMŮ

5.8.1 ZTUŽIDLOVÝ SLOUP

$$N_{ed,max} = 655,1 \text{ kN}; N_{ed,min} = -129,2 \text{ kN}$$

$$V_y = 32,7 \text{ kN}; V_z = 6,2 \text{ kN}$$

podlité 40mm, plech P20 400x400mm,

Rozměr betonové patky z důvodu zamezení nadzvednutí patky vlivem tahové síly:
1,9x1,9x1,5m

Posouzení podmínky zvedání patky

$$G = 1,9 \cdot 1,9 \cdot 1,5 \cdot 25 = 135,4 \text{ kN} > N_{ed,min} = -129,2 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Započitatelné rozměry betonové patky

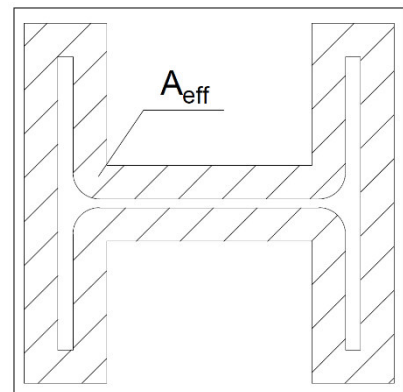
$$a_1 = b_1 = \min(3a_o; a_o + h; a_c) = (3 \cdot 400; 400 + 1500; 1900) = 1200 \text{ mm}$$

součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_o \cdot b_o}} = \sqrt{\frac{1200 \cdot 1200}{400 \cdot 400}} = 3$$

Návrhová pevnost betonu

$$f_{jd} = \frac{\beta_j k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 30}{3 \cdot 1,5} = 40 \text{ MPa}$$



Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}} = 20 \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 40}} = 34,4 \text{ mm}$$

Efektivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = 78\,533 \text{ mm}^2$$

Únosnost patky

$$N_{Rd} = A_{eff} f_{jd} = 78\,533 \cdot 40 = 3\,141,3 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 3\,141,3 \text{ kN} > N_{ed} = 655,1 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Návrh kotev v programu HILTI PROFIS Anchor

→návrh 4x HIT-HY 200-A + HIT-V M20

Posouzení a geometrie viz příloha 10: Kotvení středního sloupu

5.8.2 BĚŽNÝ SLOUP

$$N_{ed,max} = 572,0 \text{ kN}; N_{ed,min} = -126,7 \text{ kN}$$

$$V_y = 1,5 \text{ kN}; V_z = 4,8 \text{ kN}$$

Vzhledem k tomu, že velikost maximální a minimální normálové síly je téměř shodná s patkou ztužidlového sloupu, budou rozměry patky shodné.

Pro kotvení je rozhodující především tahová síla, tudíž kotvení sloupu bude shodné s kotvením ztužidlového sloupu.

5.9 VETKNUTÁ PATKA KRAJNÍCH SLOUPŮ RÁMU

Vzhledem k velkému objemu dat bylo stanovení nejnepříznivější kombinace provedeno v MS Excel na základě výstupu reakcí v podporách z programu SCIA Engineer. Níže bude ukázán postup výpočtu pro určení tahové síly v kotevních šroubech, který byl proveden v MS Excel.

5.9.1 Zatěžovací stavy

Kombinace s minimální normálovou silou a kombinace s nejnepříznivějším poměrem momentu a normálové síly – NC 116

$$N_{Ed,min} = -34,7 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 402,4 \text{ kN}; M_{z,Ed} = 5,9 \text{ kN}$$

$$V_y \cong 0 \text{ kN}; V_z = 87,2 \text{ kN}$$

Kombinace s maximálním momentem – NC 71

$$N_{Ed,max} = -235,5 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = 485,9 \text{ kN}; M_{z,Ed} = 6,0 \text{ kN}$$

$$V_y \cong 0 \text{ kN}; V_z = 104,6 \text{ kN}$$

5.9.2 NÁVRH PATKY

5.9.2.1 ROZMĚRY PATKY

podlití 40mm, plech P30 1210x490mm,

Rozměr betonové patky z důvodu tahové síly: 2,0x1,2x0,8m

Započitatelné rozměry betonové patky

$$a_1 = \min(3a_o; a_o + h; a_c) = (3 \cdot 1210; 1210 + 800; 2000) = 2000 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(3a_o; a_o + h; a_c) = (3 \cdot 470; 490 + 800; 1200) = 1200 \text{ mm}$$

součinitel koncentrace napětí

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a_o \cdot b_o}} = \sqrt{\frac{2000 \cdot 1200}{1210 \cdot 490}} = 2,01$$

Návrhová pevnost betonu

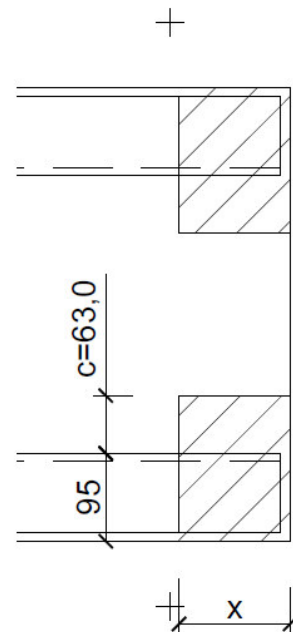
$$f_{jd} = \frac{\beta_j k_j f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{2 \cdot 2,01 \cdot 30}{3 \cdot 1,5} = 26,8 \text{ MPa}$$

Účinná šířka patní desky

$$c = t_p \sqrt{\frac{f_{yd}}{3f_{jd}}} = 30 \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 27,4}} = 63,0 \text{ mm}$$

Efektivní plocha patního plechu

$$A_{eff} = x \cdot 2 \cdot (63 + 95) = 316 \cdot x$$



5.9.2.2 Namáhání patní spáry a průřezu patky

	NC 71	NC 116
M_{Ed} [kNm]	485,85	402,39
N_{Ed} [kN]	235,49	-34,7
e [mm]	2 063,1	-11 596,3
x_1 [mm]	1990,5	2014,6
$x_2 = x$ [mm]	69,5	45,4
N_c [kN]	588,6	384,4
T [kN]	353,2	419,5

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$$

$x_1, x_2 \dots$ z momentové podmínky rovnováhy k působišti šroubů

$$N_{Ed}(e + r_t) = N_c \left(r_t + \frac{a}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$N_c = b_{eff} x f_{jd}$$

$r_t = 475 - 50 = 425$ mm ... osová vzdálenost šroubů s uvažováním tolerance 50 mm

Dosažením získáme kvadratickou rovnici

$$b_{eff} f_{jd} x^2 - b_{eff} f_{jd} (2 r_t + a) x + 2 N_{Ed}(e + r_t) = 0$$

$$316 \cdot 26,8 \cdot x^2 - 316 \cdot 26,8 \cdot (2 \cdot 425 + 1210) x + 2 \cdot N_{Ed} \cdot (e + 425) = 0$$

Tahová síla do kotevních šroubů

$$T = N_c - N_{Ed}$$

5.9.2.3 Průřez patky

Patní plech 30 x 490 mm

2x výztuha U240 $A = 2 \cdot 4230 = 8460$ mm²

$$I_y = 2 \cdot 3600 \cdot 10^4 = 7200 \cdot 10^4$$
 mm⁴

$$A_{vz} = 2 \cdot 2371 = 4742$$
 mm²

Svařený průřez

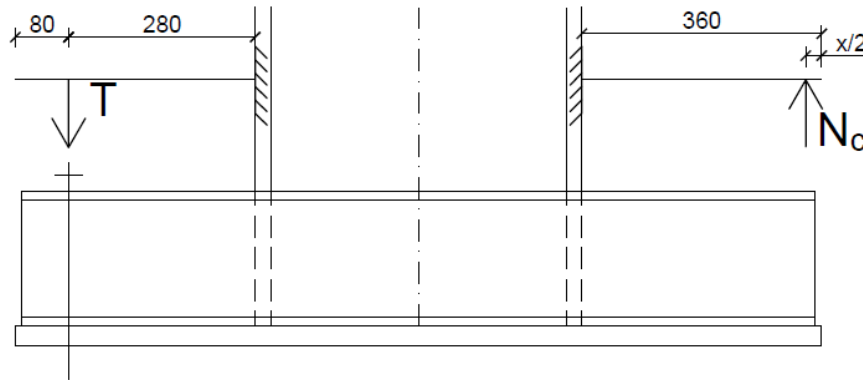
$$A = 30 \cdot 490 + 8460 = 23 160$$
 mm²

$$z_t = \frac{\sum A_i z_i}{A} = \frac{14700 \cdot 15 + 8460 \cdot \left(30 + \frac{240}{2} \right)}{23160} = 64,3$$
 mm

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot 490 \cdot 30^3 + 30 \cdot 490 \cdot (64,3 - 15)^2 + 7200 \cdot 10^4 + 8460 \cdot \left(\frac{240}{2} + 30 - 64,3\right)^2$$

$$= 171,0 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

5.9.2.4 POSOUZENÍ NA KOMBINACI OHYBU A SMYKU



Tlačená část patky – rozhoduje zatěžovací stav NC 71

$$M_p = N_c \cdot \left(0,36 - \frac{x}{2}\right) = 588,6 \cdot \left(0,36 - \frac{0,0695}{2}\right) = 191,4 \text{ kNm}$$

$$V_p = N_c = 588,6 \text{ kN}$$

Tažená část patky – rozhoduje zatěžovací stav NC 116

Rameno uvažováno s tolerancí +50 mm

$$M_l = T \cdot 0,28 = 419,5 \cdot 0,28 = 117,5 \text{ kNm}$$

$$V_l = T = 419,5 \text{ kN}$$

Pružné posouzení průřezu

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{171,0 \cdot 10^6}{240 + 30 - \frac{64,3}{2}} = 718,9 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{z_h} = \frac{171,0 \cdot 10^6}{64,3} = 2659,4 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{max} = \frac{M_p}{W_{y,h}} = \frac{191,4 \cdot 10^6}{718,9 \cdot 10^3} = 266,2 \text{ MPa} < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\tau_{max} \cong \frac{V_p}{A_{vz}} = \frac{588,6 \cdot 10^3}{4742} = 124,1 \text{ MPa} < \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{355}{\sqrt{3}} = 205,0 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

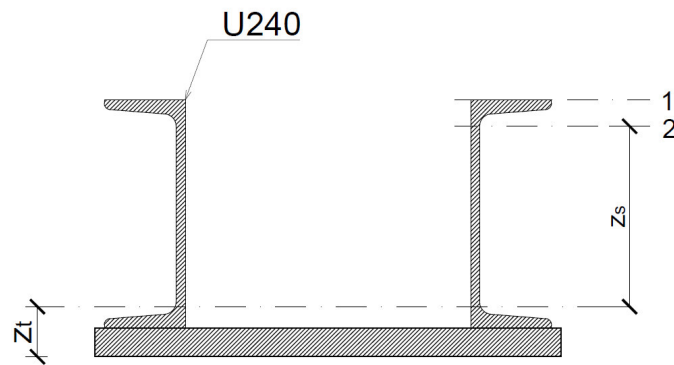
Jelikož $124,1 \text{ MPa} > \frac{205,0}{2} = 102,5 \text{ MPa}$, je nutné posoudit kombinaci smyku s ohybem

Normálové napětí na konci stojiny – řez 2

$$\sigma_s = \frac{M_p}{I_y} z_s = \frac{191,4 \cdot 10^6}{171,0 \cdot 10^6} \cdot (240 + 30 - 64,3 - 27,6) = 199,3 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_s^2 + 3 \tau_{max}^2} = \sqrt{199,3^2 + 3 \cdot 124,4^2} = 293,5 < f_{yd} = 355 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Průřez patky s výztuhami vyhoví.



