

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

**Bakalářská práce**

**ZASTŘEŠENÍ AUTOBUSOVÉHO NÁDRAŽÍ  
V JAROMĚŘI**

ROOFING OF THE BUS STATION IN JAROMĚŘ

Kateřina Koubová

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

2018



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Koubová Jméno: Kateřina Osobní číslo: 438976  
Zadávací katedra: K134  
Studijní program: Stavební inženýrství  
Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Zastřešení autobusového nádraží v Jaroměři

Název bakalářské práce anglicky: Roofing of the bus station in Jaroměř

Pokyny pro vypracování:

Vypracování návrhu konstrukčního řešení, vypracování numerického modelu konstrukce, statický výpočet a posouzení všech prvků nosné konstrukce, návrh klíčových detailů, výkresová dokumentace, krátká technická zpráva.

Seznam doporučené literatury:

Ocelové konstrukce 10, 20, 30, normy pro navrhování ocelových konstrukcí, zatížení staveb

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2018 Termín odevzdání bakalářské práce: 28.5.2018

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příštího ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

21.2.2018  
Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

### **Čestné prohlášení:**

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

Kateřina Koubová

V Praze, dne 27.5.2018

.....

### **Poděkování:**

Chtěla bych poděkovat především panu Ing. Michalovi Netušilovi, Ph.D. za cenné rady a velmi vstřícný přístup během zpracování celé této práce. Dále pak své rodině za veškerou podporu během studia, včetně věcných připomínek z praxe. Velký dík patří také přátelům a partnerovi, kteří měli bezmeznou trpělivost a stáli vždy při mně.

# Abstrakt

Cílem práce je návrh a posouzení ocelové konstrukce zastřešení nástupiště autobusového nádraží v Jaroměři. Práce se skládá ze tří částí, a to technické zprávy, statického výpočtu a výkresové dokumentace. Hlavní nosná konstrukce sestává ze sloupů – pylonů, nosníků, vaznic a závěsů a bude navazovat na budovu terminálu, který zajišťuje zázemí pro cestující (samotný terminál však není předmětem této práce).

V technické zprávě jsou uvedeny základní informace o konstrukci a lokalitě. Obsahem statického výpočtu je stanovení zatížení, výpočet vnitřních sil (pomocí programu Scia Engineer), posouzení všech nosných prvků a návrh a posouzení spojů.

V poslední části jsou výkresy celé konstrukce i detailů. Všechna posouzení jsou provedena podle současných platných norem řady ČSN EN.

## Klíčová slova

Ocelová konstrukce; zastřešení; zavěšená konstrukce; vaznice; nosník; sloup; návrh; posouzení

# Abstract

The aim of this bachelor thesis is the design and evaluation of the steel load bearing structure of the bus station roofing in Jaroměř, Czech republic. Structure serves as a canopy for travellers. This thesis is divided into three main parts, which is technical report, structural calculation and drawing documentation. Main supporting structure is made from pillars (columns), beams, purlins and suspensions and it is connected with building of bus station, which secures background zone for passengers (bus station is not a subject of this thesis).

In the technical report, basic informations about construction and location are presented. static part of the thesis determines load, calculates internal forces (per Scia Engineer), assesses all the framework and design joints.

In last part of this thesis, we can find drawings of the construction with all important details for construction. All assessment is designed according to current valid standards and codes ČSN-EN.

## Keywords

Steel structure; roofing; suspension construction; purlin; beam; column; design; assessment

## **Seznam příloh:**

**1. Úvodní listy**

**2. Technická zpráva**

**3. Statický výpočet**

**4. Výkresová dokumentace**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Technická zpráva

# **ZASTŘEŠENÍ AUTOBUSOVÉHO NÁDRAŽÍ V JAROMĚŘI**

ROOFING OF THE BUS STATION IN JAROMĚŘ

Kateřina Koubová

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

2018

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Všeobecný popis.....</b>	<b>2</b>
2.1	Zdroje a podklady .....	2
2.2	Situace objektu .....	2
2.3	Parametry konstrukce .....	3
<b>3</b>	<b>Technické řešení .....</b>	<b>4</b>
3.1	Základové konstrukce.....	4
3.2	Svislé konstrukce.....	4
3.3	Vodorovné konstrukce.....	4
3.4	Předpjaté prvky.....	4
3.5	Střešní krytina.....	5
<b>4</b>	<b>Použité materiály .....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Výroba a montáž.....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>Ochrana proti korozi.....</b>	<b>5</b>



# 1 Úvod

Technická zpráva obsahuje základní informace o lokalitě, konstrukci a jejím stavebně technologickém řešení. V situaci je vyznačena poloha stavby a úprava jejího okolí. V dalších částech je pak stručný popis konstrukce a jejích prvků, specifikace materiálů a řešení antikorozi úpravy.

## 2 Všeobecný popis

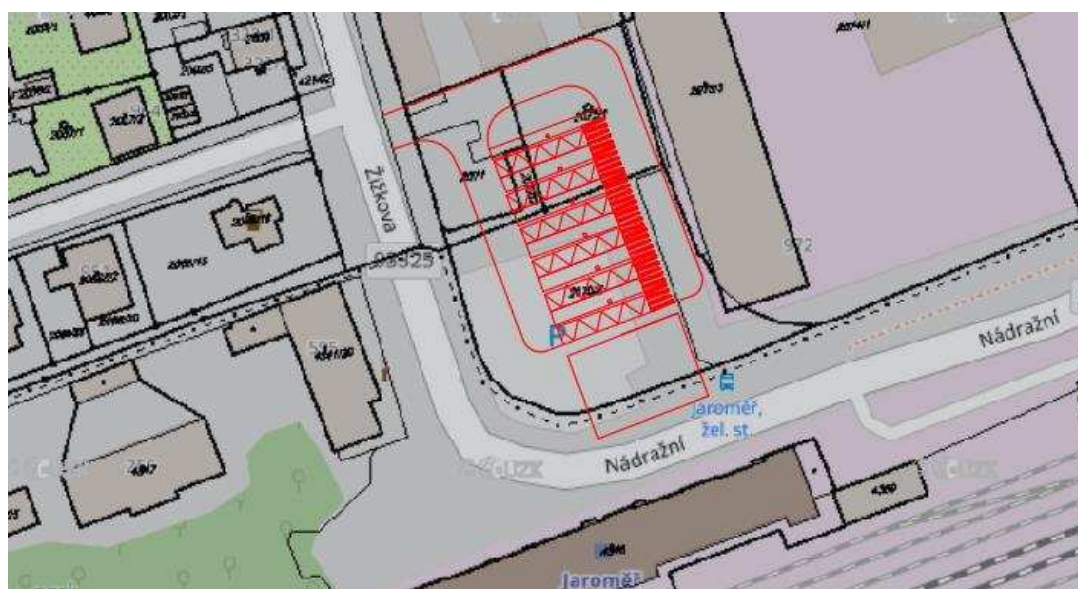
Tato kapitola obsahuje informace o lokalitě, situační schéma a základní popis konstrukce. Konstrukce zastřešení je řešena jako zavěšená a je připojena k budově terminálu.

### 2.1 Zdroje a podklady

Pro vypracování technické zprávy i statického výpočtu byly použity platné normy, skripta, informace z konzultací a přednášek, internetové články apod. Veškeré zdroje jsou uvedeny v závěru práce v seznamu literatury.

### 2.2 Situace objektu

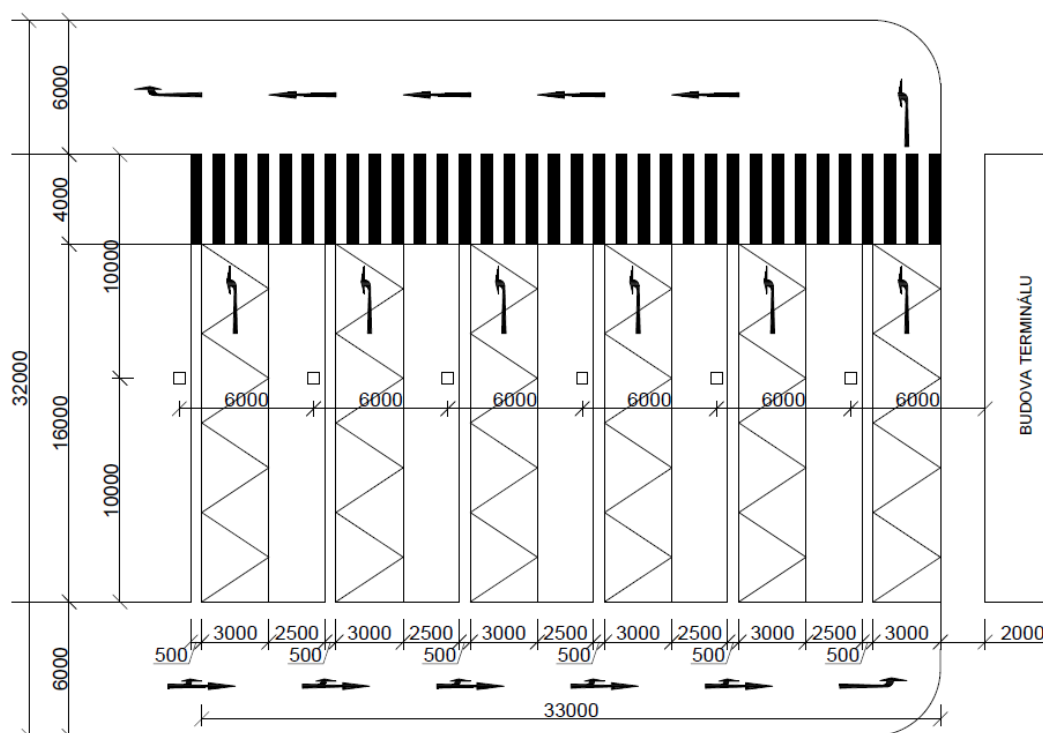
Nové autobusové nádraží je situováno poblíž železničního nádraží Jaroměř (ulice Žižkova a Nádražní) na pozemcích města Jaroměř. Na místě je momentálně parkoviště, které bude přesunuto. Výměra příslušných pozemků činí přibližně 3850 m<sup>2</sup>, což s rezervou postačuje pro rozměry celého nádraží.



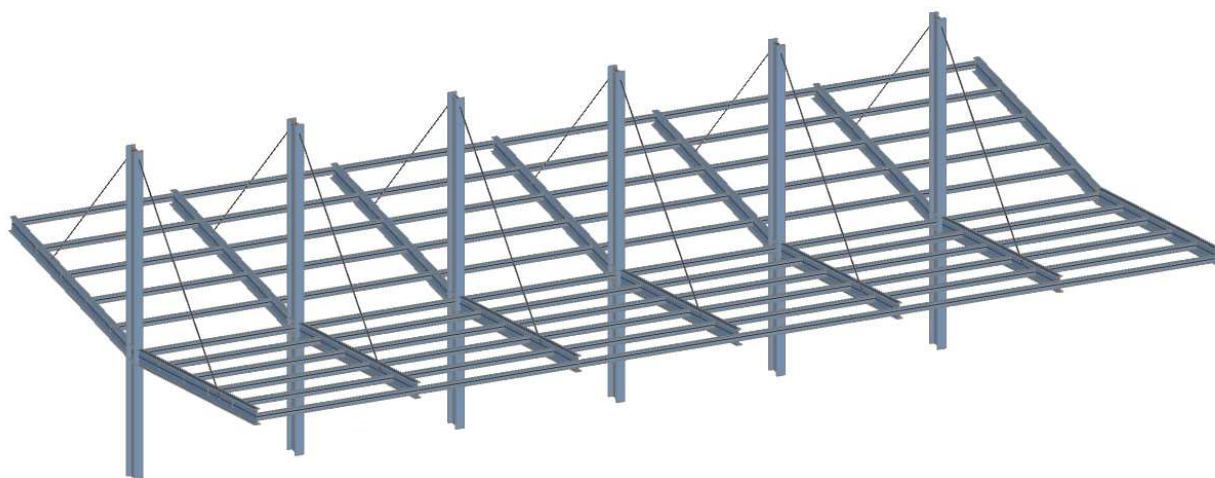
Obrázek 1: Schéma situace

## 2.3 Parametry konstrukce

Hlavními nosnými prvky konstrukce jsou pylony, z nichž jsou vykonzolovány nosníky, které tvoří nosnou konstrukci pro vaznice a střešní krytinu, a které jsou zároveň zavěšeny na předpjatých lanech. Sloupy jsou pouze v jedné řadě s osovou vzdáleností 6 m. Celkově konstrukce zastřešuje plochu 36 x 20 m a umožňuje pohodlný provoz 6 autobusů naráz. Zázemí pro cestující je pak v budově, na kterou přístřešek navazuje. Úžlabí přístřešku je ve výšce 5,22 m nad nástupištěm.



Obrázek 2: Schéma nádraží – základní rozměry



Obrázek 3: Nosná konstrukce zastřešení

## 3 Technické řešení

Dále je uveden podrobnější popis základových a nosných konstrukcí a střešní krytiny. Jsou zde specifikovány jednotlivé průřezy a jejich vzájemná návaznost. U předpjatých prvků je pak uvedena hodnota předpětí.

### 3.1 Základové konstrukce

Základy konstrukce budou tvořeny železobetonovými patkami o rozměrech 2,5 x 2,0 x 1,5 m. Podle geologické mapy této oblasti jsou v podloží převážně písky, ale objevují se zde i spraše. Podrobnější návrh základových konstrukcí není předmětem této práce a závisel by na výsledcích detailnějšího inženýrsko-geologického průzkumu.

### 3.2 Svislé konstrukce

Svislé konstrukce jsou tvořeny pylony průřezu HEM 650 o délce 12 m. Ve výšce 4,5 metru jsou pak na pylony připojeny nosníky průřezu IPE 550, které nesou další části přístřešku. Tyto přípoje jsou navrhnuty pomocí čelní desky. Na vrcholu pylonů jsou připojena předpjatá lana, která pomáhají nést již zmíněné nosníky IPE 550. Pylony jsou v patě vetknuty do základových železobetonových patek.

### 3.3 Vodorovné konstrukce

Vodorovné konstrukce jsou tvořeny nosníky průřezu IPE 550 o délce 10,078 m. Na nosnících jsou uloženy vaznice průřezu IPE 220. Vaznice jsou k nosníku připojeny pomocí přípojného úhelníku L 140x10 mm a podložky o tloušťce 30 mm. Vaznice již nesou pouze střešní krytinu.

Stabilita ve vodorovném směru je zajištěna středovými vaznicemi, které jsou pomocí čelní desky připojené ke sloupům a v posledním poli pak k budově terminálu.

### 3.4 Předpjaté prvky

Návrh lan byl proveden v souladu s celkovým konstrukčním systémem od společnosti Macalloy, která nabízí kompletní sestavu táhel, styčnickových plechů, čepů, vidlic a všech dalších komponentů. V konstrukci je použito 12 lánových táhel tvořených jednopramenným vinutým lanem 1x19 o průměru 26 mm z nerezové oceli. V krajním poli (nejdále od budovy terminálu) je hodnota předpětí dvou lan stanovena na 50 kN, v ostatních lanech pak na 60 kN. Konkrétní postup předpínání není předmětem této práce, pro jeho stanovení je třeba definovat přesné chování táhel při napínání, jejich vzájemnou

interakci a další podmínky. Při samotném napínání je vhodné měřit velikosti sil nejenom na předpínacím zařízení, ale i další metodou (např. tenzometry).

### **3.5 Střešní krytina**

Střešní krytinou je trapézový plech 250/50/1 mm. Pokládání plechu bude provedeno v souladu s kladečským plánem. Spojení s vaznicemi bude zajištěno závitotvornými šrouby s antikorozní úpravou a s těsníci podložkami. Odvodnění střechy bude zajištěno pomocí žlabu v úžlabí střechy a pomocí svodů v oblasti sloupů.

## **4 Použité materiály**

Pylony, nosníky a vaznice jsou válcované profily z oceli S355. Předpjatá lana jsou z nerezové oceli SC460, stejně jako jednotlivé komponenty jejich spojů, kromě styčnickového plechu, který je z oceli S355.

## **5 Výroba a montáž**

Všechny prvky konstrukce jsou z dostupných materiálů i průřezů. Konstrukce je navržena tak, aby mohly být jednotlivé prvky dopraveny na staveniště vcelku, nevyskytují se na ní montážní styky. Nejdelšími prvky jsou pylony o délce 12 m. Z hlediska montáže je nutné sestavit kladečský plán pro položení trapézového plechu a podrobný plán předpínání lan (není předmětem této bakalářské práce).

## **6 Ochrana proti korozi**

Ochrana proti korozi bude zajištěna antikorozním epoxidovým nátěrem bílé barvy. Ten bude proveden v jedné vrstvě o tloušťce 500  $\mu\text{m}$  na 2  $\text{m}^2$ . Aplikace bude provedena pomocí bezvzduchového stříkacího zařízení.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí



Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Statický výpočet

# **ZASTŘEŠENÍ AUTOBUSOVÉHO NÁDRAŽÍ V JAROMĚŘI**

ROOFING OF THE BUS STATION IN JAROMĚŘ

Kateřina Koubová

Vedoucí práce: Ing. Michal Netušil, Ph.D.

2018

---

# Obsah

Seznam použitých symbolů a zkratek .....	IV
<b>1 Úvod .....</b>	<b>6</b>
<b>2 Výpočet zatížení .....</b>	<b>7</b>
2.1 Zatížení stálé .....	7
2.1.1 Vlastní tíha konstrukce .....	7
2.1.2 Ostatní stálé zatížení .....	7
2.2 Zatížení proměnné .....	7
2.2.1 Zatížení sněhem .....	7
2.2.2 Zatížení větrem .....	10
2.3 Kombinace zatížení .....	14
2.3.1 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti .....	14
2.3.2 Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti .....	15
2.4 Výpočet zatížení a návrh trapézového plechu .....	16
2.4.1 Mezní stav únosnosti .....	16
2.4.1.1 Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak .....	16
2.4.1.2 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak .....	16
2.4.1.3 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání .....	17
2.4.2 Mezní stav použitelnosti .....	17
2.4.2.1 Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak .....	17
2.4.2.2 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak .....	18
2.4.2.3 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání .....	18
2.4.3 Návrh trapézového plechu .....	18
2.4.4 Posouzení trapézového plechu .....	19
2.5 Výpočet zatížení a návrh vaznic .....	19
<b>3 Vstupní data do programu pro výpočet vnitřních sil .....</b>	<b>21</b>
3.1 Použité typy ocelí a jejich vlastnosti .....	21
3.2 Průřezy jednotlivých prvků konstrukce .....	21
3.3 Zatěžovací stavy .....	22
3.3.1 Zatěžovací stav 1 – Vlastní tíha konstrukce .....	22
3.3.2 Zatěžovací stav 2 – Trapézový plech .....	22
3.3.3 Zatěžovací stav 3 – Sníh na celé konstrukci .....	23
3.3.4 Zatěžovací stav 4 – Sníh na polovině přístřešku .....	27
3.3.5 Zatěžovací stav 5 – Vítr působící tlak na celé konstrukci .....	28
3.3.6 Zatěžovací stav 6 – Vítr působící tlak na polovině přístřešku .....	31
3.3.7 Zatěžovací stav 7 – Vítr působící tlak na sloupy .....	32
3.3.8 Zatěžovací stav 8 – Vítr působící sání na celém přístřešku .....	33
3.3.9 Zatěžovací stav 9 – Vítr působící sání na polovině přístřešku .....	35
3.4 Kombinace .....	36
<b>4 Vnitřní síly .....</b>	<b>41</b>
4.1 Vaznice .....	41
4.1.1 Normálové síly .....	41

4.1.2	Posouvající síly ve směru osy y .....	42
4.1.3	Posouvající síly ve směru osy z.....	43
4.1.4	Kroutící momenty okolo osy x.....	44
4.1.5	Ohybové momenty okolo osy y .....	45
4.1.6	Ohybové momenty okolo osy z.....	46
4.1.7	Deformace .....	47
4.1.8	Návrhové hodnoty .....	47
4.2	Nosníky.....	48
4.2.1	Normálové síly .....	48
4.2.2	Posouvající síly ve směru osy y .....	49
4.2.3	Posouvající síly ve směru osy z.....	50
4.2.4	Kroutící momenty kolem osy x.....	51
4.2.5	Ohybové momenty kolem osy y.....	52
4.2.6	Ohybové momenty kolem osy z.....	53
4.2.7	Deformace .....	53
4.2.8	Návrhové hodnoty .....	54
4.3	Sloupy.....	55
4.3.1	Normálové síly .....	55
4.3.2	Posouvající síly ve směru osy y .....	55
4.3.3	Posouvající síly ve směru osy z.....	56
4.3.4	Kroutící momenty okolo osy x.....	56
4.3.5	Ohybové momenty okolo osy y .....	57
4.3.6	Ohybové momenty okolo osy z.....	57
4.3.7	Deformace .....	58
4.3.8	Návrhové hodnoty.....	58
4.4	Lana .....	59
<b>5</b>	<b>Posouzení.....</b>	<b>60</b>
5.1	Vaznice – IPE 220 .....	60
5.1.1	Průřezové charakteristiky .....	60
5.1.2	Klasifikace průřezu .....	61
5.1.3	Posouzení MSÚ.....	62
5.1.3.1	Tlak.....	62
5.1.3.2	Smyk.....	64
5.1.3.3	Ohyb .....	64
5.1.3.4	Interakce tlaku a ohybu .....	65
5.1.4	Posouzení MSP .....	67
5.2	Nosníky – IPE 550.....	68
5.2.1	Průřezové charakteristiky .....	68
5.2.2	Klasifikace průřezu .....	69
5.2.3	Posouzení MSÚ.....	70
5.2.3.1	Tlak.....	70
5.2.3.2	Smyk.....	72
5.2.3.3	Ohyb .....	72

---

5.2.3.4	Interakce tlaku a ohybu .....	75
5.2.4	Posouzení MSP .....	80
5.3	Sloupy – HEM 650 .....	81
5.3.1	Klasifikace průřezu .....	82
5.3.2	Posouzení MSÚ .....	83
5.3.2.1	Tlak.....	83
5.3.2.2	Smyk.....	86
5.3.2.3	Ohyb .....	86
5.3.2.4	Interakce tlaku a ohybu .....	89
5.3.3	Posouzení MSP .....	96
5.4	Lana .....	97
5.4.1	Únosnost.....	97
5.4.2	Posouzení únosnosti lan při zatížení rovnoměrnou změnou teploty .....	97
5.4.2.1	Rovnoměrné ohřátí konstrukce .....	98
5.4.2.2	Rovnoměrné ochlazení konstrukce .....	101
<b>6</b>	<b>Návrh a posouzení přípojů .....</b>	<b>105</b>
6.1	Přípoj vaznice na nosník.....	105
6.1.1	Posouzení šroubů.....	106
6.2	Přípoj střední vaznice na sloup .....	107
6.2.1	Návrh a posouzení šroubů .....	108
6.2.2	Návrh a posouzení svarů .....	108
6.2.3	Návrh a posouzení čelní desky .....	109
6.3	Přípoj lana na nosník .....	110
6.4	Přípoj lana na sloup .....	112
6.5	Přípoj nosníku na sloup .....	114
6.5.1	Návrh přípoje.....	114
6.5.2	Posouzení šroubů.....	116
6.5.3	Posouzení svarů.....	117
6.5.4	Návrh a posouzení čelní desky.....	118
6.6	Patka sloupu.....	119
6.6.1	Návrh patky .....	119
6.6.2	Návrh výztuh .....	122
6.6.3	Posouzení patky s výztuhami .....	123
6.6.4	Návrh a posouzení svarů .....	124
6.6.5	Návrh a posouzení kotevních šroubů .....	126
6.6.6	Návrh a posouzení kotevních příčníků .....	127
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>129</b>
	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>130</b>
	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>133</b>
	<b>Literatura .....</b>	<b>134</b>

---



---

## Seznam použitých symbolů a zkratek

### Latinské symboly

$f_y$	Mez kluzu oceli	MPa
$f_u$	Mez pevnosti	MPa
$E$	Modul pružnosti v tahu a tlaku	MPa
$G$	Modul pružnosti ve smyku	MPa
$A$	Plocha	$m^2$
$A_v$	Smyková plocha	$m^2$
$L$	Délka	m
$h$	Výška	m
$b$	Šířka	m
$t$	Tloušťka	m
$W_{el,y}$	Pružný průřezový modul kolem osy y	$m^3$
$W_{pl,y}$	Plastický průřezový modul kolem osy y	$m^3$
$I_y$	Moment setrvačnosti kolem osy y	$m^4$
$i_y$	Poloměr setrvačnosti k ose y	m
$W_{el,z}$	Pružný průřezový modul kolem osy z	$m^3$
$W_{pl,z}$	Plastický průřezový modul kolem osy z	$m^3$
$I_z$	Moment setrvačnosti kolem osy z	$m^4$
$i_z$	Poloměr setrvačnosti k ose z	m
$I_t$	Moment setrvačnosti ve volném kroucení	$m^4$
$I_w$	Výsečový moment setrvačnosti	$m^6$
$N$	Normálová síla	kN
$V_y$	Posouvající síla ve směru osy y	kN
$V_z$	Posouvající síla ve směru osy z	kN
$M_x$	Kroutící moment okolo osy x	kNm
$M_y$	Ohybový moment okolo osy y	kNm
$M_z$	Ohybový moment okolo osy z	kNm

---

### Řecké symboly

$\rho$	Objemová hmotnost	kg/m <sup>3</sup>
$\nu$	Poissonovo číslo	-
$\lambda$	Štíhlost	-
$\delta$	Průhyb	mm
$\sigma$	Napětí	MPa
$\tau$	Smykové napětí	MPa

### Zkratky

ZS	Zatěžovací stav
----	-----------------

# 1 Úvod

Statický výpočet obsahuje stanovení veškerých zatížení působících na konstrukci a výpočet vnitřních sil. Dále jsou pak ve výpočtu spočítány únosnosti jednotlivých prvků a jejich posudky včetně procentuálního využití uvedeného v závorce. V poslední části statického výpočtu byly navrženy a posouzeny klíčové přípoje prvků. Pro výpočet vnitřních sil a deformací byl využit software Scia Engineer, z tohoto důvodu práce obsahuje veškerá vstupní data, která byla do programu zadána.

## 2 Výpočet zatížení

Ve výpočtu jsou zatížení stálá a proměnná. Mezi stálá zatížení je zahrnuto zatížení vlastní tíhou konstrukce a dále pak zatížení trapézovým plechem. Proměnné zatížení je tvořeno zatížením sněhem a větrem (uvažován je tlak i sání). Vliv teploty na konstrukci nebude uvažován, neboť konstrukce tvoří jeden dilatační celek, který může volně dilatovat. Zatížení teplotou bude zohledněno pouze na předpjatých lanech – viz kap. 5.4 Lana.

### 2.1 Zatížení stálé

#### 2.1.1 Vlastní tíha konstrukce

Zatížení vlastní tíhou konstrukce je automaticky generováno v programu Scia Engineer.

#### 2.1.2 Ostatní stálé zatížení

Ostatní stálé zatížení zahrnuje zatížení trapézovým plechem. Hodnota tohoto zatížení bude nyní předběžně stanovena odhadem na  $g_{t,k} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ . Tato hodnota bude následně zpřesněna v dalším výpočtu v závislosti na návrhu konkrétního trapézové plechu.

### 2.2 Zatížení proměnné

#### 2.2.1 Zatížení sněhem

##### 1) Zatížení sněhem na zemi

Sněhová oblast II:

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:  $s_k = 1,0 \text{ kN/m}^2$

Normální typ krajiny:

Součinitel expozice:  $C_e = 1,0$

Pro střechy s tepelnou prostupností menší než  $1 \text{ W/m}^2$ :

Tepelný součinitel:  $C_t = 1,0$

Tvarový součinitel  $\mu_1$ :

Zastřešení tvoří úžlabí, které je vzhledem k zatížení sněhem nepříznivým tvarem. Proto uvažují součinitel:  $\mu_1 = 1,0$

## 2) Zatížení navátým sněhem v úžlabí střechy

Tvarový součinitel  $\mu_2$ :

$$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 7,125^\circ$$

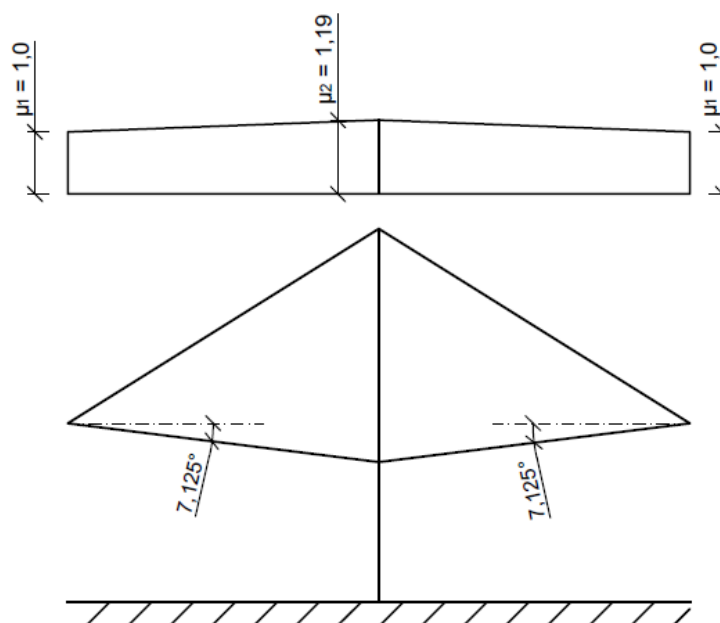
$$\bar{\alpha} = \frac{7,125 + 7,125}{2}$$

$$\bar{\alpha} = 7,125^\circ$$

$$\mu_2 = 0,8 + \frac{0,8\bar{\alpha}}{30}$$

$$\mu_2 = 1,0 + \frac{0,8 \cdot 7,125}{30}$$

$$\mu_2 = 1,19$$



Obrázek 1: Hodnoty tvarového součinitele  $\mu$  na konstrukci (v příčném směru)

**Charakteristická hodnota zatížení sněhem:**

$$s_{i,k} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i$$

$$s_{1,k} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

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

$$s_{2,k} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,19$$

$$s_{2,k} = 1,19 \text{ kN/m}^2$$

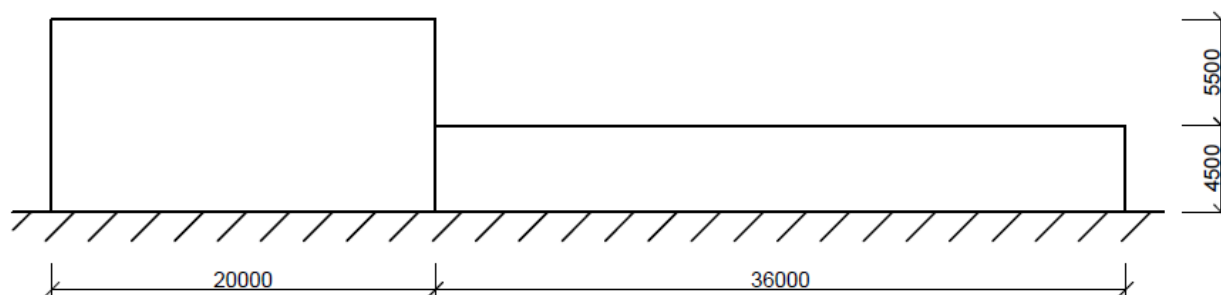
### 3) Zatížení navátým sněhem v místě sousedících střech o různých výškách

Tvarový součinitel  $\mu_2$ :

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

Pro střechy se sklonem  $\alpha \leq 15^\circ$ :

Tvarový součinitel zohledňující sesuv sněhu z horní střechy:  $\mu_s = 0$



Obrázek 2: Rozměry konstrukce pro výpočet zatížení navátým sněhem

$$b_1 = 20\text{m}$$

$$b_2 = 39\text{m}$$

$$h = 5,5\text{m}$$

Objemová tíha sněhu:  $\gamma = 2\text{kN/m}^3$

Tvarový součinitel zohledňující působení větru:

$$\mu_w = \frac{b_1 + b_2}{2h} \leq \frac{\gamma \cdot h}{s_k}$$

$$\mu_w = \frac{20+36}{2 \cdot 5,5} \leq \frac{2 \cdot 5,5}{1,0}$$

$$\mu_w = 5,091 < 11$$

Doporučený rozsah:  $0,8 \leq \mu_w \leq 4,0$

$$0,8 < 5,091 > 4,0$$

$$\mu_w = 4,0$$

$$\mu_2 = \mu_s + \mu_w$$

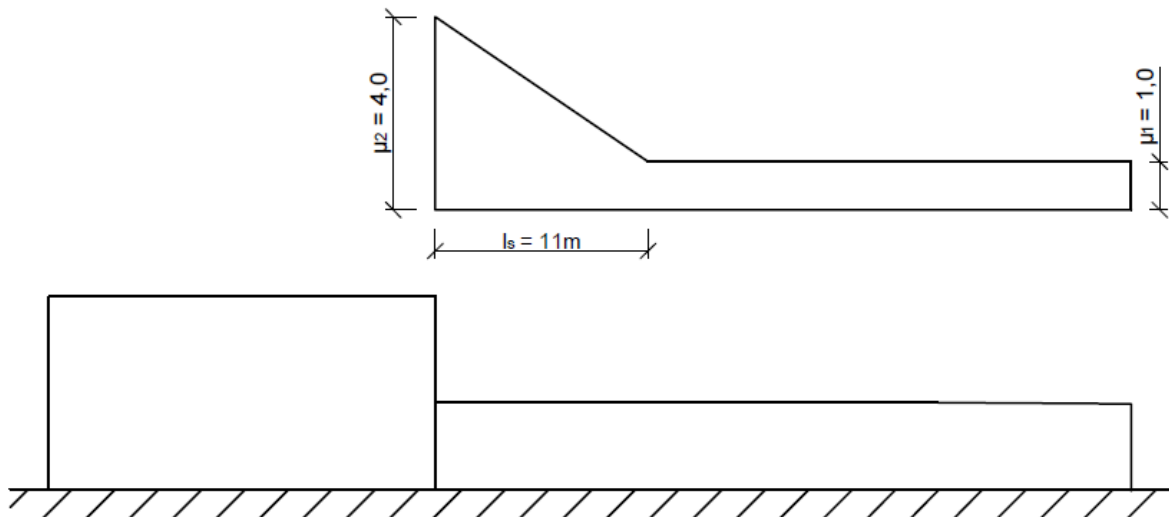
$$\mu_2 = 0 + 4,0$$

$$\mu_2 = 4,0$$

Délka návěje:  $l_s = 2h$

$$l_s = 2 \cdot 5,5$$

$$l_s = 11\text{m}$$



Obrázek 3: Hodnoty tvarového součinitele  $\mu$  na konstrukci (v podélném směru)

**Charakteristická hodnota zatížení sněhem:**

$$s_{i,k} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_i$$

$$s_{3,k} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

$$s_{3,k} = 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$s_{4,k} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 4,0$$

$$s_{4,k} = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

### 2.2.2 Zatížení větrem

Větrná oblast II:

Výchozí základní rychlost větru:

$$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$$

Pro podmínky v ČR (doporučené hodnoty):

Součinitel směru větru:

$$c_{dir} = 1,0$$

Součinitel ročního období:

$$c_{season} = 1,0$$

**Základní rychlost větru:**  $v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season}$

$$v_b = 25 \cdot 1,0 \cdot 1,0$$

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

Kategorie terénu III:

Parametr drsnosti terénu:  $z_0 = 0,3 \text{ m}$

Minimální výška:  $z_{\min} = 5,0 \text{ m}$

Maximální výška:  $z_{\max} = 200 \text{ m}$

Výška zastřešení:  $z = 5,75 \text{ m}$

Parametr drsnosti terénu pro kategorii terénu II:  $z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$

Součinitel orografie (doporučená hodnota):  $c_0(z) = 1,0$

Součinitel terénu:  $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07}$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07}$$

$$k_r = 0,215$$

Pro:  $z_{\min} \leq z \leq z_{\max}$

$$4,5 \text{ m} < 5,75 \text{ m} < 200 \text{ m}$$

je součinitel drsnosti terénu:  $c_r(z) = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_0}$

$$c_r(z) = 0,215 \cdot \ln \frac{5,75}{0,3}$$

$$c_r(z) = 0,635$$

**Střední rychlost větru:**  $v_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot v_b$

$$v_m(z) = 0,635 \cdot 1,0 \cdot 25$$

$$v_m(z) = 15,875 \text{ m/s}$$

Měrná hmotnost vzduchu:  $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$

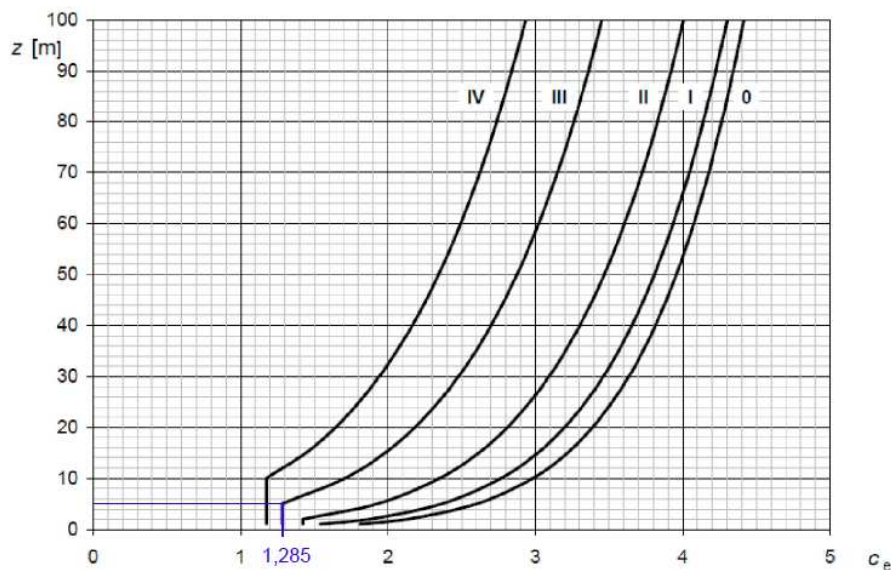
Součinitel turbulence (doporučená hodnota):  $k_I = 1,0$

Základní dynamický tlak větru:  $q_b(z) = 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z)$

$$q_b(z) = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 15,875^2$$

$$q_b(z) = 157,510 \text{ Pa} = 0,158 \text{ kPa}$$




 Obrázek 4: Součinitel expozice  $c_e(z)$  pro  $c_0(z) = 1,0$  a  $k_t = 1,0$  [4]

Součinitel expozice (obr. 4):  $c_e(z) = 1,285$

**Maximální dynamický tlak větru:**  $q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b(z)$

$$q_p(z) = 1,285 \cdot 157,510$$

$$q_p(z) = 202,4 \text{ Pa} = 0,202 \text{ kPa}$$

 Tabulka 7.7 – Hodnoty součinitelů  $c_{p,net}$  a  $c_f$  pro sedlové přístřešky

Úhel sklonu střechy $\alpha$	Součinitel plnosti $\varphi$	Součinitel celkové síly $c_f$	Součinitele výsledného tlaku $c_{p,net}$			
			Oblast A	Oblast B	Oblast C	Oblast D
- 20°	Maximum všech $\varphi$	+ 0,7	+ 0,8	+ 1,6	+ 0,6	+ 1,7
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,7	- 0,9	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6
- 15°	Maximum všech $\varphi$	+ 0,5	+ 0,6	+ 1,5	+ 0,7	+ 1,4
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 10°	Maximum všech $\varphi$	+ 0,4	+ 0,6	+ 1,4	+ 0,8	+ 1,1
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,6	- 0,8	- 1,3	- 1,5	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,4	- 1,6	- 2,7	- 2,6	- 0,6
- 5°	Maximum všech $\varphi$	+ 0,3	+ 0,5	+ 1,5	+ 0,8	+ 0,8
	Minimum $\varphi = 0$	- 0,5	- 0,7	- 1,3	- 1,6	- 0,6
	Minimum $\varphi = 1$	- 1,3	- 1,5	- 2,4	- 2,4	- 0,6

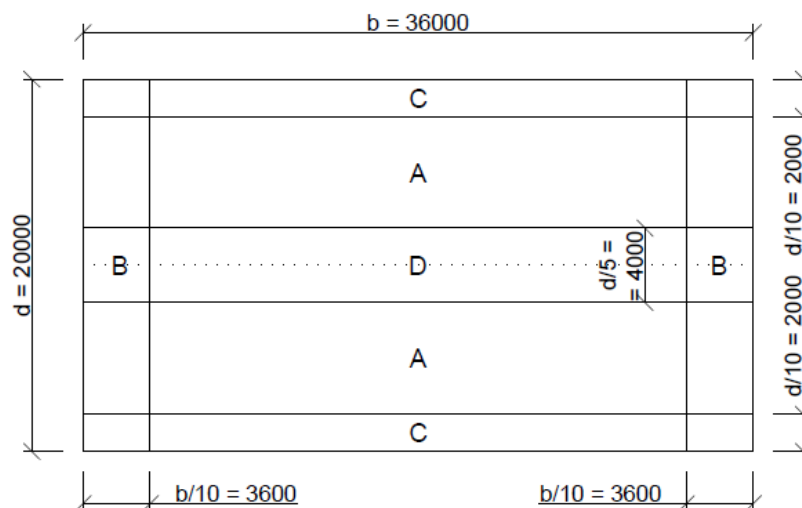
 Obrázek 5: Hodnoty součinitelů  $c_{p,net}$  a  $c_f$  pro sedlové přístřešky [4]

Hodnoty součinitelů  $c_{p,net}$  a  $c_f$  pro zastřešení autobusového nádraží v Jaroměři byly stanoveny z tabulky na obr. 5 lineární interpolací a jsou uvedeny v tab. 1.

Tabulka 1: Hodnoty součinitelů  $c_{p,net}$  a  $c_f$

Úhel sklonu střechy $\alpha$	Součinitel plnosti $\phi$	Součinitel celkové síly $c_f$	$c_{p,net}$ Oblast A	$c_{p,net}$ Oblast B	$c_{p,net}$ Oblast C	$c_{p,net}$ Oblast D
7,125°	Maximum všech $\phi$	+0,343	+0,543	+1,458	+0,800	+0,928
	Minimum $\phi = 0$	-0,543	-0,743	-1,300	-1,558	-0,600
	Minimum $\phi = 1$	-1,343	-1,543	-2,528	-2,485	-0,600

Ve výpočtu zatížení větrem budou uvažovány hodnoty pro  $\phi = 1,0$ , neboť může nastat stav, kdy bude prostor pod zastřešením zaplněn autobusy. Zatížení větrem na střešní plášť bude stanoveno pomocí součinitele výsledného tlaku  $c_{p,net}$  a jeho rozložení bude odpovídat jednotlivým oblastem A až C (viz obr. 6). Zatížení na nosné prvky bude stanoveno pomocí součinitele celkové síly  $c_f$ .



Obrázek 6: Rozdělení zatížení větrem do jednotlivých oblastí přístřešku

Charakteristický tlak větru na vnější povrch konstrukce:  $w_{e,i,k} = q_p(z) \cdot c_{p,net,i}$

Oblast A: tlak:  $w_{e,A,k} = 0,202 \cdot 0,543 = 0,110 \text{ kN/m}^2$

sání:  $w_{e,A,k} = 0,202 \cdot (-1,543) = -0,312 \text{ kN/m}^2$

Oblast B: tlak:  $w_{e,B,k} = 0,202 \cdot 1,458 = 0,295 \text{ kN/m}^2$

sání:  $w_{e,B,k} = 0,202 \cdot (-2,528) = -0,511 \text{ kN/m}^2$

Oblast C: tlak:  $w_{e,C,k} = 0,202 \cdot 0,8 = 0,162 \text{ kN/m}^2$

sání:  $w_{e,C,k} = 0,202 \cdot (-2,485) = -0,502 \text{ kN/m}^2$

Oblast D: tlak:  $w_{e,D,k} = 0,202 \cdot 0,928 = 0,187 \text{ kN/m}^2$   
 sání:  $w_{e,D,k} = 0,202 \cdot (-0,6) = -0,121 \text{ kN/m}^2$

## 2.3 Kombinace zatížení

Ve výpočtu budou použity kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti a mezní stavy použitelnosti.

### 2.3.1 Kombinace zatížení pro mezní stavy únosnosti

Pro mezní stavy únosnosti budou použity základní kombinace (mezní stav STR/GEO – soubor B podle [2]), přičemž rozhoduje přísnější z nich.

a)

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

b)

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

Kde je:

$G_k$	charakteristická hodnota stálého zatížení
$P_k$	charakteristická hodnota od předpětí
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota hlavního proměnného zatížení
$Q_{k,i}$	charakteristická hodnota i-tého proměnného zatížení
$\gamma_{G,j}$	dílčí součinitel j-tého stálého zatížení
$\gamma_P$	dílčí součinitel zatížení od předpětí P
$\gamma_{Q,i}$	dílčí součinitel i-tého proměnného zatížení
$\psi_{0,i}$	kombinační součinitel
$\xi_j$	redukční součinitel pro j-té nepříznivé stálé zatížení

Hodnoty dílčích součinitelů jsou uvedeny v tab. 2. a v tab. 3.