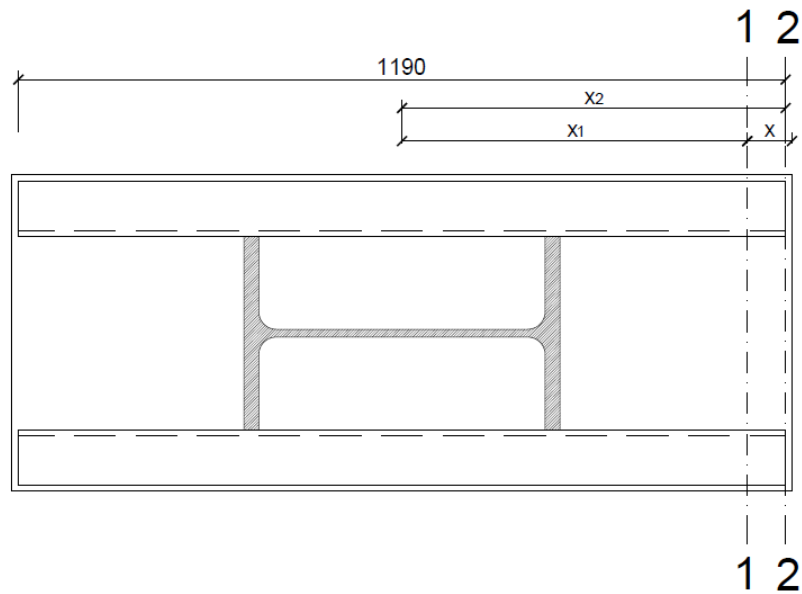
5.9.3 SVAR VÝZTUH K PATNÍMU PLECHU

Návrh: **koutový svar** $a = 6 \text{ mm}$

5.9.3.1 NÁVRHOVÉ SÍLY

Rozhodující kombinací je NC 71 kde působí maximální moment i síla

	NC 71
$M_{y,Ed} \text{ [kNm]}$	485,85
$N_{Ed} \text{ [kN]}$	235,5
$V_{z,Ed} \text{ [kN]}$	103,9
$V_{y,Ed} \text{ [kN]}$	16,3
$N_c \text{ [kN]}$	588,6



Je nutné posoudit v průřezích 1,2 - viz obrázek

Napětí ve svarech obecně

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_{we}} + \frac{N_c S_{f,y}}{I_y 4 a_{we}}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} x_i$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}}$$

$$A_{we} = 4 \cdot 6 \cdot 1190 = 28\,560 \text{ mm}^2$$

$$I_{we} = \frac{4 \cdot 6}{12} \cdot 1190^3 = 3370,3 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{f,y} = 490 \cdot 30 \cdot (64,3 - 15) = 724,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

5.9.3.2 POSOUZENÍ SVARU

Řez 1-1

$$\tau_{\parallel} = \frac{103\,900}{28\,560} + \frac{235\,500 \cdot 724,7 \cdot 10^3}{171,0 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 6} = 3,6 + 41,6 = 45,2 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{235\,500}{28\,560} + \frac{485,85 \cdot 10^6}{3370,3 \cdot 10^6} (605 - 69,5) = 8,2 + 77,2 = 85,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{85,4}{\sqrt{2}} = 60,4 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{60,4^2 + 3 \cdot (60,4^2 + 45,2^2)} = 144,0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$= \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

Řez 2-2

$$\tau_{\parallel} = \frac{103\,900}{28\,560} = 3,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{235\,500}{28\,560} + \frac{485,85 \cdot 10^6}{3370,3 \cdot 10^6} \cdot 595 = 8,2 + 85,8 = 94,0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{94,0}{\sqrt{2}} = 66,5 \text{ MPa}$$

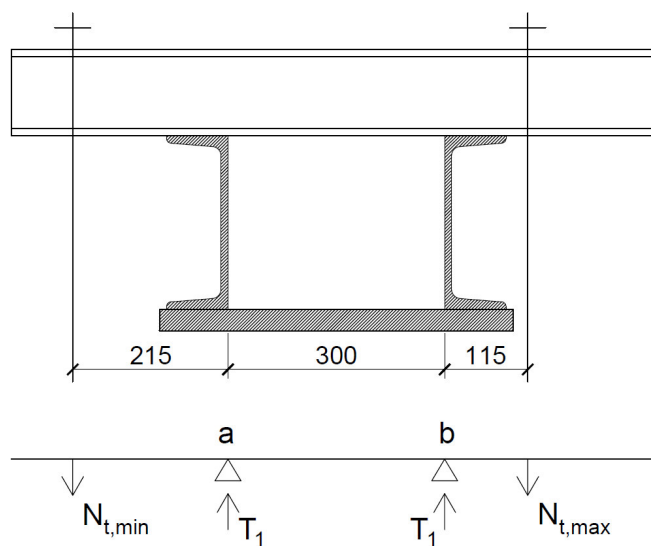
$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{66,5^2 + 3 \cdot (66,5^2 + 3,6^2)} = 133,0 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$= \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 66,5 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Svar podélných výztuh k patnímu plechu vyhoví.

5.9.4 KOTEVNÍ ŠROUBY



Statické schéma s uvažování maximálních tolerancí

$$T_1 = \frac{T_{max}}{2} = \frac{419,5}{2} = 209,8 \text{ kN}$$

$$N_{t,max} = \frac{209,8 \cdot (215 + 500)}{630} = 238,1 \text{ kN}$$

$$N_{t,min} = 419,5 - 238,1 = 181,4 \text{ kN}$$

Návrh: M36x3, $A_s = 865 \text{ mm}^2$, průměr dříku $D = 40 \text{ mm}$

Porušení v místě řezaného závitu

$$F_{t,Rd} = 0,85 \frac{0,9 A_s f_u}{\gamma_{M2}} = 0,85 \frac{0,9 \cdot 865 \cdot 490}{1,25} = 259,4 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 259,4 \text{ kN} > N_{t,max} = 238,1 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Porušení v místě dříku

$$F_{t,Rd} = A f_{yd} = \frac{\pi \cdot 40^2}{4} \cdot 355 = 446,1 \text{ kN}$$

$$F_{t,Rd} = 446,1 \text{ kN} > N_{t,max} = 238,1 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

Kotevní šrouby vyhoví.

5.9.5 KOTEVNÍ PŘÍČNÍK

$$\text{Návrh: } 2x \text{ U120} \quad W_{pl,y} = 2 \cdot 72,6 \cdot 10^3 = 145,2 \cdot 10^3$$

$$A_{vz} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ mm}^2$$

Posouzení ve 2 průřezích v místě šroubů

$$M_{1,d} = 238,1 \cdot 0,115 = 27,4 \text{ kNm}$$

$$V_{1,d} = 238,1 \text{ kN}$$

$$M_{2,d} = 181,4 \cdot 0,215 = 39,0 \text{ kNm}$$

$$V_{2,d} = 181,4 \text{ kN}$$

Posouzení v průřezu a

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1760 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 360,7 \text{ kN} \geq V_{1,d} = 238,1 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{360,7}{2} = 180,4 < V_{1,d} = 238,1 \text{ kN} \dots \text{velký smyk} \rightarrow \text{kombinace } M + V$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_{yd} = 145,2 \cdot 355 = 51,5 \text{ kNm} \geq M_{1,d} = 27,4 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

Kombinace smyku a ohybu

$$\rho = \left(\frac{2 V_{1,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 238,1}{360,7} - 1 \right)^2 = 0,103$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right) f_{yd} = \left(145,2 \cdot 10^3 - \frac{0,103 \cdot 1760^2}{4 \cdot 2 \cdot 7} \right) \cdot 355 = 49,5 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 49,5 \text{ kNm} \geq M_{1,d} = 27,4 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

Posouzení v průřezu b

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1760 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 360,7 \text{ kN} \geq V_{1,d} = 181,4 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\frac{V_{pl,Rd}}{2} = \frac{360,7}{2} = 180,4 < V_{1,d} = 181,4 \text{ kN} \dots \text{velký smyk} \rightarrow \text{kombinace } M + V$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} f_{yd} = 145,2 \cdot 355 = 51,5 \text{ kNm} \geq M_{1,d} = 39,0 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

Kombinace smyku a ohybu

$$\rho = \left(\frac{2 V_{1,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 181,4}{360,7} - 1 \right)^2 = 0,004$$

$$M_{V,Rd} = \left(W_{pl,y} - \frac{\rho A_v^2}{4 t_w} \right) f_{yd} = \left(145,2 \cdot 10^3 - \frac{0,004 \cdot 1760^2}{4 \cdot 2 \cdot 7} \right) \cdot 355 = 51,5 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} = 51,5 \text{ kNm} \geq M_{1,d} = 39,0 \text{ kNm} \dots \text{vyhovuje}$$

Příčnick vyhoví.

5.9.6 PŘENOS POSOUVAJÍCÍ SÍLY DO BETONOVÉ PATKY

Únosnost třením mezi patním plechem a betonem od ohybového momentu

$N_{c,min}$ – určena v MS Excel, stejným postupem jako byla zjišťována maximální síla ve šroubech. Viz. 5.9.2.2

$$V_{t,Rd} = \mu \cdot x \cdot b \cdot N_{c,min} = 0,2 \cdot 45,4 \cdot 316 \cdot 27,4 = 78,6 \text{ kN} < V_{Ed} = 101,0 \text{ kN}$$

→ je třeba smyková zarážka

5.9.6.1 NÁVRH ZARÁŽKY

Je třeba navrhnout smykovou zarážku pro nejnepriznivější kombinaci normálové a posouvající síly – NC 116

$$N_{Ed} = -34,7 \text{ kN} \dots \text{záporná normálová síla se neuvažuje}$$

$$V_{Ed} = 101,0 \text{ kN}$$

Návrh smykové zarážky: HEA 160, svar $a = 4 \text{ mm}$

Minimální výška zarážky v betonu

$$h > \frac{V_{Ed}}{b \cdot f_{cd}} = \frac{101\,000}{160 \cdot 20} = 30 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } h = \mathbf{40 \text{ mm}}$$

5.10.5.2 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI ZARÁŽKY

$$M_{Rd} = 245,1 \cdot 355 = 870,1 \text{ kNm} > M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 101 \cdot 0,08 = 8,0 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{1321 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 270,8 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 101,0 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.9.6.3 SVAROVÝ PŘÍPOJ ZARÁŽKY K PATNÍMU PLECHU

Moment setrvačnosti svarového obrazce

$$I_w = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 160 \cdot 4^3 + 160 \cdot 4 \cdot 80^2 \right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 62 \cdot 4^3 + 62 \cdot 4 \cdot (80 - 9)^2 \right) + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 104^3 = 13,9 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení svaru stojiny

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 a l} = \frac{101\,000}{2 \cdot 4 \cdot 104} = 121,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_{Ed} e}{\frac{I_w}{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{101\,000 \cdot (40 + 50/2)}{\frac{13,9 \cdot 10^6}{104/2}} = 17,4 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{17,4^2 + 3 \cdot (17,4^2 + 121,4^2)} = 213,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 17,4 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru pásnice

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 a l} = \frac{101\,000}{2 \cdot 4 \cdot 104} = 121,4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_{Ed} e}{\frac{I_w}{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{101\,000 \cdot (40 + 50/2)}{\frac{13,9 \cdot 10^6}{160/2}} = 26,7 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{26,7^2 + 3 \cdot (26,7^2 + 121,4^2)} = 216,9 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} =$$

$$= \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 26,7 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhoví.

5.10 SLOUP ŠTÍTOVÉ STĚNY

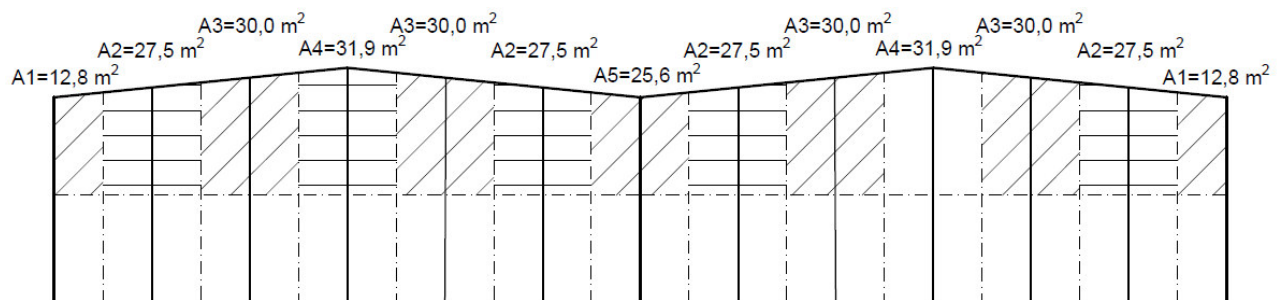
Zatěžovací šířka $a=5$ m, zatížení větrných oblastí viz str. 6

2 zatěžovací stavy - sloup 10,75m - oblast A+B (zatěžovací plocha A2)

- sloup 12 m – oblast větru B (zatěžovací plocha A4)

Zatížení - tlakem větru (oblast A,B)

- tíha pláště



Návrh: IPE 330

5.10.1 NÁVRHOVÉ SÍLY

$$N_{Ed} = \gamma_G (f_{plášť} l + g_0 l) = 1,35 \cdot (0,128 \cdot 12 + 0,491 \cdot 12) = 10,0 \text{ kN (bude zanedbáno)}$$

$$M_{Ed,1} = \frac{1}{8} f l^2 = \frac{1}{8} \cdot (1,71 \cdot 2,1 + 1,14 \cdot 2,9) \cdot 10,75^2 = 99,6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,2} = \frac{1}{8} f l^2 = \frac{1}{8} \cdot (1,14 \cdot 5) \cdot 12^2 = 102,6 \text{ kNm}$$

→ rozhodující zatěžovací stav pro MSÚ

$$V_{1,Ed} = 0,5 \cdot (1,71 \cdot 2,1 + 1,14 \cdot 2,9) \cdot 10,75 = 37,0 \text{ kN}$$

$$V_{2,Ed} = 0,5 \cdot (1,14 \cdot 5) \cdot 12 = 34,2 \text{ kN}$$

5.10.2 SOUČINITEL KLOPENÍ

Kritický moment

Vypočteno v programu LTBeamN – viz příloha 11

$$M_{cr} = 154,2 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{804,3 \cdot 355}{154\,200}} = 1,361$$

$$\frac{h}{b} = \frac{330}{160} = 2,06 > 2, \text{ platí křivka klopení c}$$

$$\chi_{LT} = 0,447$$

5.10.3 POSOUZENÍ MSÚ

$$\frac{M_{y,ed}}{\chi_{LT} M_{y,rk}} = \frac{102\,600}{0,447 \cdot 804,3 \cdot 355} = 0,80 < 1 \dots \text{vyhovuje}$$

$\gamma_{M1} = 1,0$

5.10.4 POSOUZENÍ MSP

$$\delta_{lim,1} = \frac{L}{250} = \frac{10\,750}{250} = 43 \text{ mm}$$

$$\delta_{lim,2} = \frac{L}{250} = \frac{12\,000}{250} = 48 \text{ mm}$$

$$\delta_1 = \frac{5 f l^4}{384 E I_y} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 0,76) \cdot 10\,750^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 11770 \cdot 10^4} = 26,7 \text{ mm} \leq \delta_{lim,1} = 43 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\delta_2 = \frac{5 f l^4}{384 E I_y} = \frac{5 \cdot (5 \cdot 0,76) \cdot 12\,000^4}{384 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 11770 \cdot 10^4} = 41,5 \text{ mm} \leq \delta_{lim,2} = 48 \text{ mm} \dots \text{vyhovuje}$$

Profil IPE 330 vyhoví.

5.10.5 PATKA ŠTÍTOVÝCH SLOUPŮ

Rozměry patky 1x1x0,8m

$$V_{Ed,max} = 37,0 \text{ kN}$$

Normálová síla bude zanedbána

Patní plech P20 350x200mm, podlití 30 mm

Kotvení (konstrukční): 2x HIT-HY 200-A + HIT-Z M16

Návrh smykové zarážky: HEA 120, svar $a = 4 \text{ mm}$

Minimální výška zarážky v betonu

$$h > \frac{V_{Ed}}{b \cdot f_{cd}} = \frac{37\,000}{120 \cdot 20} = 15 \text{ mm} \rightarrow \text{návrh } h = 30 \text{ mm}$$

5.10.5.1 POSOUZENÍ ÚNOSNOSTI ZARÁŽKY

$$M_{Rd} = 119,5 \cdot 355 = 424,2 \text{ kNm} > M_{Ed} = V_{Ed} \cdot e = 37,0 \cdot 0,06 = 2,2 \text{ kNm}$$

$$V_{Rd} = \frac{A_{vz} f_{yd}}{\sqrt{3}} = \frac{846 \cdot 355}{\sqrt{3}} = 173,4 \text{ kN} > V_{Ed,max} = 37,0 \text{ kN} \dots \text{vyhovuje}$$

5.10.5.2 SVAROVÝ PŘÍPOJ ZARÁŽKY K PATNÍMU PLECHU

Moment setrvačnosti svarového obrazce

$$I_w = 2 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 4^3 + 120 \cdot 4 \cdot 60^2 \right) + 4 \cdot \left(\frac{1}{12} \cdot 45,5 \cdot 4^3 + 45,5 \cdot 4 \cdot (60 - 8)^2 \right) + 2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 74^3 = 5,7 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Posouzení svaru stojiny

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 a l} = \frac{37\,000}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 62,5 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_{Ed} e}{\frac{I_w}{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{37\,000 \cdot (30 + 30/2)}{\frac{5,7 \cdot 10^6}{74/2}} = 7,6 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} = \sqrt{7,6^2 + 3 \cdot (7,6^2 + 62,5^2)} = 109,3 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje}$$

$$\sigma_{\perp} = 7,6 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru pásnice

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{2 a l} = \frac{37\,000}{2 \cdot 4 \cdot 74} = 62,5 \text{ MPa}$$

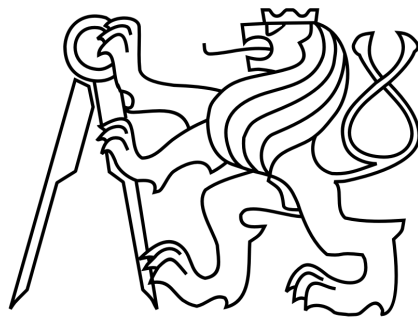
$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{V_{Ed} e}{\frac{I_w}{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{37\,000 \cdot (30 + 30/2)}{\frac{5,7 \cdot 10^6}{120/2}} = 12,4 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} &= \sqrt{12,4^2 + 3 \cdot (12,4^2 + 121,4^2)} = 111,1 \text{ MPa} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}} = \\ &= \frac{490}{0,9 \cdot 1,25} = 435,5 \text{ MPa} \dots \text{vyhovuje} \end{aligned}$$

$$\sigma_{\perp} = 12,4 \text{ MPa} \leq \frac{0,9 f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 490}{1,25} = 352,8 \text{ MPa}$$

Svar zarážky vyhoví.

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí**



**DIPLOMOVÁ PRÁCE
DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY**

VÝKRESY

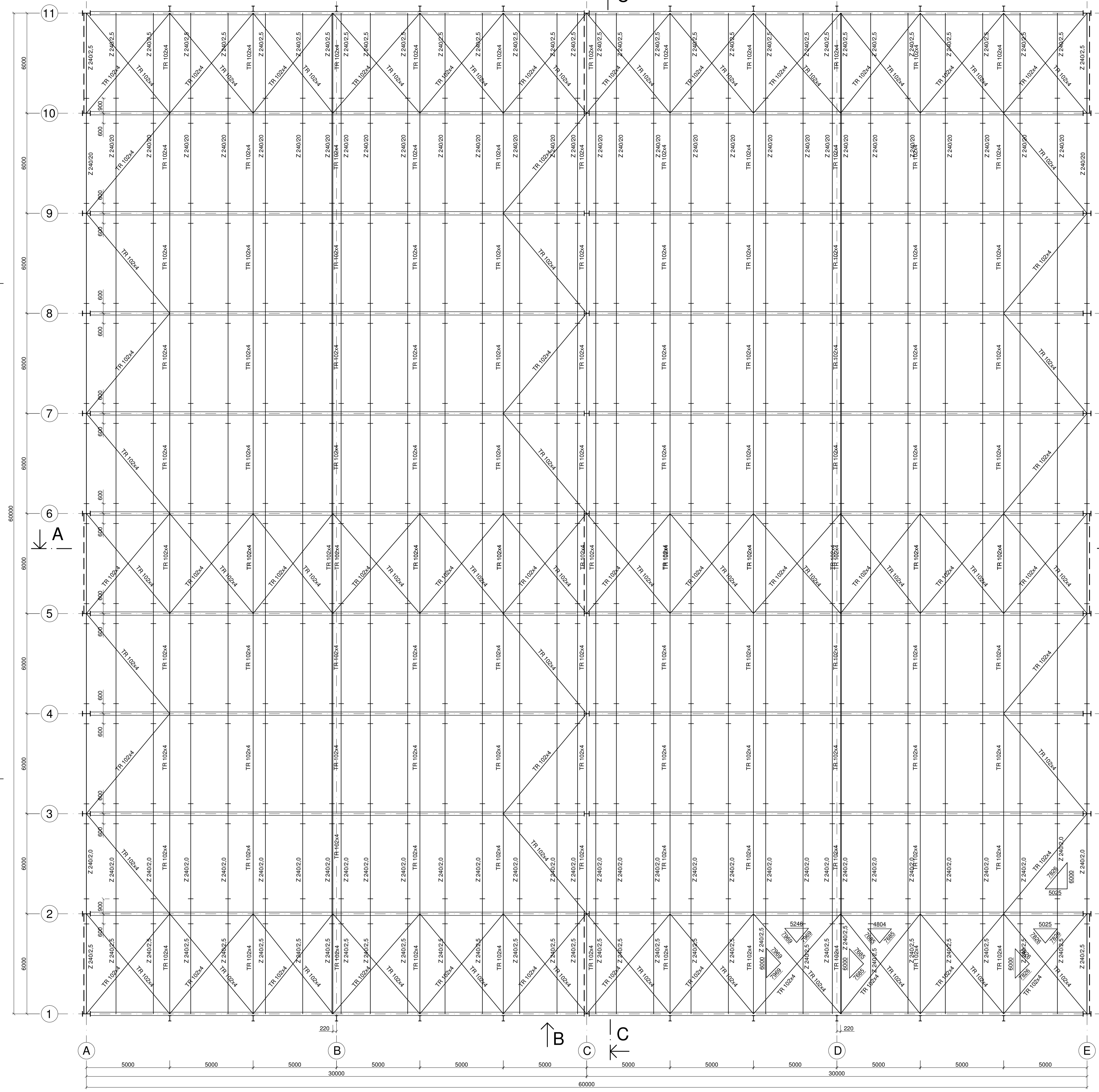
Bc. Marek Pařízek

2017

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Jandera Ph.D.