Tabulka 2: Hodnoty dílčích součinitelů zatížení v mezním stavu typu STR/GEO – soubor B

Trvalé a dočasné návrhové situace	Stálá zatížení $\gamma_{G,j}$		Hlavní proměnné zatížení $\gamma_{Q,1}$	Vedlejší proměnná zatížení $\gamma_{Q,i}$
	Nepříznivá	Příznivá		
Výraz a)	1,35	1,00	1,50	1,50
Výraz b)	1,35	1,00	1,50	1,50
Pro příznivá proměnná zatížení $\gamma_Q = 0$				
Redukční součinitel $\xi_j = 0,85$				

Tabulka 3: Hodnoty kombinačních součinitelů  $\psi$

Zatížení	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Zatížení sněhem	0,5	0,2	0
Zatížení větrem	0,6	0,2	0

### 2.3.2 Kombinace zatížení pro mezní stavy použitelnosti

Při posuzování mezních stavů použitelnosti jsou dány 3 typy kombinací (charakteristická, častá a kvazistálá) [2].

a) charakteristická kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

b) častá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

c) kvazistálá kombinace

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Hodnoty jednotlivých součinitelů jsou stejné jako v kombinacích pro mezní stavy únosnosti.

## 2.4 Výpočet zatížení a návrh trapézového plechu

### 2.4.1 Mezní stav únosnosti

#### 2.4.1.1 Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak

a)

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

$$f_{1,a,d} = \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot s_{k,max} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,2} \cdot w_{e,k,max}$$

$$f_{1,a,d} = 1,35 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,0 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,295$$

$$f_{1,a,d} = 3,401 \text{ kN/m}^2$$

b)

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

$$f_{1,b,d} = \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot s_{k,max} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot w_{e,k,max}$$

$$f_{1,b,d} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 4,0 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,295$$

$$f_{1,b,d} = 6,380 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje kombinace b).

#### 2.4.1.2 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak

a)

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

$$f_{2,a,d} = \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot w_{e,k,max} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,2} \cdot s_{k,max}$$

$$f_{2,a,d} = 1,35 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot 0,295 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,0$$

$$f_{2,a,d} = 3,401 \text{ kN/m}^2$$

b)

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

$$f_{2,b,d} = \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot w_{e,k,max} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot s_{k,max}$$

$$f_{2,b,d} = 0,85 \cdot 1,35 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,295 + 1,5 \cdot 0,5 \cdot 4,0$$

$$f_{2,b,d} = 3,557 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje kombinace a).

### 2.4.1.3 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání

a)

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

$$f_{3,a,d} = \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot w_{e,k,min} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,2} \cdot s_{k,max}$$

$$f_{3,a,d} = 1,0 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot (-0,511) + 0 \cdot 0,5 \cdot 4,0$$

$$f_{3,a,d} = -0,360 \text{ kN/m}^2$$

b)

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

$$f_{3,b,d} = \xi_j \cdot \gamma_{G,j} \cdot g_{t,k} + \gamma_{Q,1} \cdot w_{e,k,min} + \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot s_{k,max}$$

$$f_{3,b,d} = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,1 + 1,5 \cdot (-0,511) + 0 \cdot 0,5 \cdot 4,0$$

$$f_{3,b,d} = -0,682 \text{ kN/m}^2$$

Rozhoduje kombinace a).

Ze všech kombinací je největší zatížení  $f_{1,b,d} = 6,380 \text{ kN/m}^2$ , které bude použito při návrhu trapézového plechu.

## 2.4.2 Mezní stav použitelnosti

Z rovnic pro jednotlivé kombinace je patrné, že nejvyšší hodnoty zatížení budou vycházet pro charakteristickou kombinaci, a tak bude pro návrh trapézového plechu počítána vždy jen tato kombinace.

### 2.4.2.1 Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$f_{1,ch,d} = g_{t,k} + s_{k,max} + \psi_{0,i} \cdot w_{e,k,max}$$

$$f_{1,ch,d} = 0,1 + 4,0 + 0,6 \cdot 0,295$$

$$f_{1,ch,d} = 4,227 \text{ kN/m}^2$$

### 2.4.2.2 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$f_{2,ch,d} = g_{t,k} + w_{e,k,max} + \psi_{0,i} \cdot s_{k,max}$$

$$f_{2,ch,d} = 0,1 + 0,295 + 0,5 \cdot 4,0$$

$$f_{2,ch,d} = 2,395 \text{ kN/m}^2$$

### 2.4.2.3 Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P_k + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$f_{3,ch,d} = g_{t,k} + w_{e,k,max}$$

$$f_{3,ch,d} = 0,1 + (-0,511)$$

$$f_{3,ch,d} = -0,411 \text{ kN/m}^2$$

Rozhodující je hodnota zatížení  $f_{1,ch,d} = 4,227 \text{ kN/m}^2$ .

## 2.4.3 Návrh trapézového plechu

Vstupní hodnoty pro návrh:

- 1) Mezní stav únosnosti – tlak:  $q_{t,Ed} = 6,380 \text{ kN/m}^2$
- 2) Mezní stav únosnosti – sání:  $q_{s,Ed} = -0,682 \text{ kN/m}^2$
- 3) Mezní stav použitelnosti – tlak:  $q_{t,Ek} = 4,227 \text{ kN/m}^2$
- 4) Mezní stav použitelnosti – sání:  $q_{s,Ek} = -0,411 \text{ kN/m}^2$

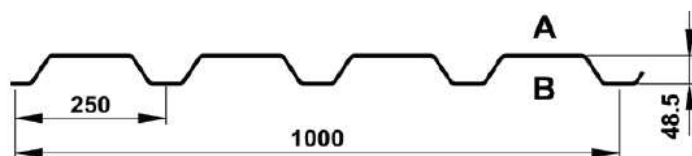
**NÁVRH:** TR 50/250/1 (spojitý nosník, pozitivní poloha, rozpětí  $L_t = 2 \text{ m}$ )

$$\text{Únosnosti: } q_{Rd} = 7,17 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{Rk} = 6,08 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Tloušťka: } t_{nom} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Hmotnost: } g_t = 10 \text{ kg/m}^2$$



Obrázek 7: Rozměry navrženého trapézového plechu [17]

Zatížení od trapézového plechu:  $g_k = g_t \cdot g$   
 $g_k = 10 \cdot 10$   
 $g_k = 100 \text{ N/m}^2 = 0,1 \text{ kN/m}^2$

Zatížení od trapézového plechu se shoduje s původním odhadem ( $g_{t,k} = 0,1 \text{ kN/m}^2$ ), není tedy nutné předchozí výpočet zatížení přepočítávat a je možné přejít rovnou k posouzení.

#### 2.4.4 Posouzení trapézového plechu

Prvek musí splňovat rovnice:  $q_{Rd} \geq q_{Ed}$   
 $q_{Rk} \geq q_{Ek}$

1) Mezní stav únosnosti:  $q_{Rd} \geq q_{Ed}$   
 $7,17 \text{ kN/m}^2 > 6,380 \text{ kN/m}^2$

VYHOVUJE

2) Mezní stav použitelnosti:  $q_{Rk} \geq q_{Ek}$   
 $6,08 \text{ kN/m}^2 > 4,227 \text{ kN/m}^2$

VYHOVUJE

### 2.5 Výpočet zatížení a návrh vaznic

Výpočet zatížení vaznic zahrnuje stejné zatížení jako trapézový plech, pouze navýšené o vlastní tíhu vaznic. To však je již v programu Scia Engineer zahrnuto automaticky, a proto zde ve výpočtu nebude vlastní tíha vaznic uvažována.

Při návrhu je nutné zohlednit, že vaznice budou mít i stabilizační funkci a budou přenášet nejen svislé zatížení, ale i osově síly.

Zatěžovací šířka:  $B_v = 2,0 \text{ m}$

Vstupní hodnoty pro návrh:

1) Mezní stav únosnosti – tlak:  $q_{t,Ed} = 6,380 \cdot 2,0$   
 $q_{t,Ed} = 12,76 \text{ kN/m}$

2) Mezní stav únosnosti – sání:  $q_{s,Ed} = -0,682 \cdot 2,0$   
 $q_{s,Ed} = -1,364 \text{ kN/m}$



3) Mezní stav použitelnosti – tlak:  $q_{t,Ek} = 4,227 \cdot 2,0$

$$q_{t,Ek} = 8,454 \text{ kN/m}$$

4) Mezní stav použitelnosti – sání:  $q_{s,Ek} = -0,411 \cdot 2,0$

$$q_{s,Ek} = -0,822 \text{ kN/m}$$

**NÁVRH: IPE 220**

### 3 Vstupní data do programu pro výpočet vnitřních sil

Výpočet vnitřních sil všech prvků konstrukce bude proveden v programu Scia Engineer. Použité průřezy jsou nyní stanoveny předběžně, v případě, že později při posouzení nevyhoví, budou navrženy jiné. Trapézový plech nebude v programu modelován, zatížení (včetně zatížení od trapézového plechu) bude zavedeno formou liniového zatížení na vaznice.

#### 3.1 Použité typy ocelí a jejich vlastnosti

Všechny válcované profily jsou z oceli S355.

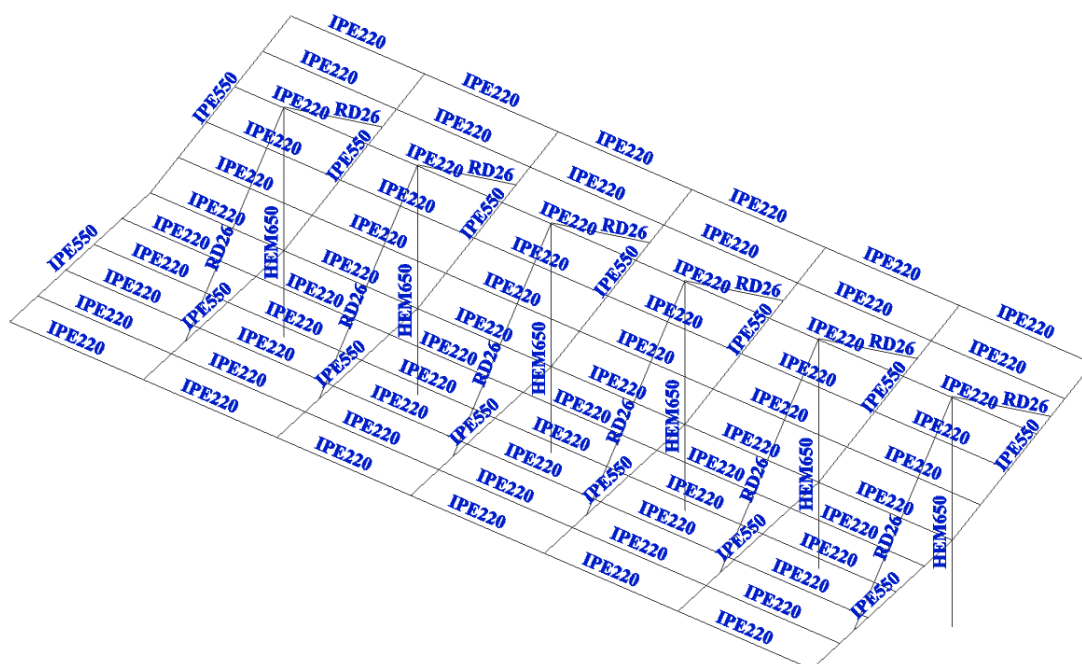
Základní vlastnosti:	Mez kluzu:	$f_y = 355 \text{ MPa}$
	Mez pevnosti:	$f_u = 490 \text{ MPa}$
	Modul pružnosti (tah, tlak):	$E = 210000 \text{ MPa}$
	Modul pružnosti (smyk):	$G = 81000 \text{ MPa}$
	Poissonovo číslo:	$\nu = 0,3$

Lana jsou z nerezové oceli SC460.

Základní vlastnosti:	Mez kluzu:	$f_y = 460 \text{ MPa}$
	Mez pevnosti:	$f_u = 610 \text{ MPa}$
	Modul pružnosti:	$E = 107000 \text{ MPa}$

#### 3.2 Průřezy jednotlivých prvků konstrukce

Sloupy:	HE 650 M
Nosníky pod vaznicemi:	IPE 550
Vaznice:	IPE 220
Lana:	$\emptyset 26 \text{ mm}$



Obrázek 8: Průřezy na konstrukci

### 3.3 Zatěžovací stavy

V programu bylo vytvořeno 9 zatěžovacích stavů. Pro proměnná zatížení jsou uvažovány dva stavy, kdy je zatížení rozloženo buď po celé konstrukci anebo pouze na polovině přístřešku. Výpočet liniového zatížení, které působí na vaznice, bude nyní zjednodušen – bude zanedbáno šikmé uložení vaznic. Složka kolmá na osu vaznic je velmi malá (úhel uložení  $\alpha = 7,125^\circ$ ) a bude přenesena pomocí trapézového plechu. Samotné vaznice pak budou pro zachování bezpečnosti návrhu zvlášť posouzeny na kroucení (vznikající vlivem příčných složek), aby byla zaručena únosnost i v montážním stadiu, kdy na vaznicích ještě není upevněn trapézový plech.

#### 3.3.1 Zatěžovací stav 1 – Vlastní tíha konstrukce

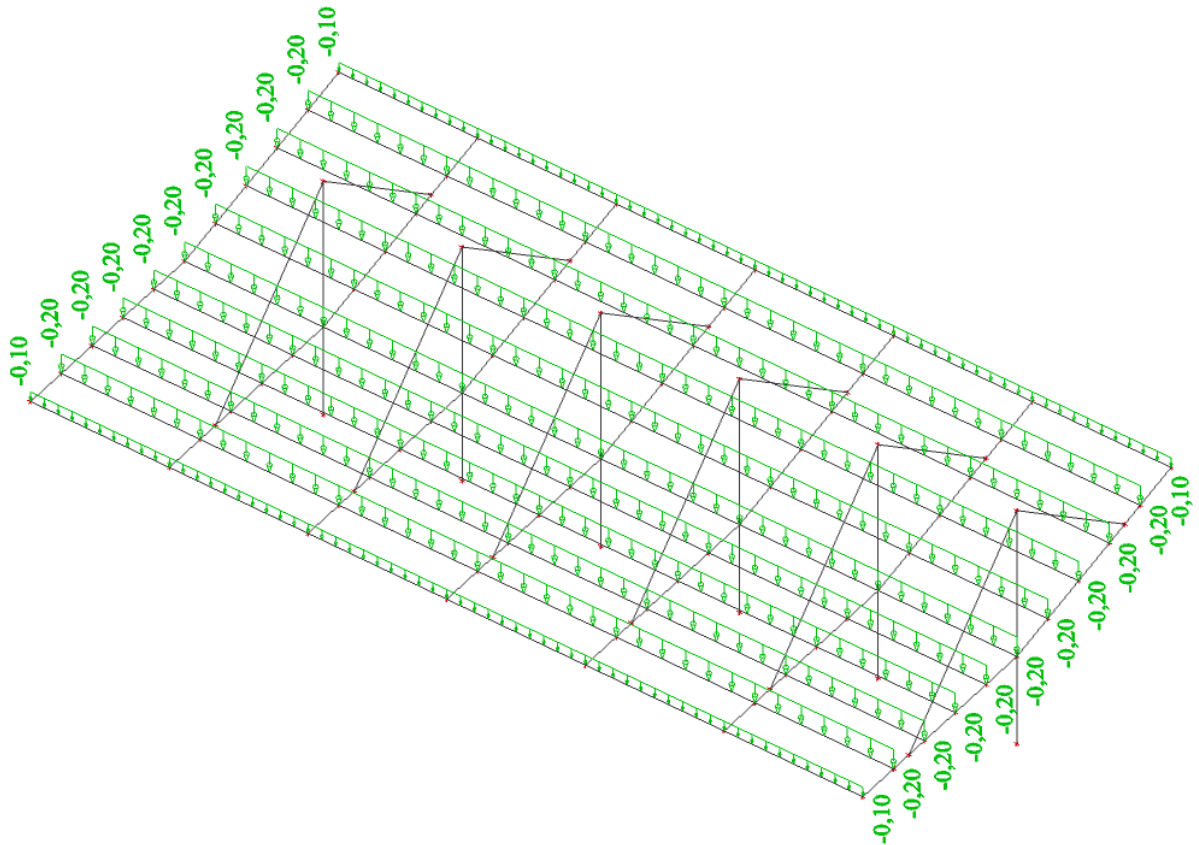
Tento zatěžovací stav byl namodelován pouze jako samotná konstrukce bez dalších přidaných zatížení, neboť vlastní tíhu prvků generuje sám program Scia Engineer.

#### 3.3.2 Zatěžovací stav 2 – Trapézový plech

V tomto zatěžovacím stavu bylo zohledněno zatížení od trapézového plechu. Z předchozího výpočtu je zatížení plechem stanoveno na  $0,1 \text{ kN/m}^2$ . Výpočet zatížení na vaznice:

$$\begin{aligned} \text{Krajní vaznice:} \quad L_1 &= 1,0 \text{ m} \\ g_{t,k,\text{lin}} &= g_{t,k} \cdot L_1 \\ g_{t,k,\text{lin}} &= 0,1 \cdot 1,0 \\ g_{t,k,\text{lin}} &= 0,1 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Ostatní vaznice:  $L_2 = 2,0 \text{ m}$   
 $g_{t,k,lin} = g_{t,k} \cdot L_2$   
 $g_{t,k,lin} = 0,1 \cdot 2,0$   
 $g_{t,k,lin} = 0,2 \text{ kN/m}$

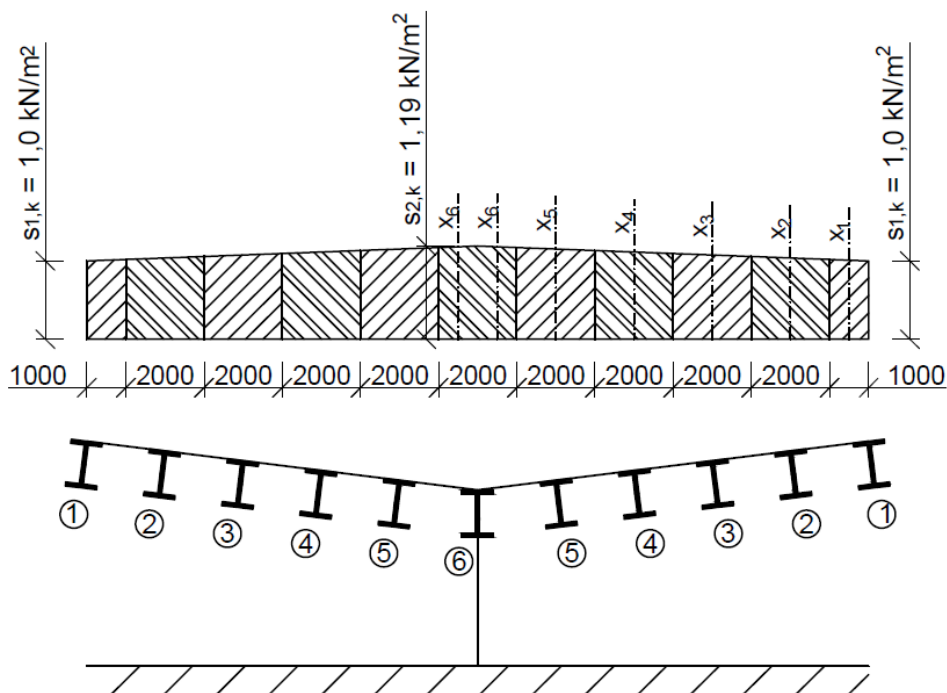


Obrázek 9: Zatížení trapézovým plechem [kN/m]

### 3.3.3 Zatěžovací stav 3 – Sníh na celé konstrukci

Kvůli vznikajícím návějím není rozložení sněhu na konstrukci rovnoměrné. Bylo tedy třeba stanovit toto zatížení na jednotlivé vaznice zvlášť. Návěje vznikají v obou směrech, pro bezpečný návrh byla vždy zohledněna vyšší hodnota zatížení.

## 1) Příčný směr



Obrázek 10: Rozložení sněhu v příčném směru, hodnoty zatížení a zatěžovací šířky vaznic

Z obr. 10 je patrné rozložení zatížení na konstrukci. Střední hodnoty zatížení nad jednotlivými vaznicemi  $x_1$  až  $x_6$  budou stanoveny pomocí trojčlenky, kde bude z podobnosti trojúhelníků stanoven přírůstek zatížení:

$$\frac{\Delta x_i}{L_i} = \frac{0,19 \text{ kN/m}^2}{10 \text{ m}}$$

$$\Delta x_i = \frac{0,19}{10} \cdot L_i$$

Samotná hodnota  $x$  pak z rovnice:  $x_i = \Delta x_i + 1,0 \text{ kN/m}^2$

Liniové zatížení vaznic:  $g_{s,i,k,lin} = x_i \cdot L_{zat,i}$

$$\text{Vaznice 1: } \Delta x_1 = \frac{0,19}{10} \cdot 0,5 = 0,001 \text{ kN/m}^2$$

$$x_1 = 0,001 + 1,0 = 1,001 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{s,1,k,lin} = 1,001 \cdot 1,0 = 1,001 \text{ kN/m}$$

$$\text{Vaznice 2: } \Delta x_2 = \frac{0,19}{10} \cdot 2,0 = 0,038 \text{ kN/m}^2$$

$$x_2 = 0,038 + 1,0 = 1,038 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{s,2,k,lin} = 1,038 \cdot 2,0 = 2,076 \text{ kN/m}$$

$$\text{Vaznice 3: } \Delta x_3 = \frac{0,19}{10} \cdot 4,0 = 0,076 \text{ kN/m}^2$$

$$x_3 = 0,076 + 1,0 = 1,076 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{s,3,k,lin} = 1,076 \cdot 2,0 = 2,152 \text{ kN/m}$$

Vaznice 4:  $\Delta x_4 = \frac{0,19}{10} \cdot 6 = 0,114 \text{ kN/m}^2$

$$x_4 = 0,114 + 1,0 = 1,114 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{s,4,k,lin} = 1,114 \cdot 2,0 = 2,228 \text{ kN/m}$$

Vaznice 5:  $\Delta x_5 = \frac{0,19}{10} \cdot 8,0 = 0,152 \text{ kN/m}^2$

$$x_5 = 0,152 + 1,0 = 1,152 \text{ kN/m}^2$$

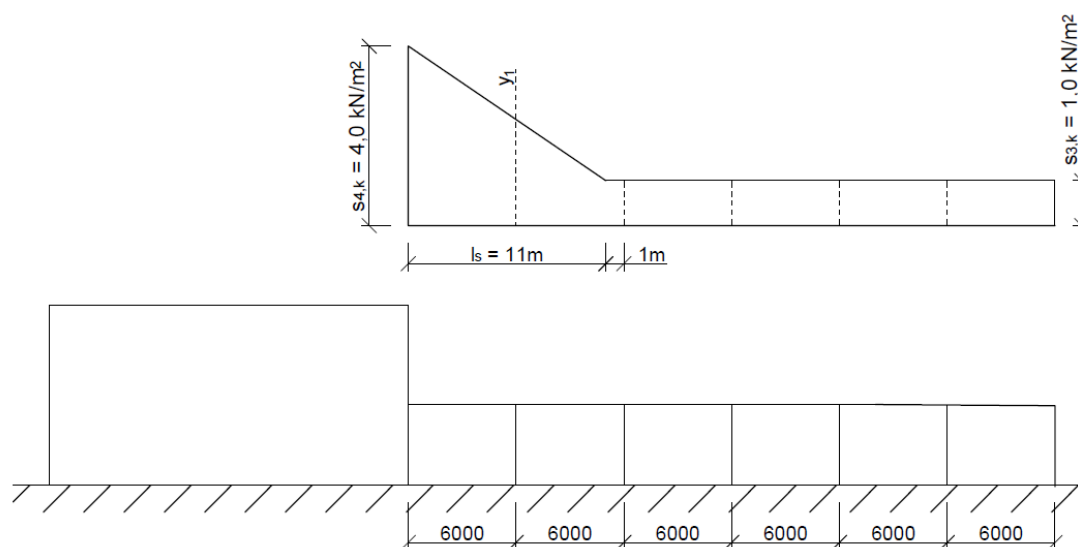
$$g_{s,5,k,lin} = 1,152 \cdot 2,0 = 2,304 \text{ kN/m}$$

Vaznice 6:  $\Delta x_6 = \frac{0,19}{10} \cdot 9,5 = 0,181 \text{ kN/m}^2$

$$x_6 = 0,181 + 1,0 = 1,181 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{s,6,k,lin} = 1,181 \cdot 2,0 = 2,362 \text{ kN/m}$$

## 2) Podélný směr:



Obrázek 11: Rozložení sněhu v podélném směru, hodnoty zatížení

Z podobnosti trojúhelníků:  $\frac{3 \text{ kN/m}^2}{11 \text{ m}} = \frac{\Delta y}{5 \text{ m}}$

$$\Delta y_1 = \frac{3 \cdot 5}{11} = 1,364 \text{ kN/m}^2$$

Hodnota zatížení:  $y_1 = \Delta y_1 + 1,0 \text{ kN/m}^2$

$$y_1 = 1,364 + 1,0$$

$$y_1 = 2,364 \text{ kN/m}^2$$

Liniové zatížení vaznic v místě  $y_1$ :  $g_{s,i,k,lin} = y_1 \cdot L_{zat,i}$

Vaznice 1:  $g_{s,1,k,lin} = 2,364 \cdot 1,0 = 2,364 \text{ kN/m}$

Vaznice 2:  $g_{s,2,k,lin} = 2,364 \cdot 2,0 = 4,728 \text{ kN/m}$

Vaznice 3:  $g_{s,3,k,lin} = 2,364 \cdot 2,0 = 4,728 \text{ kN/m}$

Vaznice 4:  $g_{s,4,k,lin} = 2,364 \cdot 2,0 = 4,728 \text{ kN/m}$

Vaznice 5:  $g_{s,5,k,lin} = 2,364 \cdot 2,0 = 4,728 \text{ kN/m}$

Vaznice 6:  $g_{s,6,k,lin} = 2,364 \cdot 2,0 = 4,728 \text{ kN/m}$

Liniové zatížení vaznice v místě zatížení  $1 \text{ kN/m}^2$ :  $g_{s,i,k,lin} = 1,0 \cdot L_{zat,i}$

Vaznice 1:  $g_{s,1,k,lin} = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 2:  $g_{s,2,k,lin} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 3:  $g_{s,3,k,lin} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 4:  $g_{s,4,k,lin} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 5:  $g_{s,5,k,lin} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 6:  $g_{s,6,k,lin} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Liniové zatížení vaznice v místě zatížení  $4 \text{ kN/m}^2$ :  $g_{s,i,k,lin} = 4,0 \cdot L_{zat,i}$

Vaznice 1:  $g_{s,1,k,lin} = 4,0 \cdot 1,0 = 4,0 \text{ kN/m}$

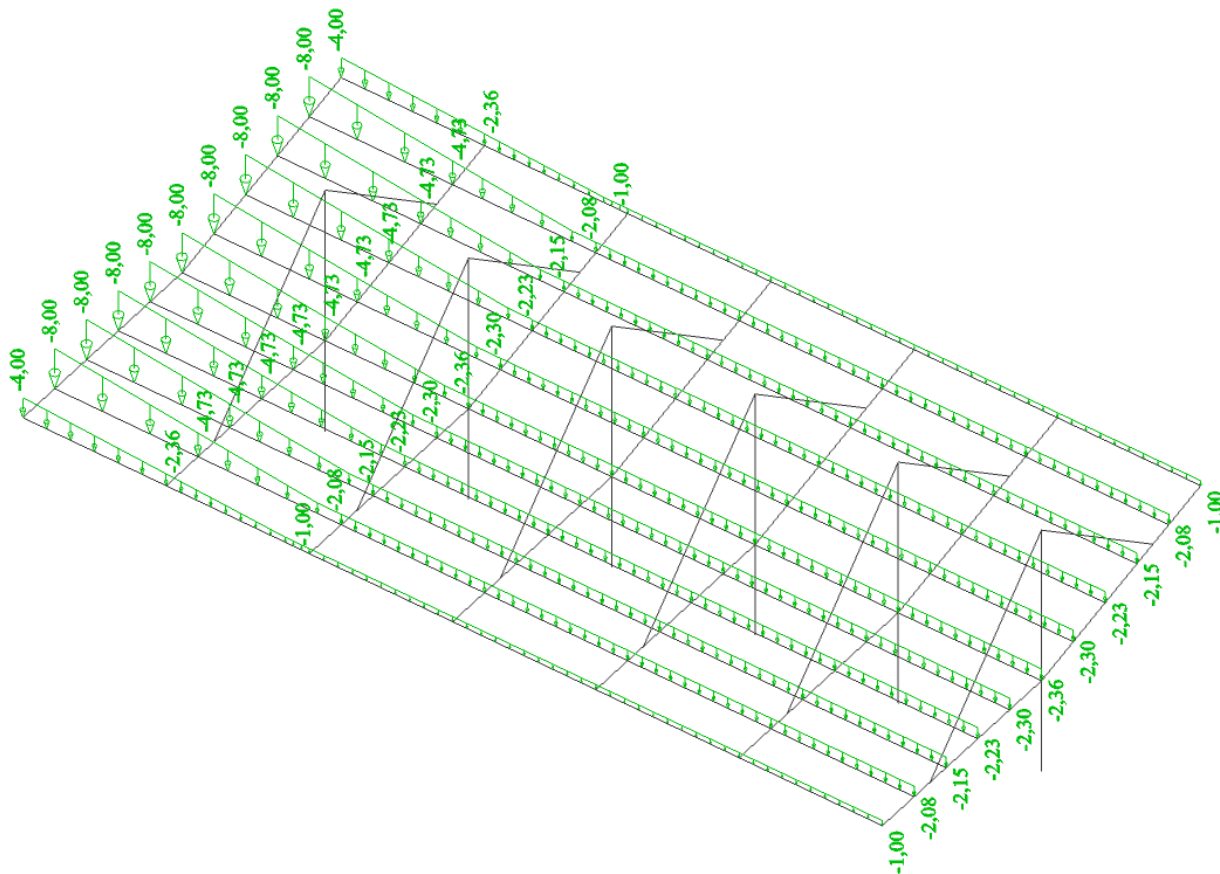
Vaznice 2:  $g_{s,2,k,lin} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 3:  $g_{s,3,k,lin} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 4:  $g_{s,4,k,lin} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 5:  $g_{s,5,k,lin} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 6:  $g_{s,6,k,lin} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ kN/m}$



Obrázek 12: Zatížení sněhem na celé konstrukci [kN/m]

### 3.3.4 Zatěžovací stav 4 – Sníh na polovině přístřešku

Při zatížení sněhem na polovinu konstrukce budou kvůli ekonomičnosti návrhu zachovány hodnoty pro rovnoměrně rozprostřený sníh, tj. nebude uvažováno zatížení od návějí.

Liniové zatížení vaznice pro  $g_{s,k} = 1 \text{ kN/m}^2$ :  $g_{s,i,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot L_{\text{zat},i}$

Vaznice 1:  $g_{s,1,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 1,0 = 1,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 2:  $g_{s,2,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

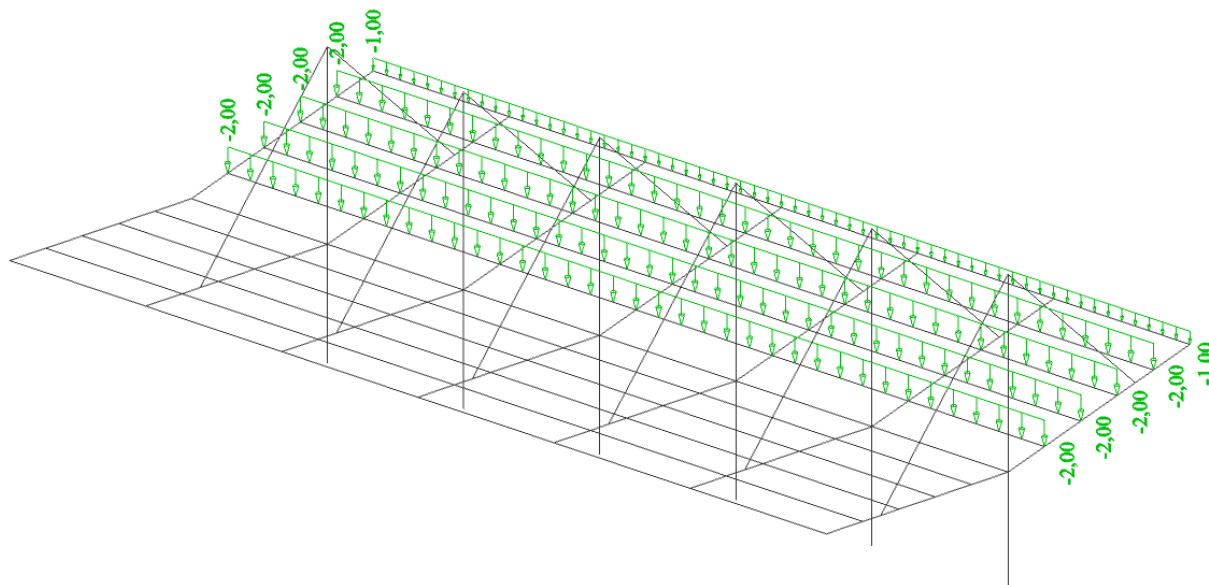
Vaznice 3:  $g_{s,3,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 4:  $g_{s,4,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 5:  $g_{s,5,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

Vaznice 6:  $g_{s,6,k,\text{lin}} = 1,0 \cdot 2,0 = 2,0 \text{ kN/m}$

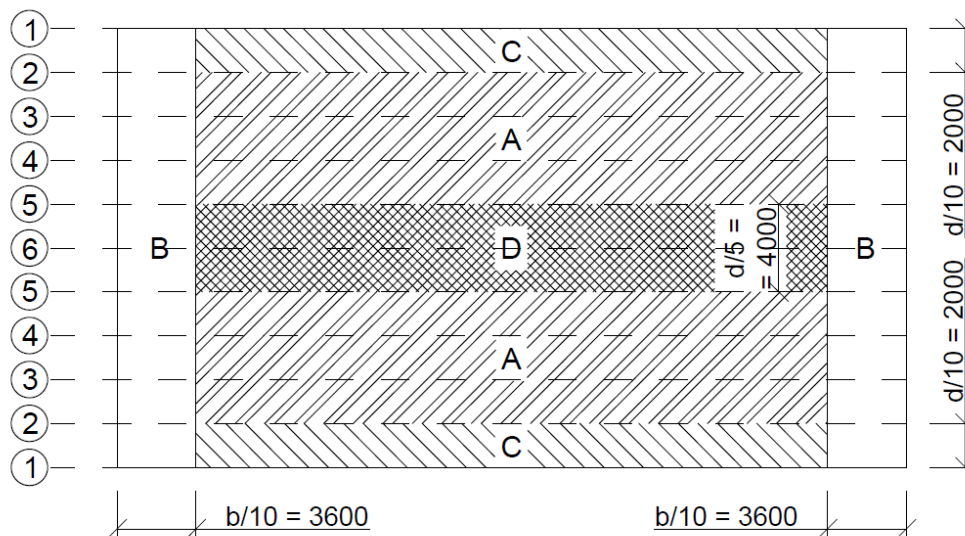




Obrázek 13: Zatížení sněhem na polovině přístřešku [kN/m]

### 3.3.5 Zatěžovací stav 5 – Vítr působící tlak na celé konstrukci

Zatížení tlakem větru na vaznice bude odpovídat rozdělení zatížení do jednotlivých oblastí (viz kap. 2.2.2 Zatížení větrem).



Obrázek 14: Rozložení zatížení větrem

1) Oblast B:

$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,B,k} \cdot L_{zat,i}$$

Vaznice 1:

$$g_{w,1,k,lin} = 0,295 \cdot 1,0 = 0,295 \text{ kN/m}$$

Vaznice 2-6:

$$g_{w,2-6,k,lin} = 0,295 \cdot 2,0 = 0,590 \text{ kN/m}$$

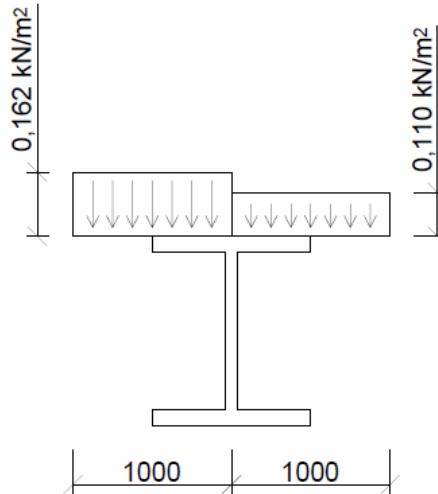
2) Oblast C:

Vaznice 1: 
$$g_{w,1,k,lin} = w_{e,C,k} \cdot L_{zat,1}$$

$$g_{w,1,k,lin} = 0,162 \cdot 1,0 = 0,162 \text{ kN/m}$$

3) Oblast C/A:

Vaznice 2:



Obrázek 15: Zatížení větrem na vaznici 2

$$g_{w,2,k,lin} = \left( \frac{w_{e,C,k} - w_{e,A,k}}{2} + w_{e,A,k} \right) \cdot L_{zat,2}$$

$$g_{w,2,k,lin} = \left( \frac{0,162 - 0,110}{2} + 0,110 \right) \cdot 2$$

$$g_{w,2,k,lin} = 0,272 \text{ kN/m}$$

4) Oblast A:

Vaznice 3: 
$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,A,k} \cdot L_{zat,i}$$

$$g_{w,3,k,lin} = 0,11 \cdot 2,0$$

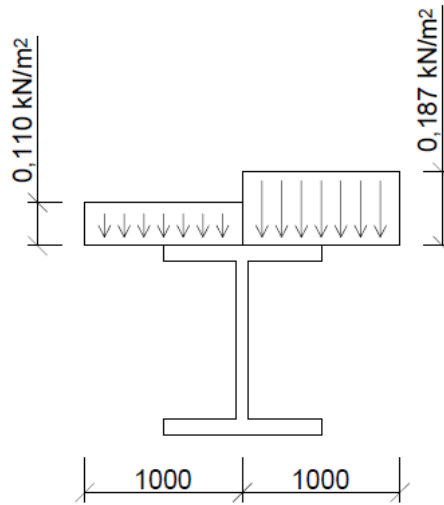
$$g_{w,3,k,lin} = 0,22 \text{ kN/m}$$

Vaznice 4: 
$$g_{w,4,k,lin} = 0,11 \cdot 2,0$$

$$g_{w,4,k,lin} = 0,22 \text{ kN/m}$$

5) Oblast A/D:

Vaznice 5:



Obrázek 16: Zatížení větrem na vaznici 5

$$g_{w,5,k,lin} = \left( \frac{w_{e,D,k} - w_{e,A,k}}{2} + w_{e,D,k} \right) \cdot L_{zat,5}$$

$$g_{w,5,k,lin} = \left( \frac{0,187 - 0,110}{2} + 0,110 \right) \cdot 2$$

$$g_{w,5,k,lin} = 0,297 \text{ kN/m}$$

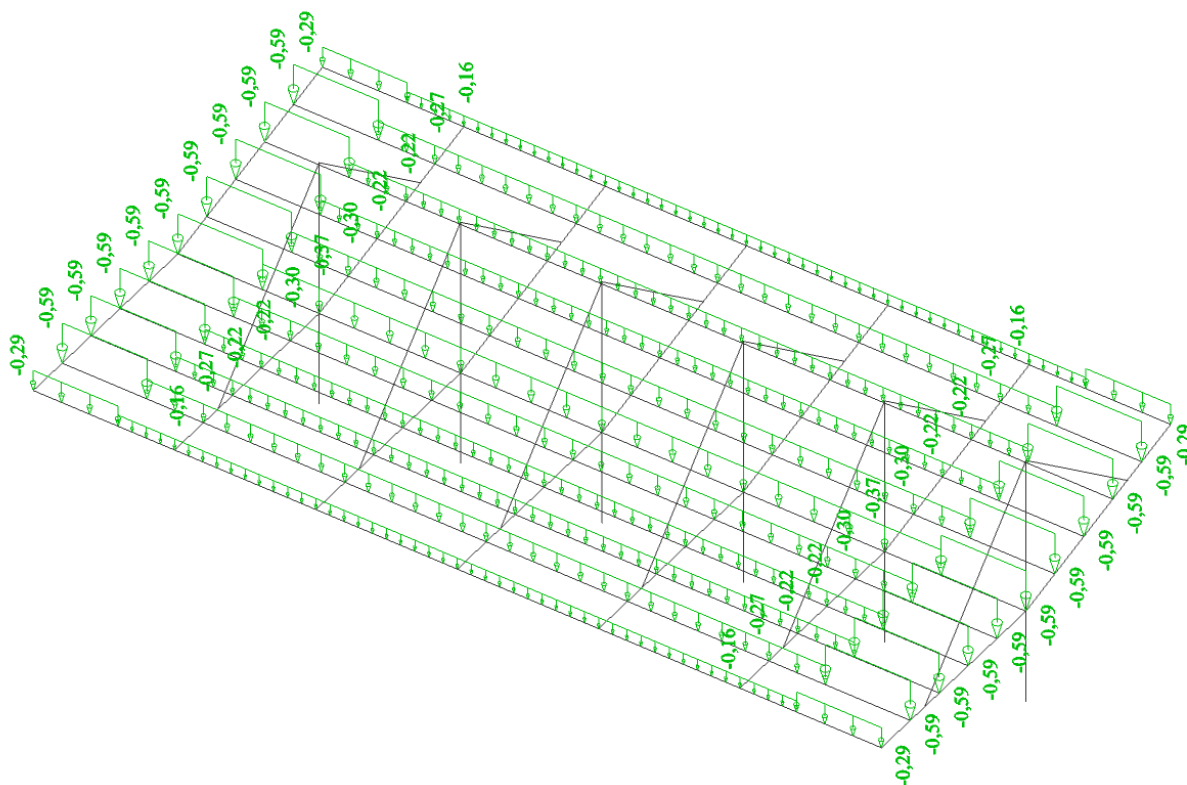
6) Oblast D:

$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,D,k} \cdot L_{zat,6}$$

Vaznice 6:

$$g_{w,6,k,lin} = 0,187 \cdot 2,0$$

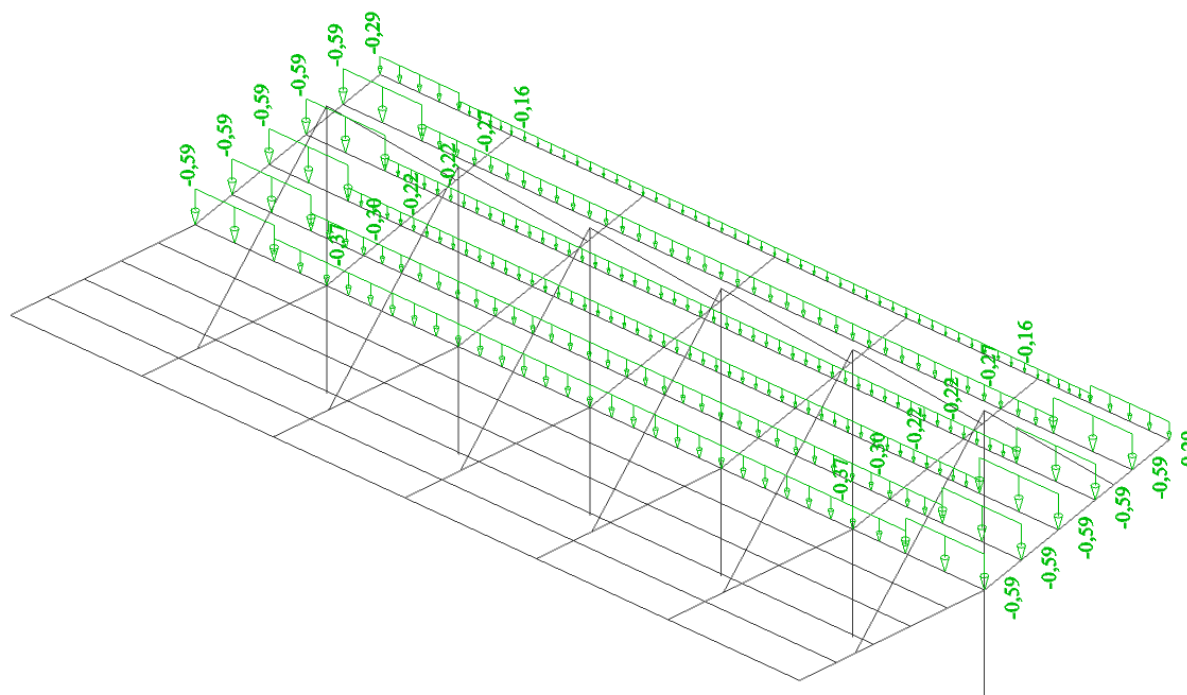
$$g_{w,6,k,lin} = 0,374 \text{ kN/m}$$



Obrázek 17: Zatížení větrem na celé konstrukci, vítr působí tlak [kN/m]

### 3.3.6 Zatěžovací stav 6 – Vítr působící tlak na polovině přístřešku

Hodnoty zatížení na jednotlivých vaznicích odpovídají zatěžovacímu stavu 5, avšak s tím rozdílem, že je v podélném směru zatížena pouze polovina zastřešení.