Půdorys střechy

M 1:100

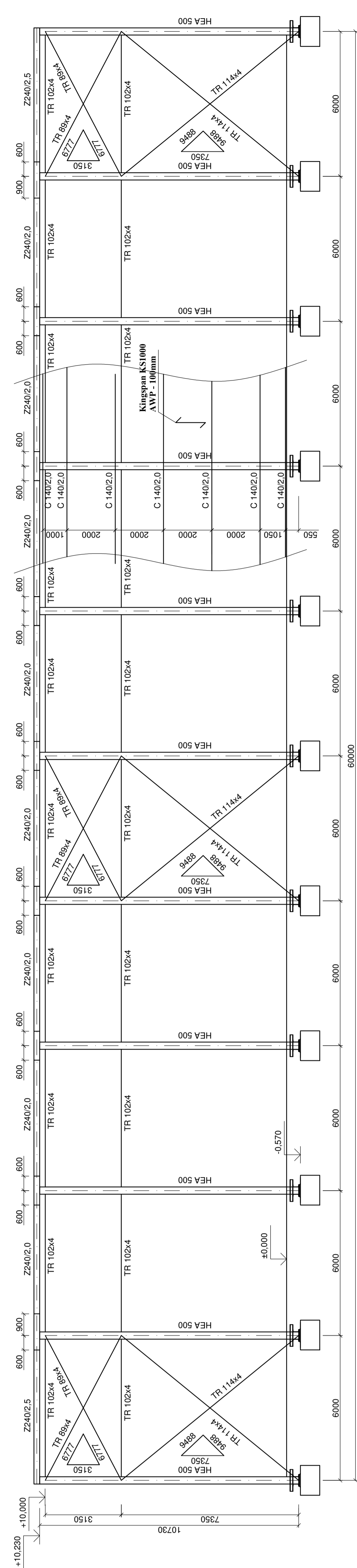


↑ A ↓

↑ B ↓

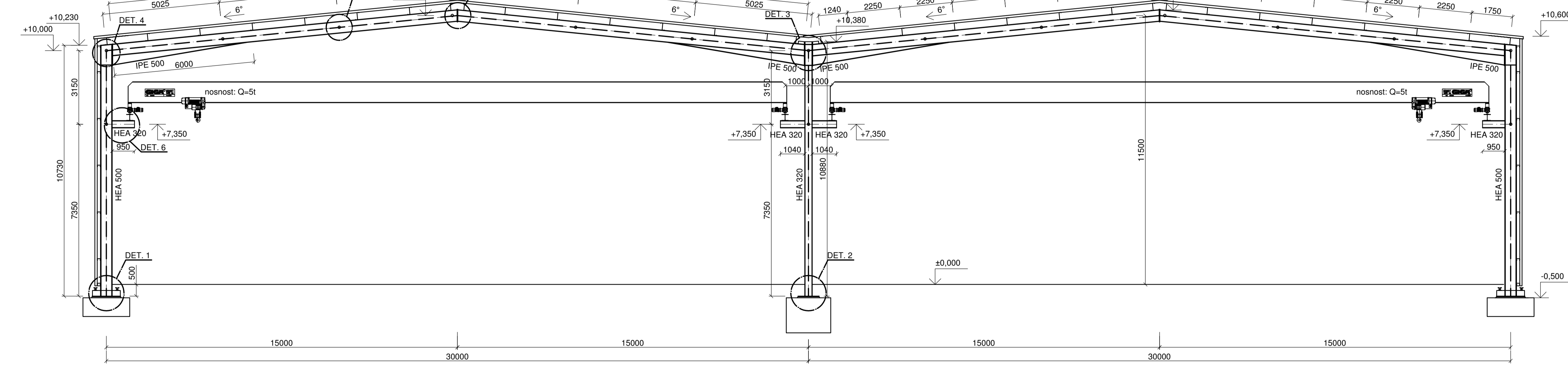
↑ C ↓

↑ D ↓



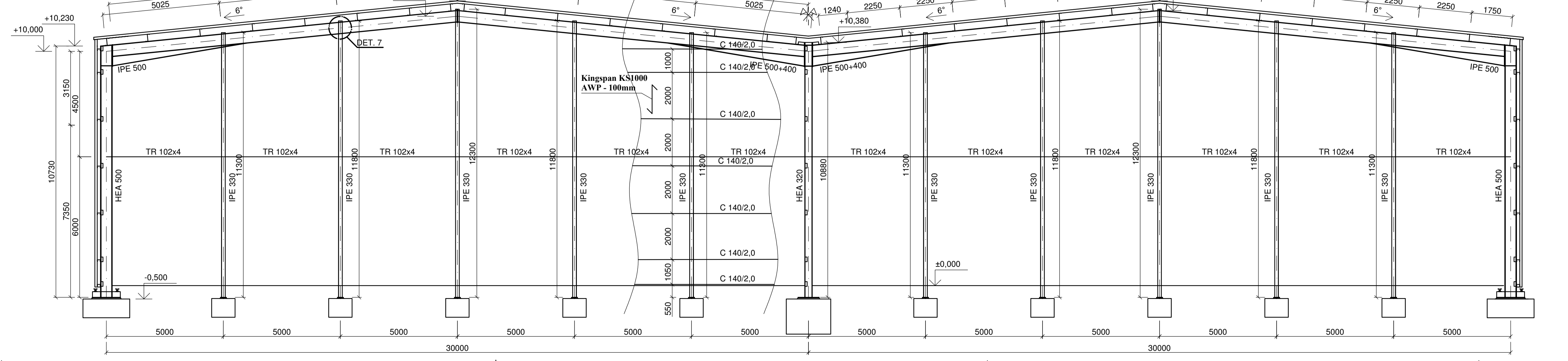
Řez A-A

M 1:100



Pohled B

M 1:100



POZNÁMKY:
 OCEL: S355JR
 BETON: C 30/37 - XC1(C2, F. 1) - Cl 0,1 - Dmax 16 - S3
 TRISA: PROVEDENÍ EXC Z dle ČSN EN 1993-1-1:2011
 SVÁRY: všechny svary značeny pro účinnou výšku svazu a₃₂
 ŠROUBY: M27 10.9
 1176 5.8

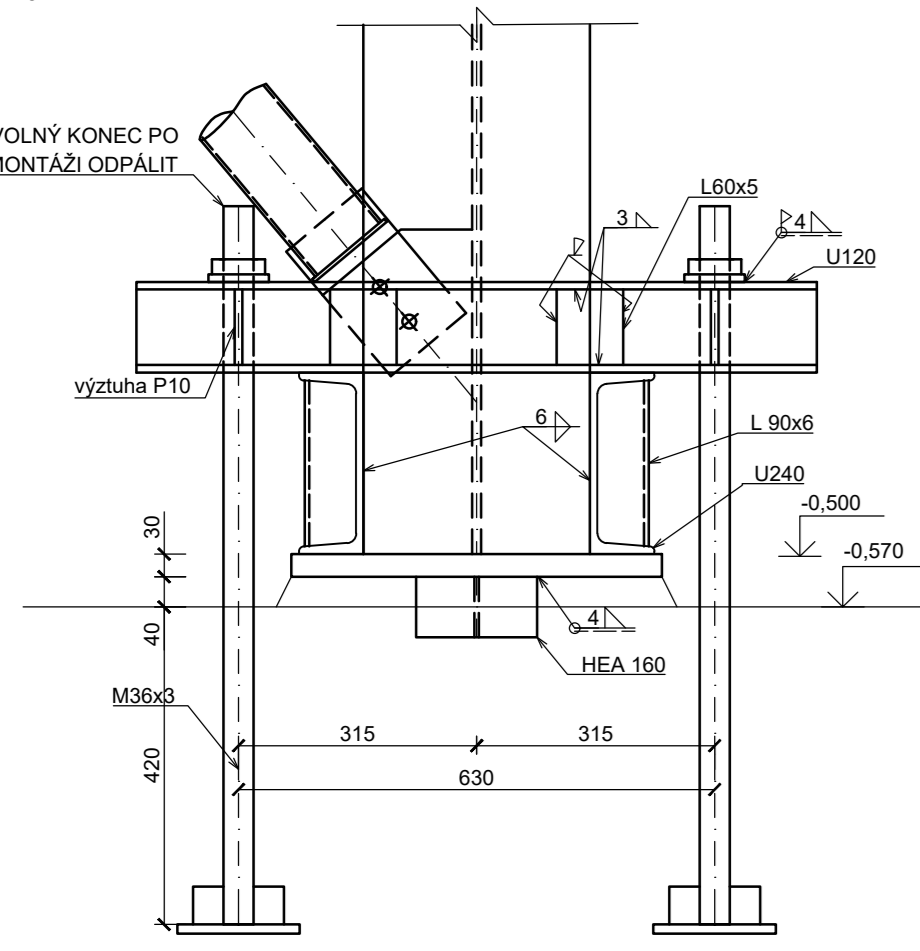
NÁTĚR: Štěrka korozní agresivní prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2: C2 (nízká)
 Životnost ochranného nátěrového systému dle ČSN EN ISO 12944-1: střední (M) - 5 až 15 let

±0,000 = 200,000 m.n.m. B.p.v.

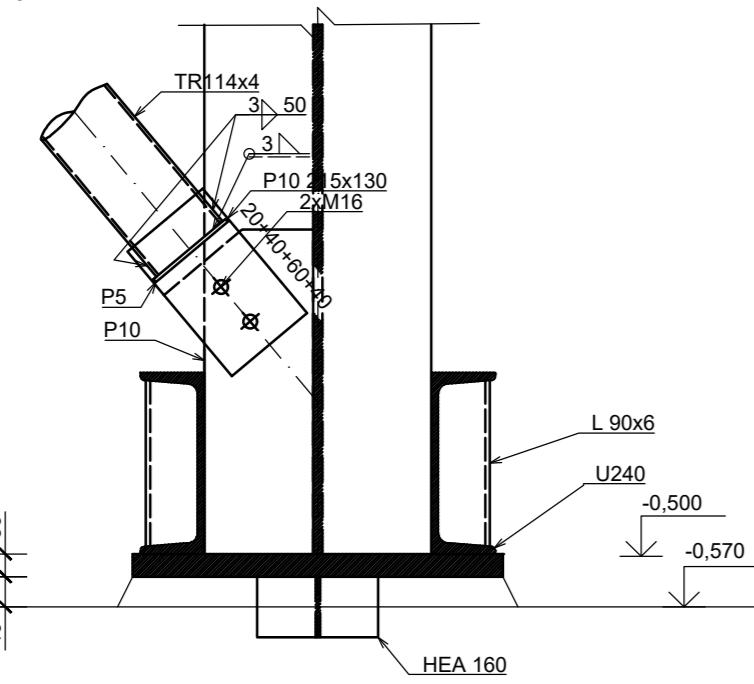
Zpracoval: Bc. Marek Pařízek	Vedoucí práce: Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok: 2016-2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: DIPLOMOVÁ PRÁCE	Datum: 1/2017		Číslo výkresu: 1
Výsledek: PŮDORYS A ŘEZY			