Obrázek 18: Zatížení větrem na polovině přístřešku, vítr působí tlak [kN/m]

### 3.3.7 Zatěžovací stav 7 – Vítr působící tlak na sloupy

Liniové zatížení na sloupy:

$$g_{w,sl,k,lin} = c_s c_d \cdot c_f \cdot q_p(z) \cdot b_i$$

Součinitel konstrukce (pro konstrukce  $h < 15$  m):

$$c_s c_d = 1,0$$

Součinitel celkové síly (viz tab.1, str.11):

$$c_f = 0,343 \text{ kN/m}^2$$

Maximální dynamický tlak větru (viz str.10):

$$q_p(z) = 0,202 \text{ kPa}$$

Vítr působící rovnoběžně s osou přístřešku:

$$b_1 = 0,9 \text{ m}$$

$$g_{w,sl,k,lin} = 1,0 \cdot 0,343 \cdot 0,202 \cdot 0,9$$

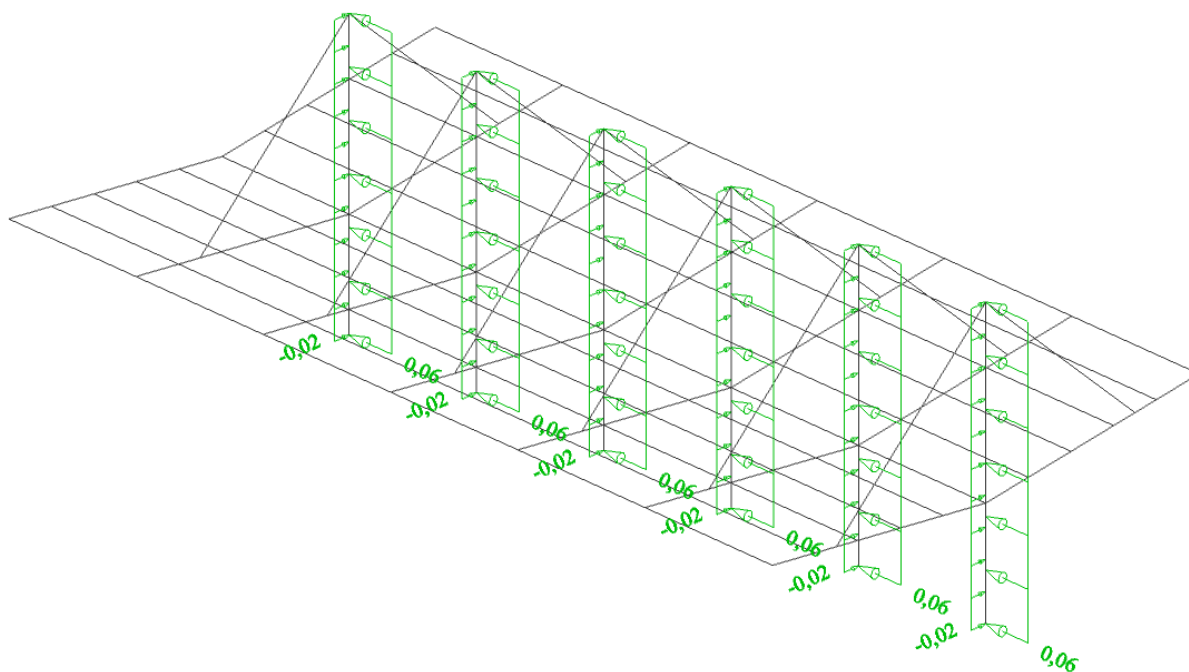
$$g_{w,sl,k,lin} = 0,062 \text{ kN/m}$$

Vítr působící kolmo na osu přístřešku:

$$b_1 = 0,3 \text{ m}$$

$$g_{w,sl,k,lin} = 1,0 \cdot 0,343 \cdot 0,202 \cdot 0,3$$

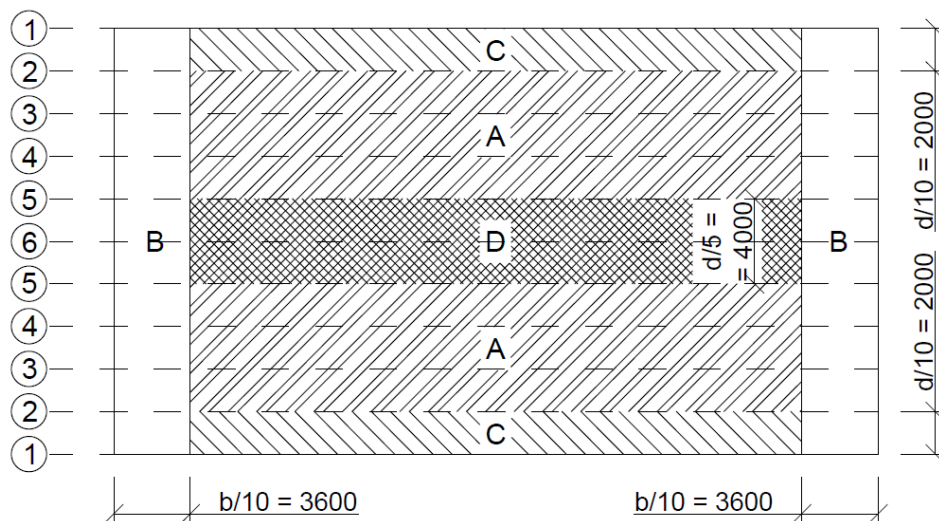
$$g_{w,sl,k,lin} = 0,021 \text{ kN/m}$$



Obrázek 19: Zatížení větrem na sloupy [kN/m]

### 3.3.8 Zatěžovací stav 8 – Vítr působící sání na celém přístřešku

Zatížení sáním větru na vaznice bude odpovídat rozdělení zatížení do jednotlivých oblastí (viz kap 2.2.2 Zatížení větrem).



Obrázek 20: Rozložení zatížení větrem

1) Oblast B:

$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,B,k} \cdot L_{zat,i}$$

Vaznice 1:

$$g_{w,1,k,lin} = -0,511 \cdot 1,0 = -0,511 \text{ kN/m}$$

Vaznice 2-6:

$$g_{w,2-6,k,lin} = -0,511 \cdot 2,0 = -1,022 \text{ kN/m}$$

2) Oblast C:

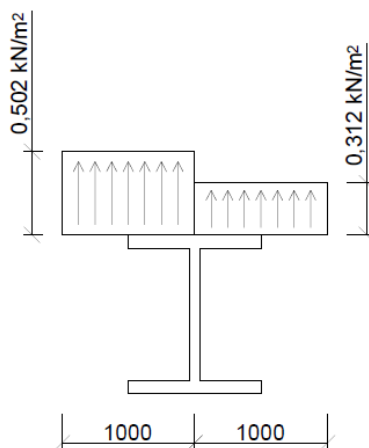
Vaznice 1:

$$g_{w,1,k,lin} = w_{e,C,k} \cdot L_{zat,1}$$

$$g_{w,1,k,lin} = -0,502 \cdot 1,0 = -0,502 \text{ kN/m}$$

3) Oblast C/A:

Vaznice 2:



Obrázek 21: Zatížení větrem na vaznici 2

$$g_{w,2,k,lin} = \left( \frac{w_{e,C,k} - w_{e,A,k}}{2} + w_{e,A,k} \right) \cdot L_{zat,2}$$

$$g_{w,2,k,lin} = \left( \frac{-0,502 - (-0,312)}{2} + (-0,312) \right) \cdot 2$$

$$g_{w,2,k,lin} = -0,814 \text{ kN/m}$$

4) Oblast A:

$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,A,k} \cdot L_{zat,i}$$

Vaznice 3:

$$g_{w,3,k,lin} = -0,312 \cdot 2,0$$

$$g_{w,3,k,lin} = -0,624 \text{ kN/m}$$

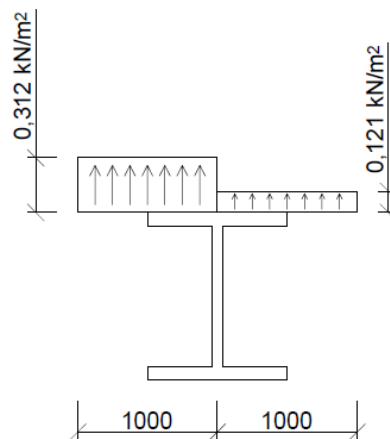
Vaznice 4:

$$g_{w,4,k,lin} = -0,312 \cdot 2,0$$

$$g_{w,4,k,lin} = -0,624 \text{ kN/m}$$

5) Oblast A/D:

Vaznice 5:



Obrázek 22: Zatížení větrem na vaznici 5

$$g_{w,5,k,lin} = \left( \frac{w_{e,D,k} - w_{e,A,k}}{2} + w_{e,D,k} \right) \cdot L_{zat,5}$$

$$g_{w,5,k,lin} = \left( \frac{-0,312 - (-0,121)}{2} + (-0,121) \right) \cdot 2$$

$$g_{w,5,k,lin} = -0,433 \text{ kN/m}$$

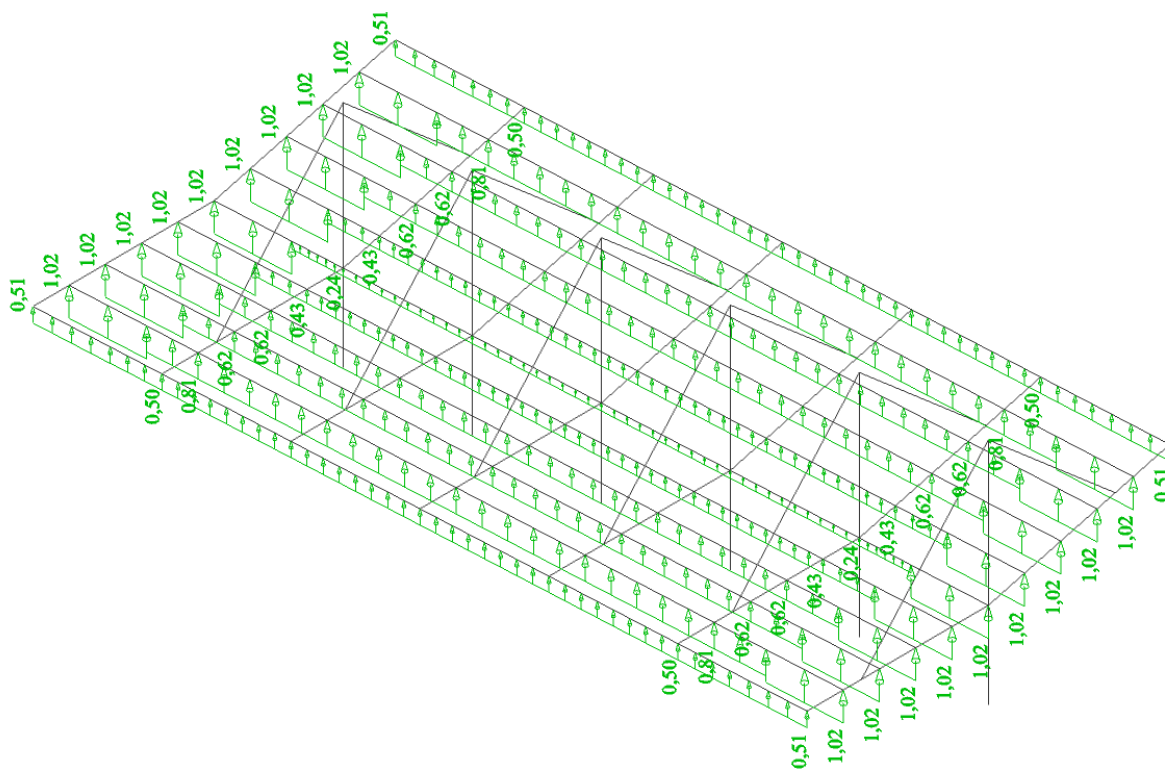
6) Oblast D:

$$g_{w,i,k,lin} = w_{e,D,k} \cdot L_{zat,6}$$

Vaznice 6:

$$g_{w,6,k,lin} = -0,121 \cdot 2,0$$

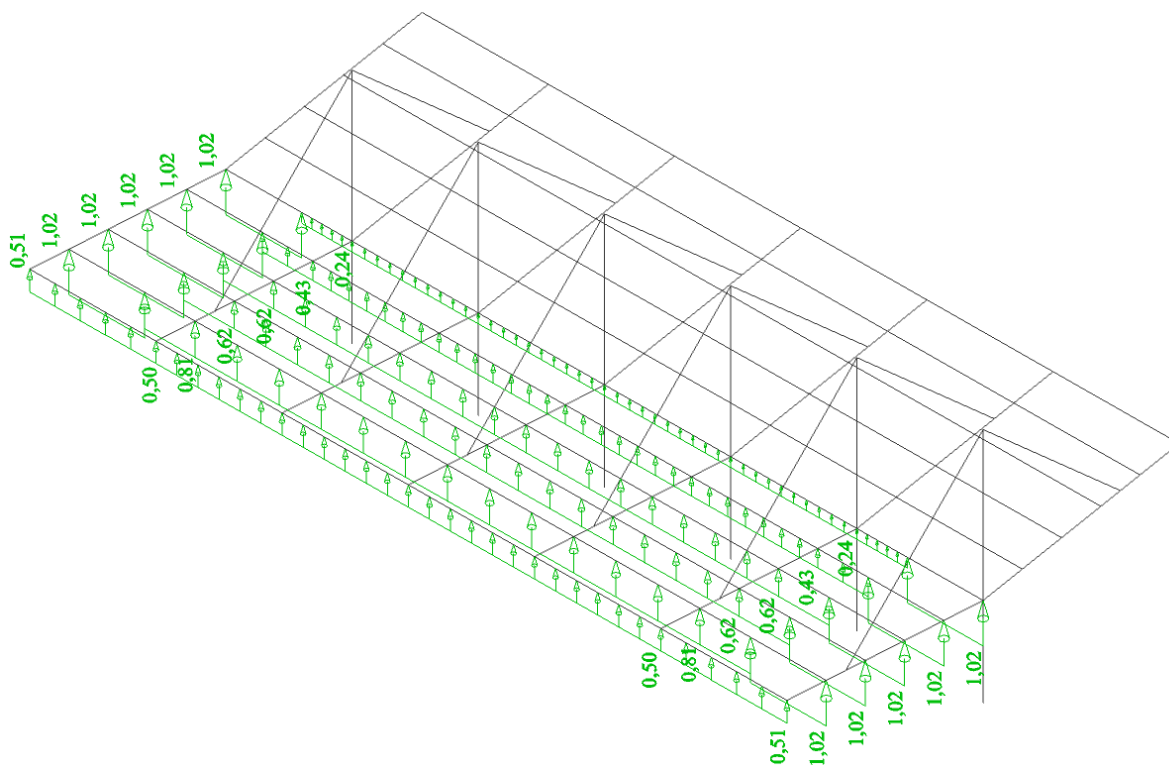
$$g_{w,6,k,lin} = -0,242 \text{ kN/m}$$



Obrázek 23: Zatížení větrem na celé konstrukci, vítr působí sání [kN/m]

### 3.3.9 Zatěžovací stav 9 – Vítr působící sání na polovině přístřešku

Hodnoty zatížení na jednotlivých vaznicích odpovídají zatěžovacímu stavu 8, avšak s tím rozdílem, že je v podélném směru zatížena pouze polovina zastřešení.



Obrázek 24: Zatížení větrem na polovině přístřešku, vítr působí sání [kN/m]



### 3.4 Kombinace

Ve výpočtu bude použito celkem 36 kombinací. Prvních 24 kombinací pro posouzení MSÚ, dalších 12 pro posouzení MSP.

Jednotlivé součinitele k zatěžovacím stavům jsou uvedeny v tabulkách 4, 5, 6.

Tabulka 4: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSÚ, kategorie a)

<b>MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – KOMBINACE a)</b>									
<b>Kombinace 1: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 2: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 3: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 4: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 5: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 6: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 7: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<b>Kombinace 8: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 9: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 10: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,50	-	1,50
$\psi$	-	-	-	-	-	-	0,60	-	0,60
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 11: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,50	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	0,60	0,60	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 12: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,50	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	0,60	0,60	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka 5: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSÚ, kategorie b)

<b>MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI – KOMBINACE b)</b>									
<b>Kombinace 13: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 14: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 15: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-

<b>Kombinace 16: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 17: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 18: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	1,50	-	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 19: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	1,50	-	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 20: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,35	1,35	-	1,50	-	1,50	1,50	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 21: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 22: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,50	-	1,50
$\psi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 23: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,50	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 24: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,50	-	-	1,50	1,50	-
$\psi$	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-
$\xi$	0,85	0,85	-	-	-	-	-	-	-

Tabulka 6: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSP, charakteristické kombinace

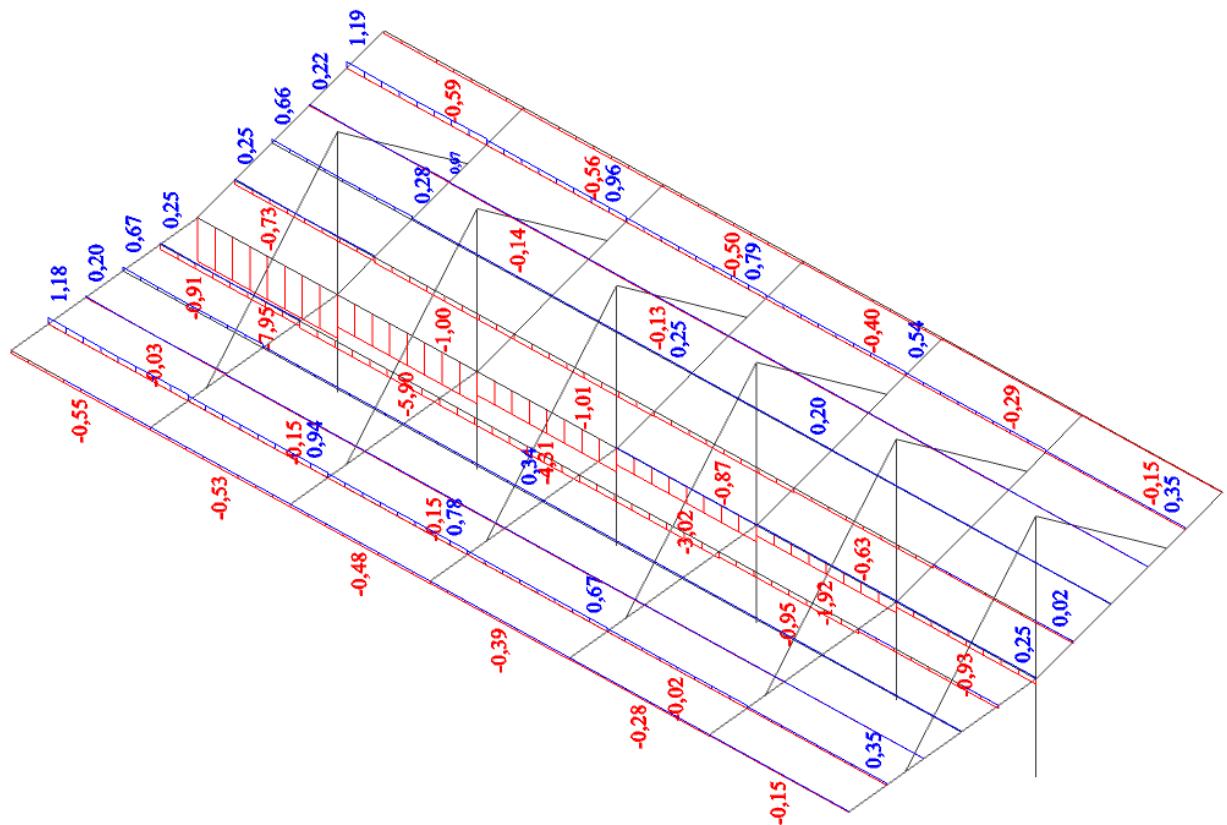
<b>MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI – KOMBINACE CHARAKTERISTICKÁ</b>									
<b>Kombinace 1: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 2: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	-	0,60	-	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 3: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 4: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 5: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 6: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	1,00	-	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 7: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	1,00	-	-	1,00	1,00	-	-
$\psi$	-	-	0,50	-	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 8: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí tlak</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	-	1,00	1,00	-	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

<b>Kombinace 9: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,00	1,00	-
$\psi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 10: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	-	-	-	1,00	-	1,00
$\psi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 11: Hlavní proměnné zatížení – zatížení větrem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	-	-	1,00	1,00	-
$\psi$	-	-	-	0,50	-	-	-	-	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Kombinace 12: Hlavní proměnné zatížení – zatížení sněhem, vítr působí sání</b>									
	ZS1	ZS2	ZS3	ZS4	ZS5	ZS6	ZS7	ZS8	ZS9
$\gamma$	1,00	1,00	-	1,00	-	-	1,00	1,00	-
$\psi$	-	-	-	-	-	-	0,60	0,60	-
$\xi$	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## 4 Vnitřní síly

### 4.1 Vaznice

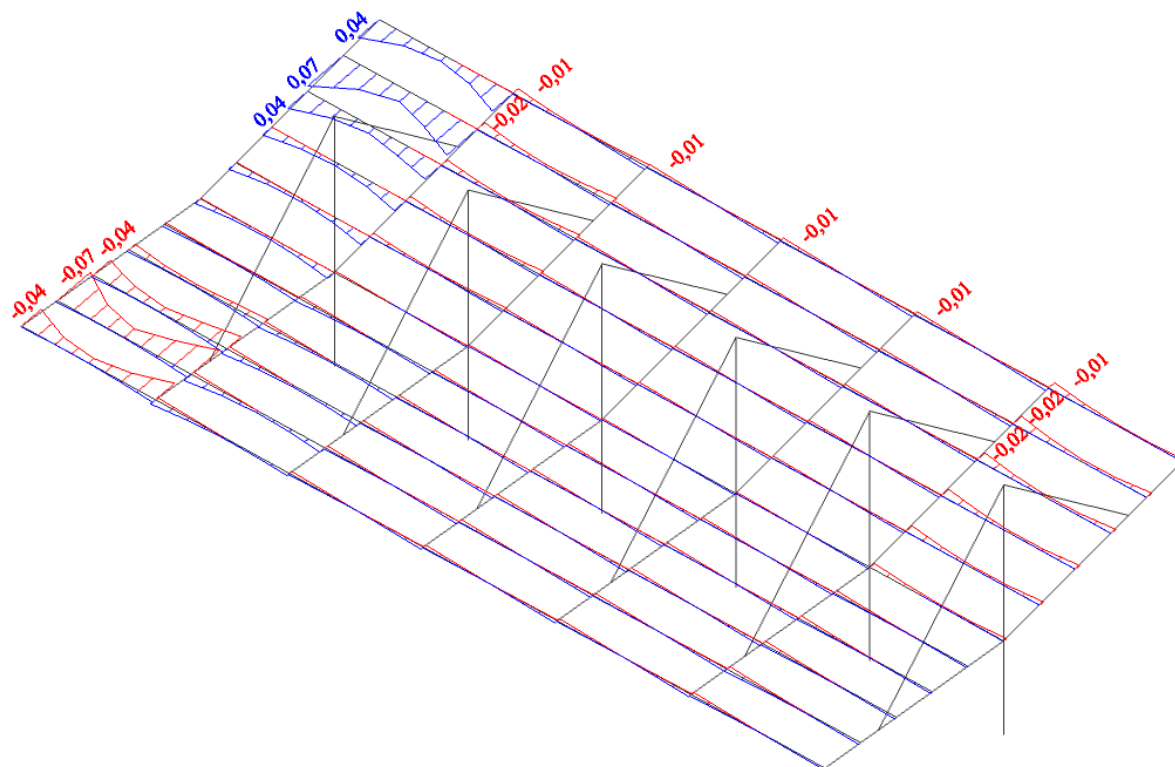
#### 4.1.1 Normálové síly



Obrázek 25: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly  $N$

Na obr. 25 je vidět, že nejvyšší normálové síly jsou v prvním poli přístřešku. Tahové síly jsou minimální a ve výpočtu budou tedy zanedbány. Nejvyšší tlaková síla je dosažena na středové vaznici:  $N_{Ed} = -7,95$  kN, a vznikla z kombinace 21 pro MSÚ (str. 38).

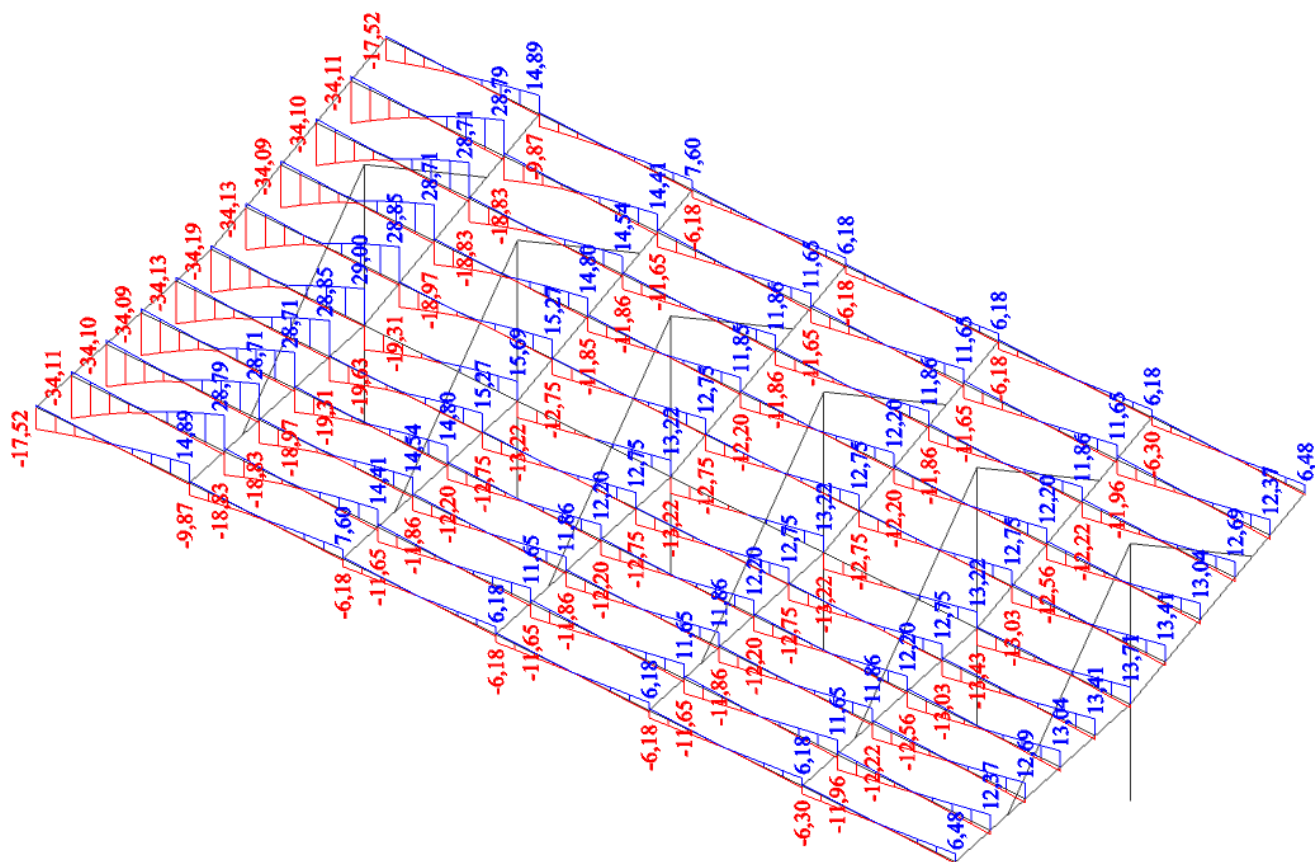
### 4.1.2 Posouvající síly ve směru osy y



Obrázek 26: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_y$

Vzhledem k velmi nízkým hodnotám bude působení posouvajících sil ve směru osy y zanedbáno.

## 4.1.3 Posouvající síly ve směru osy z

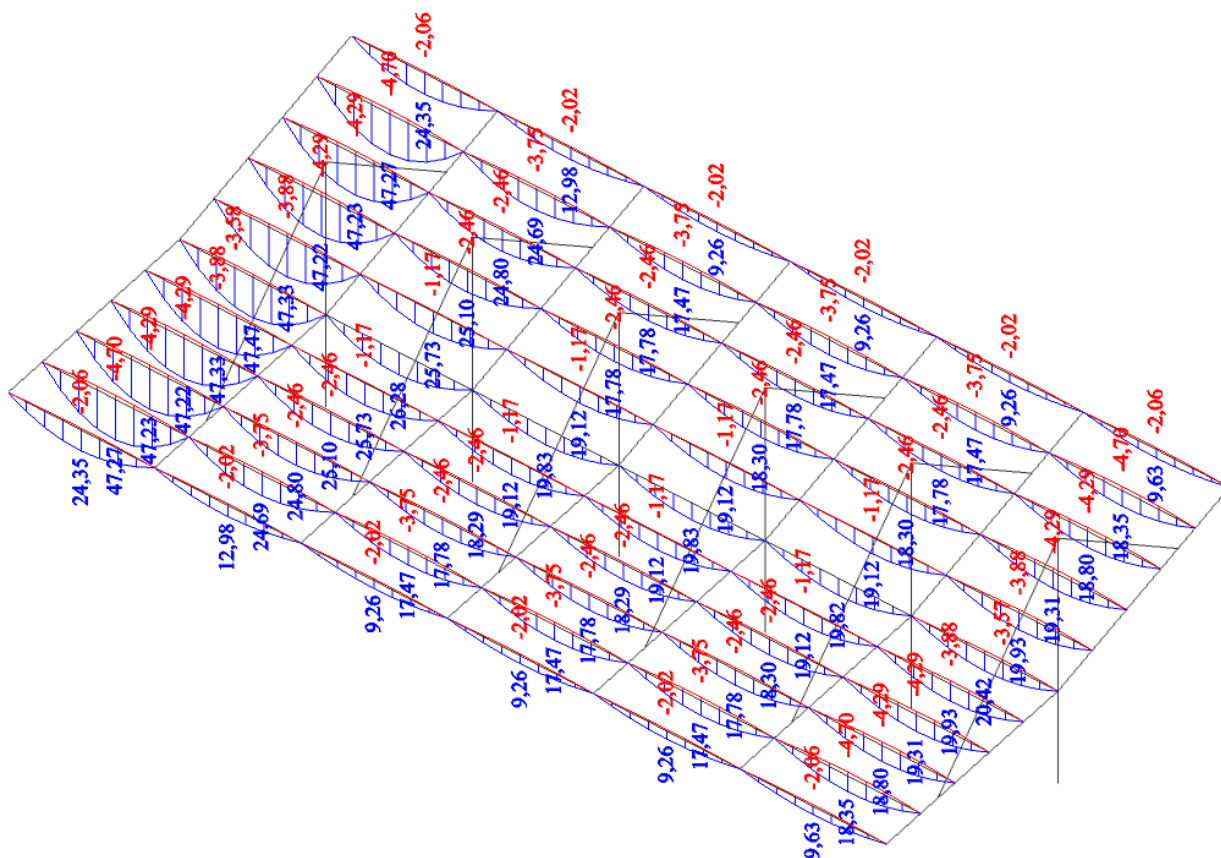
Obrázek 27: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_z$ 

Nejvyšší posouvající síla je:  $V_{z,Ed} = 34,19$  kN, a vznikla z kombinace 13 pro MSÚ (str. 37).



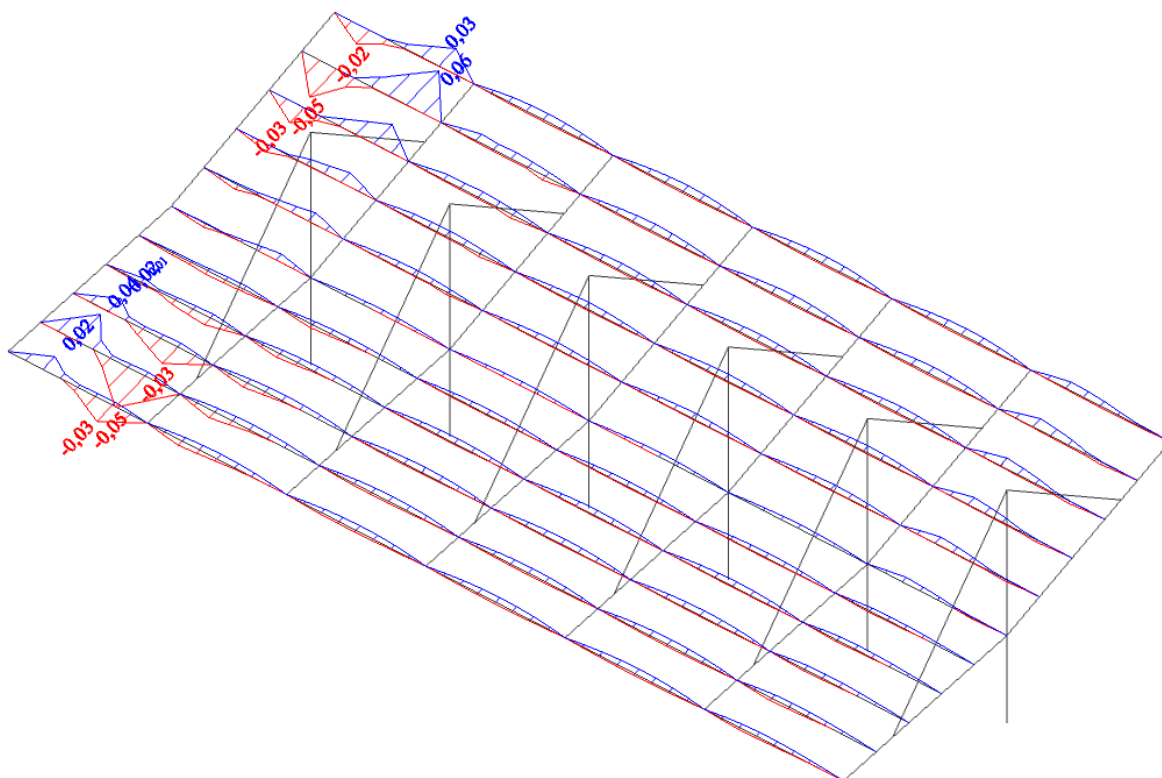


## 4.1.5 Ohybové momenty okolo osy y

Obrázek 29: Obálka kombinací pro MSÚ – ohybový moment  $M_y$ 

Nejvyšší moment je:  $M_{y,Ed} = 47,47$  kNm, a vznikl z kombinace 13 pro MSÚ (str. 37).

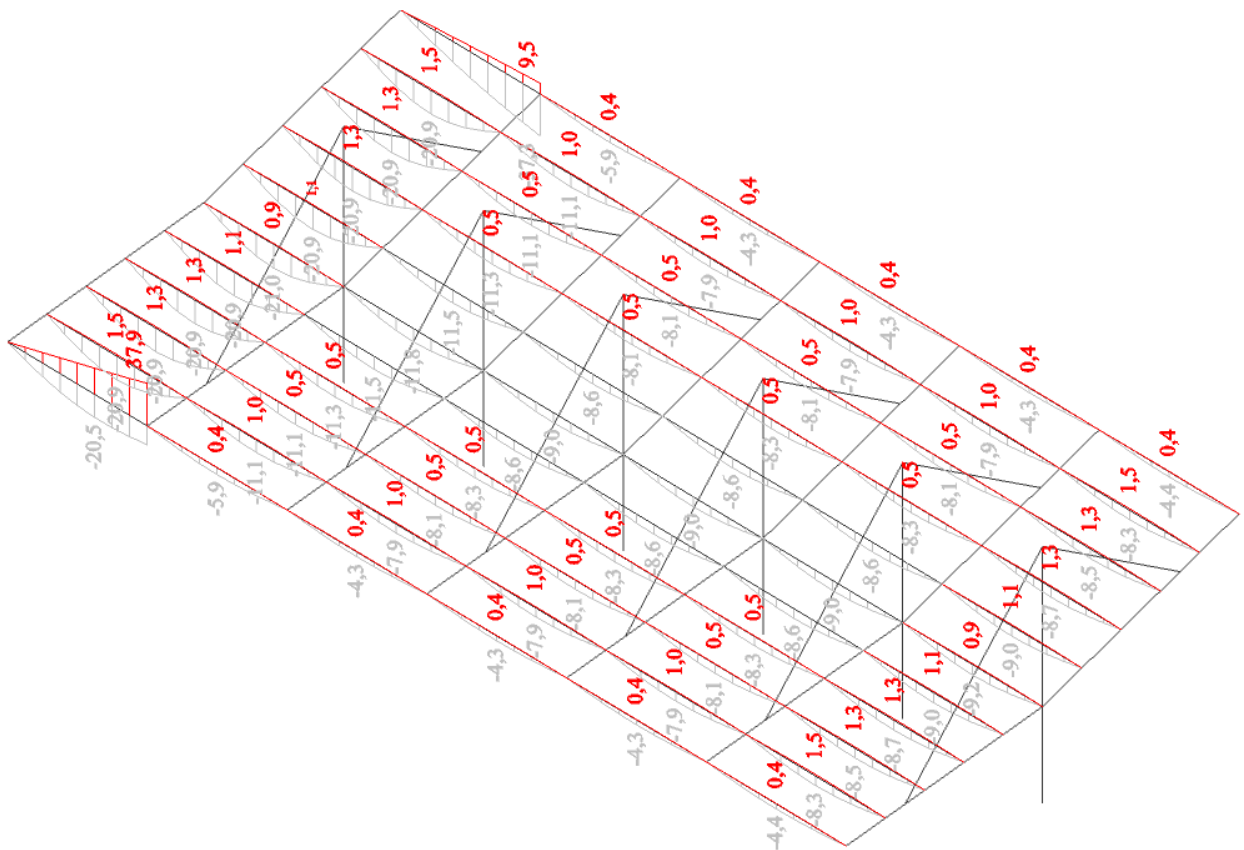
### 4.1.6 Ohybové momenty okolo osy z



Obrázek 30: Obálka kombinací pro MSÚ – ohybový moment  $M_z$

Vzhledem k velmi nízkým hodnotám bude působení ohybových momentů kolem osy z zanedbáno.

### 4.1.7 Deformace



Obrázek 31: Obálka kombinací pro MSP – deformace  $u_z$

Posouzení mezního stavu použitelnosti bude provedeno posouzením limitních průhybů. U vaznic bude posuzován relativní průhyb („jejich vlastní“), v němž nebude započítán průhyb nosníků pod vaznicemi, který způsobuje pokles celé vaznice (obou konců) a při němž se samotná vaznice neprohýbá. Nejvyšší hodnota 37,9 mm je způsobena posunem nosníku pod vaznicí a nebude v tomto posouzení uvažována (viz odst. výše).

Návrhovou hodnotou tedy bude:  $\delta = 21,00 \text{ mm}$  (z kombinace 1 pro MSP – str. 39)

### 4.1.8 Návrhové hodnoty

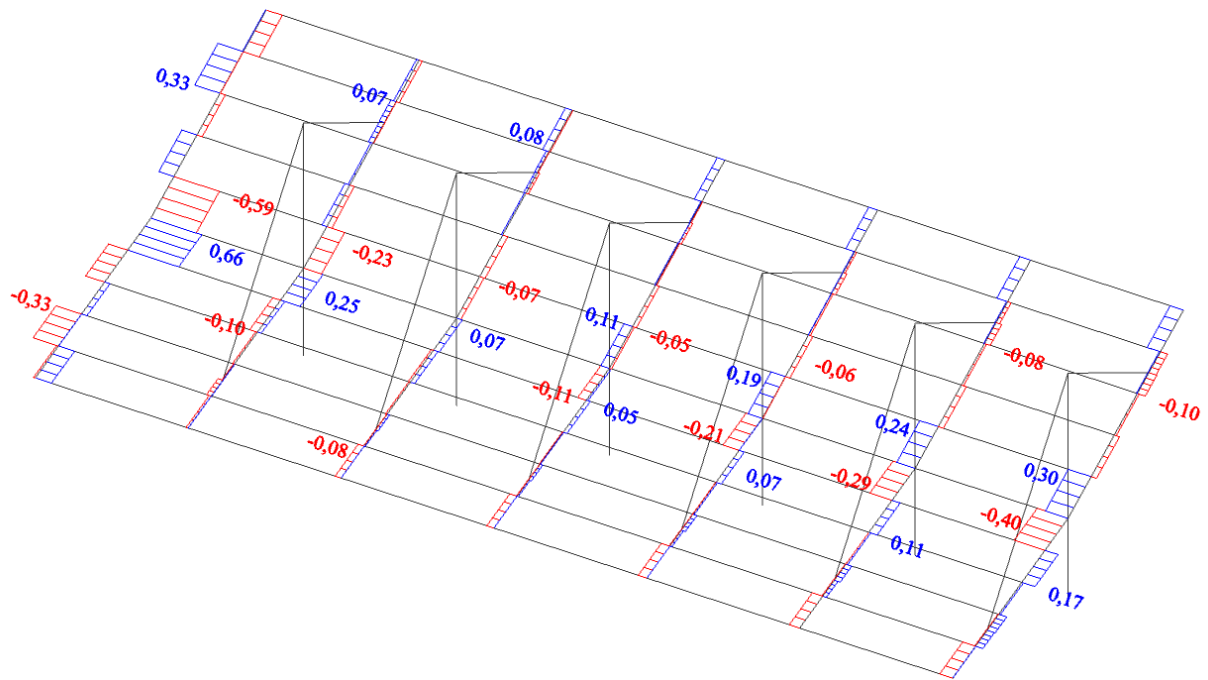
Nejvíce namáhaný průřez vaznice bude posouzen na tlak, smyk a ohyb, dále pak na interakci tlaku a ohybu. Pro zajištění bezpečnosti návrhu budou pro posudek použity dvě kombinace – ta, kde je nejvyšší tlaková síla (kombinace 21) a pak ta, kde je nejvyšší posouvající síla a ohybový moment (kombinace 13).



Tahové síly jsou velmi nízké, budou tedy zanedbány. Největší tlakovou silou je:

$N_{Ed} = -151,03 \text{ kN}$ . Ta vzniká v kombinaci 13 (str. 37).

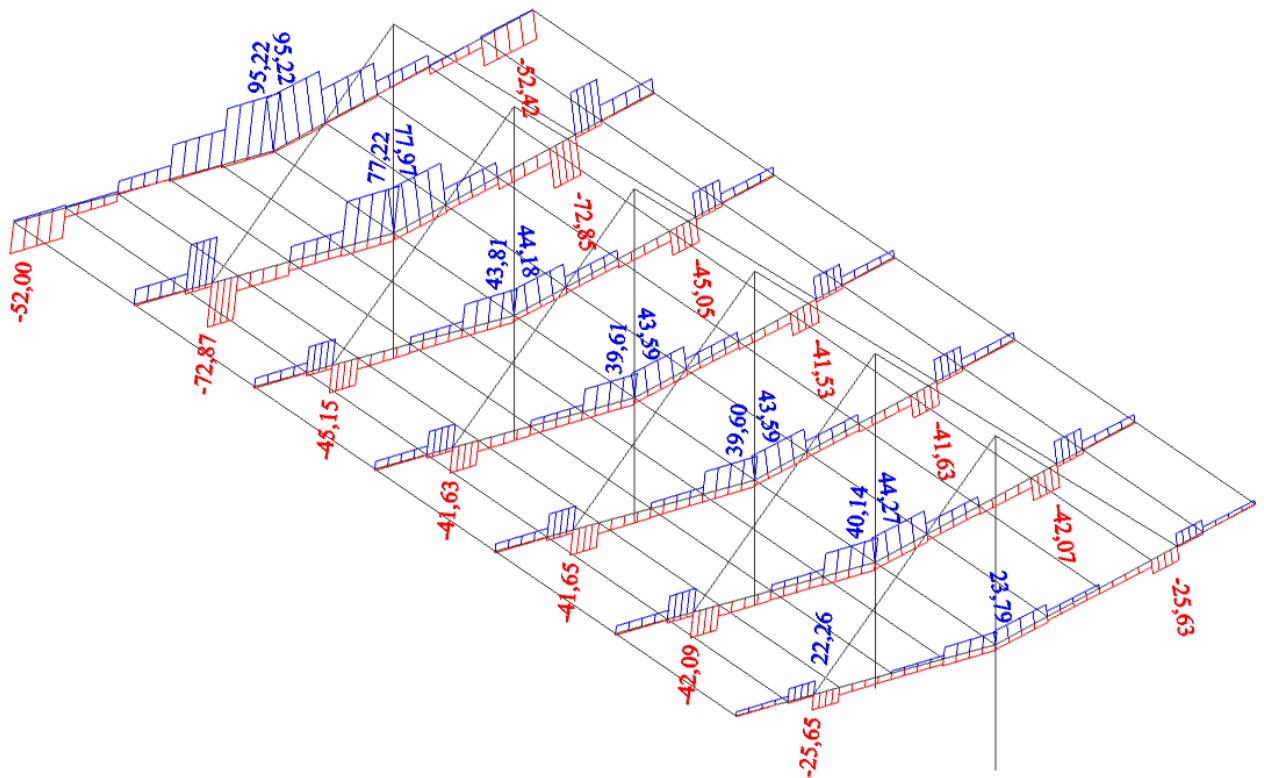
#### 4.2.2 Posouvající síly ve směru osy y



Obrázek 33: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_y$

Hodnoty posouvajících sil ve směru osy y jsou velmi malé, budou proto v návrhu zanedbány.