D1 - Vetknutá patka

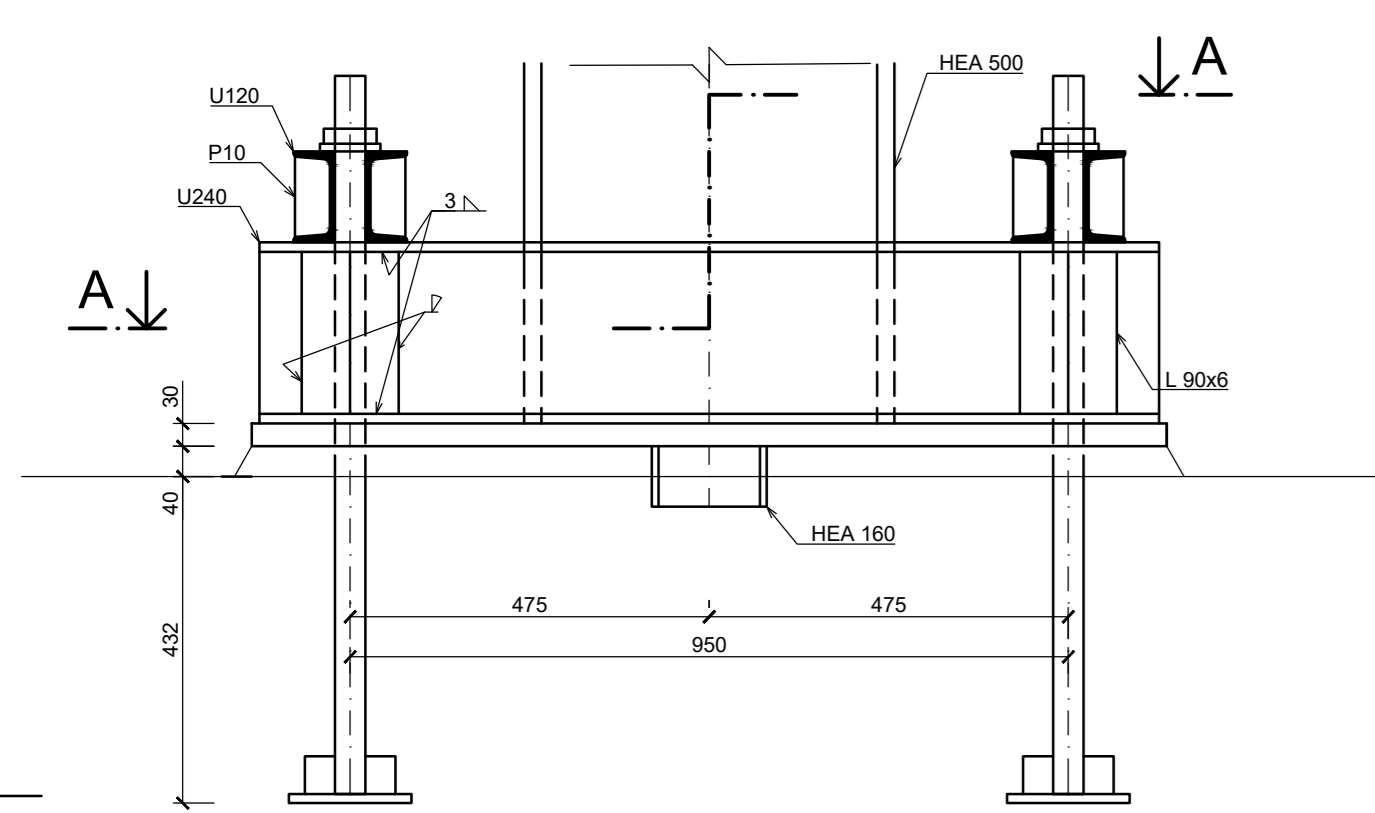
Pohled C
M 1:10



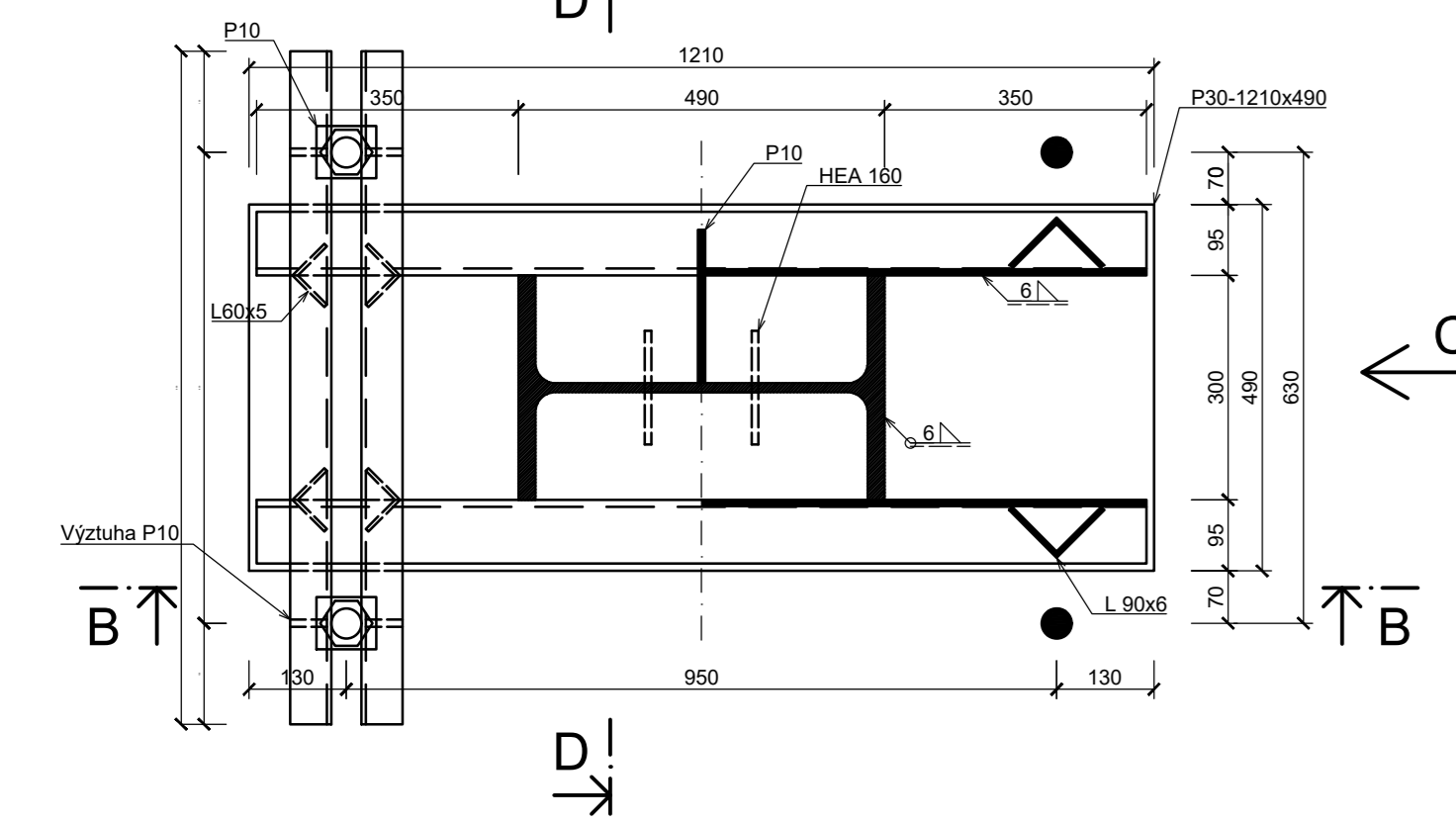
Řez D-D
M 1:10



Řez B-B
M 1:10

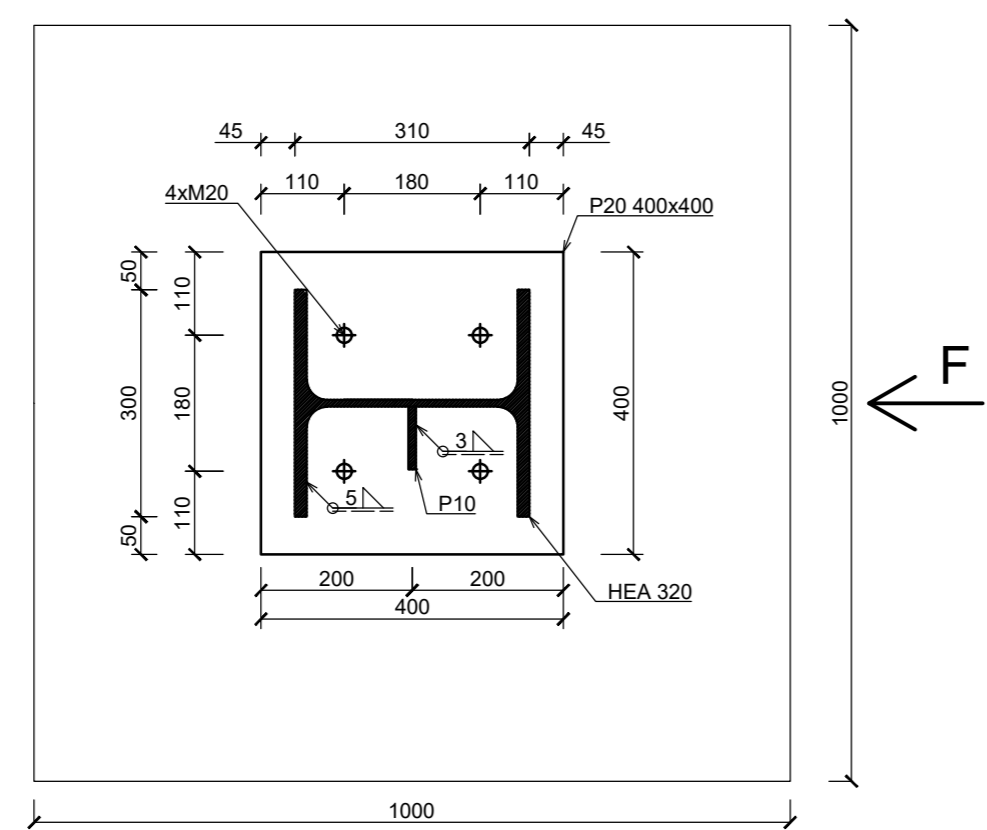


Řez A-A
M 1:10

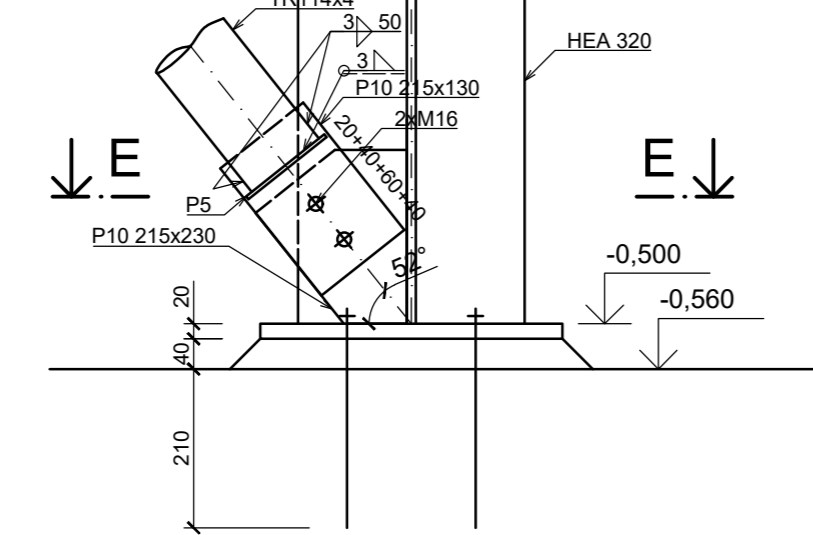


D2 - Kloubová patka

Řez E-E
M 1:10

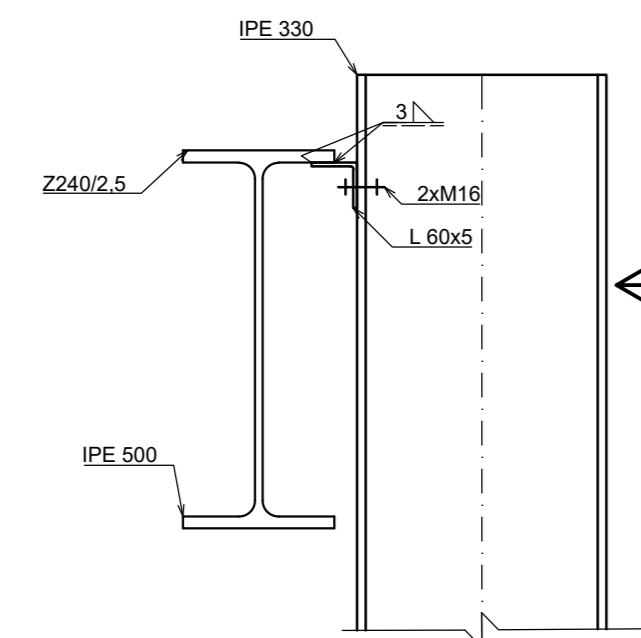


Pohled F
M 1:10

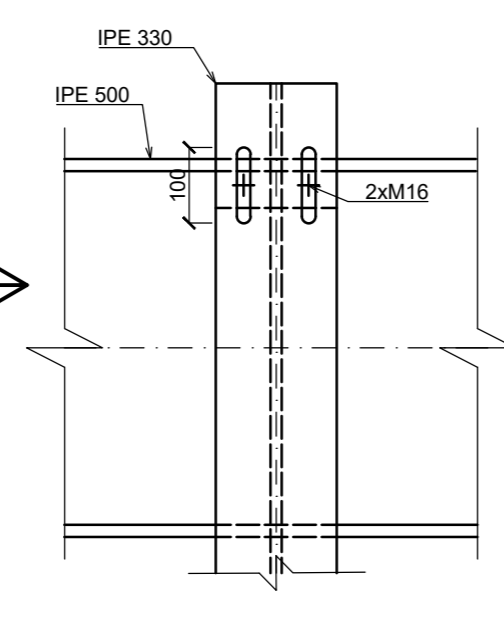


D7 - Štítová stěna

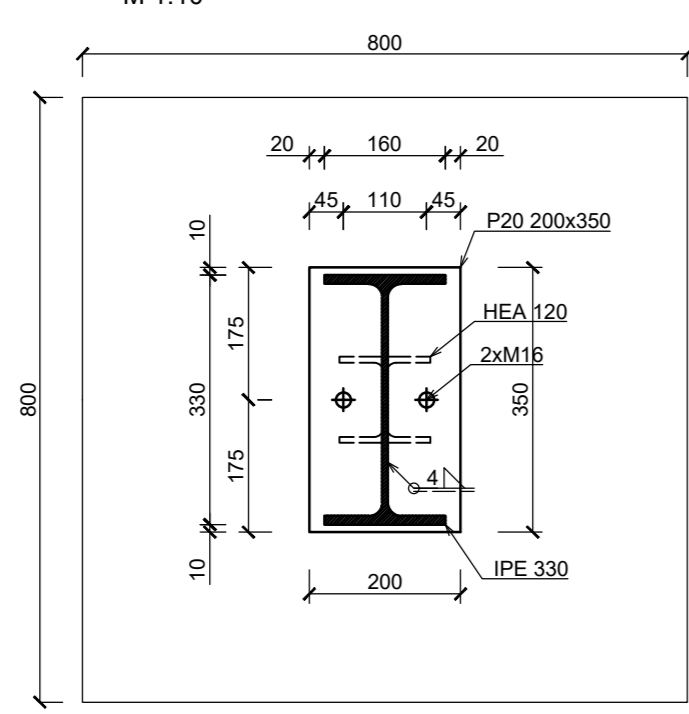
Pohled W
M 1:10



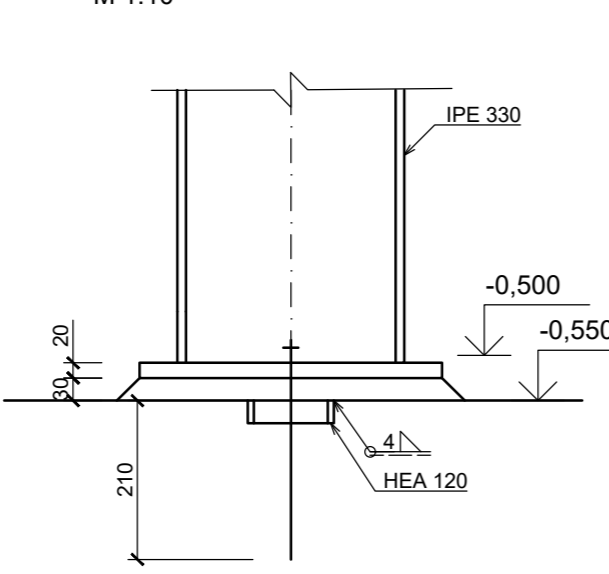
Pohled X
M 1:10



Kotvení sloupu
M 1:10

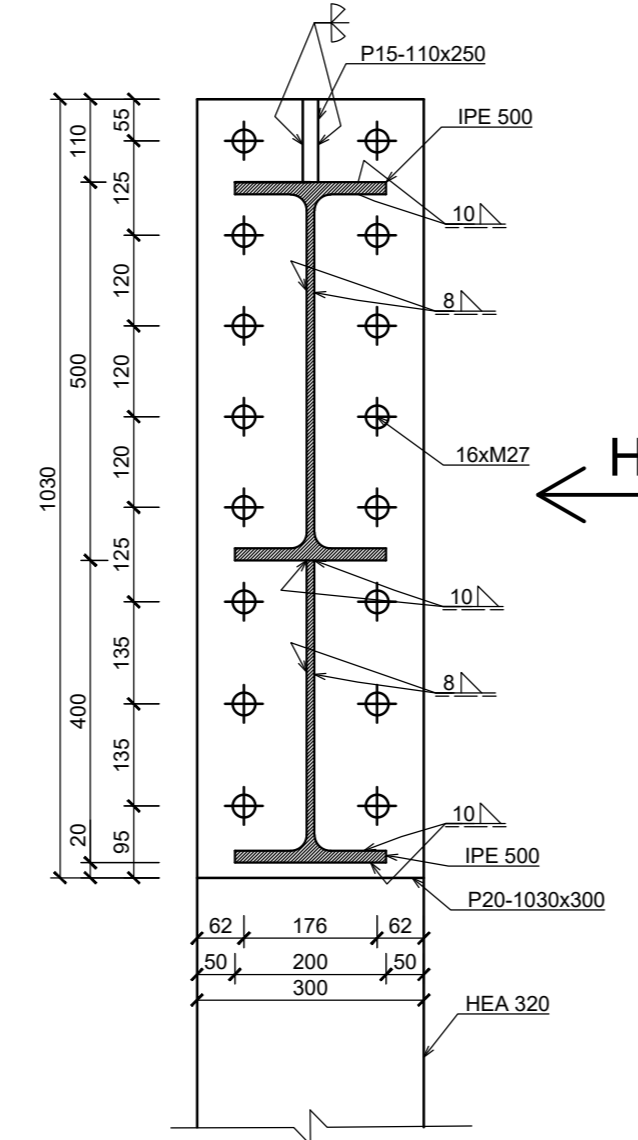


Pohled Y
M 1:10

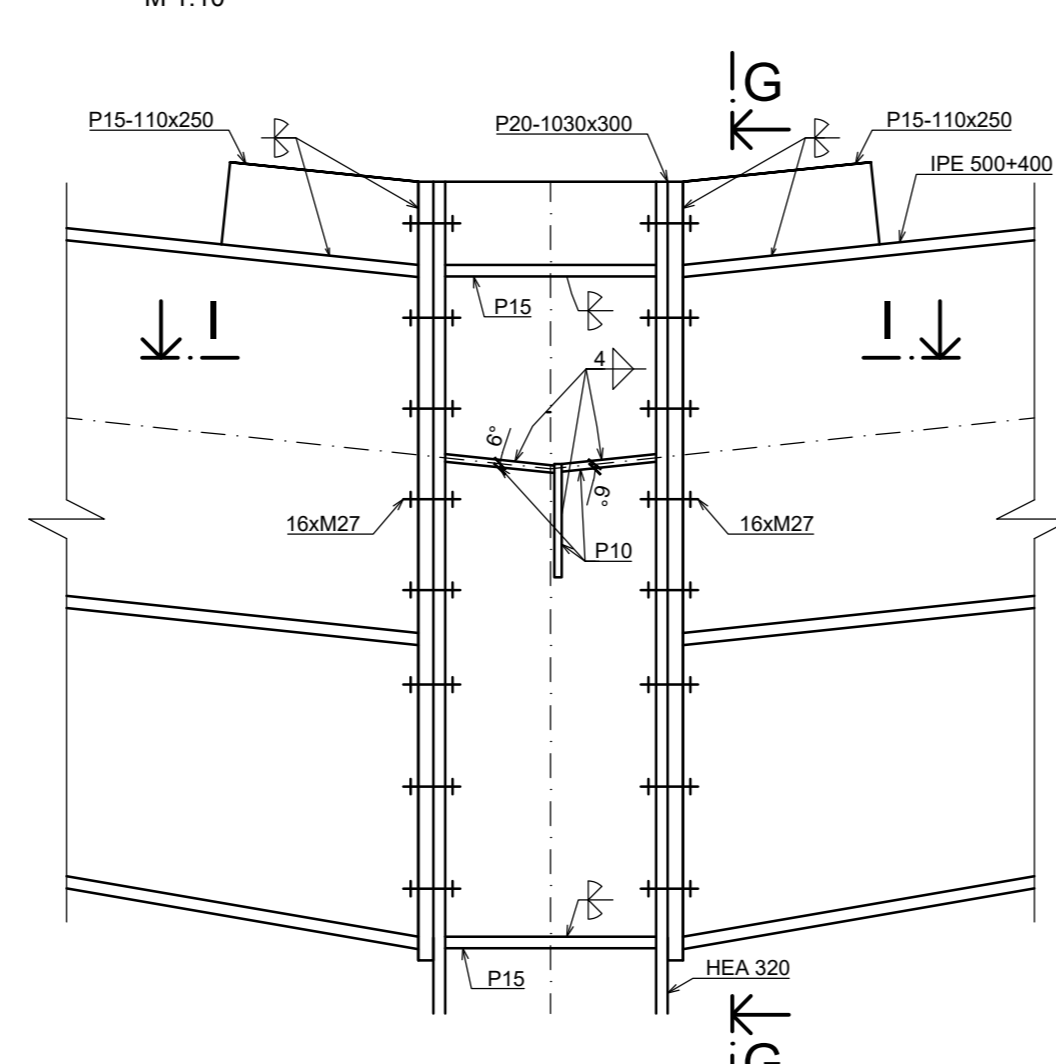


D3 - Momentový přípoj - střední

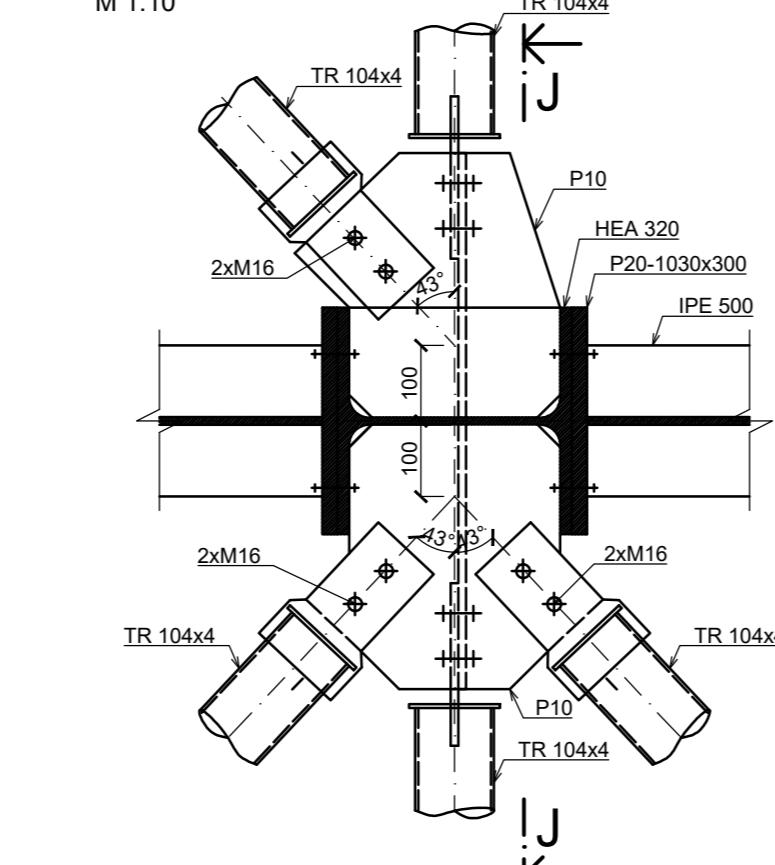
Řez G-G
M 1:10



Pohled H
M 1:10

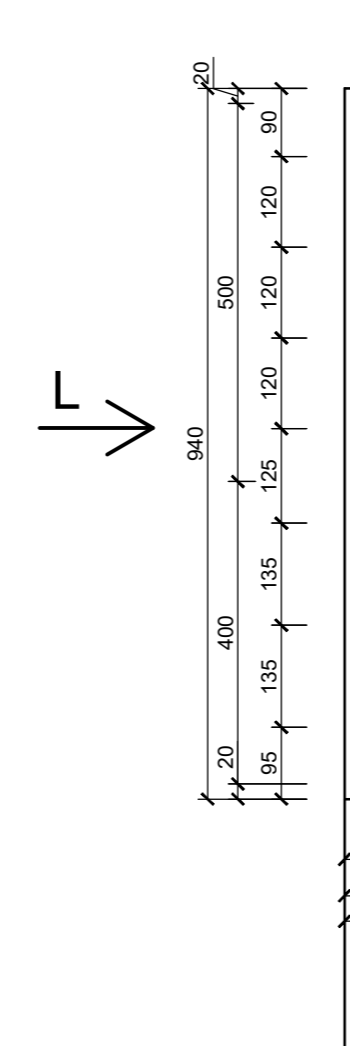