### 4.2.3 Posouvající síly ve směru osy z



Obrázek 34: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_z$

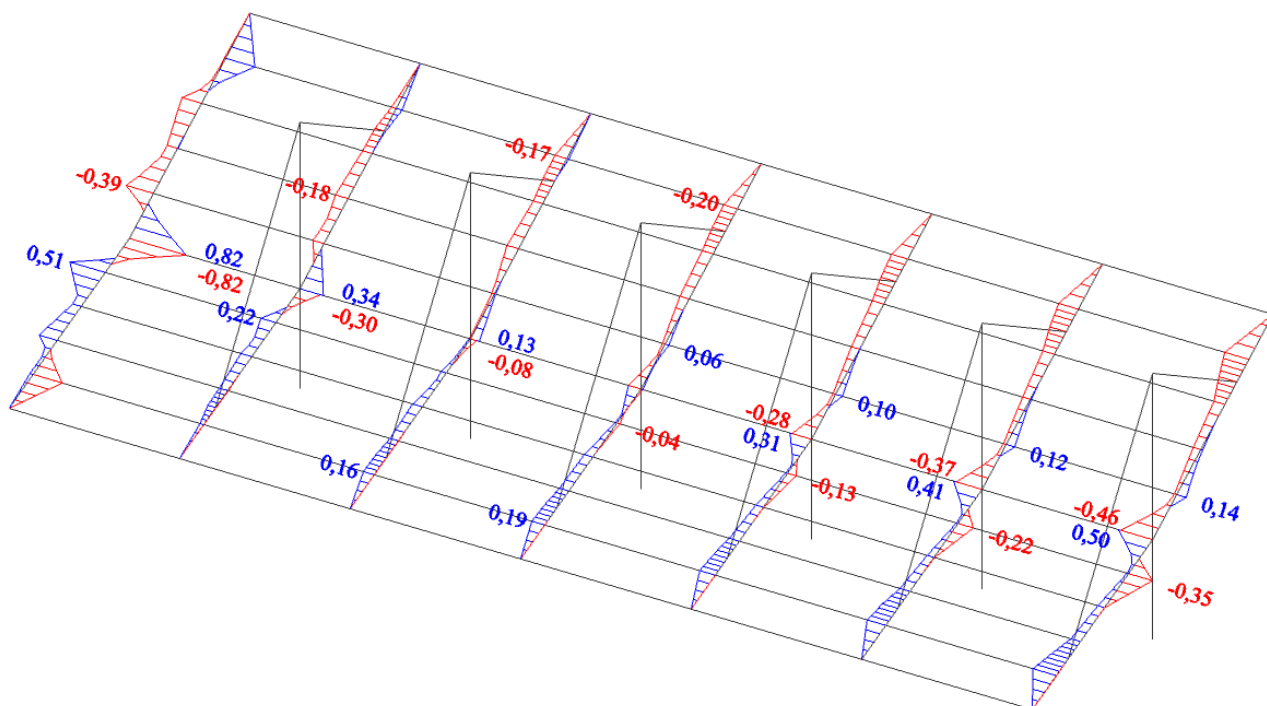
Nejvyšší posouvající síla je:  $V_{z,Ed} = 77,97$  kN. Tato síla vzniká v kombinaci 13 (str. 37). Hodnota posouvající síly 95,22 kN není uvažována jako nejvyšší, neboť krajní nosník je již součástí budovy a jeho uložení neodpovídá typickému poli přístřešku.







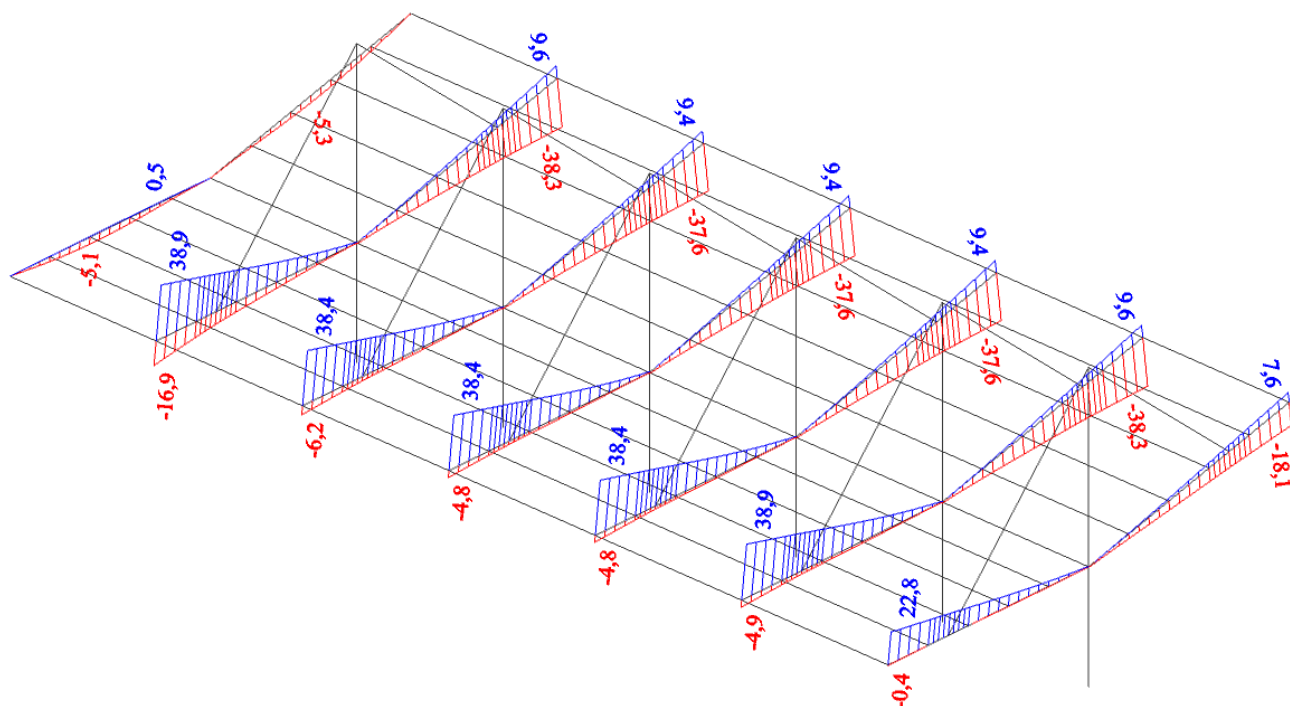
### 4.2.6 Ohybové momenty kolem osy z



Obrázek 37: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty  $M_z$

Ohybové momenty  $M_z$  dosahují jen velmi nízkých hodnot, jejich vliv bude zanedbán.

### 4.2.7 Deformace



Obrázek 38: Obálka kombinací pro MSP – deformace  $u_z$

Největší hodnota průhybu:  $\delta = 38,9$  mm. Tato hodnota vzniká v kombinaci 4 pro MSP (viz str. 39).

### 4.2.8 Návrhové hodnoty

Nosníky jsou namáhány tlakovou silou, posouvající silou a ohybovým momentem. Budou posouzena všechna tato působení včetně příslušných interakcí. Celkově budou posuzovány 3 kombinace (13, 15 a 24), podle toho, kde dané síly dosáhly svého maxima.

Mezní stav únosnosti:

Kombinace 13:  $N_{Ed} = -151,03 \text{ kN}$   
(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,22 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = -213,63 \text{ kNm}$

Kombinace 15:  $N_{Ed} = -150,38 \text{ kN}$   
(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,97 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = -219,01 \text{ kNm}$

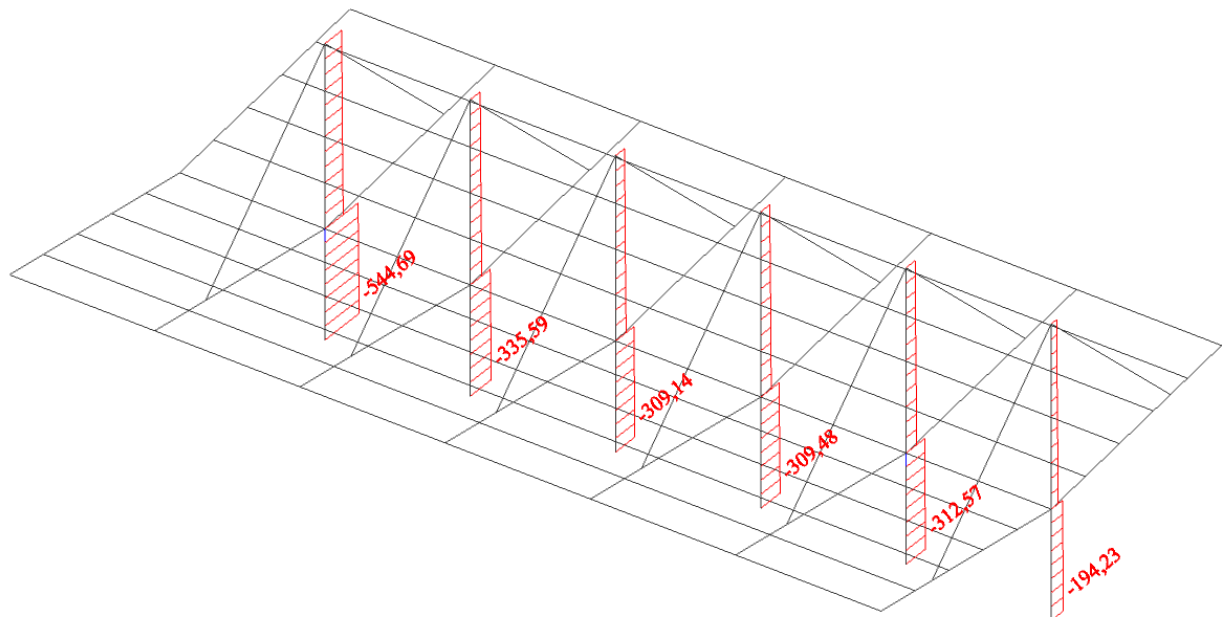
Kombinace 24:  $N_{Ed} = -12,31 \text{ kN}$   
(viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 12,08 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = 99,37 \text{ kNm}$

Mazní stav použitelnosti:

Kombinace 4:  $\delta = 38,9 \text{ mm}$   
(viz str. 39)

## 4.3 Sloupy

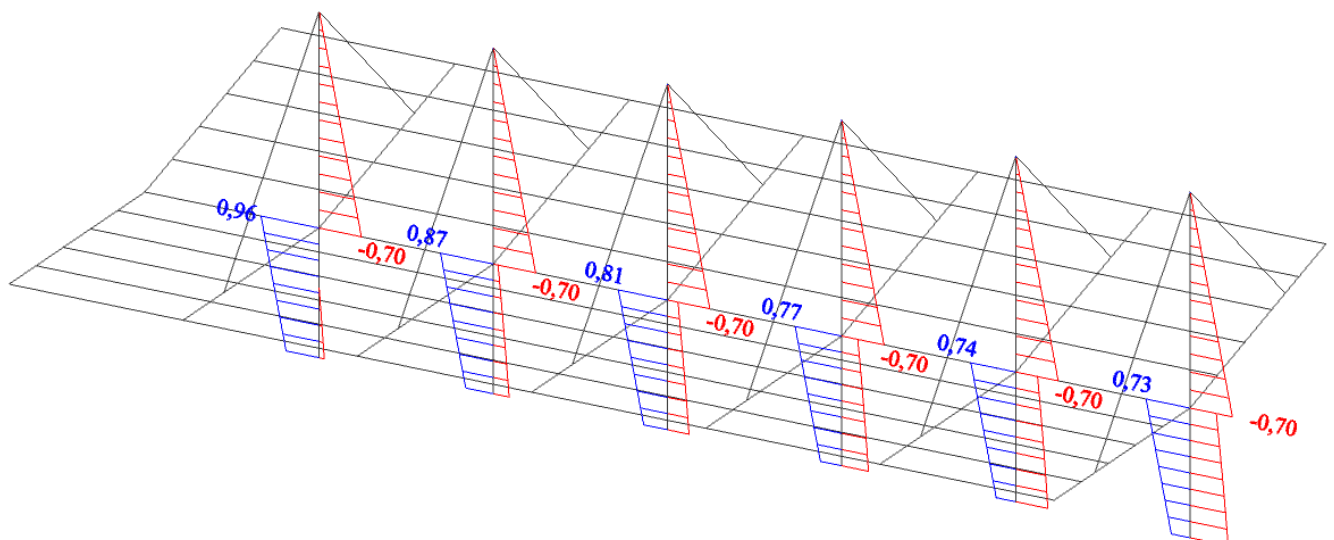
### 4.3.1 Normálové síly



Obrázek 39: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly  $N$

Z obrázku je patrné, že maximální normálová síla je síla tlaková (k tahu ve sloupech nedochází) a její hodnota je:  $N_{Ed} = -544,69$  kN. Tato síla vzniká v kombinaci 13 pro MSÚ (str. 37).

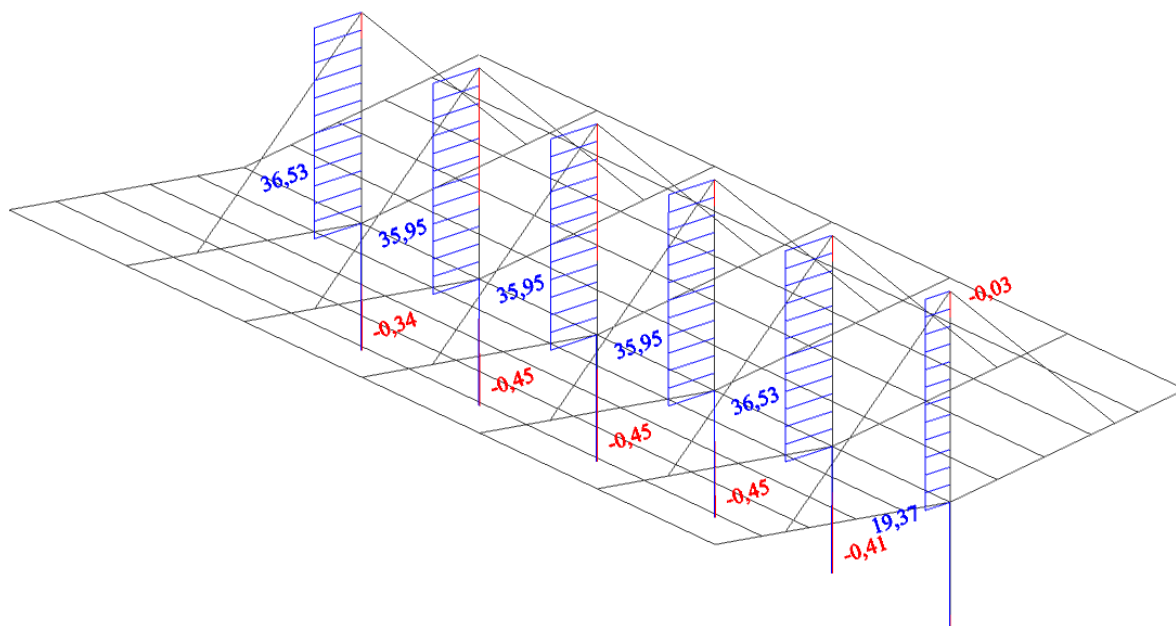
### 4.3.2 Posouvající síly ve směru osy $y$



Obrázek 40: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_y$

Z hodnot posouvajících sil ve směru osy  $y$  na obr. 40 je patrné, že jsou velmi nízké. Proto budou v dalším výpočtu zanedbány.

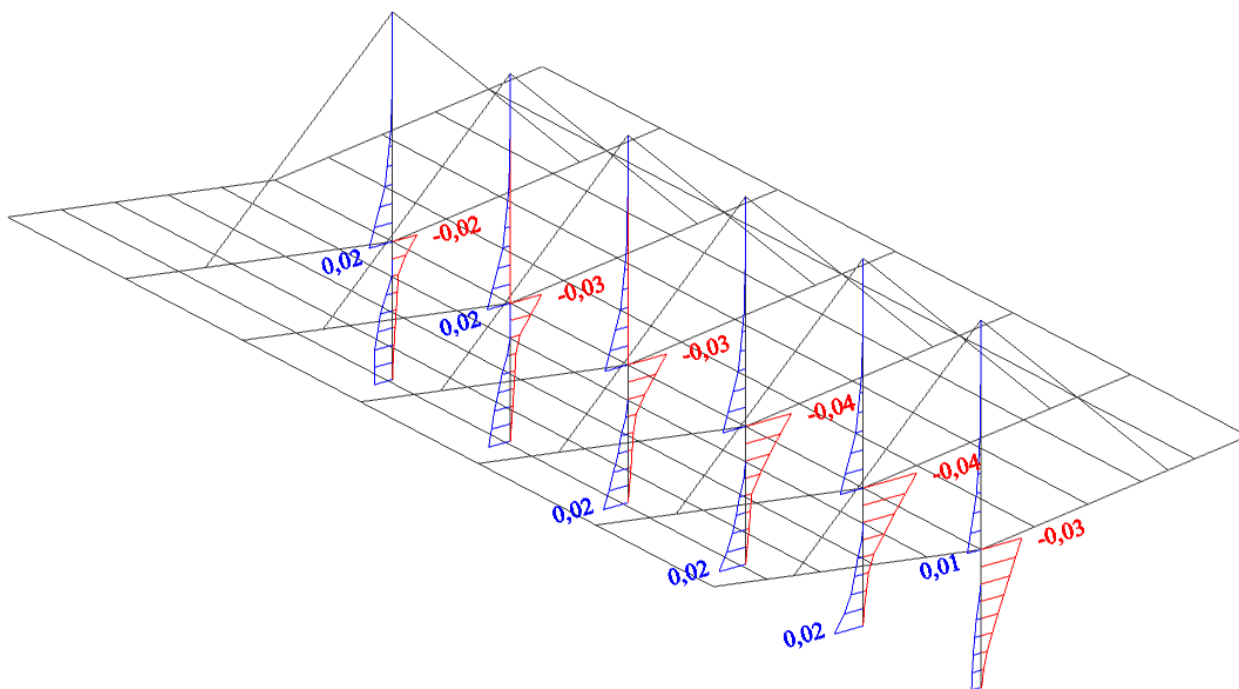
### 4.3.3 Posouvající síly ve směru osy z



Obrázek 41: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly  $V_z$

Maximální hodnota posouvající síly ve směru osy z je:  $V_{z,Ed} = 36,53$  kN. Toto maximum vzniká v kombinaci 16 (str. 38).

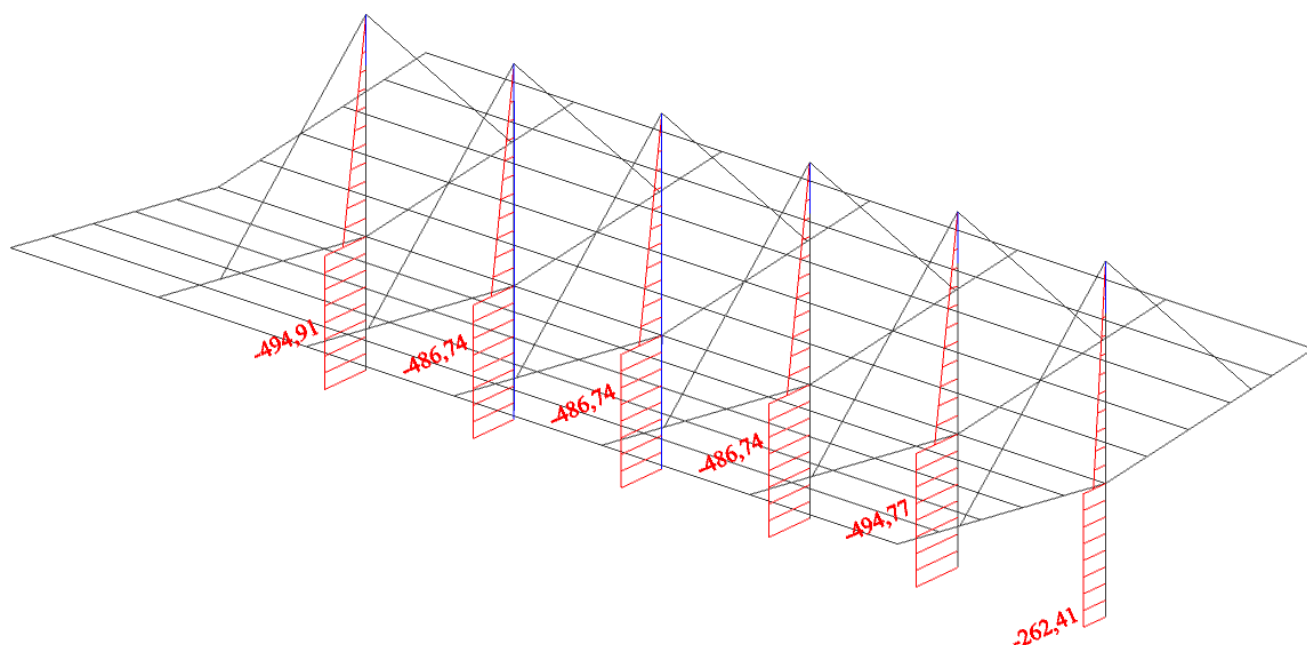
### 4.3.4 Krouťící momenty okolo osy x



Obrázek 42: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty  $M_x$

Vliv krouťících momentů  $M_x$  bude pro jejich nízké hodnoty zanedbán.

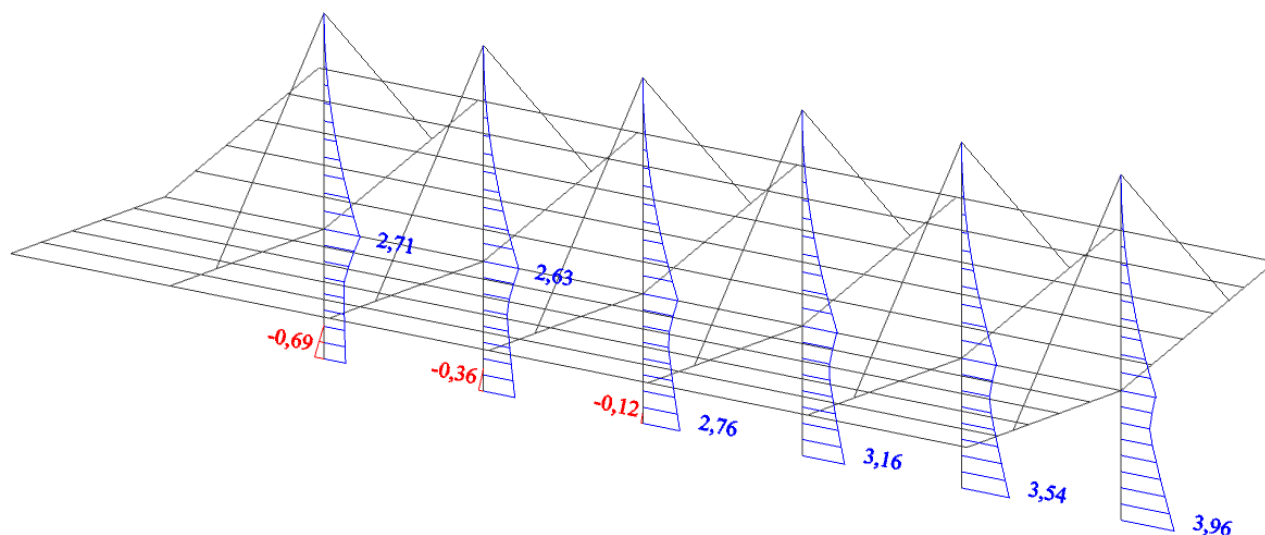
### 4.3.5 Ohybové momenty okolo osy y



Obrázek 43: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty  $M_y$

Největší ohybový moment  $M_y$  nabývá hodnoty:  $M_{y,Ed} = -494,91$  kNm. Tohoto momentu je dosaženo v kombinaci 16 (str. 38).

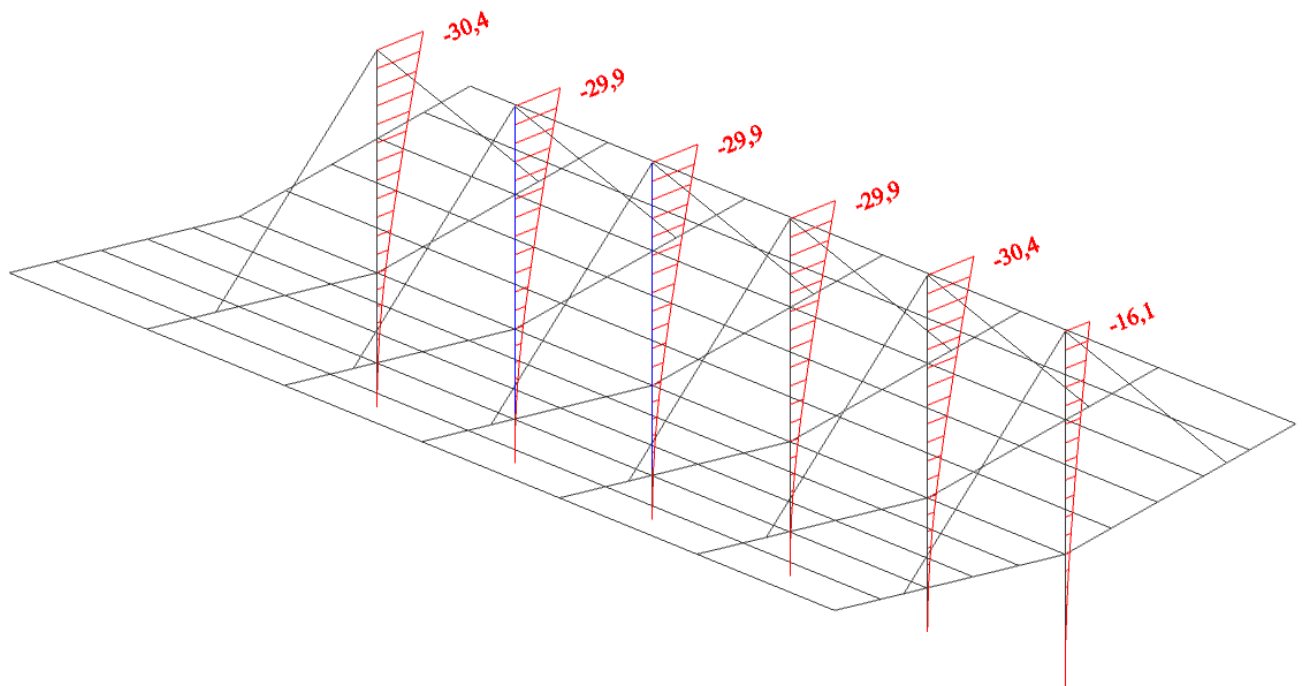
### 4.3.6 Ohybové momenty okolo osy z



Obrázek 44: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty  $M_z$

Vzhledem k velikosti průřezu sloupu (HEM 650), bude vliv ohybových momentů okolo osy z pro jejich nízké hodnoty zanedbán.

### 4.3.7 Deformace



Obrázek 45: Obálka kombinací pro MSP – deformace  $u_z$

Nejvyšší průhyb vzniká v kombinaci 4 pro MSP (str. 39) s hodnotou:  $\delta = 30,4$  mm.

### 4.3.8 Návrhové hodnoty

Průřezy sloupů budou posuzovány na tlak, posouvající sílu a ohyb, dále pak na interakci tlaku a ohybu. Posouzení se bude provádět pro dva průřezy a pro dvě kombinace (kombinace 13 a 16), neboť při nich nastávají extrémní všechny tři namáhání.

Mezní stav únosnosti:

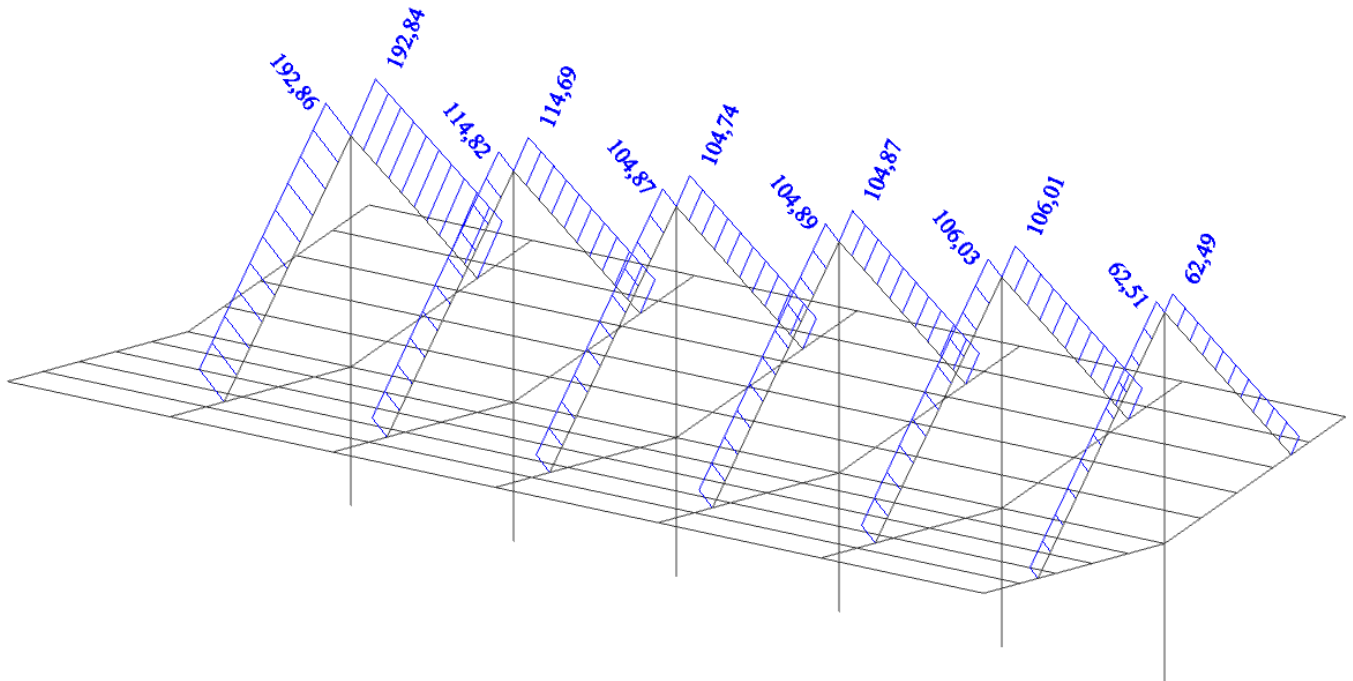
Kombinace 13: (viz str. 37)	Průřez I:	$N_{Ed} = -544,69$ kN
		$V_{z,Ed} = 0,22$ kN
		$M_{y,Ed} = -1,36$ kNm
Kombinace 16: (viz str. 38)	Průřez I:	$N_{Ed} = -116,89$ kN
		$V_{z,Ed} = 36,53$ kN
		$M_{y,Ed} = 273,77$ kNm
	Průřez II:	$N_{Ed} = -206,85$ kN
		$V_{z,Ed} = -0,34$ kN
		$M_{y,Ed} = -494,91$ kNm

Mezní stav použitelnosti:

Kombinace 4:  $\delta = 30,4 \text{ mm}$

(viz str. 39)

## 4.4 Lana



Obrázek 46: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly  $N$

Největší tahová normálová síla má velikost:  $N_{Ed} = 192,86 \text{ kN}$ . Tato hodnota vzniká při kombinaci 13 (str. 37).

Ostatní vnitřní síly se na lanech nevyskytují.



## 5 Posouzení

### 5.1 Vaznice – IPE 220

Vaznice je uložena jako prostý nosník a je namáhána normálovou silou  $N$ , posouvající silou  $V_z$  a ohybovým momentem  $M_y$ .

Návrhové hodnoty:

Kombinace 21:  $N_{Ed} = -7,95 \text{ kN}$

(viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 2,88 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -3,58 \text{ kNm}$$

Kombinace 13:  $N_{Ed} = -1,31 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 34,19 \text{ kN}$

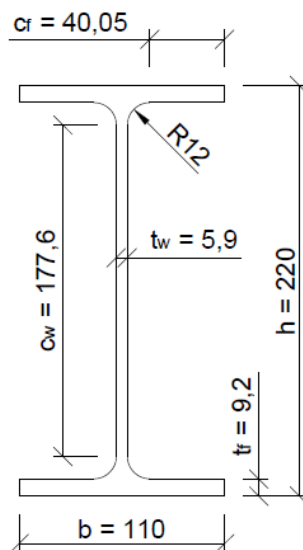
$$M_{y,Ed} = 47,47 \text{ kNm}$$

#### 5.1.1 Průřezové charakteristiky

Tabulka 7: Průřezové charakteristiky průřezu IPE 220 [16]

Průřezová charakteristika	Značení	Hodnota	Jednotka
Výška průřezu	$h$	220	mm
Šířka průřezu	$b$	110	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	5,9	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	9,2	mm
Plocha průřezu	$A$	3337	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_{v,z}$	1588	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti kolem osy $y$	$I_y$	27,72	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy $y$	$W_{el,y}$	252,0	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy $y$	$W_{pl,y}$	285,4	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy $y$	$i_y$	91,1	mm
Moment setrvačnosti kolem osy $z$	$I_z$	2,049	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy $z$	$W_{el,z}$	37,25	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy $z$	$W_{pl,z}$	58,11	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy $z$	$i_z$	24,8	mm

### 5.1.2 Klasifikace průřezu



Obrázek 47: Rozměry průřezu IPE 220

Vliv pevnosti oceli:  $\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$

Stojina (namáhání tlakem):

Podmínka pro první třídu:  $\frac{c_w}{t_w} \leq 33 \cdot \varepsilon$

$$\frac{177,6}{5,9} \leq 33 \cdot 0,81$$

$$30,102 < 26,73$$

Podmínka pro druhou třídu:  $\frac{c_w}{t_w} \leq 38 \cdot \varepsilon$

$$\frac{177,6}{5,9} \leq 38 \cdot 0,81$$

$$30,102 < 30,780$$

Pásnice (namáhání tlakem):

Podmínka pro první třídu:  $\frac{c_f}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$

$$\frac{40,05}{9,2} \leq 9 \cdot 0,81$$

$$4,35 \leq 7,29$$

PRŮŘEZ JE TŘÍDY 2

### 5.1.3 Posouzení MSÚ

#### 5.1.3.1 Tlak

a) Vybočení v rovině nosníku

$$\begin{aligned} \text{Vzpěrná délka:} \quad L_{\text{crit}} &= \beta \cdot L \\ \text{Prostě uložený nosník:} \quad \beta &= 1,0 \\ L_{\text{crit}} &= 1,0 \cdot 6,0 \\ L_{\text{crit}} &= 6,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Štíhlost:} \quad \lambda_y &= \frac{L_{\text{crit}}}{i_y} \\ \lambda_y &= \frac{6,0}{91,1 \cdot 10^{-3}} \\ \lambda_y &= 65,862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Srovnávací štíhlost:} \quad \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}} \\ \lambda_1 &= 76,409 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Poměrná štíhlost:} \quad \bar{\lambda} &= \frac{\lambda}{\lambda_1} \\ \bar{\lambda} &= \frac{65,862}{76,409} \\ \bar{\lambda} &= 0,862 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Křivka vzpěrné pevnosti:} \quad \frac{h}{b} &= \frac{220}{110} = 2,0 > 1,2 \\ t_f &= 9,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \\ &\rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti a} \end{aligned}$$

$$\text{Součinitel imperfekce:} \quad \alpha = 0,21$$

$$\begin{aligned} \text{Součinitel vzpěrnosti:} \quad \Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ \Phi &= 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,862 - 0,2) + 0,862^2] \\ \Phi &= 0,941 \end{aligned}$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,941 + \sqrt{0,941^2 - 0,862^2}}$$

$$\chi_y = 0,758$$

## b) Vybočení z roviny nosníku

Vybočení z roviny nosníku je vysoce nepravděpodobné, neboť vaznice jsou drženy trapézovým plechem, přesto však bude konzervativně posouzeno.

$$\begin{aligned} \text{Vzpěrná délka:} \quad & L_{\text{crit}} = \beta \cdot L \\ \text{Prostě uložený nosník:} \quad & \beta = 1,0 \\ & L_{\text{crit}} = 1,0 \cdot 6,0 \\ & L_{\text{crit}} = 6,0 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Štíhlost:} \quad \lambda_z &= \frac{L_{\text{crit}}}{i_z} \\ \lambda_z &= \frac{6,0}{24,8 \cdot 10^{-3}} \\ \lambda_z &= 241,935 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Srovnávací štíhlost:} \quad \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}} \\ \lambda_1 &= 76,409 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Poměrná štíhlost:} \quad \bar{\lambda} &= \frac{\lambda}{\lambda_1} \\ \bar{\lambda} &= \frac{241,935}{76,409} \\ \bar{\lambda} &= 3,166 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Křivka vzpěrné pevnosti:} \quad \frac{h}{b} &= \frac{220}{110} = 2,0 > 1,2 \\ t_f &= 9,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \\ &\rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti b} \end{aligned}$$

$$\text{Součinitel imperfekce:} \quad \alpha = 0,34$$

$$\begin{aligned} \text{Součinitel vzpěrnosti:} \quad \Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ \Phi &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (3,166 - 0,2) + 3,166^2] \\ \Phi &= 6,016 \end{aligned}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{6,016 + \sqrt{6,016^2 - 3,166^2}}$$

$$\chi_z = 0,090$$

$$\chi_z = 0,090 < \chi_y = 0,758$$

Rozhoduje vzpěr z roviny nosníku.

$$\text{Únosnost: } N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\text{Pro průřez třídy 1: } \beta_A = 1,0$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,09 \cdot 1,0 \cdot 3337 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 106,617 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$106,617 \text{ kN} > 7,95 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA VZPĚR (7,5%)

### 5.1.3.2 Smyk

$$\text{Únosnost: } V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{1588 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 325,475 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{z,Ed}$$

$$325,475 \text{ kN} > 34,19 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA SMYK (10,5%)

### 5.1.3.3 Ohyb

Součinitel klopení:

Souvislé držení trapézovým plechem a rovnoměrným zatížením:  $\chi_{LT} = 1,0$

(v případě sání není tlačena pásnice držena souvisle, avšak momenty způsobující tlak v dolních pásnicích jsou velmi malé – maximální  $M_{Ed} = -4,7 \text{ kNm}$ , budou proto zanedbány)

$$\text{Únosnost: } M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot \beta_w \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\text{Pro průřez třídy 1: } \beta_w = 1,0$$

$$M_{b,Rd} = \frac{1,0 \cdot 1,0 \cdot 285,4 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6}$$

$$M_{b,Rd} = 101,317 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{y,Ed}$$

$$101,317 \text{ kNm} > 47,47 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA OHYB (46,9%)

### 5.1.3.4 Interakce tlaku a ohybu

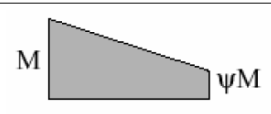
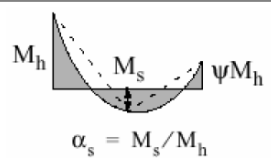
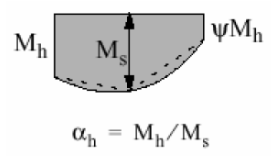
Vzhledem k posouzení smyku, kdy dochází k využití smykové únosnosti pouze na 10,5%, jde o tzv. malý smyk. V průřezech, kde dochází k interakcím tlaku, smyku a ohybu jsou posouvající síly ještě menší než v posudku výše, v jejich případě jde tedy také o malý smyk a jeho účinky budou zanedbány. Posuzovat se tak bude pouze interakce tlaku a ohybu.

$$\text{Kombinace 21: } N_{Ed} = -7,95 \text{ kN}$$

$$(\text{viz str. 38}) \quad V_{z,Ed} = 2,88 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -3,58 \text{ kNm}$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu:

Průběh momentu	Rozsah		$C_{my}$ a $C_{mz}$ a $C_{mLT}$	
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$

Obrázek 48: Součinitelé  $c_{my}$ ,  $c_{mz}$  a  $c_{mLT}$  [1]

$$M_h = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0$$

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

$$\text{Interakční součinitel: } k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left( 1 + (0,862 - 0,2) \cdot \frac{7,95 \cdot 10^3}{0,758 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{7,95 \cdot 10^3}{0,758 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,956 < 1,007$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 3,166}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{7,95 \cdot 10^3}{0,09 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{7,95 \cdot 10^3}{0,09 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,966 < 0,989$$

$$k_{zy} = 0,989$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{7,95 \cdot 10^3}{0,758 \cdot 3337 \cdot 355} + 0,956 \cdot \frac{3,58 \cdot 10^6}{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,043 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{7,95 \cdot 10^3}{0,09 \cdot 3337 \cdot 355} + 0,989 \cdot \frac{3,58 \cdot 10^6}{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,110 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (11,0%)

Kombinace 13:  $N_{Ed} = -1,31 \text{ kN}$

(viz str. 33)  $V_{z,Ed} = 34,19 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = 47,47 \text{ kNm}$$

Součinitel ekvivalentního konstantního momentu:

$$M_h = 0$$

$$\alpha_h = \frac{M_h}{M_s} = \frac{0}{M_s} = 0$$

$$c_{my} = c_{mLT} = 0,95 + 0,05 \cdot \alpha_h = 0,95 + 0,05 \cdot 0 = 0,95$$

Interakční součinitel:  $k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{Y_{M1}}} \right)$

$$k_{yy} = 0,95 \cdot \left( 1 + (0,862 - 0,2) \cdot \frac{1,31 \cdot 10^3}{0,758 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{1,31 \cdot 10^3}{0,758 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,951 < 1,001$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 3,166}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{1,31 \cdot 10^3}{0,09 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,95 - 0,25)} \cdot \frac{1,31 \cdot 10^3}{0,09 \cdot \frac{3337 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,994 < 0,998$$

$$k_{zy} = 0,998$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{1,31 \cdot 10^3}{0,758 \cdot 3337 \cdot 355} + 0,951 \cdot \frac{47,47 \cdot 10^6}{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,447 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{1,31 \cdot 10^3}{0,09 \cdot 3337 \cdot 355} + 0,998 \cdot \frac{47,47 \cdot 10^6}{285,4 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,480 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (48,0%)

### 5.1.4 Posouzení MSP

Návrhová hodnota:  $\delta = 21,00$  mm (z kombinace 1 pro MSP – str. 39)

Limitní průhyb pro vaznice:  $\delta_{lim} = \frac{L}{250}$

$$\delta_{lim} = \frac{6000}{250}$$

$$\delta_{lim} = 24 \text{ mm}$$

Posouzení:  $\delta_{lim} \geq \delta$

$$24 \text{ mm} > 21 \text{ mm}$$

VYHOVUJE NA PRŮHYB (87,5%)



## 5.2 Nosníky – IPE 550

Nosník je namáhán normálovou silou (tlakovou)  $N$ , posouvající silou  $V_z$  a ohybovým momentem  $M_y$ .

Návrhové hodnoty:

Kombinace 13:  $N_{Ed} = -151,03 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,22 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -213,63 \text{ kNm}$$

Kombinace 15:  $N_{Ed} = -150,38 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,97 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -219,01 \text{ kNm}$$

Kombinace 24:  $N_{Ed} = -12,31 \text{ kN}$

(viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 12,08 \text{ kN}$

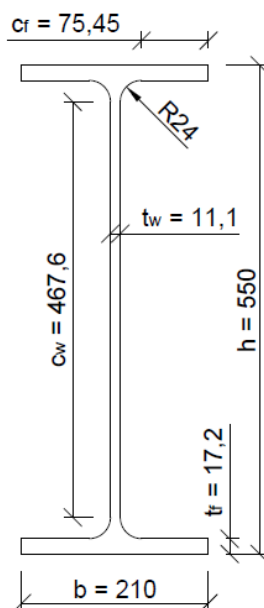
$$M_{y,Ed} = 99,37 \text{ kNm}$$

### 5.2.1 Průřezové charakteristiky

Tabulka 8: Průřezové charakteristiky průřezu IPE 550

Průřezová charakteristika	Značení	Hodnota	Jednotka
Výška průřezu	$h$	550	mm
Šířka průřezu	$b$	210	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	11,1	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	17,2	mm
Plocha průřezu	$A$	13440	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_{v,z}$	7234	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti kolem osy y	$I_y$	671,2	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy y	$W_{el,y}$	2441	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy y	$W_{pl,y}$	2787	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy y	$i_y$	223	mm
Moment setrvačnosti kolem osy z	$I_z$	26,68	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy z	$W_{el,z}$	254,1	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy z	$W_{pl,z}$	400,5	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy z	$i_z$	44,5	mm
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t$	1,232	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega$	1,884	10 <sup>12</sup> mm <sup>6</sup>

## 5.2.2 Klasifikace průřezu



Obrázek 49: Rozměry průřezu IPE 550

Vliv pevnosti oceli: 
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina (namáhání tlakem a ohybem):

Výpočet parametru  $\alpha$ : 
$$z = \frac{N_{Ed}}{\frac{t_w \cdot f_y}{\gamma_{Mo}}} = \frac{151,03 \cdot 10^3}{\frac{11,1 \cdot 355}{1,0}} = 38,328 \text{ mm}$$

$$\alpha \cdot c_w = \frac{c_w}{2} + \frac{z}{2} = \frac{467,6 + 38,328}{2} = 252,964 \text{ mm}$$

$$\alpha = \frac{\alpha \cdot c_w}{c_w} = \frac{252,964}{467,6} = 0,541$$

Podmínka pro první třídu: 
$$\frac{c_w}{t_w} \leq \frac{396 \cdot \varepsilon}{13 \cdot \alpha - 1}$$

$$\frac{467,6}{11,1} \leq \frac{396 \cdot 0,81}{13 \cdot 0,541 - 1}$$

$$42,126 < 53,168$$

Pásnice (namáhání tlakem):

Podmínka pro první třídu: 
$$\frac{c_f}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{75,45}{17,2} \leq 9 \cdot 0,81$$

$$4,387 < 7,29$$

PRŮŘEZ JE TŘÍDY 1

## 5.2.3 Posouzení MSÚ

### 5.2.3.1 Tlak

a) Vybočení v rovině nosníku

Vzpěrná délka:  $L_{\text{crit}} = 7,054 \text{ m}$  (vzdálenost na nosníku mezi sloupem a lanem)

Štíhlost:  $\lambda_y = \frac{L_{\text{crit}}}{i_y}$

$$\lambda_y = \frac{7,054}{223 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_y = 31,632$$

Srovnávací štíhlost:  $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}}$$

$$\lambda_1 = 76,409$$

Poměrná štíhlost:  $\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$

$$\bar{\lambda} = \frac{31,632}{76,409}$$

$$\bar{\lambda} = 0,414$$

Křivka vzpěrné pevnosti:  $\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,619 > 1,2$

$$t_f = 17,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm}$$

→ křivka vzpěrné pevnosti a

Součinitel imperfekce:  $\alpha = 0,21$

Součinitel vzpěrnosti:  $\Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (0,414 - 0,2) + 0,414^2]$$

$$\Phi = 0,608$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{0,608 + \sqrt{0,608^2 - 0,414^2}}$$

$$\chi_y = 0,949$$

b) Vybočení z roviny nosníku

Vzpěrná délka:  $L_{\text{crit}} = 2 \text{ m}$  (vzdálenost mezi vaznicemi, které drží nosník proti vybočení z roviny)

$$\begin{aligned}\text{Štíhlost: } \lambda_z &= \frac{L_{\text{crit}}}{i_z} \\ \lambda_z &= \frac{2,0}{44,5 \cdot 10^{-3}} \\ \lambda_z &= 44,944\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Srovnávací štíhlost: } \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ \lambda_1 &= \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}} \\ \lambda_1 &= 76,409\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} &= \frac{\lambda}{\lambda_1} \\ \bar{\lambda} &= \frac{44,944}{76,409} \\ \bar{\lambda} &= 0,588\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Křivka vzpěrné pevnosti: } \frac{h}{b} &= \frac{550}{210} = 2,619 > 1,2 \\ t_f &= 17,2 \text{ mm} < 40 \text{ mm} \\ &\rightarrow \text{křivka vzpěrné pevnosti b}\end{aligned}$$

$$\text{Součinitel imperfekce: } \alpha = 0,34$$

$$\begin{aligned}\text{Součinitel vzpěrnosti: } \Phi &= 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \\ \Phi &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,588 - 0,2) + 0,588^2] \\ \Phi &= 0,739\end{aligned}$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,739 + \sqrt{0,739^2 - 0,588^2}}$$

$$\chi_z = 0,843$$

$$\chi_y = 0,949 > \chi_z = 0,843$$

Rozhoduje vzpěr z roviny nosníku.

$$\text{Únosnost: } N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,887 \cdot 13440 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 4232,054 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$4232,054 \text{ kN} > 151,03 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA VZPĚR (3,6%)

### 5.2.3.2 Smyk

$$\begin{aligned} \text{Únosnost: } V_{pl,Rd} &= \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \\ V_{pl,Rd} &= \frac{7234 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} \\ V_{pl,Rd} &= 1482,676 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{z,Ed}$$

$$1482,676 \text{ kN} > 77,97 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA SMYK (5,3%)

### 5.2.3.3 Ohyb

a) Tlačená horní vlákna

Vzpěrná délka tlačeného pásu pro vybočení z roviny ohybu:  $L_{z,crit} = 2,0 \text{ m}$

Vzpěrná délka nosníku při zkroucení:  $L_{\omega} = 2,0 \text{ m}$

Vzdálenost působení zatížení od středu smyku:  $e_z = 0$

Součinitele vystihující tvar momentového obrazce:  $C_1 = 1,365$

$$C_2 = 0,533$$

$$\text{Kritický moment: } M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{z,crit}^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{L_{z,crit}}{L_{\omega}} \right)^2 \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{L_{z,crit}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot e_z)^2} + C_2 \cdot e_z \right]$$

$$M_{cr} = 1,365 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26,68 \cdot 10^6}{2000^2} \cdot 10^{-6}$$

$$\cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{2000}{2000} \right)^2 \cdot \frac{1,884 \cdot 10^{12}}{26,68 \cdot 10^6} + \frac{2000^2 \cdot 80700 \cdot 1,232 \cdot 10^6}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26,68 \cdot 10^6} + (0,533 \cdot 0)^2} + 0,533 \cdot 0 \right]$$

$$M_{cr} = 18870,244 \cdot 10^3 \cdot \left( \sqrt{70,615 \cdot 10^3 + 7,192 \cdot 10^3} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 5263,648 \text{ kNm}$$

$$\text{Poměrná štíhlost při klopení: } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{400,5 \cdot 10^3 \cdot 355}{5263,648 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,164$$

Křivka vzpěrné pevnosti při klopení:  $\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,619 > 2,0$

Pro válcované průřezy: křivka b

Součinitel imperfekce:  $\alpha_{LT} = 0,34$

Součinitel klopení:  $\Phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$   
 $\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,164 - 0,2) + 0,164^2]$   
 $\Phi = 0,507$

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,507 + \sqrt{0,507^2 - 0,164^2}}$$

$$\chi_{LT} = 1,013 > 1,0$$

$$\chi_{LT} = 1,0$$

Únosnost:  $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$   
 $M_{b,Rd} = \frac{1,0 \cdot 2787 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6}$   
 $M_{b,Rd} = 989,385 \text{ kNm}$

$$M_{b,Rd} \geq M_{y,Ed}$$

$$939,385 \text{ kNm} > 219,01 \text{ kNm}$$

vyhovuje na ohyb (23,3%)

b) Tlačená spodní vlákna (při sání)

Vzpěrná délka tlačeného pásu pro vybočení z roviny ohybu:  $L_{z,crit} = 10,078 \text{ m}$

Vzpěrná délka nosníku při zkroucení:  $L_{\omega} = 10,078 \text{ m}$

Vzdálenost působení zatížení od středu smyku:  $e_z = 0$

Součinitele vystihující tvar momentového obrazce:  $C_1 = 1,365$

$$C_2 = 0,533$$

Kritický moment:  $M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{z,crit}^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{L_{z,crit}}{L_{\omega}} \right)^2 \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{L_{z,crit}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot e_z)^2 + C_2 \cdot e_z \right]$

$$M_{cr} = 1,365 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26,68 \cdot 10^6}{10078^2} \cdot 10^{-6}$$

$$\cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{10078}{10078}\right)^2 \cdot \frac{1,884 \cdot 10^{12}}{26,68 \cdot 10^6} + \frac{10078^2 \cdot 80700 \cdot 1,232 \cdot 10^6}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 26,68 \cdot 10^6} + (0,533 \cdot 0)^2 + 0,533 \cdot 0} \right]$$

$$M_{cr} = 743,171 \cdot 10^3 \cdot \left(\sqrt{70,615 \cdot 10^3 + 182,611 \cdot 10^3}\right) \cdot 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 373,975 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení:  $\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}}$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{400,5 \cdot 10^3 \cdot 355}{373,975 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,617$$

Křivka vzpěrné pevnosti při klopení:  $\frac{h}{b} = \frac{550}{210} = 2,619 > 2,0$

Pro válcované průřezy: křivka b

Součinitel imperfekce:  $\alpha_{LT} = 0,34$

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

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,617 - 0,2) + 0,617^2]$$

$$\Phi = 0,761$$

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,761 + \sqrt{0,761^2 - 0,617^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,829$$

Únosnost:  $M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$

$$M_{b,Rd} = \frac{0,829 \cdot 2787 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6}$$

$$M_{b,Rd} = 820,200 \text{ kNm}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{y,Ed}$$

$$820,200 \text{ kNm} > 99,37 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA OHYB (12,1%)


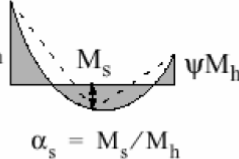
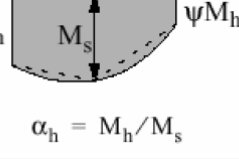
### 5.2.3.4 Interakce tlaku a ohybu

Vzhledem k posouzení smyku, kdy dochází k využití smykové únosnosti pouze na 5,3%, jde o tzv. malý smyk. V průřezích, kde dochází k interakcím tlaku a ohybu jsou posouvající síly ještě menší než v posudku výše, v jejich případě jde tedy také o malý smyk a jeho účinky budou zanedbány. Posuzovat se tak bude pouze interakce tlaku a ohybu.

a) Kombinace 13:  $N_{Ed} = -151,03 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,22 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -213,63 \text{ kNm}$$

Průběh momentu	Rozsah		$C_{my}$ a $C_{mz}$ a $C_{mLT}$	
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$

Obrázek 50: Součinitelé  $c_{my}$ ,  $c_{mz}$  a  $c_{mLT}$  [1]

Ze Scia Engineer:  $M_h = -213,63 \text{ kNm}$

$$M_s = -7,15 \text{ kNm}$$

$$\Psi \cdot M_h = -127,29 \text{ kNm}$$

Průběh momentu nejvíce podobný 2. typu na obr. 50. Působí zde soustředěné zatížení.

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-7,15}{-213,63} = 0,033$$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-127,29}{-213,63} = 0,596$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot (0,033) \geq 0,4$$

$$c_{my} = 0,226 < 0,4$$



Vzhledem k podmínce  $c_{my} \geq 0,4$  bude v dalším výpočtu uvažována hodnota součinitele ekvivalentního konstantního momentu:  $c_{my} = 0,4$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 50.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -213,63 \text{ kNm}$

$\Psi \cdot M_h = -59,99 \text{ kNm}$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-59,99}{-213,63} = 0,281$$

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

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,281 \geq 0,4$$

$$c_{mLT} = 0,712 > 0,4$$

Interakční součinitel:  $k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left( 1 + (0,414 - 0,2) \cdot \frac{151,03 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{151,03 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,403 < 1,027$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,588}{(0,712 - 0,25)} \cdot \frac{151,03 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,712 - 0,25)} \cdot \frac{151,03 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,995 > 0,992$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{151,03 \cdot 10^3}{0,949 \cdot 13440 \cdot 355} + 0,403 \cdot \frac{213,63 \cdot 10^6}{2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,120 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{151,03 \cdot 10^3}{0,843 \cdot 13440 \cdot 355} + 0,995 \cdot \frac{213,63 \cdot 10^6}{2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,252 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (25,2%)

Kombinace 15:  $N_{Ed} = -150,38 \text{ kN}$   
 (viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 77,97 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = -219,01 \text{ kNm}$

Ze Scia Engineer:  $M_h = -219,01 \text{ kNm}$   
 $M_s = -9,47 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = -127,30 \text{ kNm}$

Průběh momentu nejvíce podobný 2. typu na obr. 50. Působí zde soustředěné zatížení.

$$\alpha_s = \frac{M_s}{M_h} = \frac{-9,47}{-219,01} = 0,043$$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-127,30}{-219,01} = 0,581$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot \alpha_s \geq 0,4$$

$$c_{my} = 0,2 + 0,8 \cdot (0,043) \geq 0,4$$

$$c_{my} = 0,234 < 0,4$$

Vzhledem k podmínce  $c_{my} \geq 0,4$  bude v dalším výpočtu uvažována hodnota součinitele ekvivalentního konstantního momentu:  $c_{my} = 0,4$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 50.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -219,01 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = -63,85 \text{ kNm}$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-63,85}{-219,01} = 0,292$$

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

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,292 \geq 0,4$$

$$c_{mLT} = 0,717 > 0,4$$

$$\text{Interakční součinitel: } k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,4 \cdot \left( 1 + (0,414 - 0,2) \cdot \frac{150,38 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{150,38 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,403 < 1,027$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,588}{(0,717 - 0,25)} \cdot \frac{150,38 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,717 - 0,25)} \cdot \frac{150,38 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,995 > 0,992$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{ply} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{150,38 \cdot 10^3}{0,949 \cdot 13440 \cdot 355} + 0,403 \cdot \frac{219,01 \cdot 10^6}{2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,122 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{W_{ply} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{150,38 \cdot 10^3}{0,843 \cdot 13440 \cdot 355} + 0,995 \cdot \frac{219,01 \cdot 10^6}{2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,258 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (25,8%)

c) Kombinace 24:  $N_{Ed} = -12,31 \text{ kN}$   
 (viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 12,08 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = 99,37 \text{ kNm}$

Ze Scia Engineer:  $M_h = 99,37 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 50.

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{99,37} = 0$$

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

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

$$c_{my} = 0,6 > 0,4$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 50.

Ze Scia Engineer:  $M_h = 99,37 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = 73,24 \text{ kNm}$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{73,24}{99,37} = 0,737$$

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

$$c_{mLT} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,737 \geq 0,4$$

$$c_{mLT} = 0,895 > 0,4$$

Interakční součinitel:  $k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left( 1 + (0,414 - 0,2) \cdot \frac{12,31 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{12,31 \cdot 10^3}{0,949 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,600 < 1,002$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,588}{(0,895 - 0,25)} \cdot \frac{12,31 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,895 - 0,25)} \cdot \frac{12,31 \cdot 10^3}{0,843 \cdot \frac{13440 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 1,0 = 1,0$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{12,31 \cdot 10^3}{0,949 \cdot 13440 \cdot 355} + 0,600 \cdot \frac{99,37 \cdot 10^6}{0,829 \cdot 2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,075 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{12,31 \cdot 10^3}{0,843 \cdot 13440 \cdot 355} + 1,0 \cdot \frac{99,37 \cdot 10^6}{0,829 \cdot 2787 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,124 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (12,4%)

### 5.2.4 Posouzení MSP

Návrhová hodnota:  $\delta = 38,9 \text{ mm}$  (z kombinace 4 pro MSP – str. 39)Limitní hodnota:  $\delta_{lim} = \frac{L}{250}$ 

$$\delta_{lim} = \frac{10078}{250}$$

$$\delta_{lim} = 40,312 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$\delta_{lim} \geq \delta$$

$$40,312 \text{ mm} > 38,9 \text{ mm}$$

VYHOVUJE NA PRŮHYB (96,5%)

### 5.3 Sloupy – HEM 650

Sloupy jsou namáhány normálovou silou  $N$ , v horní části posouvající silou  $V_z$  a ohybovým momentem  $M_y$ .

Návrhové hodnoty:

Kombinace 13: Dolní část sloupu:  $N_{Ed} = -544,69 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 0,22 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = -1,36 \text{ kNm}$

Horní část sloupu:  $N_{Ed} = -290,47 \text{ kN}$

$V_{z,Ed} = 0,13 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = -0,41 \text{ kNm}$

Kombinace 16: Dolní část sloupu:  $N_{Ed} = -206,85 \text{ kN}$

(viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 0,34 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = -494,91 \text{ kNm}$

Horní část sloupu:  $N_{Ed} = -116,89 \text{ kN}$

$V_{z,Ed} = 36,53 \text{ kN}$

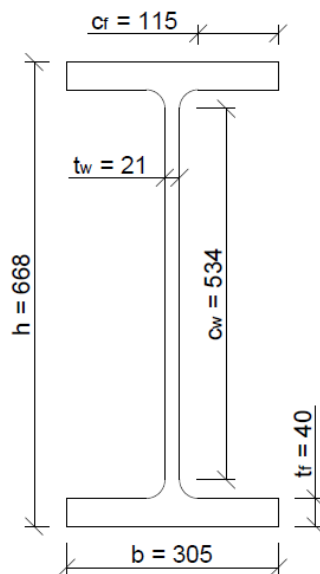
$M_{y,Ed} = -273,77 \text{ kNm}$

Průřezové charakteristiky

Tabulka 9: Průřezové charakteristiky průřezu HEM 650

Průřezová charakteristika	Značení	Hodnota	Jednotka
Výška průřezu	$h$	668	mm
Šířka průřezu	$b$	305	mm
Tloušťka stojiny	$t_w$	21	mm
Tloušťka pásnice	$t_f$	40	mm
Plocha průřezu	$A$	37370	mm <sup>2</sup>
Smyková plocha	$A_{v,z}$	15970	mm <sup>2</sup>
Moment setrvačnosti kolem osy y	$I_y$	2817	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy y	$W_{el,y}$	8433	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy y	$W_{pl,y}$	9657	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy y	$i_y$	275	mm
Moment setrvačnosti kolem osy z	$I_z$	189,8	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Elastický průřezový modul kolem osy z	$W_{el,z}$	1245	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Plastický průřezový modul kolem osy z	$W_{pl,z}$	1936	10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>
Poloměr setrvačnosti kolem osy z	$i_z$	71,3	mm
Moment tuhosti v prostém kroucení	$I_t$	15,79	10 <sup>6</sup> mm <sup>4</sup>
Výsečový moment setrvačnosti	$I_\omega$	18,65	10 <sup>12</sup> mm <sup>6</sup>

### 5.3.1 Klasifikace průřezu



Obrázek 51: Rozměry průřezu HEM 650

Vliv pevnosti oceli: 
$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} = \sqrt{\frac{235}{355}} = 0,81$$

Stojina (namáhání tlakem):

Podmínka pro první třídu: 
$$\frac{c_w}{t_w} \leq 33 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{534}{21} \leq 33 \cdot 0,81$$

$$25,429 < 26,73$$

Pásnice (namáhání tlakem):

Podmínka pro první třídu: 
$$\frac{c_f}{t_f} \leq 9 \cdot \varepsilon$$

$$\frac{115}{40} \leq 9 \cdot 0,81$$

$$2,875 < 7,29$$

PRŮŘEZ JE TŘÍDY 1

## 5.3.2 Posouzení MSÚ

### 5.3.2.1 Tlak

a) Vybočení v rovině nosníku

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{\text{crit}} = \beta \cdot L$$

$$\text{Konzola: } \beta = 2,0$$

$$L_{\text{crit}} = 2,0 \cdot 12$$

$$L_{\text{crit}} = 24,0 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda_y = \frac{L_{\text{crit}}}{i_y}$$

$$\lambda_y = \frac{24,0}{275 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_y = 87,273$$

$$\text{Srovnávací štíhlost: } \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}}$$

$$\lambda_1 = 76,409$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{87,273}{76,409}$$

$$\bar{\lambda} = 1,142$$

$$\text{Křivka vzpěrné pevnosti: } \frac{h}{b} = \frac{668}{305} = 2,19 > 1,2$$

$$t_f = 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

→ křivka vzpěrné pevnosti a

$$\text{Součinitel imperfekce: } \alpha = 0,21$$

$$\text{Součinitel vzpěrnosti: } \Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,21 \cdot (1,142 - 0,2) + 1,142^2]$$

$$\Phi = 1,251$$

$$\chi_y = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_y = \frac{1}{1,251 + \sqrt{1,251^2 - 1,142^2}}$$

$$\chi_y = 0,568$$



## b) Vybočení z roviny nosníku

## 1) Horní část sloupu:

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{\text{crit}} = \beta \cdot L$$

$$\text{Konzola: } \beta = 2$$

$$L_{\text{crit}} = 2,0 \cdot 7,5$$

$$L_{\text{crit}} = 15\text{m}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda_z = \frac{L_{\text{crit}}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{15}{71,3 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_z = 210,379$$

$$\text{Srovnávací štíhlost: } \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}}$$

$$\lambda_1 = 76,409$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{210,379}{76,409}$$

$$\bar{\lambda} = 2,753$$

$$\text{Křivka vzpěrné pevnosti: } \frac{h}{b} = \frac{668}{305} = 2,190 > 1,2$$

$$t_f = 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

→ křivka vzpěrné pevnosti b

$$\text{Součinitel imperfekce: } \alpha = 0,34$$

$$\text{Součinitel vzpěrnosti: } \Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (2,753 - 0,2) + 2,753^2]$$

$$\Phi = 4,724$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{4,724 + \sqrt{4,724^2 - 2,753^2}}$$

$$\chi_z = 0,117$$

$$\chi_z = 0,117 < \chi_y = 0,568$$

Rozhoduje vzpěr z roviny nosníku.

$$\begin{aligned} \text{Únosnost: } N_{b,Rd} &= \frac{\chi_z \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \\ N_{b,Rd} &= \frac{0,117 \cdot 37370 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} \\ N_{b,Rd} &= 1552,163 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$1552,163 \text{ kN} > 116,89 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA VZPĚR (7,5%)

2) Dolní část sloupu:

$$\text{Vzpěrná délka: } L_{crit} = \beta \cdot L$$

Vetknutý prut s kloubovým uložením na druhém konci:  $\beta = 0,7$

$$L_{crit} = 0,7 \cdot 4,5$$

$$L_{crit} = 3,15 \text{ m}$$

$$\text{Štíhlost: } \lambda_z = \frac{L_{crit}}{i_z}$$

$$\lambda_z = \frac{3,15}{71,3 \cdot 10^{-3}}$$

$$\lambda_z = 44,180$$

$$\text{Srovnávací štíhlost: } \lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{\frac{210000}{355}}$$

$$\lambda_1 = 76,409$$

$$\text{Poměrná štíhlost: } \bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{44,180}{76,409}$$

$$\bar{\lambda} = 0,578$$

$$\text{Křivka vzpěrné pevnosti: } \frac{h}{b} = \frac{668}{305} = 2,190 > 1,2$$

$$t_f = 40 \text{ mm} = 40 \text{ mm}$$

→ křivka vzpěrné pevnosti b

$$\text{Součinitel imperfekce: } \alpha = 0,34$$

$$\text{Součinitel vzpěrnosti: } \Phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,578 - 0,2) + 0,578^2]$$

$$\Phi = 0,731$$

$$\chi_z = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}}$$

$$\chi_z = \frac{1}{0,731 + \sqrt{0,731^2 - 0,578^2}}$$

$$\chi_z = 0,849$$

$$\chi_y = 0,568 < \chi_z = 0,849$$

Rozhoduje vzpěr v rovině nosníku.

Únosnost: 
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi_y \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$N_{b,Rd} = \frac{0,568 \cdot 37370 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 7535,287 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

$$7535,287 \text{ kN} > 544,69 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA VZPĚR (7,2%)

### 5.3.2.2 Smyk

Únosnost: 
$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{15970 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 3273,2 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{z,Ed}$$

$$3273,2 \text{ kN} > 36,53 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA SMYK (1,1%)

### 5.3.2.3 Ohyb

Klopení:

I) Horní část sloupu:

Vzpěrná délka tlačенého pásu pro vybočení z roviny ohybu:  $L_{z,crit} = \beta \cdot L$

Konzola:  $\beta = 2,0$

$$L_{z,crit} = 2,0 \cdot 7,5$$

$$L_{z,crit} = 15 \text{ m}$$

Vzpěrná délka nosníku při zkroucení:  $L_{\omega} = 15 \text{ m}$

Vzdálenost působení zatížení od středu smyku:  $e_z = 0$

Součinitel vystihující tvar momentového obrazce:  $C_1 = 1,365$

$C_2 = 0,533$

Kritický moment:  $M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{z,crit}^2} \cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{L_{z,crit}}{L_{\omega}}\right)^2 \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{L_{z,crit}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z} + (C_2 \cdot e_z)^2} + C_2 \cdot e_z \right]$

$$M_{cr} = 1,365 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 189,8 \cdot 10^6}{15000^2} \cdot 10^{-6}$$

$$\cdot \left[ \sqrt{\left(\frac{15000}{15000}\right)^2 \cdot \frac{18,65 \cdot 10^{12}}{189,8 \cdot 10^6} + \frac{15000^2 \cdot 80700 \cdot 15,79 \cdot 10^6}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 189,8 \cdot 10^6} + (0,533 \cdot 0)^2} + 0,533 \cdot 0 \right]$$

$$M_{cr} = 2386,522 \cdot 10^3 \cdot \left(\sqrt{98,261 \cdot 10^3 + 728,824 \cdot 10^3}\right) \cdot 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 2170,404 \text{ kNm}$$

Poměrná štíhlost při klopení:  $\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}}$

$$\overline{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1936 \cdot 10^3 \cdot 355}{2170,404 \cdot 10^6}}$$

$$\overline{\lambda}_{LT} = 0,563$$

Křivka vzpěrné pevnosti při klopení:  $\frac{h}{b} = \frac{668}{305} = 2,190 > 2,0$

Pro válcované průřezy: křivka b

Součinitel imperfekce:  $\alpha_{LT} = 0,34$

Součinitel klopení:  $\Phi = 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\overline{\lambda}_{LT} - 0,2) + \overline{\lambda}_{LT}^2 \right]$

$$\Phi = 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,563 - 0,2) + 0,563^2]$$

$$\Phi = 0,720$$

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,720 + \sqrt{0,720^2 - 0,563^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,856$$

$$\begin{aligned} \text{Únosnost: } M_{b,Rd} &= \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \\ M_{b,Rd} &= \frac{0,856 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} \\ M_{b,Rd} &= 2934,569 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{y,Ed}$$

$$2934,569 \text{ kNm} > 273,77 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA OHYB (9,3%)

II) Dolní část sloupu:

$$\text{Vzperná délka tlačeneho pásu pro vybočení z roviny ohybu: } L_{z,crit} = \beta \cdot L$$

$$\text{Vetknutý prut s kloubovým uložením na druhém konci: } \beta = 0,7$$

$$L_{z,crit} = 0,7 \cdot 4,5$$

$$L_{z,crit} = 3,15 \text{ m}$$

$$\text{Vzperná délka nosníku při zkroucení: } L_{\omega} = 3,15 \text{ m (viz výpočet tlaku)}$$

$$\text{Vzdálenost působení zatížení od středu smyku: } e_z = 0$$

$$\text{Součinitele vystihující tvar momentového obrazce: } C_1 = 1,0$$

$$C_2 = 0,410$$

$$\text{Kritický moment: } M_{cr} = C_1 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{z,crit}^2} \cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{L_{z,crit}}{L_{\omega}} \right)^2 \cdot \frac{I_{\omega}}{I_z} + \frac{L_{z,crit}^2 \cdot G \cdot I_t}{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}} + (C_2 \cdot e_z)^2 + C_2 \cdot e_z \right]$$

$$M_{cr} = 1,0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 189,8 \cdot 10^6}{3150^2} \cdot 10^{-6}$$

$$\cdot \left[ \sqrt{\left( \frac{3150}{3150} \right)^2 \cdot \frac{18,65 \cdot 10^{12}}{189,8 \cdot 10^6} + \frac{3150^2 \cdot 80700 \cdot 15,79 \cdot 10^6}{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 189,8 \cdot 10^6}} + (0,410 \cdot 0)^2 + 0,410 \cdot 0 \right]$$

$$M_{cr} = 39645,522 \cdot 10^3 \cdot \left( \sqrt{98,261 \cdot 10^3 + 32,141 \cdot 10^3} \right) \cdot 10^{-6}$$

$$M_{cr} = 14316,481 \text{ kNm}$$

$$\text{Poměrná štíhlost při klopení: } \bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{1936 \cdot 10^3 \cdot 355}{14316,481 \cdot 10^6}}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,219$$

$$\text{Křivka vzpěrné pevnosti při klopení: } \frac{h}{b} = \frac{668}{305} = 2,19 > 2,0$$

Pro válcované průřezy: křivka b

$$\text{Součinitel imperfekce: } \alpha_{LT} = 0,34$$

$$\begin{aligned} \text{Součinitel klopení: } \Phi &= 0,5 \cdot \left[ 1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] \\ \Phi &= 0,5 \cdot [1 + 0,34 \cdot (0,219 - 0,2) + 0,219^2] \end{aligned}$$

$$\Phi = 0,527$$

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

$$\chi_{LT} = \frac{1}{0,527 + \sqrt{0,527^2 - 0,219^2}}$$

$$\chi_{LT} = 0,994$$

$$\begin{aligned} \text{Únosnost: } M_{b,Rd} &= \frac{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \\ M_{b,Rd} &= \frac{0,994 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-6} \\ M_{b,Rd} &= 3407,666 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{b,Rd} \geq M_{y,Ed}$$

$$3407,666 \text{ kNm} > 494,91 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA OHYB (14,5%)

#### 5.3.2.4 Interakce tlaku a ohybu


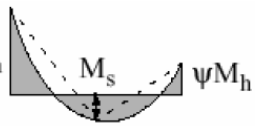
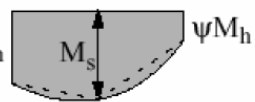
Vzhledem k posouzení smyku, kdy dochází k využití smykové únosnosti pouze na 1,1%, jde o tzv. malý smyk. V průřezech, kde dochází k interakcím tlaku a ohybu jsou posouvající síly ještě menší než v posudku výše, v jejich případě jde tedy také o malý smyk a jeho účinky budou zanedbány. Posuzovat se tak bude pouze interakce tlaku a ohybu.

I) Horní část sloupu:

$$\text{a) Kombinace 13: } N_{Ed} = -290,47 \text{ kN}$$

$$\text{(viz str. 37) } V_{z,Ed} = 0,13 \text{ kN}$$

$$M_{y,Ed} = -0,41 \text{ kNm}$$

Průběh momentu	Rozsah		$C_{my}$ a $C_{mz}$ a $C_{mLT}$													
			rovnoměrné zatížení	soustředěné zatížení												
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$													
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$												
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$												
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$												
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$												
Součinitel ekvivalentního konstantního momentu při vybočení s posuvem styčniců se má uvažovat $C_{my} = 0,9$ nebo $C_{mz} = 0,9$ .																
$C_{my}$ , $C_{mz}$ a $C_{mLT}$ se mají stanovit v závislosti na průběhu momentu mezi příslušnými body podepření následovně: <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Součinitel:</th> <th style="text-align: left;">osa ohybu:</th> <th style="text-align: left;">body podepřené ve směru:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>C_{my}</math></td> <td>y-y</td> <td>z-z</td> </tr> <tr> <td><math>C_{mz}</math></td> <td>z-z</td> <td>y-y</td> </tr> <tr> <td><math>C_{mLT}</math></td> <td>y-y</td> <td>y-y</td> </tr> </tbody> </table>					Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:	$C_{my}$	y-y	z-z	$C_{mz}$	z-z	y-y	$C_{mLT}$	y-y	y-y
Součinitel:	osa ohybu:	body podepřené ve směru:														
$C_{my}$	y-y	z-z														
$C_{mz}$	z-z	y-y														
$C_{mLT}$	y-y	y-y														

 Obrázek 52: Součinitelé  $c_{my}$ ,  $c_{mz}$  a  $c_{mLT}$  [1]

Ze Scia Engineer:  $M_h = -0,41$  kNm

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-0,41} = 0$$

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

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

$$c_{my} = 0,6 > 0,4$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -1,36$  kNm

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-1,36} = 0$$

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

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

$$c_{mLT} = 0,6 > 0,4$$

Interakční součinitelé: 
$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left( 1 + (1,142 - 0,2) \cdot \frac{290,47 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{290,47 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,622 < 1,031$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 2,753}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{290,47 \cdot 10^3}{0,117 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{290,47 \cdot 10^3}{0,117 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,853 < 0,947$$

$$k_{zy} = 0,947$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{290,47 \cdot 10^3}{0,568 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,622 \cdot \frac{0,41 \cdot 10^6}{0,856 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,039 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{290,47 \cdot 10^3}{0,117 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,947 \cdot \frac{0,41 \cdot 10^6}{0,856 \cdot 37370 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,187 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (18,7%)



b) Kombinace 16:  $N_{Ed} = -116,89 \text{ kN}$   
 (str. 38)  $V_{z,Ed} = 36,53 \text{ kN}$   
 $M_{y,Ed} = -273,77 \text{ kNm}$

Ze Scia Engineer:  $M_h = -273,77 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-0,41} = 0$$

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

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

$$c_{my} = 0,6 > 0,4$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -494,91 \text{ kNm}$   
 $\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-494,91} = 0$$

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

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

$$c_{mLT} = 0,6 > 0,4$$

Interakční součinitelé:  $k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$

$$k_{yy} = 0,6 \cdot \left( 1 + (1,142 - 0,2) \cdot \frac{116,89 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{116,89 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,609 < 1,012$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 2,753}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{116,89 \cdot 10^3}{0,117 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{116,89 \cdot 10^3}{0,117 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,941 < 0,978$$

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

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{116,89 \cdot 10^3}{0,568 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,609 \cdot \frac{273,77 \cdot 10^6}{0,856 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,072 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{116,89 \cdot 10^3}{0,117 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,978 \cdot \frac{273,77 \cdot 10^6}{0,856 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,167 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (16,7%)

II) Dolní část sloupu:

a) Kombinace 13:  $N_{Ed} = -544,69 \text{ kN}$

(viz str. 37)  $V_{z,Ed} = 0,22 \text{ kN}$

$M_{y,Ed} = -1,36 \text{ kNm}$

Ze Scia Engineer:  $M_h = -1,36 \text{ kNm}$

$\Psi \cdot M_h = -0,53 \text{ kNm}$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-0,53}{-1,36} = 0,39$$

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

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 0,39 \geq 0,4$$

$$c_{my} = 0,756 > 0,4$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -1,36 \text{ kNm}$

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-1,36} = 0$$

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

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

$$c_{mLT} = 0,6 > 0,4$$

Interakční součinitelé: 
$$k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,756 \cdot \left( 1 + (1,142 - 0,2) \cdot \frac{544,69 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{544,69 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 0,807 < 1,058$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,578}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{544,69 \cdot 10^3}{0,849 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{544,69 \cdot 10^3}{0,849 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,992 > 0,986$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{ply} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{544,69 \cdot 10^3}{0,568 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,807 \cdot \frac{1,36 \cdot 10^6}{0,994 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,073 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{1,0 \cdot W_{ply} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{544,69 \cdot 10^3}{0,849 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,992 \cdot \frac{1,36 \cdot 10^6}{0,994 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,049 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (7,3%)

b) Kombinace 16:  $N_{Ed} = -206,85 \text{ kN}$

(viz str. 38)  $V_{z,Ed} = 0,34 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -494,91 \text{ kNm}$$

Ze Scia Engineer:  $M_h = -494,91 \text{ kNm}$

$$\Psi \cdot M_h = -494,58 \text{ kNm}$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{-494,58}{-494,91} = 1,0$$

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

$$c_{my} = 0,6 + 0,4 \cdot 1,0 \geq 0,4$$

$$c_{my} = 1,0 > 0,4$$

Průběh momentu nejvíce podobný 1. typu na obr. 52.

Ze Scia Engineer:  $M_h = -494,91 \text{ kNm}$

$$\Psi \cdot M_h = 0 \text{ kNm}$$

$$\Psi = \frac{\Psi \cdot M_h}{M_h} = \frac{0}{-494,91} = 0$$

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

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

$$c_{mLT} = 0,6 > 0,4$$

Interakční součinitel:  $k_{yy} = c_{my} \cdot \left( 1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \right)$

$$k_{yy} = 1,0 \cdot \left( 1 + (1,142 - 0,2) \cdot \frac{206,85 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right) \leq \left( 1 + 0,8 \cdot \frac{206,85 \cdot 10^3}{0,568 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \right)$$

$$k_{yy} = 1,026 > 1,022$$

$$k_{yy} = 1,022$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot \bar{\lambda}_z}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} \geq 1 - \frac{0,1}{(c_{mLT} - 0,25)} \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$$

$$k_{zy} = 1 - \frac{0,1 \cdot 0,578}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{206,85 \cdot 10^3}{0,849 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}} \geq 1 - \frac{0,1}{(0,6 - 0,25)} \cdot \frac{206,85 \cdot 10^3}{0,849 \cdot \frac{37370 \cdot 355}{1,0}}$$

$$k_{zy} = 0,997 > 0,995$$

Únosnost:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A_{eff} \cdot f_y} + k_{yy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{206,85 \cdot 10^3}{0,568 \cdot 37370 \cdot 355} + 1,022 \cdot \frac{494,91 \cdot 10^6}{0,994 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,176 < 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y} + k_{zy} \cdot \frac{M_{Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{y,eff} \cdot f_y} \leq 1,0$$

$$\frac{206,85 \cdot 10^3}{0,849 \cdot 37370 \cdot 355} + 0,997 \cdot \frac{494,91 \cdot 10^6}{0,994 \cdot 9657 \cdot 10^3 \cdot 355} \leq 1,0$$

$$0,163 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI TLAKU A OHYBU (17,6%)

### 5.3.3 Posouzení MSP

Návrhová hodnota:  $\delta = 30,4 \text{ mm}$  (z kombinace 4 pro MSP – str. 39)Limitní hodnota:  $\delta_{lim} = \frac{L}{250}$ 

$$\delta_{lim} = \frac{12000}{250}$$

$$\delta_{lim} = 48,0 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$\delta_{lim} \geq \delta$$

$$48,0 \text{ mm} > 30,4 \text{ mm}$$

VYHOVUJE NA PRŮHYB (63,3%)

Sloup byl navržen takto masivní z důvodu splnění MSP. Samotný sloup splňuje podmínky MSP s poměrně malou účinností, avšak průhyb sloupu výrazně ovlivňuje průhyb nosníků, které jsou z něho vykonzolovány. V případě méně tuhého průřezu sloupu by pak nosníky podmínky MSP nesplnily a deformace na celé konstrukce by byly příliš velké.

## 5.4 Lana

Lanový systém Macalloy: jednopramenné vinuté lano 1x19

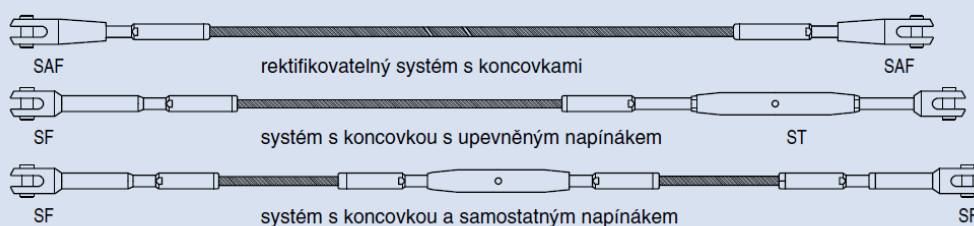
průměr lana:  $\varnothing = 26 \text{ mm}$

modul pružnosti:  $E = 107\,000 \text{ MPa}$

Maximální únosnost:  $N_{Rd} = 398 \text{ kN}$

Tabulka 5: Maximální zatížení lanového systému Macalloy

Průměr lana	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26
Jednopramenné vinuté lano 1 x 19	kN	7,1	12,6	19,6	28,2	34,8	45,5	71,1	102,0	139,0	182,0	212,0	285,0	398,0
Kompaktní pramen	kN		17,4	23,9	34,8	48,1	60,3	95,0	141,2	189,2	251,0	313,7		
Šestipramenné lano s drátěnou duší	kN	5,0	8,9	13,9	20,0	27,3	35,6	55,6	80,0	109,0	143,1			



Obrázek 53: Únosnosti jednotlivých lan – systém Macalloy [10]

### 5.4.1 Únosnost

Návrhové hodnoty:  $N_{Ed} = 192,86 \text{ kN}$  (kombinace 13 – str. 37)

Posouzení:  $N_{Rd} \geq N_{Ed}$

**398 kN > 192,86 kN**

VYHOVUJE NA TAH (48,5%)

### 5.4.2 Posouzení únosnosti lan při zatížení rovnoměrnou změnou teploty

Počáteční teplota konstrukce:  $T_0 = 10^\circ\text{C}$

Nejnižší teplota konstrukce (v oblasti Jaroměře):  $T_{\min} = -30^\circ\text{C}$

Nejvyšší teplota konstrukce (v oblasti Jaroměře):  $T_{\max} = 40^\circ\text{C}$

Teplota po zchlazení prvku:  $T_{\text{out},\min} = T_{\min} = -30^\circ\text{C}$

Teplota po ohřátí prvku:  $T_{\text{out},\max} = T_{\max} + 30^\circ\text{C} = 40 + 30 = 70^\circ\text{C}$

Zatížení teplotou:  $\Delta T_1 = -(T_0 - T_{\min}) = -[10 - (-30)] = -40^\circ\text{C}$

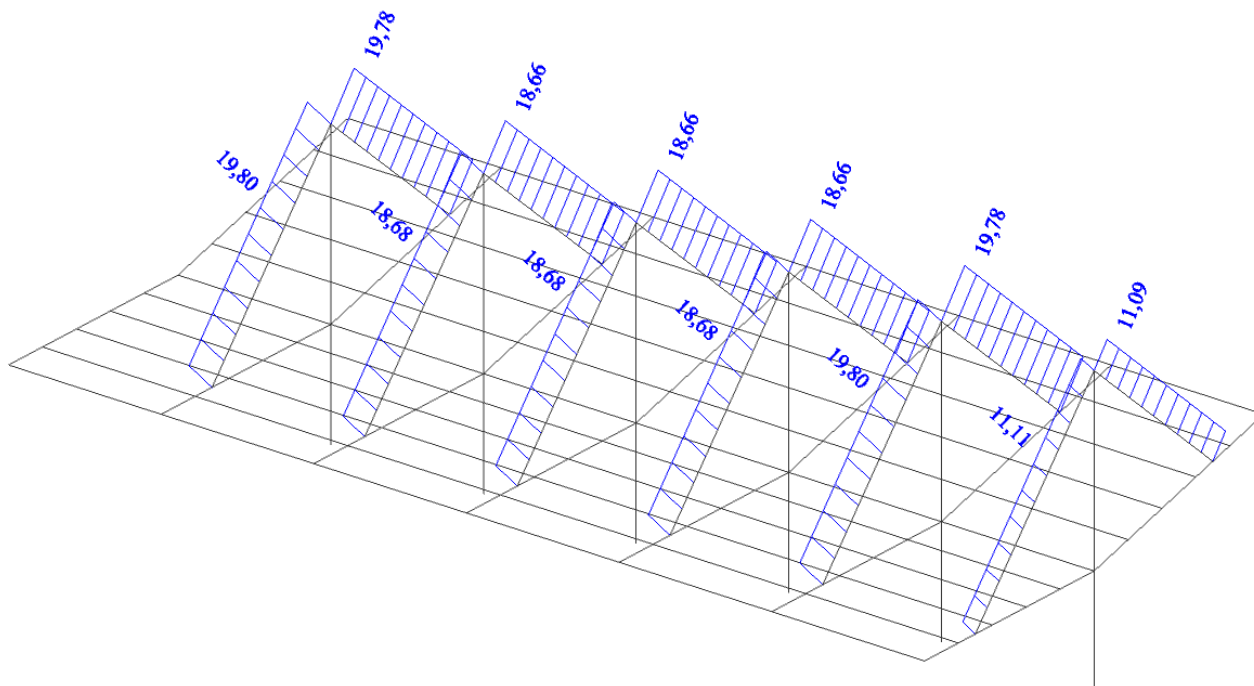
$\Delta T_2 = T_{\max} - T_0 = 70 - 10 = 60^\circ\text{C}$

K nejvyšším tahovým silám (nevětšímu namáhání) došlo u všech lan v kombinaci 13 pro MSÚ. Pro posouzení účinků teploty bude do této kombinace nyní přidáno zatížení teplotou na všechna lana (v případě ohřátí konstrukce bude z kombinace vynecháno zatížení sněhem).