Řez I-I
M 1:10

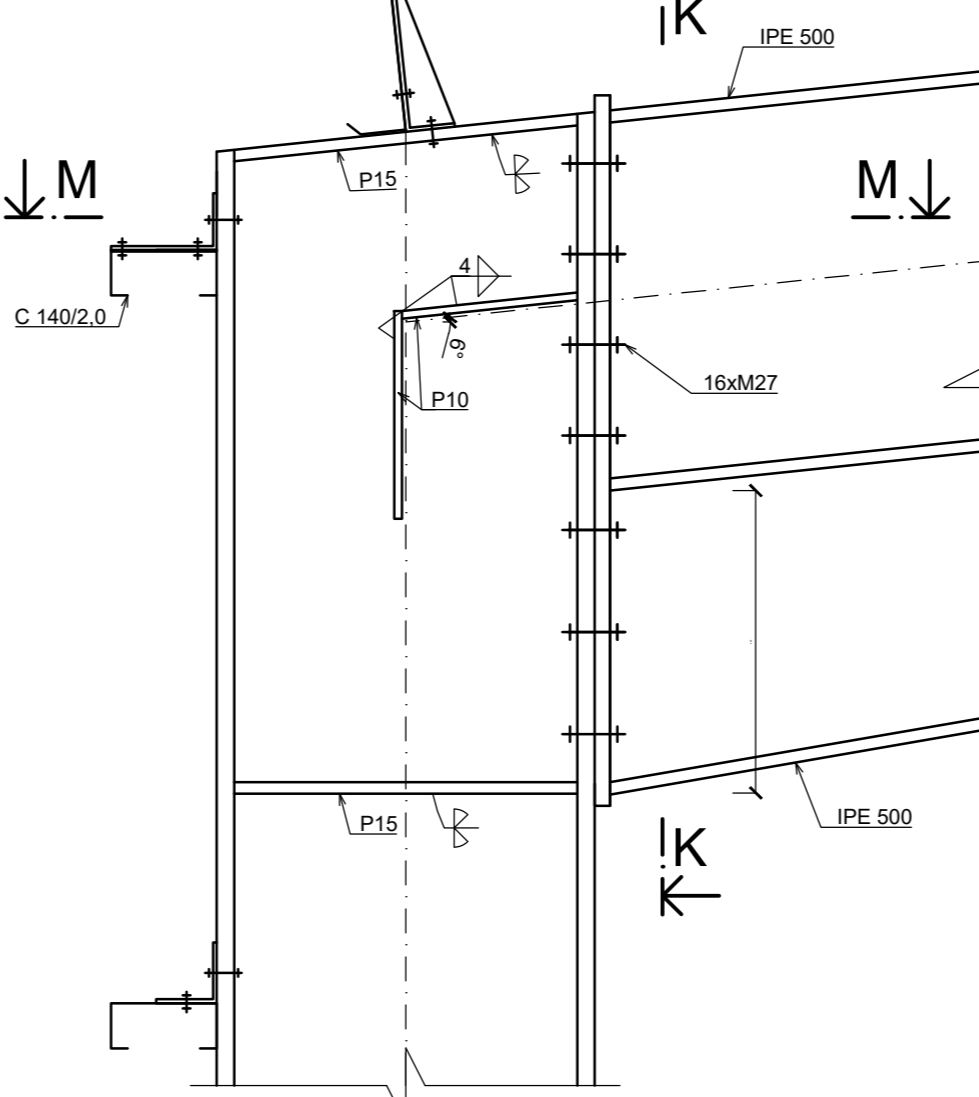


D4 - Momentový přípoj - krajní

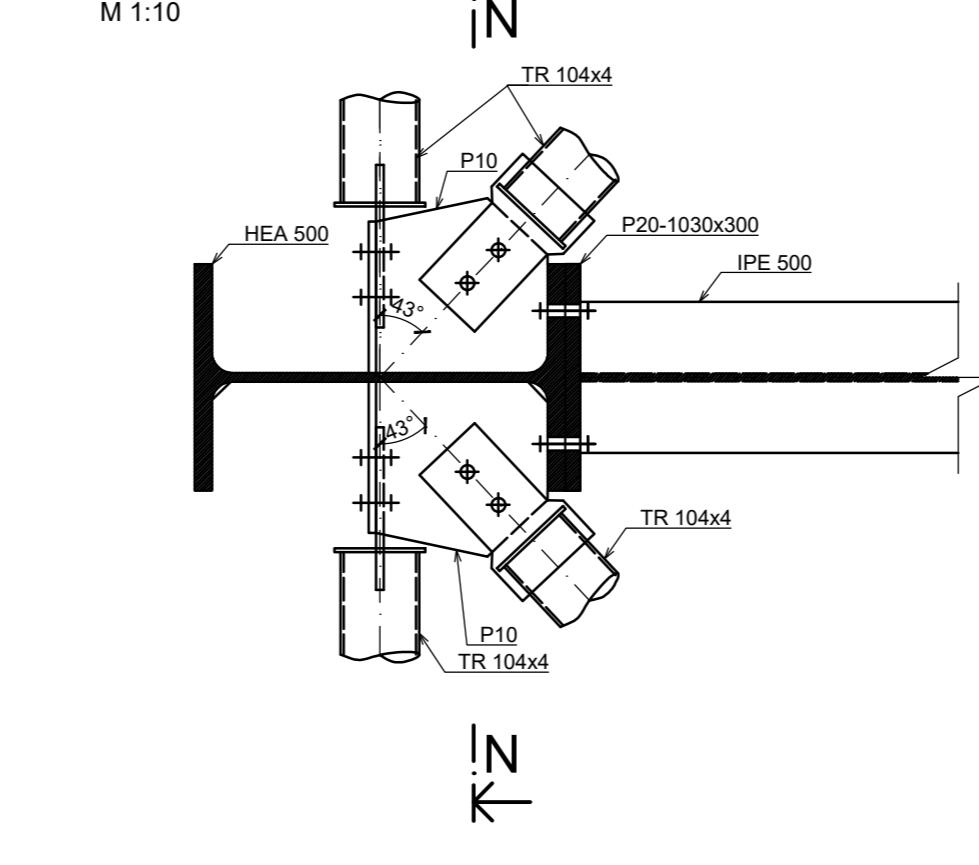
Řez K-K
M 1:10



Pohled L
M 1:10

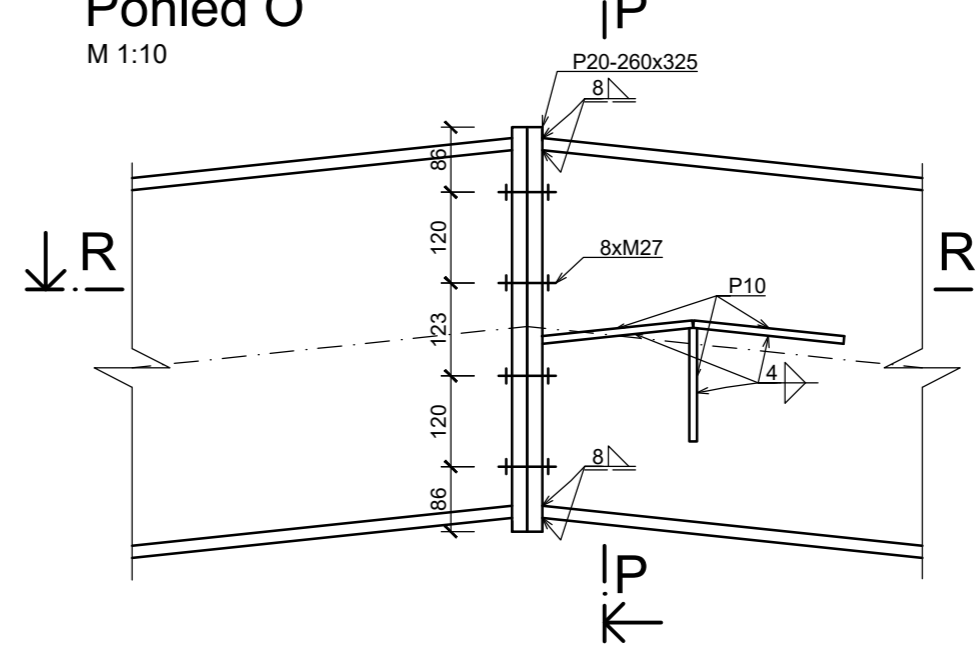


Řez M-M
M 1:10

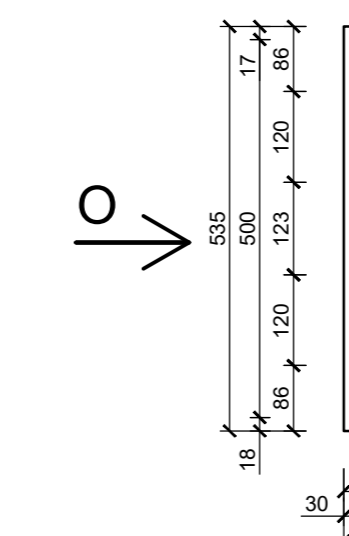


D5 - Momentový přípoj - vrcholový

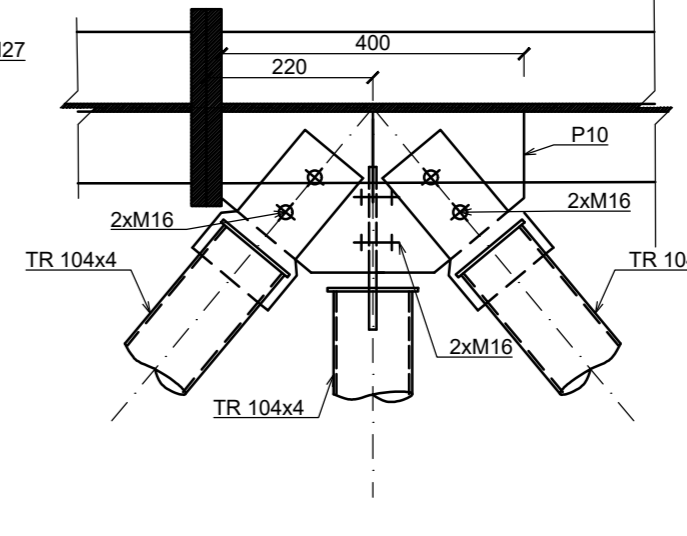
Pohled O
M 1:10



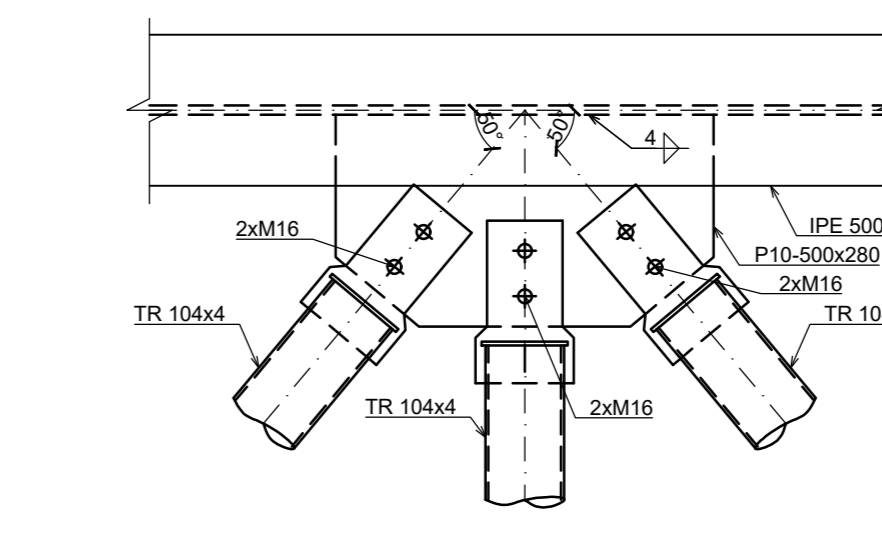
Řez P-P
M 1:10



Řez R-R
M 1:10

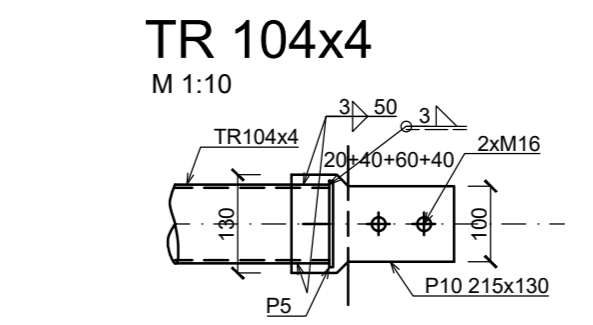


D8 - Střešní ztužidlo

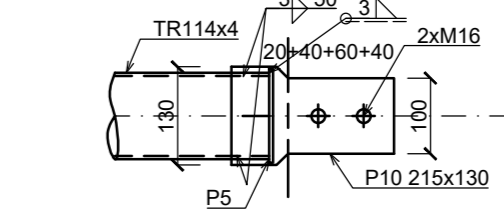


D9 - Typické přípoje ztužidel

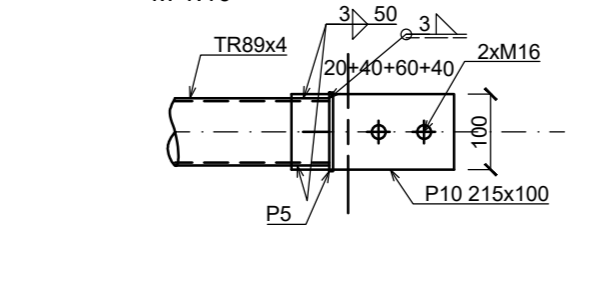
TR 104x4
M 1:10



TR 114x4
M 1:10

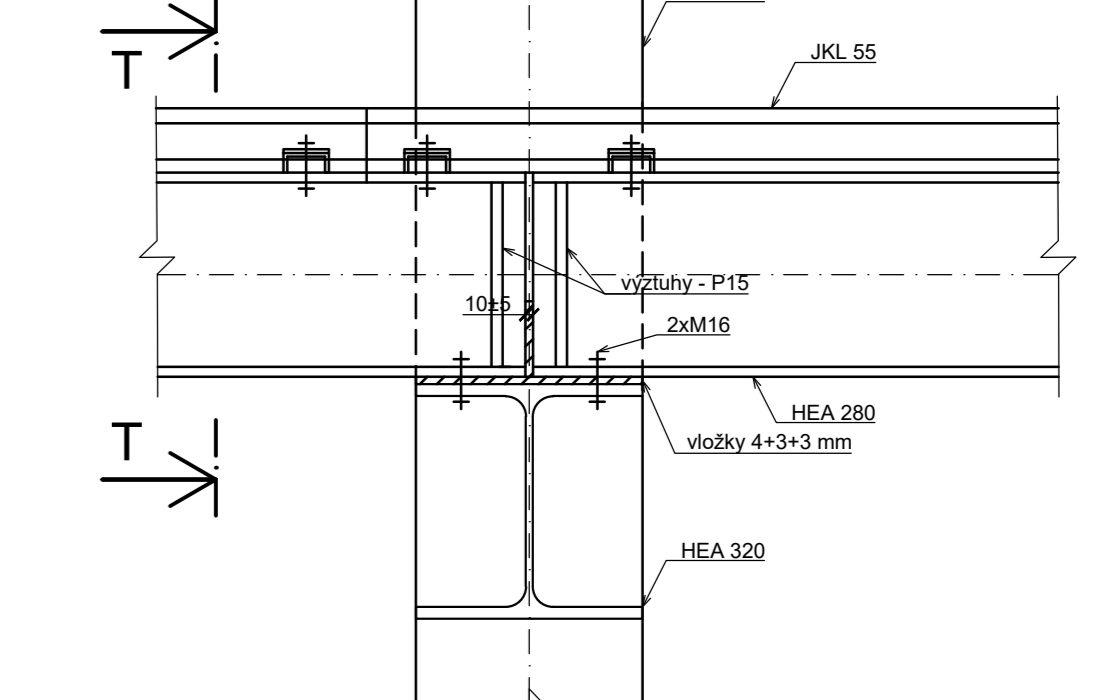


TR 89x4
M 1:10

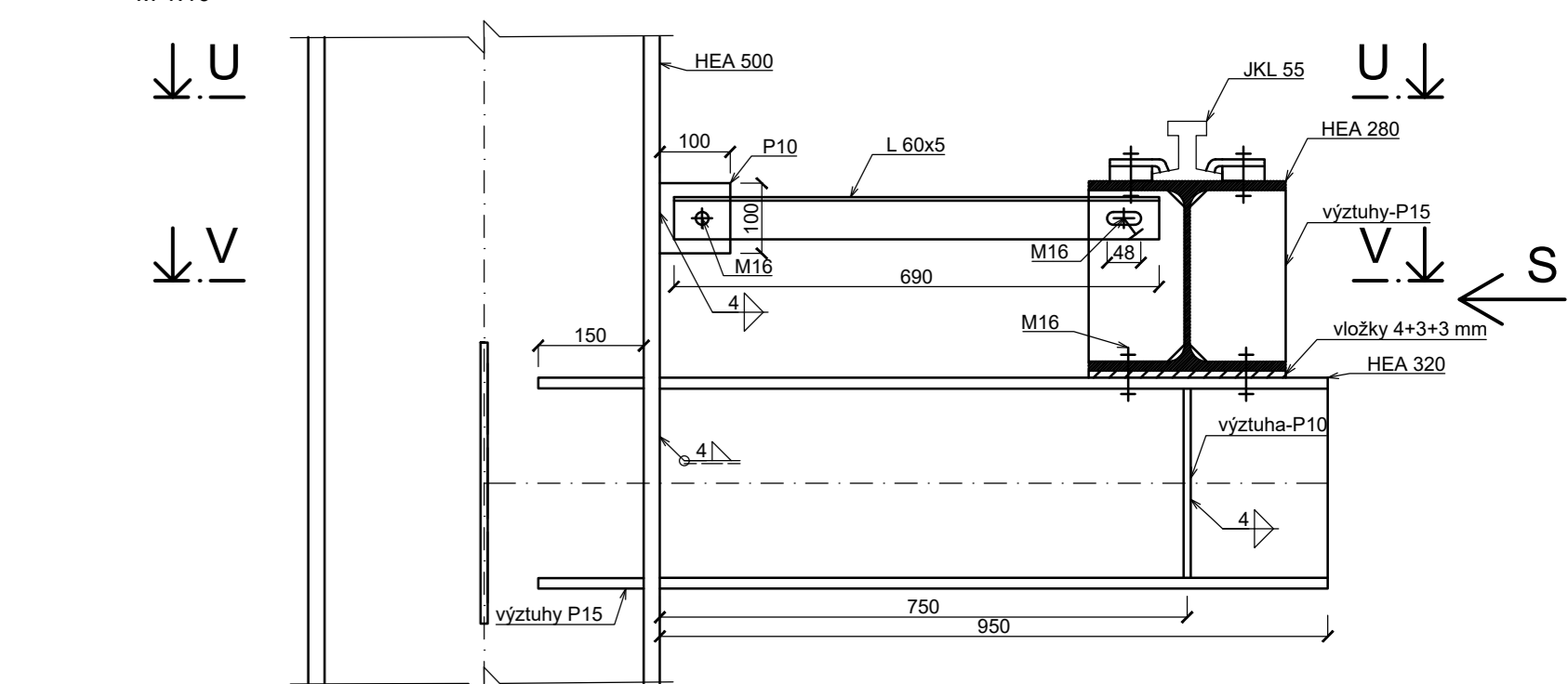


D6 - Konzola JD

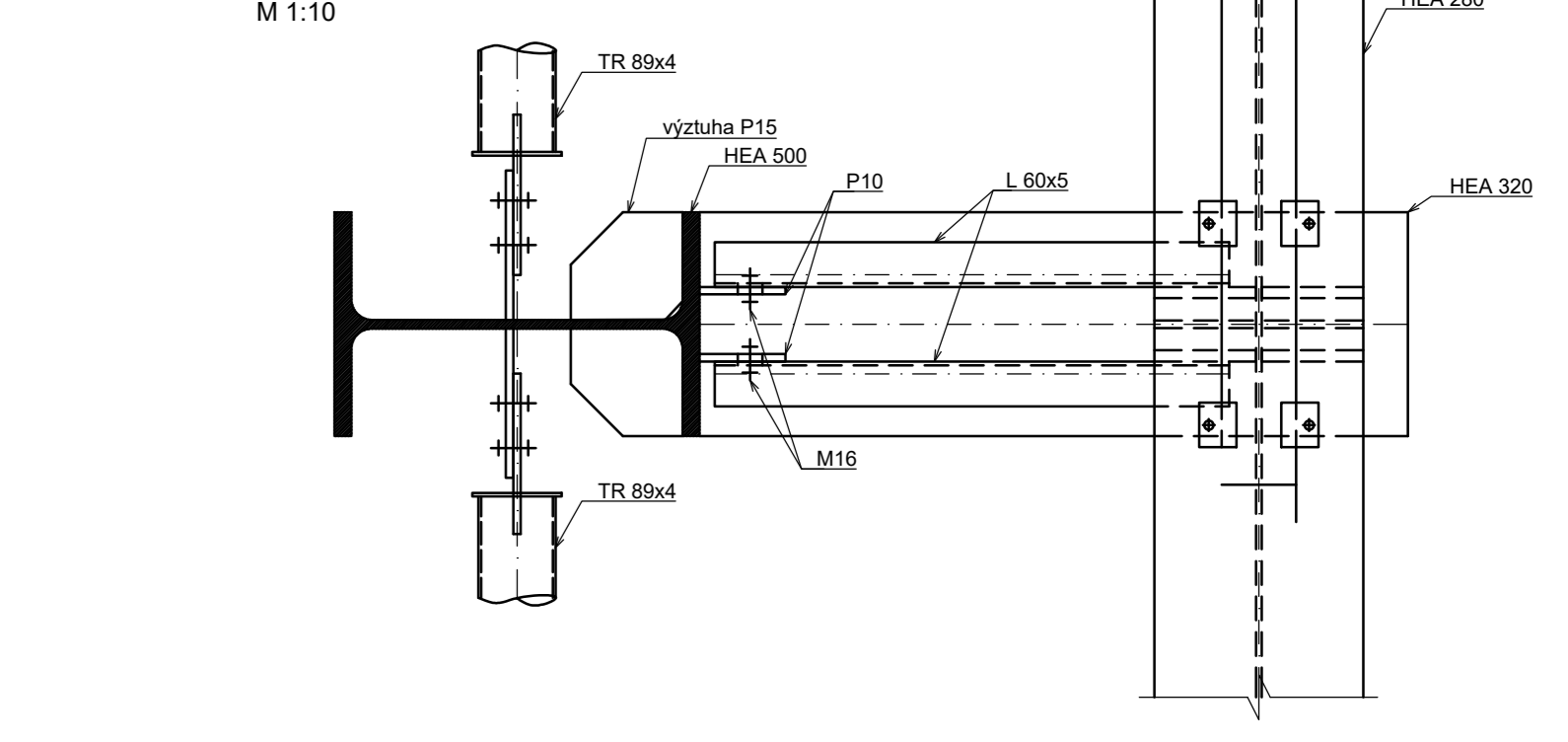