#### 5.4.2.1 Rovnoměrné ohřátí konstrukce

##### a) Únosnost

V kombinaci 13 pro MSÚ bylo smazáno zatížení sněhem, a zároveň přidáno zatížení teplotou na lana ( $\Delta T_2 = 70^\circ\text{C}$ ), které se stalo hlavním proměnným zatížením



Obrázek 54: Normálové síly v lanech s vlivem teploty

Návrhové hodnoty:  $N_{Ed} = 35,05 \text{ Kn}$

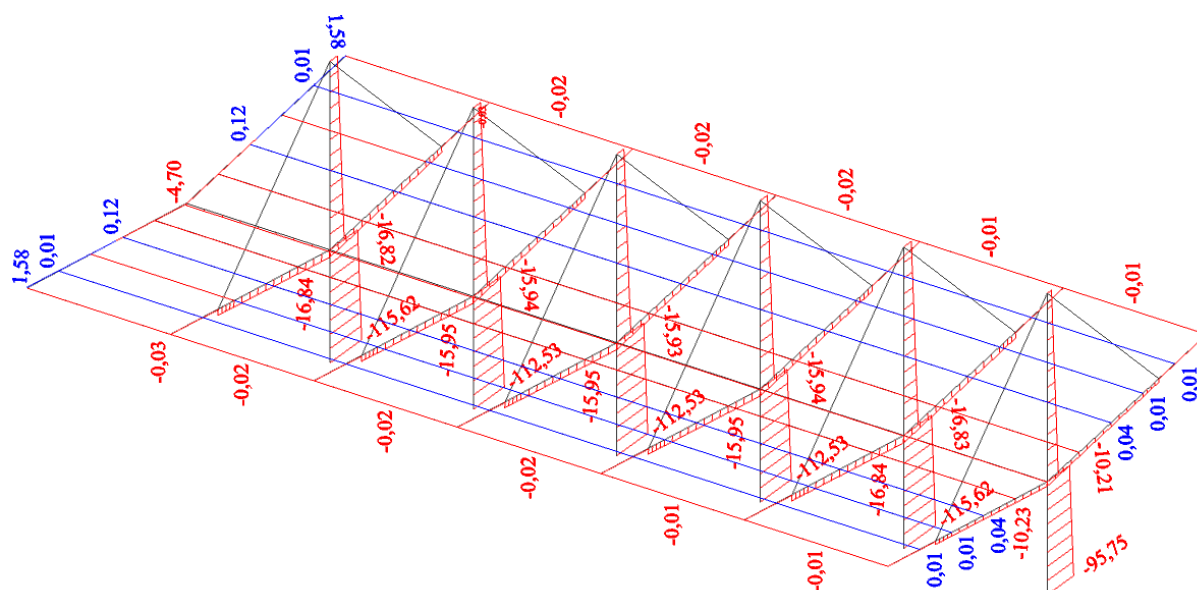
Posouzení:

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$398 \text{ kN} > 19,8 \text{ kN}$$

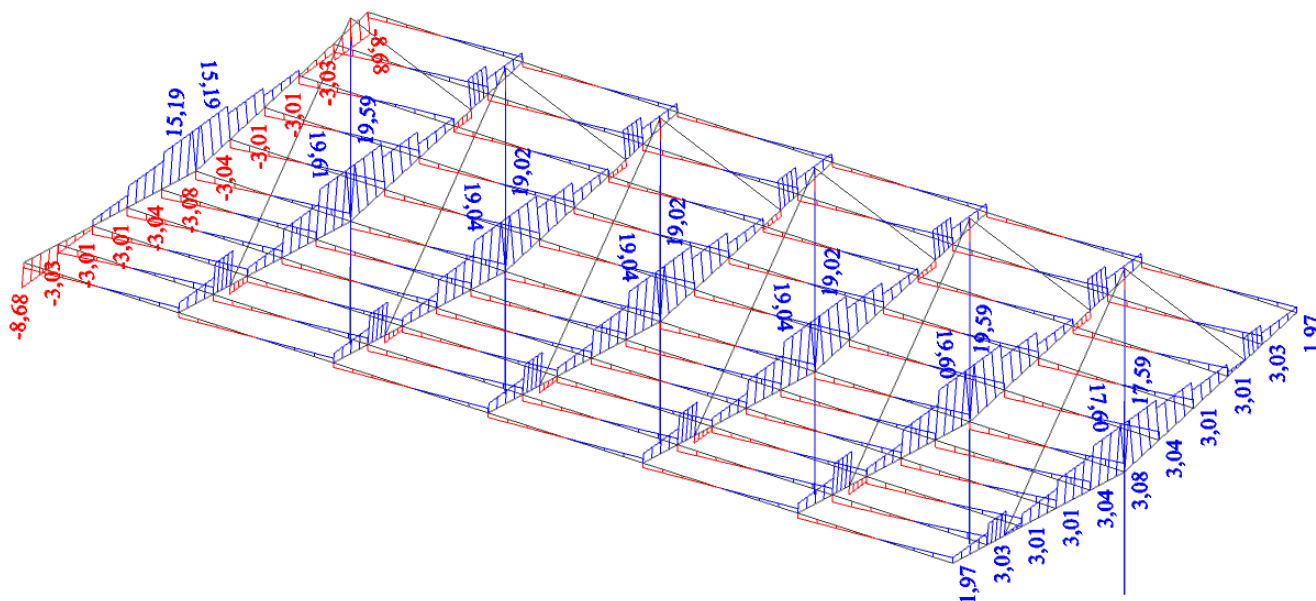
VYHOVUJE NA TAH (5,0%)

Vliv na ostatní prvky:



Obrázek 55: Normálové síly na konstrukci s vlivem teploty

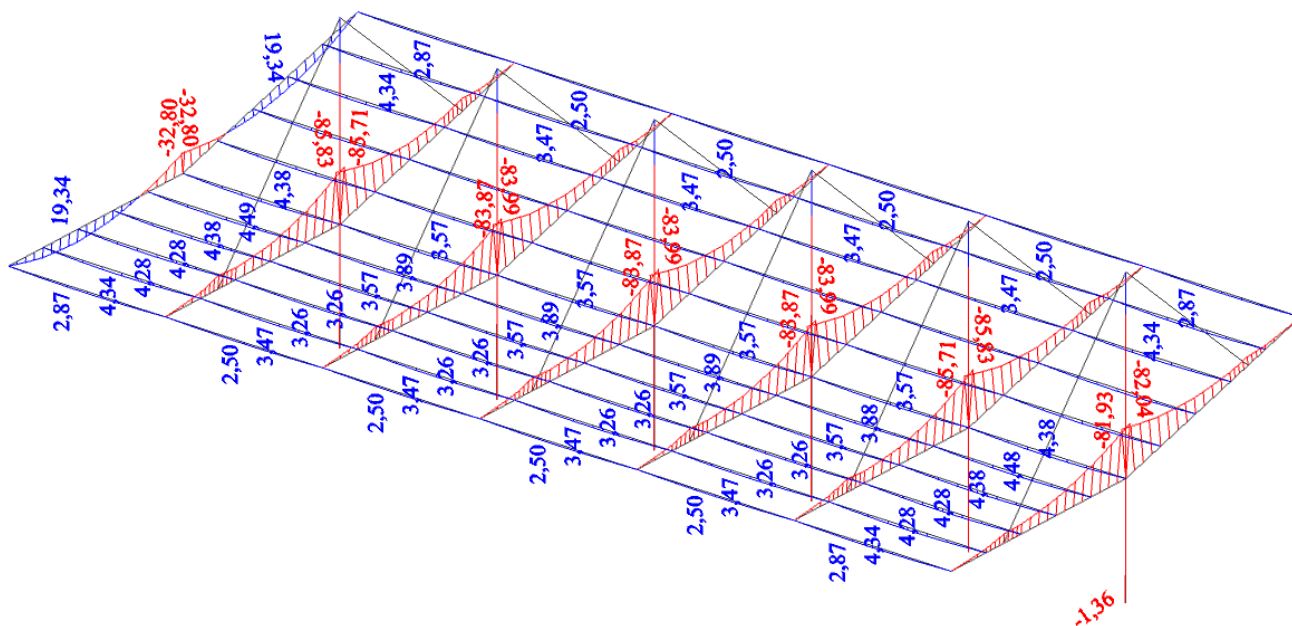
Normálové síly v prvcích nepřevyšují hodnoty při posouzení v předchozím výpočtu. Prvky i s vlivem teploty vyhoví.



Obrázek 56: Posouvající síly na konstrukci s vlivem teploty

Posouvající síly v prvcích nepřevyšují hodnoty při posouzení v předchozím výpočtu. Prvky i s vlivem teploty vyhoví.





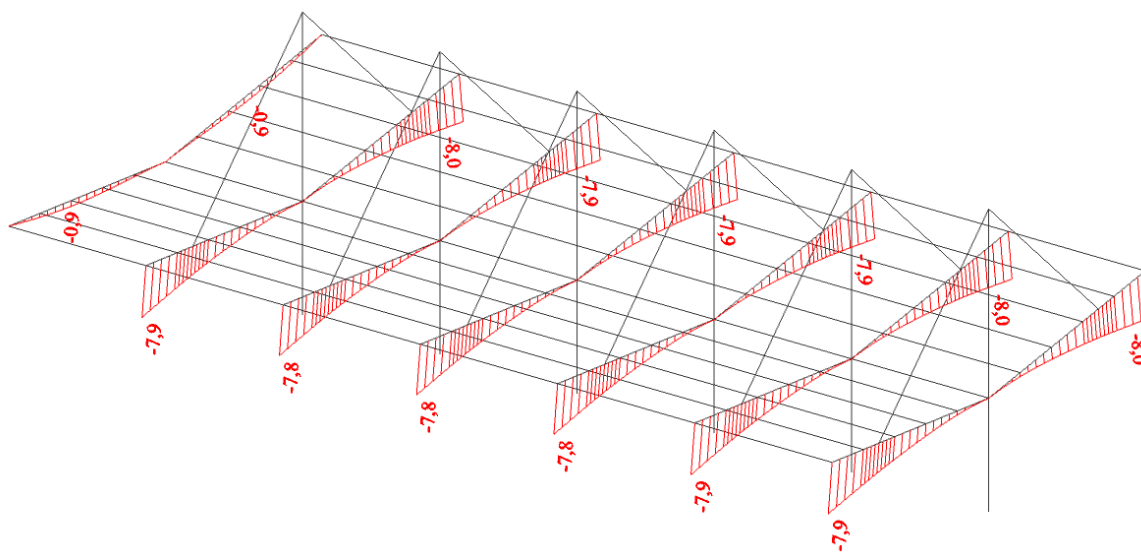
Obrázek 57: Ohybové momenty na konstrukci s vlivem teploty

Ohybové momenty v prvcích nepřevyšují hodnoty při posouzení v předchozím výpočtu. Prvky i s vlivem teploty vyhoví.

#### b) Použitelnost

K největším tahovým silám v lanech docházelo v kombinaci 13 pro MSÚ. Při zahřátí lan, kdy se mění hodnota předpětí, je proto toto složení kombinace s těžší. Vliv teploty bude tedy zahrnut do kombinace 1 pro MSP, která zatěžovacími stavy odpovídá kombinaci 13 pro MSÚ, a kde docházelo k největším deformacím proti směru kladné osy z („dolů“).

Vliv na ostatní prvky:



Obrázek 58: Hodnoty deformací ve směru osy z v kombinaci 1 pro MSP s vlivem teploty

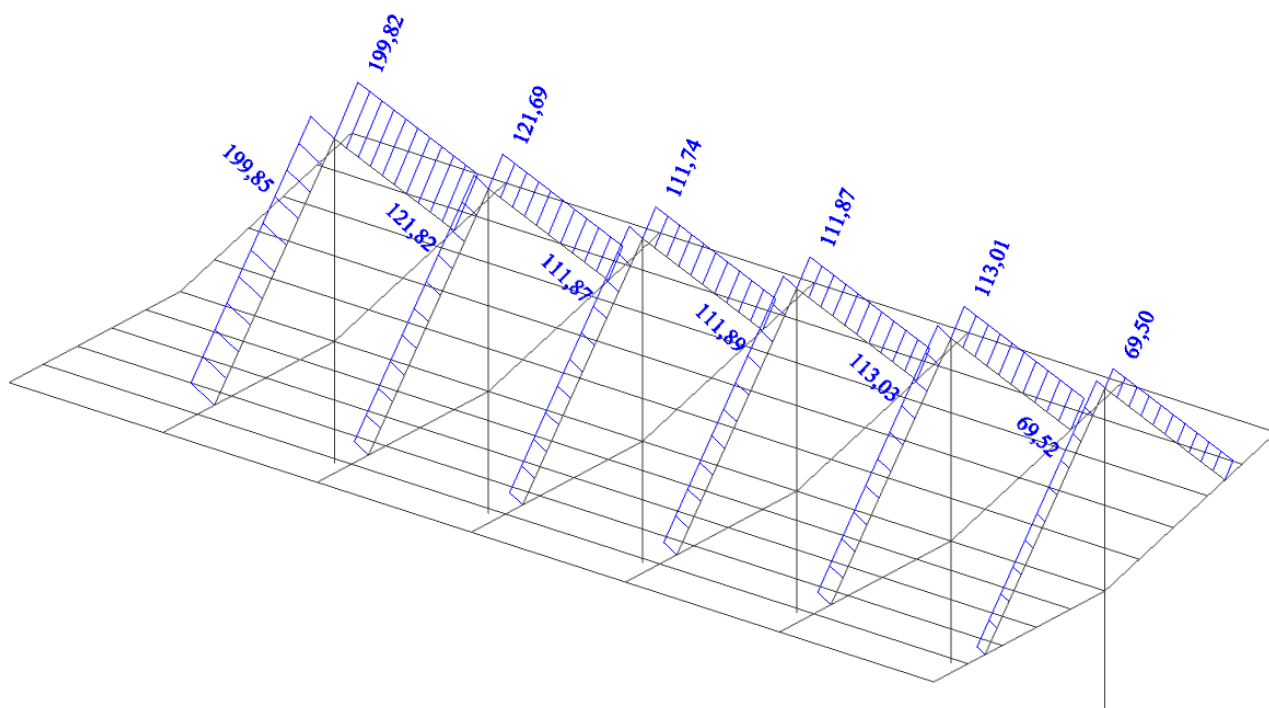
Hodnoty deformací jsou menší než hodnoty použité v předchozím výpočtu. Prvky tedy s vlivem teploty vyhoví.

I přes výrazné zvýšení teploty konstrukce vyhoví jako na MSÚ, tak na MSP. Při tomto zahřátí totiž vymizí největší zatížení konstrukce – zatížení sněhem – a ostatní zatížení již konstrukce i přes ztrátu předpětí přenesou.

#### 5.4.2.2 Rovnoměrné ochlazení konstrukce

##### a) Únosnost

Do původní kombinace 13 pro MSÚ bylo přidáno zatížení teplotou na lana ( $\Delta T_1 = -40^\circ\text{C}$ ). Hlavním proměnným zatížením zůstalo zatížení sněhem, zatížení teplotou tedy bylo redukováno součinitelem  $\psi_{0,1} = 0,6$ .



Obrázek 59: Normálové síly v lanech s vlivem teploty

Návrhové hodnoty:  $N_{Ed} = 199,85 \text{ kN}$

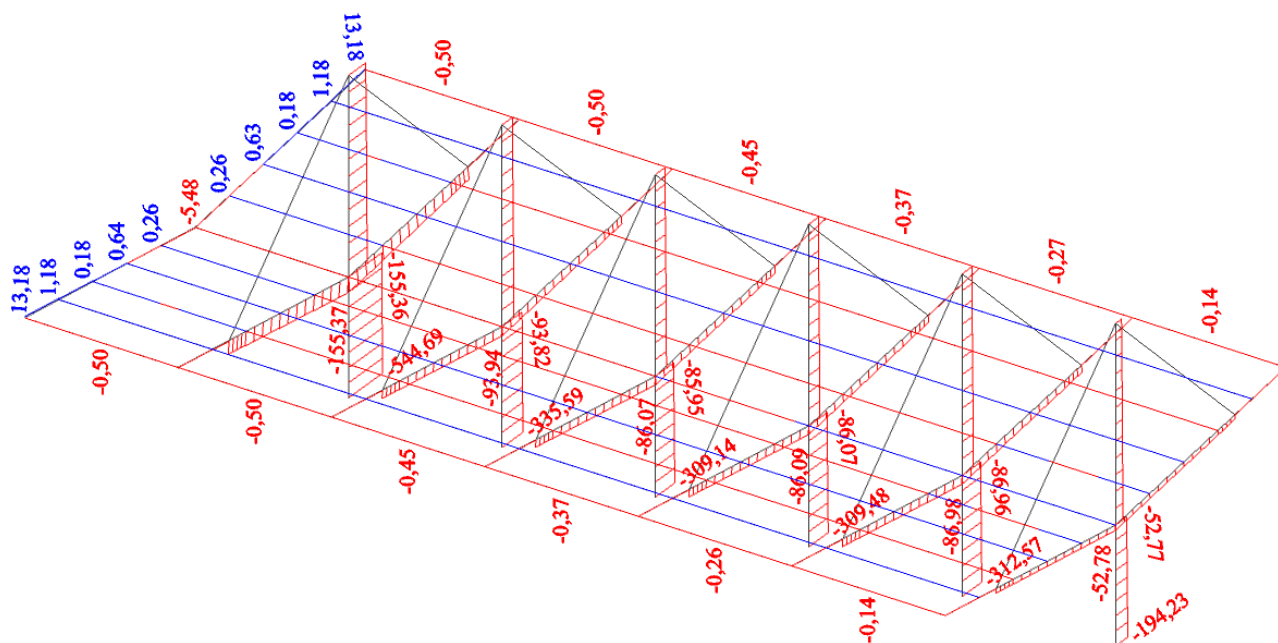
Posouzení:

$$N_{Rd} \geq N_{Ed}$$

$$398 \text{ kN} > 199,85 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA TAH (50,2%)

Vliv na ostatní prvky:



Obrázek 60: Normálové síly na konstrukci s vlivem teploty

Normálové síly v nosnících převyšují hodnoty použité při posouzení v předchozím výpočtu. Je proto nutné je posoudit.

Návrhová hodnota:  $N_{Ed} = 155,37 \text{ kN}$

Únosnost:  $N_{b,Rd} = \frac{\chi_z \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$

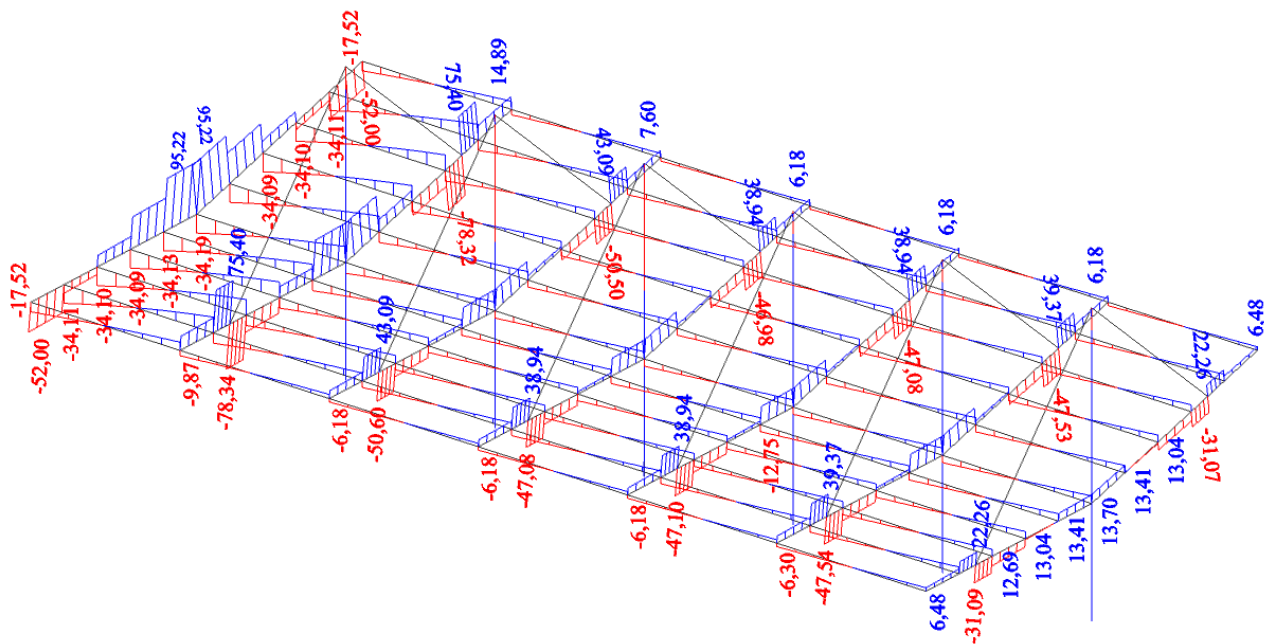
$$N_{b,Rd} = \frac{0,854 \cdot 12505,735 \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$N_{b,Rd} = 3791,364 \text{ kN}$$

$$N_{b,Rd} \geq N_{Ed}$$

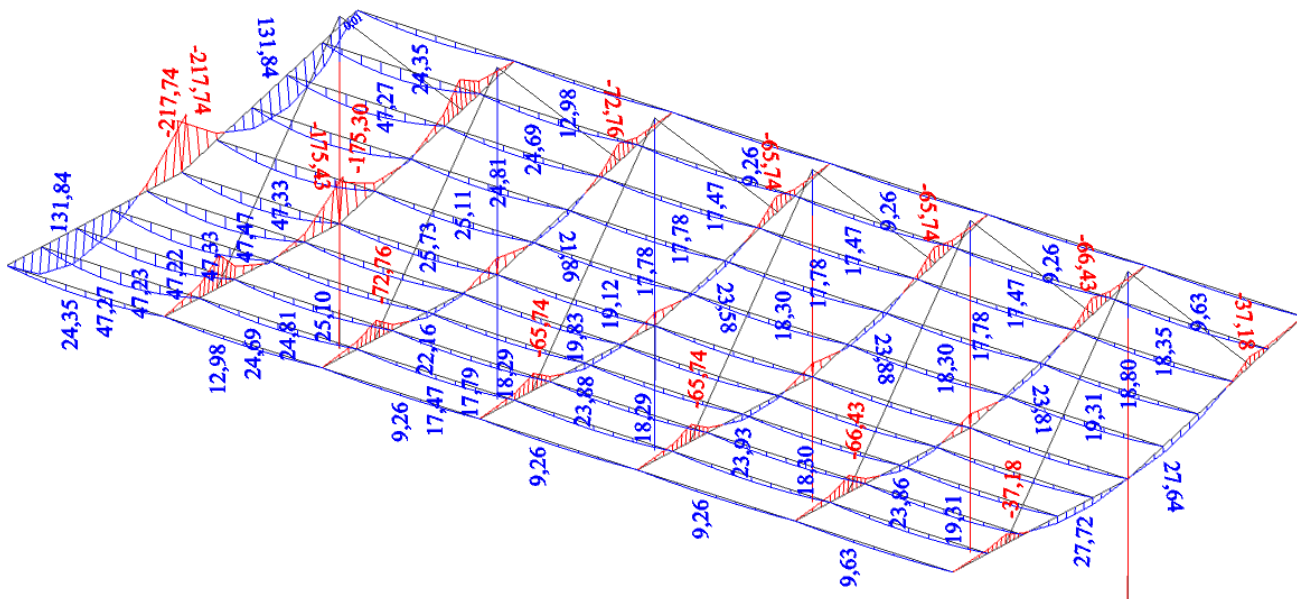
$$3791,364 \text{ kN} > 155,37 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA VZPĚR (4,1%)



Obrázek 61: Posouvající síly na konstrukci s vlivem teploty

Posouvající síly v prvcích nepřevyšují hodnoty při posouzení v předchozím výpočtu. Prvky i s vlivem teploty vyhoví.



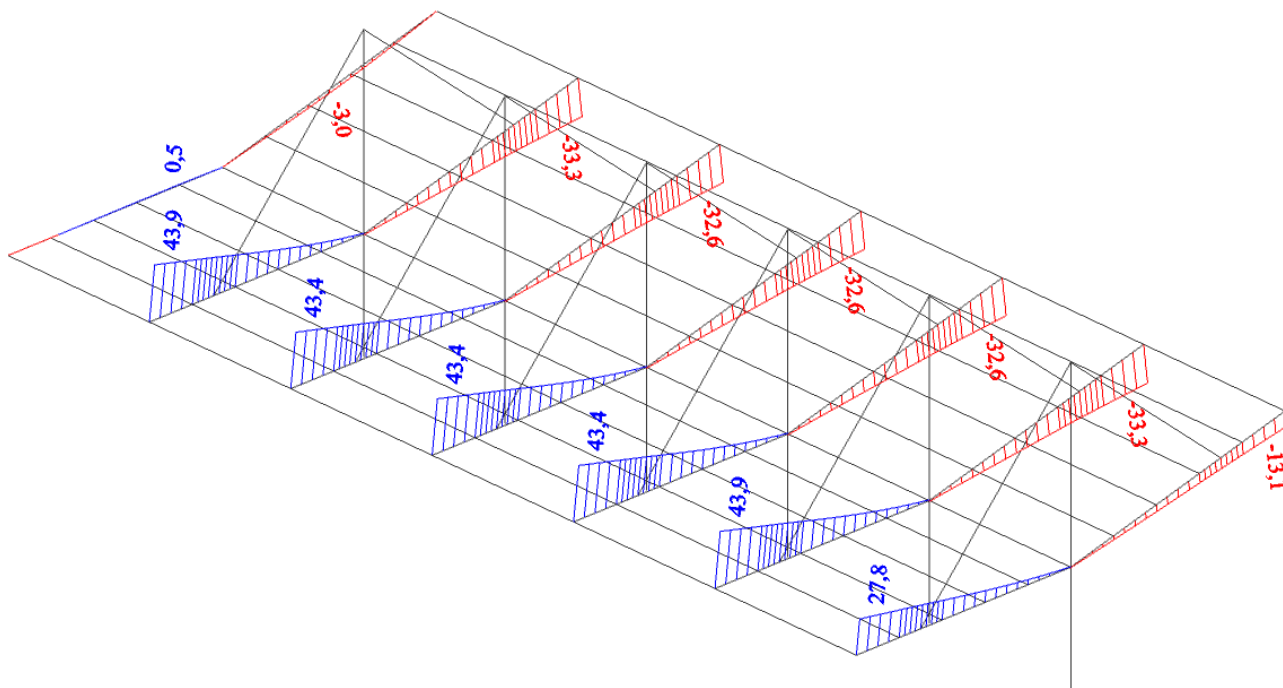
Obrázek 62: Ohybové momenty na konstrukci s vlivem teploty

Ohybové momenty v prvcích nepřevyšují hodnoty použité při posouzení v předchozím výpočtu. Prvky i s vlivem teploty vyhoví.

## b) Použitelnost

Při poklesu teploty dojde ke zkrácení lan. Pro posouzení deformací na zbytku konstrukce bude tedy vliv teploty přidán do kombinace 4 pro MSP, při které došlo k největším průhybům v kladném směru osy z („nahoru“).

Vliv na ostatní prvky:



Obrázek 63: Obálka dvou nových kombinací pro MSP s vlivem teploty

Deformace jsou větší než hodnoty použité v předchozím výpočtu pro posouzení nosníku. Je proto třeba je posoudit.

Návrhová hodnota:  $\delta = 43,9 \text{ mm}$

Limitní hodnota:  $\delta_{\text{lim}} = \frac{L}{250}$

$$\delta_{\text{lim}} = \frac{10078}{250}$$

$$\delta_{\text{lim}} = 40,312 \text{ mm}$$

Posouzení:

$$\delta_{\text{lim}} \geq \delta$$

$$40,312 \text{ mm} < 43,9 \text{ mm}$$

Průhyb překračuje doporučenou hodnotu. Avšak tento průhyb nastane pouze v kombinaci, kdy bude působit sníh na polovinu konstrukce, vítr tlakem na stejnou polovinu konstrukce a venkovní teplota klesne na extrémních  $-30^\circ\text{C}$ . Vzhledem k tomu, že hodnoty mezních průhybů jsou doporučené (ale ne závazné) a k velmi nízké pravděpodobnosti, že by toto zatížení mohlo nastat, bude hodnota 43,9 mm posouzena jako vyhovující.

## 6 Návrh a posouzení přípoju

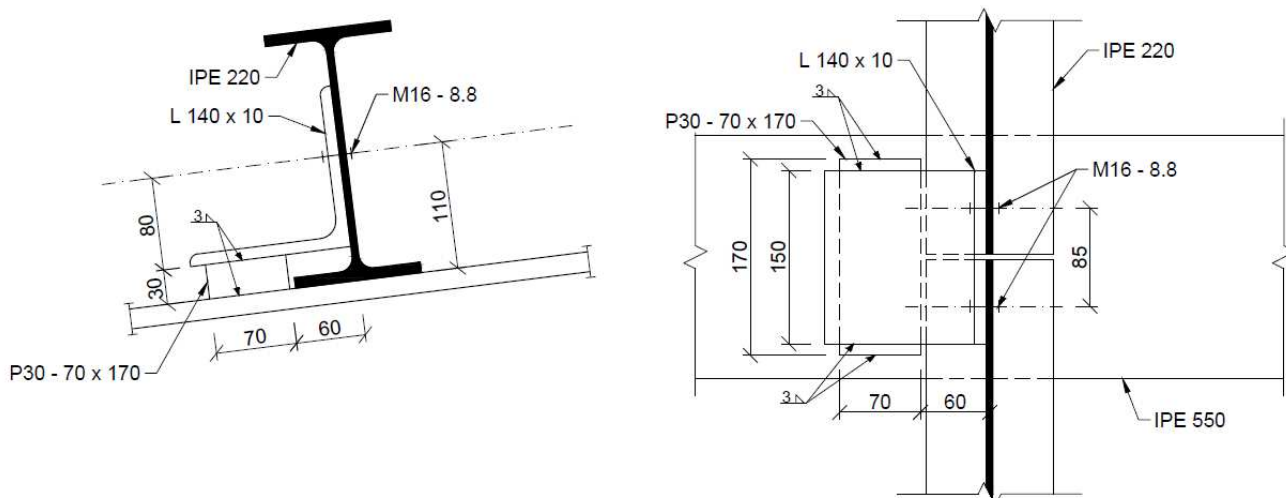
### 6.1 Přípoj vaznice na nosník

Přípoje vaznic na nosníky budou realizovány pomocí úhelníků s podložkou přibližně podle tabulky na obrázku 64. V návrhu jsou použity koutové svary k připojení úhelníku a podložky, alternativou by bylo spojení podložky s nosníkem šrouby. Části přípoje budou z oceli S235.

Profil	h/2	Přípoj z průřezu L					Podložka			Šroub	Svary
		a	úhelník	$l_1$	$a_1$	e	$l_2$	b	c		$a_{we}$
IPE	[mm]	[mm]			[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	
100	50	35	90 x 60 x 6	140	30	75	160	50	20	M 16 x 40	4
120	60	40	110 x 70 x 10	150	40	85	170	60			
140	70	45	120 x 80 x 8		45			70	30	25	
160	80	55	140 x 90 x 8		50						
180	90		60		140 x 10			70	M 20 x 45		
200	100	80	140 x 10	90		6					
220	110	60		160 x 10	105		M 24 x 55				
240	120	75	160 x 10		105	M 24 x 55					
270	135	75		160 x 10	105		95	180	80	M 24 x 55	

Obrázek 64: Typické přípoje vaznic [17]

NÁVRH: Úhelník 140 x 10  
 Podložka tl. 30 mm  
 Šrouby M16 – 8.8  
 Svary  $a_{we} = 3$  mm



Obrázek 65: Přípoj vaznice na nosník

Vaznice jsou uloženy kloubově, v přípoji je přenášena především posouvající síla. Výrazné namáhání přípoje by způsobila normálová síla. Avšak maximální hodnota normálové síly ve vaznicích je velmi nízká:  $N_{Ed} = 1,19 \text{ kN}$ , bude proto zanedbána.

Návrhové hodnoty:  $V_{Ed,zleva} = 28,85 \text{ kN}$

(kombinace 13)  $V_{Ed,zprava} = 19,31 \text{ kN}$

### 6.1.1 Posouzení šroubů

Šrouby jsou namáhané na stříh a otláčení, smyková rovina prochází závitem. Jsou použity běžné rozteče.

Stříh:  $F_{v,Rd} = 60,3 \text{ kN}$  (z tabulek [13])

POSOUZENÍ:

$$F_{v,Rd} \geq V_{Ed,max}$$

$$60,3 \text{ kN} > 28,85 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA STŘIH (47,8%)

Otláčení:  $F_{b,Rd} = 85,3 \text{ kN}$  (z tabulek [13])

POSOUZENÍ:

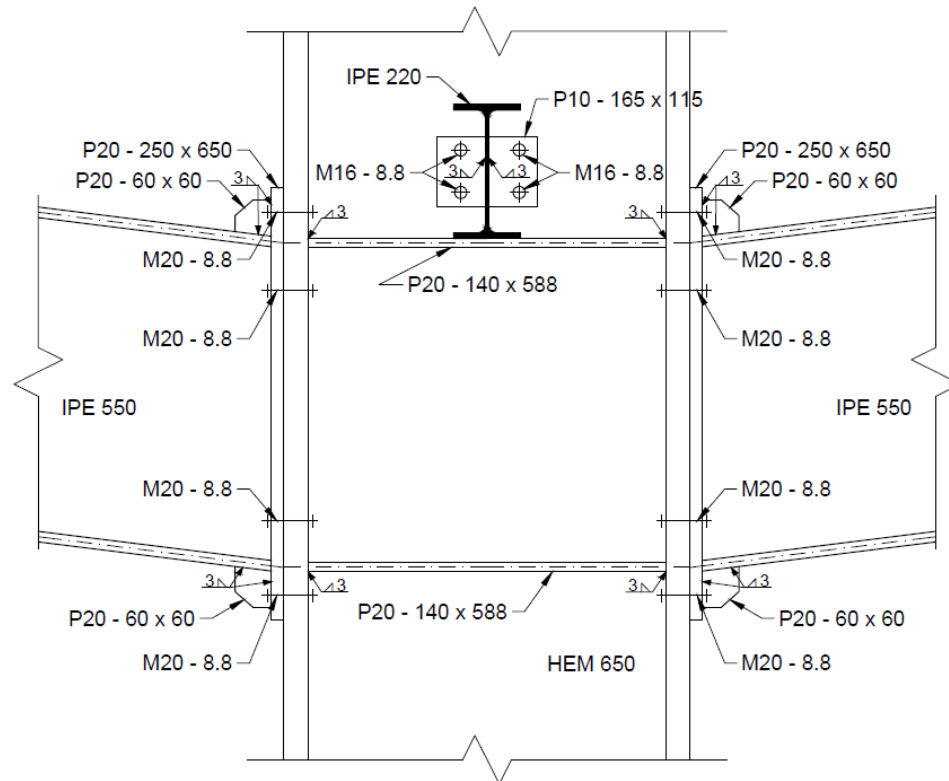
$$F_{b,Rd} \geq V_{Ed,max}$$

$$85,3 \text{ kN} > 28,85 \text{ kN}$$

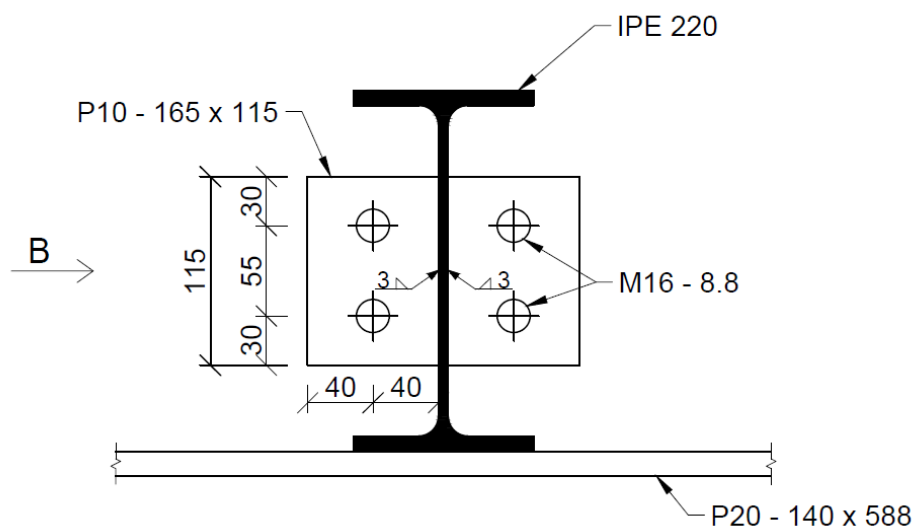
VYHOVUJE NA OTLAČENÍ (33,8%)

## 6.2 Přípoj střední vaznice na sloup

Tento spoj bude proveden pomocí čelní desky. Veškeré komponenty spoje jsou z oceli S235.



Obrázek 66: Přípoj středové vaznice k výztuze sloupu



Obrázek 67: Přípoj středové vaznice k výztuze sloupu – detail



### 6.2.1 Návrh a posouzení šroubů

Šrouby jsou namáhané na stříh a otláčení.

NÁVRH: 4 x M16 – 8.8 střední rozteče

$$V_{Ed,zleva} = 29,00 \text{ kN} \quad (\text{z kombinace 13 pro MSÚ})$$

$$V_{Ed,zprava} = 19,63 \text{ kN} \quad (\text{z kombinace 13 pro MSÚ})$$

$$F_{Ed} = V_{Ed,zleva} + V_{Ed,zprava} = 29,00 + 19,63 = 48,63 \text{ kN}$$

Stříh: Šrouby namáhané ve dvou smykových rovinách, smyková rovina prochází závitem

$$F_{v,Rd,1} = 2 \cdot 60,3 \text{ kN} = 120,6 \text{ kN} \quad (\text{z tabulek [13]})$$

$$F_{v,Rd} = 4 \cdot F_{v,Rd,1} = 4 \cdot 120,6 = 482,4 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$F_{v,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$482,4 \text{ kN} > 48,63 \text{ kN}$$

VYHOVUJE VE STŘIHU (10,1%)

Otláčení:  $F_{b,Rd,1} = 85,3 \text{ kN}$  (z tabulek [13])

$$F_{b,Rd} = 4 \cdot F_{b,Rd,1} = 4 \cdot 85,3 = 341,2 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$F_{b,Rd} \geq F_{Ed}$$

$$341,2 \text{ kN} > 48,63 \text{ kN}$$

VYHOVUJE V OTLAČENÍ (14,3%)

### 6.2.2 Návrh a posouzení svarů

Rozměry svaru:  $a_{we} = 3 \text{ mm}$

$$l_{we,1} = 115 \text{ mm}$$

$$l_{we} = 2 \cdot l_{we,1} = 2 \cdot 115 = 230 \text{ mm}$$

Napětí ve svaru:  $\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a_{we} \cdot l_{we}}$

$$\tau_{\parallel} = \frac{29,00 \cdot 10^3}{3 \cdot 230}$$

$$\tau_{\parallel} = 42,029 \text{ MPa}$$

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

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \geq \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$$

$$\frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \geq \sqrt{0^2 + 3 \cdot (42,029^2 + 0^2)}$$

$$360,0 \text{ MPa} > 72,796 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (20,2%)

### 6.2.3 Návrh a posouzení čelní desky

Plocha oslabená otvory:  $A_{v,net} = (h - 2 \cdot d) \cdot t$

$$A_{v,net} = (115 - 2 \cdot 18) \cdot 10$$

$$A_{v,net} = 790 \text{ mm}^2$$

Únosnost:  $V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$

$$V_{pl,Rd} = \frac{790 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 107,185 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$V_{pl,Rd} \geq \frac{V_{Ed}}{2}$$

$$107,185 \text{ kN} > \frac{29,00}{2}$$

$$107,185 \text{ kN} > 14,5 \text{ kN}$$

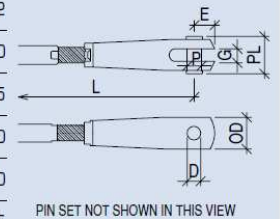
VYHOVUJE NA SMYK (13,5%)

### 6.3 Přípoj lana na nosník

Přípoj bude tvořen z jednotlivých prvků systému Macalloy. Jednotlivé části spoje jsou od této společnosti dimenzovány tak, aby splnily požadavky únosnosti. Z tohoto důvodu bude posuzován pouze svar zajišťující spojení styčnickového plechu a nosníku.

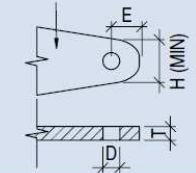
Tabulka 6: Rozměrové parametry kotvicího spojovacího systému

Průměr lana	mm	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	19	22	26
Rektifikovatelná vidlicová koncovka	SAF3	SAF4	SAF5	SAF6	SAF7	SAF8	SAF10	SAF12	SAF14	SAF16	SAF19	SAF22	SAF26	
L	mm	111	122	150	180	201	213	282	332	350	400	434	509	572
Rektifikovatelnost	mm	12	12	16	20	22	22	32	36	36	45	45	55	60
G	mm	7	7	8,5	10	12	12	17	21	21	26,5	26,5	35	36,5
D Dia.	mm	6,9	6,9	8,5	9,5	11,8	11,8	16,4	19,5	19,5	26,0	26,0	33,6	36,0
E	mm	8,5	8,5	11,5	12,0	18,0	18,0	21,0	26,5	26,5	36,0	36,0	48,0	52,0
OD	mm	16,0	16,0	19,0	22,2	28,6	28,6	38,1	47,5	47,5	57,2	57,2	76,2	82,5
P Dia.	mm	6,4	6,4	8,0	9,0	11,4	11,4	15,5	18,8	18,8	25,5	25,5	32,0	35,2
PL	mm	21,6	21,6	25,3	27,7	34,1	34,1	44,6	56,1	56,1	69,8	69,8	92,0	98,0
Styčnickový plech		GP6	GP6	GP8	GP10	GP11	GP11	GP16	GP19	GP19	GP25	GP25	GP32	GP35
T (tloušťka mat.)	mm	6	6	6	8	10	10	15	16	16	25	25	30	35
D Dia.	mm	7	7	9	10	12,5	12,5	16,5	19	19	26,5	26,5	33	36,5
E	mm	11	11	15	17	20	20	23	30	30	32	32	40	44
H	mm	17	17	24	27	30	30	36	46	46	52	52	66	71



PIN SET NOT SHOWN IN THIS VIEW

PROFILE TO SUIT APPLICATION

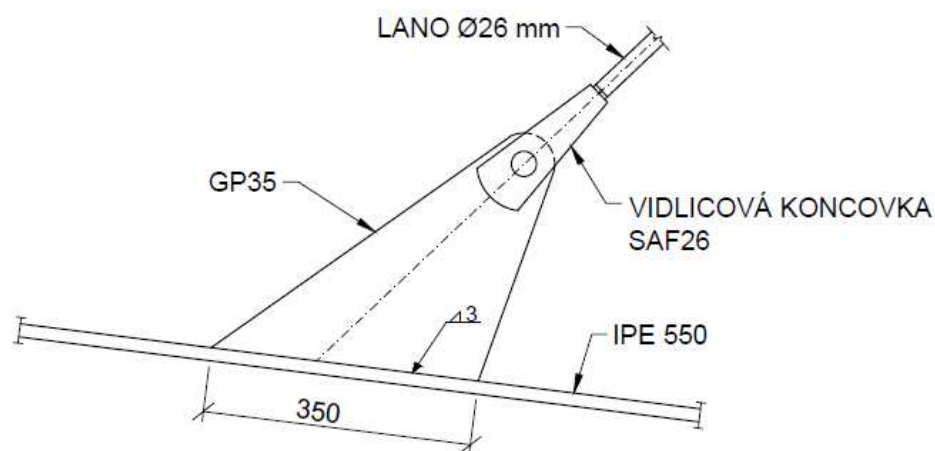


Obrázek 68: Jednotlivé prvky kotvení lan systému Macalloy [10]

NÁVRH: Svar:  $a_{we} = 3 \text{ mm}$

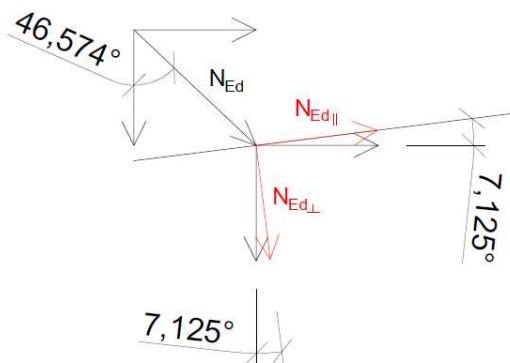
$$l_{we,1} = 350 \text{ mm}$$

$$l_{we} = 2 \cdot l_{we,1} = 2 \cdot 350 = 700 \text{ mm}$$



Obrázek 69: Přípoj lana na nosník

POSOUZENÍ:  $N_{Ed} = 199,82 \text{ kN}$  (kombinace 13 pro MSÚ s vlivem zchlazení)



Obrázek 70: Schéma rozložení sil z lan do svaru

Složka kolmá na osu svaru:  $N_{Ed,\perp} = \cos 46,574^\circ \cdot \cos 7,125^\circ \cdot N_{Ed}$

$$N_{Ed,\perp} = \cos 46,574^\circ \cdot \cos 7,125^\circ \cdot 199,82$$

$$N_{Ed,\perp} = 136,299 \text{ kN}$$

Složka rovnoběžná s osou svaru:  $N_{Ed,\parallel} = \sin 46,574^\circ \cdot \cos 7,125^\circ \cdot N_{Ed}$

$$N_{Ed,\parallel} = \sin 46,574^\circ \cdot \cos 7,125^\circ \cdot 199,82$$

$$N_{Ed,\parallel} = 144,001 \text{ kN}$$

Síla nepůsobí do těžiště svaru, bude tedy vyvolávat moment.