Pohled S
M 1:10



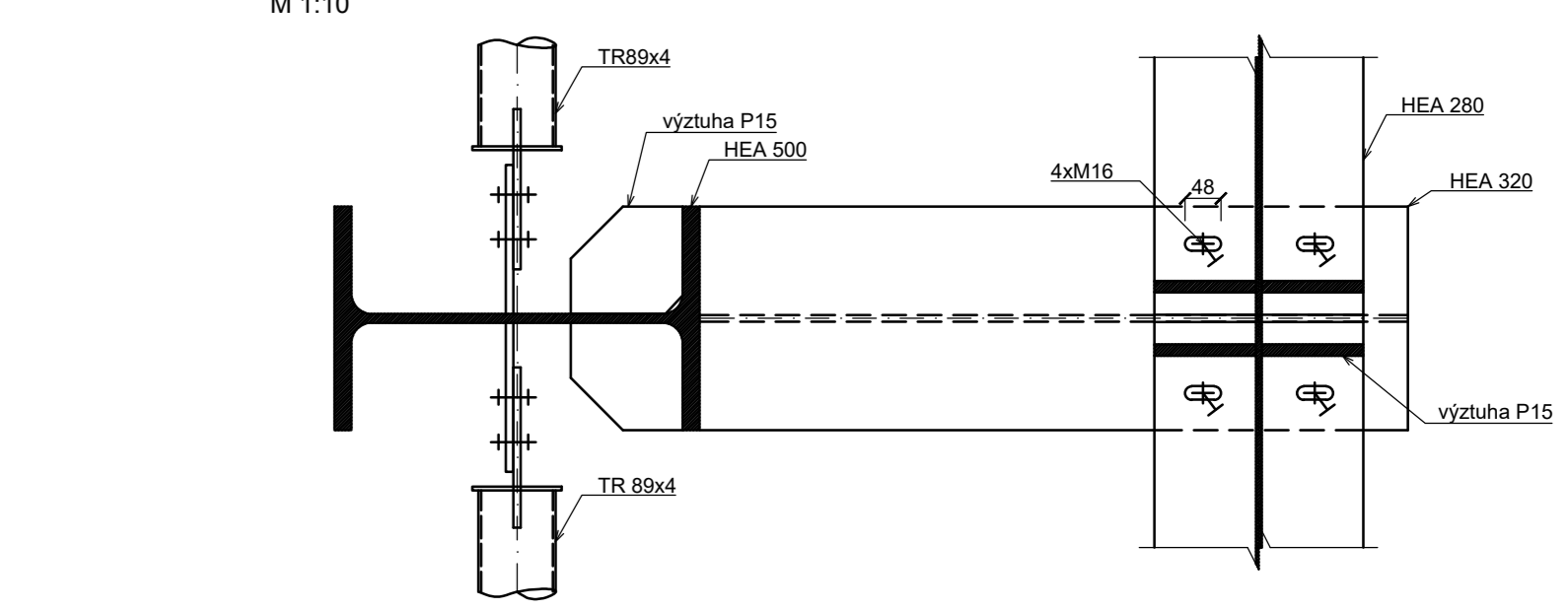
Řez T-T
M 1:10



Řez U-U
M 1:10



Řez V-V
M 1:10

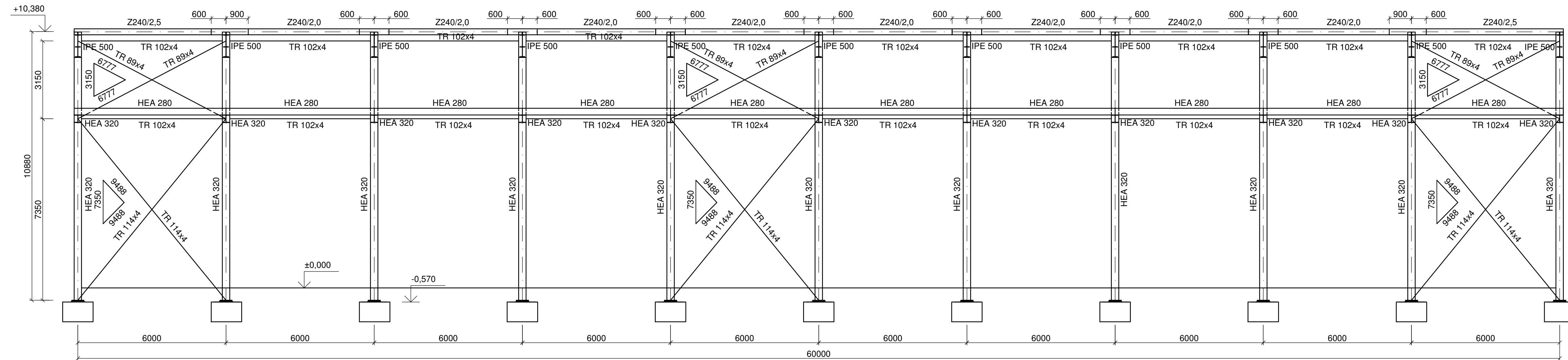


POZNÁMKY:
 OCEĽ: S355JR
 BETON: C 30/37 - XC1(CZ, F.1) - Cl 0,1 - Dmax 16 - S3
 TRÍDA PROVEDENÍ: EXC 2 dle ČSN EN 1993-1-1/A1
 SVÁRY: veľké svary značeny pro účinnou výšku svazu
 SROUBY: M27 10.9
 M16 8.8
 NÁTĚR: Stupeň korozní agresivity prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2: C2 (nízká)
 Životnost ochranného nátléto systému dle ČSN EN ISO 12944-1: střední (M) - 5 až 15 let
 ±0,000 = 200,000 m.n.m. B.p.v.

Zpracoval Bc. Marek Pařízek	Vedoucí práce Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok 2016-2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: DIPLOMOVÁ PRÁCE	Datum 1/2017		Číslo výkresu 2