Excentricita:  $e = 36,807 \text{ mm}$  (změřeno z výkresu v AutoCAD)

Moment:  $M_{Ed} = N_{Ed,\perp} \cdot e$

$$M_{Ed} = 136,299 \cdot 0,037$$

$$M_{Ed} = 5,043 \text{ kNm}$$

Průřezový modul svaru:  $W_{we} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_{we} \cdot l_{we,1}^2$

$$W_{we} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 350^2$$

$$W_{we} = 122,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Napětí ve svaru:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed,\perp}}{\sqrt{2} \cdot a_{we} \cdot l_{we}} + \frac{M_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot W_{we}}$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{136,299 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 700} + \frac{5,043 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 122,5 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 75,004 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,\parallel}}{a_{we} \cdot l_{we}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{144,001 \cdot 10^3}{3 \cdot 700}$$

$$\tau_{\parallel} = 68,572 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \geq \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$$

$$\frac{490}{0,9 \cdot 1,25} \geq \sqrt{75,004^2 + 3 \cdot (68,572^2 + 75,004^2)}$$

$$435,556 \text{ MPa} > 191,334 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (43,9%)

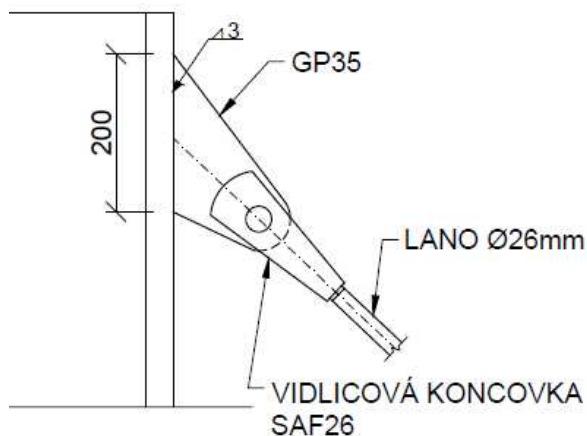
## 6.4 Přípoj lana na sloup

Styčnickový plech i vidlice budou použity stejné jako ve spoji lana s nosníkem. Pouze styčnickový plech bude mít jiné rozměry, tloušťka zůstane zachována. Opět bude posouzen pouze svar zajišťující spoj mezi styčnickovým plechem a sloupem.

NÁVRH: Svar:  $a_{we} = 3 \text{ mm}$

$$l_{we,1} = 200 \text{ mm}$$

$$l_{we} = 2 \cdot l_{we,1} = 2 \cdot 200 = 400 \text{ mm}$$



Obrázek 71: Přípoj lana na sloup

POSOUZENÍ:  $N_{Ed} = 199,82 \text{ kN}$  (kombinace 13 pro MSÚ s vlivem zchlazení)

Složka kolmá na osu svaru:  $N_{Ed,\perp} = \sin 46,574^\circ \cdot N_{Ed}$

$$N_{Ed,\perp} = \sin 46,574^\circ \cdot 199,82$$

$$N_{Ed,\perp} = 145,122 \text{ kN}$$

Složka rovnoběžná s osou svaru:  $N_{Ed,\parallel} = \cos 46,574^\circ \cdot N_{Ed}$

$$N_{Ed,\parallel} = \cos 46,574^\circ \cdot 199,82$$

$$N_{Ed,\parallel} = 137,360 \text{ kN}$$

Síla nepůsobí do těžiště svaru, bude tedy vyvolávat moment.

Excentricita:  $e = 6,575 \text{ mm}$  (změřeno z výkresu v AutoCAD)

Moment:  $M_{Ed} = N_{Ed,\perp} \cdot e$

$$M_{Ed} = 145,122 \cdot 0,007$$

$$M_{Ed} = 1,016 \text{ kNm}$$

Průřezový modul svaru:  $W_{we} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_{we} \cdot l_{we,1}^2$

$$W_{we} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 200^2$$

$$W_{we} = 40,0 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Napětí ve svaru:  $\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{N_{Ed,\perp}}{\sqrt{2} \cdot a_{we} \cdot l_{we}} + \frac{M_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot W_{we}}$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{145,122 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 3 \cdot 400} + \frac{1,016 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 40,0 \cdot 10^3}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 103,474 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{N_{Ed,\parallel}}{a_{we} \cdot l_{we}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{137,360 \cdot 10^3}{3 \cdot 400}$$

$$\tau_{\parallel} = 114,467 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \geq \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$$

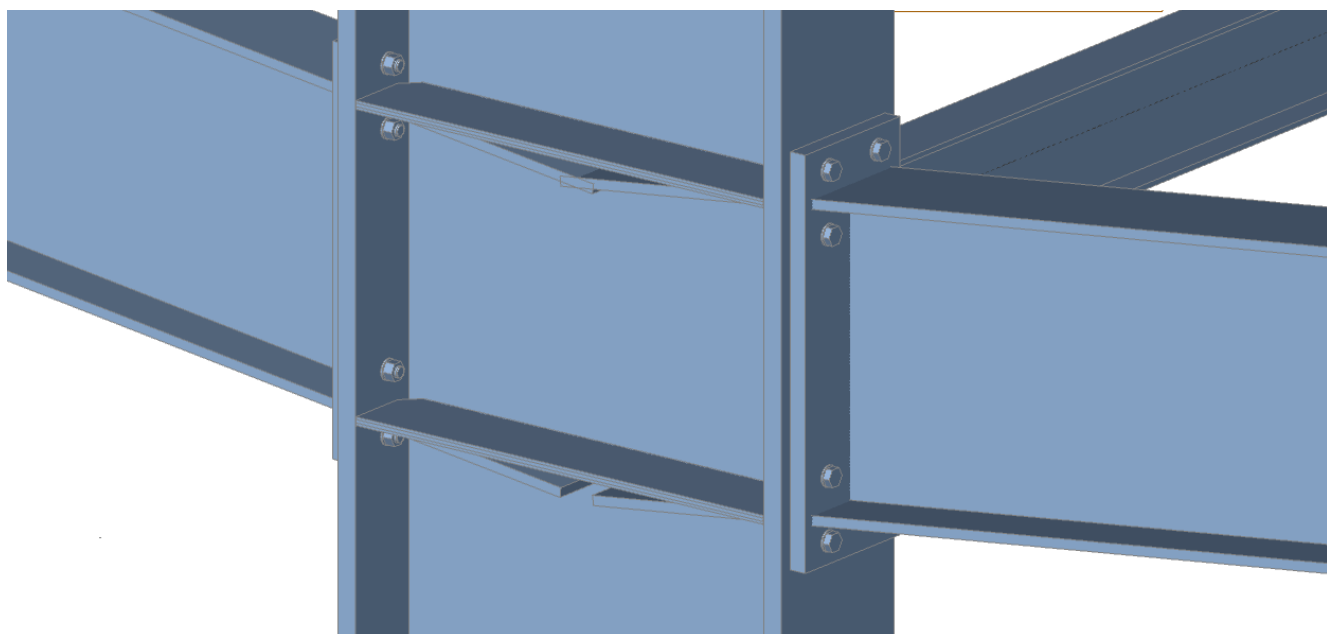
$$\frac{490}{0,9 \cdot 1,25} \geq \sqrt{103,474^2 + 3 \cdot (114,467^2 + 103,474^2)}$$

$$435,556 \text{ MPa} > 286,593 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (65,8%)

## 6.5 Přípoj nosníku na sloup

Přípoj bude proveden pomocí čelní desky.



Obrázek 72: Přípoj nosníků pomocí čelní desky (ze Scia Engineer)

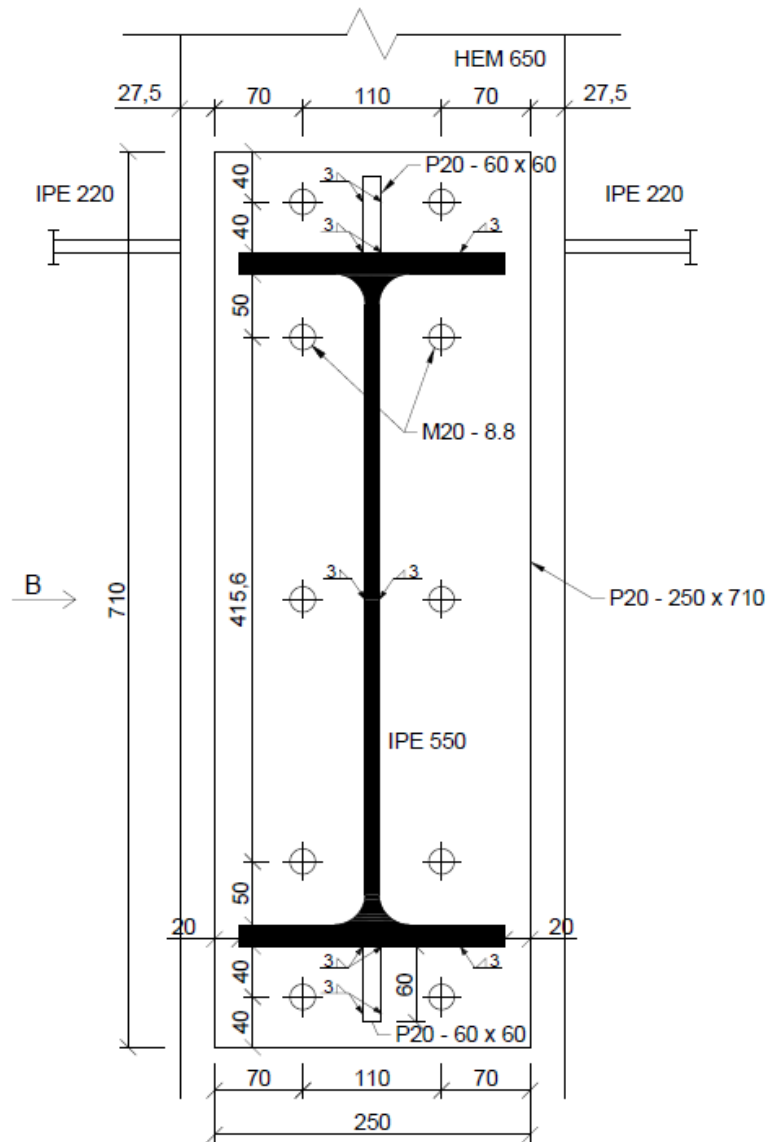
### 6.5.1 Návrh přípoje

NÁVRH: Čelní deska: Plech tl. 20 mm

8x šroub M20 z materiálu 8.8

Svar:  $a_{we} = 3 \text{ mm}$

$l_{we} = 1875 \text{ mm}$  (změřeno z výkresu v AutoCAD)



Obrázek 73: Připoj nosníku na sloup pomocí čelní desky – detail

K posouzení budou použity hodnoty z kombinaci 13, kde dochází k nejvyšší posouvající síle a ohybovému momentu.

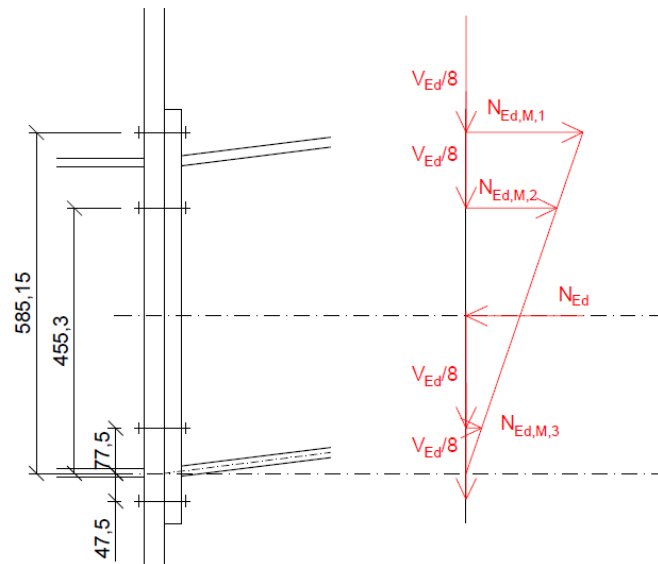
Kombinace 13:

$$N_{Ed} = -150,38 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 77,97 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = -219,01 \text{ kNm}$$





Obrázek 74: Rozložení sil ve šroubech

### 6.5.2 Posouzení šroubů

Rozdělení sil do šroubů je naznačeno na obr. 79, šrouby jsou číslovány odshora.

Vodorovné síly způsobené momentem:  $M_{Ed} = 2 \cdot (r_1 \cdot N_{Ed,M,1} + r_2 \cdot N_{Ed,M,2} + r_3 \cdot N_{Ed,M,3})$

Z podobnosti trojúhelníků:  $N_{Ed,M,2} = \frac{N_{Ed,M,3}}{r_3} \cdot r_2$

$$N_{Ed,M,1} = \frac{N_{Ed,M,3}}{r_3} \cdot r_1$$

$$M_{Ed} = 2 \cdot \left( r_1 \cdot \frac{N_{Ed,M,3}}{r_3} \cdot r_1 + r_2 \cdot \frac{N_{Ed,M,3}}{r_3} \cdot r_2 + r_3 \cdot N_{Ed,M,3} \right)$$

$$N_{Ed,M,3} = \frac{M_{Ed} \cdot r_3}{2 \cdot (r_1^2 + r_2^2 + r_3^2)}$$

$$N_{Ed,M,3} = \frac{219,01 \cdot 0,078}{2 \cdot (0,585^2 + 0,455^2 + 0,078^2)}$$

$$N_{Ed,M,3} = 15,381 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,M,2} = \frac{15,381}{0,078} \cdot 0,455$$

$$N_{Ed,M,2} = 89,723 \text{ kN}$$

$$N_{Ed,M,1} = \frac{15,381}{0,078} \cdot 0,585$$

$$N_{Ed,M,1} = 115,358 \text{ kN}$$

Celkem ve šroubech:

$$\text{Svislá síla: } V_{\text{Ed},1-8} = \frac{V_{\text{Ed}}}{8} = \frac{77,97}{8} = 9,743 \text{ kN}$$

1) Střih:  $F_{\text{v,Rd}} = 94,1 \text{ kN}$  (smyková rovina prochází závitem, z tabulek [3])

$$F_{\text{v,Rd}} \geq V_{\text{Ed},1-8}$$

$$94,1 \text{ kN} > 9,743 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA STŘIH (10,4%)

2) Otláčení: Nejmenší tloušťka spojovaných prvků:  $t = 20 \text{ mm}$

$$F_{\text{b,Rd}} = 109,1 \cdot \frac{20}{10} = 218,2 \text{ kN} \quad (\text{z tabulek [3]})$$

$$F_{\text{b,Rd}} \geq V_{\text{Ed},1-8}$$

$$218,2 \text{ kN} > 9,743 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA OTLAČENÍ (4,5%)

3) Tah:  $F_{\text{t,Rd}} = 141,1 \text{ kN}$  (z tabulek [3])

$$F_{\text{t,Rd}} \geq N_{\text{Ed},M,1}$$

$$141,1 \text{ kN} > 115,358 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA TAH (81,8%)

4) Interakce střihu a tahu:

$$\frac{V_{\text{Ed},1-8}}{F_{\text{v,Rd}}} + \frac{N_{\text{Ed},M,1}}{1,4 \cdot F_{\text{t,Rd}}} \leq 1,0$$

$$\frac{9,743}{94,1} + \frac{115,358}{1,4 \cdot 141,1} \leq 1,0$$

$$0,688 < 1,0$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI STŘIHU A TAHU (68,8%)

### 6.5.3 Posouzení svarů

Rozměry svaru:  $a_{\text{we}} = 3 \text{ mm}$

$l_{\text{we},1} = 1004 \text{ mm}$  (délka všech svarů, jejichž osa je rovnoběžná s osou z)

$$W_{\text{we}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot a_{\text{we}} \cdot l_{\text{we},1}^2$$

$$W_{\text{we}} = 2 \cdot \frac{1}{6} \cdot 3 \cdot 1004^2$$

$$W_{\text{we}} = 1,008 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

Napětí ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{a_{we} \cdot l_{we,1}}$$

$$\tau_{\parallel} = \frac{77,97 \cdot 10^3}{3 \cdot 1004}$$

$$\tau_{\parallel} = 25,886 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{M_{Ed}}{\sqrt{2} \cdot W_{we}}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{219,01 \cdot 10^6}{\sqrt{2} \cdot 1,008 \cdot 10^6}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = 153,634 \text{ MPa}$$

$$\frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}} \geq \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\parallel}^2 + \tau_{\perp}^2)}$$

$$\frac{360}{0,8 \cdot 1,25} \geq \sqrt{153,634^2 + 3 \cdot (25,886^2 + 153,634^2)}$$

$$360,0 \text{ MPa} > 310,777 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (86,3%)

#### 6.5.4 Návrh a posouzení čelní desky

Plocha oslabená otvory:

$$A_{v,net} = (h - 2 \cdot d) \cdot t$$

$$A_{v,net} = (710 - 4 \cdot 22) \cdot 20$$

$$A_{v,net} = 12440 \text{ mm}^2$$

Únosnost:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{v,net} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{12440 \cdot 235}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3}$$

$$V_{pl,Rd} = 1687,826 \text{ kN}$$

POSOUZENÍ:

$$V_{pl,Rd} \geq \frac{V_{Ed}}{2}$$

$$1687,826 \text{ kN} > \frac{77,97}{2}$$

VYHOVUJE NA SMYK (2,3%)

## 6.6 Patka sloupu

Patka sloupu je vetknutá. Pro zajištění bezpečnosti návrhu budou posouzeny 3 kombinace, první kombinace s maximální normálovou silou, druhá kombinace s maximálním ohybovým momentem a třetí kombinace s maximálním poměrem  $\frac{M_{Ed}}{N_{Ed}}$ . Jde o kombinace 13, 16 a 22 pro MSÚ. Výpočet proveden podle [17].

Návrhové hodnoty:

Kombinace 13:  $N_{Ed} = -544,69 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -1,36 \text{ kN}$$

Kombinace 16:  $N_{Ed} = -206,85 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -494,91 \text{ kNm}$$

Kombinace 22:  $N_{Ed} = -39,35 \text{ kN}$

$$M_{y,Ed} = -181,68 \text{ kNm}$$

### 6.6.1 Návrh patky

Materiály: Ocel S355:  $f_{yk} = 355 \text{ MPa}$

Beton C16/20:  $f_{ck} = 16 \text{ MPa}$

$$\gamma_c = 1,5$$

Geometrie ocelové patky:  $a = 1000 \text{ mm}$

$$b = 475 \text{ mm}$$

$$t_p = 30 \text{ mm}$$

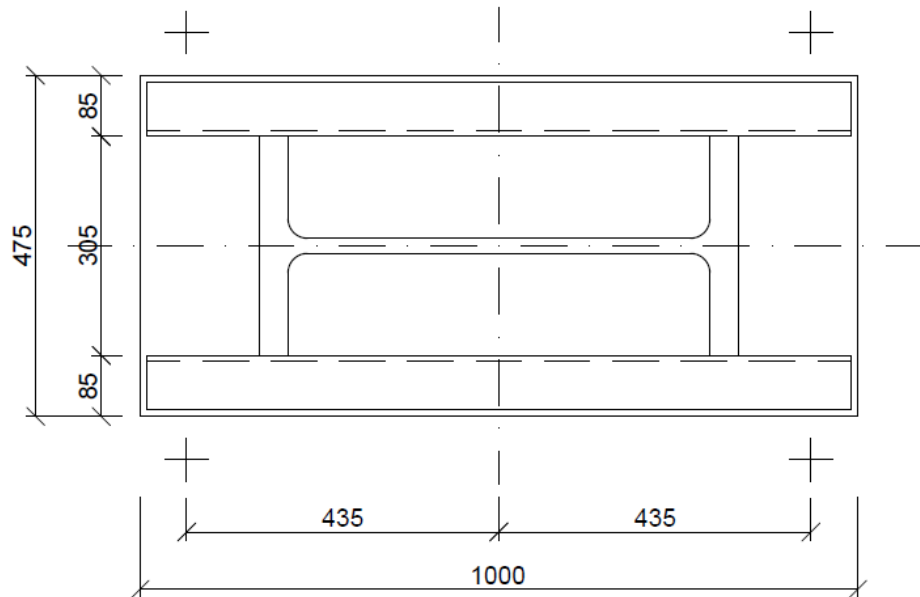
$$r_t = 435 \text{ mm}$$

Geometrie betonové patky:  $a_c = 2500 \text{ mm}$

$$b_c = 2000 \text{ mm}$$

$$h_c = 1500 \text{ mm}$$

$$h_{\text{podlití}} = 50 \text{ mm}$$



Obrázek 75: Geometrie ocelové patky

Započitatelné rozměry betonové patky:

$$a_1 = \min(a_c; 3 \cdot a; a + h_c)$$

$$a_1 = \min(2500; 3 \cdot 1000; 1000 + 1500)$$

$$a_1 = \min(2500; 3000; 2500)$$

$$a_1 = 2500 \text{ mm}$$

$$b_1 = \min(b_c; 3 \cdot b; b + h_c)$$

$$b_1 = \min(2000; 3 \cdot 475; 475 + 1500)$$

$$b_1 = \min(2000; 1425; 1975)$$

$$b_1 = 1425 \text{ mm}$$

Součinitel koncentrace napětí:

$$k_j = \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{a \cdot b}}$$

$$k_j = \sqrt{\frac{2500 \cdot 1425}{1000 \cdot 465}}$$

$$k_j = 2,768$$

Návrhová pevnost betonu:

$$f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{k_j \cdot f_{ck}}{\gamma_c} \leq f_{ck}$$

$$f_{cd} = \frac{2}{3} \cdot \frac{2,768 \cdot 16}{1,5} \leq 16 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 19,684 \text{ MPa} > 16 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 16 \text{ MPa}$$

Přesah desky:  $c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{cd}}}$

$$c = 30 \cdot \sqrt{\frac{355}{3 \cdot 16}}$$

$$c = 81,586 \text{ mm}$$

Účinná šířka patního plechu:  $b_{\text{eff}} = 2 \cdot 85 + 2 \cdot c$

$$b_{\text{eff}} = 2 \cdot 85 + 2 \cdot 81,586$$

$$b_{\text{eff}} = 333,172 \text{ mm}$$

Excentricita:  $e = \frac{M_{\text{Ed}}}{N_{\text{Ed}}}$

$$e_{13} = \frac{1,36}{544,69} \cdot 10^3 = 2,497 \text{ mm}$$

$$e_{16} = \frac{494,91}{206,85} \cdot 10^3 = 2392,603 \text{ mm}$$

$$e_{22} = \frac{181,68}{39,35} \cdot 10^3 = 4617,281 \text{ mm}$$

Délka tlačené oblasti pod patním plechem:

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

$$N_c = b_{\text{eff}} \cdot x \cdot f_{cd}$$

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

$$333,172 \cdot 16 \cdot x_{13}^2 - 333,172 \cdot 16 \cdot (2 \cdot 435 + 1000) \cdot x_{13} + 2 \cdot 544,69 \cdot 10^3 \cdot (2,497 + 435) = 0$$

$$x_{13} = 49,100 \text{ mm}$$

$$333,172 \cdot 16 \cdot x_{16}^2 - 333,172 \cdot 16 \cdot (2 \cdot 435 + 1000) \cdot x_{16} + 2 \cdot 206,85 \cdot 10^3 \cdot (2392,603 + 435) = 0$$

$$x_{16} = 125,812 \text{ mm}$$

$$333,172 \cdot 16 \cdot x_{22}^2 - 333,172 \cdot 16 \cdot (2 \cdot 435 + 1000) \cdot x_{22} + 2 \cdot 39,35 \cdot 10^3 \cdot (4617,281 + 435) = 0$$

$$x_{22} = 40,776 \text{ mm}$$

$$N_{c,13} = 333,172 \cdot 49,1 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 261,740 \text{ kN}$$

$$N_{c,16} = 333,172 \cdot 125,812 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 670,673 \text{ kN}$$

$$N_{c,22} = 333,172 \cdot 40,776 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 217,367 \text{ kN}$$

Síla do kotevních šroubů:  $T = N_c - N_{Ed}$

$$T_{13} = 261,740 - 544,69 = -282,95 \text{ kN}$$

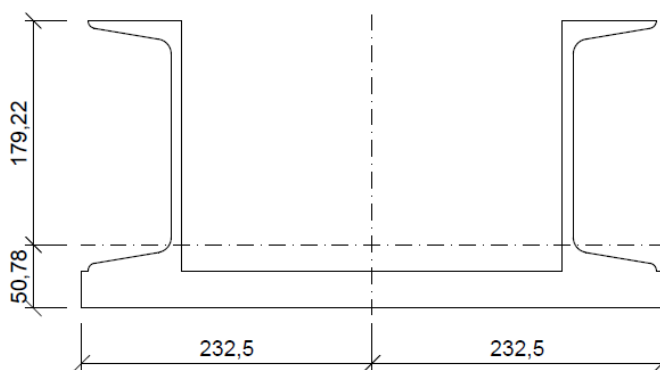
$$T_{16} = 670,673 - 206,85 = 463,823 \text{ kN}$$

$$T_{22} = 217,367 - 39,35 = 178,017 \text{ kN}$$

### 6.6.2 Návrh výztuh

Výztuhy: 2x U 200

$$A_{vz} = 2 \cdot 1771 = 3542 \text{ mm}^2$$



Obrázek 76: Svařovaný průřez

Vlastnosti svařovaného průřezu:  $A = 20251,189 \text{ mm}^2$  (z programu AutoCAD)

$I_y = 95,369 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$  (z programu AutoCAD)

$$e_h = 179,228 \text{ mm}$$

$$e_d = 50,782 \text{ mm}$$

$$W_{y,h} = \frac{I_y}{e_h} = \frac{95,369 \cdot 10^6}{179,228} = 532,110 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,d} = \frac{I_y}{e_d} = \frac{95,369 \cdot 10^6}{50,782} = 1878,008 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{y,h} = 532,110 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 < W_{y,d} = 1878,008 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

Rozhodující bude  $W_{y,h} = 532,110 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$

Tlačená strana patky:  $M_p = N_c \cdot \left(0,156 - \frac{x}{2}\right)$

$$V_p = N_c$$

$$M_{p,13} = 261,740 \cdot \left(0,156 - \frac{0,049}{2}\right) = 34,419 \text{ kNm}$$

$$M_{p,16} = 670,673 \cdot \left(0,156 - \frac{0,126}{2}\right) = 62,373 \text{ kNm}$$

$$M_{p,22} = 217,367 \cdot \left(0,156 - \frac{0,041}{2}\right) = 29,453 \text{ kNm}$$

$$V_{p,13} = 261,740 \text{ kN}$$

$$V_{p,16} = 670,673 \text{ kN}$$

$$V_{p,22} = 217,367 \text{ kN}$$

$$\text{Tažená strana patky: } M_l = T \cdot 0,101$$

$$V_l = T$$

$$M_{l,13} = -282,95 \cdot 0,101 = -28,578 \text{ kNm}$$

$$M_{l,16} = 463,823 \cdot 0,101 = 46,846 \text{ kNm}$$

$$M_{l,22} = 178,017 \cdot 0,101 = 17,980 \text{ kNm}$$

$$V_{l,13} = -282,950 \text{ kN}$$

$$V_{l,16} = 463,823 \text{ kN}$$

$$V_{l,22} = 178,017 \text{ kN}$$

### 6.6.3 Posouzení patky s výztuhami

$$\text{Napětí v průřezu: } \sigma_h = \frac{M_p}{W_{y,h}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\tau = \frac{V_p}{A_{vz}} \leq \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}}$$

Největší síly jsou z kombinace 16. Bude proto posuzována tato kombinace:

POSOUZENÍ:

$$\sigma_h = \frac{62,373 \cdot 10^6}{532,11 \cdot 10^3} = 117,218 \text{ MPa} < \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

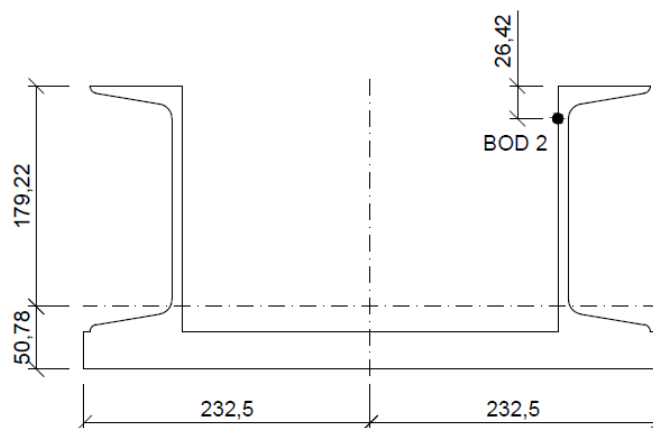
VYHOVUJE NA OHYB (33,0%)

$$\tau = \frac{670,673 \cdot 10^3}{3542} = 189,349 \text{ MPa} < \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 204,959$$

VYHOVUJE NA SMYK (92,4%)

Protože je smykové napětí větší než polovina únosnosti, je nutné posoudit ještě kombinaci smyku a ohybu. Největší napětí je v bodě 2.





Obrázek 77: Bod 2 – místo největšího napětí

$$\sigma_2 = \frac{M_{\max}}{I_y} \cdot z_2 = \frac{62,373 \cdot 10^6}{95,369 \cdot 10^6} \cdot (200 + 30 - 50,782 - 26,42) = 99,933 \text{ MPa}$$

$$\sqrt{\sigma_2^2 + 3 \cdot \tau^2} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\sqrt{99,933^2 + 3 \cdot 189,349^2} \leq \frac{355}{1,0}$$

$$342,849 \text{ MPa} < 355 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI SMYKU A OHYBU (96,6%)

#### 6.6.4 Návrh a posouzení svarů

Svarové spoje profilů U200 k patnímu plechu:  $a_w = 5 \text{ mm}$

Rozhodující je kombinace 16 pro MSÚ, kde je největší síla  $V_{p,16} = 670,673 \text{ kN}$  a ohybový moment  $M_{y,Ed} = 494,91 \text{ kNm}$ . Normálová síla má hodnotu:  $N_{Ed} = -206,85 \text{ kN}$ .

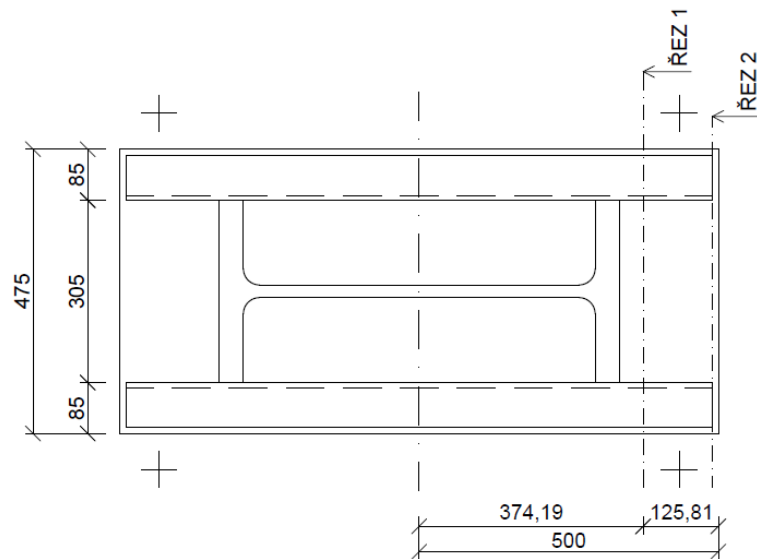
Rozměry svaru:  $l_{we,1} = 980 \text{ mm}$

$$l_{we} = l_{we,1} \cdot n = 4 \cdot 980 = 3920 \text{ mm}$$

$$A_{we} = a_{we} \cdot l_{we} = 5 \cdot 3920 = 19600 \text{ mm}^2$$

$$I_{we} = \frac{1}{12} \cdot n \cdot a_{we} \cdot l_{we,1}^3 = \frac{1}{12} \cdot 4 \cdot 5 \cdot 980^3 = 1568,653 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$S_{f,y} = b \cdot t_p \cdot \left( e_d - \frac{t_p}{2} \right) = 475 \cdot 30 \cdot \left( 50,782 - \frac{30}{2} \right) = 509893,5 \text{ mm}^3$$



Obrázek 78: Řezy, ve kterých dochází k největšímu napětí

$$x_{16} = 125,81 \text{ mm}$$

$$x_1 = \frac{a}{2} - x_{16} = \frac{1000}{2} - 125,81 = 374,19 \text{ mm}$$

$$x_2 = \frac{a - 2 \cdot 10}{2} = \frac{1000 - 2 \cdot 10}{2} = 490 \text{ mm}$$

Napětí ve svarech – řez 1:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{p,16} \cdot S_{f,y}}{I_y \cdot n \cdot a_{we}} = \frac{670,673 \cdot 10^3 \cdot 509893,5}{95,369 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 5} = 179,289 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_1 = \frac{206,85 \cdot 10^3}{19600} + \frac{494,91 \cdot 10^6}{1568,653 \cdot 10^6} \cdot 374,19 = 128,611 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{128,611}{\sqrt{2}} = 90,942 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{90,942^2 + 3 \cdot (90,942^2 + 179,289^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$359,883 \text{ MPa} < 435,556 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (82,6%)

Napětí ve svarech – řez 2:

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

$$\sigma_{we} = \frac{N_{Ed}}{A_{we}} + \frac{M_{Ed}}{I_{we}} \cdot x_1 = \frac{206,85 \cdot 10^3}{19600} + \frac{494,91 \cdot 10^6}{1568,653 \cdot 10^6} \cdot 490 = 165,149 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\perp} = \sigma_{\perp} = \frac{\sigma_{we}}{\sqrt{2}} = \frac{165,149}{\sqrt{2}} = 116,778 \text{ MPa}$$

POSOUZENÍ:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

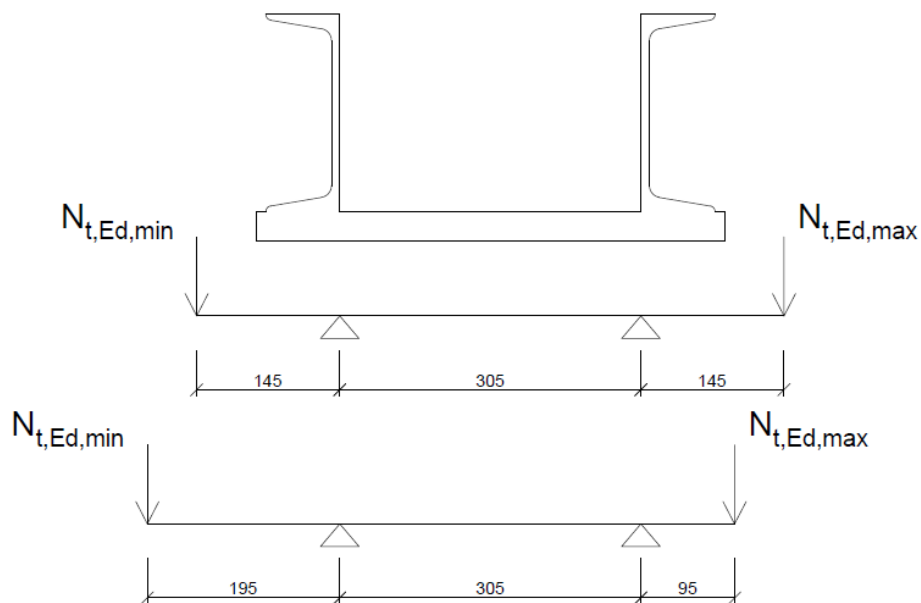
$$\sqrt{116,778^2 + 3 \cdot (116,778^2 + 0^2)} \leq \frac{490}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$233,561 \text{ MPa} < 435,556 \text{ MPa}$$

SVAR VYHOVUJE (53,6%)

### 6.6.5 Návrh a posouzení kotevních šroubů

Kotevní šrouby: Tolerance v osazení  $\pm 50$  mm.



Obrázek 79: Schéma působení sil pro stanovení sil v kotevních šroubech

$$T_1 = \frac{T_{\max}}{2} = \frac{463,823}{2} = 231,912 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,\max} = \frac{T_1 \cdot (195 + 195 + 305)}{195 + 305 + 95} = \frac{231,912 \cdot (195 + 195 + 305)}{195 + 305 + 95} = 270,889 \text{ kN}$$

$$N_{t,Ed,\min} = T_{\max} - N_{t,Ed,\max} = 463,823 - 270,889 = 192,934 \text{ kN}$$

NÁVRH: šrouby M42x3  $A_s = 1206 \text{ mm}^2$ , průměr dříku  $d = 45 \text{ mm}$

Porušení v místě řezaného závitu:

$$F_{t,Rd} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot A_s \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = 0,85 \cdot \frac{0,9 \cdot 1206 \cdot 490}{1,25} \cdot 10^{-3} = 361,655 \text{ kN}$$

**POSOUZENÍ:**  $F_{t,Rd} \geq N_{t,Ed,\max}$

$$361,655 \text{ kN} > 270,889 \text{ kN}$$

ZÁVIT VYHOVUJE (74,9%)

Porušení v místě dříku:

$$F_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{\frac{\pi \cdot 45^2}{4} \cdot 355}{1,0} \cdot 10^{-3} = 564,603 \text{ kN}$$

**POSOUZENÍ:**  $F_{t,Rd} \geq N_{t,Ed,\max}$

$$564,603 \text{ kN} > 270,889 \text{ kN}$$

DŘÍK VYHOVUJE (48,0%)

### 6.6.6 Návrh a posouzení kotevních příčníků

Kotevní příčník:  $M_{a,d} = N_{t,Ed,\min} \cdot r_{\max} = 192,934 \cdot 195 \cdot 10^{-3} = 37,622 \text{ kNm}$

$$V_{a,d} = N_{t,Ed,\min} = 192,934 \text{ kN}$$

$$M_{b,d} = N_{t,Ed,\max} \cdot r_{\min} = 270,889 \cdot 95 \cdot 10^{-3} = 25,734 \text{ kNm}$$

$$V_{b,d} = N_{t,Ed,\max} = 270,889 \text{ kN}$$

NÁVRH: 2xU120  $A_{vz} = 2 \cdot 880 = 1760 \text{ mm}^2$

$$W_{pl,y} = 2 \cdot 72,6 \cdot 10^3 = 145,2 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

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

Třída průřezu pro ohyb: 1 (z tabulek [3])

POSOUZENÍ:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_{vz} \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{1760 \cdot 355}{\sqrt{3} \cdot 1,0} \cdot 10^{-3} = 360,728 \text{ kN}$$

$$V_{pl,Rd} \geq V_{max,d}$$

$$360,728 \text{ kN} > 270,889 \text{ kN}$$

VYHOVUJE NA SMYK (75,1%)

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 145,2 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 51,546 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd} \geq M_{max,d}$$

$$51,546 \text{ kNm} > 37,622 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA OHYB (73,0%)

Síla  $V_{max,d}$  je větší než polovina únosnosti, a proto je nutné posoudit smyk v interakci s ohybem.

Interakce smyku a ohybu:

$$\text{Průřez a: } \rho = \left( \frac{2 \cdot V_{a,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 192,934}{360,728} - 1 \right)^2 = 0,005$$

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{v,z}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \left( 145,2 \cdot 10^3 - \frac{0,005 \cdot 1760^2}{4 \cdot 7} \right) \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 51,350 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} \geq M_{a,d}$$

$$51,350 \text{ kNm} > 37,622 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI SMYKU A OHYBU (73,3%)

$$\text{Průřez b: } \rho = \left( \frac{2 \cdot V_{b,d}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left( \frac{2 \cdot 270,889}{360,728} - 1 \right)^2 = 0,252$$

$$M_{V,Rd} = \left( W_{pl,y} - \frac{\rho \cdot A_{v,z}^2}{4 \cdot t_w} \right) \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = \left( 145,2 \cdot 10^3 - \frac{0,252 \cdot 1760^2}{4 \cdot 7} \right) \cdot \frac{355}{1,0} \cdot 10^{-6} = 41,649 \text{ kNm}$$

$$M_{V,Rd} \geq M_{b,d}$$

$$41,649 \text{ kNm} > 25,734 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE NA INTERAKCI SMYKU A OHYBU (61,8%)

Přenos vodorovné posouvající síly do betonové patky:

Vodorovné posouvající síly byly vzhledem ke svým velmi nízkým hodnotám zanedbány.

Posouzení betonové patky není předmětem této bakalářské práce.

## 7 Závěr

V této bakalářské práci byly navrženy všechny nosné prvky a klíčové detaily. Prvky i spoje splňují požadované únosnosti a podmínky stability. Pro dimenze jednotlivých nosníků byl vždy rozhodující mezní stav použitelnosti, kde byly většinou použity doporučené hodnoty. Technickou zprávu a statický výpočet doplňuje výkresová dokumentace (viz dále), která obsahuje půdorys, řez a výkresy navržených spojů.

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Hodnoty tvarového součinitele $\mu$ na konstrukci (v příčném směru) .....	8
Obrázek 2: Rozměry konstrukce pro výpočet zatížení navátým sněhem .....	9
Obrázek 3: Hodnoty tvarového součinitele $\mu$ na konstrukci (v podélném směru) .....	10
Obrázek 4: Součinitel expozice $c_e(z)$ pro $c_o(z) = 1,0$ a $k_I = 1,0$ [4].....	12
Obrázek 5: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a $c_f$ pro sedlové přístřešky [4] .....	12
Obrázek 6: Rozdělení zatížení větrem do jednotlivých oblastí přístřešku.....	13
Obrázek 7: Rozměry navrženého trapézového plechu [4].....	18
Obrázek 8: Průřezy na konstrukci.....	22
Obrázek 9: Zatížení trapézovým plechem [kN/m] .....	23
Obrázek 10: Rozložení sněhu v příčném směru, hodnoty zatížení a zatěžovací šířky vaznic.....	24
Obrázek 11: Rozložení sněhu v podélném směru, hodnoty zatížení .....	25
Obrázek 12: Zatížení sněhem na celé konstrukci [kN/m].....	27
Obrázek 13: Zatížení sněhem na polovině přístřešku [kN/m] .....	28
Obrázek 14: Rozložení zatížení větrem .....	28
Obrázek 15: Zatížení větrem na vaznici 2 .....	29
Obrázek 16: Zatížení větrem na vaznici 5 .....	30
Obrázek 17: Zatížení větrem na celé konstrukci, vítr působí tlak [kN/m] .....	31
Obrázek 18: Zatížení větrem na polovině přístřešku, vítr působí tlak [kN/m].....	31
Obrázek 19: Zatížení větrem na sloupy [kN/m] .....	32
Obrázek 20: Rozložení zatížení větrem .....	33
Obrázek 21: Zatížení větrem na vaznici 2 .....	33
Obrázek 22: Zatížení větrem na vaznici 5 .....	34
Obrázek 23: Zatížení větrem na celé konstrukci, vítr působí sání [kN/m].....	35
Obrázek 24: Zatížení větrem na polovině přístřešku, vítr působí sání [kN/m].....	35
Obrázek 25: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly $N$ .....	41
Obrázek 26: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_y$ .....	42
Obrázek 27: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_z$ .....	43
Obrázek 28: Obálka kombinací pro MSÚ – kroučící moment $M_x$ .....	44
Obrázek 29: Obálka kombinací pro MSÚ – ohybový moment $M_y$ .....	45
Obrázek 30: Obálka kombinací pro MSÚ – ohybový moment $M_z$ .....	46

---

Obrázek 31: Obálka kombinací pro MSP – deformace $u_z$ .....	47
Obrázek 32: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly $N$ .....	48
Obrázek 33: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_y$ .....	49
Obrázek 34: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_z$ .....	50
Obrázek 35: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_x$ .....	51
Obrázek 36: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_y$ .....	52
Obrázek 37: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_z$ .....	53
Obrázek 38: Obálka kombinací pro MSP – deformace $u_z$ .....	53
Obrázek 39: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly $N$ .....	55
Obrázek 40: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_y$ .....	55
Obrázek 41: Obálka kombinací pro MSÚ – posouvající síly $V_z$ .....	56
Obrázek 42: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_x$ .....	56
Obrázek 43: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_y$ .....	57
Obrázek 44: Obálka kombinací pro MSÚ – momenty $M_z$ .....	57
Obrázek 45: Obálka kombinací pro MSP – deformace $u_z$ .....	58
Obrázek 46: Obálka kombinací pro MSÚ – normálové síly $N$ .....	59
Obrázek 47: Rozměry průřezu IPE 220.....	61
Obrázek 48: Součinitelé $c_{my}$ , $c_{mz}$ a $c_{mLT}$ [1].....	65
Obrázek 49: Rozměry průřezu IPE 550.....	69
Obrázek 50: Součinitelé $c_{my}$ , $c_{mz}$ a $c_{mLT}$ [1].....	75
Obrázek 51: Rozměry průřezu HEM 650.....	82
Obrázek 52: Součinitelé $c_{my}$ , $c_{mz}$ a $c_{mLT}$ [1].....	90
Obrázek 53: Únosnosti jednotlivých lan – systém Macalloy [8].....	97
Obrázek 54: Normálové síly v lanech s vlivem teploty.....	98
Obrázek 55: Normálové síly na konstrukci s vlivem teploty.....	99
Obrázek 56: Posouvající síly na konstrukci s vlivem teploty.....	99
Obrázek 57: Ohybové momenty na konstrukci s vlivem teploty.....	100
Obrázek 58: Hodnoty deformací ve směru osy $z$ v kombinaci 1 pro MSP s vlivem teploty.....	100
Obrázek 59: Normálové síly v lanech s vlivem teploty.....	101
Obrázek 60: Normálové síly na konstrukci s vlivem teploty.....	102
Obrázek 61: Posouvající síly na konstrukci s vlivem teploty.....	103
Obrázek 62: Ohybové momenty na konstrukci s vlivem teploty.....	103
Obrázek 63: Obálka dvou nových kombinací pro MSP s vlivem teploty.....	104

---



---

Obrázek 64: Typické přípoje vaznic [16] .....	105
Obrázek 65: Přípoj vaznice na nosník .....	105
Obrázek 66: Přípoj středové vaznice k výztuze sloupu .....	107
Obrázek 67: Přípoj středové vaznice k výztuze sloupu – detail .....	107
Obrázek 68: Jednotlivé prvky kotvení lan systému Macalloy [6] .....	110
Obrázek 69: Přípoj lana na nosník .....	110
Obrázek 70: Schéma rozložení sil z lan do svaru .....	111
Obrázek 71: Přípoj lana na sloup .....	112
Obrázek 72: Přípoj nosníků pomocí čelní desky (ze Scia Engineer).....	114
Obrázek 73: Přípoj nosníku na sloup pomocí čelní desky – detail .....	115
Obrázek 74: Rozložení sil ve šroubech.....	116
Obrázek 75: Geometrie ocelové patky.....	120
Obrázek 76: Svařovaný průřez .....	122
Obrázek 77: Bod 2 – místo největšího napětí .....	124
Obrázek 78: Řezy, ve kterých dochází k největšímu napětí .....	125
Obrázek 79: Schéma působení sil pro stanovení sil v kotevních šroubech .....	126

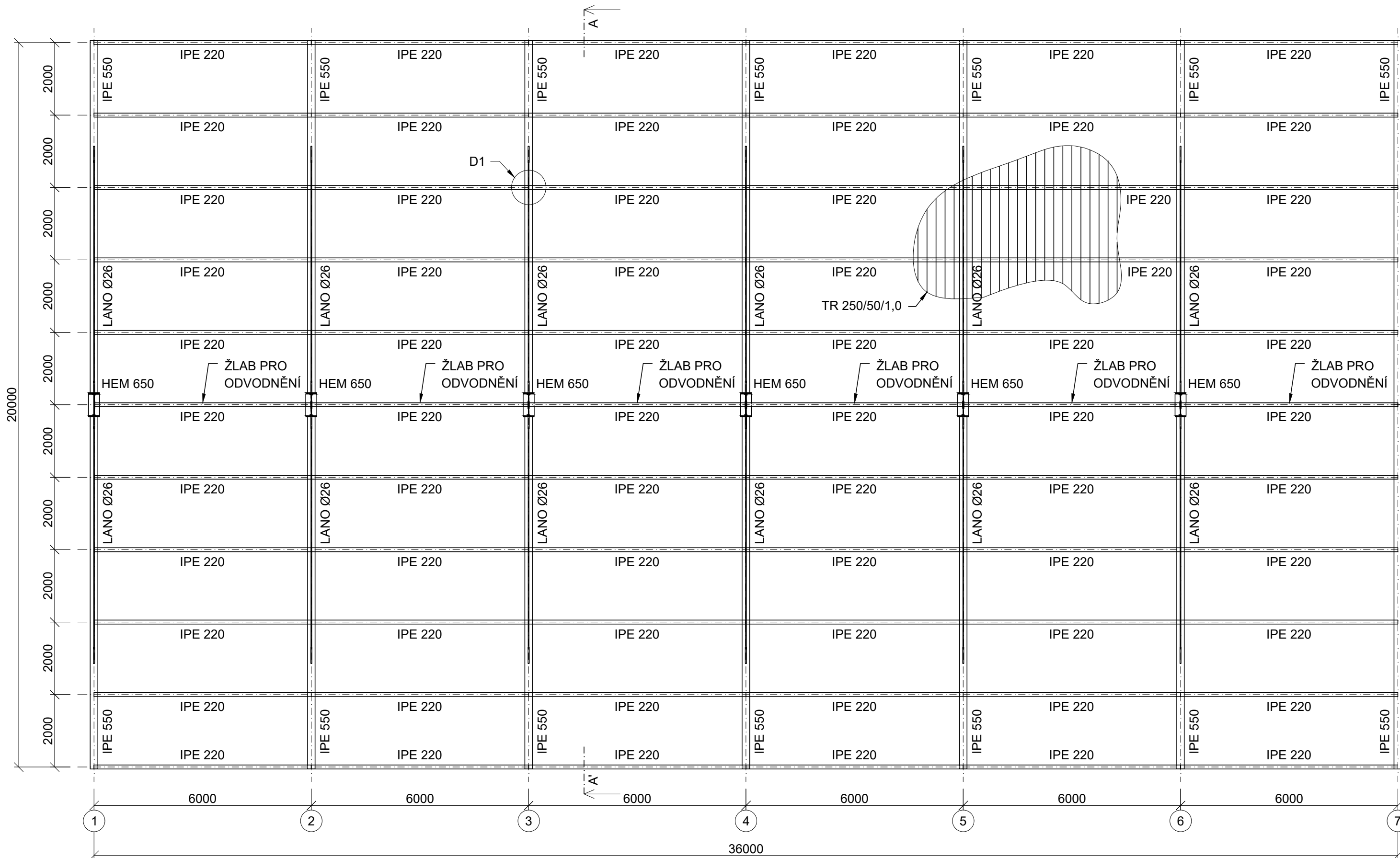
## Seznam tabulek

Tabulka 1: Hodnoty součinitelů $c_{p,net}$ a $c_f$ .....	13
Tabulka 2: Hodnoty dílčích součinitelů zatížení v mezním stavu typu STR/GEO – soubor B....	15
Tabulka 3: Hodnoty kombinačních součinitelů $\psi$ .....	15
Tabulka 4: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSÚ, kategorie a) .....	36
Tabulka 5: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSÚ, kategorie b) .....	37
Tabulka 6: Seznam kombinací a použitých součinitelů pro posouzení MSP, charakteristické kombinace .....	39
Tabulka 7: Průřezové charakteristiky průřezu IPE 220 [16] .....	60
Tabulka 8: Průřezové charakteristiky průřezu IPE 550 .....	68
Tabulka 9: Průřezové charakteristiky průřezu HEM 650 .....	81

## Literatura


- [1] ČSN EN 1990 (730002). Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [2] ČSN EN 1991-1-1 (730035). Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb. Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [3] ČSN EN 1991-1-3 (730035). Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [4] ČSN EN 1991-1-4 (730035). Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [5] ČSN EN 1991-1-5 (730035). Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [6] ČSN EN 1993-1-1 (731401). Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [7] ČSN EN 1993-1-8 (731401). Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-8: Navrhování styčnicků. Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [8] ČSN EN 1993-1-11 (731401). Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-11: Navrhování ocelových tažených prvků. Praha: Český normalizační institut, 2008.
- [9] HORÁČEK, Martin. Klopení tenkostěnných ocelových nosníků s otvory ve stěně. Dizertační práce. Brno, 2016.
- [10] Macalloy. Systém konstrukčních táhel 460. Katalog [online]. Copyright © 2014 Tension Systems s.r.o. Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>
- [11] MAZÁK, Rastislav. Lávka pro chodce a cyklisty přes Vltavu v Praze Holešovicích. Bakalářská práce. Praha, 2017.
- [12] PILGR, Milan. Kovové konstrukce. Podklady pro navrhování prvků ocelových konstrukcí [online]. Brno: 2018, 700 s. Dostupné z: <https://www.fce.vutbr.cz/KDK/pilgr.m/studijni-materialy/PilgrM-PrvkyKK-2018.pdf>
- [13] SOKOL, Zdeněk a WALD, František. Ocelové konstrukce: tabulky. 3. vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2016. ISBN 978-80-01-06032-2.
- [14] STUDNIČKA, Jiří. Navrhování nosných konstrukcí. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05490-1.
- [15] STUDNIČKA, Jiří. Ocelové konstrukce 10. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 271 s. ISBN 80-01-02625-6.

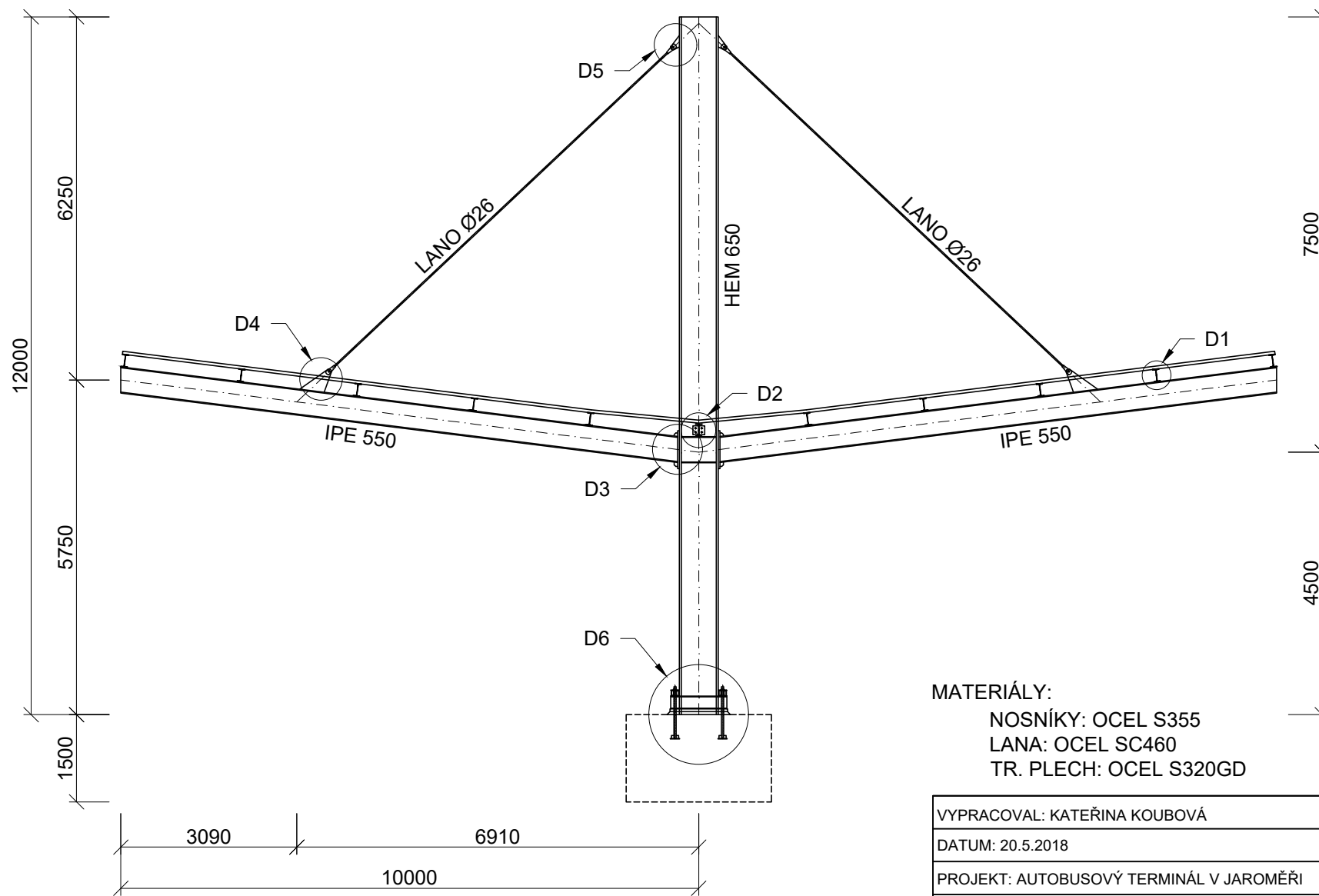
- [16] VOTLUČKA, Ladislav. Kovové a dřevěné konstrukce: (Pomůcka pro navrhování ocelových konstrukcí pozemních staveb). 5. přeprac. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1988.
- [17] VRANÝ, Tomáš, JANDERA, Michal a ELIÁŠOVÁ, Martina. Ocelové konstrukce 2. Vyd. 2., přeprac. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04368-4.
- [18] WALD, František. Prvky ocelových konstrukcí: příklady podle Eurokódů. Dot. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické, 1998. 159 s. ISBN 80-01-01623-4.




NAVAZUJÍCÍ BUDOVA TERMINÁLU

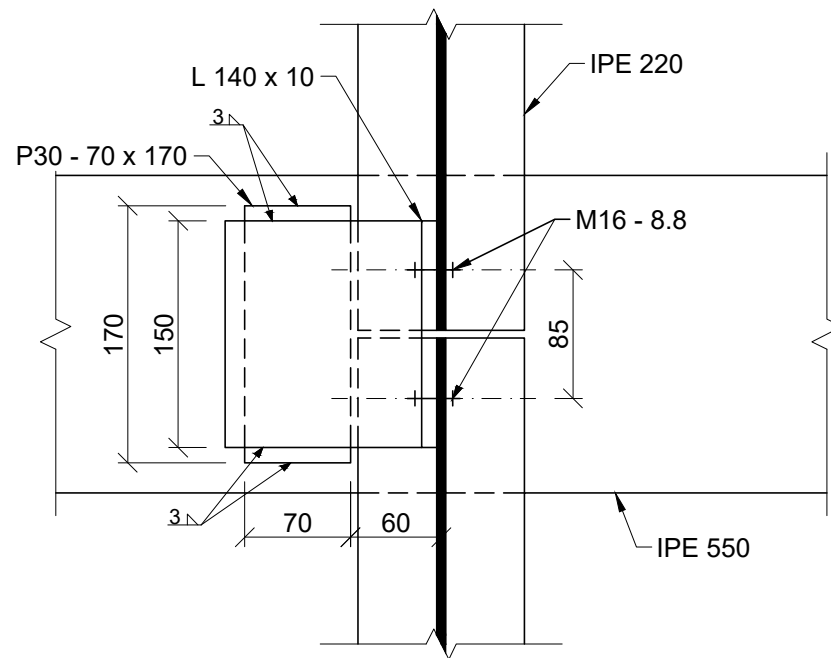
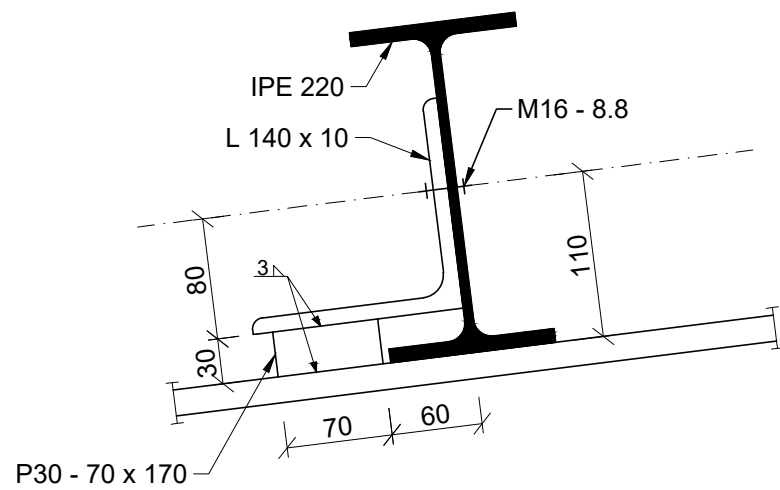
MATERIÁLY:  
 NOSNÍKY: OCEL S355  
 LANA: OCEL SC460  
 TR. PLECH: OCEL S320GD

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 20.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV:	MĚŘÍTKO: 1:100
<b>PŮDORYS</b>	FORMÁT: A3
	ČÍSLO VÝKRESU: 1



MATERIÁLY:  
 NOSNÍKY: OCEL S355  
 LANA: OCEL SC460  
 TR. PLECH: OCEL S320GD

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 20.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV: <b>ŘEZ AA'</b>	MĚŘITKO: 1:100
	FORMÁT: A4
	ČÍSLO VÝKRESU: 2




**MATERIÁLY:**

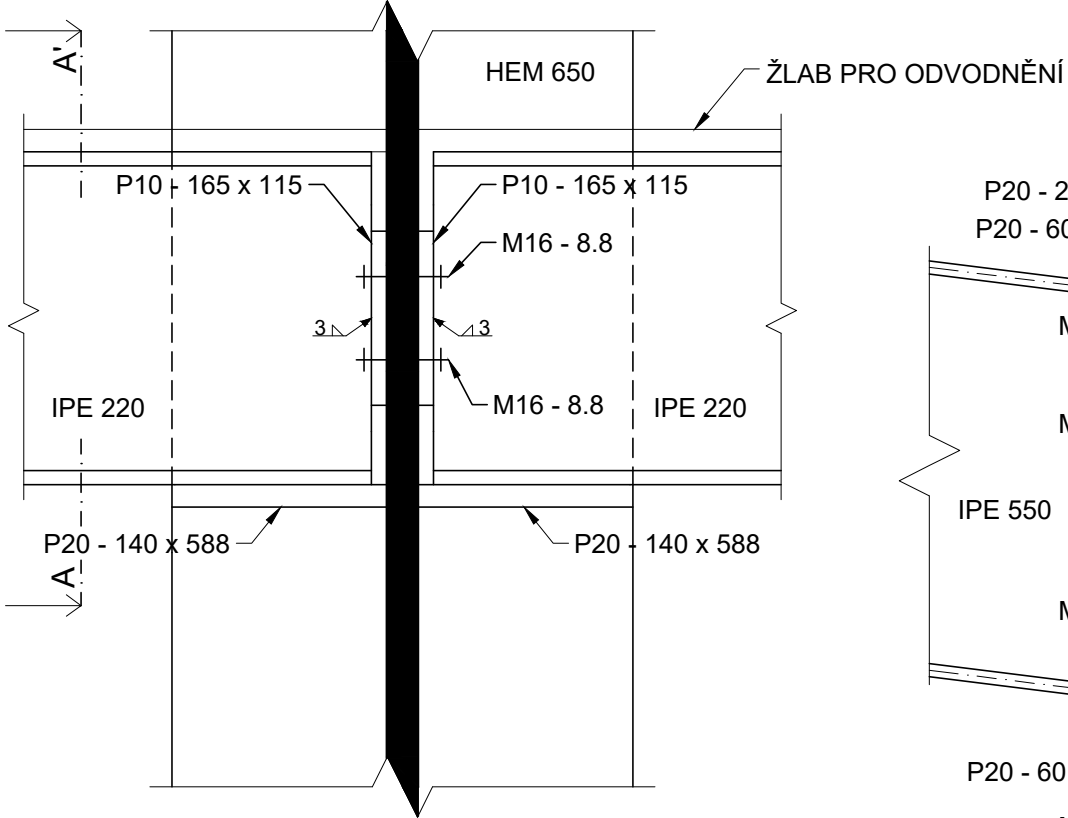
NOSNÍKY: OCEL S355

ŠROUBY: M16 - 8.8

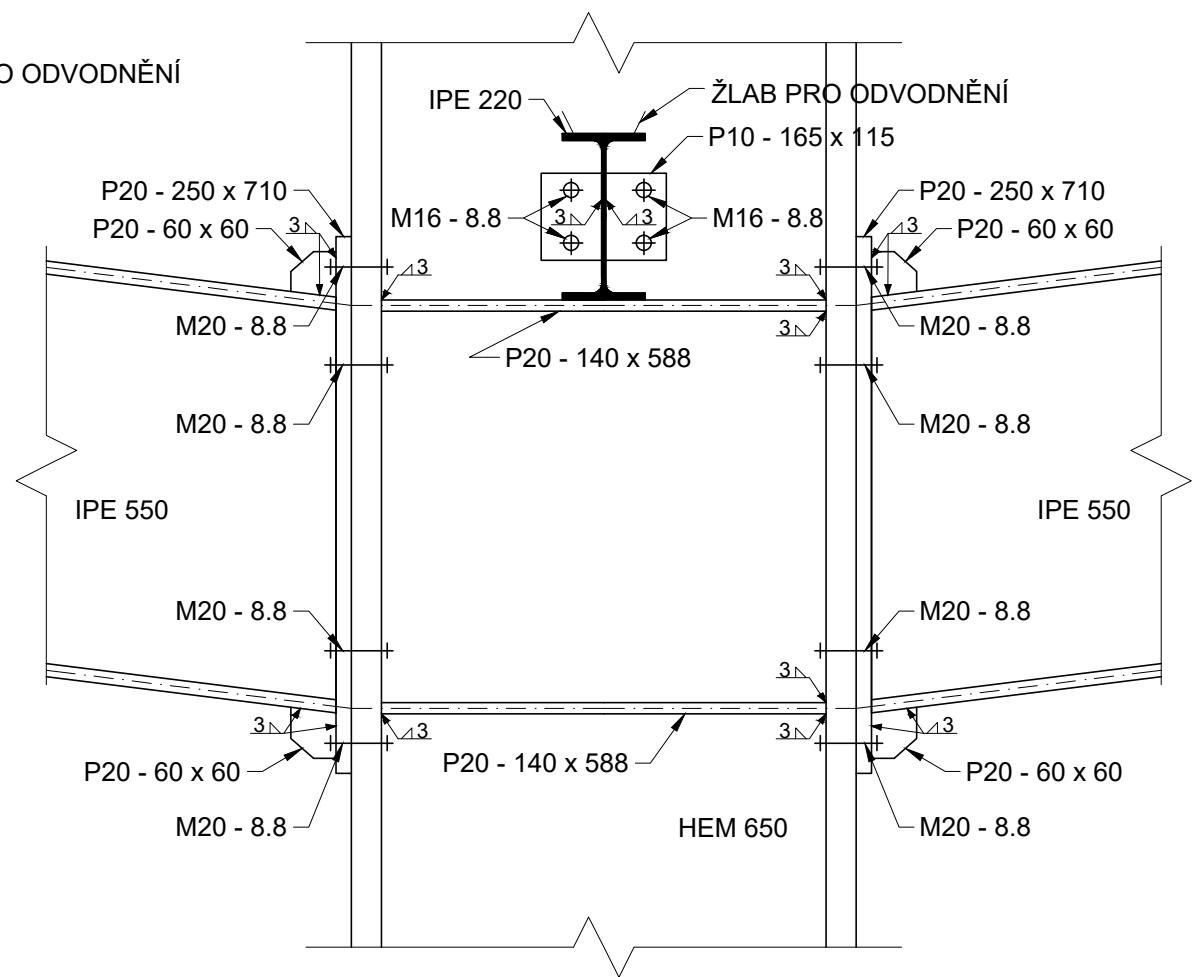
KOMPONENTY SPOJŮ: OCEL S235

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 16.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV:	
<b>DETAIL 1</b>	
<b>ULOŽENÍ VAZNIC</b>	
	MĚŘÍTKO: 1:5
	FORMÁT: A4
	ČÍSLO VÝKRESU: 3

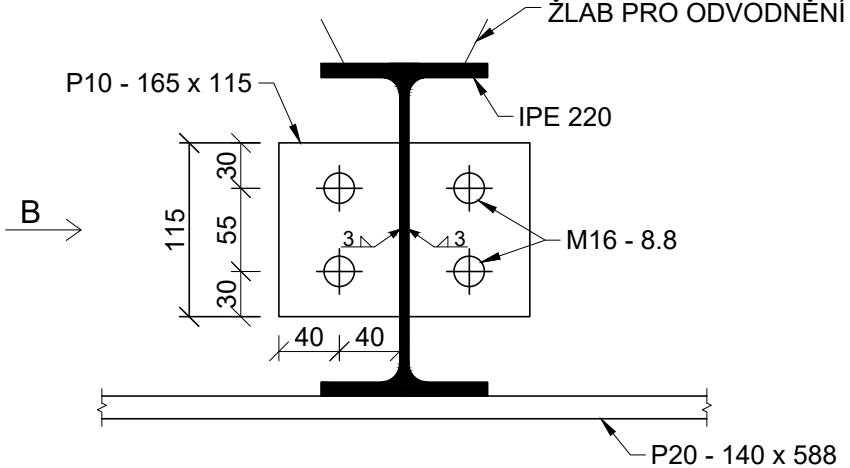
POHLED B: MĚŘÍTKO 1:5



ŘEZ AA': MĚŘÍTKO 1:10



ŘEZ AA': MĚŘÍTKO 1:5



MATERIÁLY:

NOSNÍKY: OCEL S355

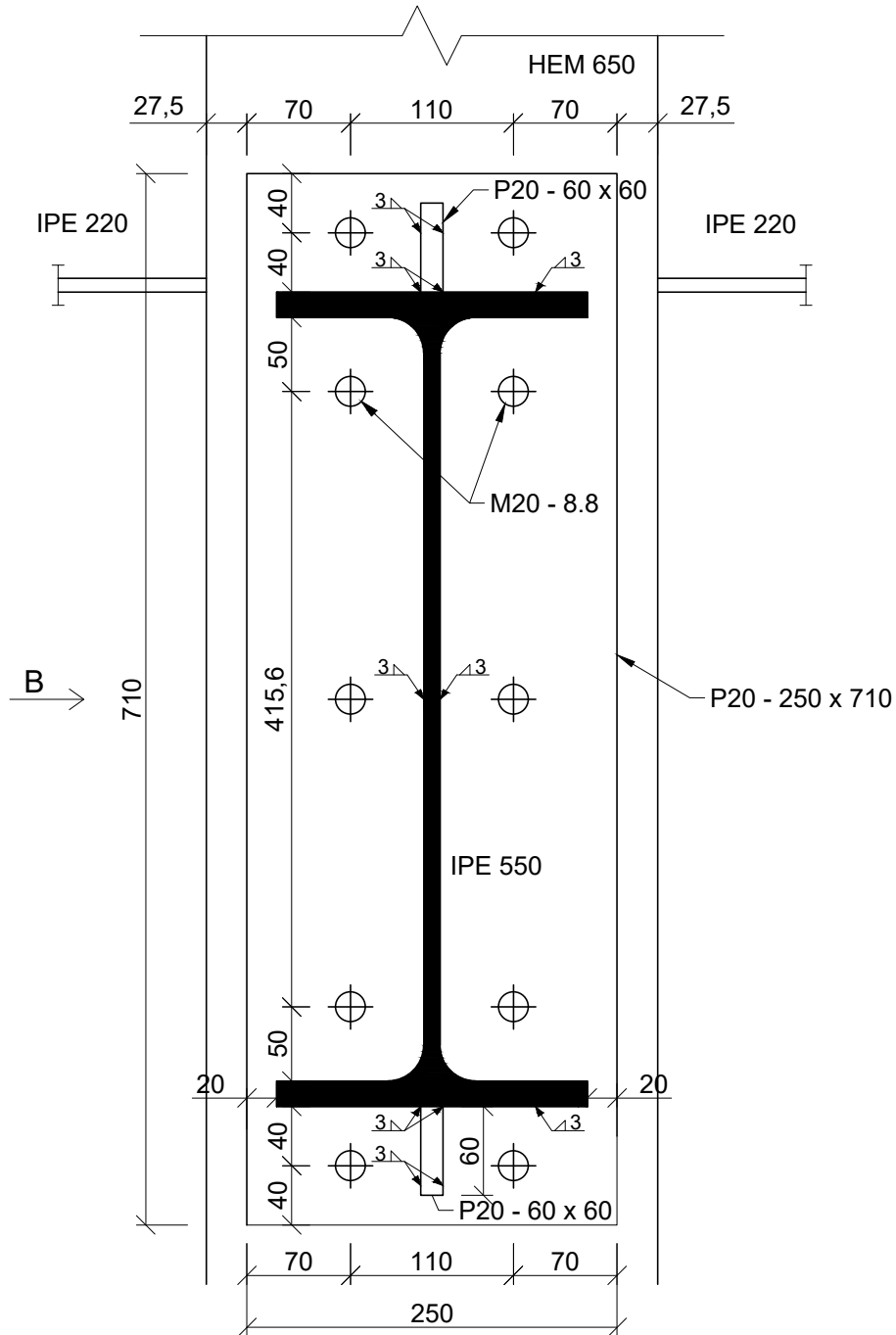
ŠROUBY: M16 - 8.8, M20 - 8.8

KOMPONENTY SPOJŮ: OCEL S235

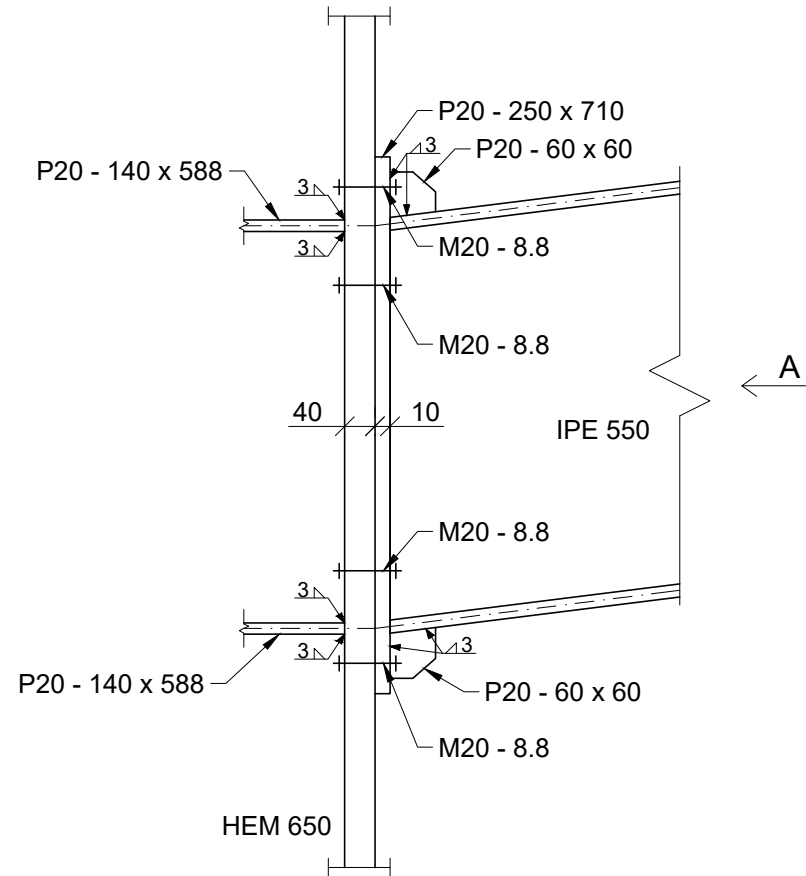
VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 16.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV: <b>DETAIL 2</b> <b>ULOŽENÍ STŘEDNÍ VAZNICE</b>	
MĚŘÍTKO: 1:5, 1:10	
FORMÁT: A4	
ČÍSLO VÝKRESU: 4	



POHLED A: MĚŘÍTKO 1:5



POHLED B: MĚŘÍTKO 1:10



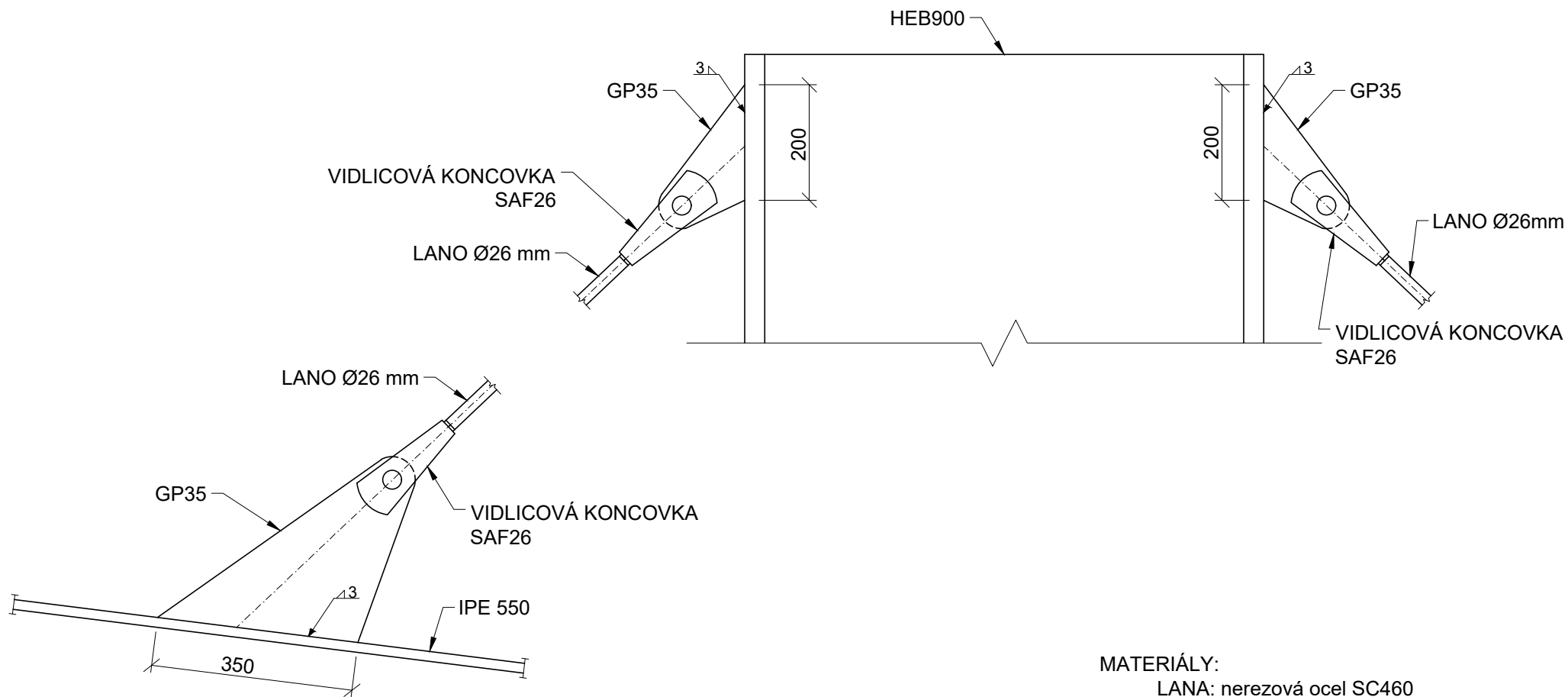
MATERIÁLY:

NOSNÍKY: OCEL S355

ŠROUBY: M20 - 8.8

KOMPONENTY SPOJŮ: OCEL S235

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 16.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV: <b>DETAIL 3</b> <b>ULOŽENÍ NOSNÍKŮ</b>	
MĚŘÍTKO: 1:5, 1:10	
FORMÁT: A4	
ČÍSLO VÝKRESU: 5	



**MATERIÁLY:**

LANA: nerezová ocel SC460

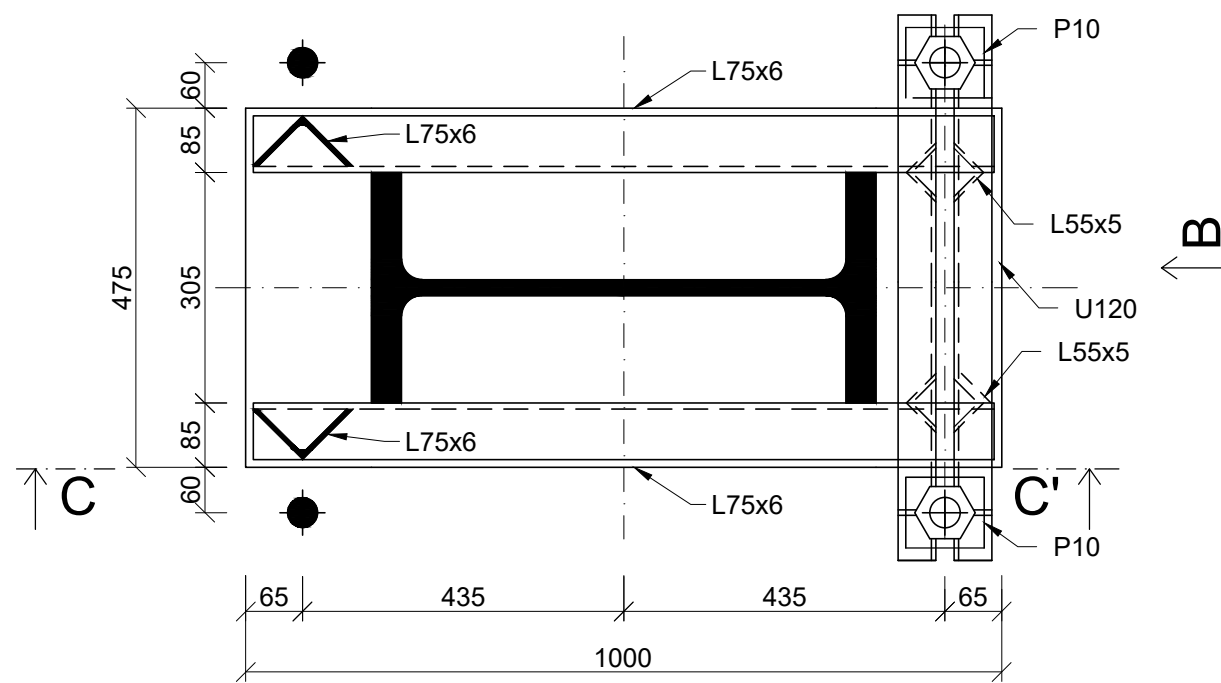
NOSNÍKY: ocel S355

KOMPONENTY SPOJE: SC460

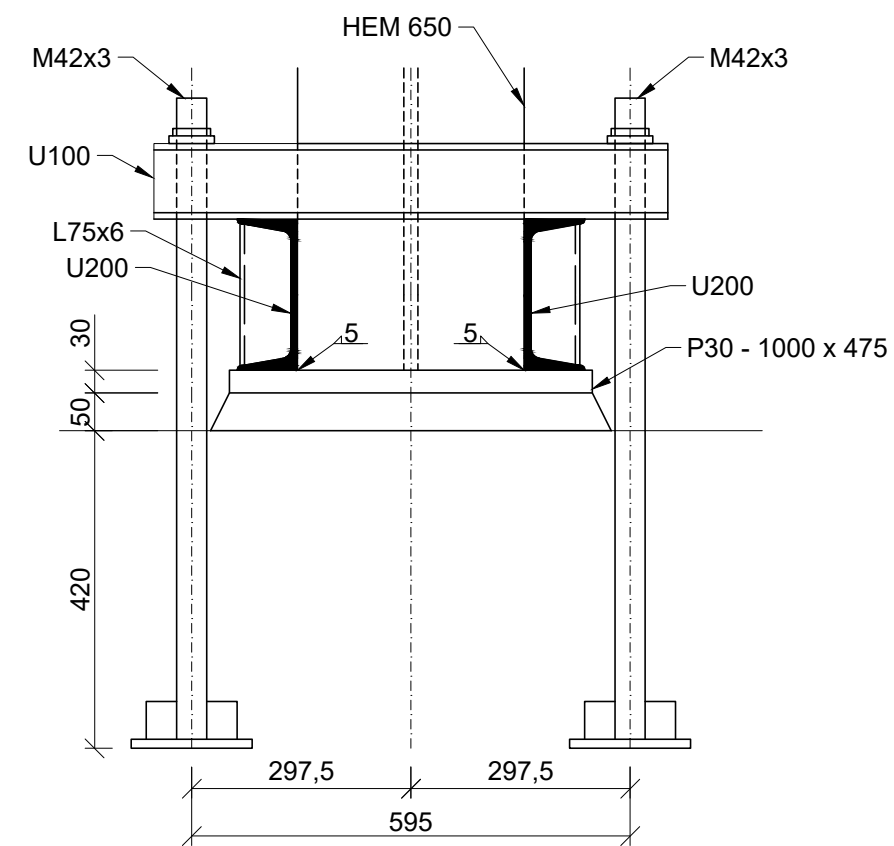
STYČNÍKOVÝ PLECH: S355

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 16.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV:	<p style="text-align: center;"><b>DETAILY 4, 5</b> <b>PŘIPOJENÍ LAN</b></p>
	MĚŘITKO: 1:10
	FORMÁT: A4
	ČÍSLO VÝKRESU: 6

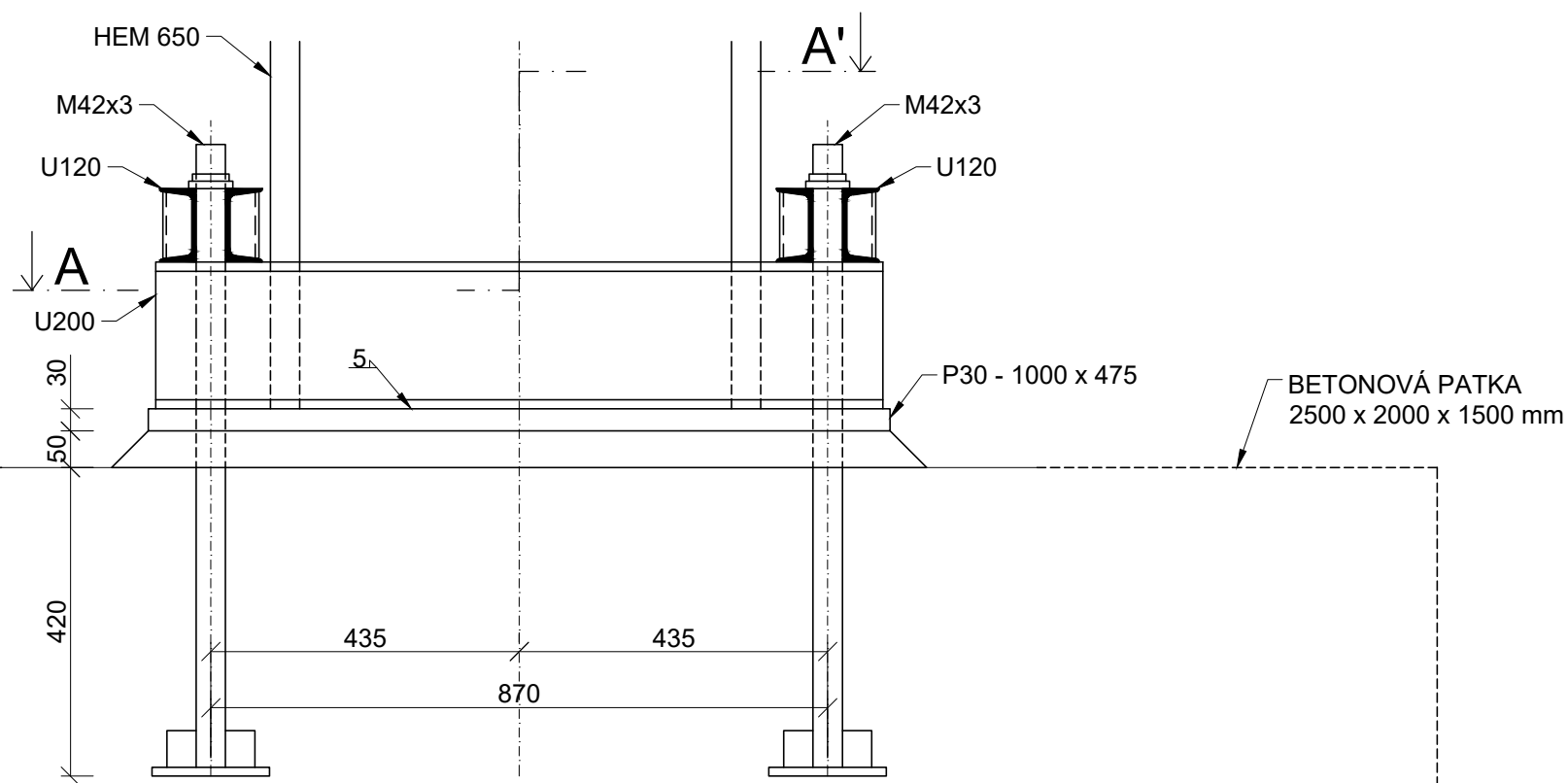
# ŘEZ AA'



# POHLED B



# ŘEZ CC'



MATERIÁLY:  
 NOSNÍKY: ocel S355  
 KOMPONENTY SPOJE: ocel S355  
 BETON C16/20

VYPRACOVAL: KATEŘINA KOUBOVÁ	
DATUM: 20.5.2018	
PROJEKT: AUTOBUSOVÝ TERMINÁL V JAROMĚŘI	
KATEDRA: K134	
NÁZEV: <b>DETAIL 6 PATKA</b>	MĚŘÍTKO: 1:10 FORMÁT: A3 ČÍSLO VÝKRESU: 7