Úloha: DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JERÁBY	Měřítko 1:10		
Výkres: DETAILY			

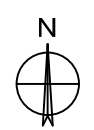
Řez C-C

M 1:100



POZNÁMKY:
 OCEL: S355JR
 BETON: C 30/37 - XC1(CZ, F.1) - Cl 0,1 - Dmax 16 - S3
 TŘÍDA PROVEDENÍ: EXC 2 dle ČSN EN 1993-1-1/A1
 SVARY: veškeré svary značeny pro účinnou výšku svaru a_{31}
 ŠROUBY: M27 10.9
 M16 8.8
 NÁTĚR: Stupeň korozní agresivity prostředí dle ČSN EN ISO 12944-2: **C2 (nízká)**
 Životnost ochranného nátěrového systému dle ČSN EN ISO 12944-1: **střední (M)** - 5 až 15 let

±0,000 = 200,000 m.n.m. B.p.v.



Zpracoval Bc. Marek Pařízek	Vedoucí práce Ing. Michal Jandera, Ph.D.	Školní rok 2016-2017	Fakulta stavební ČVUT
Předmět: DIPLOMOVÁ PRÁCE			Datum 1/2017
Úloha: DVOULODNÍ HALA S MOSTOVÝMI JEŘÁBY			Měřítko 1:100
Výkres: ŘEZ C-C			Číslo výkresu 3